



República de Cuba
Ministerio de la Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“ Dr. Antonio Núñez Jiménez ”

TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

Título: Influencia de la regulación de potencia reactiva en el comportamiento de los generadores Hyundai 2,5 MW de Felton

Autor: Yunior Jardines Rodríguez.

Tutores: Ing. Yunier Cruz Blanco

M.Sc. Ignacio Romero Rueda

MCA 2014

“Año 56 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Yunior Jardines Rodríguez, autor del trabajo de diploma `` Comportamiento ante variaciones del factor de potencia en los generadores Hyundai 2.5 MW de Felton ``

certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa ``Dr. Antonio Núñez Jiménez `` , el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes, educativos e investigativos.

Firma del Autor

Los debajo firmantes, certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdos de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener una investigación de esta envergadura, referida a la temática tratada.

Ing. Yunier Cruz Blanco. (Tutor)
(Tutor)

Msc. Ignacio Romero Rueda

PENSAMIENTO

*“... el futuro de Cuba tiene que ser necesariamente,
un futuro de hombres de ciencia,
un futuro de hombres de pensamiento”.*

Fidel Castro Ruz.



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos aquellos que de una forma u otra colaboraron conmigo en la realización de este trabajo de diploma . De forma especial se lo dedico a mi madre , a mi padre, a mi hermana y a mi querida abuela que tanto se ha preocupado porque yo salga adelante en la vida.

MUCHAS GRACIAS.

AGRADECIMIENTOS

A todos los que de una forma u otra han formado parte de la realización de este trabajo y de mi vida profesional:

Quiero agradecer a mi tutor Yunier que me ayudo en todo lo que me hizo falta para la realización del trabajo. También agradecer a Juan Carlos y a Eliecer que también colaboraron en la realización de este trabajo. Quiero dejar plasmado el agradecimiento a Eddy , Albert , Pedrito y Yuri mis amigos que me dieron aliento para que yo saliera adelante en la vida.

Les Agradezco...

RESUMEN

Este trabajo se desarrolla en el contexto de la central termoeléctrica ``Lidio Ramón Pérez`` en Felton, municipio Mayarí, provincia Holguín. La investigación se realiza específicamente en el emplazamiento Fuel – Oíl de 24 generadores de 2.5 MW; accionados por motores de combustión interna. En el mismo se estudia las características de los generadores Hyundai 2.5 MW ante variaciones del factor de potencia (fp), se realizó un análisis de las diferentes consecuencias que traen consigo estas variaciones para la máquina y de forma general para el sistema electromecánico. Para ello se realizaron pruebas directas a un generador donde se obtuvieron los valores mínimos permisibles del factor de potencia para estas máquinas.

ABSTRACT

This work is developed in the context of the Electric Power Plant Lidio Ramón Pérez located in Felton, Mayari; Holguin City. The research work is realized specifically in the Fuel Oil Emplacement, it has 24 generators of 2.5 MW; that work by engines of internal combustion. This investigation Studies the characteristics of Hyundai generators 2.5 MW in presence of variations of the potency factor (pf), have been realized an analysis about the different consequences that brings up this variations to the machine and also to the electromechanical system. For this, was realized some direct tests to a generator and as result, were obtained some minimum values permissible of the potency factor for this machines.

ÍNDICE

<i>Introducción</i>	9
<i>Capítulo 1. Marco Teórico - Metodológico de la investigación</i>	14
1.1 <i>Estudios Precedentes</i>	14
1.2 <i>Características generales de la instalación</i>	16
1.3 <i>Nociones del funcionamiento de los generadores</i>	16
1.3.1 <i>Generadores Sincrónicos</i>	17
1.3.2 <i>Influencia del régimen de carga , excitación y el sistema</i>	18
1.3.3 <i>Funcionamiento en paralelo de las máquinas sincrónicas</i>	19
1.3.4 <i>Requisitos a tener en cuenta para sincronizar un generador</i>	26
1.4 <i>Conclusiones parciales</i>	32
<i>Capítulo 2. Análisis de las variaciones del factor de potencia</i>	33
<i>Introducción</i>	33
2.1 <i>Caracterización del emplazamiento Fuel</i>	33
2.2 <i>Generalidades del accionamiento del conjunto motor - generador</i>	37
2.2.1 <i>Especificación del generador Hyundai 2.5 MW</i>	37
2.3 <i>Motor de combustión interna</i>	43
2.4 <i>Análisis de los parámetros del generador</i>	46
2.5 <i>Análisis del motor de combustión interna</i>	51
2.6 <i>Conclusiones parciales</i>	53
<i>Capítulo 3. Metodología para la solución de fallas en los generadores</i>	54
3.1 <i>Introducción</i>	54
3.2 <i>Carga adecuada para variar el factor de potencia en estas máquinas</i>	54
3.3 <i>Mantenimiento en los generadores</i>	56
3.4 <i>Consecuencia al sistema de excitación por bajo factor de potencia</i>	57
3.5 <i>Valoración económica</i>	58
3.6 <i>Conclusiones parciales</i>	59
<i>Conclusiones generales</i>	60
<i>Recomendaciones</i>	61
<i>Bibliografía</i>	
<i>Anexos</i>	

INTRODUCCIÓN.

En muchos países en vías de desarrollo los Grupos Electrónicos (GE) son la única fuente de electricidad fiable. Suministran energía a aquellas comunidades que no disponen de medios para conseguirla, mejorando la calidad de vida en muchas de las regiones menos desarrolladas del mundo.

A pesar de que el desarrollo de la ciencia y la tecnología avanzan a pasos agigantados en el estudio y perfeccionamiento de las diferentes industrias a nivel mundial, empezando por las grandes potencias de la industria, así como también los países subdesarrollados como es el caso del nuestro en el cual a pesar de las grandes limitaciones de toda índole se busca mejorar eficazmente los procesos productivos y los medios de producción para lograr un óptimo resultado en beneficio del país, y de sus habitantes en general.

Se puede apreciar la importancia del esfuerzo inversionista que realiza el gobierno de la República de Cuba en el mejoramiento de la producción y distribución de energía eléctrica, pero más importante aún, son los recursos humanos, materiales y financieros que debe dedicar la sociedad para mantener y reparar los equipos de generación existentes. Por lo que la reducción máxima de los costos con los equipos de generación, acompañado del máximo aprovechamiento de su capacidad de trabajo, es una cuestión de interés para la economía nacional.

Para llevar a cabo la Revolución Energética en Cuba, fue necesario romper con los esquemas tradicionales en la generación de energía eléctrica; el país contaba con grandes plantas termoeléctricas, algunas construidas luego del triunfo de la Revolución, que en su momento desempeñaron un importante papel, pero que se habían convertido en un problema por su alto consumo de combustible e insumos, y porque causa de su mal estado técnico y tecnológico acumulado durante el período especial, sufrían constantes averías y debían salir del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Como las plantas estaban dispersas en puntos distantes de los consumidores, se producían altas pérdidas en la transmisión de

electricidad. Debido a la necesidad de un sistema eléctrico confiable comenzaron a llegar a Cuba baterías de GE de alta calidad y eficiencia, que sincronizadas al SEN apoyan actualmente a las termoeléctricas, generando electricidad durante las horas del día en que tiene lugar el pico en la demanda. Hasta la fecha se han incorporado más de 1 100 MW provenientes de los GE situados en 116 de los 169 municipios, lo cual representa más del 40% de la necesaria en el territorio cubano en los horarios de máxima demanda.

Dado el significado estratégico que poseen los GE y teniendo en cuenta que el país no los produce, se considera muy útil el análisis de sus componentes desde el punto de vista funcional. En esta investigación realizada en la ETE ``Lidio Ramón Pérez`` específicamente en el grupo Fuel-Oil se estudia las consecuencias de las variaciones del factor de potencia provocadas intencionalmente para la regulación del voltaje en las líneas de alta tensión.

Situación Problemática.

Los grupos fuel de la ETE Lidio Ramón Pérez poseen 24 moto-generados conectados al SEN, con una potencia instalada de 60 MW X 2.5 MW cada conjunto, estos generadores son accionados por motores de combustión interna HYUNDAI. Debido a la necesidad del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) de regular el voltaje, se hace necesario valorar las consecuencias que traería consigo una indiscriminada disminución del factor de potencia en estas máquinas en aras de aumentar el reactivo en las líneas de transmisión, a partir de lo cual se impone la presente investigación.

Puede reconocerse así un importante **problema de investigación**: Desconocimiento sobre las consecuencias de las variaciones del factor de potencia (fp) en los generadores Hyundai 2.5MW de Felton.

Se define como **objetivo general** de la investigación: Diagnosticar las consecuencias de las variaciones del factor de potencia en estos generadores y valorar si es técnicamente posible la explotación de estas máquinas bajo estas regulaciones.

Objetivos específicos.

1. Caracterizar el sistema Fuel Oil de la ETE .
2. Recopilar mediciones sobre las principales variables que intervienen en el proceso.
3. Identificar las consecuencias que trae consigo las variaciones del factor de potencia en estos generadores.
4. Determinar las variaciones máxima permisible del factor de potencia para estos generadores según resultado.

Donde se aprecia que el **campo de acción** lo constituye: ``Sistemas electromecánicos en generadores accionados por motores de combustión interna.

Después de identificado el problema presente se asume como **objeto de estudio**: ``Generadores Hyundai de 2.5 MW de Felton``

Para contribuir a la solución del problema científico se formula la **hipótesis** siguiente: con la realización de un diagnostico practico ante variaciones o disminución del factor de potencia se podrá determinar si los generadores Hyundai de 2.5 MW puede regular voltajes en las líneas y si es así establecer los valores permisibles.

Tareas a realizar en el desarrollo de la investigación

1. Búsqueda bibliográfica
2. Caracterización del sistema electromecánico
3. Recopilación de mediciones de las variables que intervienen en el proceso
4. Evaluación de las consecuencias de las variaciones del factor de potencia
5. Modelación y simulación del comportamiento de estas máquinas
6. Realización de una valoración técnico económica

.En el desarrollo de la investigación se aplican los siguientes **métodos**:

1. Método de investigación documental y bibliográfica para la sistematización del conjunto de conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.

2. Análisis y síntesis.
3. Método de la modelación.

El método documental y bibliográfico

El Método documental y bibliográfico: es el método que se utiliza para fundamentar históricamente un problema, sus antecedentes, científicidad, novedad, justificación, así como la lógica objetiva de su evolución. etc.

El método análisis y síntesis

El método análisis y síntesis: para analizar y sintetizar toda la información obtenida en el proceso de investigación. El análisis y la síntesis son dos procesos cognoscitivos que cumplen funciones muy importantes en la investigación científica.

El análisis es una operación intelectual que posibilita descomponer mentalmente un todo complejo en sus partes y cualidades. El análisis, permite la división mental del todo en sus múltiples relaciones y componentes. La síntesis es la operación inversa, que establece mentalmente la unión entre las partes, previamente analizadas y posibilita descubrir relaciones y características generales entre los elementos de la realidad.

El análisis y la síntesis no existen independientemente uno del otro. En realidad el análisis se produce mediante la síntesis: el análisis de los elementos de la situación problémica se realiza relacionando estos elementos entre sí y vinculándola con la situación problema como un todo. A su vez, la síntesis se produce sobre la base de los resultados dados previamente por el análisis.

La unidad dialéctica existente entre las operaciones de análisis y síntesis supone que en el proceso de la investigación científica una u otra pueden predominar en una determinada etapa, atendiendo a las tareas cognoscitivas que esté realizando el investigador.

Resultados esperados de la investigación

- Con la presente investigación se determinará las consecuencias de las variaciones del factor de potencia para estos generadores.
- Se establecerán valores mínimos de trabajo del factor de potencia para estas máquinas.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

Introducción.

El marco teórico del objeto de estudio permite detectar de forma preliminar las diferentes características e interacciones que existen entre los múltiples elementos que están presentes en la investigación.

El objetivo del presente capítulo es establecer el Marco Teórico- Metodológico de la investigación, a partir del estado del arte del tema basado en el análisis de los trabajos precedentes, la metodología seguida para su ejecución así como la base teórica que sustenta la investigación.

1.1. Estudios Precedentes

Una investigación científica de acuerdo a lo planteado por [Aróstegui, J. M. 1975 y otros], en cualquier área del conocimiento debe siempre estar sustentada por una investigación empírica y por una investigación teórica, de ahí que sea necesario utilizar los métodos que caracterizan a cada una de ellas para desarrollar científicamente las mismas a partir de una clara caracterización del objeto, del planteamiento del problema, los objetivos, la hipótesis y las tareas.

Para desarrollar la investigación fueron consultados diferentes trabajos y estudios, orientando la revisión bibliográfica en dos líneas fundamentales; por una parte, la información relacionada con el enfoque teórico y metodológico del estudio a realizar y por otra, los trabajos sobre el tema de generadores y sus fallas y grupos electrógenos en general. El análisis histórico de la información relacionada con la temática sobre los grupos electrógenos muestra que se ha trabajado en: Determinación de los fallos más importantes en los equipos auxiliares de los Grupos Electrógenos *Hyundai Himsen*, [Del Castillo, 2009], en este trabajo se análisis a partir de la causa raíz de los equipos auxiliares pero no aborda el tema de los generadores trabajando con bajo factor de potencia. Análisis de los fallos presentados por las unidades principales de diesel y combustible pesado (MDU) del Emplazamiento de Grupos Electrógenos *Hyundai*

Himsen de Regla, aunque no se tiene referencia del autor el trabajo aborda los fallos más importantes en los motores de la tecnología diesel, no existe coincidencia con las fallas detectadas en los generadores de la tecnología Hyundai. Se realiza una propuesta de mejoras al sistema de gestión de la calidad de la empresa de mantenimiento a grupos electrógenos de *fuel oil*. [Generación Distribuida, 2011]. Uno de los trabajo más importantes consultados fue donde se realizó una metodología de las fallas más significativas en generadores del tipo estudiado en el mismo lugar [Gutiérrez 2013], en el mismo se analizan las fallas en este tipo de máquinas y coincide que el bajo factor de potencia es una de las causas que puede provocarlo, pero no se desarrolla en ese aspecto la investigación. Se realiza un análisis para la evaluación del comportamiento mecánico-funcional de los grupos electrógenos *Hyundai Himsen* 9H21/32. Otro trabajo realizado fue la Identificación y caracterización de los fallos en los motores serie 4000 para grupos electrógenos MTU de los emplazamientos de La Habana. [Generación Distribuida, 2011]. Se aborda el tema sobre la introducción al Monitoreado de la Condición de los Grupos Electrógenos *Hyundai Himsen* 9H21/32. . Se realiza una propuesta de modificación en el sistema de suministro eléctrico del emplazamiento de Felton *Hyundai Himsen* 9H21/32, [Rodríguez N, 2012] donde se propone un enlace entre los transformadores auxiliares para mejorar la confiabilidad en el esquema de suministro eléctrico. Un artículo que fue de gran importancia en la realización del presente trabajo lo constituye el análisis de criticidad de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba [Colectivo de autores, 2012] donde se desarrolla un instrumento a partir del criterio de expertos para determinar las variables a considerar en el modelo de criticidad y complejidad, realizándose para los modelos un estudio de su confiabilidad.

Del análisis realizado a los trabajos anteriores y otros se puede observar que en la actualidad no se dispone de una metodología para tratar las fallas más comunes que ocurren en generadores de tipo *Hyundai Himsen* 9H21/32. El poder disponer de una metodología para estas fallas tendrá como consecuencia una disminución del periodo de ruptura y del tiempo de solución así como se podrán

encontrar estrategias para mejorar la gestión de mantenimiento en este tipo máquinas.

