



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: Estudio para el diagnóstico de los generadores auxiliares Hyundai en la Central de Felton

Autor: Yoandri Neyra Almira

Tutor: Dr. Luis D. Rojas Purón

Ing. Yunier Cruz Blanco

MCA 2013

“Año del 55 aniversario del triunfo de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Yoandri Neyra Almira, autor del trabajo de diploma 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

Firma del tutor

Jefe de Departamento

Jefe de Carrera

PENSAMIENTO

"...el futuro de toda la industria, el futuro de la Humanidad, no está en la gente que llena papeles; está en la gente que construye máquinas, que entre otras cosas puede llenar papeles... Está en la gente que estudia los grandes problemas tecnológicos, los resuelve, los de hoy y los de mañana, descubre nuevas cosas, aprende a sacarle a la naturaleza nuevas cosas. Tenemos que ir entonces hacia ese salto, hacia esa revolución técnica, que ya ha planteado Fidel, con paso de carga..."

Ernesto Che Guevara

En la tierra hacen falta personas

QUE:

Trabajen más y critiquen menos,

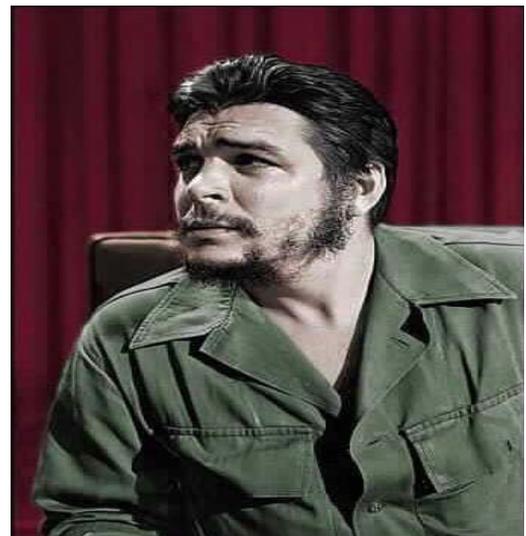
Construyan más y destruyan menos,

Prometan menos y resuelvan más,

Esperen recibir menos, dar más,

Digan mejor ahora que mañana.

Ché.



DEDICATORIA

Antes de todo dedico este trabajo a nuestra gloriosa Revolución por haberme dado la posibilidad de poder estudiar y superarme cada día más.

Quisiera dedicar este trabajo a todos los que con su cariño amistad e infinito amor depositaron toda su confianza y su fe en mí, y siempre tuvieron despiertas las esperanzas de verme graduado.

También, a todos los que contribuyeron con su entrega y dedicación esmerada a la realización de este; a los que con su pensamiento y apoyo me han transmitido preocupación y compromiso.

A mis compañeros de trabajo y del grupo, que compartieron conmigo los buenos y malos momentos; a todos mis familiares, conocidos y amigos que siempre me responsabilizaban de mis estudios.

En especial a mis hermanos Yordis y Yordanis, que siempre los tuve a mi lado, que me ayudaron en lo imprescindible y siempre confié en ellos; a mi novia que me ayudó y me inspiró haciendo de su tiempo el mío; y por sobre todas las cosas, a mis padres que fueron los principales influyentes en mí, por eso siempre supe depositar mi cariño, confianza y amor en ellos.

Dedico este trabajo a mi padre por ayudarme durante toda mi vida, y a mi madre, por haberme dado la oportunidad de vivir.

Sinceramente, Yoandri Neyra Almira.

AGRADECIMIENTOS

La gratitud es una acción que enorgullece a todas las personas que de una u otra nos ayudan a forjar una obra; por eso, en estas líneas quiero agradecer a todos los que hicieron un aporte y contribuyeron a finalizar exitosamente este trabajo.

Primeramente, un millón de gracias, a mis compañeros de trabajo, del grupo y amistades que me dieron ánimo y estuvieron al tanto de la realización de esta tesis, a los profesores que me inculcaron los conocimientos necesarios para poder ejercerme como ingeniero eléctrico, y a todos los que aportaron su grano de arena en estos años difíciles.

Aún no culmino sin antes agradecer por sobre todas las cosas, a mis tutores Luis Rojas, profesor del ISMM, Yunier Cruz, de Fuel Oil , a la compañera Adys Dalmau Muguercia ¡¡¡Muchas Gracias!!!, por haber realizado todo el esfuerzo y el sacrificio posible para concluir con estos resultados.

A los Instructores del departamento de Capacitación de la Empresa Termoeléctrica de Felton por su cooperación y trabajadores del fuel oil que estuvieron brindándome su ayuda desinteresada.

El autor.

