

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE GENERADORES DE EMERGENCIA EN SISTEMAS INDUSTRIALES

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Br. Rodríguez B., Milagros D.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2010

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE GENERADORES DE EMERGENCIA EN SISTEMAS INDUSTRIALES

Prof. Guía: Ing. Julián Pérez
Tutor Industrial: Ing. Ray-Annelis Liendo

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Br. Rodríguez B., Milagros D.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2010

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 27 de octubre de 2010

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Milagros del V. Rodríguez B., titulado:

“DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE GENERADORES DE EMERGENCIA EN SISTEMAS INDUSTRIALES”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Potencia, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



Prof. Rigel Rangel
Jurado



Prof. Alexander Cepeda
Jurado



Prof. Julián Pérez
Prof. Guía

DEDICATORIA

Dedicada a Dios, Juan y María Alejandra.
Porque juntos logramos esta importante meta.
Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la oportunidad de formarme profesionalmente como Ingeniero Electricista, menciono Potencia a:

A la Universidad Central de Venezuela, especialmente a la Escuela de Ingeniería Eléctrica y a todo su personal docente, administrativo y obrero, por influir en mi crecimiento personal a través de las vivencias compartidas en este espacio.

A mis padres por ser los compañeros de mi vida, por la incondicional confianza y amor que me brindan.

A mi Familia por ser la mayor fuente de mis alegrías, los quiero muchísimo.

A los miembros de mi familia con quienes he convivido en Caracas, mi sobrina Danielita, mis hermanos Daniel y María Alejandra, mi cuñada Alexandra y mi amigo Alfonso, gracias por hacerme sentir en casa.

A los amigos que he encontrado a lo largo de mi carrera: Mayela, Vicente, Lucy, Francisco, Balmore, Pedro, Daniel, Luis, Douglas, Belkis, Ligia, Pablo, Boris, Angela, Alfonso, Laury, Julio, Paul, Jesús, Andres, Victor, Paula, Jorge, Analis, David, Mariangel, Katherin, Juana, Maria, Liu, entre otros muchos. Gracias por ser el impulso, el ejemplo, la alegría, la esperanza y la energía diaria con que he logrado paso a paso cada objetivo a lo largo de la carrera.

A mis Profesores por su dedicación a la enseñanza, principalmente a mi profesor guía, el Ing. Julián Pérez.

A la Empresa Y&V Ingeniería y construcción, por brindarme el apoyo en la realización de este T.E.G, especialmente a mi tutora, la Ing. Ray-Anmelis Liendo y al Ing. Vicente López, agradeciendo además al Ing. Cesar Torres, al Ing. Franklin Bravo, al Ing. Juan Castillo, a la Lic. Stefania Carosi y a las personas con quien compartí el espacio de trabajo durante la realización de mis pasantías, Deahnis Moret, Marijuli Rendon, Carlos Lazarde, entre otros.

Gracias a todos.

Milagros.

Rodríguez B., Milagros D.

DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE GENERADORES DE EMERGENCIA EN SISTEMAS INDUSTRIALES

Prof. Guía: Ing. Julián Pérez. **Tutor Industrial:** Ing. Ray-Anmelis Liendo. **Tesis.** Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. **Ingeniero Electricista. Opción:** Potencia. **Institución:** Empresas Y&V. 2010. 113 h. + anexos.

Palabras Claves: Generadores de Emergencia; Sistemas industriales; Sistemas de Emergencia; Motor-Generador; Combustibles; Diesel; Dimensionamiento; Selección.

Resumen. Se plantea el desarrollo de una metodología que genere una lista de pasos a seguir y un flujograma para el dimensionamiento y la selección de generadores de emergencia para el sector industrial en un rango de capacidad de 50 kVA a 3000 kVA, a ser usada por los ingenieros de proyectos de Empresas Y&V. Los criterios y la formulación de dicha metodología se basan en las prácticas recomendadas por normativas nacionales e internacionales, donde las normas fundamentalmente usadas son FONDONORMA 200:2004, IEEE Std. 446-97 y NEMA MG-1. En la metodología obtenida, para el dimensionamiento del generador se requiere el conocimiento y estudio de la demanda asociada a las cargas vitales y esenciales que serán alimentadas por el generador, tomando en consideración la criticidad del proceso industrial y evaluando por caída de tensión la secuencia de conexión de las cargas, con el fin de hallar el dimensionamiento de capacidad mínima que se ajuste al proceso industrial. La selección del generador considera aspectos como, voltaje nominal, tipo de aislamiento y sistema de excitación; tipo de gobernador y sistema de arranque del motor de combustión interna y la selección del combustible en función del tiempo de repuesta, sus facilidades de abastecimiento y almacenamiento. A modo de ejemplo y prueba, la metodología planteada, se aplicó a una instalación existente y a dos instalaciones en construcción, todos estos proyectos han sido desarrollados por la Empresa Y&V Ingeniería y Construcción.

ÍNDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACIÓN _____	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA _____	iii
AGRADECIMIENTOS _____	iv
RESUMEN _____	v
ÍNDICE GENERAL _____	vi
ÍNDICE DE TABLAS _____	x
ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS _____	xii
SIGLAS _____	xiii
INTRODUCCIÓN _____	1
CAPÍTULO I _____	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA _____	3
OBJETIVO GENERAL _____	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS _____	4
METODOLOGÍA _____	5
CAPÍTULO II _____	6
MARCO TEÓRICO _____	6
2.1. Definiciones _____	6
2.2. Sistema de alimentación de emergencia: _____	9
2.2.1 Propósitos de los sistemas de alimentación de emergencia o de reserva:[5] _____	10
2.2.2 Tipos de sistemas de alimentación de emergencia: [5] _____	10
2.2.3 Partes fundamentales del sistema de alimentación de emergencia: _____	10
2.3. Máquina Sincrónica: _____	12
2.3.1 Principio de operación: _____	13
2.4. Generadores de emergencia: _____	14

2.4.1	Funcionamiento: _____	14
2.4.2	Disponibilidad: [5] _____	15
2.4.3	Tipos de Servicio: _____	15
2.4.4	Normas: _____	17
CAPÍTULO III _____		21
DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y LA SELECCIÓN DE GENERADORES DE EMERGENCIA EN SISTEMAS INDUSTRIALES _____		21
3.1.	Consideraciones para el dimensionamiento y selección de generadores de emergencia en sistemas industriales _____	21
3.1.1	Carga: _____	21
3.1.2	Generador sincrónico: _____	21
3.1.2.1	Capacidad: _____	21
3.1.2.2	Voltaje: _____	22
3.1.2.3	Aislamiento: _____	24
3.1.2.4	Excitación: _____	26
3.1.3	Motor _____	29
3.1.3.1	Gobernadores: _____	29
3.1.3.2	Sistemas de arranque: _____	31
3.1.3.3	Combustible: _____	32
3.1.3.4	Otras consideraciones: _____	36
3.2.	Pasos para el dimensionamiento y selección de generadores de emergencia en sistemas industriales _____	55
3.2.1	Concernientes a las cargas: _____	55
3.2.2	Concernientes al generador: _____	57
3.2.3	Concernientes al motor: _____	58
3.2.4	Concernientes al combustible: _____	59
3.2.5	Concernientes a las normas ambientales: _____	59
3.3.	Flujograma para el dimensionamiento y selección de generadores de emergencia en sistemas industriales _____	60

3.3.1	Aclaratorias sobre el flujograma: _____	61
3.3.1.1	Determinar la carga a ser alimentada por el generador: _____	61
3.3.1.2	Dimensionamiento preliminar _____	61
3.3.1.3	Evaluar la existencia de algunos tipos de arranque: _____	62
3.3.1.4	Cálculo de la potencia de arranque: _____	64
3.3.1.5	Caída de tensión: _____	66
3.3.1.6	Evaluar la capacidad de arranque simultáneo: _____	69
3.3.1.7	Evaluar la capacidad de arranque por etapas: _____	69
3.3.1.8	Seleccionar el generador de acuerdo al dimensionamiento obtenido y a los equipos comerciales: _____	74
3.3.1.9	Seleccionar el motor de combustión interna: _____	74
3.3.1.10	Especificar el Combustible: _____	74
3.3.1.11	Revisar el cumplimiento con las normas ambientales: _____	74
CAPÍTULO IV _____		76
CASOS PRÁCTICOS _____		76
4.1.	Caso 1. Proyecto de Fertilizantes PEQUIVEN Morón. _____	76
4.1.1	Memoria descriptiva: _____	76
4.1.2	Premisas para el dimensionamiento del generador de emergencia: ____	78
4.1.3	Modo de funcionamiento del generador de emergencia: _____	82
4.1.4	Consideraciones para el dimensionamiento: _____	84
4.1.5	Resultados del dimensionamiento y selección del generador de emergencia: _____	85
4.2.	Caso 2. Proyecto Complejo Generador TERMOCENTRO. _____	87
4.2.1	Memoria descriptiva: _____	87
4.2.2	Premisas para el dimensionamiento del generador de emergencia: ____	89
4.2.3	Modo de funcionamiento del generador de emergencia: _____	90
4.2.4	Consideraciones para el dimensionamiento: _____	92
4.2.5	Resultados del dimensionamiento y selección del generador de emergencia: _____	94

4.3.	Caso 3. Proyecto de Suministro Eléctrico de Emergencia para las Oficinas de Y&V.	96
4.3.1	Memoria descriptiva:	96
4.3.2	Premisas para el dimensionamiento del generador de emergencia:	98
4.3.3	Modo de funcionamiento del generador de emergencia:	102
4.3.4	Consideraciones para el dimensionamiento:	104
4.3.5	Resultados del dimensionamiento y selección del generador de emergencia:	105
CONCLUSIONES		109
RECOMENDACIONES		111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		112
BIBLIOGRAFÍA		113
ANEXOS		114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1. Capacidad en kilovolt-Ampere(kVA) y kilowatt(kW) _____	22
Tabla 3. 2. Clasificaciones de voltaje para circuitos de 60 Hz, en Volts. [1] _____	22
Tabla 3. 3. Incremento de temperatura permitido para cada clase de aislamiento. [1] _____	25
Tabla 3. 4. Tabla de combustibles usados para la generación de emergencia. _____	35
Tabla 3. 5. Comparación entre tanques sobre e suelo y enterrados. [9] _____	36
Tabla 3. 6. Límites de calidad del aire. _____	40
Tabla 3. 7. Límites de emisión de contaminantes al aire, para fuentes fijas de contaminación atmosférica. _____	41
Tabla 3. 8. Límites de opacidad, para fuentes fijas de contaminación atmosférica. _____	41
Tabla 3. 9. Ruido continuo equivalente (Leq). _____	42
Tabla 3. 10. Disponibilidad requerida para la alimentación de las cargas. _____	51
Tabla 3. 11. Factores de arranque a voltaje reducido. [12, 7] _____	63
Tabla 3. 12. Letras código en motores AC. [1] _____	65
Tabla 4. 1. Cargas Urea pertenecientes al CCM SS2-EMCC-201. _____	79
Tabla 4. 2. Cargas Utilities pertenecientes al CCM SS3-EMCC-201. _____	80
Tabla 4. 3. Cargas a ser arrancadas por el generador de emergencia. _____	81
Tabla 4. 4. Carga prioritaria en condiciones de estabilidad. _____	82
Tabla 4. 5. Cargas que pueden ser desconectadas de barra A. _____	83
Tabla 4. 6. Cargas que pueden ser desconectadas de barra B. _____	83
Tabla 4. 7. Cargas esenciales totales. _____	83
Tabla 4. 8. Cargas adicionales totales. _____	84
Tabla 4. 9. Condiciones climáticas. Fertilizantes. _____	84
Tabla 4.10. Estimación de demanda de las cargas esenciales a alimentar con el generador de emergencia. Termocentro. _____	91
Tabla 4. 11. Condiciones climáticas. Termocentro. _____	93

Tabla 4. 12. Cargas conectadas al tablero T-PPL-DATA. Cálculos con los valores medidos.	100
Tabla 4. 13. Cargas conectadas al tablero T-PPL-DATA. Cálculos con los valores de dimensionamiento.	101
Tabla 4. 14. Condiciones climáticas. Y&V.	104

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS

Figura 3.1.	Generador sincrónico con excitación derivada. [7]	26
Figura 3.2.	Generador sincrónico con excitación separada. [7]	28
Figura 3.3.	Arranque de motor alimentado por un generador sincrónico de polos lisos.	68
Gráfica 3.1.	Ajuste de carga para el arranque por etapas. [12]	70
Gráfica 3.2.	kVA de arranque en porcentaje de los kVA del generador (%) Vs. Caída de tensión del generador (%).	72
Figura 4.1.	Diagrama unifilar. Fertilizantes.	77
Figura 4.2.	Diagrama unifilar. Termocentro.	89
Figura 4.3.	Diagrama unifilar del sistema de emergencia de Y&V.	98

SIGLAS

A	Ampère
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWG	American Wire Gauge
CA	Corriente alterna
CC	Corriente continua
CCM	Centro de Control de Motores
CDP	Centro de Distribución de Potencia
CEN	Código Eléctrico Nacional
DCS	Distributed Control System
EPA	Environmental Protection Agency
EE.UU	Estados Unidos
f	Frecuencia
F	Fase
Fig.	Figura
FONDONORMA	Fondo para la Normalización y la Certificación de Calidad
H	Hilo
hp	Horse power
Hz	hertz
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
kA	Kiloampère
kV	Kilovolt
kVA	Kilovolt-Ampère
kVA _r	Kilovolt-Ampère Reactivo
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-Hora

M	Motor
n	Velocidad en rpm
N	Neutro
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
NFPA	National Fire Protection Association
PEQUIVEN	Corporation Petroquímica de Venezuela
p	Pares de polos de la máquina
PLC	Programmable Logic Controller
ppm	Partes por millón
PRP	Potencia continua
R	Resistencia
rpm	Revoluciones por minuto
S/E	Subestación Eléctrica
STP	Potencia en emergencia
SWGR	Switchgear
T	Tierra
TMPD	Toneladas métricas por día
UE	Unión Europea
UPS	Uninterruptible Power Supply
V	Volt
Y&V	Yánez y Vergara (Empresas Y&V)
°C	Grado centígrado
w	Velocidad angular

INTRODUCCIÓN

Hoy en día con el extendido uso de la electrónica de estado sólido y de las computadoras, PLC's, DCS's, la necesidad de la energía eléctrica continua, confiable, de alta calidad llegó a ser crítica. Muchas instalaciones requieren energía continua, libre de fluctuaciones de tensión y frecuencia, de sobretensiones y transitorios. La industria requiere un sistema de reserva para suministrar potencia a servicios esenciales tales como: iluminación de reserva, circuitos de disparo, instrumentos, motores para la parada segura, durante una falla de energía; por lo que los sistemas eléctricos deben incluir dentro de su red, generadores para mantener la continuidad, calidad y seguridad operacional del servicio eléctrico.

En tal sentido la presente investigación tiene como base enfocar el dimensionamiento y la selección de los generadores de emergencia en el sector industrial considerando la caída de tensión, el sistema de puesta a tierra, el sistema de control, la secuencia de arranque, entre otros puntos, para indicar las recomendaciones pertinentes.

El propósito de la investigación es elaborar un documento que permita al Departamento de Electricidad de Empresas Y&V introducir a los Ingenieros de Proyectos en el tema y muestre las consideraciones de diseño para el dimensionamiento y selección de los generadores industriales.

Descripción de los capítulos:

En el CAPÍTULO I, se presenta el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos; conjuntamente con la metodología que permitirá alcanzar dichos objetivos.

En el CAPÍTULO II, se incluyen los aspectos teóricos de los sistemas de emergencia, la máquina sincrónica y el generador de emergencia.

En el CAPÍTULO III, se detalla la metodología para el dimensionamiento y la selección de los generadores de emergencia en sistemas industriales.

En el CAPÍTULO IV, se desarrollan casos prácticos aplicando la metodología establecida en el capítulo anterior.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones logradas en el tema de dimensionamiento y selección de generadores de emergencia en sistemas industriales.

CAPÍTULO I

1.1. Planteamiento del problema

Dada la problemática actual ocasionada por las crecientes interrupciones del suministro de energía, el uso de los generadores en el sector industrial, ha cobrado mayor relevancia, debido a que mediante esos generadores se pueden alimentar las cargas vitales y cierto porcentaje de la carga esencial, así como mantener los niveles adecuados de tensión durante el arranque de las mismas.

El adecuado diseño e instalación de los generadores de emergencia en la industria permite lograr una mayor eficiencia de los procesos productivos, evitando paradas de líneas de producción o la totalidad de la planta, evitando impactos ambientales y daños a equipos y personas.

1.2. Objetivo general

- Desarrollar una Metodología para Dimensionar y Seleccionar Generadores de Emergencia para el Sector Industrial.

1.3. Objetivos específicos

- Determinar la demanda asociada a las cargas vitales y las cargas esenciales que debe ser suministrada por el generador de emergencia, de acuerdo con la criticidad de los procesos industriales.
- Investigar las consideraciones para el dimensionamiento y selección de los generadores industriales.
- Realizar un análisis técnico de las fuentes de energía primaria (combustibles) para alimentar a los generadores de emergencia.
- Investigar las consideraciones de selección de los generadores industriales, tomando en cuenta la secuencia de conexión de cargas.
- Realizar los cálculos necesarios para la selección de Generadores de Emergencia en casos prácticos y formular recomendaciones para la implantación.
- Emitir un procedimiento que indique los pasos a seguir para seleccionar y ubicar generadores de emergencia industriales.

1.4. Metodología

- Conocer el sistema de calidad de Empresas Y&V.
- Entrevistar al personal de Y&V Ingeniería y Construcción para recolectar experiencias.
- Investigar las normas y prácticas de ingeniería avaladas a nivel nacional e internacional para el dimensionamiento de los generadores industriales.
- Revisar documentos en el Centro de Información Técnica de Empresas Y&V para obtener las normas y prácticas recomendadas aplicables en el dimensionamiento de los generadores de emergencia industriales.
- Realizar los cálculos necesarios para la selección de un generador de emergencia industrial en un rango de capacidad de 50 kVA a 3 000 kVA en casos de estudio desarrollados por Y&V Ingeniería y Construcción.
- Desarrollar la especificación del generador de emergencia industrial a los casos de estudio.
- Realizar un informe final y una presentación del proyecto al departamento de electricidad de Y&V Ingeniería y Construcción.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Definiciones

2.1.1 Motor eléctrico:

Es una máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica. [1]

2.1.2 Generado eléctrico:

Es una máquina que transforma energía mecánica en energía eléctrica. [1]

2.1.3 Motor-generator:

Unidad independiente de la fuente de alimentación eléctrica que consiste en un motor de combustión interna (diesel, gasolina) directamente acoplado a un generador eléctrico con su instrumentación, controles, dispositivos de protección, y sistemas auxiliares.

2.1.4 Carga vital:

Es el tipo de carga, que si falla en operación normal, o cuando se requiera, puede ocasionar una condición insegura del proceso y/o la instalación eléctrica, poner

en peligro vidas o causar daños mayores a la instalación. Su falla, se traduce en un problema de seguridad para el personal y la instalación industrial. [2]

2.1.5 Carga esencial:

Es el tipo de carga que si falla en su operación o cuando se requiera, puede afectar la continuidad, la calidad y la cantidad del producto. Su falla, se traduce en un problema económico. [2]

2.1.6 Carga no esencial:

Es el tipo de carga, que no se puede clasificar dentro de las vitales ni de las esenciales. [2]

2.1.7 Carga continua:

Es aquella cuya corriente máxima se mantiene durante tres horas o más para la operación normal de la planta o sistema, incluye iluminación. [3]

2.1.8 Carga intermitente:

Es toda la carga que deba ser requerida durante un periodo de tiempo y luego debe ser desconectada de manera repetida. [3]

2.1.9 Carga en espera:

Es aquella carga que es de respaldo o necesaria sólo en ocasiones de contingencia y no se requiere de manera permanente. [3]

2.1.10 Condiciones de espera:

Estado de equilibrio normal de un motor-generador listo para recibir una señal de inicio ya sea arranque en frío o por condiciones gestionadas de mantenimiento.

2.1.11 Fuente Auxiliar de Potencia:

Es una fuente auxiliar que energizará el sistema de emergencia mientras el generador tome carga, tiempo que puede ser de más de 10 segundos, su uso se aceptará cuando se requiera continuidad del servicio. [3]

2.1.12 Primo motor:

Es la máquina utilizada para desarrollar caballos de fuerza mecánica para manejar una emergencia o generador de reserva para producir energía eléctrica. [4]

2.1.13 Motor de combustión interna:

Es una máquina que transforma el calor producido por un combustible, en trabajo. En grupos de generación de emergencia, se usan comúnmente los que operan a cuatro ciclos, los cuales son admisión, compresión, explosión y escape. Se pueden

dividir en dos grupos, motores de ignición por chispa o motores de ignición por compresión; los primeros emplean como combustible típicamente gasolina o gas natural y los segundos diesel.

2.1.14 Energía primaria:

Es la fuente de suministro de energía eléctrica que normalmente está disponible y utilizada continuamente día y noche, habitualmente suministrada por una compañía de servicio eléctrico. [5]

2.1.15 Sistemas de potencia industriales:

“Un sistema de potencia industrial es uno donde predominan motores medianos y pequeños, sobre todo asíncronos que operan a tensiones bajas y medias. Generalmente constituyen el sistema eléctrico de potencia de una industria, están alimentados a niveles medios de tensión por una compañía comercial de suministro de energía eléctrica y pueden tener generación propia como respaldo.” [4]

2.2. Sistema de alimentación de emergencia:

Es una fuente de reserva independiente de la energía primaria que, en caso de falla o interrupción de la fuente normal, de forma automática proporciona la potencia eléctrica fiable en un plazo determinado a los dispositivos y equipos críticos cuyo fracaso para operar satisfactoriamente pondría en peligro la salud y la seguridad del personal o causar daños a la propiedad. [5]

2.2.1 Propósitos de los sistemas de alimentación de emergencia o de reserva:[5]

- La seguridad humana y la salud.
- Protección del medio ambiente.
- Evacuación no crítica.
- Protección de equipo, producto, material y propiedad.
- Continuación de la producción parcial o total.

2.2.2 Tipos de sistemas de alimentación de emergencia: [5]

- Fuente de energía eléctrica separada de la fuente principal de energía, funcionando en paralelo, que mantiene la alimentación de las cargas críticas si la fuente primaria falla.
- Fuente disponible de energía confiable a la que las cargas críticas son conectadas de manera rápida y automática si la fuente primaria falla.

2.2.3 Partes fundamentales del sistema de alimentación de emergencia:

2.2.3.1 Fuente de Alimentación Normal:

Es la asociada a la fuente de energía primaria.

2.2.3.2 Equipo de transferencia:

Son equipos automáticos que serán diseñados e instalados para prevenir la interconexión accidental de las fuentes de alimentación normal y de emergencia. Estos equipos poseen contactos auxiliares que se cierran cuando la fuente normal se interrumpe e inician el arranque y parada del motor-generador.

2.2.3.3 Carga:[2]

Se entenderá como la sumatoria de la potencia nominal en watt de los equipos eléctricos que se conectan al sistema estudiado. También puede ser expresada en otras unidades como voltampère o ampère según el enfoque del estudio.

2.2.3.4 Generador: (Ver 2.4. Generador de emergencia.)

2.2.3.5 Grupo motor:

Conformado por el motor de combustión interna y los sistemas que requiere para su correcta operación, entre estos sistemas tenemos: lubricación, admisión de aire, arranque y protección.

2.2.3.6 Sistema de suministro de combustible:

Este sistema debe ser capaz de entregar combustible limpio y continuo, y debe estar respaldado por un depósito de combustible de acuerdo a la potencia del grupo,

además se sugiere tener un depósito de uso diario y uno de mayor capacidad para evitar paros por falta de combustible.

2.3. Máquina Sincrónica:

Son máquinas eléctricas cuya velocidad de rotación n está vinculada rígidamente con la frecuencia f de la red de corriente alterna con la cual trabaja y con los pares de polos p de la máquina de acuerdo a la expresión (2.1).

$$n = \frac{60 * f}{p} [rpm] \quad (2.1)$$

Están formadas por dos devanados que en la generalidad de las máquinas y primordialmente en las máquinas de potencia mayor a 10 kVA se encuentran dispuestos de la siguiente manera:

Devanado inducido, en el estator, por éste circula corriente alterna trifásica.

Devanado inductor, en el rotor, alimentado por corriente continua, éste se puede encontrar de acuerdo a su construcción como rotor de polos salientes o rotor de polos lisos. El rotor de polos salientes esta asociado a bajas velocidades, debido a que su construcción permite la colocación de 4 o más polos; mientras que en rotor de polos lisos permite la colocación de 2 o 4 polos lo que se traduce en velocidades de giro del rotor de 3 600 y 1 800 rpm.

2.3.1 Principio de operación:

La máquina sincrónica, para generar energía eléctrica de corriente alterna, requiere de energía eléctrica de corriente continua y energía mecánica.

La corriente continua sirve de excitatriz para alimentar al rotor, en el que se crea un campo magnético constante, dicho campo girará a la velocidad del rotor una vez que la máquina motriz transfiera su energía mecánica. El campo magnético giratorio dentro la máquina induce voltajes trifásicos en los devanados del estator con una frecuencia f , según la expresión (2.2).

$$f = \frac{p^* n}{60} [Hz] \quad (2.2)$$

Al conectar la carga, circula corriente por el estator originando un campo giratorio en el estator (reacción de inducido), lo que indica que al cargar el generador obtendremos un campo magnético resultante de la suma del campo magnético del rotor y del estator, por lo que la tensión inducida en vacío difiere de la tensión inducida con carga, esto es debido a las caídas de tensión internas de la máquina.

Una condición importante que debe cumplirse para que exista par mecánico medio, es que el rotor debe girar a la misma velocidad del campo magnético rotatorio producido en el estator.

2.4. Generadores de emergencia:

Son generalmente máquinas sincrónicas en condición de espera que en conjunto con otros dispositivos y equipos suministran energía eléctrica a instalaciones cuando se presenta un evento indeseado en el suministro normal de energía. Estos se pueden clasificar de acuerdo a su operación, a su instalación o al tipo de combustible empleado en el motor que puede ser gas, gasolina, diesel o sistema diesel/gas.

2.4.1 Funcionamiento:

Un dispositivo de transferencia automática detecta cuando falla la energía normal suministrada por la compañía de servicios eléctricos, por lo que inicia el arranque del generador de emergencia con un retardo después de ocurrido el evento de falla, este retardo dependerá de los requerimientos del sistema y las normativas. Luego la energía eléctrica generada es conducida a los diferentes circuitos del sistema de emergencia a través del panel de transferencia.

Después de unos segundos de normalizado el servicio de alimentación primaria, automáticamente se realiza la retransferencia de la carga para ser alimentada por su fuente de energía primaria, quedando unos minutos encendida la planta para el enfriamiento del motor. El apagado del equipo es normalmente automático.

El generador de emergencia también puede ser accionado de forma manual para verificar el buen funcionamiento de la planta sin interrumpir la alimentación normal de la energía eléctrica.