1.2. Características generales de la instalación.

Los Grupos Electrógenos de Fuel Oil están constituidos por un motor de combustión interna y un generador sincrónico trifásico, además de una serie de equipos y dispositivos auxiliares que son los encargados del suministro de las materias primas necesarias en el proceso de combustión y generación de electricidad, para el funcionamiento eficiente del equipamiento y la distribución de la energía. En el país se encuentran instalados distintos tipos de emplazamientos, en dependencia de la cantidad de grupos electrógenos de fuel oil que presenten, la cual puede variar desde 1 hasta 24 grupos, en dependencia de la demanda que se necesite la zona del emplazamiento, ya que el objetivo de la generación distribuida es acercar la fuente al consumidor para asegurar el suministro de energía y disminuir las pérdidas por transmisión.

1.3. Nociones del funcionamiento de los generadores

El generador síncrono es un tipo de máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica (en forma de rotación) en energía eléctrica su principio de funcionamiento consta en la excitación de flujo en el rotor.

El rotor es alimentado con corriente continua a través de anillos deslizantes el cual produce un campo magnético al girar el rotor impulsado por la máquina motriz el campo magnético gira a la Misma velocidad, el campo magnético giratorio induce tensiones trifásicas en el estator con una Frecuencia, -al conectar carga trifásica circulan corrientes trifásicas por el devanado del estator aparece un campo giratorio de reacción del estator.

El campo giratorio producido por las corrientes del estator es el campo de Reacción del inducido. Devanado inductor (el que induce las tensiones) es el rotor. Devanado inducido (donde se inducen las tensiones) es el estator. El

campo resultante es la suma del campo excitador producido por el rotor y del Campo de reacción del inducido.

El generador síncrono está compuesto principalmente de una parte móvil o rotor y de una parte fija o estator.

El rotor gira recibiendo un empuje externo desde (normalmente) una turbina. Este rotor tiene acoplada una fuente de "corriente continua" de excitación independiente variable que genera un flujo constante, pero que al estar acoplado al rotor, crea un campo magnético giratorio (por el teorema de Ferraris) que genera un sistema trifásico de fuerzas electromotrices en los devanados estáticos.

El rotor también conocido como inductor, pues es la parte que induce el voltaje en el estator. El núcleo del rotor es construido de lámina troquelada de acero al silicio, material de excelentes características magnéticas, con la finalidad de evitar pérdidas por histéresis y corrientes parasitas.

El yugo es una pieza continua con zapata polar, para así eliminar la dispersión del flujo por falsos contactos magnéticos. En la zapata polar se hacen barrenos para alojar el devanado amortiguador en jaula de ardilla, diseñado con el objeto de reducir armónicas en la forma de onda que entrega el generador. El rotor gira concéntricamente en el eje del generador a una velocidad sincrónica.

1.3.1 Generadores Sincrónicos

El generador síncrono es un tipo de máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica (en forma de rotación) en energía eléctrica su principio de funcionamiento consta en la excitación de flujo en el rotor.

El rotor es alimentado con corriente continua a través de anillos deslizantes el cual produce un campo magnético al girar el rotor impulsado por la máquina motriz el campo magnético gira a la Misma velocidad, el campo magnético giratorio induce tensiones trifásicas en el estator con una Frecuencia, -al conectar carga trifásica

circulan corrientes trifásicas por el devanado del estator aparece un campo giratorio de reacción del estator.

El campo giratorio producido por las corrientes del estator es el campo de Reacción del inducido. Devanado inductor (el que induce las tensiones) es el rotor. Devanado inducido (donde se inducen las tensiones) es el estator. El campo resultante es la suma del campo excitador producido por el rotor y del Campo de reacción del inducido.

El generador síncrono está compuesto principalmente de una parte móvil o rotor y de una parte fija o estator.

El rotor gira recibiendo un empuje externo desde (normalmente) una turbina. Este rotor tiene acoplada una fuente de "corriente continua" de excitación independiente variable que genera un flujo constante, pero que al estar acoplado al rotor, crea un campo magnético giratorio (por el teorema de Ferraris) que genera un sistema trifásico de fuerzas electromotrices en los devanados estáticos.

El rotor también conocido como inductor, pues es la parte que induce el voltaje en el estator. El núcleo del rotor es construido de lámina troquelada de acero al silicio, material de excelentes características magnéticas, con la finalidad de evitar pérdidas por histéresis y corrientes parasitas.

El yugo es una pieza continua con zapata polar, para así eliminar la dispersión del flujo por falsos contactos magnéticos. En la zapata polar se hacen barrenos para alojar el devanado amortiguador en jaula de ardilla, diseñado con el objeto de reducir armónicas en la forma de onda que entrega el generador. El rotor gira concéntricamente en el eje del generador a una velocidad sincrónica .

1.3.2 Influencia del régimen de carga, excitación y el sistema.

El funcionamiento de generadores se recomienda de forma general con factor de potencia uno o sobrecargado, para garantizar entre otras cosas un alto coeficiente de sobrecarga estática (aproximadamente dos). Como se puede ver en las

expresiones de potencia reducir la excitación conlleva a reducir la potencia máxima que puede desarrollar la máquina y por tanto reducir su capacidad de sobrecarga.

Por otro lado la empresa eléctrica penaliza a los consumidores de energía eléctrica, cuando su factor de potencia es bajo, es decir, cuando demandan mucha potencia reactiva, pues cargan las líneas de transmisión y distribución de esta componente y reduce la capacidad de potencia activa que se puede transmitir, además de aumentar las pérdidas en las líneas.

Los usuarios por evitar ser penalizado introducen la compensación de potencia reactiva con el uso de condensadores, aunque muchas veces solo para burlar a la OBE y que esta le bonifique, exageran y producen más reactivo que el exigido, en ocasiones se aproximan a 0.96 y más. Como se puede deducir de esto las líneas se descargan del reactivo y ya no existen grandes pérdidas, los generadores no tienen que generar gran cantidad de reactivo y reducen su corriente de excitación. Al disminuir la corriente de excitación significa hacer más débil los polos del rotor y menor coeficiente de sobrecarga, cuando esto sucede se dice que la máquina está subexcitada.

Unido al debilitamiento del campo magnético y la potencia máxima que puede desarrollar la máquina está su capacidad de respuesta a los cambios bruscos que pueden aparecer en cualquier momento, haciendo a la máquina más vulnerable a las oscilaciones, vibraciones y posibilidad de una pérdida de estabilidad, en conjunto todo influye en garantizar el tiempo de vida a mayor o menor.

1.3.3 Funcionamiento en paralelo de las máquinas sincrónicas

Merced a que los generadores, conectados al sistema en paralelo, están acoplados unos con otros eléctricamente o por medio de transformadores, sus tensiones varían con una misma frecuencia:

$$f_1=f_2=f_3=f_4=\dots=f \dots\dots\dots(1.1)$$

En este caso las velocidades angulares eléctricas de sus rotores también son iguales entre sí:

$$\omega_1=\omega_2=\omega_3=\omega_4=\dots=\omega=2\pi f \dots\dots\dots(1.2)$$

mientras que las velocidades angulares reales son inversamente proporcional al número de períodos de estos generadores:

$$\Omega_1 = \frac{\omega}{P_1} ; \Omega_2 = \frac{\omega}{P_2} ; \Omega_3 = \frac{\omega}{P_3} \dots\dots\dots (1.3)$$

Por eso se suele decir que los generadores conectados en paralelo funcionan de manera sincrónica uno con respecto a otro, o están en sincronismo, y la conexión para el funcionamiento se denomina sincronización.

La unificación de un gran número de generadores y consumidores en un sistema eléctrico común situado en un extenso territorio es mucho más ventajosa que el uso de generadores aislados para alimentar los grupos autónomos de consumidores. Sin embargo, ante situaciones excepcionales el envío de electricidad desde grandes distancias no es lo óptimo, pueden ocurrir fallas en las líneas, caídas de torres u otro fenómeno. En estas situaciones es donde la generación distribuida alcanza una vital importancia para mantener funcionando puntos vitales en los territorios. La posibilidad de traslado hacia las cercanías de los principales objetivos económicos y sociales, los hace indispensables ante situaciones excepcionales.

Condiciones de la conexión para el funcionamiento en paralelo.

El esquema de conexión de dos generadores sincrónicos trifásicos para el funcionamiento en paralelo con el sistema está mostrado en la figura 1.1.

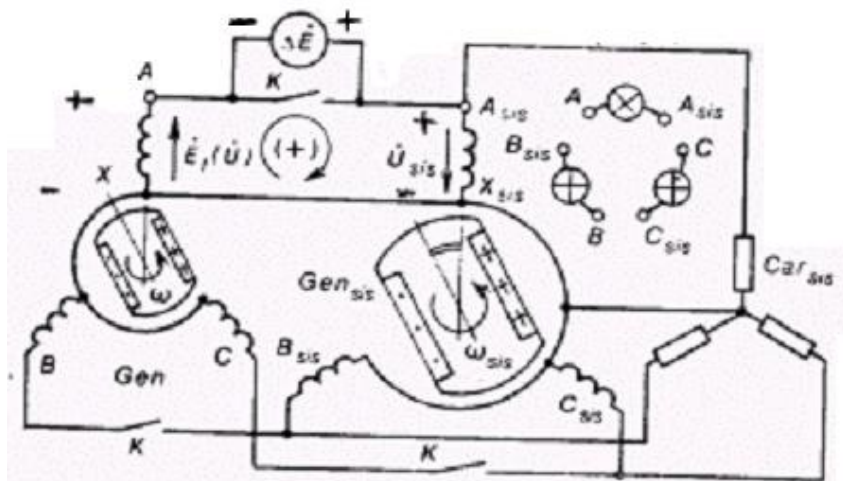


Figura 1.1 Esquema de conexión de un alternador sincrónico para el funcionamiento en paralelo con el sistema.

Para simplificar, el sistema está representado por un generador sincrónico de un período equivalente de potencia infinitamente grande G_{sis} que alimenta la carga, C_{sis} , figurando en este caso el generador Gen como su modelo de un período. Tomemos la dirección positiva de la tensión U_{sis} del circuito generador –sistema, desde el comienzo A_{sis} hacia el final X_{sis} de su fase. Por dirección positiva de las tensiones, la f.e.m. y la corriente en el circuito A_{sis} , X_{sis} , X, A, formando por las fases homónimas de los generadores G_{sis} y G, tomamos la dirección de recorrido del circuito, la cual coincide con U_{sis} y se muestra en el dibujo con una flecha. Entonces, la f.e.m. E_f (o la tensión U) del generador G serán positivas si se dirigen de X a A según se muestra en la figura. Cuando el interruptor K está desconectado, el generador Gen funciona en régimen de marcha en vacío y entre los contactos de fase del interruptor actúa la f.e.m:

$$\Delta \dot{E} = \dot{E}_f + U_{sis} \dots\dots\dots(1.4)$$

donde:

\dot{E}_f es la fem debida a la excitación.

U_{sis} es la tensión del sistema.

Esta fem depende de la f.e.m. \dot{E}_f y su fase respecto a la tensión \dot{U}_{sis} que se caracteriza por el ángulo α en la figura 1.2. Si antes de la conexión la velocidad angular Ω y la corriente de excitación I_f del generador Gen están elegidas de tal modo que:

$$\omega = 2\pi f = \frac{\Omega}{p} = \omega_{sis} = 2\pi f_{sis} \dots\dots\dots(1.5)$$

$f = f_{sis}$, es decir, la frecuencia f y la f.e.m. E_f del generador coinciden con la frecuencia f_{sis} y la tensión U_{sis} del sistema, respectivamente, entonces, la f.e.m.

ΔE en los contactos del interruptor se pueden determinar según la fórmula:

$$\Delta E = 2U_{sis} \left| \cos \frac{\alpha}{2} \right| \dots\dots\dots (1.6)$$

Al variar el ángulo α la f.e.m. eficaz puede adquirir valores cualesquiera en la banda $0 \dots 2U_{s0}$

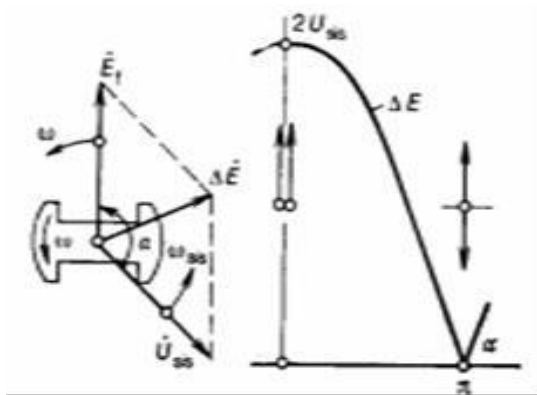


Figura 1.2. Condiciones de sincronización exacta.

La conexión del generador G al sistema es lo más favorable si $\alpha = \pi$ cuando $\dot{\Delta E} = 0$ y $\dot{E}_f = -\dot{U}_{sis}$. En este caso en el devanado del inducido no surgen corrientes transitorias; después de conectar el generador para el trabajo en paralelo con el sistema, la corriente del inducido queda igual a cero y el generador sigue funcionando en el régimen de marcha en vacío ($I=0$). Dicho procedimiento de conexión de un generador para el funcionamiento en paralelo con el sistema, se denomina sincronización precisa.

Existe además los que se denomina momento electromagnético M durante el funcionamiento en paralelo, momento sincronizador. Este momento mantiene el movimiento sincrónico del rotor después de conectar al funcionamiento en paralelo, además asegura el movimiento sincrónico del rotor para el funcionamiento en paralelo en los regímenes de carga.

Potencias activa y reactiva de una máquina sincrónica conectada al sistema.

Las potencias activas y reactivas P y Q de una máquina sincrónica de polos salientes conectada a un sistema de potencia infinitamente grande, siendo:

$f_{sis} = \text{const}$ y $U_{sis} = \text{const}$, dependen de la I y de la fase de la corriente respecto a

la tensión del generador $\dot{U} = -\dot{U}_{sis}$,

$$P = m1 U I \cos \varphi \dots\dots\dots(1.7)$$

$$Q = m1 U I \sin \varphi \dots\dots\dots(1.8)$$

No obstante, la corriente del inducido \dot{I} depende a su vez de la corriente de excitación I_f y de la posición espacial del rotor de la máquina respecto a la tensión de la red U_{sis} , la cual se caracteriza por el ángulo θ comprendido entre el complejo \dot{U}_{sis} y la dirección del eje transversal q .