RESUMEN

Este trabajo consiste en el estudio de las causas de la insuficiente generación de los grupos electrógenos en Felton, que están por debajo de sus datos nominales y que esto ocasiona una incompleta generación de energía eléctrica de estas máquinas al Sistema Electro-energético Nacional, para lo cual están destinadas. El estudio contiene además, mediciones de las máquinas generadoras Hyundai, tomadas desde el GPC sincronizadas al Sistema Electro-energético Nacional la mayor parte del tiempo. Se incluye la documentación con fines de diagnóstico en la base teórica experimental del sistema de generación.

El trabajo incluye una valoración económica del uso de estos generadores, con la consiguiente valoración del impacto ambiental y social. Se ofrecen conclusiones y recomendaciones.

ABSTRACT

ÍNDICE

<i>Pensamiento</i>	I
<i>Dedicatoria</i>	II
<i>Agradecimientos</i>	III
Resumen.....	IV
Abstract.....	V
<i>INTRODUCCIÓN</i>	4
<i>CAPÍTULO I</i>	8
<i>MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN</i>	8
1.1. <i>Estudios Precedentes</i>	8
1.2. <i>Descripción del flujo tecnológico de la instalación</i>	10
1.3. <i>Generación Distribuida</i>	14
1.3.1 <i>Beneficios de la Generación Distribuida</i>	15
1.3.2 <i>Perspectivas de la Generación Distribuida</i>	17
1.4. <i>Nociones del funcionamiento de los generadores</i>	17
1.4.1 <i>Funcionamiento en paralelo de las máquinas sincrónicas</i>	20
1.4.2 <i>Requisitos a tener en cuenta para sincronizar un generador</i>	27
1.5 <i>Conclusiones parciales</i>	31
<i>CAPÍTULO II</i>	32
<i>Fundamentos de los grupos auxiliares de generación Hyundai</i>	32
2.1. <i>Generalidades del accionamiento del conjunto motor – generador</i>	32
2.2. <i>Especificación del generador Hyundai 2.5MW</i>	32
2.3. <i>Análisis de la corriente</i>	38
2.4. <i>Análisis del Voltaje</i>	40
2.5. <i>Análisis de la Potencias</i>	40
2.6. <i>Conclusiones parciales</i>	41

<i>CAPÍTULO III:</i>	42
<i>Metodología para el diagnóstico de generadores Hyundai</i>	42
3.1. <i>Ahorro de energía y valoración económica.</i>	42
3.1.1 <i>Ahorro de energía.</i>	42
3.2. <i>Impacto Ambiental</i>	43
3.3. <i>Valoración social</i>	46
3.4. <i>Conclusiones parciales</i>	47
<i>CAPÍTULO IV:</i>	48
<i>Evaluación económica del trabajo</i>	48
4.1. <i>Valoración Económica</i>	48
4.2. <i>Conclusiones parciales</i>	51
<i>CONCLUSIONES GENERALES</i>	52
<i>RECOMENDACIONES</i>	53
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	
<i>ANEXO</i>	



INTRODUCCIÓN.

En el mundo existe un continuo desarrollo de la industria y la tecnología, esto conlleva a que exista una mayor demanda de energía eléctrica, pues esta es indispensable para su funcionamiento. Por el aumento de la demanda de electricidad es necesario que se genere más energía con una mayor eficiencia y con un uso más racional de los recursos naturales.

Cuba no se ha quedado ajena a este desarrollo y la demanda de electricidad ha aumentado. La producción de energía utilizando menos recursos y su ahorro es de vital importancia para un país que no tiene grandes reservas de petróleo, que lleva más de 50 años bajo un bloqueo económico impuesto por la mayor potencia imperialista de todos los tiempos.

Las serias dificultades enfrentadas por el Sistema Eléctrico Nacional en el 2004, conllevan, después de un estudio profundo de la situación, a la puesta en práctica de nuevas concepciones para el desarrollo de un Sistema Electroenergético Nacional más eficiente y seguro. Si el problema se analiza fundamentándose en las tecnologías disponibles, los costos ambientales de la generación de energía eléctrica, las inversiones y los gastos asociados a las grandes centrales, sus líneas de transmisión y distribución, las pérdidas en éstas, la vulnerabilidad de estos sistemas a fenómenos climáticos y de otra índole, el impacto de la salida de una de estas unidades, la disponibilidad y confiabilidad que exigen las cargas de las tecnologías informáticas y los sistemas de control computarizados, se hace inminente un cambio en la dirección con el objetivo de descentralizar los sistemas energéticos, producir la energía cerca o en los propios centros de consumo, e integrar las oportunidades a un sistema donde concurren diversas fuentes. Por la importancia que se le ha dado a la tarea de lograr la invulnerabilidad energética en Cuba y con el objetivo de alcanzar resultados tangibles de acuerdo a la nueva estrategia energética del país, se le llamó al año 2006, el “Año de la Revolución Energética en Cuba”.