2.4.2 Disponibilidad: [5]

Es la fracción de tiempo en que el sistema es realmente capaz de llevar a cabo su función. Ésta debe ser seleccionada prudentemente de acuerdo a las necesidades del sistema de emergencia, debido a que el aumento de la disponibilidad es proporcional al aumento de costos.

La disponibilidad inmediata de un sistema de emergencia, también se conoce como sistema de alimentación ininterrumpida, para estos sistemas cada vez es más común utilizar una batería dedicada, un cargador, un inversor y accesorios (ejemplo, un interruptor de transferencia estática).

Otro método para incrementar la disponibilidad del sistema de emergencia es el uso de un volante de inercia, pues este al almacenar energía cinética, puede impulsar al generador cuando falla la fuente primaria de energía eléctrica. Este sistema, con una selección adecuada de los componentes para reducir al mínimo la puesta en marcha y ejecutar los tiempos de preparación del motor, puede lograr tomar carga en un tiempo menor a los 2,30 segundos, con una variación de frecuencia menor al 3%.

2.4.3 Tipos de Servicio:

El tipo de servicio de los generadores de emergencia se adecua a la norma MG1-2006 “motores y generadores”, específicamente al régimen de operación de los generadores sincrónicos, debido a que estas son las máquinas que mejor se adaptan a aplicaciones donde se requieren velocidades de rotación constantes.

2.4.3.1 Régimen continuo/Prime:

El generador opera con la potencia nominal por periodo ilimitado de tiempo con la posibilidad de sobrecarga de hasta 10% durante 2 horas a cada 24 horas, sin sufrir cualquier daño en el bobinado.

El régimen de continuo o prime es aplicado principalmente donde no existe otra fuente de energía disponible.

2.4.3.2 Régimen de espera/Standby (temperatura ambiente 40°C):

Los generadores sincrónicos a veces son asignados al régimen de espera donde su aplicación es como fuente de energía de respaldo inmediata ante emergencia. En tales condiciones de operación, la temperatura del generador se eleva hasta 25°C por encima de la temperatura de servicio continuo. Las elevaciones de temperatura en este régimen de operación, causan que el aislamiento del generador envejezca en aproximadamente de 4 a 8 veces más rápido que cuando es usado en servicio continuo. [1]

En rango de emergencia la máquina no admite sobrecargas y opera con cargas variables hasta la potencia nominal del régimen stand-by (40°C). Es admitido que la elevación de temperatura del bobinado sea de hasta 150°C (conforme norma NEMA MG1).

La principal aplicación de este régimen es en el servicio de emergencia en locales suplidos por la red comercial u otra fuente principal de energía y como una

función secundaria ayudando a suplir picos de carga, donde la temperatura ambiente es de hasta 40°C, con limitación de 500 horas año. Generalmente los grupos motor-generadores que funcionan a 1 800 rpm en este régimen, requerirán de una reparación importante luego de aproximadamente 20 000 horas de operación, si en su mantenimiento siguen las recomendaciones del fabricante, garantizando así una vida útil prolongada a la unidad de generación.

2.4.3.3 Régimen de espera/Stand-by (temperatura ambiente 27°C):

Esta condición es semejante a la anterior. En este régimen el generador puede ofrecer mayor potencia, y es admitida una elevación de la temperatura de 163°C. La principal aplicación es en el servicio de emergencia donde la temperatura ambiente no sobrepasa 27°C, con limitación de 300 horas por año.

2.4.4 Normas:

2.4.4.1 “Código Eléctrico Nacional” (CEN). FONDONORMA 200:2004 :

El Código Eléctrico Nacional toma como referencia el “*National Electric Code*” (NEC), NFPA 70:2002 de los Estados Unidos. Además de las versiones anteriores del Código Eléctrico Nacional editadas hasta la fecha, para establecer especificaciones de diseño que permitan salvaguardar en forma real la integridad de las personas y propiedades de los peligros que implica el uso de la electricidad.

Para los efectos de los sistemas de emergencia presenta la sección 700, cuyos alcances de sus disposiciones aplican a la seguridad eléctrica de la instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de emergencia constituidos por circuitos y

equipos diseñados para alimentar, distribuir y controlar la electricidad para iluminación y/o potencia, cuando se interrumpe el suministro de energía eléctrica.

2.4.4.2 IEEE Standard 446. The Orange Book. “Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial And Commercial Applications”, 1995:

Las normas IEEE son documentos elaborados dentro de los Comités Técnicos de las Sociedades de la IEEE bajo consenso, siendo normas de uso totalmente voluntario y de común aplicación, debido a que son consideradas como una autoridad líder y de máximo prestigio en las áreas técnicas derivadas de la eléctrica.

La norma IEEE 446 conocida como el libro naranja ofrece prácticas recomendadas para sistemas de energía de emergencia y de reserva para aplicaciones industriales y comerciales.

Esta práctica recomendada provee una guía para el uso, las fuentes de energía, diseño y mantenimiento de los sistemas de energía de emergencia y de reserva. Concretamente, ofrece una discusión general sobre las necesidades y configuración de estos sistemas, enumera las necesidades de energía para industrias específicas, trata la selección de fuentes de energía, proporciona recomendaciones para proteger tanto a las fuentes de energía y equipo de conmutación durante condiciones de falla, da recomendaciones para el diseño del sistema de puesta a tierra, ofrece recomendaciones para el diseño de los objetivos de fiabilidad y brinda prácticas de mantenimiento de los sistemas de emergencia y de respaldo.

2.4.4.3 NEMA MG 2-2001, Safety Standard and Guide for Selection, Installation, and Use of Electric Motors and Generators, 2001:

La NEMA MG 2, es una norma de seguridad y guía para la selección, instalación y uso de las máquinas eléctricas rotativas, destinada a ayudar al usuario y el fabricante de las mismas. El cumplimiento con esta publicación por sí misma no garantiza una instalación segura. Sin embargo, cuando una máquina cumpla con esta publicación y se ha seleccionado correctamente con respecto a la carga accionada y el medio ambiente, y se instala en conformidad con las disposiciones aplicables de los códigos nacionales y buenas prácticas locales, los peligros a las personas y los bienes se reducirán.

2.4.4.4 National Electrical Manufacturers Association (NEMA) Standards Publications No. MG 1 “Motors and Generators”, 2003:

La NEMA es una asociación industrial norteamericana, creada el 1 de septiembre de 1926 que elabora normas a través de un proceso de consenso voluntario.

La NEMA MG 1 establece las pautas de uso, operación, seguridad, prueba, rendimiento, construcción y capacidades estándar de fabricación, entre otros detalles que permiten conocer las máquinas eléctricas de corriente directa y alterna en operación como motor y generador.

La sección IV de esta norma titulada normas de funcionamiento aplicable a todas las máquinas, en sus partes 32 y 33 destinadas, la primera a la calificación de los generadores sincrónicos y la segunda a la aplicación de los generadores sincrónicos en conjuntos de generación, sirven de referencia en el estudio de los

generadores de emergencia, sin dejar atrás el aporte de otros capítulos que ayudan a entender el funcionamiento de los motores industriales.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y LA SELECCIÓN DE GENERADORES DE EMERGENCIA EN SISTEMAS INDUSTRIALES

3.1. Consideraciones para el dimensionamiento y selección de generadores de emergencia en sistemas industriales

3.1.1 Carga:

Las cargas se pueden clasificar de acuerdo a su criticidad en cargas vitales, cargas esenciales y no esenciales. Dentro de cada clasificación se agrupan las cargas en función de las necesidades particulares de cada industria, la norma IEEE 446-1995 en su capítulo 3 enumera las más importantes en 13 categorías entre las que tenemos iluminación, arranques y paradas seguras, transporte, sistemas mecánicos, sistemas de calentamiento, sistemas de refrigeración, sistemas de producción, sistemas de ambiente controlado, protección contra incendio, sistema de procesamiento de datos, sistemas vitales, sistemas de comunicación y circuitos de señalización.

3.1.2 Generador sincrónico:

3.1.2.1 Capacidad:

Los generadores se construyen típicamente para las capacidades mostradas en la tabla 3.1 a factor de potencia de 0.8 en atraso (sobree excitado), para circuitos de 60 Hz. [1]

Tabla 3. 1. Capacidad en kilovolt-Ampère(kVA) y kilowatt(kW)

kVA	kW	kVA	kW	kVA	kW	kVA	kW	kVA	kW
50	40	156	125	375	300	875	700	1 875	1 500
62,5	50	187	150	438	350	1 000	800	2 188	1 750
75	60	219	175	500	400	1 125	900	2 500	2 000
93,8	75	250	200	625	500	1 250	1 000	2 812	2 250
125	100	312	250	750	600	1 563	1 250	3 125	2 500

NOTA: Se toman capacidades desde los 50 kVA hasta los 3 000 kVA por requerimientos del presente trabajo, pero existen más clasificaciones de capacidad que se extienden hasta los 75 000 kVA según la NEMA MG 1.

3.1.2.2 Voltaje:

Los generadores sincrónicos se construyen generalmente para la clasificación de voltajes que se muestra en la tabla 3.2, debido a que no es práctico construirlos para todos los rangos de capacidad o de voltajes.[1]

Tabla 3. 2. Clasificaciones de voltaje para circuitos de 60 Hz, en Volts. [1]

Trifásico		Monofásico
Voltaje discreto	Rango amplio	Voltaje discreto
208Y/120	208-240/416-480	120
240		120/240
480		240
480Y/277		
240/480		
600		
2400		
4160Y/2400		
4800		
6900		
13800		

El voltaje en los generadores sincrónicos está disponible en varias configuraciones de devanado y de conexión, útiles en diversas aplicaciones. Estas configuraciones se conocen como:

a) Voltaje discreto (discrete voltages):

Los generadores sincrónicos con voltajes nominales discretos son capaces de entregar la potencia nominal (kVA) conservando su factor de potencia y frecuencia nominal a cualquier voltaje, permitiéndose una variación de hasta 5 por ciento del voltaje nominal por arriba o por debajo (véase tabla 3.2), pero no necesariamente de acuerdo con las normas de rendimiento establecido para la operación a la tensión nominal. [1]

b) Rango amplio (broad range):

Los generadores sincrónicos de rango amplio son capaces de entregar la potencia nominal (kVA) conservando su factor de potencia y frecuencia nominal a cualquier voltaje dentro del rango (véase tabla 3.2), de conformidad con los estándares de desempeño establecidos en la norma NEMA MG 1 parte 33. Variaciones de tensión fuera de estos límites pueden causar daños en el generador y las cargas conectadas. Esta configuración permite obtener un rango amplio de voltajes nominales de salida a través del ajuste de los niveles de excitación. [1]

c) Rango extendido (extended range):

La configuración de rango extendido funciona como la de rango amplio, pero produce mayores niveles de voltajes. Donde el rango amplio puede producir voltajes nominales de 416 V a 480 V, el rango extendido puede producir voltajes nominales de 380 V a 480 V. [7]

d) Rango limitado (limited range):

El término se establece para generadores sincrónicos con un rango de ajuste de voltajes corto que no le permite entrar en las clasificaciones de rango amplio o rango extendido (por ejemplo para ajustes de 440 V a 480 V); además se puede utilizar para referirse a generadores de voltaje discreto con un tipo de conexión específica como 480Y Volt. [7]

e) Reconexión:

Se refiere a los generadores diseñados con 6 o 12 salidas en los que los devanados se encuentran separados, para realizar las conexiones delta o estrella según se requiera. Generalmente se diseñan generadores de reconexión de 12 derivaciones con seis devanados separados, dos en cada fase, que se pueden conectar en serie o en paralelo. Estos tipos de alternadores se producen principalmente por la flexibilidad, la eficiencia en la fabricación, conexión y prueba en fábrica.

f) Arranque incrementado del motor:

Este término se utiliza para describir un alternador más grande o uno con devanados de características especiales para producir una capacidad alta de corriente de arranque de motores. [7]

3.1.2.3 Aislamiento:

El aislamiento está basado en los aumentos de temperatura de las partes del generador sincrónico bajo condiciones de carga nominal, por encima de la temperatura del aire de refrigeración, la cual no podrá exceder los valores dados en la tabla 3.3. La temperatura del aire de refrigeración es la temperatura del aire exterior

al entrar en las aberturas de ventilación de la máquina, y los incrementos de temperatura dados en la tabla están basados en una temperatura máxima de 40°C para ese aire externo y sobre una base de trabajo continuo, por lo que para una base de trabajo de respaldo es recomendado no exceder los valores de la tabla 3.3 en más de 25°C. Para los casos donde la temperatura ambiente exceda los 40°C los valores de incremento de temperatura de la tabla 3.3 deben ser reducido en la cantidad de grados que la temperatura ambiente exceda los 40°C. [1]

Tabla 3. 3.Incremento de temperatura permitido para cada clase de aislamiento. [1]

Clase de aislamiento	B	F	H
Incremento de temperatura en °C	80	105	125

NOTA: En los devanados de armadura y campo, para cualquier capacidad de potencia utilizando como método de determinación la resistencia.

Existe una excepción, para máquinas totalmente cubiertas, con refrigeración agua-aire, la temperatura del aire de refrigeración es la temperatura del aire que expulsan los enfriadores. Estas máquinas son normalmente diseñadas para la temperatura máxima del agua de refrigeración encontrada en el lugar donde será instalada. Con una temperatura del agua de refrigeración no superior a aquella para la que está diseñada la máquina:

- En máquinas diseñadas para una temperatura del agua de refrigeración de 5°C a 30°C la temperatura del aire expulsado por los enfriadores no podrá ser superior a los 40°C.
- En máquinas diseñadas para temperaturas del agua mayores a la del agua de refrigeración de la zona, la temperatura del aire que expulsan los enfriadores podrá superar los 40°C siempre que los valores indicados en la tabla 3.3 se reduzcan en el número de grados que la temperatura del aire expulsado por los enfriadores exceda los 40°C.

3.1.2.4 Excitación:

a) Derivada:

La fuente de excitación del campo es tomada de la salida del generador, normalmente a través de transformadores de potencial conectados directa o indirectamente de los terminales de salida del generador. [5]

El sistema de excitación del generador es energizado a través del regulador de voltaje automático (AVR) por el ajuste del voltaje de salida del generador. El AVR mide continuamente el voltaje y frecuencia a la salida del generador y lo compara con los valores de referencia, luego suple la energía DC regulada a las bobinas de campo del excitador. El campo excitador induce una salida AC en el rotor excitador, el cual está sobre el eje del grupo motor-generator. La salida del excitador es rectificada por diodos rotantes que también se encuentran en el eje, estos finalmente suplen de energía DC al rotor principal, es decir al campo del generador. Ver Fig. 3.1. [7]

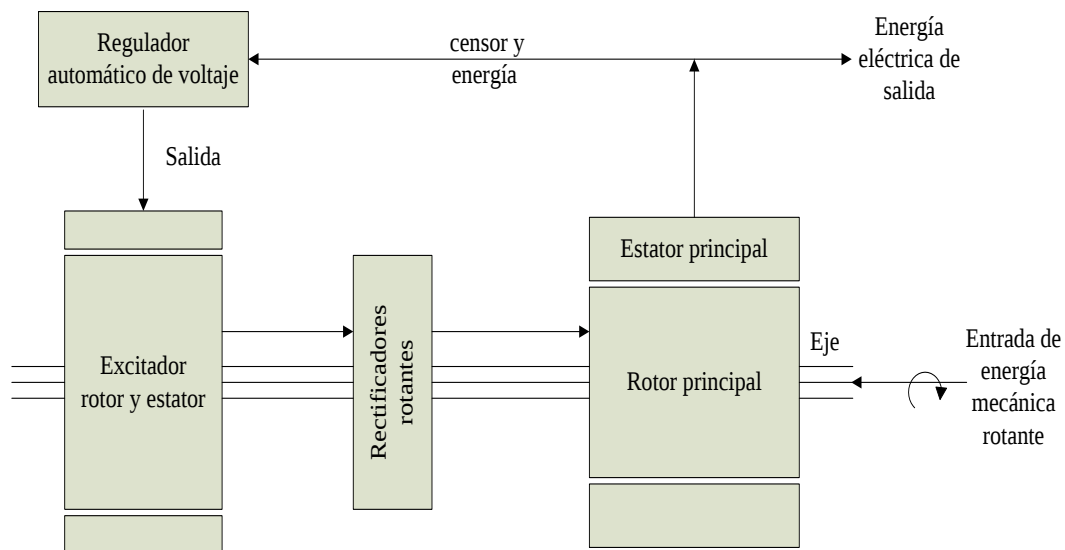


Figura 3. 1. Generador síncrono con excitación derivada. [7]

Ventajas:

- Es el sistema menos costoso disponible, comparado con el de excitación separada.
- Ofrece un buen servicio en todas las condiciones de funcionamiento cuando el motor-generador es del tamaño correcto para la aplicación.
- La ventaja de un sistema auto-excitado sobre un sistema de excitación separado, es que el primero está inherentemente auto protegido en condiciones de cortocircuito simétrico porque el campo "colapsa". Debido a esto, un interruptor de circuito en la línea principal para proteger el generador y los conductores del primer nivel de distribución puede considerarse innecesario, lo que también contribuye a la disminución de costos.

Desventajas:

- En algunos casos podría ser necesario seleccionar un generador más grande a fin de proporcionar un rendimiento aceptable ante el arranque de motores.
- En las máquinas auto-excitadas se confía en el magnetismo residual para energizar el campo. Si el magnetismo residual no es suficiente, será necesario restablecerlo con una fuente de alimentación DC.
- No pueden sostener las corrientes de falla el tiempo suficiente para disparar interruptores aguas abajo del circuito.

b) Separada:

La fuente de excitación del campo es tomada de una fuente independiente de la salida del generador. [5]

El sistema de excitación separada es similar a la del sistema de excitación derivada, excepto en que posee un generador de imán permanente (PMG) localizado sobre el eje del generador principal que supe de energía al AVR. (Ver Fig. 3.2) [7]

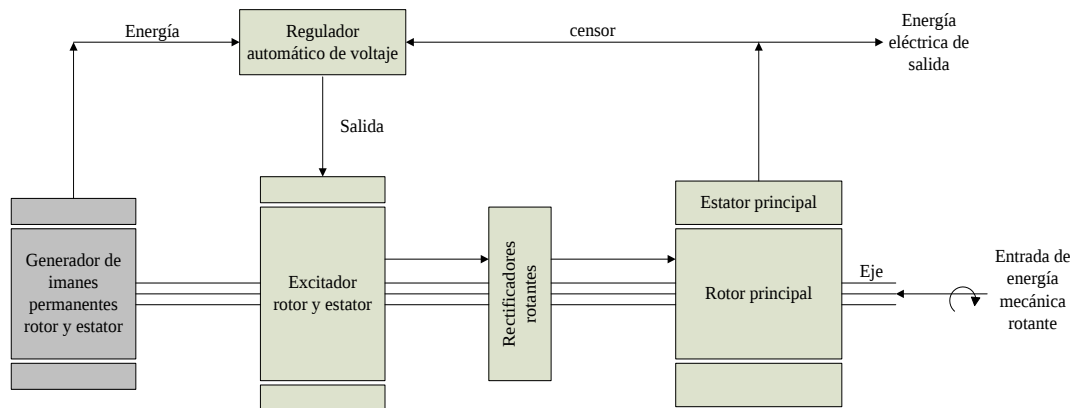


Figura 3. 2. Generador síncrono con excitación separada. [7]

Ventajas:

- La excitación del circuito no se ve afectada por las cargas conectadas al generador.
- El generador es capaz de sostener 2 o 3 veces la corriente nominal por aproximadamente 10 segundos.
- Es recomendable para aplicaciones donde se requiera mejorar la capacidad de arranque de motores, el rendimiento con cargas no lineales o extender la duración del desempeño ante corto circuito.

Desventaja:

Requiere protecciones ante condiciones de falla, debido a que es capaz de operar hasta la destrucción.

3.1.3 Motor

3.1.3.1 Gobernadores:

Son sistemas encargados del control de velocidad del motor de combustión interna; en aplicaciones a motores diesel presenta una mayor rapidez de respuesta que en aplicaciones a motores de gas, debido a que los primeros tienen una ruta mecánica más corta entre el actuador gobernador y el sistema de suministro de combustible a la cámara de combustión. [8]

Los gobernadores trabajan en modo caída o isócrono. En modo de caída, la velocidad del motor disminuye a medida que aumenta la carga, mientras que en un modo isócrono el gobernador mantiene la misma velocidad a cualquier carga, hasta la carga máxima. [5]

Los gobernadores pueden ser:

a) Mecánicos:

Controlan la entrada de combustible basado en la detección de los RPM del motor por contrapesos o similares. Estos sistemas presentan alrededor de 3-5 por ciento de regulación de velocidad desde vacío hasta plena carga en relación al diseño.

Ventajas:

- Generalmente la más económica.
- Pueden usarse en mayor rango de aplicaciones como aplicaciones marinas o en extremas temperaturas.

- Por lo general más fáciles de reparar.
- Conveniente para aplicaciones donde la caída de frecuencia no es un problema para las cargas conectadas.

b) Electrónicos:

Son utilizados para aplicaciones isócronas si la carga lo requiere o donde la sincronización activa y equipos en paralelo lo especifiquen. Los RPM del motor son generalmente registrados por un sensor electromagnético y el sistema de suministro de combustible del motor controlado por solenoides manejados por los circuitos electrónicos. Estos circuitos, ya sean controladores autocontenido o parte de un controlador microprocesador del grupo generador, utilizan algoritmos sofisticados para mantener la velocidad precisa (y así la frecuencia) de control. Los gobernadores electrónicos permiten al generador recuperarse más rápido que los gobernadores mecánicos de los transitorios producidos por la conexión de carga. Los gobernadores electrónicos siempre deben ser utilizados cuando las cargas incluyen UPS. Estos sistemas presentan alrededor del 0-2 por ciento de caída de la velocidad desde vacío hasta plena carga.

Motores modernos, especialmente diesel con sistemas de alimentación de combustible de plena autoridad electrónica, sólo están disponibles con los sistemas electrónicos de gobierno.

La demanda o requisitos de regulación para lograr una mayor eficiencia de combustible, bajas emisiones y otras ventajas, requieren el control preciso que estos sistemas ofrecen. [7]

Ventajas:

- Permiten mayor precisión.
- Pueden entrar en pequeñas áreas.
- Facilidad de ajuste para cambios en la aplicación.
- Se conecta fácilmente a otros dispositivos de control.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Respuesta rápida.

3.1.3.2 Sistemas de arranque:

Debido a que el motor de combustión interna no es capaz de arrancar por si solo, se requiere de un motor de arranque que lo ayude a vencer el estado de reposo en que se encuentra.

Estos motores de arranque son del tipo:

a) Arranque eléctrico:

Es un motor de corriente continua que se alimenta de baterías de plomo-ácido o níquel- cadmio de 12 V ó 24 V, estas baterías activan al solenoide de arranque que producirá par hasta alcanzarse el 20% al 30% de la velocidad nominal según el tipo de motor, una vez alcanzada la velocidad deseada por el sistema de control se deja de alimentar al solenoide de arranque, desacoplando dicho motor del motor de combustión interna.

b) Arranque neumático:

Estos motores tienen un rotor montado excéntricamente en un cilindro, con paletas longitudinales alojadas en ranuras a lo largo del rotor. El par se origina cuando el aire a presión actúa sobre las paletas. Esta aplicación es utilizada cuando se requiere un sistema de arranque redundante o en lugares donde se requieren evitar las chispas debido a un ambiente inflamable. Este tipo de arranque esta disponible para algunos grupos generadores grandes y para aplicaciones donde el aire comprimido es fácilmente disponible.

Se deben considerar a la hora de instalar un sistema de arranque de aire:

- Consultar recomendaciones del fabricante sobre el aire y volumen del depósito mínimo requerido por cada segundo de giro del cigüeñal.
- Conocer la presión máxima del sistema.
- Vigilar que el aire que llegue al motor esté limpio y a la presión adecuada para dicho motor.
- Mantener lubricadas las piezas móviles.
- Tener capacidad de aire en el tanque para soportar como mínimo 4 intentos de arranque de al menos 5 segundos cada uno.

3.1.3.3 Combustible:

La obtención de los combustibles a través del proceso de refinación del crudo determina la cantidad de contaminantes que estos pueden presentar, la refinación además permite ajustar el combustible a estándares tales que incrementen su valor agregado mediante la reducción de metales y elementos, entre ellos su principal contaminante que es el azufre. Actualmente se exige internacionalmente que las

partes por millón de azufre sean de 15 ppm según la EPA lo que resulta conveniente si tomamos en consideración que hace unas décadas se permitían 5000 ppm para el diesel y para la gasolina en 350 ppm.

Del proceso de refinación se obtiene gas, gas licuado de petróleo, gasolina, kerosene, diesel (gasoil), lubeoil y finalmente el fuel oil, en este mismo sentido se incrementan las impurezas y el contenido de NO_x , SO_x , CO, entre otros compuestos, los cuales al ser expulsados se unen en la atmosfera al ozono, transformándose en SO_3 y NO_2 que luego producen la lluvia ácida, tan dañina para los suelos, mares, ríos, aguas subterráneas y en las máquinas producen corrosión.

El combustible más adecuado para ser quemado en el motor de combustión interna debe ser seleccionado de acuerdo a las características del sistema a alimentar, considerando la rapidez de respuesta del sistema de emergencia, la disponibilidad del combustible, la autonomía, el ambiente donde se encontrara el combustible, las implicaciones ambientales, entre otros.

La disponibilidad del combustible debe ser estudiada en relación al lugar donde se encuentre la instalación y a las medidas que deben tomarse para el transporte del combustible.

La autonomía del combustible, determina la capacidad del tanque, dicha capacidad se obtiene tomando como base los estudios de consumo de combustible dados por el fabricante. Para motores diesel, el consumo aproximado es de 0,07 galones/hora por kW nominal (0,26 litros/hora por kW nominal), basados en un modo de operación de emergencia; para motores a gas licuado de petróleo, influyen

más variables en el cálculo del consumo del combustible, como lo son la temperatura, la energía almacenada en el combustible, la presión, la vaporización, el nivel del combustible en el tanque, entre otros factores que lo hacen específico a cada instalación y finalmente para los motores a gas natural, la autonomía la determina la disponibilidad de la fuente de combustible a la que está conectado el grupo electrógeno mediante las tuberías.

La Tabla 3.4., muestra las características más resaltantes de los combustibles empleados en máquinas de combustión interna para aplicaciones de emergencia.

Por ser el diesel el combustible más usado en aplicaciones de generación de emergencia, se reseñan sus cualidades más resaltantes y se establecen comparaciones de almacenamiento de este combustible cuando se usan tanques subterráneos y sobre suelo:

- a) La viscosidad se obtiene midiendo el número de segundos que tardan en pasar 60 cc de aceite por un tubo a una determinada temperatura, la mayor cantidad de los combustibles diesel tienen viscosidades que oscilan entre 30 y 45 Segundos Saybolt Universal (SSU) a 37,78 °C. Dicha característica indica qué tan fácilmente se atomizará y cómo afectará el funcionamiento de la bomba de inyección, el combustible. [9]
- b) El número de cetanos es la cualidad que define como influye en la ignición del combustible, la naturaleza química del mismo. Esta escala oscila en números del 30 al 60, donde el promedio de los motores de alta velocidad requieren un combustible que tenga un número de cetanos mayor de 45, mientras que los motores de ignición apenas funcionarán con combustibles con número de cetanos inferior a 25.