En una máquina sincrónica insaturada la corriente del inducido \dot{I} se determina por

la tensión $\dot{U} = -\dot{U}_{sis}$ y la f.e.m. de excitación \dot{E}_f y por su orientación mutua; el ángulo entre ellas es igual a θ (la f.e.m. de excitación coincide con la dirección negativa del eje transversal). Durante la marcha en vacío el ángulo $\theta = 0$. Al accionar sobre el rotor el momento exterior M_{ext} , el ángulo θ adquiere un valor tal, con el cual el momento electromagnético M equilibra el momento M_{ext} . Por eso el estudio de los procesos durante el funcionamiento en paralelo se facilita considerablemente si las potencias activas y reactivas se representan en función de la tensión $U = U_{sis}$, la f.e.m. debida a la excitación E_f y el ángulo θ entre ellas:

$$P = f(U, E_f, \theta) \dots\dots\dots(1.9)$$

$$Q = f(U, E_f, \theta); \dots\dots\dots(1.10)$$

Tomando por direcciones positivas a lo largo de los ejes d y q los sentidos de la corrientes I_d e I_q en este régimen componamos las ecuaciones para las proyecciones de la tensión U sobre las direcciones mencionadas:

$$U \sin \theta = X_q I_q - R I_d \dots\dots\dots(1.11)$$

$$U \cos \theta = E_f - X_d I_d - R I_q \dots\dots\dots(1.12)$$

Resolviendo estas ecuaciones conjuntamente, hayamos que:

$$I_q = \frac{U[\varepsilon R + (X_d \text{sen} \theta - R \text{cos} \theta)]}{X_d X_q + R^2} \dots\dots\dots(1.13)$$

$$I_d = \frac{U[\varepsilon X_q - (X_q \text{cos} \theta + R \text{sen} \theta)]}{X_d X_q + R^2} \dots\dots\dots(1.14)$$

donde:

$\varepsilon = E_f / U$ es el coeficiente de excitación.

X_q : reactancia por el eje transversal.

X_d : reactancia por el eje directo.

R : resistencia óhmica.

Finalmente se obtiene la expresión general para la potencia activa:

$$P = P_{\text{av}} + P_{\text{ps}} \dots\dots\dots(1.15)$$

La componente P_{ps} esta relacionada con la interacción del rotor no excitado de polos salientes con las corrientes originadas en el devanado del inducido por la tensión U .

La máquina sincrónica conectada a la red con la tensión U y el ángulo θ dado desarrollaría la potencia activa P_{ps} merced a la presencia de polos salientes.

La componente P_{av} está relacionada con la aparición de la excitación caracterizada por la componente ε . Es la potencia que se va a generar suplementariamente en la red con la tensión U al surgir la excitación con ε prefijado.

En la máquina de polos interiores que tiene $X_d = X_q = X_1$, la componente P_{ps} no existe. Señalamos que la necesidad de considerar la resistencia óhmica R surge solo al calcular las micro-máquinas, en las cuales dicha resistencia desempeña un papel notable. En las máquinas sincrónicas grandes que tienen el devanado del inducido con una resistencia óhmica ínfimamente pequeña ($R \ll X_q < X_d$), se puede suponer que $R=0$. Entonces tenemos que:

$$P = P_{\text{av}} + P_{\text{ps}} = M\Omega \dots\dots\dots(1.16)$$

donde:

$$P_{\text{sc}} = \frac{m_1 U E_f}{X_d} \text{sen} \theta ; P_{\text{sc}} = \frac{m_1 U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \text{sen} 2\theta ; \text{ en una máquina de polos salientes,}$$

$$P_{\text{sc}} = P_{\text{sc}} = \frac{m_1 U E_f}{X_1} \text{sen} \theta ; \text{ en una máquina de polos interiores.}$$

Aceptando como potencia básica S_{nom} se puede escribir las fórmulas de las activas en unidades relativas. Por ejemplo, cuando $R=0$;

$$P_* = \frac{U_* E_{*f} \text{sen} \theta}{X_{*d}} + \frac{U_*^2}{2} \left(\frac{1}{X_{*q}} - \frac{1}{X_{*d}} \right) \text{sen} 2\theta \dots\dots\dots(1.17)$$

La potencia reactiva se expresa en una forma propicia para analizar el fenómeno en paralelo de la siguiente manera:

$$Q = \frac{m_1 U^2}{X_d X_q + R^2} * [\varepsilon (X_q \cos \theta - R \text{sen} \theta) - X_q \cos^2 \theta - X_d \text{sen}^2 \theta] \dots\dots\dots(1.18)$$

Si $R=0$, en tal caso la inscripción de las componentes aisladas de la potencia reactiva se simplifica

$$Q = Q_d + Q_q \dots\dots\dots(1.19)$$

donde,

$$Q_d = Q_{\text{sc}d} + Q_{\text{sc}d} = m_1 I_d (U \cos \theta) ;$$

$$Q_d^I = \frac{m_1 E_f}{X_d} U \cos \theta ; \quad Q_d^{II} = \frac{m_1 (U \cos \theta)^2}{X_d} ;$$

$$Q_q = -m_1 I_q (U \text{sen} \theta) = -m_1 (U \cos \theta)^2 / X_q .$$

La potencia reactiva longitudinal Q_d corresponde a la corriente longitudinal:

$$I_d = \frac{E_f - U \cos \theta}{X_d} \dots\dots\dots(1.20)$$

y a la componente transversal de la tensión $U_q = U \cos\theta$. La potencia reactiva longitudinal se compone de dos partes:

la potencia reactiva $Q_{\text{sd}} = m_1 \left(-\frac{U \cos\theta}{X_d}\right) U \cos\theta < 0$, la cual se consume por la

máquina sincrónica inexcitada para originar el campo longitudinal del inducido, siendo la tensión $U_q = U \cos\theta$ y estando avanzada la corriente longitudinal

$$I_d(U) = -\frac{U \cos\theta}{X_d}, \text{ en un ángulo de } \pi/2 \text{ respecto a la tensión } \dot{U}_q;$$

la potencia reactiva $Q_{\text{sd}} = m_1 \frac{E_f}{X_d} U \cos\theta > 0$, la cual se origina durante la excitación a cuenta de la corriente longitudinal suplementaria $I_d(\text{c.c.}) = E_f / X_d$, igual a

la corriente de cortocircuito con la f.e.m.; \dot{E}_f y retrasada respecto a la tensión \dot{U}_q

en el ángulo $\pi/2$.

La potencia reactiva transversal Q_q se consume por la máquina para crear el campo transversal, siendo la tensión $U_d = U \sin\theta$ y estando avanzada la corriente transversal respecto a la tensión en un ángulo de $\pi/2$.

La potencia reactiva longitudinal Q_d es positiva durante la excitación cuando:

$E_f - U \cos\theta > 0$, $\beta > 0$ y la corriente I_d está retrasada en un ángulo de $\pi/2$ respecto a la tensión $U_q = U \cos\theta$; por lo contrario, para la excitación cuando $E_f - U \cos\theta < 0$, $\beta < 0$ y la corriente I_d avanza respecto a la tensión U_q en un ángulo de $\pi/2$, la potencia reactiva longitudinal siempre será negativa.

El monto de la potencia generada está dado por la carga. Cuando la potencia activa crece también crece el momento y el mecanismo primario actúa por las caídas de velocidad. Por lo que el generador debe aumentar velocidad para compensar. Cuando la velocidad original es alcanzada, el generador reduce la potencia en el mecanismo para emparejar la nueva carga.

1.3.4 Requisitos a tener en cuenta para sincronizar un generador.

Para conectar un grupo generador a la red pública se necesita el consentimiento de la Empresa Eléctrica (EE), que ha de aprobar el equipamiento (paneles, relés de protección).

Las observaciones siguientes señalan algunas consideraciones básicas que han de tenerse en cuenta para la protección y el control.

Protección:

Para estudiar la conexión del generador, se requiere datos como los siguientes:

Potencia inyectada en la red.

Modo de conexión.

Corriente de cortocircuito del grupo electrógeno.

Desbalance de la tensión del generador.

En dependencia del modo de conexión, se requieren funciones específicas de protección contra el desacoplamiento:

Protección contra sobretensiones y las subtensiones.

Protección contra las sobrefrecuencias y las subfrecuencias.

Protección con las sobrefrecuencias de secuencia cero.

Tiempo máximo de acoplamiento (para acoplamiento momentáneo).

Potencia inversa real.

Por razones de seguridad, el aparallaje usado para el desacoplamiento ha de estar también provisto con las características de un desconectivo (o sea, segregación total de todos los conductores activos entre el grupo electrógeno y la red de suministro electroenergético).

Control:

Cuando los generadores en una subestación de cliente funcionan en paralelo con toda la generación del sistema de suministro electroenergético de la EE, en la suposición de que la tensión del sistema electroenergético se reduce por razones operacionales (es común operar los sistemas de Media Tensión (MT) dentro de

una gama de $\pm 5\%$ de la tensión nominal, o aún más, cuando lo requieren todas las formas de flujo de la carga).

Un Automatic Voltage Regulator (AVR) ajustado para mantener la tensión dentro de un $\pm 3\%$ intentará inmediatamente elevar la tensión mediante el incremento de la corriente de excitación del alternador.

En lugar de elevar la tensión, el alternador simplemente funcionará a un factor de potencia más bajo que antes, incrementando por tanto su entrega de corriente y continuará haciéndolo hasta que eventualmente sea disparado por sus relés de protección contra las sobrecorrientes. Este es un problema bien conocido y usualmente es superado por la provisión de un interruptor de control de “factor de potencia constante” en la unidad AVR.

Al hacer esta selección, el AVR ajustará automáticamente la corriente de excitación para equiparar con cualquier tensión que exista en el sistema electroenergético, mientras mantiene al mismo tiempo constante el factor de potencia del alternador en el valor pre-ajustado (seleccionado en la unidad de control del AVR).

En caso de que el alternador se haya desacoplado del sistema electroenergético, el AVR debe automáticamente (con rapidez) ser reconmutado a control de “tensión constante”.

Para conectar el generador sincrónico en paralelo con un sistema de potencia u otro generador que alimente una carga, deben observarse ciertos requisitos no solo concernientes a la velocidad y voltaje antes de la conexión, sino también relativos al momento apropiado para cerrar el disyuntor que pone al generador a trabajar en el sistema.

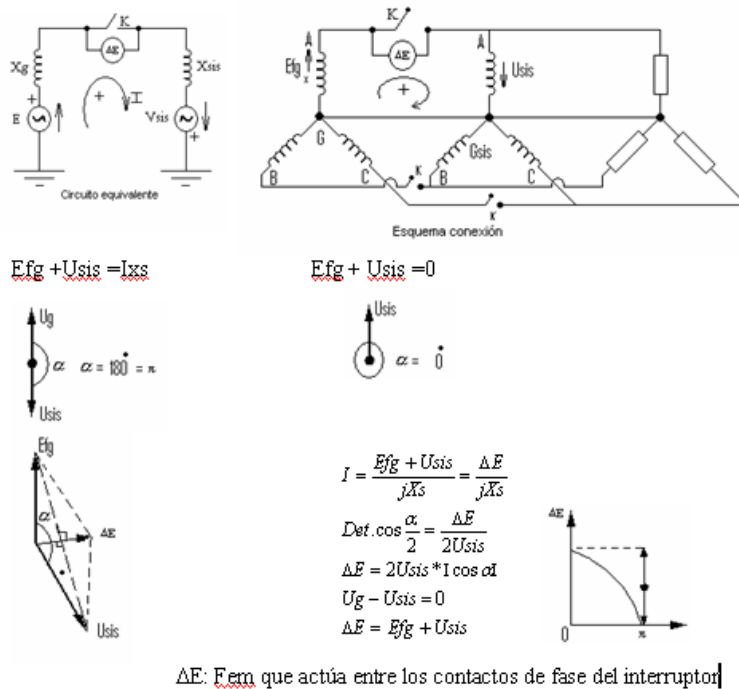


Figura 1. 3 Conexión de dos generadores en paralelo a una carga.

Estos requisitos son los siguientes:

- La secuencia de los voltajes del generador debe ser igual a la del Sistema Electroenergético Nacional. De no cumplirse esta condición sería imposible la sincronización del voltaje del generador con los del sistema.
- La frecuencia del generador debe ser ligeramente superior a la del Sistema Electro-energético Nacional.

Esto se hace para que el generador entre al sistema suministrando una pequeña cantidad de potencia activa. Al entrar en el sistema, la velocidad del generador se hace automáticamente igual a la del sistema, ya que este es muy grande en comparación con aquel, o sea, que si previamente a la conexión la velocidad era superior a la sincrónica, el generador se frena al entrar en el sistema y una menor velocidad del motor primario del generador (una turbina, motor de corriente directa, etc.). O sea, velocidad o frecuencia en función de la potencia de salida. Con las

características mostrada la frecuencia del generador en vacío es 63 Hz, al conectarlo al sistema de 60 Hz entregará P1 kV al mismo.

Si la frecuencia antes de sincronizar fuera menor de 60 Hz haciendo un análisis similar se llegaría a la conclusión de que al sincronizarse con el sistema la máquina comenzaría a trabajar como motor, lo cual no es permitido, ya que significaría una carga adicional al sistema y puede dañar el motor.

c) El voltaje del generador debe ser aproximadamente igual al del sistema. Con esto se evita la circulación de grandes corrientes en el momento de sincronizar.

Si el voltaje es superior al del sistema la máquina entra suministrando potencia reactiva al mismo, si es inferior entra recibiendo potencia reactiva del mismo.

d) En el instante de sincronizar los voltajes del generador y del sistema deben estar en fase. Si estos no están en fase circulará una gran corriente en el instante de conectar el interruptor la cual será igual o menor que la del cortocircuito pudiendo ser el doble de la misma cuando ambas Fem están a 180° .

Evidentemente como el generador y el sistema son trifásicos, lo planteado anteriormente debe asegurarse para las tres fases.

Actualmente es más utilizado el sincronoscopio, instrumento que al conectarse debidamente al generador y al sistema indica mediante una aguja el instante correcto de la sincronización y además, si el generador va atrasado o adelantado respecto al sistema.

Al sincronizar un generador con el sistema se pretende que aquel suministre a éste tanta potencia activa y reactiva de acuerdo con los requerimientos de los consumidores

TÉRMINOS Y DEFINICIONES

ACCIÓN CORRECTIVA: Acción tomada para eliminar la causa de una no conformidad detectada u otra situación indeseable.

ACCIÓN PREVENTIVA: Acción tomada para eliminar la causa de una no conformidad potencial u otra situación potencialmente indeseable.

AVERÍA: Es el deterioro, rotura o detención en el funcionamiento de un equipo o sistema, provocado por la acción de factores internos o externos, que interrumpen temporalmente el proceso productivo, ocasionando pérdidas materiales, afectaciones en la producción y que pueden provocar daños en las personas.

CARTA DE RÉGIMEN: Documento donde se refleja el rango de variación de los parámetros tecnológicos y curvas de comportamiento ante diferentes porcentos de carga.

CONFIABILIDAD: Probabilidad de que el equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período de tiempo determinado.

CONTROL DE RÉGIMEN: Acciones que realiza el personal de operación enfocado a monitorear parámetros identificados y con criterios de aceptación, reflejados en cartas de régimen con el objetivo de mantener los equipos operando bajo condiciones controladas y tomando acciones ante desviaciones de parámetros para evitar averías.

CORRECCIÓN: Solución de la falla, reponiendo la función al equipo.

EFICACIA: Cumplimiento de objetivos con máximo beneficio.

EFICIENCIA: Cociente adimensional, resultado de la división de los elementos de salida entre los elementos de entrada.

MANTENIBILIDAD: Probabilidad de que el equipo sea devuelto a un estado en que pueda cumplir su misión en un tiempo dado.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO: Consiste en reparar una avería durante la operación.

MANTENIMIENTO POR OPORTUNIDAD: Acciones de mantenimiento para ser ejecutado cuando la potencia se encuentra en régimen de reserva y/o avería, sin que afecte la generación.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO PLANIFICADO (MPP): Consiste en tareas previamente planificadas que se ejecutan periódicamente, basadas en horas de operación o tiempo.

NIVEL DE EMISIÓN: Magnitud de la concentración de sustancias contaminantes expulsadas a la atmósfera, que generalmente se compara con determinadas magnitudes de referencia.

SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL (SEN): Conjunto de todos los elementos que participan directamente en la generación, transformación, transmisión, y distribución de la energía eléctrica, formando un todo único de operación conjunta, que abarca todas las instalaciones conectadas o no a la red eléctrica nacional.

1.4 Conclusiones parciales

Durante el capítulo se obtuvo un gran conocimiento y se concluye que:

1. Se logró tener un amplio conocimiento sobre el funcionamiento de los generadores en general.
2. Se logra conocer los parámetros de funcionamiento de la excitación y de los requisitos para la conexión en paralelo de estas máquinas.

CAPÍTULO II. Análisis de las variaciones del factor de potencia

Introducción.

Con motivo de conocer las características reales de las principales fallas presentes en los generadores tipo Hinsem H 21/32, se realiza el estudio, para ello se utilizan los archivos de mantenimiento de estas maquinas en el tiempo que llevan de operación. Se establece la correlación entre las variables del proceso (carga del generador) y las fallas del accionamiento motor-generador.

2.1 Caracterización del emplazamiento Fuel

El emplazamiento de Felton está constituido por 24 grupos electrógenos fuel oil de la serie 9H25/33, suministrados por la firma Hyundai coreana, agrupados en 6 Baterías de 4 motores cada una, la Planta cuenta con un sistema de tratamiento de combustible, sistema de enfriamiento, compresores, caldera recuperadora de vapor y para cada batería y un sistema de almacenamiento de combustibles y lubricación, sistema de control, una planta de tratamiento químico de agua y un sistema de arranque en negro que son comunes para todas las Baterías. El Emplazamiento utiliza 2 tanques de almacenamiento de fuel oil el T-101A de 5 000 m³ y el T-101B de 2 000 m³ y un tanque de diesel para arranque de 100 m³ de capacidad.

El combustible llega al Emplazamiento en carros cisternas los cuales son acoplados a los racores de 3" conectados a dos válvulas para permitir el paso del combustible, una vez que ha pasado por el filtro es succionado por una de las dos bombas de recepción P-101 A/B ubicadas en la casa de bombas con un flujo de 50 m³/h y una presión de descarga de 3,5 bar , tienen un manómetro antes y después de su conexión para la medición de diferencia de presión y ejecutar la limpieza cuando presente partículas de suciedad. El combustible es impulsado por los impelentes de la bomba de recepción y lo descarga hacia el cabezal de entrada de los Tanques de Recepción T-101A/B.

En la Casa de Bombas se encuentran las bombas de transferencia P-102 A/B

que poseen un flujo de 27 m³/h y una presión de descarga de 3,5 bar, succionan del cabezal de salida de los tanques de recepción, estos tanques de fuel oil poseen un calentador de boca para garantizar que la temperatura del combustible se mantenga en la succión de las bombas aproximadamente a 70 °C y por tanto realicen un menor trabajo durante el trasiego, evitando que caviten. Estas bombas envían el combustible hacia los tanques de almacenamiento (settling) de todas las baterías por medio de una tubería de 3". Los tanques de servicio tienen una capacidad de 10 m³ y en su interior tienen un calentador para asegurar que el combustible salga a la temperatura de 75 °C. El combustible es succionado por la bomba de impulso de las purificadoras M-101 A/B donde ocurre el proceso de separación de los sólidos y el agua, proceso que consiste en aislar mezclas de líquidos integradas por dos componentes, eliminando al mismo tiempo los sólidos en suspensión en los líquidos para luego enviar el combustible limpio a una temperatura aproximada de 90 °C a los tanques de servicio los cuales tienen una capacidad de 10 m³, estos poseen en su interior un calentador para asegurar que el combustible salga a la temperatura de 90 °C .

El combustible líquido es llevado desde los tanques de Servicio al tanque de venteo por medio de las bombas de suministro P-106 A/B las cuales tienen un flujo de 3,4 m³/h y una presión de descarga de 6 bar, antes de entrar al tanque de venteo el combustible pasa por un flujómetro para contabilizar el consumo de combustible. El propósito del tanque de venteo es asegurar la salida de las emanaciones de gases producto del combustible caliente y asegurar un equilibrio gradual mezclando el combustible caliente del motor con el combustible más frío del tanque de servicio. El suministro de combustible a los motores es asegurado por las bombas booster P-107 A/B, estas bombas tienen que asegurar la presión del combustible entre 7 y 10 bar que requiere el sistema, por lo que también son denominadas bombas reforzadoras, antes de entrar el combustible al motor pasa por un calentador para asegurar el parámetro requerido; la viscosidad ya que la misma asegura la calidad en la inyección del combustible y debe estar en un rango entre 12 y 18 sCt , este parámetro es censado por un viscosímetro el cual regula la entrada de vapor al

calentador en dependencia de la viscosidad del combustible para luego pasar por un autofiltro Alfa Laval con filtro de 20 μm después del cual el fuel queda listo para su inyección en el motor.

El Sistema Diesel se utiliza para el arranque y parada, en este sistema no es necesario el precalentamiento ni el centrifugado del combustible. El diesel se almacena en un tanque de 100 m^3 que recibe el combustible por dos bombas de recepción P-103 A/B de las que se mantiene una siempre en reserva, estas tienen un flujo de 25 m^3/h y una presión de descarga de 2,5 bar. El combustible es bombeado del tanque por 3 bombas de transferencia P-104 A/B/C a un cabezal común con un regulador de presión que mantiene la presión a 5 bar en la línea, donde es impulsado hacia las válvulas de entrada de combustible de cada motor pasando a los inyectores donde se produce la combustión y la conversión de la energía térmica en energía mecánica para mover el rotor del generador y producir la energía que es entregada al Sistema Eléctrico Nacional.

El sistema de combustible inyecta el fuel oil en los cilindros donde ocurren los procesos de admisión, compresión, explosión y escape, transmitiendo esta energía al cigüeñal, produciendo de esta forma el torque necesario para mover el generador trifásico acoplado al motor, creando una corriente inducida y con ella un campo magnético produciendo una potencia eléctrica. Los generadores que son accionados por estos motores, son máquinas con una potencia de 2,5 MW cada uno, 6.6 kV, 8 polos, fp de 0,8; 60 Hz, 273,4 A, poseen un regulador de voltaje de $\pm 10\%$ el voltaje nominal, 900 rpm, enfriamiento por aire, autoexcitación sin escobillas y trifásico. El grupo electrógeno fuel oil posee un sistema eléctrico simple y distribuido en tres barras de 6.6 kV, a cada ellas llega la generación de 8 generadores desde donde se alimentan 3 transformadores principales independientes de 25 MVA que elevan el nivel de voltaje hasta 110 kV hacia la subestación. De cada barra de 6,6 kV se alimentan dos transformadores auxiliares de 750 kVA que reducen el voltaje hasta 480 V para

uso de los equipos auxiliares de cada batería de 4 moto-generadores y mediante una selección de breakers, una de ellas alimenta una barra común para equipos fundamentales que a la vez, es alimentada por el generador de emergencia en caso que fuese necesario.

Los gases de salida de cada batería de moto-generadores son aprovechados por una caldera recuperativa de 7 bar de presión para la producción del vapor, que es utilizado en las líneas de acompañamiento de combustible, en los calentadores, en las purificadoras, es decir existen 6 baterías con seis calderas recuperativas de esta misma característica, el agua necesaria para la producción de este vapor y los circuitos de enfriamientos de los motores proviene de una unidad de tratamiento química basado en el principio de la osmosis inversa a través de membranas. El vapor que hace trabajo es recuperado en un tanque o colector de condensado y se reincorpora al proceso.

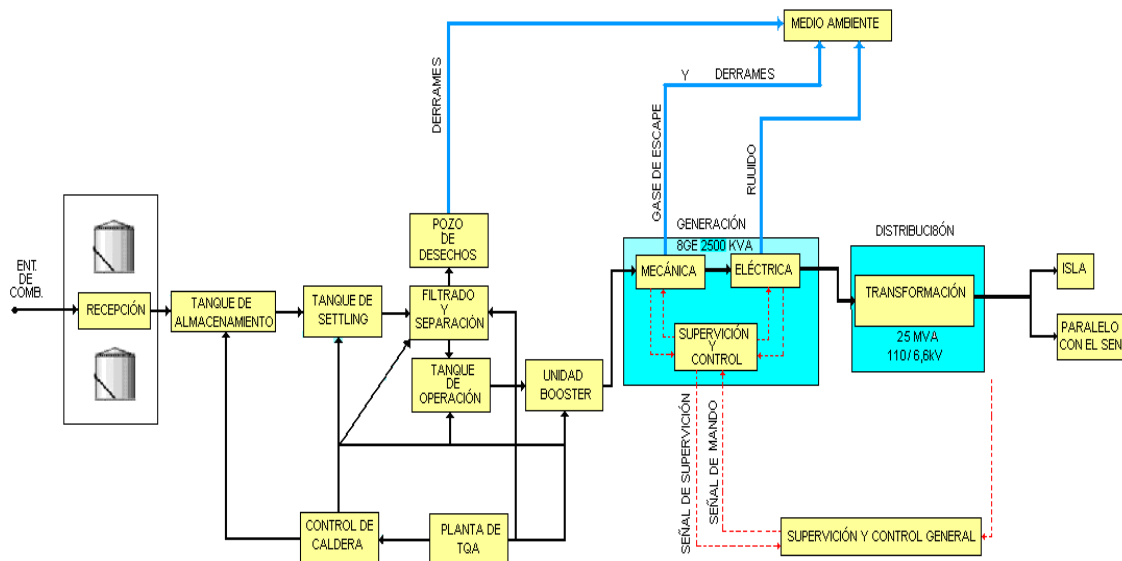


Figura.2.1 Esquema del flujo tecnológico del emplazamiento GEFO Felton.

2.2 Generalidades del accionamiento del conjunto motor – generador.

Los generadores analizados en el presente trabajo son accionados por motores de combustión interna descritos en el capítulo 1, poseen un acoplamiento directo, las velocidades de ambos son iguales, Tanto el motor como el generador tienen instalados un sistema automático de señales como alta temperatura en determinadas localidades, señales de velocidad, de frecuencia, de corriente, de voltaje, de presión que mantienen al conjunto motor-generador controlado y cada señal actúa si se desvía del rango permisible por el fabricante. Realmente en este tipo de accionamientos la falla común para ambos sería la velocidad, un aumento excesivo de la velocidad del motor provocaría un aumento en el generador y por tanto violaciones de parámetros tan importantes como la frecuencia y el voltaje.

2.2.1 Especificación del generador Hyundai 2.5MW

La especificación describe el Generador Sincrónico Trifásico de escobillas de 3125 kVA, 6.6 kV, 8 polos.

DESCRIPCION GENERAL

INDISPENSABLES (PARA 1 GENERADOR)

- (1) - Un (1) Juego de Generador Sincrónico.
- (2) - Una (1) Pieza de Auto-regulador de voltaje con sistema elevador (amplificador) de corriente.

ACCESORIOS (PARA 1 GENERADOR)

- (1) - Una (1) unidad de calentador de espacio.
- (2) - Una (1) unidad de detector de temperatura del enrollado (PT100 ohm x 2pc/fase).

(3) - Una (1) unidad de detector de temperatura de cojinete (PT100 ohm x 1pc/rodamiento).

(4) - Dos (2) unidades de terminales de tierra.

(5) - Una (1) unidad de caja de terminales principal y casquillo o collarín de prensaestopas de cable.

(6) - Una (1) unidad de sistema elevador (amplificador) de corriente para tres (3) veces corriente de cortocircuito.

(7) - Una (1) unidad de pernos y tuercas de fijación para la base común.

(Fijación M36 x L150, tornillo macho M24, pasador cónico PH14xL120)

(8) - Una (1) unidad de termómetro de cojinete.

(9) - Una (1) unidad de malla de filtro de entrada de aire.

(10) - Una (1) unidad de TCs, TPs y otros componentes eléctricos.

CONDICIONES DEL SITIO

Los Generadores se diseñarán de acuerdo con las siguientes condiciones del sitio:

- Ubicación: Interior

- Altitud: Por debajo de 100 m sobre el nivel medio del mar

- Temperatura Ambiente: 45 °C Max.

- Humedad Relativa: 90% Max.

PRUEBA E INSPECCION

Las pruebas e inspección en el generador se llevarán a cabo de acuerdo con la norma aplicable.

PINTURAS

Todas las partes de superficie del hierro se cubrirán con pintura anticorrosivas de acuerdo con las normas del fabricante. El color final de la superficie exterior es seguido según el requerimiento del cliente. A menos que sea especificado, el Generador se cubrirá finalmente con el color Generador: Munsell No.: 7.5 BG 7/2

ESPECIFICACIÓN MECÁNICA

CONSTRUCCION

Los Generadores contienen máquinas rotatorias-engavetadas en las cuales el rotor cilíndrico lleva el enrollado de excitación de CD engavetado y el enrollado amortiguador rotando dentro del estator el cual lleva el enrollado de salida de A.C.

Los Generadores incorporan rectificadores rotatorios y excitador A.C montado en el eje, los cuales proveen la corriente de excitación para la máquina principal.

GRADO DE PROTECCION

Así los componentes existentes y en movimiento interno son encerrados para prevenir contacto accidental por personas, para prevenir el ingreso de cuerpos sólidos mayores de 12 mm y para proteger contra caída de agua de lluvia hasta 60° de la vertical.

ENFRIAMIENTO

Un ventilador en el final del dispositivo extrae el aire de enfriamiento axialmente a través de la máquina.

TIPO DE CONSTRUCCION

-B5/B20 con cojinete de manga o camisa simple.

COJINETES

- Cojinete de manga o camisa

LUBRICACION

- Auto lubricación

VELOCIDAD Y DIRECCION DE ROTACION

La frecuencia nominal es producida en velocidad nominal a menos que, de lo contrario, se haya establecido que un aumento de velocidad del 5% cuando la carga se reduzca desde el valor nominal hasta cero sea asumido. La dirección de rotación es contraria al sentido de las agujas del reloj (C.C.W) visto desde el final del accionamiento.

CAJA DE TERMINALES PRINCIPALES PARA LA POTENCIA DE ALTO VOLTAJE

Grado de protección: IP44

4 salidas alambradas emplomadas: U, V, W, N (caja de terminales principales)

La caja de terminales principales está localizada en el lado derecho visto desde el final del accionamiento.

CALENTADOR ANTI-CONDENSATION

El Generador será provisto con un calentador 220 VAC para prevenir condensación mientras la máquina esté parada. El calentador estará preparado para proveer distribución uniforme de calor.

Los cables del calentador se presentarán con terminales claramente etiquetados.

A.C 1 Fase 220V, 1000W

RESISTENCIA DE SOBREVOLUCIDAD

El generador estará libre de fallas mecánicas cuando opere a 120% de la velocidad nominal por 2 minutos bajo la condición sin carga y no excitado.

ROTOR

Rotor cilíndrico

Momento de inercia (GD²): Aproximadamente 1459.6 kg-m²

Peso de rotor: Aproximadamente 4811 kg

PESO DEL GENERADOR:

Aproximadamente 11000 kg

DIMENSIONES DEL GENERADOR:

Aproximadamente Ancho (W) 1969 x Largo (L) 2851 x Alto (H) 2075

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

AISLAMIENTO

La clase de aislamiento F se usa como una característica estándar para el Generador.

Éste protege el enrollado contra gas corrosivo, vapor, polvo y aceite.

ENROLLADO DEL ESTATOR

El enrollado trifásico del estator es del tipo de doble capa y conectado en estrella.