Sustituir paulatinamente las centrales termoeléctricas ineficientes y transformar el

patrón tradicional de generación a uno de menor consumo de combustible, es el objetivo principal del programa energético cubano. La instalación y puesta en marcha de Grupos Electrógenos se realiza en todas las provincias del país, donde la capacidad conjunta de estos equipos equivale a construir casi cuatro termoeléctricas como la Antonio Guiteras de Matanzas, la más grande del país. Cuando concluya la instalación del equipamiento, Cuba producirá 1320 MW / h de electricidad, se habrán ahorrado 1 700 millones de dólares en inversión, seis años de trabajo y, diariamente, al menos 40 toneladas de petróleo, sin hablar de que solamente se perderá un 10 por ciento de la energía al disminuir la distancia a la que debe transmitirse la electricidad.

Sin embargo, en el funcionamiento de este novedoso equipamiento, es frecuente la aparición de diversas averías que limitan la disponibilidad de estos equipos, los cuales sin un diagnóstico energético preciso y un mantenimiento consecuente con los requerimientos de la máquina pueden provocar la parada por largos períodos de tiempo de este tipo de Plantas.

Hasta el momento, el problema de explotar el recurso eficiencia energética como una fuente limpia de energía, se ha visto de una forma muy limitada, fundamentalmente mediante la realización de diagnósticos energéticos para detectar áreas de oportunidad, y posteriormente definir medidas o proyectos de ahorro o conservación energética. Los análisis realizados en numerosas empresas ponen de manifiesto el insuficiente nivel de gestión energética existente en muchas de ellas, así como las posibilidades de reducir los consumos y costos energéticos mediante la creación de capacidades técnico-organizativas para administrar eficientemente la energía.

El municipio Mayarí cuenta con 4 Emplazamientos, de los cuales tres utilizan como materia prima Diesel y una Batería de Grupos Electrógenos Fuel Oil (GEFO) con una potencia instalada de 46,6 y 60 MW respectivamente, lo que equivale al 38,3% de la energía entregada en la provincia por concepto de Generación Distribuida

Trabajar para disminuir el costo de producción de la energía mediante el incremento de la eficiencia en la producción del kW/h generado en las Centrales

Eléctricas (CCEE) de Fuel Oil, es un objetivo del Programa Nacional de Desarrollo de las Fuentes de Energía en el país. Esto puede lograrse a través de la reducción de los consumos específicos de combustible, en la reducción del costo del ciclo de mantenimiento, disminuyendo las fallas imprevistas, la identificación de los Puestos Claves, la instalación de un Sistema Eficiente de Monitoreo y Control de la energía así como la toma de medidas oportunas a mediano o largo plazo que aumenten la disponibilidad y confiabilidad de estas Plantas.

La Central Termoeléctrica Fuel Oil de Felton es de tecnología HYUNDAI, cuenta con una potencia instalada de 60 MW distribuidos en 24 motores de 2,5 MW cada uno, el proceso de instalación comenzó a finales del 2006 y culminó el 14 de enero del 2010 con la inauguración de la Planta.

Problema

La insuficiente generación de energía eléctrica dada por el grupo electrógeno en las actuales condiciones de explotación en la Central de Felton, por lo que se desconocen las causas que limita sus capacidades de generación.

Hipótesis

Con la caracterización de las variables principales que intervienen en el funcionamiento de las máquinas generadoras de energía eléctrica, se puede elaborar un programa de diagnóstico que garantice establecer las causas y las medidas de solución sobre la limitada capacidad de generación del grupo electrógeno.

Objetivo

Elaborar una propuesta de solución basada en una metodología para parametrizar los períodos de explotación del grupo electrógeno en la Central de Felton.

Resultados esperados

- Caracterizar las variables que participan en la explotación del grupo electrógeno en la empresa Lidio Ramón Pérez de Felton, Mayarí.
- Describir los regímenes de trabajo más frecuentes que pueden ocurrir durante la operación del grupo generador.
- Ofrecer una metodología para la parametrización de las unidades generadoras, atendiendo a las prioridades de explotación en los circuitos del territorio.
- Proponer un programa para el diagnóstico del grupo electrógeno en los circuitos principales.
- Mostrar un estudio técnico-económico del programa planteado.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

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. y otros en 1975 [2], 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, grupos electrógenos en general, así como todo lo relacionado con métodos de lograr mejoras en el proceso de mejorar el tiempo de solución de las fallas así como su disminución. 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 ni las fallas que en ellos se evidencian. 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). 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 estudio el impacto ambiental por ruido de grupos electrógenos. (Grupo ISOLUX CORSAN S. A., 2006). 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 la insuficiente generación que ocurren en generadores de tipo *Hyundai Himsen 9H21/32*. El poder disponer de una metodología para esta insuficiencia 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. Descripción del flujo tecnológico 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.