Tabla 3. 4. Tabla de combustibles usados para la generación de emergencia.

Diesel	Gas Natural	Gas Licuado de Petróleo	Gasolina
Recomendado por la norma ASTM D975 el diesel N°2-D, ya que brinda máximo desempeño en el arranque y maximiza la vida del motor.	Se transporta por tuberías.	Es de fácil manejo y transporte, no implica riesgos para la contaminación de aguas o suelos.	No recomendado, por su volatilidad y vida en almacenaje.
Su almacenamiento es de hasta dos años, por ello el dimensionamiento del tanque debe adecuarse al un pronóstico de uso.	No requiere almacenamiento.	Su almacenamiento es de tiempo indefinido.	
Cuando se almacena a un bajo volumen del tanque o en condiciones de alta humedad, permite la creación de microbios.	Es conveniente respaldarlo con GLP.	Su tanque debe dimensionarse de modo que permita el rango correcto de vaporización del gas a las más bajas temperaturas que puedan presentarse.	
A una temperatura ambiente menor a los -7 °C (20 °F) se usa el diesel Premium N°1-D, que funciona correctamente hasta -26 °C (-15 °F).	A una temperatura ambiente menor a los -7 °C (20 °F) generalmente arranca con mayor facilidad y acepta carga antes que los motores a diesel.	Tiene un poder calorífico mayor al del gas natural.	
Brinda buena estabilidad de frecuencia.	Brinda baja estabilidad de frecuencia.	Brinda baja estabilidad de frecuencia.	
Posee elevado poder calorífico y excelentes propiedades de combustión, que permiten la economía del combustible y la rápida disponibilidad del sistema.	Puede ser el combustible más económico si está disponible a los caudales y la presión necesarios.	Después del gas natural, es el combustible menos contaminante.	

- c) El punto de fusión, de encendido y color es un grupo de cualidades que guarda poca relación con el funcionamiento del combustible en una máquina, pero es útil para determinar las condiciones de su manejo, debido a que el punto de encendido es la temperatura a la que se inflaman los vapores que se desprenden por encima del combustible cuando se exponen a una llama descubierta. La seguridad en su manejo y almacenamiento será adecuada si es de 66 °C o más.[9]
- d) La potencia calorífica de los aceites combustibles varía de 9 720 a 11 100 Cal por kg. Mientras mayor sea la densidad, menor será la potencia calorífica. [9]
- e) En la tabla 3.5, se hace una comparación de las ventajas que tienen los tanques construidos sobre el suelo, con respecto a los enterrados.

Tabla 3. 5. Comparación entre tanques sobre e suelo y enterrados. [9]

Tanques sobre el suelo	Tanques enterrados
No tienen costo de excavación.	Se pueden llenar de combustible por gravedad.
Cualquier fuga se nota inmediatamente.	Se reducen los riesgos de incendio.
El mantenimiento es más fácil.	Puede darse una mejor apariencia al paisaje que presenta la planta.
Se extrae fácilmente el agua y el sedimento.	El área requerida es menor.

3.1.3.4 Otras consideraciones:

a) Consideraciones de ubicación:

La disposición y ubicación física de los equipos del sistema de emergencia influyen en la facilidad y costo de la instalación, por ello los generadores serán del

tipo adecuado al lugar donde se instalen. Además cumplirán con requisitos locales, normas internacionales e interpretaciones locales de las normas internacionales.

Al respecto el CEN, en su artículo 445.10, establece que los generadores cumplirán con los requisitos para motores especificados en 430.14, donde se expresa que:

“Los motores estarán situados de modo que tengan ventilación adecuada y que el mantenimiento, tales como la lubricación de los rodamientos y el cambio de las escobillas, pueda realizarse fácilmente”.

“Los motores abiertos que tengan conmutadores o anillos colectores serán ubicados o protegidos de modo tal que las chispas no puedan alcanzar a los materiales combustibles cercanos”.

Se debe prestar atención a las condiciones que circundan el área del sistema de emergencia pues existen disposiciones específicas para su instalación en áreas clasificadas y sitios especiales.

La ubicación del generador debe permitir el acceso para servicios de mantenimiento, inspección, reemplazo de componentes, reconstrucción y realización de pruebas con bancos de carga; atendiendo a las necesidades de seguridad en caso de siniestros naturales o provocados. También esta relacionada con el lugar de montaje del tablero de distribución, interruptores de transferencia, circuitos ramales, cargador de baterías, etc. Estas consideraciones varían si el equipo se instala en áreas interiores o exteriores.

La instalación en **Interiores** requiere:

- Generalmente de un cuarto dedicado con construcción certificada por bomberos locales.
- Facilidades de acceso para la unidad de generación.
- Estudio del flujo de ventilación.
- Conocimiento de métodos de almacenaje permitidos en interiores.
- Disponer de una distancia de un metro de espacio alrededor del generador.

La instalación en **Exteriores** requiere:

- Generalmente de una caseta a prueba de intemperie para proteger al sistema de emergencia del medio ambiente y de la corrosión (en zonas costeras); igualmente para proveer seguridad y estética.
- Sistemas de acondicionamiento a temperaturas específicas para combustible, refrigerante, baterías y aceite.
- Protección contra descargas atmosféricas.
- Cercas de seguridad.
- Caseta de paredes removibles.
- Cumplimiento de leyes acerca del ruido.

b) Normativas ambientales de Venezuela:

Cumplir con la Legislación Ambiental Venezolana, con la normativa ambiental que aplica a cada industria y con la normativa ambiental del municipio donde se establece la actividad industrial, es de gran importancia para mantener las pautas que garantizan la calidad ambiental, permitiendo el desarrollo normal de la

fauna y flora circundante. En los casos, donde a estos reglamentos ambientales se les considere muy permisivos y fuera de la normativa que se trabajada actualmente a nivel mundial, por razones de ética se recurre a la aplicación de las regulaciones ambientales dadas por la Unión Europea y el Banco Mundial.

Los decretos, leyes y resoluciones de los que se compone la Legislación Ambiental Venezolana establecen:

- Límites de calidad ambiental.
- Condiciones de medición de los límites establecidos.
- Límites a los que deben apegarse las industrias de acuerdo a la actividad que realicen, para garantizar la calidad ambiental definida por este mismo reglamento.

Para actividades de generación en sitio son aplicados entre otros los siguientes decretos:

1) Para el aire:

Decreto No. 638 de fecha 26-04-95, por el cual se dictan las *Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 4.899 Extraordinario del 19 de Mayo de 1995.

En el Capítulo II. Artículo 3, se muestra la tabla 3.6, donde se listan las cantidades máximas de contaminantes que puede contener el aire para mantenerse dentro de los límites de calidad.

Tabla 3. 6. Límites de calidad del aire.

Contaminante	Límite [g/m³]	Porcentaje de excedencia en lapso de muestreo [%]	Período de medición [horas]
Dióxido de azufre	80	50	24
	200	5	24
	250	2	24
	365	0,5	24
Partículas totales suspendidas	75	50	24
	150	5	24
	200	2	24
	260	0,5	24
Monóxido de carbono	10 000	50	24
	40 000	5	24
Dióxido de nitrógeno	100	0,02	24
	300	0,5	24
Oxidantes totales expresados como ozono	240	0,02%	1
Sulfuro de hidrógeno	20	0,5%	24
Plomo en partículas suspendidas	1,5	50	24
	2	5	24
Fluoruro de hidrógeno	10	2	24
	20	0,5	24
Fluoruros	10	2	24
	20	0,5	24
Cloruro de hidrógeno	200	2	24
Cloruros	200	2	24

En el Capítulo III. Sección II, se especifican los límites de emisión. Para la generación en sitio, aplican los listados en las tablas 3.7 y 3.8.

Tabla 3. 7. Límites de emisión de contaminantes al aire, para fuentes fijas de contaminación atmosférica.

Contaminantes	Actividad	Existentes [mg/m ³]	Nuevas [mg/m ³]	Observaciones
Dióxido de azufre	Centrales Térmicas Fuel-Oil	4500	3000	Cualquier potencia
	Instalaciones que utilizan Fuel-Oil (b)	5000	3400	
Monóxido de carbono	Combustible industrial	1150	1150	(b)
	Actividades sin normas específicas	400	400	(b)
Óxidos de nitrógeno (como NO ₂)	Actividades sin normas específicas	300	150	(b)
Partículas sólidas	Centrales térmicas e instalaciones que utilizan fuel-oil	200	175	Potencia <50 MW
		175	150	Potencia 50-200 MW
		150	120	Potencia >200MW

NOTA: (b) unidades en partículas por millón, ppm.

Tabla 3. 8. Límites de opacidad, para fuentes fijas de contaminación atmosférica.

Actividad	Unidades escala de Ringelmann	Observaciones
Centrales térmicas a Fuel-Oil	1	Valores no superiores a 2 en la Escala de Ringelmann, en períodos de 2 min/h
Combustión industrial	2	Instalaciones que utilizan Fuel-Oil

2) Para el ruido:

Decreto No. 2.217 de fecha 23-04-92, por el cual se dictan las *Normas sobre el Control de la Contaminación Generada por Ruido*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 4.418 Extraordinario del 27 de Abril de 1.992.

En el Capítulo II. Artículo 5, se establecen los niveles de ruido ambiental tolerables. (Ver tabla 3.9)

Tabla 3. 9. Ruido continuo equivalente (Leq).

Zona	Período diurno (6:30am-9:30pm) [dBA]	Período nocturno (9:31pm-6:29am) [dBA]
I Residencias unifamiliares, hospitales y escuela, cercanas a vías de bajo trafico.	55	45
II Residencias multifamiliares, cercanas a escasos comercios	60	50
III Sectores residenciales-comerciales, cercanos a pequeñas industrias y a vías de alto tráfico.	65	55
IV Sectores comerciales-industriales, inapropiados para la ubicación de viviendas, hospitales y escuelas.	70	60
V Sectores que bordean autopistas y aeropuertos.	75	65

Donde:

- Leq: es el promedio de todos los niveles de ruido presentes en un sitio determinado, dando como resultado el equivalente de ruido constante.
- dBA: Nivel de sonido en decibeles leído en escala A de un medidor de nivel de sonido (sonómetro). La escala A no diferencia las frecuencias muy bajas (al igual que el oído humano) y por lo tanto es mejor utilizarla para medir niveles generales de ruido.

En el Capítulo V. Artículo 11, se muestra como calcular el nivel de ruido para las fuentes fijas.

a) Fuente de ruido constante y estable:

Para calcular el nivel de ruido de una fuente sonora en una instalación se debe conocer el ruido continuo equivalente (Leq), exterior al sitio afectado, sin la fuente sonora en operación, según los casos siguientes:

- Caso I:

Cuando el Leq es mayor en 10 o más dBA, al nivel aceptable de la zona, entonces el nivel de ruido de la fuente sonora deberá ser, por lo menos, 10 dBA menor al Leq tomado en las condiciones descritas anteriormente.

- Caso II:

Cuando el Leq es menor, igual o supera en menos de 10 dBA al nivel aceptable de la zona, entonces el nivel de ruido de la fuente sonora deberá ser, por lo menos, igual al nivel de la zona, menos 3 dBA.

b) Fuente de ruido con niveles variables:

El nivel de ruido proveniente de la fuente sonora no deberá superar los límites indicados en la tabla 3.9.

c) Ruido, su regulación y tratamiento:

Las regulaciones para ruido continuo máximo permisible de día tiene como niveles representativos desde 57 dB en zonas urbanas hasta 67 dB en zonas industriales pesadas; estando especificado en la norma COVENIN 1565:1995 que para una jornada de trabajo de 8 horas el límite de exposición de ruido continuo es de 85 dBA, mientras que la OSHA establece como límite 90 dB.

Para reducir el ruido producido por el grupo motor-generator pueden usarse cabinas acústicas o una solución más económica puede ser la modificación del camino de ruido entre la gente y el equipo, apoyándose en la característica direccional del ruido.

d) Reglamentos de emisiones de escape:

Actualmente los generadores se pueden encontrar clasificados por categorías de emisiones estipuladas como Tiers1-4 en EE.UU. y Fases I-IIIa en la UE. Cada Tier o Fase creciente especifica menores cantidades de NOx, HC, CO y MP (material particulado) según el número de gramos por kilovatio-hora de los compuestos presentes en las emisiones de los motores diesel. En Venezuela no se ha establecido aun una clasificación de emisiones permitidas de este tipo, solo se cuenta con un decreto hecho en el año 95 sobre calidad del aire, donde las emisiones permitidas no eran tan restringidas como en la actualidad.

e) Puesta a tierra:

Los principios fundamentales de diseño de sistemas y equipos de puesta a tierra son tratados en detalle por las normas:

- IEEE Std. 141-1993, IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.
- IEEE Std. 142-1991, IEEE Recommended Practice for Grounding of industrial and Commercial Power Systems.
- IEEE Std. 1100-1992, IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment.
- IEEE Std. 242-1986, IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems.

Las prácticas recomendadas y esquemas de transferencia más usados en sistemas de emergencia aplicados a instalaciones industriales y comerciales, son tratadas en el Capítulo 7 de la norma IEEE 446-97. Según esta norma, “la consideración principal de los arreglos de puesta a tierra para los sistemas de emergencia y de reserva, es satisfacer las necesidades de continuidad del servicio eléctrico”. Los sistemas aislados cumplen con esta condición, ya que pueden seguir operando en presencia de una falla monofásica. Sin embargo, desde el punto de vista de la continuidad de servicio, los sistemas puestos a tierra a través de alta resistencia, presentan una ventaja adicional como lo es el control en el límite de las tensiones.

Requerimientos del sistema de puesta a tierra, según la norma IEEE 446-97 indican que:

- Los sistemas de corriente alterna de 50 V a 1000 V deben estar sólidamente puestos a tierra, de manera que la tensión máxima a tierra de los conductores activos no sea mayor a 150 V.
- Sistemas que suplen cargas fase-neutro deben también estar sólidamente puestos a tierra.

- Los sistemas comúnmente usados que requieren estar sólidamente puesto a tierras son:
 120/240 V monofásico a tres hilos
 208Y/120 V trifásico a cuatro hilos
 240/120 V trifásico a cuatro hilos en delta (el punto medio de una fase es usado como circuito conductor a tierra)
- Los sistemas comúnmente usados que no requieren ser sólidamente puestos a tierra son:
 240 V delta, trifásico a tres hilos
 480 V trifásico a tres hilos
 600 V trifásico a tres hilos

f) Protecciones:

Algunos códigos y normas que tratan la protección de generadores de emergencia son:

- IEEE Std. 141-1993, IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.
- IEEE Std. 242-1986, IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems.
- ANSI/NEMA MG 1-1993, Motors and Generators.
- NFPA 70-1996, National Electrical Code.

Según la norma IEEE 446-97, el generador de emergencia es el elemento más crítico y vital en el suministro eléctrico, ya que alimenta a las cargas prioritarias, es por ello que en cualquier aplicación, el usuario debe evaluar sus necesidades y

complementar las protecciones proporcionadas por el fabricante en función de la naturaleza crítica de la carga, para decidir sobre el mejor esquema de protección.

El régimen de protección elegido debe garantizar la fiabilidad de la fuente de energía de emergencia, de allí que es prudente evaluar las consecuencias de la pérdida de potencia de las cargas críticas contra los daños a la fuente de alimentación de emergencia. 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, además de ello considerar que 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.

g) Protección contra incendios:

De las normas NFPA, la norma NFPA 37 es la de principal uso en el establecimiento de los criterios para reducir al mínimo los riesgos de incendio durante la instalación y el funcionamiento de los motores de combustión estacionarios. Esta norma establece los requisitos mínimos de seguridad contra incendios para la instalación y el funcionamiento de los motores de combustión estacionarios y turbinas de gas, dando recomendaciones sobre ubicación, bases de apoyo, áreas peligrosas e instalaciones eléctricas de motores; consideraciones de tuberías, reguladores, válvulas y equipos de presión de combustibles gaseosos; criterios de instalación para tanques contenedores de combustibles líquidos; control de fluido de combustible, lubricación y escape del sistema de generación; control e instrumentación y características de protección de incendios. [10]

h) Operación en paralelo:

Según la norma NEMA MG-1:

“La operación en paralelo de motor-generadores, consiste en la conexión eléctrica (no mecánica) de dos o más conjuntos de generación, después de haber sido puestos en sincronismo. Donde grupos electrógenos con diferentes valoraciones de potencia y velocidad pueden conectarse en paralelo.”

“Las características del suministro principal deberán ser indicadas por el cliente, incluido el intervalo y la variación de voltaje, frecuencia, impedancia de la red, etc. Muchos de los factores que afectan al funcionamiento en paralelo de los generadores están contenidos en el motor. Sin embargo, las características del equipo que controla al sistema, en el que el conjunto va a operar, también imponen condiciones que deben tenerse en cuenta.”

“Cuando así lo solicite, el fabricante del generador debe suministrar lo siguiente y cualquier otra información que pueda ser necesaria para determinar los requisitos del sistema para el funcionamiento en paralelo con éxito:

- a) Coeficiente de Sincronización de torsión, Pr. A menos que se especifique lo contrario, el valor de Pr debe corresponder a una frecuencia de pulsación de la mitad del número de revoluciones.
- b) Inercia del rotor del generador.
- c) Tercera armónica de voltaje, sin carga y a plena carga.”

La generación en paralelo se considera favorable para cargas por encima de los 500 kW, aunque para cargas menores es técnicamente posible, no se considera económicamente factible.

El uso de generadores en paralelo presenta ventajas como:

- Mayor flexibilidad, en casos donde no se dispone de una amplia área para conectar una unidad de generación grande, se pueden colocar varias unidades pequeñas distribuidas en la instalación.
- Mayor fiabilidad, la redundancia dada por el funcionamiento en paralelo permite la redistribución de las cargas críticas en las unidades restantes en casos de fallar una unidad de generación, minimizando los riesgos de falta de energía.
- Facilidad de mantenimiento, las unidades individuales pueden ser desmanteladas y revisadas sin interrumpir el funcionamiento de otras unidades.
- Facilita la expansión o reducción de la capacidad de generación, evitando gastos innecesarios y la acumulación de unidades de generación que no se utilizarán. La expansión será posible si se cuenta con el espacio para la instalación de unidades adicionales y en caso de reducción, pueden descartarse las unidades redundantes.
- El avance continuo de la tecnología de generación en paralelo, esto permite la reducción de costos en los sistemas de control digital aplicados a este tipo de generación, haciendo posible el aumento de su implementación.
- La escalabilidad, que consiste en sumar sistemas más pequeños hasta alcanzar el tamaño de la carga, las instalaciones en crecimiento pueden decidir diseñar un sistema con la previsión de agregar más elementos de capacidad en el futuro, reservando el espacio necesario y preseleccionando la corriente permanente admisible del cableado a su carga final. El coste de capital y el mantenimiento necesario se postergan hasta que el crecimiento de la carga crítica garantice la inversión.
- Se ponen en funcionamiento los generadores a los niveles de carga y velocidad adecuados, pues el sistema de control en función de la capacidad que se requiera para alimentar en un momento dado, enciende las unidades

precisas y distribuye las cargas. En el caso de un solo generador, éste tendría que trabajar con muy poca carga, lo cual no es conveniente.

El uso de generadores en paralelo presenta desventajas como:

- Están involucrados mayores detalles de funcionamiento, en comparación con un sistema de un solo motor-generador, lo que exige una mayor experiencia técnica para diseñar, instalar y configurar el sistema. Considerando el balanceo de carga, la sincronización, el control de velocidad y la regulación de voltaje, entre otros detalles del grupo de máquinas. Este tipo de exactitud hace que generalmente se limite la configuración en paralelo a grandes proyectos o aplicaciones de misión crítica.
- Dificultad en la configuración, que se incrementa en la medida en que los generadores sean fabricados por diferentes proveedores y los controladores se basen en una combinación de tecnologías analógicas y digitales. Una solución a esto es especificar un sistema completo preconfigurado, fabricado y precomprobado por un solo fabricante.
- La falta de sincronización antes de la conexión podría causar una elevada corriente de cortocircuito o el desgaste en el generador y/o de sus equipos de conmutación.

i) Tiempos recomendados para la puesta en servicio del generador de emergencia:

- Según el CEN:

“El suministro eléctrico del sistema de emergencia será tal que, en caso de falla del suministro normal al edificio o grupo de edificios afectados, el suministro de

emergencia para iluminación, potencia o ambos se restablezca dentro del tiempo necesario para la aplicación sin exceder 10 segundos.”

- Según la IEEE Std. 446:

Consideración preliminar de los tiempos alimentación de las cargas en sistemas de emergencia, (ver tabla 3.10).

Tabla 3. 10. Disponibilidad requerida para la alimentación de las cargas.

Necesidad		Disponibilidad	Tiempo mínimo recomendado de alimentación durante la falla	Justificación del sistema
General	Específica			
Iluminación	Evacuación de personal	Hasta 10 s. Preferible, no más de 3 s.	2 h	Prevención del pánico, lesiones o pérdida de la vida.
	Perímetro y seguridad	10 s	10-12 h durante las horas de oscuridad	Protección de la propiedad.
	Advertencia	De 10 s hasta 3 min.	Hasta retornar la energía normal	Protección de la propiedad y el personal.
	Restauración del sistema normal	De 1 s a tiempo indefinido en función de la luz disponible.	Hasta efectuar reparaciones y restaurarse la energía	Riesgo de corte de energía e iluminación extendido debido a largos tiempos de reparación.
	Tiempo de apagado ordenado	De 0,1 s a 1 h.	De 10 min a varias horas	Protección de la propiedad y el personal
Arranque del sistema de energía.	Calderas	3 s	Hasta retornar la energía normal	Prevención de daños a la propiedad debido a congelamiento
Sistemas mecánicos	Caldera de energía	0,1 s	1 h hasta retornar la energía normal	Mantener la producción
	Ventiladores y suplantes para Ventilación y calefacción.	0,1 s hasta retornar la energía normal.	Indefinido hasta evaluarse	Mantener en funcionamiento: - La caldera. - La ventilación y purga la una unidad de gas. - La ventilación, calefacción y refrigeración.

Tabla 3. 10. Disponibilidad requerida para la alimentación de las cargas.(Cont.)

Necesidad		Disponibilidad	Tiempo mínimo recomendado de alimentación durante la falla	Justificación del sistema
General	Específica			
Acondicionamiento de área	temperatura	10 s	1 min hasta retornar la energía normal	Prevención de riesgos al personal. Continuación de las actividades normales.
	Presión	1 min	1 min hasta retornar la energía normal	Prevención de daños al producto o la propiedad. Cumplimiento con las leyes, códigos y normas locales.
	Carga estática	10 s o menos.	Hasta retornar la energía normal	Prevención de la carga eléctrica estática y los peligros asociados. Continuación de la producción normal (Operación de la imprenta, operaciones con pintura de aspersión)
	Ventilación (gases tóxicos)	15 s	Hasta retornar la energía normal o apagar ordenadamente.	Reducción de los riesgos para la salud. Cumplimiento con las leyes, códigos y normas locales. Reducción de la contaminación
	Ventilación (atmosfera explosiva)	10 s	Hasta retornar la energía normal o apagar ordenadamente.	Reducción de los riesgos de explosión. Prevención de riesgos a la propiedad. Cumplimiento con las leyes, códigos y normas locales. Bajos riesgos de incendio. Prevención de riesgos al personal.

Tabla 3. 10. Disponibilidad requerida para la alimentación de las cargas.(Cont.)

Necesidad		Disponibilidad	Tiempo mínimo recomendado de alimentación durante la falla	Justificación del sistema
General	Específica			
Acondicionamiento de área (cont.)	Ventilación (equipo especial)	15 s	Hasta retornar la energía normal o apagar ordenadamente.	Depuración de la operación para el apagado o encendido Reducción de los riesgos al personal y la propiedad. Cumplir con los requisitos de la compañía de seguros. Cumplimiento con las leyes, códigos y normas locales. Continuación de la operación normal.
	Control de emisión de aire	1 min	Indefinido hasta ser evaluado.	Cumplimiento con las leyes, códigos y normas locales. Continuación de la operación normal.
Protección contra incendio	alarma	1 s	Hasta retornar la energía normal	Cumplimiento con las leyes, códigos y normas locales. Minimizar los daños a la vida y la propiedad.
	Iluminación auxiliar	10 s	5 min hasta retornar la energía normal.	Servir de guía visual para el personal de extinción de incendios.
Procesamiento de datos	Cinta de memoria CPU/disco de almacenamiento y periféricos.	½ ciclo	Hasta retornar la energía normal o apagar ordenadamente.	Prevención de la pérdida de programas. El mantenimiento de las operaciones normales de nómina, control de procesos, máquina control, almacenamiento, reservas, etc.

Tabla 3. 10. Disponibilidad requerida para la alimentación de las cargas.(Cont.)

Necesidad		Disponibilidad	Tiempo mínimo recomendado de alimentación durante la falla	Justificación del sistema
General	Específica			
Señal de Circuitos	Alarma y anuncio	De 1 a 10 s	Hasta retornar la energía primaria	Prevención pérdidas por robo, revuelta o incendio premeditado. El mantenimiento de los sistemas de seguridad. Cumplimiento con las leyes, códigos y normas. Alarma de críticas fuera de la tolerancia a la temperatura, presión, nivel de agua, y otras condiciones peligrosas o riesgosas. Prevención de la pérdida económica.
	Sistemas de alerta en tierra para aeronaves, ferrocarril y barcos.	De 1 s a 1 min.	Hasta retornar la energía primaria	Cumplimiento con las leyes, códigos y normas locales. Prevención de lesiones al personal. Prevención de pérdidas económicas.
Comunicaciones	Interior al edificio	10 s	Hasta retornar la energía primaria	Continuación de las actividades normales y control
	Sistemas de radio	10 s	Hasta retornar la energía primaria	Mantenimiento de la seguridad y alarmas contra incendios. Proporcionar instrucciones de evacuación. Continuación del servicio a los clientes. Prevención de pérdida económica.
	Sistemas de intercomunicación	10 s	Hasta retornar la energía primaria	Prevención de pánico Dirigir actividades durante emergencias
	Sistema de buscapersonas	10 s	½ h	Mantener las actividades normales y de la seguridad.

Tabla 3. 10. Disponibilidad requerida para la alimentación de las cargas.(Cont.)

Necesidad		Disponibilidad	Tiempo mínimo recomendado de alimentación durante la falla	Justificación del sistema
General	Específica			
Producción	Control de procesos	De ininterrumpida a 1 min.	Hasta retornar la energía normal	Prevención de pérdidas de maquinaria y procesos computarizados de control de maquinaria. Mantenimiento de la producción. Prevención de riesgos.