Los cuatro finales de los cables del estator **U, V, W, N** y la conexión del polo **+ F1** y **- F2** del excitador son llevados hacia la caja de conexión de cables.

ENROLLADO DEL ROTOR

El enrollado del rotor es diseñado como una bobina enrollada en las ranuras del rotor cilíndrico.

El generador es adaptado con un enrollado amortiguador, o sea, una jaula de barras conectadas por anillos, las cuales se sitúan en ranuras especiales en el rotor.

SISTEMA DE EXCITACIÓN

Sistema autoexcitado con excitador rotatorio montado en la armadura del Generador.

AJUSTE DEL VOLTAJE

El voltaje nominal puede ser ajustado en $\pm 10\%$ usando un valor fijo de referencia montado en un panel externo cuando el factor de potencia está entre 0.8 y 1.

VARIACIÓN DEL VOLTAJE EN ESTADO ESTABLE

A lo largo del rango desde vacío hasta carga nominal en factor de potencia nominal y velocidad nominal y excitación nominal, el sistema de control incluyendo un automatic Voltage regulator A.V.R la variación del voltaje y en condición estable está dentro de $\pm 2.5\%$ de voltaje nominal.

VARIACION DEL VOLTAJE INSTANTÁNEO

Con una carga correspondiente al 60% (factor de potencia: menor que 0.4) de la corriente nominal aplicada en voltaje y frecuencia nominal, el factor de la variación del voltaje instantáneo será menor que el 15% y será restaurado al 3% del voltaje final con 2 segundos.

EFICIENCIA La eficiencia permitida para las pérdidas totales en el generador,

incluso aquellas del enrollado de campo y del sistema de excitación. Los valores en salida nominal se garantizará por encima del 95.8%.

SOBRECARGA

De acuerdo con la norma aplicable, el generador puede tener una sobrecorriente de 1.5 veces la corriente nominal en voltaje nominal por 2 minutos. El Generador será operado en 110% de la corriente nominal por una hora dentro de cualquier período de 12 horas sin riesgo de aumento crítico de temperatura.

DISTORTION DE LA FORMA DE ONDA

La forma de onda será estrechamente similar a la curva del seno en voltaje y frecuencia nominal bajo ninguna carga.

La distorsión de la forma de onda será menor que el 5% de acuerdo con JEC 114.

AUMENTO DE TEMPERATURA

Aumento de temperatura en plena carga y factor de potencia nominal.

1) Bobinas del Estator: No excede 75 °C por el método de la resistencia.

2) Bobinas del Rotor: No excede 85 °C por el método de la resistencia.

El aumento de la temperatura está basado en que la entrada de aire no exceda 45 °C y la altitud no exceda los 100 metros.

En la siguiente tabla podemos hacemos referencia de los datos nominales del generador, ver Anexo Nº1

2.3 Motor de combustión interna

Especificaciones técnicas de los motores de combustión interna.

Descripción del diseño del motor

La familia del conjunto generador estacionario HYUNDAI "HIMSEN H25/32" tienen un diseño simple y ligero adecuado para la aplicación estacionaria con alta confiabilidad y alto rendimiento. Las características principales de estos motores son resumidas como sigue:

1. **Motor de combustión pesado (Fuel-oil)** este motor puede trabajar con combustible diesel y el combustible pesado de viscosidad de hasta 700cst a 50 C
2. **Motor económico y ecológico** con el menor consumo de combustible y poca emisión de NOx (óxido de nitrógeno), humo, etc., lo cual está basado en las siguientes especificaciones de diseño:

- alta relación de carrera contra diámetro del cilindro (1.52)

- alta relación de compresión (17.1)

- aire de sobrecarga optimizado con el ciclo Miller**

- alta presión de inyección de combustible (hasta 2000 bar) (2039.4Kg/cm)

3. **Motor confiable y práctico** con una estructura simple, ligera y robusta.

- el número de componentes del motor son minimizados con diseños libres de tubería.

- la mayoría de los componentes son directamente accesibles para un mantenimiento más fácil.

- es suministrado el concepto del mantenimiento de cada parte y unidad del cilindro.

- el sistema de alimentación es completamente modularizado con accesibilidad directa.

El ciclo Miller permite al motor trabajar con altas relaciones de compresión sin peligro de producirse la detonación. Esto se consigue por medio de un cilindro muy grande con respecto al volumen de la cámara de combustión.

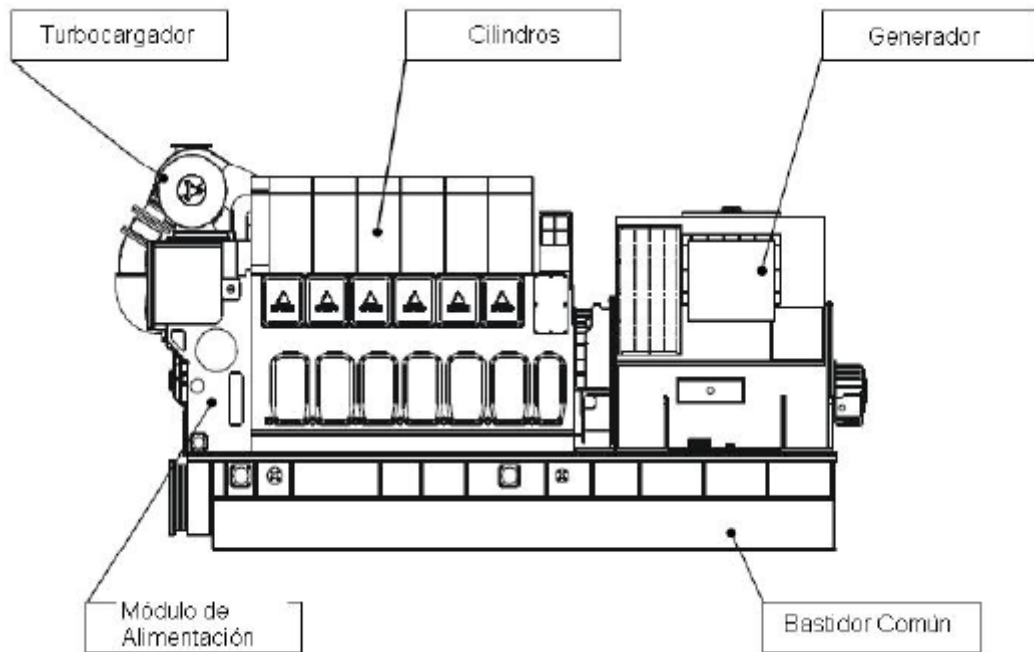


Figura.2.2 Vista de conjunto generador.

Para conocer las especificaciones técnicas del conjunto motor-generador es necesario remitirse al anexo Nº2

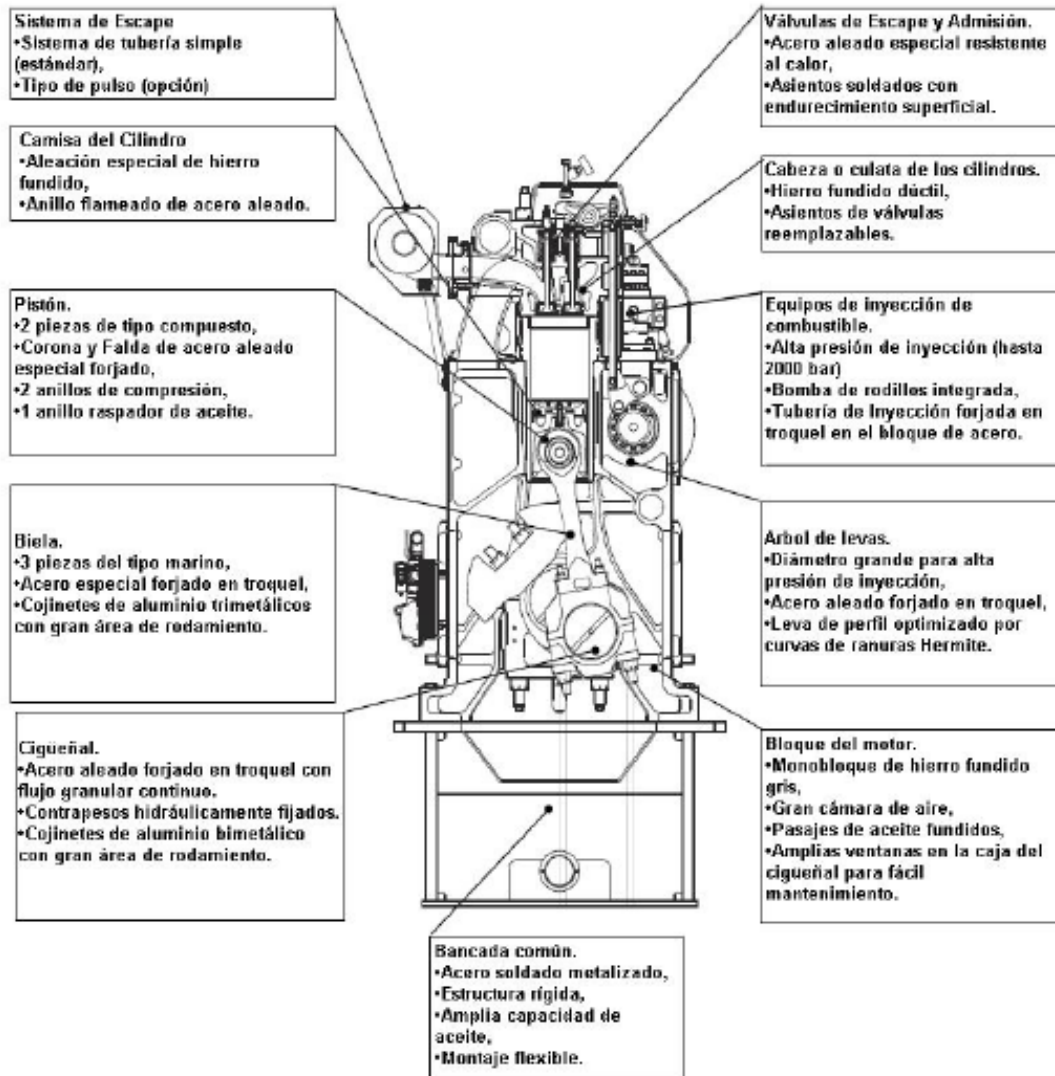


Figura 2.3 Partes fundamentales de los motores de combustión interna. Disposición física en el motor.

2.4 Análisis de los parámetros del generador

Para tener una certeza del funcionamiento de estos generadores se tomaron mediciones reales (ver anexo) del generador veinticuatro teniendo en cuenta que su comportamiento es muy similar al resto porque son idénticos. Estas variables fueron tomadas para cada valor de factor de potencia entre 0.88 y 0.99, para diferentes valores de temperatura ambiente y para cargas del 75%,80%,85%,90% y 95%.

Comportamiento de la potencia Reactiva y Aparente a 28 °C de temperatura ambiente.

A continuación en la figura 1.1 muestra resultados de las mediciones de las potencias aparente (S) y reactiva (Q) ante variaciones del factor de potencia (fp) a 28 °C de temperatura ambiente.

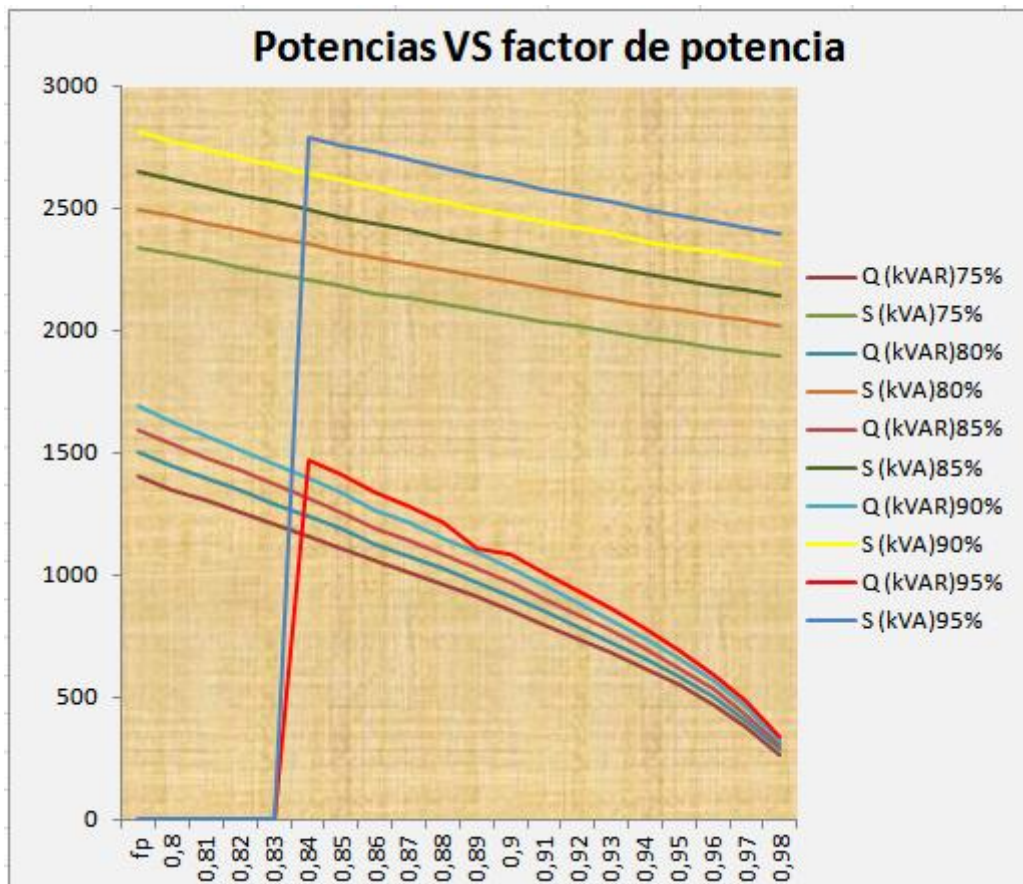


Figura 2.4 Gráfico de potencia reactiva y aparente vs factor de potencia

Acá muestra como a medida que disminuyen los valores del del fp se incrementan los valores de potencia reactiva y aparente para mantener la potencia activa constante. Lo mismo ocurre con corriente de carga, la corriente de excitación (I_{excit}) y la tensión de excitación (U_{excit}) mostrados en la figuras 2.5, 2.6 y 2.7 respectivamente. En estos casos se muestra un incremento de estos valores llegando a ser condenatorio en el caso de estar al 95% de la carga

par los valores de Voltaje de excitación mayor de 65 V para un $fp = 0.85$,
teniendo como carga más estable en todos los aspecto la del 80%.