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 (figura 1.1) 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 oíl poseen un calentador de boca para garantizar que la temperatura del combustible se mantenga en la succión de las bombas aproximadamente a 65-75 °C y por tanto realicen un menor trabajo durante el trasiego, evitando que caviten. Estas bombas envían el combustible hacia los tanques de almacenamiento 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 65-75 °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 oíl 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 oíl 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.

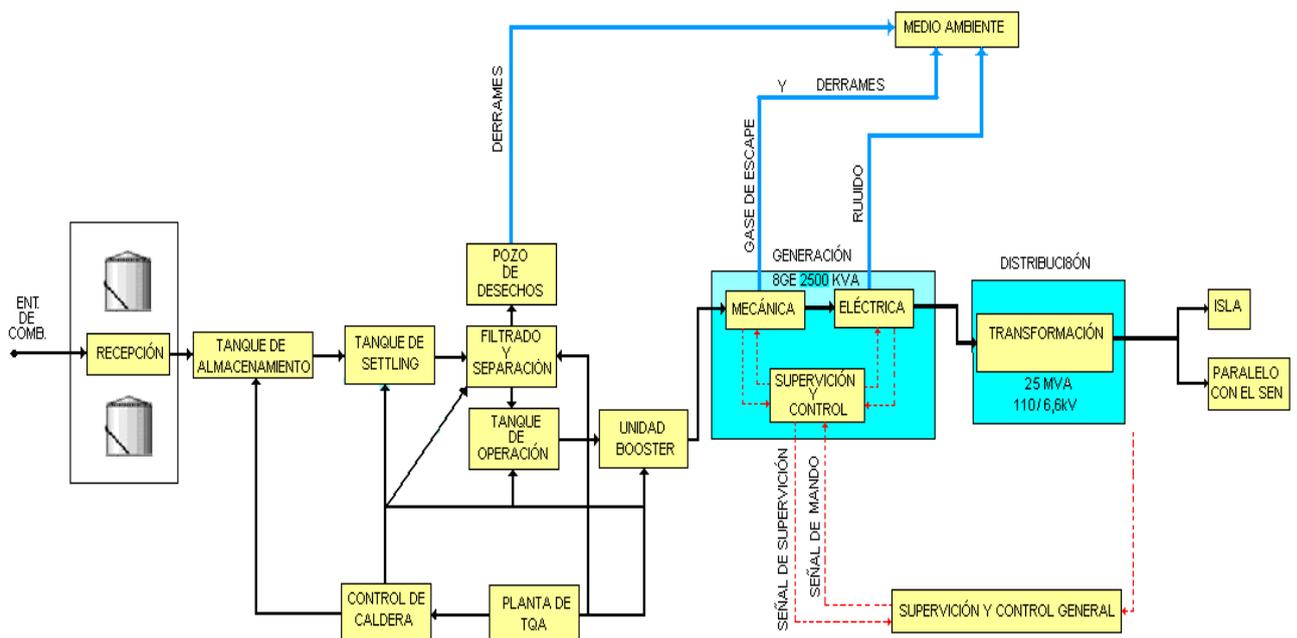


Figura 1.1. Esquema del flujo tecnológico del emplazamiento GEFO Felton.

1.3. Generación distribuida

La Generación Distribuida (GD) representa un cambio en el paradigma de la generación de energía eléctrica centralizada, aunque se pudiera pensar que es un concepto nuevo, la realidad es que tiene su origen, de alguna forma, en los inicios mismos de la generación eléctrica. La industria eléctrica se fundamentó en la generación en el sitio del consumo, después, como parte del crecimiento demográfico y de la demanda de bienes y servicios, evolucionó hacia los esquemas de Generación Centralizada (GC), precisamente porque la central eléctrica se encontraba en el centro geométrico del consumo, mientras que los consumidores crecían a su alrededor. Con el tiempo, la generación eléctrica se estructuró como se conoce hoy en día, es decir, con corriente alterna y transformadores, lo que permite llevar la energía eléctrica prácticamente a cualquier punto alejado del centro de generación.

La (GD), aunque no existe una definición como tal, diversos autores han tratado de explicar el concepto, que a grandes rasgos podemos decir que es generación o el almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo más cercana al centro de carga, con la opción de interactuar (comprar o vender) con la red eléctrica y, en algunos casos, considerando la máxima eficiencia energética, en lo que respecta a tecnologías disponibles. La capacidad de los sistemas de GD varía de cientos de kW. hasta diez mil kW.