3.2. Pasos para el dimensionamiento y selección de generadores de emergencia en sistemas industriales

En el procedimiento a seguir para dimensionar, seleccionar y ubicar generadores de emergencia industriales se deben tomar inicialmente las siguientes consideraciones:

3.2.1 Concernientes a las cargas:

- a) Establecer los alcances del funcionamiento del generador en la instalación, es decir, definir a modo general la carga industrial que se desea respaldar.
- b) Del total de la carga industrial, analizar y cuantificar qué cargas son vitales, esenciales y no esenciales.
- c) Determinar la carga total a ser alimentada por el generador, compuesta por las cargas vitales, parte de las cargas esenciales, cargas de necesidad adicional y un 20% de reserva. [11]

- d) Revisar los requerimientos de las cargas:
- Frecuencia.
 - Voltaje nominal y niveles soportables de variación de tensión.
 - Corriente nominal.
 - Potencia nominal.
 - Potencia de salida.
 - Factor de potencia.
 - Disponibilidad en unidades de tiempo.
 - Eficiencia.
 - Corriente de arranque o letra código.
 - Servicio por ciclos de trabajo (continuo, intermitente o reserva).
- e) Completar los datos faltantes con datos típicos consultando catálogos u otras fuentes.
- f) Conocer del sistema:
- Niveles de tensión.
 - Frecuencia.
 - Número de fases e hilos.
 - Puesta a tierra.
- g) Para instalaciones existentes consultar diagramas unifilares y verificar la necesidad de expansión.
- h) Para instalaciones no existentes definir los esquemas de conexión de las barras, los niveles de tensión a utilizar, realizar un boceto del diagrama unifilar y distribuir las cargas.

- i) Revisar los factores de demanda y de coincidencia.
- j) Elaborar la estimación de la demanda eléctrica de las cargas que serán alimentadas por el generador de emergencia.
- k) Obtener información sobre las condiciones ambientales de la instalación:
 - Altitud.
 - Temperatura ambiente.
 - Ubicación.
 - Tipo de área.

3.2.2 Concernientes al generador:

- a) Seleccionar el voltaje nominal del generador de acuerdo a las características de la carga.
- b) Establecer criterios ante el uso de un sistema de generación en un voltaje mayor, si la corriente requerida por el sistema es elevada. (ver Tabla 3.2. Clasificaciones de voltaje)
- c) Seleccionar el tipo de configuraciones de devanado y de conexión más conveniente. (ver 3.1.2.2 de a hasta f)
- d) De acuerdo a la temperatura ambiente y a los generadores comerciales establecer el aislamiento del sistema, éste generalmente es de clase F o clase H, para el rango de capacidad de 50 kVA a 3 000 kVA.

- e) Definir el sistema de excitación relacionada con la seguridad y la disponibilidad.
- f) Definir el lugar donde se ubicará el generador y los equipos asociados al sistema de generación emergencia.
- g) Determinar el tiempo en que el generador deberá estar listo para aceptar la carga.
- h) Determinar la capacidad nominal del generador:

La capacidad del generador debe ser suficiente para mantener los niveles de tensión adecuados durante el arranque de las cargas esenciales y conservar alimentadas cargas permanentes como iluminación, señalización y otros equipos. Por ello se debe elaborar una secuencia de arranque de los motores comenzando por los más grandes, arrancando cada uno a intervalos de 10 segundos, si el proceso requiere intervalos más cortos se estudiará la aceleración del motor y los tiempos de recuperación de la tensión del generador, disminuyendo los intervalos al mínimo aceptable. [11]

3.2.3 Concernientes al motor:

- a) Conocer el tiempo de arranque en frío y para tomar carga.
- b) Definir el gobernador (Regulador).
- c) Definir el sistema de arranque basados en el:
 - Tamaño del generador.

- Número de arranques disponibles.
- Nivel de seguridad.

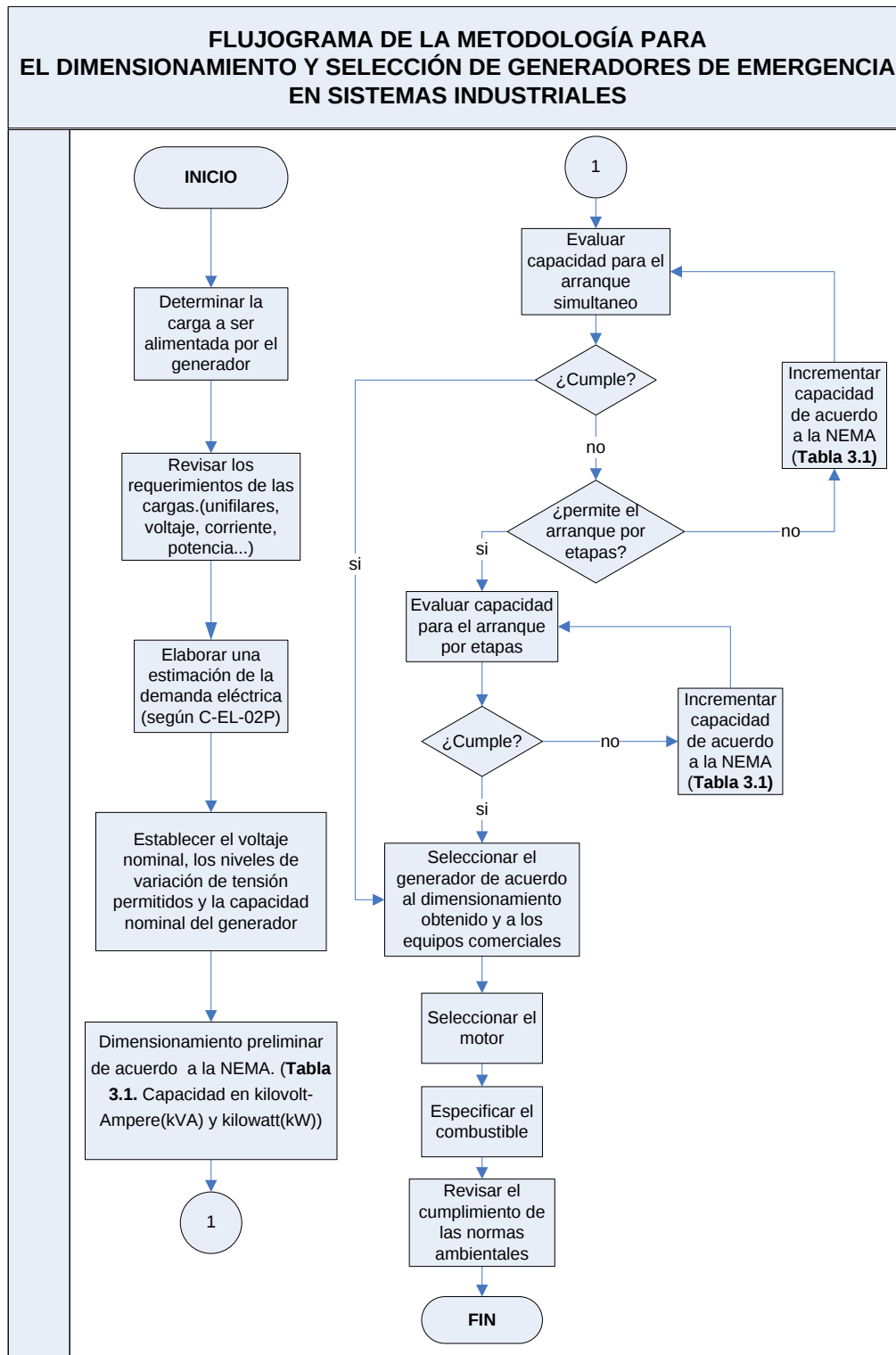
3.2.4 Concernientes al combustible:

- a) En función del tiempo de respuesta se puede considerar que tipo de combustible se requerirá.
- b) Estudiar la disponibilidad y confiabilidad del suministro.
- c) Estudiar los aspectos de seguridad de la instalación en relación al combustible.
- d) Pronosticar el tiempo posible de operación.
- e) Determinar la capacidad de almacenaje.
- f) Determinar el tipo de tanque.

3.2.5 Concernientes a las normas ambientales:

- a) Revisar el cumplimiento con la legislación ambiental venezolana.
- b) Revisar normativas ambientales aplicables al caso de estudio.

3.3. Flujograma para el dimensionamiento y selección de generadores de emergencia en sistemas industriales



3.3.1 Aclaratorias sobre el flujograma:

3.3.1.1 Determinar la carga a ser alimentada por el generador:

La decisión de la carga a ser alimentada por el generador de emergencia debe ser tomada por los conocedores del proceso industrial para garantizar la seguridad de las personas y la operación segura de la maquinaria.

3.3.1.2 Dimensionamiento preliminar

En este punto se debe calcular la potencia que consume cada uno de los equipos en condiciones de estabilidad, es decir, sin considerar el arranque. Para ello se llevarán los hp mecánicos de los motores a kVA o kW, según la ecuación (3.1).

$$hp = \frac{kVA * fp * eficiencia}{0,746} = \frac{kW * eficiencia}{0,746} \quad (3.1)$$

Luego se sumará la potencia de todos los equipo tomando en consideración los coeficientes correspondientes a cada tipo de carga (continua, intermitente y de reserva), el resultado establecerá la capacidad de potencia preliminar. Dicha capacidad será tomada de los estándares de construcción de generadores sincrónicos expuestos en la tabla 3.1, que lista las capacidades kilovolt-Ampère(kVA) y kilowatt(kW). Esta tabla será usada para tomar como nominal, una potencia igual o mayor a la calculada en la estimación de demanda.

3.3.1.3 Evaluar la existencia de algunos tipos de arranque:

Para cargas sobre los 150 kW en baja tensión y cargas sobre los 400 kW en media tensión, existen aplicaciones que requieren el estudio de otros tipos de arranque, además del directo. Pues un método de arranque a tensión reducida, resguarda a las piezas mecánicas de los esfuerzos producidos por el elevado par de arranque, protege a los devanados del sobrecalentamiento producido por la elevada corriente de arranque que degrada el barniz aislante del bobinado y evita caídas de tensión que afectan a otras cargas conectadas a la misma alimentación de motores, por nombrar las ventajas más notables.

Los arrancadores que presentan mayores ventajas operativas actualmente son los arrancadores suaves de estado sólido, pues el arranque por autotransformador y estrella/triángulo, aunque reduce los fenómenos transitorios mecánicos y eléctricos, presentan limitaciones en su aplicación, como lo es la falta de control en la corriente y velocidad de parada del motor; particularmente en el caso del arranque por autotransformador no se tiene control sobre los incrementos bruscos del par al cambiar la tensión y en el caso del arranque por estrella/triángulo la conmutación de una conexión a otra, origina un nuevo punto de par transitorio, además del inicial.

Los arrancadores de estado sólido tienen ventajas, pues pueden arrancar por tensión reducida y limitación de la corriente de partida, por rampa de corriente y por rampa de torque, sumándole a este tipo de control que las rampas pueden ser modificadas para cubrir variaciones en las cargas, además tienen control sobre las corrientes de parada de los motores. Estos arrancadores son particularmente útiles cuando se quiere arrancar cargas livianas con un arranque no violento y eventualmente tienen limitaciones para aplicaciones que requieren un par elevado de motor desde el principio.

Con la intención de obtener un arranque mecánico suave que evite altas caídas de tensión y que requiera menores potencias de inicio del generador, se emplean tipos de arranque como los expuestos en la tabla 3.11.

Tabla 3. 11. Factores de arranque a voltaje reducido. [12, 7]

Tipo	Factor de multiplicación de SkVA	Torque
Resistor, Reactor e Impedancia		
80% Tap	0.80	0.68
65% Tap	0.65	0.46
50% Tap	0.50	0.29
45% Tap	0.45	-
Autotransformador		
80% Tap	0.68	0.68
65% Tap	0.46	0.46
50% Tap	0.29	0.29
Estrella-Delta	0.33	0.33
Devanado fraccionado	0.60	0.48
Estado sólido ajustable	Dado por el fabricante o aproximadamente 300% de los kV*A a full carga.	-

De pertenecer alguno de estos tipos de arranque al sistema eléctrico industrial debe ser considerado al dimensionar el sistema de emergencia, si el sistema está en su etapa de diseño, puede ser considerada la aplicación de algún método de arranque si realmente se requiere, pero pensar en modificar el sistema eléctrico para evitar sobredimensionar el sistema de emergencia es por lo general una solución ni técnica ni económicamente viable. La implementación de estos equipos disminuye la

confiabilidad, incrementa los tiempos de arranque y en ocasiones el costo de los equipos. Su instalación y mantenimiento pueden ser del mismo orden de magnitud o incluso mayor al costo de sobredimensionar el generador.

3.3.1.4 Cálculo de la potencia de arranque:

En el caso de motores, la potencia que requieren para arrancar. Se puede calcular según la ecuación (3.2):

$$SkVA = hp * \left(\frac{RBkVA}{hp} \right) * factorSkVA \quad (3.2)$$

Donde:

factor SkVA: es 1,0 para arranque a voltaje completo o el valor que indique la tabla 3.11 de arranque a voltaje reducido.

RBkVA/hp: son los kVA/hp a rotor bloqueado, de acuerdo a la letra código NEMA en motores AC. Relación que se obtiene del siguiente modo:

- Si se conoce la letra código de diseño dada por el fabricante, según la tabla 3.12. [1]
- Si se conoce la corriente de rotor bloqueado (A_{RB}), el voltaje de línea (V_{LINEA}) y los *hp* del motor, se puede hallar la potencia de arranque como se muestra en la ecuación 3.3. [1]

$$RBkVA/hp = \frac{A_{RB} * V_{LINEA}}{1000 * Hp} * \sqrt{3} \quad (3.3)$$

Tabla 3. 112. Letras código en motores AC. [1]

Letra código	kVA por hp
A	0-3,14
B	3,15-3,54
C	3,55-3,99
D	4,0-4,49
E	4,5- 4,99
F	5,0- 5,59
G	5,6- 6,29
H	6,3- 7,09
J	7,1- 7,99
K	8,0- 8,99
L	9,0- 9,99
M	10,0-11,19
N	11,2-12,49
P	12,5-13,99
R	14,0-15,99
S	16,0-17,99
T	18,0-19,99
U	20,0-22,39
V	22,4 en adelante
Desconocida	6
Motor rotor bobinado no tiene letra código	

3.3.1.5 Caída de tensión:

La caída instantánea de tensión al momento del arranque de cualquiera de las cargas o etapas de carga, se puede calcular a través de las curvas dadas por los fabricantes, la norma NEMA MG-1 y la norma IEEE 399-97.

A) Información de los Fabricantes: [1]

En la selección o la aplicación de generadores sincrónicos la caída de tensión, a raíz de un aumento repentino en la carga, es a menudo especificada o requerida. Cuando lo solicite el comprador, el fabricante del generador debe suministrar la regulación de voltaje transitorio esperada, asumiendo las siguientes condiciones a menos que se especifique lo contrario:

- a) Velocidad constante (nominal).
- b) Generador, excitador y regulador operando inicialmente sin carga a tensión nominal y comenzando desde la temperatura ambiente.
- c) Aplicación de carga de impedancia lineal constante.

B) Cálculo según la norma NEMA MG-1:

A falta de información suministrada por los fabricantes, el valor de la caída de voltaje puede estimarse a partir de las constantes de la máquina, con sujeción a las condiciones siguientes:

- a) Tiempo de respuesta del regulador de voltaje ≤ 17 milisegundos.
- b) Sistema de excitación con voltaje tope $\geq 1,5$ x voltaje nominal de campo.
- c) Caída de tensión calculada :

$$\% \Delta V = \frac{X'd}{X_L + X'd} * 100 \quad (3.4)$$

Dónde:

- $X_L = \frac{\text{kVA nominales del generador}}{\text{kVA de la carga a bajo factor de potencia}} \quad (3.5)$
- $X'd$ = reactancia transitoria del eje directo, por unidad.

d) A menos que se especifique lo contrario se asumirá:

- Velocidad nominal constante.
- Generador, excitador y regulador inicialmente operando sin carga a voltaje nominal, arrancando desde la temperatura ambiente.
- La aplicación de una carga de impedancia lineal.

C) Cálculo según la norma IEEE 399-97:

Según la norma IEEE 399-97, cuando para una evaluación preliminar de diseño se presenten casos de desconocimiento o ausencia de datos precisos en las características de las cargas y los motores, se puede asumir:

- La conversión de hp a kVA:
En motores sincrónicos con factor de potencia en estado estacionario de 0,8 inductivo, 1 hp es igual a 1 kVA.
En motores sincrónicos con factor de potencia en estado estacionario de 1,0 1 hp es igual a 0,8 kVA.
En motores de inducción según la ecuación 3.1.
- Los efectos mecánicos como la respuesta del gobernador, los cambios en la velocidad del primo motor, la inercia, entre otros son despreciables.
- Las pérdidas son despreciables. Se usarán en los cálculos sólo las reactancias.
- La respuesta del excitador es modelada linealmente.

- La carga de arranque del motor es de impedancia constante.

El cálculo de la caída de tensión del generador sincrónico se hará según las consideraciones anteriores y con ayuda de la figura 3.3, como sigue:

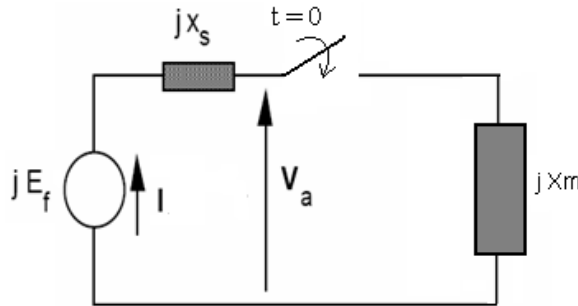


Figura 3. 3. Arranque de motor alimentado por un generador sincrónico de polos lisos.

- Se calcula la potencia de arranque ($SkVA$), según la ecuación (3.2).
- Luego, la impedancia del motor en por unidad, en el instante del arranque:

$$X_{motor}(p.u) = \frac{Z_{motor}(\Omega)}{Z_{base}(\Omega)} = \frac{\frac{V_{nom}^2}{SkVA}}{\frac{V_{base}^2}{S_{base}}} \quad (3.6)$$

- A continuación, la corriente transitoria al momento de arrancar el motor es:

$$I(p.u) = \frac{E_f}{X'd + X_m} \quad (3.7)$$

- Finalmente la caída de tensión del generador es:

$$\% \Delta V = X'd * I * 100 \quad (3.8)$$

3.3.1.6 Evaluar la capacidad de arranque simultáneo:

En este punto se evalúa la potencia que consume cada equipo en condiciones de arranque, tomando en consideración el tipo de carga (motor, aire acondicionado, cargador de baterías, bomba contra incendio, UPS, etc.).

Si la suma de las potencias de todas las cargas en condiciones de arranque es menor o igual a la potencia de dimensionamiento preliminar, se conserva esta capacidad como la de dimensionamiento final del generador de emergencia. De ser mayor la potencia requerida para arrancar se tomará de la tabla 3.1 la que más se acerque a este valor siempre por exceso.

Dimensionar un generador por arranque simultáneo puede llevar al sobre dimensionamiento, por ello es necesario saber si el sistema industrial permite el arranque por etapas o cuenta con arrancadores a tensión reducida.

Es importante recordar que los generadores también pueden responder a necesidades especiales fuera del estándar, pero esto podrá causar demoras en la obtención del equipo y puede conducir a costos adicionales.

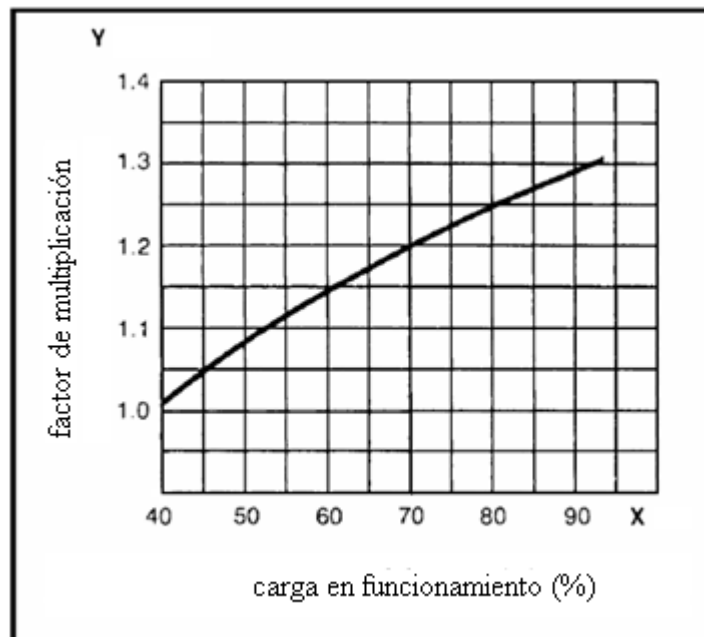
3.3.1.7 Evaluar la capacidad de arranque por etapas:

Con los cálculos de la potencia que consume cada equipo en condiciones de arranque realizados como se indicó en el punto 3.3.1.2. Se evalúa por caída de tensión si la capacidad preliminar cumple con el arranque por etapas.

Para este tipo de arranque, es conveniente poner en marcha desde el motor que requiera más potencia hasta el que requiera menor potencia e inclusive finalizar con cargas que no requieran arranque.

Se debe considerar además que el esquema de conexiones debe responder a las necesidades de la instalación atendiendo en primera instancia las cargas prioritarias que permitan mantener fuera de peligro a personas e instalaciones.

La evaluación por caída de tensión para el arranque por etapas se realizará tomando en consideración la carga inicial al momento del arranque de cada etapa. Debido a que generalmente sólo se cuenta con curvas que permiten el cálculo de la caída de tensión para un porcentaje de carga inicial igual al 0 %, se hace necesario emplear gráficas como la 3.1, para hallar un factor de multiplicación para el motor precargado.



Gráfica 3. 1. Ajuste de carga para el arranque por etapas. [12]

Donde:

- El porcentaje de carga en funcionamiento se calculará a través de la ecuación (3.9).

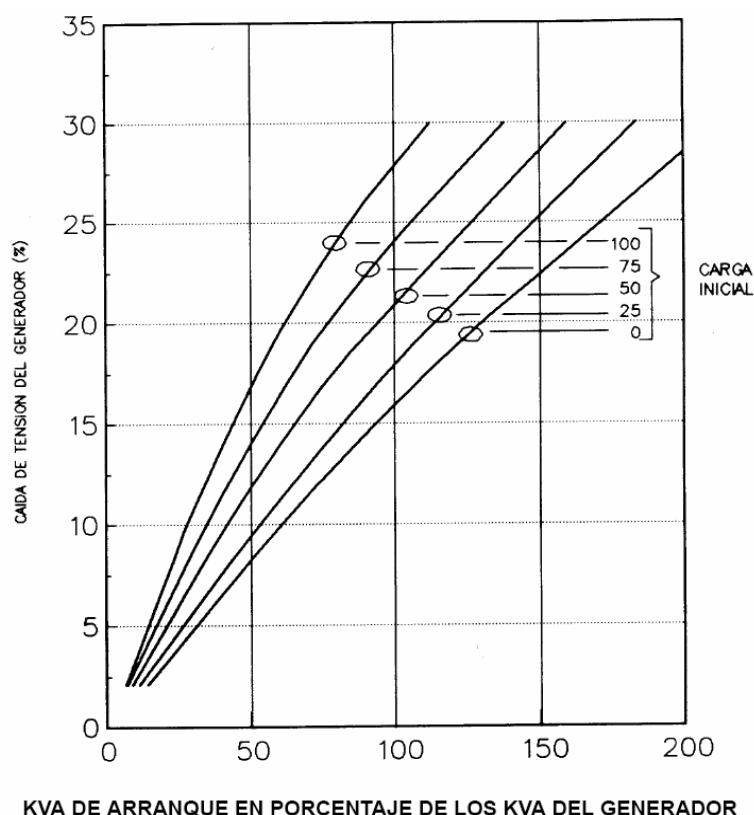
$$Carga_del_motor(\%) = \frac{Carga_inicial}{Carga_inicial + Motor_arrancando} * 100 \quad (3.9)$$

$$Carga_del_motor(\%) < 40\%, \text{ factor de multiplicación} = 1,0$$

- Ingresando en la grafica con el porcentaje de carga calculado, se obtiene el factor de multiplicación.

La potencia de arranque considerando el efecto de las cargas iniciales, es la potencia de arranque total de la etapa por el factor de multiplicación obtenido en el punto anterior. Con esta potencia de arranque corregida, se halla la caída de tensión de la etapa ingresando en una gráfica de kVA de arranque en porcentaje de los kVA del generador Vs. Caída de tensión del generador, como la mostrada en la gráfica 3.2 para 0% de carga inicial. En el caso de que una etapa no cumpla con la caída de tensión, se debe incrementar la potencia de acuerdo a la tabla 3.1, que lista las capacidades en kVA y kW de los generadores, estandarizadas según la norma NEMA.

Algunos grupos generadores ofrecen gráficas que facilitan el cálculo de la caída de tensión, como se muestra en la gráfica 3.2, kVA de arranque en porcentaje de los kVA del generador (%) Vs. Caída de tensión del generador (%), donde cada curva representa porcentajes de carga inicial igual al 0%, 25%, 50%, 75% y 100%.



Gráfica 3. 2. kVA de arranque en porcentaje de los kVA del generador (%) Vs.

Caída de tensión del generador (%). [11]

NOTA: Curvas representativas de los paquetes de generadores basados en un sistema de excitatriz de alta velocidad con reguladores de tensión estáticos y una reactancia transitoria del generador ($X'd$) de 0,20 p.u.

Como muestra del uso de las curvas de caída de tensión para distinto porcentaje de carga inicial, empleada en los cálculos de arranque por etapas, se recurre a información del manual PDVSA 90619.1.052:

El manual de generadores de emergencia de PDVSA, especifica sus generadores para uso de emergencia de 480Y/277 V, 60 Hz, 0,80 de factor de potencia, accionado por motores diesel, y señala curvas de caída de tensión para

varios porcentajes de carga inicial conectada en la gráfica 3.2. Estas curvas permiten conocer las caídas de tensión producidas por las cargas que son conectadas al sistema de generación de emergencia, tomando como referencia la capacidad preliminar en kVA del generador que posiblemente pueda asumir la carga. Con estas curvas se verifica que la capacidad del generador seleccionado es apta para mantener su nivel de tensión nominal de salida ante la conexión de las cargas.

La gráfica 3.2 es usada del siguiente modo:

- Se establecen las etapas de arranque.
- Se dividen los kVA totales en condiciones de arranque de la etapa a ser conectada, entre la capacidad preliminar del generador.
- El porcentaje obtenido en el punto anterior, son los kVA de arranque en porcentaje de los kVA del generador, ubicados en el eje de las abscisas de la Gráfica 3.2; ingresando por este eje se obtiene el porcentaje de caída de tensión del generador en el eje de las ordenadas, según la curva de porcentaje de carga inicial en el que nos encontremos.
- El proceso se repite hasta conectar el 100% de la carga.
- Si el porcentaje de *caída de tensión del generador* se excede de un límite establecido por el sistema, se debe seleccionar una capacidad de generación superior y repetir el proceso. El límite de este porcentaje depende de la característica del motor o la carga. Por ejemplo, según la norma IEEE 399-97, para sistemas industriales con motores NEMA clase B, es permitida una caída de tensión del 20 %, pues ellos necesitan un voltaje mínimo de arranque en sus terminales del 80 % de su voltaje nominal de operación.
- Generalmente se permite una caída de tensión igual o menor al 20 %.