Comportamiento de la corriente de carga (I)

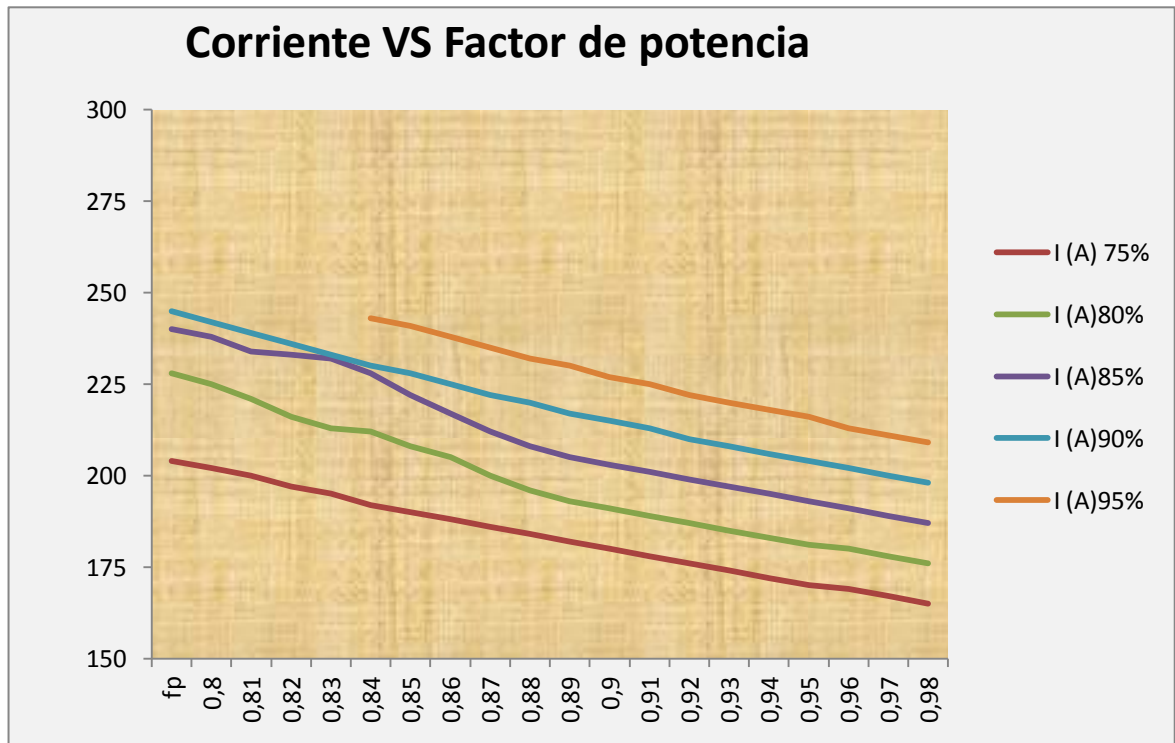


Figura 2.5 Comportamiento de la corriente ante el fp

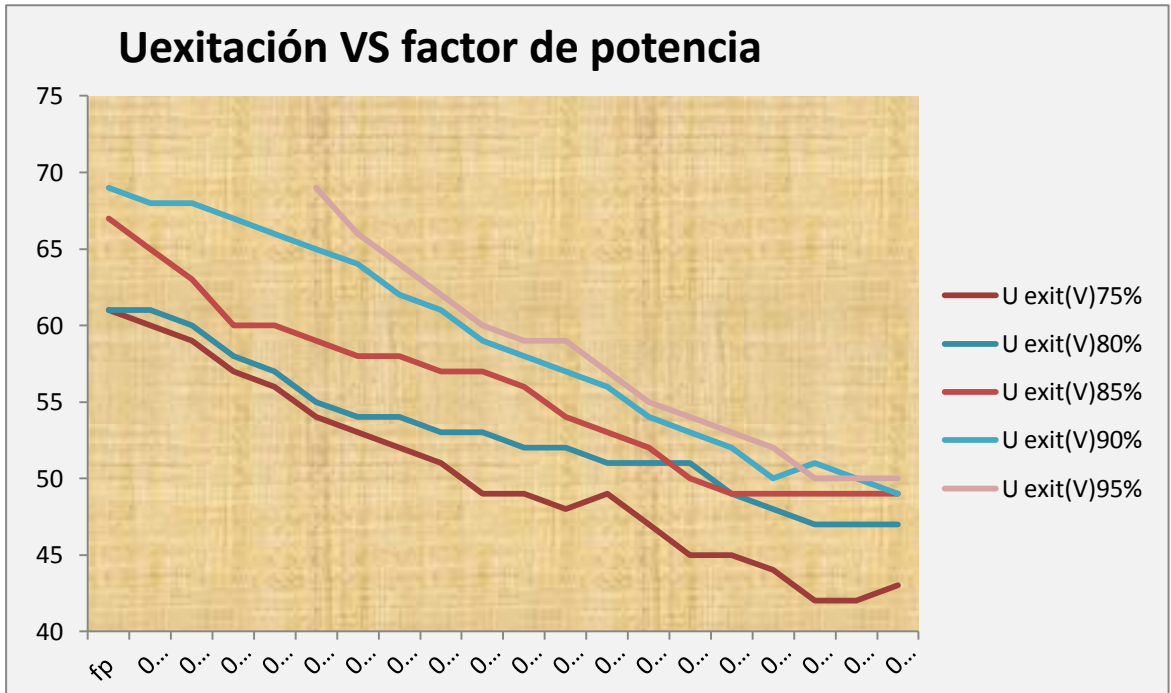


Figura 2.6 Comportamiento del Voltaje excitacion vs factor de potencia

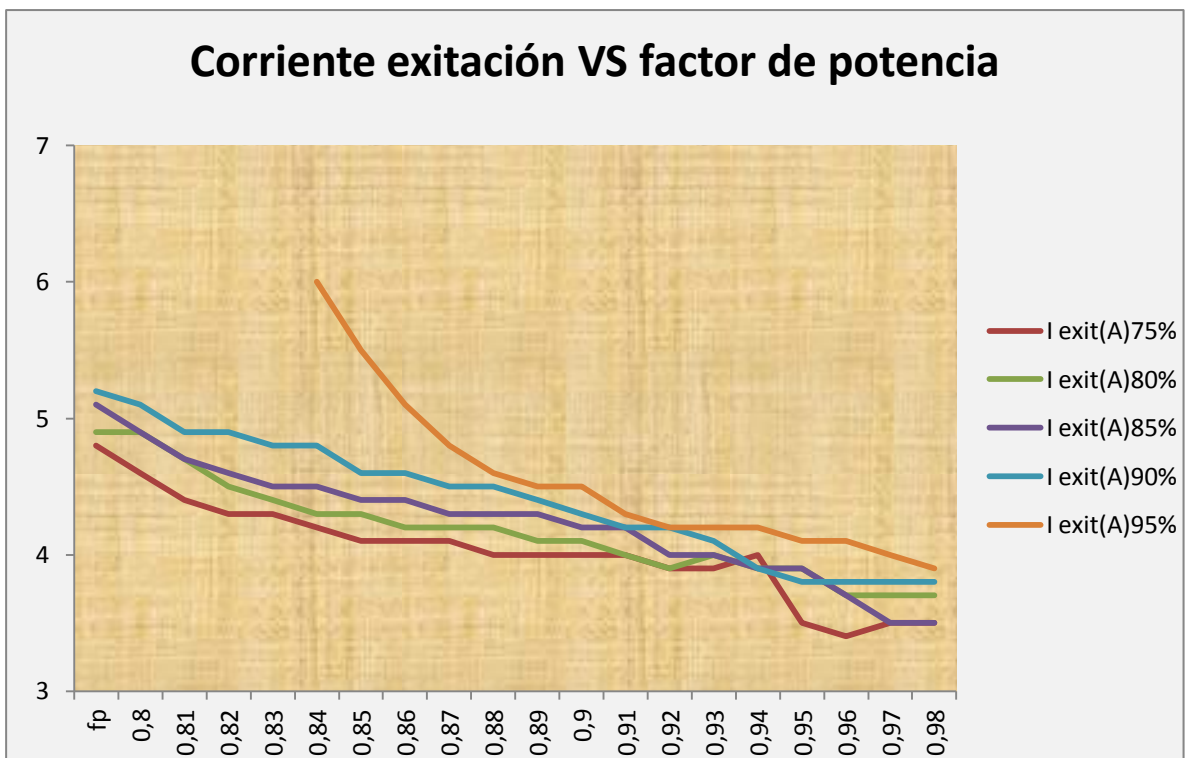


Figura 2.7 Comportamiento de la Corriente de excitacion vs factor de potencia

Influencia de la temperatura ambiente

Para tener evidencia de que la temperatura ambiente es uno de los fenómenos que afecta las consecuencias de variación del fp en estas máquinas, se tomaron lecturas para 28 °C y 31 °C de temperatura ambiente , debido mayormente a que trabajan dentro de una nave y su funcionamiento es mucho mejor para una menor temperatura. En la figura 2.8 se muestra un ejemplo para la tensión de excitación. En la figura 2.9 para la corriente de excitación.

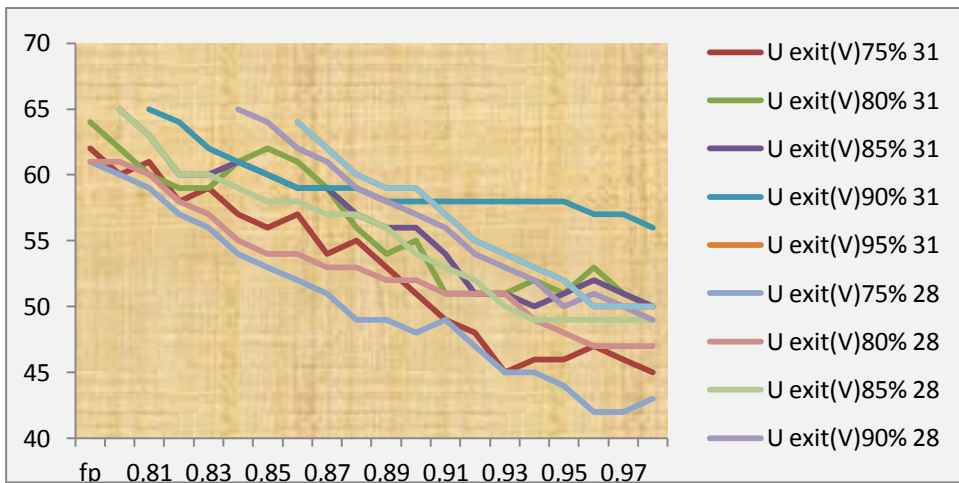


Figura 2.8 Tensión de excitación para 28 °C y 31 °C de temperatura ambiente

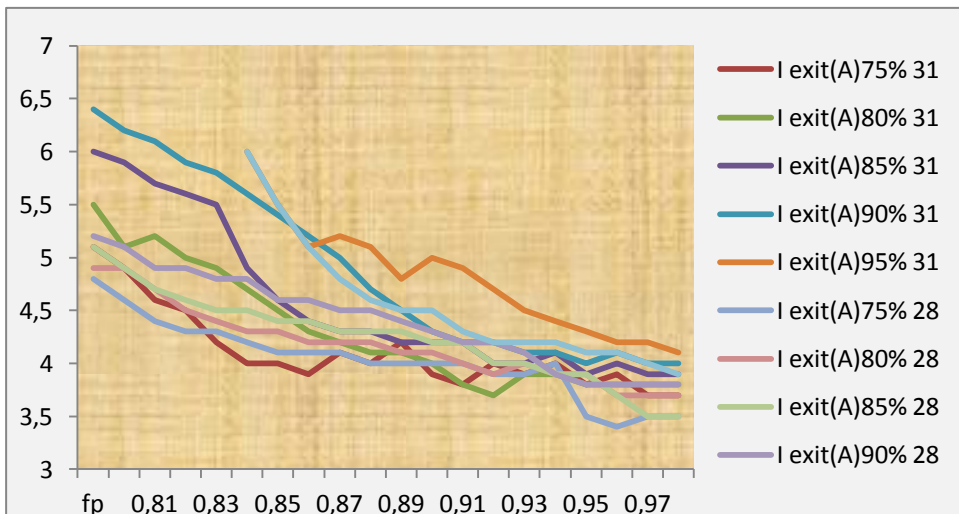


Figura 2.9 Corriente de excitación para 28 °C y 31 °C de temperatura ambiente

Otras consecuencias

Los altos valores de corriente traen aparejado las altas temperaturas en los devanados de los generadores, estas máquinas son enfriadas con aire, una alta temperatura en el medio ambiente o en la nave, aparejado de un bajo factor de potencia que incrementa la corriente de carga y la generación de reactivo provoca que se aumente la temperatura en estos devanados, que trae consecuencias desde una disminución de un aislamiento hasta

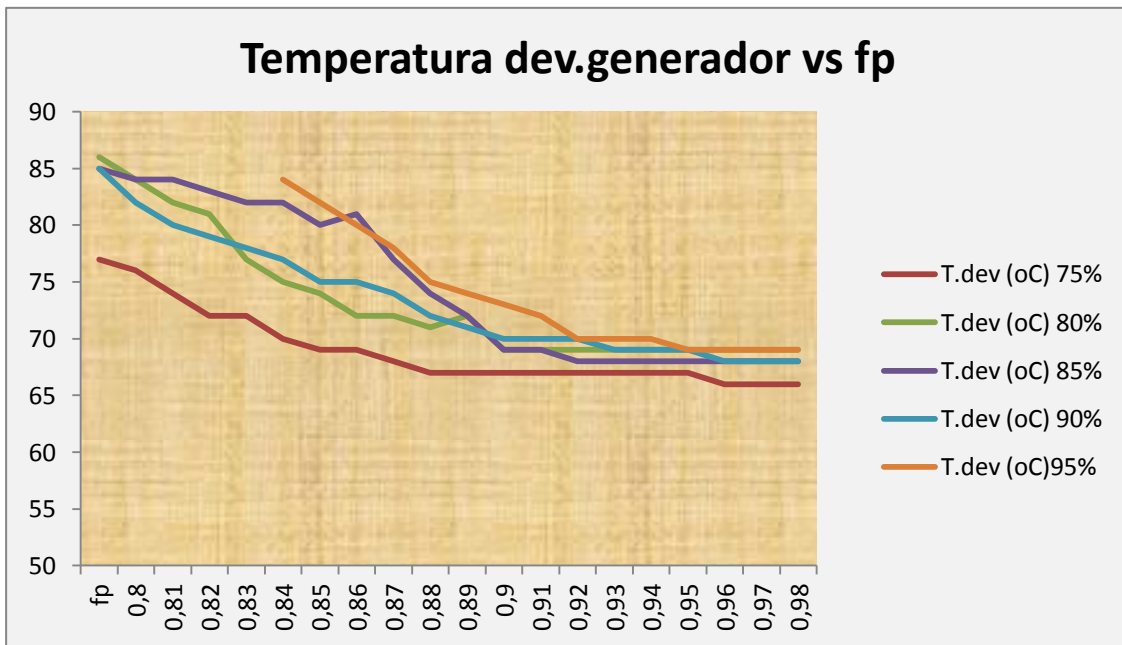


Figura 2.10 Temperatura de los devanados vs factor de potencia

Según Gutierrez 2013 las altas temperaturas en los devanados son el 34% de las fallas ocurridas en estos generadores unidas las de excitación representan más del 50%, de ellas el 6.32% se debe a valores bajos establecidos del fp.