El éxito de la difusión y fomento de la misma radica en la existencia de tecnologías de punta que permiten, para potencias pequeñas, generar energía eléctrica en forma eficiente, confiable y de calidad. Las tecnologías de generación se dividen, a su vez, en convencionales y no convencionales. Las primeras incluyen a las turbinas de gas, motores de combustión interna y micro turbinas. Las segundas se refieren a las energías no renovables, como la mini hidráulica, geotérmica y biomasa, las turbinas eólicas, celdas de combustibles y celdas fotovoltaicas. La aplicación de una u otra tecnología depende de los requerimientos particulares del usuario. La mayoría de las redes de transmisión y distribución de energía eléctrica alcanzan una confiabilidad del 99.9% o de “tres nueves”, equivalentes a 8.7 hora al año fuera de servicio.

Uno de los cambios conceptuales inherentes a la Revolución Energética radica en el establecimiento de un nuevo esquema de generación eléctrica (La Generación Distribuida por todo el país). Esta se basa en la instalación de baterías, dispersas a lo largo de todo el territorio nacional, y sincronizados al Sistema electro energético nacional (SEN). Los equipos son de alta disponibilidad y fácil instalación, además niveles de potencia unitaria inferiores a los de las termoeléctrica, por lo que, la salida de funcionamiento de alguno de ellos no crearía nunca una crisis como la ocurrida en el 2004 cuando se averiaron las centrales, Lidio Fernández Pérez y Antonio Guiteras.

La generación de electricidad a partir de grupos electrógenos Diesel presenta altos valores de consumo de combustible Diesel de alta calidad, aceite, líquidos refrigerantes, elevados costos de mantenimientos y reparaciones, en tiempos de operación no muy grandes.

Al introducir la GD en el SEN a partir del año 2005, ha sido notable el incremento de la capacidad de generación del país y la salida paulatina de la crisis vivida en el año 2004, logrando actualmente contar con una potencia instalada en el SEN de 4225 MW. La operatividad de los emplazamientos de la GD ha permitido alcanzar mayores valores de disponibilidad e invulnerabilidad del sistema. En el país existen perspectivas de incremento de la potencia instalada para el 2008 en la GD a partir de completar los 161 emplazamientos de consumo de combustible diesel, instalar paulatinamente 60 emplazamientos de consumo de combustible Fuel Oil y Generadores Eólicos, logrando de esta forma una potencia instalada en la GD de 3085 MW. A pesar de los logros alcanzados es evidente la necesidad de estudiar a fondo estos sistemas en función de la eficiencia energética y la efectividad en el servicio.

1.3.1 Beneficios de la Generación Distribuida.

El auge de los sistemas de GD se debe a los beneficios inherentes a la aplicación de esta tecnología, tanto para el usuario como para la red eléctrica. A continuación se listan algunos de los beneficios:

a) Beneficios para el usuario

- ❖ Incremento en la confiabilidad.
- ❖ Aumento en la calidad de la energía.
- ❖ Reducción del número de interrupciones.
- ❖ Uso eficiente de la energía.
- ❖ Menor costo de la energía (en ambos casos, es decir, cuando se utilizan los vapores de desecho, o por el costo de la energía eléctrica en horas pico).
- ❖ Uso de energías renovables.
- ❖ Facilidad de adaptación a las condiciones del sitio.
- ❖ Disminución de emisiones contaminantes.

b) Beneficios para el suministrador

- ❖ Reducción de pérdidas en transmisión y distribución.
- ❖ Abasto en zonas remotas.
- ❖ Libera capacidad del sistema.
- ❖ Proporciona mayor control de energía reactiva.
- ❖ Mayor regulación de tensión.
- ❖ Disminución de inversión.
- ❖ Menor saturación.
- ❖ Reducción del índice de fallas.

1.3.2 Perspectivas de la Generación Distribuida

Fuel-Oil:

La existencia de tecnologías que permiten el aprovechamiento del crudo nacional en la generación de electricidad para la GD, ha sido un aspecto de importantes análisis. Partiendo de las deficiencias de la generación con grupos electrógenos de consumo de combustible Diesel se tiene como perspectiva lograr sistemas estables de generación de energía eléctrica a partir de unidades con consumo de combustible Fuel Oil y mantenimientos con cantidad de horas superiores a los grupos electrógenos Diesel.