3.3.1.8 Seleccionar el generador de acuerdo al dimensionamiento obtenido y a los equipos comerciales:

Para la capacidad nominal de generación requerida por las cargas se estudia el sistema que más se ajuste a las necesidades industriales, definiendo como se indicará a continuación el motor de combustión interna, el combustible a ser consumido y la normativa ambiental.

3.3.1.9 Seleccionar el motor de combustión interna:

De acuerdo a las especificaciones del motor señaladas en 3.2.3, se indican los requerimientos necesarios para que al seleccionar el generador de emergencia, se arme el grupo motor-generador deseado. Pues la capacidad de potencia al freno del motor deberá ser establecida por el fabricante de manera que satisfaga la capacidad nominal del conjunto motor-generador.

3.3.1.10 Especificar el Combustible:

De acuerdo a las especificaciones del combustible señaladas en 3.2.4, se selecciona el combustible a ser usado por el grupo motor-generador.

3.3.1.11 Revisar el cumplimiento con las normas ambientales:

Verificar que se cumpla con los niveles de ruido, los niveles de emisiones gaseosas y con la seguridad de almacenaje del combustible, en función del lugar de

instalación del grupo motor-generator, tomando como referencia normativas nacionales e internacionales y basándose en el bienestar de los usuarios finales.

CAPÍTULO IV

CASOS PRÁCTICOS

4.1. Caso 1. Proyecto de Fertilizantes PEQUIVEN Morón.

4.1.1 Memoria descriptiva:

Dimensionamiento y selección de un generador de emergencia para el “Proyecto de Fertilizantes PEQUIVEN Morón”, ubicado en Morón, estado Carabobo, región central de Venezuela. Proyecto cuyo alcance es la construcción y puesta en operación del sistema formado por una planta de amoniaco de 1 800 TMPD, una planta de urea granular de 2 200 TMPD y facilidades auxiliares de estas dos.

Este proyecto esta siendo desarrollado de manera conjunta por el Grupo Venezolano Internacional de Fertilizantes, consorcio integrado por las empresas MAN FERROSTAL de Alemania y TOYO ENGINEERING CORP. de Japón y el grupo Venezolano VEC, conformado, a su vez, por Empresas Y&V.

En condiciones normales la S/E Principal PEQUIVEN de 34,5 kV ubicada en la S/E Urea alimenta las cargas de las plantas Urea, Ammonia y Utility a tensiones de 4,16 kV y 0,48 kV a través de transformadores de potencia en conexión Delta-Estrella solidamente puestos a tierra del tipo ONAN o ONAN/ONAF. Como se observa en la Fig. 4.1; la S/E Principal alimenta a la S/E Utility valiéndose de cuatro transformadores de potencia, dos transformadores nombrados como SS3-TR-101A y

SS3-TR-101B alimentan al centro de distribución de potencia CDP SS3-SWGR-101 y dos transformadores nombrados como SS3-TR-201A y SS3-TR-201B al CDP SS3-SWGR-201, ambos CDP son barras simples seccionadas con enlace de barra abierto; la alimentación del MCC SS1-EMCC-001 de la S/E Ammonia emplea los transformadores SS1-TR-101 de 34,5/4,16 kV con capacidad nominal de 7,5/9,3 MVA y SS1-TR-103 de 4,16/0,48 kV con capacidad nominal de 2 MVA y la alimentación del MCC SS2-EMCC-201 de la S/E Urea por medio de los transformadores SS2-TR-101A de 34,5/4,16 kV con capacidad nominal de 10/12,5 MVA y SS2-TR-203 de 4,16/0,48 kV con capacidad nominal de 1,5/1,725 MVA. La configuración del sistema eléctrico permite a los EMCC conectarse a las dos líneas de la S/E Principal. (Para mayor información, revise el T.E.G, “Diseño de la red eléctrica del área de calderas del proyecto planta de fertilizantes PEQUIVEN-MORÓN”, elaborado en el 2009, por Camelo G, Carlos D)

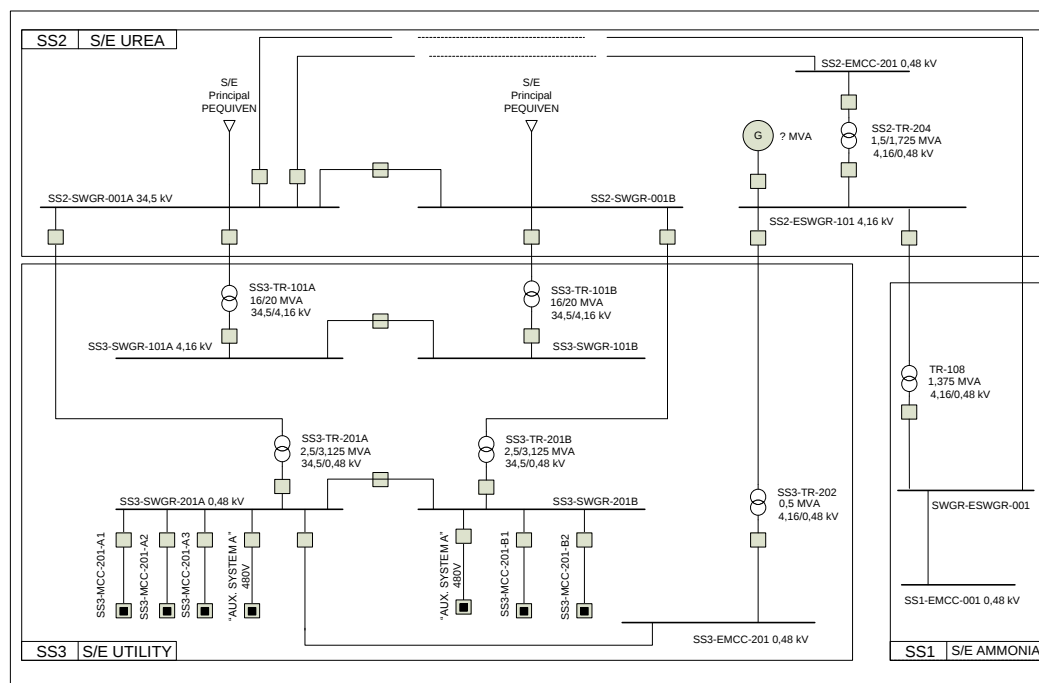


Figura 4. 1. Diagrama unifilar. Fertilizantes.

4.1.2 Premisas para el dimensionamiento del generador de emergencia:

- a) Será usado en dos rangos de aplicación, principal y emergencia.
- b) En la aplicación de rango principal, contará con un sistema de sincronización que le permitirá apoyar a la S/E principal PEQUIVEN entregando energía a la planta cuando se presenten picos de carga o deficiencias en la red.
- c) En la aplicación de rango de emergencia, se debe contar con el dimensionamiento que permita el arranque directo de las cargas prioritarias Utilities, Ammonia y Urea, de acuerdo al proceso industrial.
- d) La información de la potencia requerida por las cargas Urea y Ammonia fue suministrada por los socios del consorcio (TOYO y MAN FERROSTAL). De allí que MAN FERROSTAL establece que la potencia requerida por las cargas conectadas al EMCC de la S/E Ammonia es no mayor a los 350 kW y TOYO detalla las cargas conectadas al EMCC de la S/E Urea.
- e) Se estimó la demanda de las cargas conectadas al CCM SS2-EMCC-201 (S/E Urea) y al CCM SS3-EMCC-201 (S/E Utility), listadas en la tabla 4.1 y 4.2.

Donde:

- La carga total corresponde al resultado de la suma de cada grupo de cargas por separado.
- Los factores de demanda establecidos para el CCM SS2-EMCC-201 son de 100%, 30% y 0% para las cargas continuas, intermitentes y de reserva respectivamente.

- Los factores de demanda establecidos para el CCM SS3-EMCC-201 son de 100%, 50% y 10% para las cargas continuas, intermitentes y de reserva respectivamente.
- La demanda continua corresponde a la suma de las cargas con factores de demanda continua e intermitente.
- La demanda pico (15 min) corresponde a la suma de las cargas con factores de demanda continua, intermitente y de reserva.
- La carga máxima conectada corresponde a la suma de la carga total continua, intermitente y de reserva.
- El arranque directo de las cargas es el resultado de la suma de la carga total continua e intermitente en condiciones de arranque.

Tabla 4. 1. Cargas Urea pertenecientes al CCM SS2-EMCC-201.

Etiqueta del equipo	Equipo	potencia nominal	Potencia de salida	eficiencia	potencia nominal	potencia	carga	Arranque	consumida	carga en condiciones estables	carga en condiciones de arranque
					voltaje	factor de	factor de	factor de	potencia	ciclo de servicio continuo	ciclo de servicio continuo
		kW	kW	P.U	kV	P.U	P.U	P.U	kW	kW	kW
AB-EPDB-201	EMERGENCY POWER DISTRIBUTION BOARD FOR ADMINISTRAT	6,4	6,4	1	0,48	0,8	1	1	6,4	6,4	6,4
U-GA 106AM	STEAM CONDENSATE PUMP	22	18	0,893	0,46	0,914	0,82	6	20,2	20,2	121,2
U-GA 109AM	STEAM CONDENSATE CIRCULATION PUMP	90	76,5	0,934	0,46	0,837	0,85	6	81,9	81,9	491,4

carga total	108,5	-
carga con factores de demanda	108,5	-

demanda continua	108,5	-
demanda pico (15 min)	108,5	-
máxima carga conectada	108,5	-
arranque directo de las cargas	-	619

Tabla 4. 2. Cargas Utilities pertenecientes al CCM SS3-EMCC-201.

		Carga nominal	Potencia de salida	eficiencia	voltaje nominal	factor de potencia	factor de carga	factor de arranque	potencia nominal	potencia consumida	carga en condiciones estables			carga en condiciones de arranque		
											continua	intermitente	reserva	continua	intermitente	reserva
Etiqueta	Equipo	HP	HP	P.U	kV				kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	
C-GA-1013 A	polished water pump A	147,45	126,81	0,92	0,46	0,92	0,86	6	110	102,83	102,83			616,98		
C-GA-1025 A	boiler blowdown pump A	5,36	4,61	0,88	0,46	0,94	0,86	6	4	3,98	3,98			23,88		
C-BF1006A-GA2	auxiliary lube oil pump A	2,01	1,61	0,9	0,46	0,9	0,8	6	1,5	1,45		1,45		8,7		
C-BF1006A-EC1	fan cooler for lube system A	10,05	8,04	0,9	0,46	0,9	0,8	6	7,5	6,67	6,67			40,02		
MOV-8301*	main steam shut off valve A	6,03	4,83	0,9	0,46	0,9	0,8	6	4,5	4,12		4,12		24,72		
C-GA1018B-M-LCP	local control panel diesel fire pump	3,75	3	0,9	0,48	0,9	0,8	6	2,8	2,56	2,56			15,36		
C-GA1019A-M-LCP	local control panel jockey fire pump A	73,73	58,98	0,9	0,48	0,9	0,8	6	55	48,89	48,89			293,34		
C-GA1019B-M-LCP	local control panel jockey fire pump B	73,73	58,98	0,9	0,48	0,9	0,8	6	55	48,89			48,89		293,34	
CS-ELT-301	emergency lighting	8,04	6,43	0,9	0,48	0,9	0,8	1	6	5,34		5,34		5,34		
SA-9061	siren	7,37	5,9	0,9	0,48	0,9	0,8	1	5,5	4,89		4,89		4,89		
								carga total [kW]			164,93	15,8	48,89	989,58	43,65	293,34
								carga con factores de demanda [kW]			164,93	7,9	44,89	-	-	-
								demanda continua [kW]				172,83			-	
								demanda pico (15 min) [kW]				177,72			--	
								máxima carga conectada [kW]				229,62			--	
								arranque directo de las cargas [kW]				-			11033,23	

- f) La carga total que debe respaldar el generador en condiciones de emergencia, es el arranque directo de las cargas prioritarias mínimas conectadas a los EMCC de cada S/E, atendiendo la contingencia que represente la mayor exigencia de carga al momento de fallar el sistema de alimentación principal. Ante esta contingencia las cargas a ser alimentadas son las listadas en las tablas 4.1 y 4.2, además de las cargas que representan los 350 kW en la S/E Ammonia, esta carga está totalizada en la tabla 4.3.

Tabla 4. 3. Cargas a ser arrancadas por el generador de emergencia.

Bloques de carga	Ubicación	kW
CCM SS2-EMCC-201	S/E Urea	619,00
SWGR ESWGR-001	S/E Ammonia	350,00
CCM SS3-EMCC-201	S/E Utility	1 033,23
Carga total		2 002,23

- g) La carga total que debe mantenerse en operación ante condiciones de falla prolongada, se muestra en la tabla 4.4.

Donde:

La carga en condiciones de operación estable ante fallas prolongadas de la S/E Utility será de 226,56 kW, correspondiente a la demanda continua de 164,93 kW detallada en la tabla 4.2 más 61,63 kW concerniente al sistema DC y al UPS de 45kVA, los cuales requieren recarga cuando la falla se prolongue por más de 8 horas que es el tiempo límite de autonomía de ambos.

La carga en condiciones de operación estable ante fallas prolongadas de la S/E Ammonia se establecerá en 350 kW, valor límite de consumo de las cargas prioritarias de esta S/E.

Tabla 4. 4. Carga prioritaria en condiciones de estabilidad.

Bloques de carga	Ubicación	kW
CCM SS2-EMCC-201	S/E Urea	108,5
SWGR ESWGR-001	S/E Ammonia	≤ 350
CCM SS3-EMCC-201	S/E Utility	172,83
Carga total		631,33

4.1.3 Modo de funcionamiento del generador de emergencia:

Una vez que se estabilizan las cargas prioritarias el sistema de control podrá conectar algunas cargas requeridas por el proceso que se lleve a cabo en la planta en el momento de la falla; de igual modo ante las sospechas de prolongarse la falla este sistema desconectará cargas dejando en funcionamiento solo las prioritarias.

Es importante resaltar que se estará respaldando una planta de fertilizantes que requiere una toma de decisiones adaptada a la parte del proceso químico que esté trabajándose en el momento de la falla, es por ello que existen diversas situaciones de operación que manejará el sistema de control para la finalización o la parada suave de los procesos. A continuación se presenta el esquema de desconexión de cargas de la planta en las tablas 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8.

El total de cargas a despejar entre esenciales y adicionales es 15 090 kW, de un total de aproximadamente 24 700 kW, distribuidos entre Ammonia con 3 600 kW, Urea con 8 100 kW y Utilities con 12 800 kW; es decir en condiciones de racionamiento de energía la planta operaria con 9 610 kW de los cuales el generador puede suplir una potencia específica menor a los 2 000 kW, aunque se permite sobrecarga de un 10 % por un tiempo definido, este tipo de operación debe cumplir

con limitaciones de horas de uso permitidas por año, al igual que al operarse en condiciones de emergencia.

Tabla 4. 5. Cargas que pueden ser desconectadas de barra A.

Barra A	Cargas esenciales [kW]
fire pump	200
air compresor	190
FCW 600 kW (3 unidades)	1 800
BFW seawater en vapor 0.8*2500	2 000
fan A en vapor	0
fan C 400 kW	400
Total	4 590

Tabla 4. 6. Cargas que pueden ser desconectadas de barra B.

Barra B	Cargas esenciales [kW]
FCW 600 kW (2 unidades)	1 200
BFW seawater en vapor 0.8*2500	2 000
Total	3 200

Tabla 4. 7. Cargas esenciales totales.

Barra A	4 590
Barra B	3 200
Utilities-LV	400
Ammonia	4 750
Urea	500
Total cargas esenciales [kW]	13 440

Tabla 4. 8. Cargas adicionales totales.

Barra A	
BFW seawater en vapor 0.8*2500	650
fan A en vapor	400
Barra B	
fan B en vapor	400
fire water pump	200
Total cargas adicionales [kW]	1 650

4.1.4 Consideraciones para el dimensionamiento:

a) Ubicación:

Al aire libre en el área de la S/E Urea.

b) Condiciones climáticas:

Tabla 4. 9. Condiciones climáticas. Fertilizantes.

Altitud	A nivel del mar
Humedad	Máximo 94%
Temperatura ambiente del aire	Máxima 40 ° C
Ambiente	Muy corrosivo, zona polvorienta con presencia de elementos químicos y salinos.
Sísmica condiciones	Zona 2 (ANSI/ASCE7-1993)
Aceleración horizontal	0,4 g
Aceleración vertical	0,26 g
Velocidad	40 cm / s
Desplazamiento	30 cm

c) Tamaño del tanque de combustible para 24 horas de funcionamiento.

- d) Las cargas a alimentar serán a 480 V.
- e) Las fluctuaciones del sistema eléctrico permitidas serán de:
Voltaje: $\pm 10\%$
Frecuencia: $\pm 5\%$
- f) El sistema de emergencia deberá ganar velocidad y estar listo para funcionar en 10 segundos o menos.
- g) El sistema deberá ser automático para su puesta en marcha y transferencia.

4.1.5 Resultados del dimensionamiento y selección del generador de emergencia:

- **Generador:**

Considerando la potencia estimada para el respaldo de las cargas de la planta en condiciones de emergencia expuestas en la tabla 4.3 se estableció que la capacidad nominal del generador será de 2 000 kW, 2 500 kVA a factor de potencia de 0.8 en atraso y frecuencia de 60 Hz, esta capacidad está estandarizada por la NEMA MG-1 como se muestra en la tabla 3.1, aunque la carga estimada fue de 2 002,23 kW; es conveniente seleccionar esta capacidad debido a que la estimación de cargas se realizó empleando factores de holgura en algunas cargas donde no se disponía de la información detallada de ellas, pues algunas áreas de la planta están en construcción.

El generador será sincrónico de corriente alterna, con capacidad de 2 000 kW, a factor de potencia 0,8, 1 800rpm, 3 fases, 4 hilos, 60 Hz y voltaje discreto de 4,16 kV en conexión ESTRELLA. El aumento de temperatura no será superior a 105 °C (aislamiento clase F) por encima de 40 °C de temperatura ambiente en

funcionamiento continuo. La clasificación se basa en la temperatura ambiente máxima y en una base de trabajo continuo.

Como consecuencia de la ubicación del motor-generador en un área industrial con tránsito de personal que labora a tiempo completo, se necesitará de una cabina insonorizada, pues el ruido continuo permitido en estas condiciones laborales es de hasta los 85 dB a un metro de distancia.

- **Motor:**

El motor de combustión interna apto para actuar como primo motor en condición de espera, será de cuatro ciclos y dispondrá de un gobernador electrónico de control de velocidad del motor; además de un sistema eléctrico para la recarga de las baterías de plomo ácido que suministrarán corriente continua a 24 V para poner en funcionamiento el sistema de arranque.

El gobernador será electrónico, debido a que se requiere una precisión en la regulación de velocidad de menos del 1%, pues el motor-generador en una de sus aplicaciones requiere la sincronización con la red principal, además en sus cargas se encuentra un equipo UPS, para el que se recomienda este tipo de sistemas.

El ciclo de arranque permitirá por lo menos cuatro intentos de arranque de duración de 10 segundos cada uno, con intervalos de 10 segundos entre ellos.

- **Combustible:**

El combustible a ser utilizado por el motor de combustión interna será el diesel debido a que permite un tiempo de disponibilidad para motor-generador de 10 segundos con el 100% de la carga, buena estabilidad en frecuencia y menor riesgo de almacenamiento.

- **Almacenamiento:**

El área seleccionada para la instalación del motor-generador exige su proximidad a los centros de control de motores que alimentará, con la intención de reducir la caída de tensión, donde el área destinada para la instalación del motor por ser limitada requirió la selección de un tanque subterráneo para el mayor aprovechamiento del espacio, tanque que además se adapta a las condiciones de la planta y ofrece una garantía adicional pues reduce los riesgos de incendio.

4.2. Caso 2. Proyecto Complejo Generador TERMOCENTRO.

4.2.1 Memoria descriptiva:

Dimensionamiento y selección de un generador de emergencia para el Proyecto Complejo Generador TERMOCENTRO Planta “EL SITIO”, ubicada en la Hacienda El Sitio, en los Valles de Tuy entre las poblaciones de Santa Teresa y Santa Lucía, municipio Paz Castillo, estado Miranda. Proyecto cuyo alcance es la instalación de tres bloques de generación de 500 MW, operando a gas en ciclo combinado, para satisfacer el crecimiento de la demanda de energía eléctrica en la región central de Venezuela.

Este proyecto esta siendo desarrollado por el consorcio conformado por Empresas Y&V de Venezuela y Duro Felguera S.A de España.

La planta El Sitio, consta de dos unidades de ciclo combinado, cada una con dos turbinas a gas (TG11 y TG12), una turbina de vapor, un condensador de vapor, dos generadores de vapor, alternadores y equipos auxiliares necesarios. Ambas unidades cubiertas con el sistema de balance de planta (BOP) y el sistema de control distribuido (DSC).

Para este proyecto se ha previsto un generador de emergencia para cada ciclo. Con la intención de que se haga cargo de alimentar los servicios esenciales, que cuelgan de las barras 11BMA11 (barras para la TG11) y 12BMA12 (barras para la TG12), cuando falte la tensión de servicio normal, proveniente desde los transformadores de potencia 11BFT11 y 12BFT12, en conexión Delta-Estrella sólidamente puestos a tierra del tipo ONAN de 4,16/480 V, 1600 kVA, como se ilustra en el diagrama unifilar de la figura 4.2.

Debido a que no todos los servicios están duplicados, se parte de la base de que las barras BMA11 y BMA12 deben tener tensión, por ello se cuenta con varias configuraciones que permiten la alimentación de dichas barras, para garantizar la continuidad de los servicios esenciales. De allí que las barras BMA pueden alimentarse en condiciones normales desde la acometida:

- De la turbina de gas TG11.
- De la turbina de gas TG12.
- De ambas turbinas (TG's), alimentándose 11BMA11 de la TG11 y 12BMA12 de la TG12.

- Del respaldo.
- Del CICLO23.

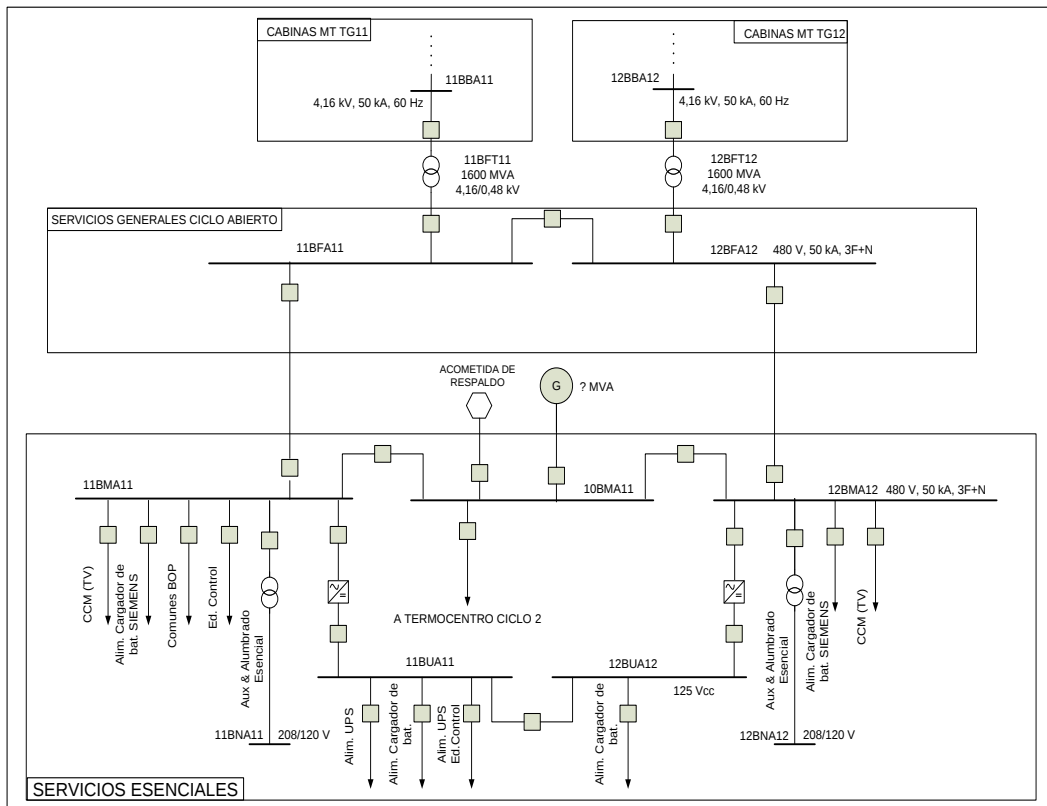


Figura 4. 2. Diagrama unifilar. Termocentro.

4.2.2 Premisas para el dimensionamiento del generador de emergencia:

- Se será usado únicamente en rango de aplicación de emergencia.
- En la aplicación de rango de emergencia, se debe contar con el dimensionamiento que permita el respaldo de los servicios esenciales de la Planta de Generación Eléctrica TERMOCENTRO.

- c) Se considera el arranque en etapas.
- d) La caída de tensión máxima permitida en bornes del generador es del 20%.
- e) Se estimó la demanda de las cargas conectadas a las barras 11BMA11 y 12BMA12, listadas en la tabla 4.10.

Donde:

- El sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), arrancará en la segunda etapa, 10 segundos después de la primera etapa.
- La primera etapa comprende todas las cargas menos el sistema HVAC.
- Los datos de las cargas son tomados de la ingeniería conceptual.
- Se preverá un 15% de reserva de potencia. Este 15% debe suponerse para una carga hipotética con un rendimiento del 95%, un factor de potencia nominal del 0,8, un factor de potencia en el arranque de 0,4 y una intensidad de arranque de dos veces la nominal.

4.2.3 Modo de funcionamiento del generador de emergencia:

El servicio de generación de emergencia puede alimentar a un ciclo únicamente y podrá dar carga cuando, la alimentación de respaldo y la alimentación del CICLO23 estén abiertas.

Tabla 4. 10. Estimación de demanda de las cargas esenciales a alimentar con el generador de emergencia. Termocentro.