2.5 Análisis del Motor de Combustión Interna

Al aumentar la corriente del generador por disminuir el factor de potencia se introduce un alto consumo de combustible en el motor porque aumenta la carga

del motor sin aumentar la potencia activa demandada por el generador. Ver figura

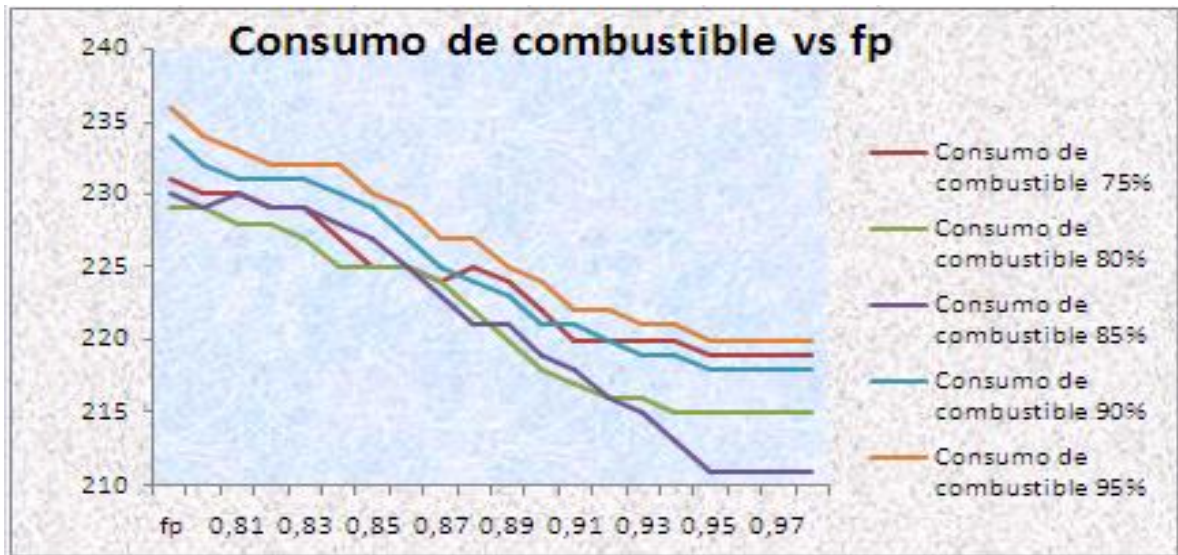


Figura 2.11 Consumo de Combustible vs factor de potencia

Al demandarse más potencia mecánica el motor comienza a calentarse mucho más y a medida que disminuye el factor de potencia aumenta con el la temperatura de los cilindros del motor independientemente de la carga de trabajo que tenga.

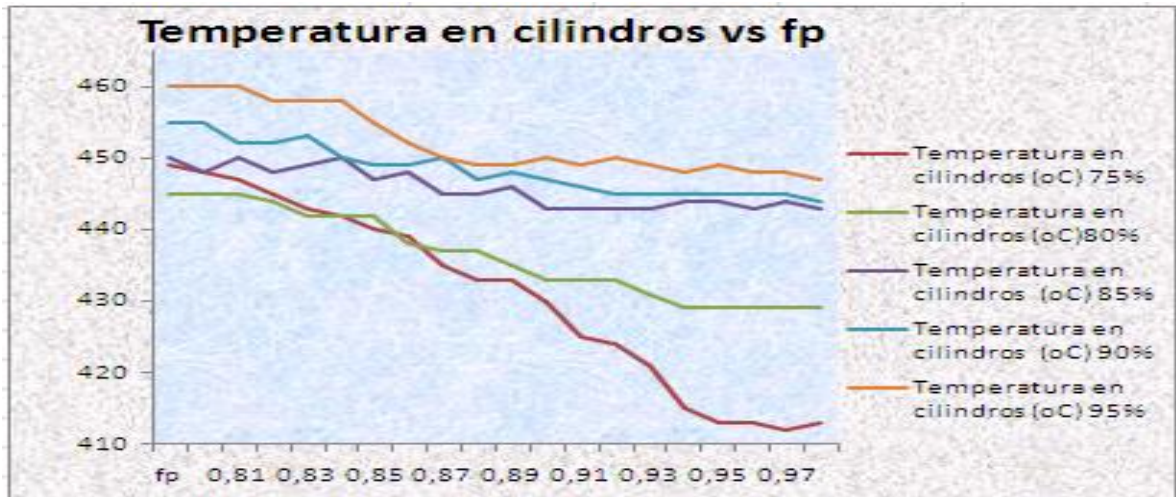


Figura 2.12 Temperatura de los cilindros del Motor de Combustión Interna

2.6 Conclusiones Parciales

Mediante el capítulo se obtuvo un gran conocimiento de los aparatos y medios que actúan en el proceso estudiado, de lo que se concluye que:

1. Los generadores estudiados son capaces de generar un gran porcentaje de reactivo al SEN.
2. El factor de potencia es inversamente proporcional de la corriente de excitación, el voltaje de excitación, la Potencia Reactiva, la corriente de carga, la temperatura del motor y su consumo de combustible.
3. La temperatura ambiente influye directamente en el comportamiento del factor de potencia para estas máquinas.

3.1 Introducción

En el presente capítulo se realiza una determinación sobre las variaciones del factor de potencia en los generadores Hyundai 2.5MW, para ello se toma en cuenta lo estudiado en el capítulo anterior, donde es la base para la obtención de los resultados

3.2 Carga adecuada para variar el factor de potencia en estas máquinas

Para dar resultado o establecer una carga adecuada o la más adecuada para este tipo de máquina se tuvo en cuenta los resultados alcanzados en las mediciones donde se evidencia los cambios existentes en cada caso.

Para 75% de la carga

En este régimen el generador se comportó bien, la tensión de excitación estuvo entre 62V- 58V para un fp entre 0.8-0.99 respectivamente.(ver anexo 4) La corriente de excitación estuvo entre 5.1 A y 3.7 A, así estuvo en parámetros con todas las variables examinadas aunque para el motor esta carga no es recomendada por el alto consumo de combustible que tiene, por lo cual mecánicamente no se aprueba como la adecuada aunque se podría aportar reactivo al SEN hasta un fp de 0.8 si se requiriera teniendo en cuenta este aspecto negativo.

Para 85% de la carga

Para esta carga hubo tendencia a la inestabilidad del generador y del motor. Se observó que para un valor alto de temperatura ambiente la máquina es muy inestable a bajo factor de potencia comienza a ser estable a partir de un fp = 0.88, lo que se puede trabajar a partir de ese valor de manera ascendente de forma tal

que no se afecte la tensión de excitación que es en este caso el parámetro condensatorio para el fp bajo.

Para 90% de la carga

Al igual que al 85% es un carga que demanda mucha corriente y voltaje de excitación por lo cual la explotación de estas máquinas con la intención de aportar reactivo es de muy baja eficiencia, porque introduce altos valores de esta potencia que podría ser letal para la máquina.

Para 95% de la carga

Para este régimen la máquina realmente no admite que se trabaje a un menor factor de potencia que 0.93 por lo que es la menos de todas las cargas para trabajar continuamente aportando reactivo, además del alto consumo de combustible y de las altas temperaturas que trae consigo.

Según los resultados la carga mas adecuada es el 80%, debido a su estabilidad de parámetros en la corriente excitacion y de carga, por el consumo aceptable de combustible, por su estabilidad en las temperaturas de los cilindros de los motores a cualquier fp entre 0.8 y 1 , por lo que hace eléctrica y mecánicamente el régimen recomendado para establecer bajos factores de potencia.

Para el caso especifico de las vibraciones:

- hay que tener mucho cuidado principalmente con lo relacionado con el asentamiento y ajustes.
- Uniones horizontales.
- Las guías de las chumaceras beben tener las medidas necesarias para un correcto funcionamiento.

3.3 *Mantenimiento en los generadores*

La aplicación de técnicas predictivas especializadas en generadores eléctricos tiene como propósito principal el poder detectar fallas en las maquinas eléctricas rotatorias de forma tal que las interrupciones en la producción debido a fallas inesperadas sean reducidos al máximo (nivel de confiabilidad). Dichas fallas en equipos críticos como los generadores conducen a pérdidas económicas considerables a nivel de la industria ya que ocasionan interrupciones en la producción durante el lapso de tiempo de una reparación costosa o en el peor de los casos hasta que el quipo sea sustituido, lo cual agrava la situación cuando no se cuenta con un reemplazo inmediato de un equipo costoso. El otro aspecto involucrado consiste en la disminución de costos por ahorro energético al contar con la herramienta apropiada para llevar a cabo pruebas de aceptación después de una reparación costosa y poder evaluar la eficiencia de un motor/generador eléctrico. Al detectar fallas eléctricas y mecánicas en una maquina rotatoria podemos evaluar su condición y su eficiencia de funcionamiento ya que en la mayoría de los casos los desperfectos conducen a un consumo mayor de energía eléctrica y al desmejoramiento de la potencia reactiva (bajo factor de potencia) el cual es penalizado por las empresas distribuidoras de la energía eléctrica. Si identificamos un motor trabajando en forma ineficiente estamos aumentando el consumo de energía eléctrica en forma innecesaria y desproporcionada. Si esta condición la multiplicamos por el número total de motores eléctricos que intervienen en un proceso de producción y que tienen problemas de eficiencia, nos encontramos ante un problema de facturación excesiva e innecesaria de energía eléctrica en nuestra industria, con un considerable aumento en los costos de producción. Estudios efectuados por el Instituto EPRI (Electrical Power Research Institute) en los Estados Unidos en conjunto con la firma General Electric revelan que el mayor porcentaje de incidencia de falla en motores/generadores eléctricos (41%) tiene como causa raíz defectos de tipo eléctrico, aún cuando una falla mecánica es la causa aparente. De acuerdo con el estudio realizado en el presente trabajo se demuestra que un incremento de la corriente provocado por un bajo factor de

potencia en estos generadores puede provocar fallas, también las altas corrientes y voltajes de excitación deterioran los componentes del sistema de excitación

3.4 Consecuencia al sistema de excitación por bajo factor de potencia

Fallas en la excitación

Según [Moraga 2013] la causa de las fallas en la excitación en estos generadores se debe al gran porcentaje de 61.5% por fallas que ocurre debido a problemas que presentan los reguladores de voltaje (AVR) (ver anexo 3), sus componentes electrónicos están en una base metálica sobre una placa sellada, lo que nos imposibilita cambiar o determinar el el componente que se ha dañado y reparar la placa, por lo que hay que sustituir el regulador íntegramente, generalmente por esta causa se asocia mucho con las fallas en el circuito de excitación rotatorias montado sobre el eje del generador; los componentes del rectificador de excitación, principalmente los varistores cuando se abren, dejan desprotegidos el circuito de rectificación y cualquier variación en el voltaje de la excitación provoca una variación en el voltaje del generador que se va de los rangos de regulación del AVR, hasta que este no puede regular estas variaciones y falla.

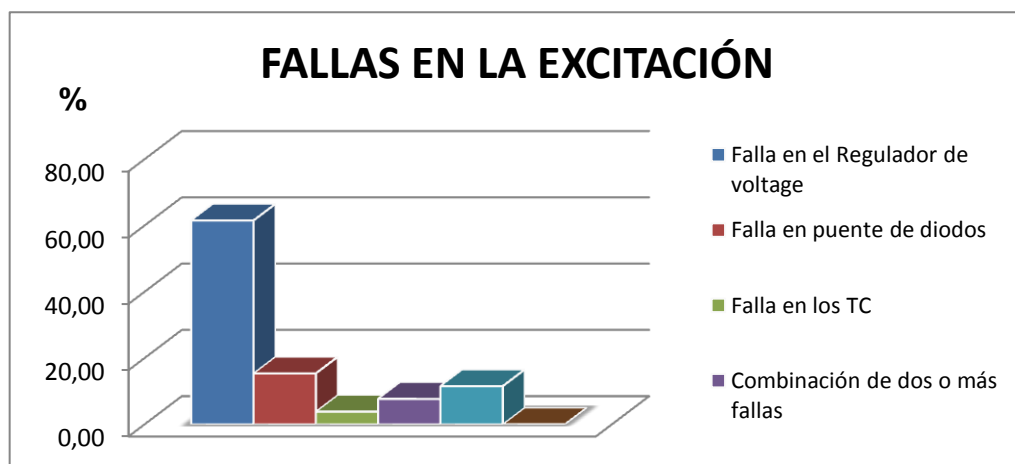


Figura 3.1 Fallas en la excitación de los generadores

Los puentes de diodos que representa el 15.4%, causa por la cual el generador presenta averías en el circuito de excitación, ya que estos están expuestos a las altas temperaturas (60 - 140 °C) que se crea dentro del generador lo que acorta su período de utilidad en gran medida, otra de los factores que influye en su ruptura fue explicado con anterioridad y son las variaciones de corriente y de voltaje que hace que estos dispositivos semiconductores fallen, las vibraciones ocurrentes en la máquina provoca las flojedades en los terminales y así el calentamiento hasta su deterioro.

3.5 Valoración Económica

El presente trabajo se estableció una carga y valores de fp permisibles para el trabajo con estas máquinas por lo cual la valoración económica se basa en la comparación económica entre las diferentes cargas evaluadas y la establecida (80%).

Para ello se toma un factor de potencia mínimo común para todas las cargas, en este caso se tomó el 0.88 por ser un valor común de trabajo permisible.

Tabla 3.1 Valores del Consumo específico bruto para valores del fp= 0.88

fp	0,88
CEB 75 %	219 g/kWh
CEB 80%	221 g/kWh
CEB 85%	225 g/kWh
CEB 90%	228 g/kWh
CEB 95%	232g/kWh

En la tabla 3.2 se muestra la cantidad de combustible necesario según su consumo específico de combustible (CEB) por carga, a factor de potencia de 0.88

Tabla 3.2 Consumo específico de combustible por carga para factor de potencia de 0.88

fp	0,88	Fuel (L) para gen. 1 MW	Diferencia para gen. 1MW en (L)	Para gen. 100MW en (L).	Diferencia para gen. 100MW en (L)
CEB 80%	221 g/kWh	226,0	0,0	22597,1	0
CEB 85%	225 g/kWh	230,1	4,1	23006,1	409,0
CEB 90%	228 g/kWh	233,1	7,2	23312,9	715,7
CEB 95%	232 g/kWh	237,2	11,2	23721,9	1124,7

Como se observa (Tabla 3.2), por cada carga 85%,90%,95%, para generar 1 MW se ahorran 4.1, 7.2 y 11.2 litros de combustible respectivamente, por lo cual económicamente se respalda el 80% como la carga más adecuada para la explotación de estas máquinas.

3.6 Conclusiones parciales

Con la realización de este capítulo se determinó:

1. El factor de potencia mínimo permisible para cada carga
2. La carga más adecuada para la explotación de estos generadores
3. Se realizó un análisis económico que respalda la carga del 80% como la más adecuada para trabajar a bajo factor de potencia.

CONCLUSIONES GENERALES

Una vez realizada la investigación se llega a la siguiente conclusión:

1. El trabajo a bajo fp provoca :
 - Calentamiento en los devanados del generador debido a las subidas de corriente.
 - Subida de valores de corriente y voltaje de excitación.
 - Fallas en la excitación del generador o ruptura de los reguladores de voltaje.
 - Altas temperaturas en el motor.
 - Alto consumo de Combustible.
2. El factor de potencia mínimo común para cada carga es de 0.88.
3. La carga más adecuada para la explotación de estos generadores es al 80%.
4. La temperatura ambiente influye en las consecuencias del bajo factor de potencia.
5. Los cálculos económicos realizado respaldan el ahorro de combustible para 80% de la carga en comparación con otras cargas.