En el país se instalarán 60 Emplazamientos de consumo de combustible Fuel Oil de estos, 40 serán tecnologías HYUNDAI con unidades de 1,7 y 2,5 MW. Con

tecnología MAN B&W serán 20 unidades de 1.4, 1.7, 3.8, 8.7 y 18 MW. Estos emplazamientos tendrán un régimen de funcionamiento de 24 h al día. El ciclo de mantenimiento planificado es de 1000 h para la HYUNDAI Y la MAN & W entre las 1000 y las 2000 h. Las reparaciones capitales se realizarán cada 24000 y 30000 h de funcionamiento, es decir de 34 a 42 meses.

Este tipo de combustible a utilizar para los emplazamientos es de menor calidad del Diesel, pero resulta factible la utilización de este tipo de tecnología debido a que nuestro país puede garantizar el suministro a los emplazamientos, con el crudo de extracción nacional, con un menor costo e índices de consumo comparados con el Diesel.

1.4. 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.

Los equipos más modernos no tienen excitatrices rotativas, si no dispositivos de estado sólido que no requieren el montaje de escobillas, sistemas autoexcitados con semiconductores acoplados en el eje.

Existen además pequeñas unidades generadoras que utilizan máquinas sincrónicas que son accionadas por motores de combustión interna diesel y se destinan a la alimentación de cargas autónomas de vital importancia para la economía y la sociedad, en caso de emergencia, o para la producción de energía eléctrica suplementaria o de reserva.

La mayor parte de las máquinas sincrónicas y las de mayor potencia se destinan a las centrales eléctricas clásicas o convencionales, que son aquellas que producen energía eléctrica a partir de la combustión de carbón, fuel-oil o gas en una caldera diseñada al efecto.

El apelativo de "clásicas" o "convencionales" sirve para diferenciarlas de otros tipos de centrales termoeléctricas (nucleares y solares), las cuales generan electricidad a partir de un ciclo termodinámico, pero mediante fuentes energéticas distintas de los combustibles fósiles empleados en la producción de energía eléctrica desde hace décadas, con tecnologías diferentes y mucho más recientes que las de las centrales termoeléctricas clásicas.

La operación más ventajosa de los generadores sincrónicos es de forma conjunta, formando pequeños sistemas de generación-distribución, o como parte de grandes sistemas de potencia, con generación-transmisión-distribución, con las consecuentes transformaciones de voltaje, de acuerdo a las necesidades del sistema a alimentar.

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.

1.4.2_ 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:

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

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

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

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

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

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.

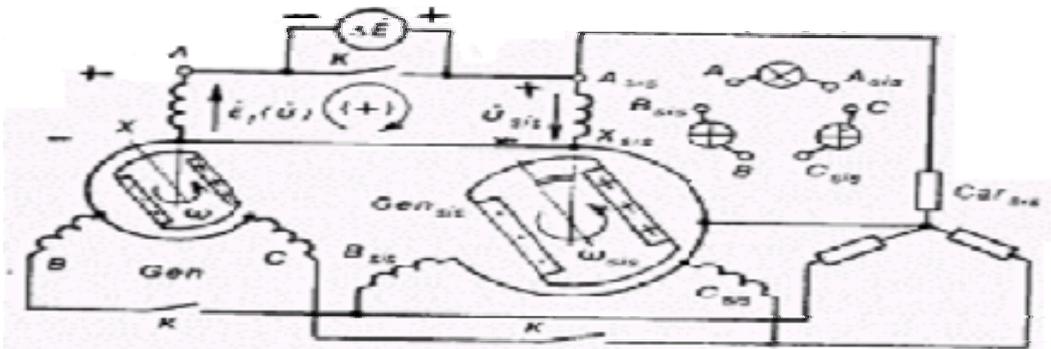


Figura 1.1. Esquema de conexión de un alternador sincrónico para el funcionamiento en paralelo con el sistema.

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:

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

donde:

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

\dot{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:

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

$E_f = U_{sis}$, 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:

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

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

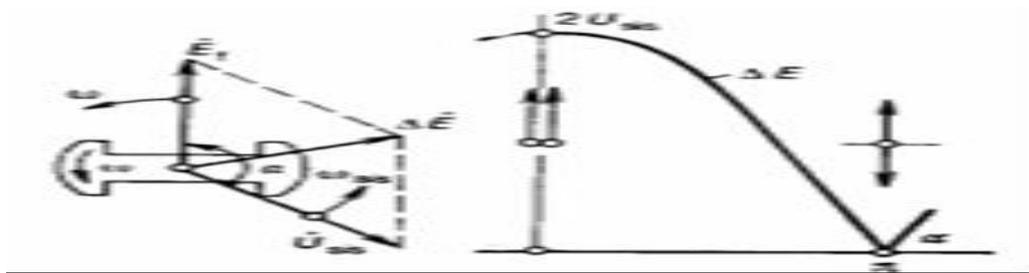


Figura 1.2. Condiciones de sincronización exacta.