Barra	Descripción	Potencia	fp	Factor	Fp	Factor	Potencia	Cargas en condiciones de arranque				Cargas en condiciones estables	
		nominal	nominal	arranque	Arranque	simultaneidad	consumida	Primer bloque (t=0 s)		Segundo bloque (t=10 s)			
		kW	p.u	p.u	p.u	p.u	kVA	kVA	kW	kVA	kW	kVA	kW
11BMA11	Alumbrado Esencial	32,00	0,80	1,00	0,80	0,80	32,00	32,00	25,60	32,00	25,60	32,00	25,60
11BMA11	Alumbrado Esencial Comunes BOP	32,00	0,80	1,00	0,80	0,80	32,00	32,00	25,60	32,00	25,60	32,00	25,60
11BMA11	Alimentación UPS CC	12,00	0,80	1,00	0,80	1,00	15,00	15,00	12,00	15,00	12,00	15,00	12,00
11BMA11	Alimentación Cargador de Baterías 125 Vcc	96,00	0,80	1,00	0,80	1,00	120,00	120,00	96,00	120,00	96,00	120,00	96,00
11BMA11	Alimentación Cargador de Baterías Siemens	12,00	0,80	1,00	0,80	1,00	15,00	15,00	12,00	15,00	12,00	15,00	12,00
11BMA11	Alumbrado Esencial. (Edif. de Control)	32,00	0,80	1,00	0,80	1,00	40,00	40,00	32,00	40,00	32,00	40,00	32,00
	UPS Edificio de Control. (Edif. de Control)	32,00	0,80	1,00	0,80	1,00	40,00	40,00	32,00	40,00	32,00	40,00	32,00
	HVAC Edificio de Control. (Edif. de Control)	52,00	0,80	3,00	0,30	1,00	65,00	-	-	195,00	58,50	65,00	52,00
11BMA11	Motor (Previsión futuras cargas TV)	80,00	0,80	5,5	0,15	0,80	80,00	440,00	66,00	80,00	64,00	80,00	64,00
11BMA11	Control Aceite Motor (Previsión Futuras Cargas TV)	21,30	0,80	5,5	0,15	1,00	26,63	146,44	21,97	26,63	21,30	26,63	21,30
11BMA11	Panel Alumbrado Esencial	32,00	0,80	1,00	0,80	0,80	32,00	32,00	25,60	32,00	25,60	32,00	25,60
12BMA12	Alimentación Cargador de Baterías 125 Vcc	96,00	0,80	1,00	0,80	0,20	24,00	24,00	19,20	24,00	19,20	24,00	19,20
12BMA12	Alimentación Cargador de Baterías Siemens	12,00	0,80	1,00	0,80	1,00	15,00	15,00	12,00	15,00	12,00	15,00	12,00
12BMA12	Reserva (Previsión Aux & Alumb Esenciales)	32,00	0,80	1,00	0,80	0,80	32,00	32,00	25,60	32,00	25,60	32,00	25,60

Carga Total	983,44	405,57	698,63	461,40	568,63	454,90
15% de Reserva	147,52	60,83	104,79	69,21	85,29	68,24
TOTAL	1130,95	466,40	803,42	530,61	653,92	523,14

El sistema de generación de emergencia será automático y con la posibilidad de utilizarlo en modo manual, para pruebas y mantenimiento. Contará con sistemas de control, protección, automatismo y vigilancia, tales que permitan el control a distancia de los interruptores de cada acometida y los interruptores de acoplamiento de las barras, que trabajarán de modo sincronizado de acuerdo a la configuración y a la situación presente en un momento dado, pues el proceso de sincronización automática debe coordinar tres casos concretos, como lo son:

- Cuando se produzca la situación de cero tensión en barras BMA, en este caso el sistema de control se encarga de abrir los dos interruptores de acometida normal y de cerrar los dos interruptores de acoplamiento de la barra BMA. En esta situación, este sistema arrancará el motor-generador y sincronizará con su interruptor, teniendo cero tensión en la barra 10BMA11.
- Cuando en situación de emergencia, el motor-generador se encuentre alimentando a las dos barras BMA y se requiera retornar al servicio normal desde la alimentación superior, se sincronizaría, con alguno de los interruptores de las acometidas las turbinas de gas y luego se podría parar el generador-motor.
- Cuando se tenga un estado normal y se quiera probar el motor-generador, en este caso el sincronizador automático actuaría sobre el interruptor del generador de emergencia para acoplarlo con la red existente.

4.2.4 Consideraciones para el dimensionamiento:

- a) Ubicación:
Exterior.
- b) Condiciones climáticas:

Tabla 4. 11. Condiciones climáticas. Termocentro.

Altitud	161,5 m.s.n.m
Humedad relativa máxima	90%
Temperatura ambiente máxima	38 °C
Temperatura ambiente mínima	14 °C
Temperatura media anual	26 °C
Ambiente	Gases por generación termoeléctrica
Sísmica condiciones	Zona 4 (COVENIN No. 1756/2000)
Velocidad del viento máxima	5,7 km / h

- c) Tamaño del tanque de combustible para 8 horas de funcionamiento y opcionalmente para 24 horas de funcionamiento, a la potencia nominal del grupo motor-generator.
- d) Las cargas a alimentar serán de 460 V, trifásicas a 60Hz.
- e) Las fluctuaciones del sistema eléctrico permitidas serán de:
Voltaje: $\pm 10\%$
Frecuencia: $\pm 5\%$
- f) El tiempo máximo de arranque del grupo motor-generator hasta alcanzar tensión y frecuencia correctas no excederá de 5 segundos. En el proceso de comparación de ofertas se valorará positivamente la reducción de dicho tiempo.
- g) El sistema deberá ser automático para su puesta en marcha y transferencia.

4.2.5 Resultados del dimensionamiento y selección del generador de emergencia:

Generador:

Considerando la potencia estimada para el respaldo de las cargas de la planta en condiciones de emergencia expuestas en la tabla 4.10, se estableció que la capacidad nominal del generador será de 720 kW, 900 kVA a factor de potencia de 0,8 en atraso y frecuencia de 60 Hz, esta capacidad no está estandarizada por la NEMA MG-1. (Ver Anexo N°1. Memoria de Cálculo. Caso 2)

Tomando 900 kVA se garantiza, una caída de tensión menor al 20% cuando arranca el primer bloque de carga, una caída de tensión menor al 6% ante el arranque del segundo bloque de carga y que el motor-generador podrá cumplir con el límite de operación del rango de emergencia; límite donde se establece que no debe excederse en 80% la potencia promedio máxima, ya que el grupo operará al 73% su carga nominal.

El generador será sincrónico de corriente alterna, con excitatriz estática sin escobillas, de 3fases+neutro y de voltaje discreto a 480 V en conexión ESTRELLA rígidamente puesto a tierra. El aumento de temperatura no será superior a 105 °C (aislamiento clase F) por encima de 40 °C de temperatura ambiente en funcionamiento continuo.

Como consecuencia de la ubicación del motor-generador en exterior se necesitará de un contenedor de acero galvanizado para instalación en intemperie, el diseño del contenedor deberá permitir el fácil desmontaje de los equipos instalados

mediante techo y/o paredes desmontables y disponer de una sala eléctrica independiente, donde se ubicarán los cuadros de control y los distintos cuadros eléctricos, además se dispondrá en la misma de una unidad autónoma de aire acondicionado. El cableado interno del contenedor se realizará con cable no propagador de la llama según norma IEC 60332-3, considerándose el contenedor como un área de fuego independiente con paredes características de barreras cortafuegos durante 2 horas.

Motor:

El motor de combustión interna apto para actuar como primo motor en condición de espera, será de cuatro ciclos, dispondrá de un gobernador electrónico de control de velocidad del motor y de un sistema de arranque eléctrico con una tensión de salida de 24 Vdc, que recargue las baterías de plomo ácido con la capacidad adecuada que permita al menos seis arranques, sin que su tensión se reduzca a un límite que impida la correcta operación de todos los circuitos alimentados por ella; el cargador además deberá permitir dar carga manual profunda a la batería, para cargarla hasta 90% de su capacidad nominal, en no más de diez horas.

Combustible:

El motor diesel estará diseñado para quemar, en marcha continua, gas-oil de automoción que se utiliza como combustible alternativo para el funcionamiento de las turbinas de gas. Las características de este combustible son:

Densidad relativa:	0,86 Kg/l @ 15,6 °C
Viscosidad cinemática:	4,6 cSt @ 40 °C.
Punto de inflamación:	65 °C.
Punto de fluidez:	0 °C.
Contenido de cenizas:	0,001 % en peso.
Azufre:	0,5 %.

Número de cetanos: 43.

Almacenamiento:

El área seleccionada para la instalación del motor-generator permite la colocación del tanque de uso diario y el tanque exterior sobre el suelo, donde las dimensiones del tanque serán recomendadas por el fabricante de acuerdo al combustible empleado, al tiempo de operación y al consumo del grupo electrógeno que oferta.

4.3. Caso 3. Proyecto de Suministro Eléctrico de Emergencia para las Oficinas de Y&V.

4.3.1 Memoria descriptiva:

Dimensionamiento y selección de un generador de emergencia para el “Proyecto de Suministro Eléctrico de Emergencia para las Oficinas de Y&V en el Edificio Panaven”, ubicado en la Av San Juan Bosco con 3ra transversal de Altamira, Caracas, Municipio Chacao, Estado Miranda.

Proyecto cuyo alcance cubre los requerimientos generales de diseño, fabricación, pruebas, suministro, instalación y puesta en marcha de un conjunto motor-generator, que sirve de respaldo a las instalaciones eléctricas del Centro de Procesamiento, Centro de Distribución y Tableros de Data de las oficinas de Y&V.

El conjunto comprende el motor diesel, el generador AC, el tablero auxiliar de control, cerramiento tipo interno insonorizado y tablero de transferencia automática.

En condiciones normales el edificio de Y&V es alimentado por una acometida proveniente de la Electricidad de Caracas (EDC) que pasa por un interruptor termo-magnético de 1 200 A, desde el cual se hace una división en dos circuitos, uno que alimenta al tablero de los aires acondicionados de todos los pisos, y está ubicado en PA (planta alta), y otro que alimenta al tablero principal de datos T-PPL-DATA ubicado en sótano 1 (PP). Estos dos circuitos son protegidos con interruptores termo-magnéticos de 600 A y 800 A respectivamente. El tablero T-PPL-DATA alimenta los Racks de comunicaciones de los pisos PA, P1, P4, P5, P6, P7, S1, PPH; así como los tableros de datos T-TD-S1, T-TD-PA, T-TD-P1, T-TD-P4, T-TD-P5, T-TD-P6, T-TD-P7, T-TD-PPH, T-TD-PB y el tablero de servidores T-SER, como se muestra en el diagrama unifilar de la figura. 4.3.

El tablero T-TD-S1 alimenta los Racks de comunicaciones de PB.

El tablero T-TD-PA, alimenta el aire acondicionado de servidores que está ubicado en el piso P1.

Los tableros de datos son trifásicos, 4 hilos, 208-120 V, del tipo NLAB, con barra de tierra y neutro, con alimentador principal de 3#2AWG + 1#2AWG(N) + 1#6AWG (T) e interruptor principal de acuerdo al diagrama unifilar mostrado en la figura 4.3. Están ubicados en cada piso alimentando únicamente a los tomacorrientes dedicados a las computadoras. Estos tomacorrientes están identificados con tapas metálicas, a diferencia de los tomacorrientes de uso general que poseen tapas de plástico.

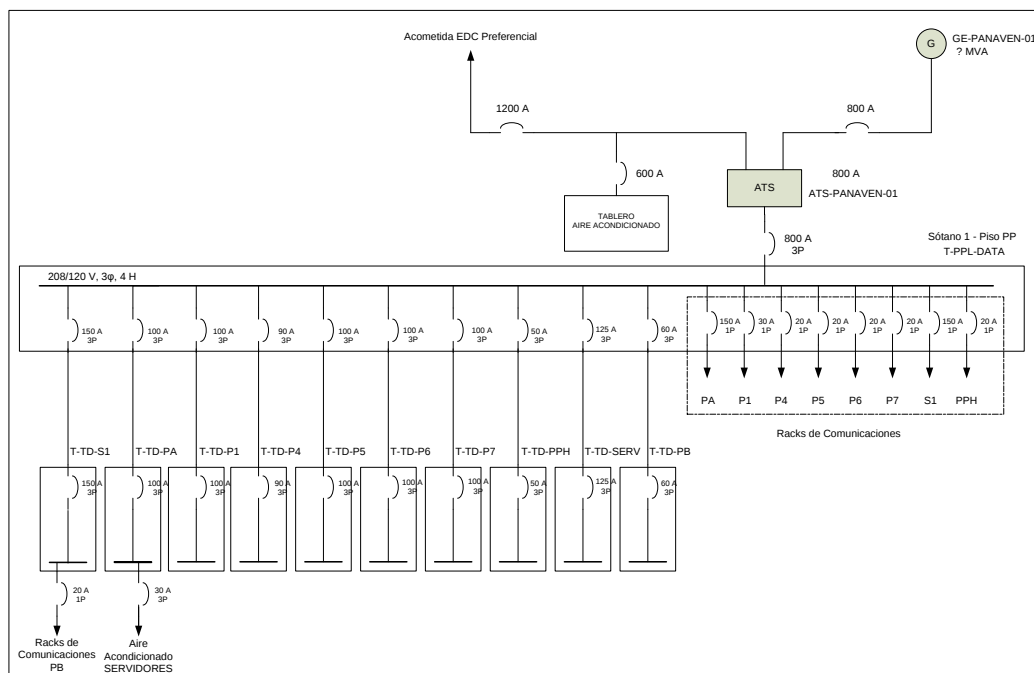


Figura 4. 3. Diagrama unifilar del sistema de emergencia de Y&V.

4.3.2 Premisas para el dimensionamiento del generador de emergencia:

- a) Será usado en un rango de aplicación únicamente de emergencia.
- b) En la aplicación de rango de emergencia, se debe contar con el dimensionamiento para la iluminación de emergencia y la operación del sistema de procesamiento de datos, esto incluye sistema de acondicionamiento de aire de los servidores.
- c) Los circuitos de iluminación de los pasillos, la zona alrededor de los ascensores y el cuarto de servidores, se encuentran conectados a los tableros de datos, éstos forman parte de la iluminación de emergencia.

- d) La información de la potencia requerida por las cargas del edificio Panaven fue suministrada por personal de Y&V.
- e) Se estimó la demanda de las cargas esenciales conectadas al tablero T-PPL-DATA, con los datos medidos, en la tabla 4.10 y con los datos ajustados para el dimensionamiento final, en la tabla 4.11.

Donde:

- La carga total corresponde al resultado de la suma de todas las cargas conectadas al tablero T-PPL-DATA.
- La potencia de arranque de las cargas es el resultado de la suma de las cargas en condiciones de arranque.
- Se considera que el factor de carga y la eficiencia son iguales a la unidad.
- Las corrientes medidas, son datos recolectados a través de mediciones instantáneas registradas en días de normal y completa operatividad de las oficinas en el horario comprendido entre las 9:30 am y las 11:00 am.
- Los tableros de datos no contemplaban a los circuitos de iluminación de emergencia para el momento en que se midieron las corrientes, es por ello que en la tabla 4.12 y 4.13 se calculan por separado.
- Las cargas son consideradas continuas.

Tabla 4. 12. Cargas conectadas al tablero T-PPL-DATA. Cálculos con los valores medidos.

Etiqueta del equipo	Equipo	Corriente	Eficiencia	Voltaje	Factor de	Factor de	Factor de	Potencia	Potencia	Carga en condiciones estables			Carga en condiciones de arranque		
		medida		Nominal	potencia	carga	arranque	nominal	consumida	Continua			Continua		
		A	P.U	kV				kW	kW	kW	kVAr	kVA	kW	kVAr	kVA
LE-PP	LUCES DE EMERGENCIA PISO PP	25,70	1,00	0,120	0,90	1,00	1,00	2,78	2,78	2,78	1,35	3,09	2,78	1,35	3,09
LE-PA	LUCES DE EMERGENCIA PISO PA	8,00	1,00	0,120	0,90	1,00	1,00	0,87	0,87	0,87	0,42	0,97	0,87	0,42	0,97
LE-P1	LUCES DE EMERGENCIA PISO P1	18,70	1,00	0,120	0,90	1,00	1,00	2,02	2,02	2,02	0,98	2,24	2,02	0,98	2,24
LE-P4	LUCES DE EMERGENCIA PISO P4	10,80	1,00	0,120	0,90	1,00	1,00	1,17	1,17	1,17	0,57	1,30	1,17	0,57	1,30
LE-P5	LUCES DE EMERGENCIA PISO P5	10,70	1,00	0,120	0,90	1,00	1,00	1,16	1,16	1,16	0,56	1,29	1,16	0,56	1,29
LE-P6	LUCES DE EMERGENCIA PISO P6	12,90	1,00	0,120	0,90	1,00	1,00	1,40	1,40	1,40	0,68	1,56	1,40	0,68	1,56
LE-P7	LUCES DE EMERGENCIA PISO P7	17,70	1,00	0,120	0,90	1,00	1,00	1,92	1,92	1,92	0,93	2,13	1,92	0,93	2,13
LE-PH	LUCES DE EMERGENCIA PISO PH	10,10	1,00	0,120	0,90	1,00	1,00	1,10	1,10	1,10	0,53	1,22	1,10	0,53	1,22
T-AAC-P1-SER	TABLERO DE AIRE ACONDICIONADO PISO P1, ÁREA DE SERVIDORES	19,00	1,00	0,208*√3	0,90	1,00	6,00	6,16	6,16	6,16	2,98	6,84	36,96	17,90	41,07
RACK S1 (PP)	RACK PISO S1 (PP)	4,00	1,00	0,120	0,99	1,00	1,00	0,48	0,48	0,48	0,07	0,48	0,48	0,07	0,48
T-TD-S1 (PP)	TABLERO DE DATA PISO S1 (PP)	29,00	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	10,34	10,34	10,34	1,47	10,44	10,34	1,47	10,44
T-TD-PB	TABLERO DE DATA PISO PB	9,00	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	3,21	3,21	3,21	0,46	3,24	3,21	0,46	3,24
RACK PA	RACK PISO PA	6,00	1,00	0,120	0,99	1,00	1,00	0,72	0,72	0,72	0,10	0,73	0,72	0,10	0,73
T-TD-PA	TABLERO DE DATA PISO PA	18,00	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	6,42	6,42	6,42	0,91	6,48	6,42	0,91	6,48
RACK P1	RACK PISO P1	19,00	1,00	0,120	0,99	1,00	1,00	2,26	2,26	2,26	0,32	2,28	2,26	0,32	2,28
T-TD-P1	TABLERO DE DATA PISO P1	17,00	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	6,06	6,06	6,06	0,86	6,12	6,06	0,86	6,12
RACK P4	RACK PISO P4	3,00	1,00	0,120	0,99	1,00	1,00	0,36	0,36	0,36	0,05	0,36	0,36	0,05	0,36
T-TD-P4	TABLERO DE DATA PISO P4	28,00	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	9,98	9,98	9,98	1,42	10,08	9,98	1,42	10,08
RACK P5	RACK PISO P5	8,00	1,00	0,120	0,99	1,00	1,00	0,96	0,96	0,96	0,14	0,97	0,96	0,14	0,97
T-TD-P5	TABLERO DE DATA PISO P5	10,00	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	3,57	3,57	3,57	0,51	3,61	3,57	0,51	3,61
RACK P6	RACK PISO P6	5,00	1,00	0,120	0,99	1,00	1,00	0,60	0,60	0,60	0,09	0,61	0,60	0,09	0,61
T-TD-P6	TABLERO DE DATA PISO P6	19,00	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	6,78	6,78	6,78	0,97	6,85	6,78	0,97	6,85
RACK P7	RACK PISO P7	3,00	1,00	0,120	0,99	1,00	1,00	0,36	0,36	0,36	0,05	0,36	0,36	0,05	0,36
T-TD-P7	TABLERO DE DATA PISO P7	17,00	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	6,06	6,06	6,06	0,86	6,12	6,06	0,86	6,12
RACK PH	RACK PISO PH	3,00	1,00	0,120	0,99	1,00	1,00	0,36	0,36	0,36	0,05	0,36	0,36	0,05	0,36
T-TD-PH	TABLERO DE DATA PISO PH	16,00	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	5,71	5,71	5,71	0,81	5,77	5,71	0,81	5,77
T-SER	T-SER	27,00	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	9,63	9,63	9,63	1,37	9,73	9,63	1,37	9,73
RESERVA	30% DE RESERVA	-	-	-	-	-	-	27,73	-	27,73	5,86	28,58	27,73	5,86	28,58

carga total	120,17	25,38	123,83	150,97	40,30	158,05
-------------	--------	-------	--------	--------	-------	--------

Tabla 4. 13. Cargas conectadas al tablero T-PPL-DATA. Cálculos con los valores de dimensionamiento.

Etiqueta del equipo	Equipo	Corriente A	Eficiencia P.U	Voltaje	Factor de	Factor de	Factor de	Potencia	Potencia	Carga en condiciones estables			Carga en condiciones de arranque		
				Nominal	potencia	carga	arranque	nominal	consumida	Continua			continua		
				kV				kW	kW	kW	kVA _r	kVA	kW	kVA _r	kVA
LE-PP	LUCES DE EMERGENCIA PISO PP	38,1	1,00	0,12	0,90	1,00	1,00	4,12	4,12	4,12	2,00	4,58	4,12	2,00	4,58
LE-PA	LUCES DE EMERGENCIA PISO PA	15,2	1,00	0,12	0,90	1,00	1,00	1,65	1,65	1,65	0,80	1,83	1,65	0,80	1,83
LE-P1	LUCES DE EMERGENCIA PISO P1	19	1,00	0,12	0,90	1,00	1,00	2,06	2,06	2,06	1,00	2,29	2,06	1,00	2,29
LE-P4	LUCES DE EMERGENCIA PISO P4	19	1,00	0,12	0,90	1,00	1,00	2,06	2,06	2,06	1,00	2,29	2,06	1,00	2,29
LE-P5	LUCES DE EMERGENCIA PISO P5	19	1,00	0,12	0,90	1,00	1,00	2,06	2,06	2,06	1,00	2,29	2,06	1,00	2,29
LE-P6	LUCES DE EMERGENCIA PISO P6	19	1,00	0,12	0,90	1,00	1,00	2,06	2,06	2,06	1,00	2,29	2,06	1,00	2,29
LE-P7	LUCES DE EMERGENCIA PISO P7	19	1,00	0,12	0,90	1,00	1,00	2,06	2,06	2,06	1,00	2,29	2,06	1,00	2,29
LE-PH	LUCES DE EMERGENCIA PISO PH	19	1,00	0,12	0,90	1,00	1,00	2,06	2,06	2,06	1,00	2,29	2,06	1,00	2,29
T-AAC-P1-SER	TABlero DE AIRE ACONDICIONADO PISO P1, ÁREA DE SERVIDORES	19	1,00	0,208*√3	0,90	1,00	6,00	6,16	6,16	6,16	2,98	6,84	36,96	17,90	41,07
RACK S1 (PP)	RACK PISO S1 (PP)	8	1,00	0,12	0,99	1,00	1,00	0,96	0,96	0,96	0,14	0,97	0,96	0,14	0,97
T-TD-S1 (PP)	TABlero DE DATA PISO S1 (PP)	58	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	20,68	20,68	20,68	2,95	20,89	20,68	2,95	20,89
T-TD-PB	TABlero DE DATA PISO PB	18	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	6,42	6,42	6,42	0,91	6,48	6,42	0,91	6,48
RACK PA	RACK PISO PA	12	1,00	0,12	0,99	1,00	1,00	1,43	1,43	1,43	0,20	1,44	1,43	0,20	1,44
T-TD-PA	TABlero DE DATA PISO PA	36	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	12,84	12,84	12,84	1,83	12,97	12,84	1,83	12,97
RACK P1	RACK PISO P1	38	1,00	0,12	0,99	1,00	1,00	4,52	4,52	4,52	0,64	4,57	4,52	0,64	4,57
T-TD-P1	TABlero DE DATA PISO P1	34	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	12,12	12,12	12,12	1,73	12,24	12,12	1,73	12,24
RACK P4	RACK PISO P4	6	1,00	0,12	0,99	1,00	1,00	0,72	0,72	0,72	0,10	0,73	0,72	0,10	0,73
T-TD-P4	TABlero DE DATA PISO P4	56	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	19,96	19,96	19,96	2,84	20,16	19,96	2,84	20,16
RACK P5	RACK PISO P5	16	1,00	0,12	0,99	1,00	1,00	1,91	1,91	1,91	0,27	1,93	1,91	0,27	1,93
T-TD-P5	TABlero DE DATA PISO P5	20	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	7,13	7,13	7,13	1,02	7,20	7,13	1,02	7,20
RACK P6	RACK PISO P6	10	1,00	0,12	0,99	1,00	1,00	1,19	1,19	1,19	0,17	1,20	1,19	0,17	1,20
T-TD-P6	TABlero DE DATA PISO P6	38	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	13,55	13,55	13,55	1,93	13,69	13,55	1,93	13,69
RACK P7	RACK PISO P7	6	1,00	0,12	0,99	1,00	1,00	0,72	0,72	0,72	0,10	0,73	0,72	0,10	0,73
T-TD-P7	TABlero DE DATA PISO P7	34	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	12,12	12,12	12,12	1,73	12,24	12,12	1,73	12,24
RACK PH	RACK PISO PH	6	1,00	0,12	0,99	1,00	1,00	0,72	0,72	0,72	0,10	0,73	0,72	0,10	0,73
T-TD-PH	TABlero DE DATA PISO PH	32	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	11,41	11,41	11,41	1,63	11,53	11,41	1,63	11,53
T-SER	T-SER	54	1,00	0,208*√3	0,99	1,00	1,00	19,25	19,25	19,25	2,74	19,44	19,25	2,74	19,44
RESERVA	30% DE RESERVA	-	-	-	0,00	-	-	51,58	-	51,58	9,84	52,84	51,58	9,84	52,84

carga total	223,52	42,64	228,97	254,32	57,56	263,19
-------------	--------	-------	--------	--------	-------	--------

- En la tabla 4.13, para la estimación de demanda de la iluminación de emergencia, se consideró una demanda mayor a la medida, calculada en función a la carga conectada a los circuitos de iluminación.
- Las corrientes medidas de los tableros de datos se duplicaron por requerimiento del proyectista para tener un margen mayor de holgura a suplir por el generador de emergencia, pues la corriente medida en algunos casos representaba un bajo porcentaje en relación a la corriente estimada para la carga conectada.

4.3.3 Modo de funcionamiento del generador de emergencia:

El generador de emergencia debe contar con el dimensionamiento que permita mantener en operación parte del sistema de iluminación, el cual a su vez es apoyado por la iluminación de emergencia en el área de las escaleras y zonas para evacuar la edificación; además del equipo de oficina y la operación del sistema de acondicionamiento de aire del cuarto de servidores de modo que ante fallas del servicio comercial las labores continúen con normalidad.

La carga esencial total manejada por el tablero T-PPL-DATA ubicado en el piso PP estará conectada al interruptor de transferencia automática (ATS-PANAVEN-01), éste transferirá la carga del tablero T-PPL-DATA desde la acometida de la Electricidad de Caracas preferencial hasta el moto-generador (GE-PANAVEN-01) cuando sea necesario. Esta transferencia estará manejada por un relé de control numérico que mantendrá la alimentación del tablero T-PPL-DATA, ya sea desde la red externa o desde el generador y realizará la transferencia al sistema de emergencia cuando detecte una señal de baja tensión sostenida por debajo del 70% de la tensión nominal en el alimentador principal proveniente de la red externa.

La transferencia automática se realizará luego de detectar una baja de tensión que se mantenga entre 0,1 a 1,5 segundos, lo cual originará la apertura y cierre simultáneo de los interruptores de la alimentación principal y del generador de emergencia respectivamente.

Al detectarse una baja de tensión e iniciarse la transferencia al sistema de emergencia, los equipos que posean UPS funcionarán sin ningún inconveniente de manera continua, sin embargo los demás equipos podrán ser encendidos al operar el generador de emergencia.