RECOMENDACIONES

1. Continuar estudiando sistemáticamente, el comportamiento de las principales variaciones del factor de potencia en estas máquinas debido a que sus características pueden variar con el tiempo de explotación.
2. Establecer el 80% de la carga como la carga de trabajo para bajo factor de potencia.
3. Investigar las causas del bajo fp para sistema de suministro de la instalación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. ALVAREZ, R. M.: Análisis y Reparto de cortes de conexión de régimen especial a redes de distribución [en línea], Tesis Máster Sector Eléctrico, Universidad de Comillas ICAI, 2007/ 2008,72 páginas, Disponible en: <http://www.iit.upcomillas.es/docs/tm-08-105.pdf> [Consulta: abril 2012].
- [2]. Aróstegui, J. M. y otros.: Metodología del Conocimiento Científico. La Habana: Editorial de Ciencias Sociales, 1978. 445 p
- [3]. Cruz, Blanco, Y. Descripción técnica del emplazamiento Fuel – Oil de Felton.2011.
- [4]. DAIMLERCHRYSLER AG. Guía para la Operación en Régimen Automático de las Baterías MTU de ocho Grupos Electrónicos. Manual Técnico. MCV Comercial S.A. Junio, 2008. p
- [5]. DEL CASTILLO, S. A.M.: Análisis de Criticidad Personalizados, Ingeniería Mecánica, 3:1-12, La Habana, 2009.
- [6]. Descripciones de Funcionamiento. Motor Diesel 2005.
- [7]. Documentación técnica (MDEC) Sistema de gestión del motor BR/ 4000 (2005)
- [8] Explotación de una batería de GED. Cuba: CNCI, Febrero 2006.
- [9]. Gutierrez Moraga, Yasmani Metodología para la evaluación de fallas en los generadores Hyundai 2.5MW de Felton. Junio,2013
- [10]. HAZEL, TERENCE. Producción de energía eléctrica integrada en emplazamientos industriales y edificios comerciales. *Cuadernos Técnicos No 196 de Schneider Electric*. Febrero, 2001.
- [11]. ISO 8258: Grupos electrónicos de corriente alterna arrastrados por motores alternativos de combustión interna.
- [12]. ISO 3046-1: Motores alternativos de combustión interna
- [13]. IVANOV; SMOLENSKI. Máquinas Eléctricas. Pueblo y Educación. Tomo II.

- [14]. Manual de grupo electrógeno (M.T.U) 2360 kV (2005), www.hyundai-online.com, www.detroitdiesel.com.
- [15]. MARELLI GENERATOR (ITA). FKI Energy Technology, Three Phase Synchronous Generators.
- [16]. Unión Eléctrica. Dirección de Generación Distribuida. Generación Distribuida en Cuba julio 2007. PPT. Julio, 2007. p 11.
- [17]. YUNIER LEYVA REYES. Expediente de subestación felton 1 (U.E.B) Felton. (2008)
- [18]. Fitzgerald ;Charles Kingsley, Jr ;Stephen D.Umans. Electric Machinery
- [19]. HSR7-719-8P HYUNDAI 2.5MW , VersiónG2 Y G3 Procedimiento para la ejecución del mantenimiento preventivo planificado del generador.

ANEXOS

Anexo No 1

Tabla 1.1 DATOS TÉCNICOS NOMINALES GENERADOR

Item no.	Descripción	Unidad	Datos
GENERADOR			
1	Fabricante	HYUNDAI	
2	Tipo	Escobillas y rotatorio con enrollado amortiguador	
3	Salida Nominal	kVA	3125kVA (2500kW)
4	Voltaje Nominal	V	6600
5	Corriente Nominal	A	273.5
6	Frecuencia Nominal	Hz	60
7	Factor de Potencia Nominal	Cos φ	0.8
8	Clase de aislamiento	(a) Estator	F
		(b) Rotor	F
		(c) Excitador	F
9	Aumento de Temperatura		B
10	Cubierta		IP23
11	Velocidad Nominal	Rpm	900
12	Sobrevelocidad Nominal	Rpm	1080
13	No. de Polos		8
14	Tipo de Excitación		Escobillas y autoexcitado
15	Voltaje de Excitación	V	65
16	Corriente de Excitación	A	6.0
17	Tipo de Cojinetes		Manga o Camisa
18	No. de Cojinetes		Uno

19	Tipo de Enfriamiento			Aire	
20	Regulador Automático	(a) Fabricante		ABB	
		(b) Tipo		UNITROL 1000-7	
		(c) Rango del Regulador de Voltaje		±10%	
		(d) Precisión del Control		±0.5%	
21	Eficiencia (sin tolerancia)	110%		96.6	
		100%		96.7	
		At 1.0 PF load	75% %	%	96.6
			50%		96.0
			25%		94.2
			110%		95.7
			100%		95.8
		At 0.8 PF load	75% %	%	95.8
			50%		95.1
			25		92.9
22	Conexión del Devanado		Estrella		
23	Dirección de Rotación		C.Reloj (Visto desde el Lado Gen.)		
24	Enrrollado Amortiguador		Provisto		
25	Reactancia Sincrónica		Xd 420 (No Saturado) 325 % (Saturado)		
26	Reactancia Transiente		X'd 29.0 % (Saturado) 35.7%(NoSaturado)		
27	Reactancia Subtransiente		X''d 16.0% (Saturado) 25.8%(NoSaturado)		
28	Reactancia Sincrónica de la Cuadratura de Ejes		Xq 325% (No Saturado)		
29	Reactancia Sutransiente de la Cuadratura de Ejes		X''q 18.3 % (Saturado)		

30	Constante de Tiempo Transiente (Corto)	T'd	0.1756 Segundos
31	Constante de Tiempo Transiente(abierto)	T'do	1.6146 Segundos
32	Relación de Cortocircuito		No menor que 0.3
33	Momento de Inercia (GD ²)		1459.6 Kg-m ²

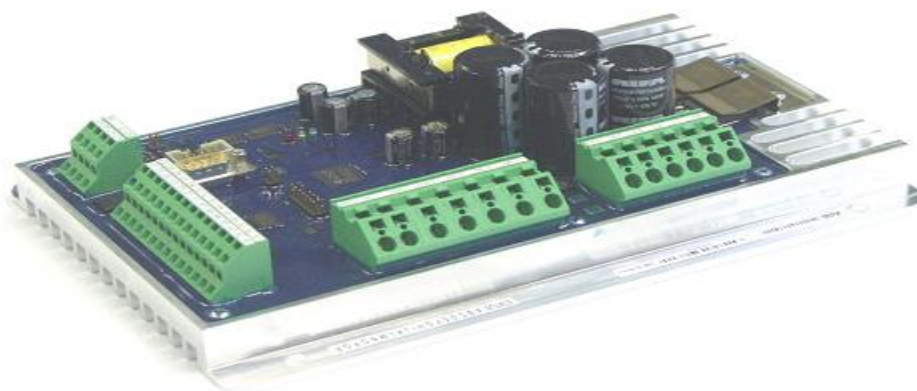
Anexo No2 Especificaciones Técnicas del Generador

Especificaciones técnicas

Tipo de Motor		4- carreras, vertical, inyección directa, acción simple y pistón truncado con turbo cargador y enfriador intermedio.			
Configuración de los cilindros		En línea			
Número de cilindros		5 – 6 – 7 – 8 – 9			
Velocidad especificada	rpm	720	750	900	1000
Potencia por Cilindro	KW	160	160	200	200
Diámetro del Cilindro	mm	210			
Carrera del Pistón	mm	320			
Volumen de barrido por cilindro	dm ³	11.1			
Velocidad media del pistón	m/s	7.7	8.0	9.6	10.7
Presión media efectiva	bar	24.1	23.1	24.1	21.7
Razón de compresión		17:1			
Potencia del Motor	kWm	1800			
Potencia del Generador	kWe	1692 (factor de potencia 0,8)			
Dirección de rotación del motor		A favor de las manecillas del reloj visto desde el lado del generador (no reversible)			

Fabricante	HYUNDAI
Tipo	Escobillas y rotatorio con enrollado amortiguador
Salida Nominal	3125kVA (2500kW)
Voltaje Nominal	6600V
Corriente Nominal	273.5A
Frecuencia Nominal	60Hz
Factor de Potencia Nominal	Cos ϕ 0.8
Velocidad Nominal	900Rpm
Sobrevelocidad Nominal	1080Rpm
No. de Polos	8
Voltaje de Excitación	65V
Corriente de Excitación	6.0A
Regulador Automático	Rango del Regulador de Voltaje \pm 10%
Eficiencia (sin tolerancia)	Para una carga del 100% una eficiencia del 95.8%
Tipo de Excitación	Escobillas y autoexcitado

Anexo No 3 Regulador de Voltaje (AVR) UNITROL 1000-7



Anexo No 4 Comportamiento de la Tensión de excitación

Tabla 4.1 Comportamiento de la tensión de excitación a 28 °C y 31 °C.

fp	0,8	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89
U exit(V)75% 31	62	60	61	58	59	57	56	57	54	55
U exit(V)80% 31	64	62	60	59	59	61	62	61	59	56
U exit(V)85% 31		65	63	60	60	61	60	59	59	57
U exit(V)90% 31			65	64	62	61	60	59	59	59
U exit(V)95% 31								64	62	60
U exit(V)75% 28	61	60	59	57	56	54	53	52	51	49
U exit(V)80% 28	61	61	60	58	57	55	54	54	53	53
U exit(V)85% 28		65	63	60	60	59	58	58	57	57
U exit(V)90% 28						65	64	62	61	59
U exit(V)95% 28								64	62	60

fp	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
U exit(V)75% 31	53	51	49	48	45	46	46	47	46	45
U exit(V)80% 31	54	55	51	51	51	52	51	53	51	50
U exit(V)85% 31	56	56	54	51	51	50	51	52	51	50
U exit(V)90% 31	58	58	58	58	58	58	58	57	57	56
U exit(V)95% 31	59	59	57	55	54	53	52	50	50	50
U exit(V)75% 28	49	48	49	47	45	45	44	42	42	43
U exit(V)80% 28	52	52	51	51	51	49	48	47	47	47
U exit(V)85% 28	56	54	53	52	50	49	49	49	49	49
U exit(V)90% 28	58	57	56	54	53	52	50	51	50	49
U exit(V)95% 28	59	59	57	55	54	53	52	50	50	50

Anexo No 5 Comportamiento de la corriente

Tabla5.1 Corriente de carga a 28 °C y 31 °C.

fp	0,8	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89
I (A)75% 31	215	213	209	206	205	203	203	201	196	193
I (A)80% 31	235	233	234	231	224	218	215	212	206	203
I (A)85% 31	240,00	237	234	232	230	230	231	229	226	224
I (A)90% 31	245,00	242	239	236	235	235	236	233	230	228
I (A)95% 31						243	241	238	232	231
I (A) 75% 28	204	202	200	197	195	192	190	188	186	184
I (A)80% 28	228	225	221	216	213	212	208	205	200	196
I (A)85% 28	240,00	238	234	233	232	228	222	217	212	208
I (A)90% 28	245,00	242	239	236	233	230	228	225	222	220
I (A)95% 28						243	241	238	235	232
fp	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
I (A)75% 31	191	188	184	182	178	176	175	173	171	170
I (A)80% 31	201	198	195	193	190	188	183	182	180	180
I (A)85% 31	221	217	213	211	208	205	201	195	193	190
I (A)90% 31	225	223	219	216	212	209	207	205	204	204
I (A)95% 31	230	227	225	222	220	218	215	213	209	205
I (A) 75% 28	182	180	178	176	174	172	170	169	167	165
I (A)80% 28	193	191	189	187	185	183	181	180	178	176
I (A)85% 28	205	203	201	199	197	195	193	191	189	187
I (A)90% 28	217	215	213	210	208	206	204	202	200	198
I (A)95% 28	230	227	225	222	220	218	216	213	211	209

Anexo No 6 Comportamiento de la corriente

Tabla 6.1 Corriente de excitación a 28 °C y 31 °C.

fp	0,8	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89
I exit(A)75% 31	5,1	4,9	4,6	4,5	4,2	4	4	3,9	4,1	4
I exit(A)80% 31	5,5	5,1	5,2	5	4,9	4,7	4,5	4,3	4,2	4,1
I exit(A)85% 31	6	5,9	5,7	5,6	5,5	4,9	4,6	4,4	4,3	4,3
I exit(A)90% 31	6,4	6,2	6,1	5,9	5,8	5,6	5,4	5,2	5	4,7
I exit(A)95% 31						6	5,5	5,1	5,2	5,1
I exit(A)75% 28	4,8	4,6	4,4	4,3	4,3	4,2	4,1	4,1	4,1	4
I exit(A)80% 28	4,9	4,9	4,7	4,5	4,4	4,3	4,3	4,2	4,2	4,2
I exit(A)85% 28	5,1	4,9	4,7	4,6	4,5	4,5	4,4	4,4	4,3	4,3
I exit(A)90% 28	5,2	5,1	4,9	4,9	4,8	4,8	4,6	4,6	4,5	4,5
I exit(A)95% 28						6	5,5	5,1	4,8	4,6
fp	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
I exit(A)75% 31	4,2	3,9	3,8	4	3,9	4	3,8	3,9	3,7	3,7
I exit(A)80% 31	4,1	4	3,8	3,7	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8
I exit(A)85% 31	4,2	4,2	4,2	4	4	4,1	3,9	4	3,9	3,9
I exit(A)90% 31	4,5	4,3	4,2	4,2	4,1	4,1	4	4,1	4	4
I exit(A)95% 31	4,8	5	4,9	4,7	4,5	4,4	4,3	4,2	4,2	4,1
I exit(A)75% 28	4	4	4	3,9	3,9	4	3,5	3,4	3,5	3,5
I exit(A)80% 28	4,1	4,1	4	3,9	4	3,9	3,9	3,7	3,7	3,7
I exit(A)85% 28	4,3	4,2	4,2	4	4	3,9	3,9	3,7	3,5	3,5
I exit(A)90% 28	4,4	4,3	4,2	4,2	4,1	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8
I exit(A)95% 28	4,5	4,5	4,3	4,2	4,2	4,2	4,1	4,1	4	3,9

Anexo No 7 Comportamiento de las potencias

Tabla 7.1 Potencia Aparente (S) y Reactiva (Q)

fp	0,8	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89
Q (kVAR)75%	1479	1470	1436	1318	1289	1239	1200	1136	1073	1012
S (kVA)75%	2464	2451	2451	2362	2375	2352	2352	2318	2260	2219
Q (kVAR)80%	1549	1511	1476	1416	1368	1323	1262	1194	1133	1067
S (kVA)80%	2582	2578	2579	2538	2521	2511	2474	2436	2387	2340
Q (kVAR)85%	1644	1602	1546	1494	1435	1400	1363	1299	1243	1182
S (kVA)85%	2740	2734	2701	2679	2646	2658	2671	2649	2616	2594
Q (kVAR)90%	1678	1636	1579	1520	1460	1461	1398	1322	1265	1204
S (kVA)90%	2797	2792	2758	2725	2692	2774	2741	2695	2663	2640
Q (kVAR)95%						1479	1422	1350	1276	1219
S (kVA)95%						2808	2787	2753	2686	2675
fp	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
Q (kVAR)75%	955	896	828	767	702	633	563	482	390	277
S (kVA)75%	2192	2162	2112	2088	2058	2027	2010	1983	1962	1965
Q (kVAR)80%	1015	951	885	822	751	680	594	513	415	294
S (kVA)80%	2328	2294	2259	2236	2201	2178	2120	2109	2086	2086
Q (kVAR)85%	1116	1042	967	899	822	741	652	549	445	311
S (kVA)85%	2560	2514	2467	2445	2410	2375	2329	2260	2237	2202
Q (kVAR)90%	1136	1071	994	920	838	756	672	577	470	333
S (kVA)90%	2606	2584	2537	2503	2456	2421	2398	2375	2365	2365
Q (kVAR)95%	1161	1090	1021	945	869	788	697	600	482	335
S (kVA)95%	2664	2630	2606	2572	2549	2525	2491	2468	2423	2376