La conexión del generador G al sistema es lo más favorable si $\alpha = \pi$ cuando $\Delta E = 0$ 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 síncrona conectada al sistema.

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

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

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

$$P = m_1 UI \cos \varphi \tag{1.7}$$

$$Q = m_1 UI \sin \varphi \tag{1.8}$$

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 síncrona insaturada la corriente del inducido \dot{I} se determina por la

tensión $\dot{U} = -\dot{U}_{\text{sis}}$ 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 $U = U_{\text{sis}}$, la f.e.m. debida a la excitación E_f y el ángulo θ entre ellas:

$$P=f(U,E_f,\theta) \tag{1.9}$$

$$Q=f(U,E_f,\theta) \tag{1.10}$$

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 compongamos las ecuaciones para las proyecciones de la tensión U sobre las direcciones mencionadas:

$$U \sin \theta = X_q I_q - R I_d \tag{1.11}$$

$$U \cos \theta = E_f - X_d I_d - R I_q \tag{1.12}$$

Resolviendo estas ecuaciones conjuntamente, hayamos que:

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

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

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:

$$P = P_{\text{act}} + P_{\text{react}} \tag{1.15}$$

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

La componente P_{s} esta 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_{ss} no existe. Señalamos que la necesidad de considerar la resistencia óhmica R surge solo al calcular las micromáquinas, en las cuales dicha resistencia desempeña un papel notable. En las máquinas síncronas 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:

$$P = P_{\text{s}} + P_{\text{ss}} = M\Omega \tag{1.16}$$

donde:

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

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

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

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

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

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

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

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

donde,

$$Q_d = Q \sin \theta + Q \cos \theta = m_1 I_d (U \cos \theta);$$

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

$$Q_q = -m_1 I_q (U \sin \theta) = -m_1 (U \cos \theta)^2 / X_q.$$

La potencia reactiva longitudinal Q_d corresponde a la corriente longitudinal:

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

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

la potencia reactiva $Q \cos \theta = m_1 (-\frac{U \cos \theta}{X_d}) U \cos \theta < 0$, la cual se consume por la máquina síncrona inexcitada para originar el campo longitudinal del inducido, siendo la tensión $U_q = U \sin \theta$ y estando avanzada la corriente longitudinal

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

$$\dot{U}_q ; \frac{E_f}{X_d} \dot{U}_q$$

la potencia reactiva $Q_{\mathcal{S}_d} = m_1 U \cos \theta > 0$, la cual se origina durante la excitación a cuenta de la corriente longitudinal suplementaria $I_{d(c.c.)} = E_f / X_d$, igual a la corriente de cortocircuito con la f.e.m.; \dot{E}_f y retrasada respecto a la tensión 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 esta 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.

1.4.3_ 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 Regulador de Voltaje Automático (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.

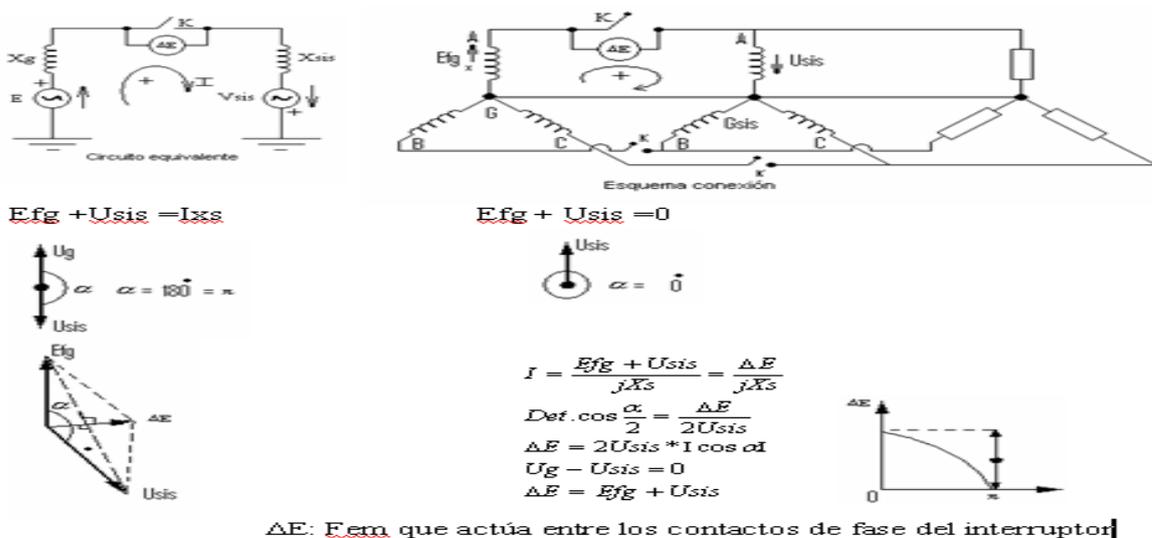


Figura 1. 3 Conexión de dos generadores en paralelo a una carga.