La transferencia automática será bloqueada bajo las siguientes condiciones:

- Cuando alguno de los interruptores asociados a ella esté en posición de prueba o retirado.
- Cuando el interruptor principal detecte una corriente de falla en el alimentador.
- Cuando el alimentador principal detecte corrientes de falla en el lado de la carga.

El sistema de control permitirá realizar manualmente una transferencia para remover una línea de alimentación o para reponer una línea de alimentación luego de una transferencia.

Se contará con un relé de control numérico, con pantalla para despliegue de información, con comunicación serial RS485 con protocolo de comunicación MODBUS. Las funciones que ejecutará dicho relé serán al menos las siguientes:

- Señalización de Baja tensión.
- Arranque con retardo de tiempo, 0 – 30 segundos.
- Pico de carga con retardo de tiempo, 0,1 – 30 segundos.

- Reenganche (retransferencia) con retardo de tiempo ajustable desde 2 segundos a 30 minutos.
- Señal de generador operando.
- Señal de generador en prueba.
- Señal de falla de la acometida principal.
- Señal de falla en el arranque del generador.

4.3.4 Consideraciones para el dimensionamiento:

a) Ubicación:

Área interior, sótano 1 del Edificio Panaven.

b) Condiciones climáticas:

Tabla 4. 14. Condiciones climáticas. Y&V.

Altitud	< 1000 m
Humedad relativa máxima	94%
Temperatura ambiente máxima	40 °C
Temperatura ambiente mínima	18 °C
Temperatura promedio en 24 horas	27 °C
Ambiente	Gases de escape vehicular
Sísmica condiciones	Zona 5 (COVENIN-MINDUR 1756-1-2001)
Velocidad del viento	0 km / h

c) Tamaño del tanque de combustible para 8 horas de funcionamiento.

d) Las cargas a alimentar serán monofásicas en 120 V y trifásicas en 208 V.

e) Las fluctuaciones del sistema eléctrico permitidas serán de:

Voltaje: $\pm 10\%$

Frecuencia: $\pm 5\%$

- f) El grupo motor-generador deberá estar disponible para aceptar la máxima carga en 15 segundos como máximo.
- g) El sistema deberá ser automático para su puesta en marcha y transferencia.
- h) La máxima variación de tensión por aplicaciones de la carga nominal no debe exceder el 20% de la tensión nominal.
- i) Para establecer el tiempo mínimo en que debe operar el sistema de emergencia una vez detectada la falla, se estimaron los tiempos máximos tolerados por los equipos ante un corte de energía que según la tabla 3.2 de la norma IEEE 446-95 para los equipos de procesamiento de datos como CPU, discos de almacenamiento y periféricos toleran una falta de energía durante $\frac{1}{2}$ ciclo para mantener la operación normal de programas, control de procesos, etc; además para los equipos de control de temperatura y humedad de los equipos de procesamiento de datos una tolerancia de 5 a 15 minutos, excepto en aquellos equipos de enfriamiento por agua en los que se permite una tolerancia de 1 minuto, ante falla con el fin de mantener las condiciones para prevenir fallos en el procesamiento de datos sistema y daños a los equipos. En el caso de la iluminación es tolerado hasta 10 segundos, preferiblemente menos de 3 segundos para la prevención del pánico, accidentes y daños a la propiedad.

4.3.5 Resultados del dimensionamiento y selección del generador de emergencia:

- **Generador:**

Considerando la potencia estimada para el respaldo de las cargas de la planta en condiciones de emergencia expuestas en la tabla 4.13 se estableció que la

capacidad nominal del generador será de 230 kW (287,5 kVA) a factor de potencia de 0,8 en atraso y frecuencia de 60 Hz. Esta capacidad no está estandarizada por la NEMA MG-1, como se muestra en la tabla 3.1, 250 kW es la capacidad estandarizada más cercana a los 223,52 kW de carga en condiciones de estabilidad y a los 254,32 kW en condiciones de arranque. Pero se decidió dimensionar el generador a 230kW, pues los grupos motor-generadores comerciales de 230kW, tienen una capacidad de arranque superior a los 254,32 kW para un 20 % de caída de tensión.

El generador será sincrónico de corriente alterna, con capacidad de 230 kW, a factor de potencia 0,8, 1 800 rpm, 3 fases, 4 hilos, 60 Hz y voltaje discreto de 208 V en conexión ESTRELLA. El aumento de temperatura no será superior a 125 °C (aislamiento clase H) por encima de 40 °C de temperatura ambiente en funcionamiento continuo. La clasificación se basa en la temperatura ambiente máxima y en una base de trabajo continuo.

Como consecuencia de la ubicación del motor-generador en un área comercial con tránsito de personal que labora a tiempo completo, se necesitará un módulo tipo cerrado insonorizado para su instalación en un área interior, pues el ruido continuo permitido en estas condiciones laborales es de hasta los 85 dB a un metro de distancia.

- **Motor:**

El número, desplazamiento de los cilindros y la capacidad de potencia al freno del motor deberán ser establecidos por el fabricante de manera que satisfaga la capacidad nominal del conjunto moto-generador, donde el motor será para operación en espera (stand by) y deberá funcionar con combustible diesel y refrigerado por

líquido en sistema cerrado, con una velocidad del motor que no deberá exceder de 1 800 rpm, a la tensión y frecuencia nominal del generador.

El gobernador será electrónico debido a que se requiere precisión en la regulación de velocidad.

La tensión del motor de arranque será recomendada por el fabricante, preferiblemente 24 V en CC.

El motor deberá llegar a la velocidad nominal y aceptar la máxima carga en 15 segundos como máximo.

Se deberá suministrar un juego de baterías del tipo plomo-ácido la cuales deben tener una capacidad suficiente para proveer diez (10) arranques normales sin necesidad de recargarse.

- **Combustible:**

El combustible a ser utilizado por el motor de combustión interna será el diesel debido a que permite un tiempo de respuesta del motor-generador de 10 segundos con el 100% de la carga, buena estabilidad en frecuencia y menor riesgo de almacenamiento.

- **Almacenamiento:**

El área seleccionada para la instalación del motor-generator corresponde a un área en el estacionamiento y se cuenta con el espacio para la instalación de un tanque sobre suelo.

CONCLUSIONES

La elaboración de la metodología para el dimensionamiento y la selección de generadores de emergencia de 50kVA a 3 000 kVA para su aplicación en sistemas industriales, se basa en la revisión de manuales de fabricantes, en el manual de PDVSA 90619.1.052, en las normas IEEE 446, NEMA MG-1 y FONDONORMA.

Con una rápida revisión de esta metodología, el ingeniero de proyectos reconocerá qué variables influyen en el dimensionamiento y la selección de los generadores de emergencia, identificando el grupo motor-generador preliminar que más se ajuste a las necesidades particulares de una industria, brindando además recomendaciones sobre información de interés si se requiere un estudio más detallado.

El dimensionamiento del generador lo determina principalmente la caída de tensión producida por el arranque secuencial de las cargas a intervalos no menores a 10 segundos.

La selección de un generador de emergencia considera la ubicación del generador en la instalación, el grado de confiabilidad que se requiera en relación a la criticidad del proceso industrial, además del conocimiento de las cargas inherentes a los requerimientos energéticos del proceso industrial. Por lo que esta labor debe ser realizada con el apoyo del cliente y de otras disciplinas de ingeniería.

Gracias al análisis técnico realizado sobre los combustibles empleados comúnmente en este tipo de generadores, se recomienda al diesel, como el combustible por excelencia a usar en sistemas de emergencia, principalmente por permitir la rápida puesta en marcha del generador, debido a sus excelentes propiedades de combustión.

RECOMENDACIONES

Desarrollar una metodología que considere el arranque de cargas por etapas con tiempos de espera menores a 10s.

Desarrollar una metodología para generadores que alimentan cargas críticas no industriales, como las cargas de hospitales, laboratorios, entre otros.

Desarrollar una metodología para el dimensionamiento y selección de generadores para los rangos de operación continua y principal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NEMA MG 1-2006. *Motors and Generators*.
- [2] Empresas Y&V. (2005). *C-El-02P Estimación de la Demanda Eléctrica*.
- [3] FONDONORMA 200-2004. *Código Eléctrico Nacional*, Caracas Venezuela.
- [4] Gil, R. (2000). *Estudio en sistemas de potencia*. Trabajo de ascenso. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- [5] IEEE Std. 446-1995, *Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications*.
- [6] Aller, J. (2006). *Máquinas Eléctricas Rotativas. Introducción a la teoría general*. Universidad Simón Bolívar, Sartenejas.
- [7] Cummins. (2004). *Liquid Cooled Genset Application Manual*.
- [8] Caterpillar. (2008). *Application and Installation Guide, Governors Gas & Diesel*.
- [9] Morse, F. (1961). *Centrales Eléctricas*. Ed. Continental, S.A. México.
- [10] NFPA 37-2010, *Standard for the Installation and Use of Stationary Combustion Engines and Gas Turbines*.
- [11] PDVSA. (1993) *PDVSA 90619.1.052, Generadores de Emergencia*.
- [12] Robert, H. (2004). *Electrical Engineer's Portable Handbook*. McGraw-Hill.
- [13] IEEE Std. 399-1997, *Recommended Practice for Power Systems Analysis*.
- [14] LEROY-SOMER (2004). *Alternators LSA 50.2-4 Polos. Electrical and Mechanical Data*.

BIBLIOGRAFÍA

Aller, J. (2006). *Máquinas Eléctricas Rotativas. Introducción a la teoría general*. Universidad Simón Bolívar, Sartenejas.

Empresas Y&V. (2005). *C-El-02P Estimación de la Demanda Eléctrica*.

Empresas Y&V. (2007). *C-EL-27P Diseño de Sistemas Críticos AC Y DC*.

Fraile Mora, Jesús. (2003). *Máquinas Eléctricas*. España: McGraw-Hill.

FONDONORMA 200-2004. *Código Eléctrico Nacional*, Caracas Venezuela.

IEEE Std. 446-1995, *Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications*.

IEEE Std. 399-1997, *Recommended Practice for Power Systems Analysis*.

NEMA MG 1-2006. *Motors and Generators*.

NEMA MG 2-2001, *Safety Standard and Guide for Selection, Installation, and Use of Electric Motors and Generators*.

NFPA 37. (2010). *Standard for the Installation and Use of Stationary Combustion Engines and Gas Turbines*.

PDVSA. (1993). *PDVSA 90619.1.052, Generadores de Emergencia*.

ANEXOS

[ANEXO N° 1]
[Memoria de Cálculo. Caso 2]

A-1.1. Especificaciones del grupo motor-generator del fabricante CYMASA:

El grupo motor-generator CYMASA, es el grupo preliminar a ser usado para evaluar por caída de tensión, el arranque escalonado de las cargas correspondientes al proyecto complejo generador TERMOCENTRO. En las tablas A-1.1, A-1.2 y A-1.3 se dan las especificaciones de potencia para un grupo comercial de 910 kVA.

Tabla A-1. 1. Especificaciones del motor diesel.

ESPECIFICACIÓN MOTOR	
Modelo	MTU 12V 2000 G85
Potencia Bruta PRP	810,00 kW
Potencia Bruta STP	890,00 kW
Perdidas radiador	-4,00%
Potencia Neta PRP	777,60 kW
Potencia Neta STP	854,40 kW

Tabla A-1. 2. Especificaciones del Generador.

ESPECIFICACIÓN GENERADOR	
Modelo	LSA 50.2 M6
Potencia CONTINUA calentamiento “H”	1560,00 kVA
Potencia CONTINUA calentamiento “F”	1405,00 kVA
Potencia CONTINUA calentamiento “B”	1248,00 kVA
Potencia EMERGENCIA calentamiento “H”	1720,00 kVA
Potencia EMERGENCIA calentamiento “F”	1548,00 kVA
Potencia EMERGENCIA calentamiento “B”	1376,00 kVA
Rendimiento CONTINUA	95,00% kVA
Rendimiento EMERGENCIA	94,80% kVA

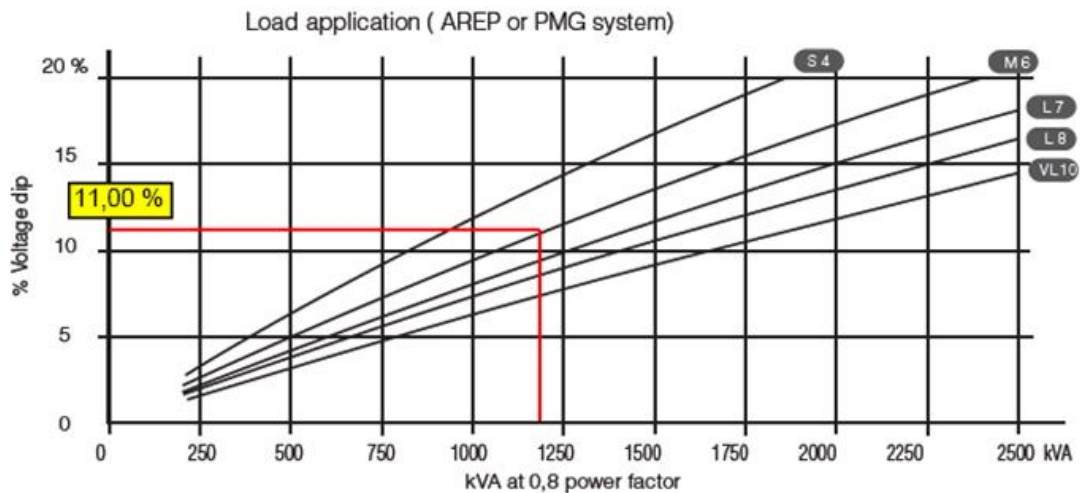
Tabla A-1. 2. Especificaciones del grupo motor-generator.

GRUPO MOTOR-GENERADOR		
Potencia eléctrica neta	PRP	STP
kW	738,72	809,97
kVA	923,40	1012,46
Comercialmente	910 Kva	

A-1.2. Evaluación de la capacidad de arranque por etapas, del grupo motor-generator CYMASA de 910 kVA:

Según la tabla 4.10, se tiene que la potencia de arranque requerida para el primer bloque de carga será de 1130,95 kVA.

Evaluando la curva de aplicación de carga, mostrada en la gráfica A-1.1., para un grupo motor-generator con sistema de excitación AREP ó PMG, se tiene que al arrancar el primer bloque de carga de 1130,95 kVA, el porcentaje de caída de tensión será del 11,00 %, de modo que se cumple con la premisa de diseño de no exceder en 20% la caída de tensión.



Gráfica A-1.1. Curva de aplicación de carga. [14]

Al cumplir con la primera etapa, se evalúa el arranque de la segunda etapa. Para ello se necesita conocer la carga del primer bloque en condiciones de estabilidad, la carga a ser arrancada en el segundo bloque y la gráfica A-1.2., de ajuste de carga para el arranque por etapas.

Donde:

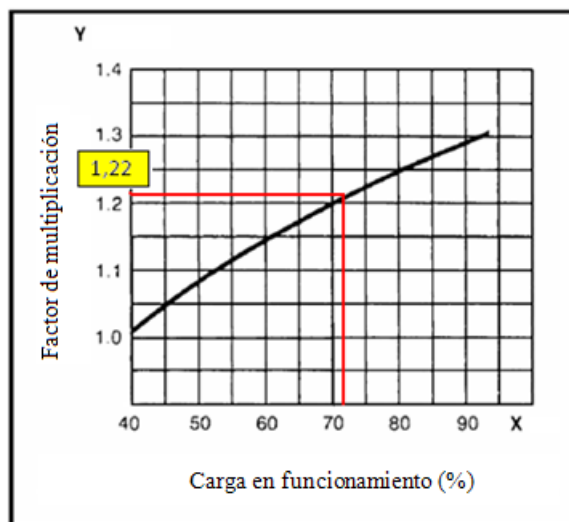
- La carga del primer bloque en condiciones de estabilidad es igual a la carga estable total de 568,63 kVA, menos 65,00 kVA que corresponden a la carga HVAC Edificio de control. Por lo que se tendría como carga inicial 503,63 kVA.
- El segundo bloque, compuesto por las cargas HVAC del Edificio de Control, arrancará 10 segundos después y requerirá una potencia de arranque de 195,00 kVA.

Calculando el porcentaje de carga del motor a través de la siguiente ecuación:

$$Carga_del_motor(\%) = \frac{Carga_inicial}{Carga_inicial + Motor_arrancando} * 100 =$$

$$Carga_del_motor(\%) = \frac{503,63}{503,63 + 195} * 100 = 72 \%$$

Se tiene que la carga en funcionamiento al arrancar la segunda etapa representa el 72% de la carga total.

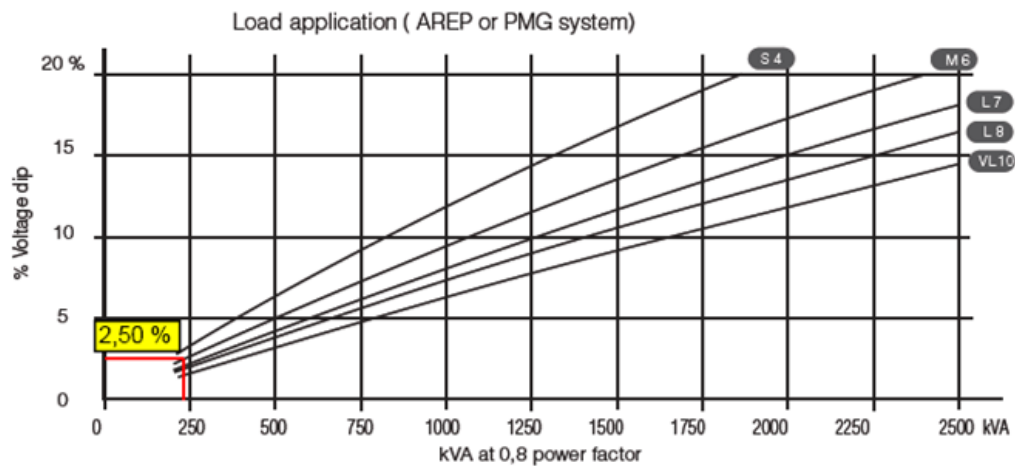


Gráfica A-1. 2. Ajuste de carga para el arranque por etapas. [12]

De allí que el factor de multiplicación a utilizar será del 1,22.

Para ajustar la carga que arranca en la segunda etapa, se multiplican los 195,00 kVA por 1,22 y se obtiene como carga ajustada 237,90 kVA.

Al evaluar la carga ajustada, en la curva de aplicación de carga, se obtiene una caída de tensión de 2,50%, como se muestra en la gráfica A-1.3.



Gráfica A-1.3. Curva de aplicación de carga. [14]

El 2,50%, garantiza que se cumple con el límite del 6% de caída de tensión de la segunda etapa.

De acuerdo a los cálculos realizados queda dimensionado el grupo motor-generator CYMASA a 910 kVA, ya que para esta capacidad se cumplen los requisitos de caída de tensión y arranque por etapas.

[ANEXO N° 2]
[Procedimiento Y&V]

**DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE GENERADORES DE EMERGENCIA
EN SISTEMAS INDUSTRIALES
C-EL-GE**

1. OBJETIVO

Establecer una metodología general para el dimensionamiento y la selección de generadores de emergencia en sistemas industriales para ser utilizados en los proyectos ejecutados por Empresas Y&V.

2. ALCANCE

Este procedimiento comprende las actividades necesarias para el dimensionamiento y selección de generadores de emergencia a capacidades de potencia comprendidas entre 50 kVA y 3000 kVA mediante el uso una lista organizada de pasos y un flujograma. Incluye los datos de entrada, los documentos de referencia y el procedimiento general para la obtención del generador de emergencia.

Revisión	Descripción	Elaborado	Revisado	Aprobado	Fecha
0	PRIMERA EMISIÓN	M.R	R.L	C.T	Agosto 2010

3. PROCEDIMIENTO

El procedimiento está descrito en los pasos y el flujograma siguientes:

3.1. PASOS

El procedimiento a seguir para dimensionar, seleccionar y ubicar generadores de emergencia industriales es el siguiente:

3.1.1. CONCERNIENTES A LAS CARGAS:

- a) Establecer los alcances del funcionamiento del generador en la instalación, es decir, definir a modo general la carga industrial que se desea respaldar.
- b) Del total de la carga industrial, analizar y cuantificar qué cargas son vitales, esenciales y no esenciales.
- c) Determinar la carga total a ser alimentada por el generador, compuesta por las cargas vitales, parte de las cargas esenciales, cargas de necesidad adicional y un 20% de reserva.
- d) Revisar los requerimientos de las cargas:
 - Frecuencia.
 - Voltaje nominal y niveles soportables de variación de tensión.
 - Corriente nominal.
 - Potencia nominal.
 - Potencia de salida.
 - Factor de potencia.
 - Disponibilidad en unidades de tiempo.
 - Eficiencia.
 - Corriente de arranque o letra código.
 - Servicio por ciclos de trabajo (continuo, intermitente o reserva).
- e) Completar los datos faltantes con datos típicos consultando catálogos u otras fuentes.
- f) Conocer del sistema:
 - Niveles de tensión.
 - Frecuencia.
 - Número de fases e hilos.
 - Puesta a tierra.

-
- g) Para instalaciones existentes consultar diagramas unifilares y verificar la necesidad de expansión.
- h) Para instalaciones no existentes definir los esquemas de conexión de las barras, los niveles de tensión a utilizar, realizar un boceto del diagrama unifilar y distribuir las cargas.
- i) Revisar los factores de demanda y de coincidencia.
- j) Elaborar la estimación de la demanda eléctrica de las cargas que serán alimentadas por el generador de emergencia.
- k) Obtener información sobre las condiciones ambientales de la instalación:
- Altitud.
 - Temperatura ambiente.
 - Ubicación.
 - Tipo de área.

3.1.2. CONCERNIENTES AL GENERADOR:

- a) Seleccionar el voltaje nominal del generador de acuerdo a las características de la carga.
- b) Establecer criterios ante el uso de un sistema de generación en un voltaje mayor, si la corriente requerida por el sistema es elevada. (Ver Tabla 3.1. Clasificaciones de voltaje)

Tabla 3.1. Clasificaciones de voltaje para circuitos de 60 Hz, en Volts.

Trifásico		Monofásico
Voltaje discreto	Rango amplio	Voltaje discreto
208Y/120	208-240/416-480	120
240		120/240
480		240
480Y/277		
240/480		
600		
2400		
4160Y/2400		
4800		
6900		
13800		

- c) Seleccionar el tipo de configuraciones de devanado y de conexión más conveniente, entre voltaje discreto, rango amplio, rango extendido, rango limitado, reconexión o arranque incrementado del motor.
- d) De acuerdo a la temperatura ambiente y a los generadores comerciales establecer el aislamiento del sistema, este generalmente es de clase F o clase H, para el rango de capacidad de 50 kVA a 3 000 kVA.

Tabla 3.2. Incremento de temperatura permitido para cada clase de aislamiento.

Clase de aislamiento	B	F	H
Incremento de temperatura en °C	80	105	125

- e) Definir el sistema de excitación relacionada con la seguridad y la disponibilidad.
- f) Definir el lugar donde se ubicará el generador y los equipos asociados al sistema de generación de emergencia.
- g) Determinar el tiempo en que el generador estará listo para aceptar la carga.
- h) Determinar la capacidad nominal del generador:

La capacidad del generador debe ser suficiente para mantener los niveles de tensión adecuados durante el arranque de las cargas esenciales y conservar alimentadas cargas permanentes como iluminación, señalización y otros equipos. Por ello se debe elaborar una secuencia de arranque de los motores comenzando por los más grandes, arrancando cada uno a intervalos de 10 segundos, si el proceso requiere intervalos más cortos se estudiará la aceleración del motor y los tiempos de recuperación de la tensión del generador, disminuyendo los intervalos al mínimo aceptable.

Tabla 3.3. Capacidad en kilovolt-Ampère (kVA) y kilowatt(kW)

kVA	kW	kVA	kW	kVA	kW	kVA	kW	kVA	kW
50	40	156	125	375	300	875	700	1 875	1 500
62,5	50	187	150	438	350	1 000	800	2 188	1 750
75	60	219	175	500	400	1 125	900	2 500	2 000
93,8	75	250	200	625	500	1 250	1 000	2 812	2 250
125	100	312	250	750	600	1 563	1 250	3 125	2 500

3.1.3. CONCERNIENTES AL MOTOR:

- a) Conocer el tiempo de arranque en frío y para tomar carga.
- b) Definir el gobernador (Regulador).
- c) Definir el sistema de arranque basados en el:
 - Tamaño del generador.
 - Número de arranques disponibles.
 - Nivel de seguridad.

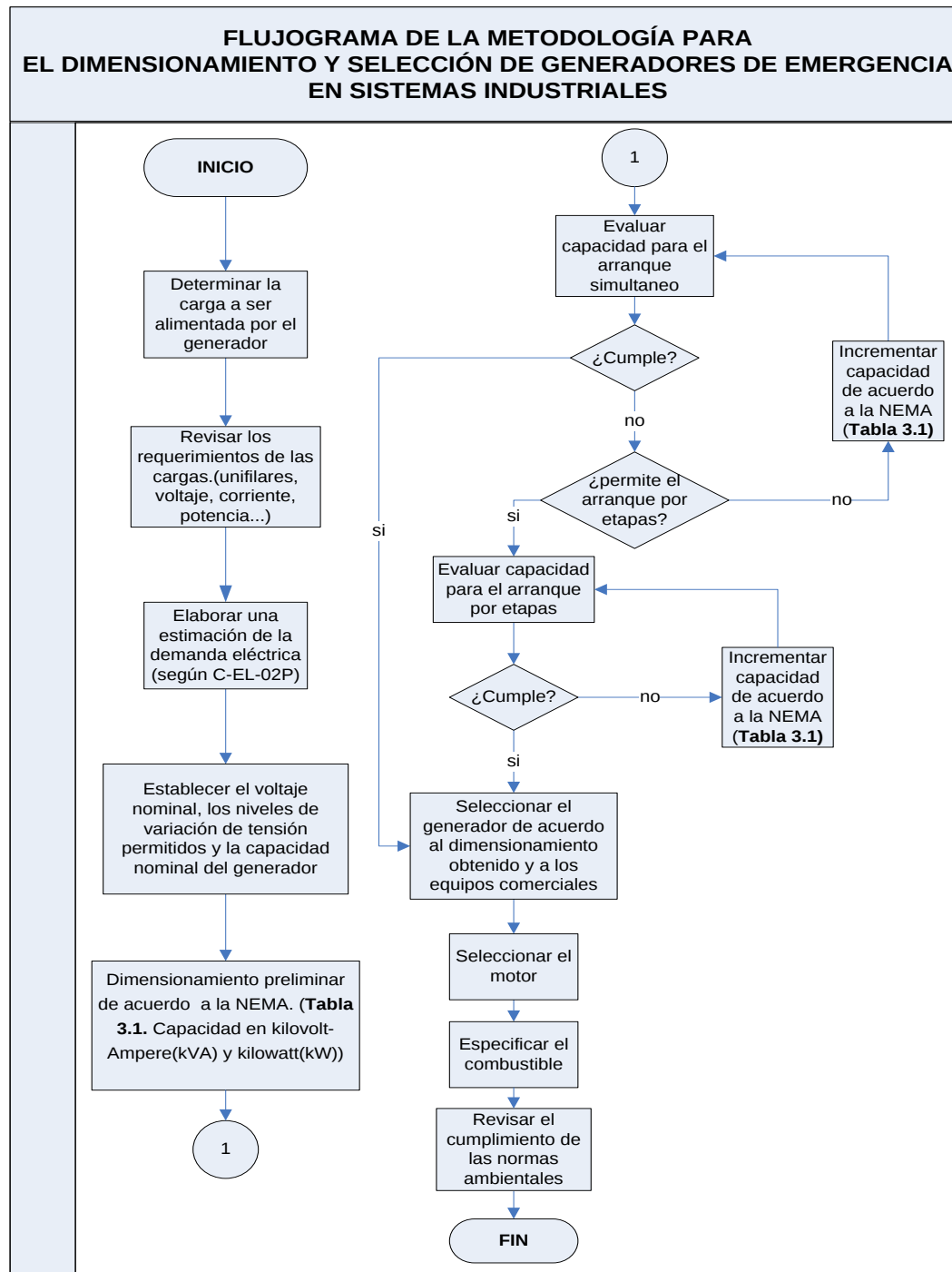
3.1.4. CONCERNIENTES AL COMBUSTIBLE:

- a) En función del tiempo de respuesta se puede considerar que tipo de combustible se requerirá.
- b) Estudiar la disponibilidad y confiabilidad del suministro.
- c) Estudiar los aspectos de seguridad de la instalación en relación al combustible.
- d) Pronosticar el tiempo posible de operación.
- e) Determinar la capacidad de almacenaje.
- f) Determinar el tipo de tanque.

3.1.5. CONCERNIENTES A LAS NORMAS AMBIENTALES:

- a) Revisar el cumplimiento con la legislación ambiental venezolana.
- b) Revisar normativas ambientales aplicables al caso de estudio.

3.2. FLUJOGRAMA



3.3. ACLARATORIAS SOBRE EL FLUJOGRAMA:

3.3.1. DETERMINAR LA CARGA A SER ALIMENTADA POR EL GENERADOR:

La decisión de la carga a ser alimentada por el generador de emergencia debe ser tomada por los conocedores del proceso industrial para garantizar la seguridad de las personas y la operación segura de la maquinaria.

3.3.2. DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR

En este punto se debe calcular la potencia que consume cada uno de los equipos en condiciones de estabilidad, es decir, sin considerar el arranque. Para ello se llevarán los hp mecánicos de los motores a kVA o kW, según la ecuación (3.1).

$$hp = \frac{kVA * fp * eficiencia}{0,746} = \frac{kW * eficiencia}{0,746} \quad (3.1)$$

Luego se sumará la potencia de todos los equipos tomando en consideración los coeficientes correspondientes a cada tipo de carga (continua, intermitente y de reserva), el resultado establecerá la capacidad de potencia preliminar. Dicha capacidad será tomada de los estándares de construcción de generadores sincrónicos expuestos en la tabla 3.3, que lista las capacidades kilovolt-Ampère(kVA) y kilowatt(kW). Esta tabla será usada para tomar como nominal, una potencia igual o mayor a la calculada en la estimación de demanda.

3.3.3. EVALUAR LA EXISTENCIA DE ALGUNOS TIPOS DE ARRANQUE:

Para cargas sobre los 150 kW en baja tensión y cargas sobre los 400 kW en media tensión, existen aplicaciones que requieren el estudio de otros tipos de arranque, además del directo. Pues un método de arranque a tensión reducida, resguarda a las piezas mecánicas de los esfuerzos producidos por el elevado par de arranque, protege a los devanados del sobrecalentamiento producido por la elevada corriente de arranque que degrada el barniz aislante del bobinado y evita caídas de tensión que afectan a otras cargas conectadas a la misma alimentación de motores, por nombrar las ventajas más notables.

Los arrancadores que presentan mayores ventajas operativas actualmente son los arrancadores suaves de estado sólido, pues el arranque por autotransformador y estrella/triángulo, aunque reduce los fenómenos transitorios mecánicos y eléctricos, presentan limitaciones en su aplicación, como lo es la falta de control en la corriente y velocidad de parada del motor; particularmente en el caso del arranque por autotransformador no se tiene control sobre los incrementos bruscos del par al cambiar la tensión y

en el caso del arranque por estrella/triángulo la conmutación de una conexión a otra, origina un nuevo punto de par transitorio, además del inicial.

Los arrancadores de estado sólido tienen ventajas, pues pueden arrancar por tensión reducida y limitación de la corriente de partida, por rampa de corriente y por rampa de torque, sumándole a este tipo de control que las rampas pueden ser modificadas para cubrir variaciones en las cargas, además tienen control sobre las corrientes de parada de los motores. Estos arrancadores son particularmente útiles cuando se quiere arrancar cargas livianas con un arranque no violento y eventualmente tienen limitaciones para aplicaciones que requieren un par elevado de motor desde el principio.

Con la intención de obtener un arranque mecánico suave que evite altas caídas de tensión y que requiera menores potencias de inicio del generador, se emplean tipos de arranque como los expuestos en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Factores de arranque a voltaje reducido.

Tipo	Factor de multiplicación de SkVA	Torque
Resistor, Reactor e Impedancia		
80% Tap	0.80	0.68
65% Tap	0.65	0.46
50% Tap	0.50	0.29
45% Tap	0.45	-
Autotransformador		
80% Tap	0.68	0.68
65% Tap	0.46	0.46
50% Tap	0.29	0.29
Estrella-Delta	0.33	0.33
Devanado fraccionado	0.60	0.48
Estado sólido ajustable	Dado por el fabricante o aproximadamente 300% de los kV*A a full carga.	-

3.3.4. CALCULO DE LA POTENCIA DE ARRANQUE:

En el caso de motores, la potencia que requieren para arrancar. Se puede calcular según la ecuación (3.2):

$$SkVA = hp * \left(\frac{RBkVA}{hp} \right) * factorSkVA \quad (3.2)$$

Donde:

factor SkVA: es 1,0 para arranque a voltaje completo o el valor que indique a tabla 3.4 de arranque a voltaje reducido.

RBkVA/hp: son los kVA/hp a rotor bloqueado, de acuerdo a la letra código NEMA en motores AC. Relación que se obtiene del siguiente modo:

- Si se conoce la letra código de diseño dada por el fabricante, según la tabla 3.5.
- Si se conoce la corriente de rotor bloqueado (A_{RB}), el voltaje de línea (V_{LINEA}) y los hp del motor, se puede hallar la potencia de arranque como se muestra en la ecuación 3.3.

$$RBkVA/hp = \frac{A_{RB} * V_{LINEA} * \sqrt{3}}{1000 * Hp} \quad (3.3)$$

Tabla 3.5. Letras código en motores AC.

Letra código	kVA por hp	Letra código	kVA por hp
A	0-3,14	M	10,0-11,19
B	3,15-3,54	N	11,2-12,49
C	3,55-3,99	P	12,5-13,99
D	4,0-4,49	R	14,0-15,99
E	4,5- 4,99	S	16,0-17,99
F	5,0- 5,59	T	18,0-19,99
G	5,6- 6,29	U	20,0-22,39
H	6,3- 7,09	V	22,4 en adelante
J	7,1- 7,99	Desconocida	6
K	8,0- 8,99	Motor rotor bobinado no tiene letra código	
L	9,0- 9,99		

3.3.5. CAÍDA DE Tensión:

La caída instantánea de tensión al momento del arranque de cualquiera de las cargas o etapas de carga, se puede calcular a través de las curvas dadas por los fabricantes, la norma NEMA MG-1 y IEEE la norma 399-97.

1. Información de los Fabricantes:

En la selección o la aplicación de generadores sincrónicos la caída de tensión, a raíz de un aumento repentino en la carga, es a menudo especificada o requerida. Cuando lo solicite el comprador, el fabricante del generador debe suministrar la regulación de voltaje transitorio esperada, asumiendo las siguientes condiciones a menos que se especifique lo contrario:

- a) Velocidad constante (nominal).
- b) Generador, excitador y regulador operando inicialmente sin carga a tensión nominal y comenzando desde la temperatura ambiente.
- c) Aplicación de carga de impedancia lineal constante.

2. Cálculo según la norma NEMA MG-1:

A falta de información suministrada por los fabricantes, el valor de la caída de voltaje puede estimarse a partir de las constantes de la máquina, con sujeción a las condiciones siguientes:

- a) Tiempo de respuesta del regulador de voltaje ≤ 17 milisegundos.
- b) Sistema de excitación con voltaje tope $\geq 1,5$ x voltaje nominal de campo.
- c) Caída de tensión calculada :
- d)

$$\% \Delta V = \frac{X'd}{X_L + X'd} * 100 \quad (3.4)$$

Dónde:

- $X_L = \frac{\text{kVA nominales del generador}}{\text{kVA de la carga a bajo factor de potencia}} \quad (3.5)$
 - $X'd$ = reactancia transitoria del eje directo, por unidad.
- e) A menos que se especifique lo contrario se asumirá:
 - Velocidad nominal constante.
 - Generador, excitador y regulador inicialmente operando sin carga a voltaje nominal, arrancando desde la temperatura ambiente.
 - La aplicación de una carga de impedancia lineal.

3. Cálculo según la norma IEEE 399-97:

Según la norma IEEE 399-97, cuando para una evaluación preliminar de diseño se presenten casos de desconocimiento o ausencia de datos precisos en las características de las cargas y los motores, se puede asumir:

- La conversión de hp a kVA:
En motores sincrónicos con factor de potencia en estado estacionario de 0,8 inductivo. 1 hp es igual a 1 kVA.
En motores sincrónicos con factor de potencia en estado estacionario de 1,0. 1 hp es igual a 0,8 kVA.
- En motores de inducción según la ecuación 3.1.
- Los efectos mecánicos como la respuesta del gobernador, los cambios en la velocidad del primo motor, la inercia, entre otros son despreciables.
- Las pérdidas son despreciables. Se usaran en los cálculos solo las reactancias.
- La respuesta del excitador es modelada linealmente.
- La carga de arranque del motor es de impedancia constante.

El cálculo de la caída de tensión del generador sincrónico se hará según las consideraciones anteriores y con ayuda de la figura 3.1, como sigue:

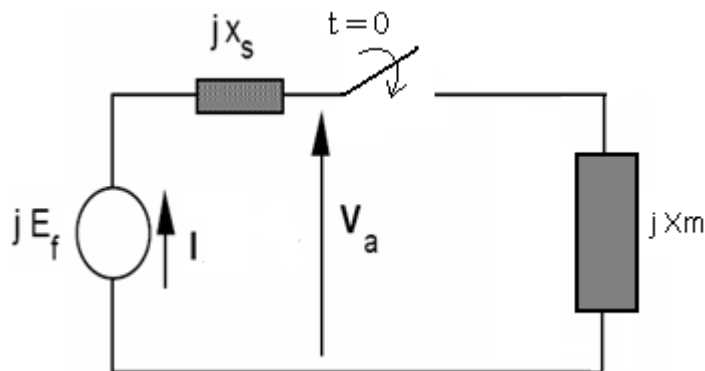


Figura 3.1. Arranque de motor alimentado por un generador sincrónico de polos lisos.

- Se calcula la potencia de arranque (S_{kVA}), según la ecuación (3.2).
- Luego, la impedancia del motor en por unidad, en el instante del arranque:

$$X_{motor}(p.u) = \frac{Z_{motor}(\Omega)}{Z_{base}(\Omega)} = \frac{\frac{V_{nom}^2}{S_{kVA}}}{\frac{V_{base}^2}{S_{base}}} \quad (3.6)$$

- A continuación, la corriente transitoria al momento de arrancar el motor es:

$$I(p.u) = \frac{E_f}{X'd + X_m} \quad (3.7)$$

- Finalmente la caída de tensión del generador es:

$$\% \Delta V = X'd * I * 100 \quad (3.8)$$

3.3.6. EVALUAR LA CAPACIDAD DE ARRANQUE SIMULTÁNEO:

En este punto se evalúa la potencia que consume cada equipo en condiciones de arranque, tomando en consideración el tipo de carga (motor, aire acondicionado, cargador de baterías, bomba contra incendio, UPS, etc.).

Si la suma de las potencias de todas las cargas en condiciones de arranque es menor o igual a la potencia de dimensionamiento preliminar, se conserva esta capacidad como la de dimensionamiento final del generador de emergencia. De ser mayor la potencia requerida para arrancar se tomará de la tabla 3.3 la que más se acerque a este valor siempre por exceso.

Dimensionar un generador por arranque simultáneo puede llevar al sobre dimensionamiento, por ello es necesario saber si el sistema industrial permite el arranque por etapas o cuenta con arrancadores a tensión reducida.

Es importante recordar que los generadores también pueden responder a necesidades especiales fuera del estándar, pero esto podrá causar demoras en la obtención del equipo y puede conducir a costos adicionales.

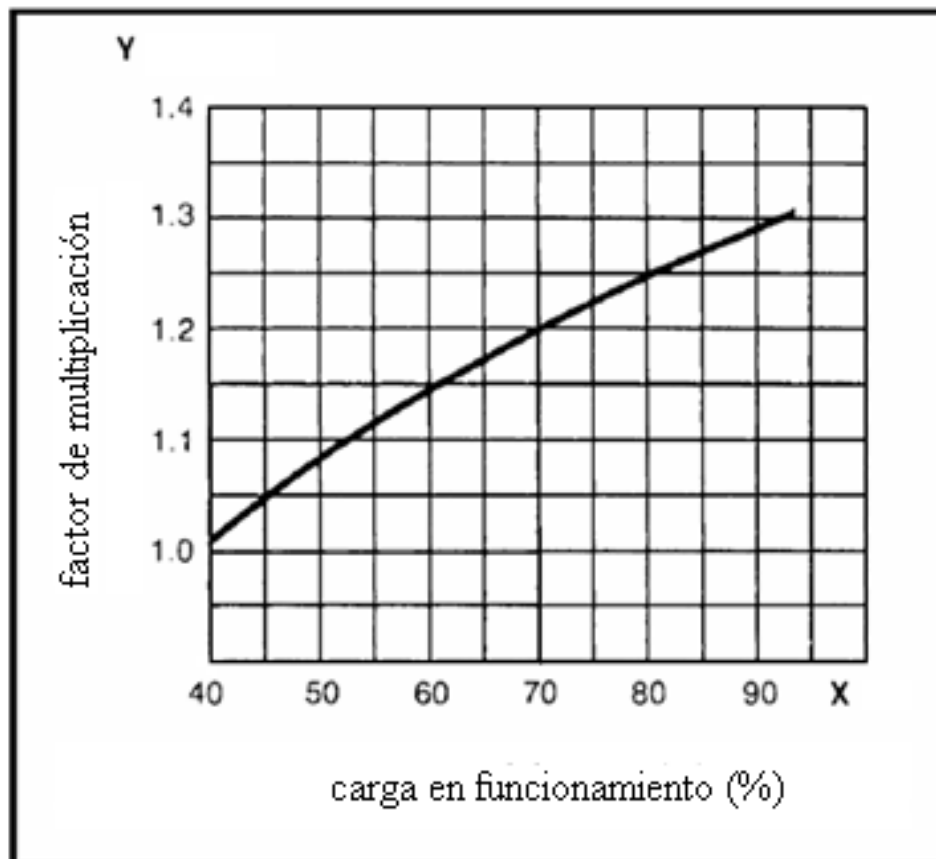
3.3.7. EVALUAR LA CAPACIDAD DE ARRANQUE POR ETAPAS:

Con los cálculos de la potencia que consume cada equipo en condiciones de arranque realizados como se indicó en el punto 3.3.2, se evalúa por caída de tensión si la capacidad preliminar cumple con el arranque por etapas.

Para este tipo de arranque, es conveniente poner en marcha desde el motor que requiera más potencia hasta el que requiera menor potencia e inclusive finalizar con cargas que no requieran arranque.

Se debe considerar además que el esquema de conexiones debe responder a las necesidades de la instalación atendiendo en primera instancia las cargas prioritarias que permitan mantener fuera de peligro a personas e instalaciones.

La evaluación por caída de tensión para el arranque por etapas se realizará tomando en consideración la carga inicial al momento del arranque de cada etapa. Debido a que generalmente sólo se cuenta con curvas que permiten el cálculo de la caída de tensión para un porcentaje de carga inicial igual al 0 %, se hace necesario emplear gráficas como la 3.1, para hallar un factor de multiplicación para el motor precargado.



Gráfica 3.1. Ajuste de carga para el arranque por etapas.

Donde:

- El porcentaje de carga en funcionamiento se calculará a través de la ecuación (3.9).

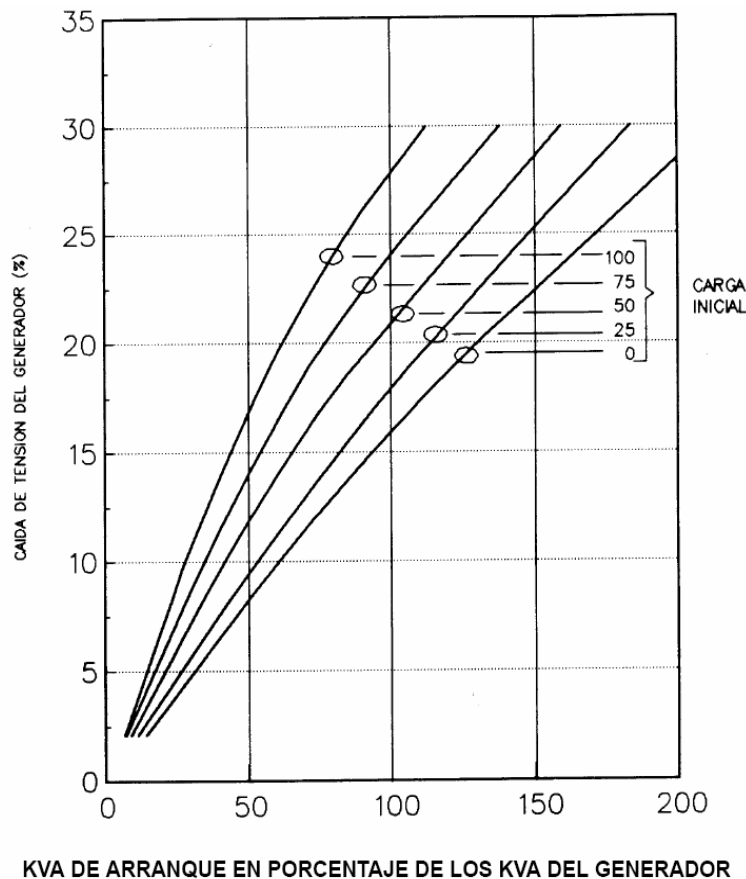
$$Carga_del_motor(\%) = \frac{Carga_inicial}{Carga_inicial + Motor_arrancando} * 100 \quad (3.9)$$

$Carga_del_motor(\%) < 40\%$, *factor de multiplicación = 1,0*

- Ingresando en la grafica con el porcentaje de carga calculado, se obtiene el factor de multiplicación.

La potencia de arranque considerando el efecto de las cargas iniciales, es la potencia de arranque total de la etapa por el factor de multiplicación obtenido en el punto anterior. Con esta potencia de arranque corregida, se halla la caída de tensión de la etapa ingresando en una gráfica de kVA de arranque en porcentaje de los kVA del generador Vs. Caída de tensión del generador, como la mostrada en la gráfica 3.2 para 0% de carga inicial. En el caso de que una etapa no cumpla con la caída de tensión, se debe incrementar la potencia de acuerdo a la tabla 3.1, que lista las capacidades en kVA y kW de los generadores, estandarizadas según la norma NEMA.

Algunos grupos generadores ofrecen gráficas que facilitan el cálculo de la caída de tensión, como se muestra en la gráfica 3.2, kVA de arranque en porcentaje de los kVA del generador (%) Vs. Caída de tensión del generador (%), donde cada curva representa porcentajes de carga inicial igual al 0%, 25%, 50%, 75% y 100%.



Gráfica 3.2. kVA de arranque en porcentaje de los kVA del generador (%)
Vs. Caída de tensión del generador (%)

NOTA: Curvas representativas de los paquetes de generadores basados en un sistema de excitatriz de alta velocidad con reguladores de tensión estáticos y una reactancia transitoria del generador ($X'd$) de 0,20 p.u.

Como muestra del uso de las curvas de caída de tensión para distintos porcentajes de carga inicial empleadas en los cálculos de arranque por etapas, se recurre a información del manual PDVSA 90619.1.052:

El manual de generadores de emergencia de PDVSA, especifica sus generadores para uso de emergencia de 480Y/277 V, 60 Hz, 0,80 de factor de potencia, accionado por motores diesel, y señala curvas de caída de tensión para varios porcentajes de carga inicial conectada en la gráfica 3.2. Estas curvas permiten conocer las caídas de tensión producidas por las cargas que son conectadas al sistema de generación de emergencia, tomando como referencia la capacidad preliminar en kVA del generador que posiblemente pueda asumir la carga. Con estas curvas se verifica que

la capacidad del generador seleccionado es apta para mantener su nivel de tensión nominal de salida ante la conexión de las cargas.

La gráfica 3.2 es usada del siguiente modo:

- Se establecen las etapas de arranque.
- Se dividen los kVA totales en condiciones de arranque de la etapa a ser conectada, entre la capacidad preliminar del generador.
- El porcentaje obtenido en el punto anterior, son los kVA de arranque en porcentaje de los kVA del generador, ubicados en el eje de las abscisas de la Gráfica 3.1; ingresando por este eje se obtiene el porcentaje de caída de tensión del generador en el eje de la ordenadas, según la curva de porcentaje de carga inicial en el que nos encontremos.
- El proceso se repite hasta conectar el 100% de la carga.
- Si el porcentaje de caída de tensión del generador se excede de un límite establecido por el sistema, se debe seleccionar una capacidad de generación superior y repetir el proceso. El límite de este porcentaje depende de la característica del motor o la carga. Por ejemplo, según la norma IEEE 399-97, para sistemas industriales con motores NEMA clase B, es permitida una caída de tensión del 20 %, pues ellos necesitan un voltaje mínimo de arranque en sus terminales del 80 % de su voltaje nominal de operación.
- Generalmente se permite una caída de tensión igual o menor al 20 %.

3.3.8. SELECCIONAR EL GENERADOR DE ACUERDO AL DIMENSIONAMIENTO OBTENIDO Y A LOS EQUIPOS COMERCIALES:

Para la capacidad nominal de generación requerida por las cargas se estudia el sistema que más se ajuste a las necesidades industriales, definiendo como se indicará a continuación el motor de combustión interna, el combustible a ser consumido y la normativa ambiental.

3.3.9. SELECCIONAR EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA:

De acuerdo a las especificaciones del motor señaladas en 3.1.3, se indican los requerimientos necesarios para que al seleccionar el generador de emergencia, se arme el grupo motor-generador deseado. Pues la capacidad de potencia al freno del motor deberá ser establecida por el

fabricante de manera que satisfaga la capacidad nominal del conjunto motor-generador.

3.3.10. ESPECIFICAR EL COMBUSTIBLE:

De acuerdo a las especificaciones del combustible señaladas en 3.1.4, se selecciona el combustible a ser usado por el grupo motor-generador.

3.3.11. REVISAR EL CUMPLIMIENTO CON LAS NORMAS AMBIENTALES:

Verificar que se cumpla con los niveles de ruido, los niveles de emisiones gaseosas y con la seguridad de almacenaje del combustible, en función del lugar de instalación del grupo motor-generador, tomando como referencia normativas nacionales e internacionales y basándose en el bienestar de los usuarios finales.

5. DEFINICIONES

CARGA VITAL:

Es el tipo de carga, que si falla en operación normal, o cuando se requiera puede ocasionar una condición insegura del proceso y/o la instalación eléctrica, poner en peligro vidas o causar daños mayores a la instalación. Su falla, se traduce en un problema de seguridad.

CARGA ESENCIAL:

Es el tipo de carga que si falla en su operación o cuando se requiera, puede afectar la continuidad, la calidad y la cantidad del producto. Su falla, se traduce en un problema económico.

CARGA NO ESENCIAL:

Es el tipo de carga, que no se puede clasificar dentro de las vitales ni de las esenciales.

CARGA CONTINUA:

Es aquella cuya corriente máxima se mantiene durante tres horas o mas para la operación normal de la planta o sistema, incluye iluminación.

CARGA INTERMITENTE:

Es toda la carga que deba ser requerida durante un periodo de tiempo y luego debe ser desconectada de manera repetida.

CARGA EN ESPERA:

Es aquella carga que es de respaldo o necesaria solo en ocasiones de contingencia y no se requiere de manera permanente.

6. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

IEE Std. 446	Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications, Año 1995.
NEMA MG 1	Motors and Generators, Año 2006.
NEMA MG 2	Safety Standard and Guide for Selection, Installation, and Use of Electric Motors and Generator, Año 2001.
PDVSA 90619.1.052	Generadores de Emergencia, Año 1993.
FONDONORMA 200	Código Eléctrico Nacional, Año 2004.
C-EI-02P	Estimación de la Demanda Eléctrica, Año 2005.
C-EL-27P	Diseño de Sistemas Críticos AC Y DC, Año 2007.
NFPA 37	Standard for the Installation and Standby Use of Stationary Combustion Engines and Gas Turbines, Año 2010.

7. CONTROL DE LOS REGISTROS

El dimensionamiento y selección de generadores de emergencia en sistemas industriales es un producto del diseño, por este motivo debe cumplir con los pasos o actividades pautadas en el [Mapa de Procesos de Ejecución de Ingeniería:](#)

- Revisión interna de la disciplina.
- Revisión interdisciplinaria (si aplica)
- Validación del diseño.
- Emisión de planos y documentos.
- Aprobación del cliente.
- Emisión final.

El documento de dimensionamiento y selección de generadores de emergencia en sistemas industriales será firmado por las personas involucradas en su elaboración, revisión y aprobación. Firmará el Ingeniero de Proyectos, seguidamente el Líder de Disciplina y posteriormente el Gerente del Proyecto.

Una vez finalizada esta etapa, el documento pasará a Control de Documentos, donde se emitirá al cliente. Si existen comentarios por parte del mismo, el Instrumento será reenviado a Control de Documentos, y se le colocará el número o la letra de la revisión, seguidamente, el documento

pasará a manos del Líder de Disciplina, quien junto al Ingeniero de Proyectos, incorporará las correcciones pertinentes, comenzando el ciclo antes descrito, nuevamente.

Cuando el documento llega a su emisión final, Control de Documentos, lo envía al cliente y se queda con una copia física durante 3 meses, luego, es remitido al Centro de Información Técnica, (CIT) que lo custodiará durante 5 años antes de pasar al Archivo Muerto en donde formará parte del patrimonio de la empresa.

**DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN
DE GENERADORES DE EMERGENCIA EN SISTEMAS INDUSTRIALES**

CÓDIGO: C-EL-GE

REVISIÓN:

PÁGINA: 20 DE: 19