Estos requisitos son los siguientes:

- a) 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.
- b) La frecuencia del generador debe ser ligeramente superior a la del Sistema Electroenergético 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.

1.5 Conclusiones parciales del capítulo

- Se analizaron los trabajos realizados sobre el tema, lo cuales sirven de base para la investigación ya que ninguno ha desarrollado un cálculo verificativo en este tipo de generación.
- Se hace una reseña sobre la generación distribuida en el país, su importancia e impacto para el SEN.
- Se aborda sobre los generadores, sus características principio de funcionamiento que permiten parametrizar sus variables.

CAPÍTULO II Fundamentos de los Grupos de generación tipo Hyundai 2.5 MW

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-generator.

2.1. Generalidades del accionamiento del conjunto motor – generator.

Los generadores analizados en el presente trabajo son accionados por motores de combustión interna de 9 cilindros en línea, 900 rpm, con una potencia indicada de 2.5MW, con un regulador de combustible hidráulico con control automático 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-generator controlado y cada señal actúa si se desvía del rango permisible por el fabricante. Realmente en este tipo de accionamiento.

2.2. 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 Autoregulador 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 alambreadas 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 de escobillas de autoexcitación 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 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.

DISTORSION 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.

Carta Régimen

PARÁMETROS	U/M	NORMAL	ALARMA BAJA	ALARMA ALTA	DISPARO
PARÁMETROS MOTOR GENERADOR					
PARÁMETROS ELÉCTRICOS					
Voltaje de fase salida generador	V	6500 - 6700	5940,10 s	7260,3 s	≥ 7590,3 s ≤ 5610,5 s
Factor de potencia (Cos φ)	U	> 0,90	≤ 0.8	—	—
Potencia Activa	kW	1250 - 2500	≤ 125,10 s	—	≥ 2575,30 s ≤ 2750,5 s
Potencia Reactiva	kvar	583 - 1166	—	—	≥ 1750,10 s ≤ -125,10 s
Corriente por fase	A	123 - 247	—	≥ 309,2 s	≥ 323,5 s
Frecuencia de la corriente	Hz	59,4 - 60,6	≤ 57,6,30 s	≥ 63,5 s	≥ 64.8,1 s ≤ 57,5 s
Voltaje de cargador de batería	V	110 - 120	≤ 100	≥ 130	—
Corriente de carga del cargador	A	5 - 7	—	—	—

2.3. Análisis de la corriente

Fecha	Hora	Gen.	Corriente de línea (A)				Carga %	Ajuste de carga %
			I1	I2	I3	Iprom		
1 dia	10:00 a.m.	4	190	190	193	191,00	86,04	90
	12:00 p.m.	4	191	192	194	192,33	85,44	90
	02:00 p.m.	4	191	190	196	192,33	84,4	90
	04:00 p.m.	4	196	196	198	196,67	83,68	90
	06:00 p.m.	4	191	190	193	191,33	86,2	90

2dia	08:00 p.m.	4	198	197	201	198,67	85,52	90
	10:00 a.m.	4	192	192	195	193,00	84,6	90
	12:00 p.m.	4	190	190	192	190,67	86,04	90
	02:00 p.m.	4	186	186	188	186,67	84,4	90
	04:00 p.m.	4	190	190	193	191,00	84,4	90
	06:00 p.m.	4	189	189	192	190,00	83,8	90
3dia	08:00 p.m.	4	191	190	192	191,00	85,72	90
	10:00 a.m.	4	190	191	192	191,00	84,76	90
	12:00 p.m.	4	187	189	190	188,67	85,44	90
	02:00 p.m.	4	188	188	189	188,33	85,36	90
	04:00 p.m.	4	190	191	192	191,00	88,44	90
	06:00 p.m.	4	186	186	188	186,67	83,72	90
4dia	08:00 p.m.	4	185	185	187	185,67	84,72	90
	10:00 a.m.	4	188	188	189	188,33	85,4	90
	12:00 p.m.	4	187	187	189	187,67	84,72	90
	02:00 p.m.	4	191	191	192	191,33	86,56	90
	04:00 p.m.	4	187	187	189	187,67	85,04	90
	06:00 p.m.	4	185	185	187	185,67	85,92	90
5dia	08:00 p.m.	4	197	197	200	198,00	85,2	90
	10:00 a.m.	4	193	194	196	194,33	84,56	90
	12:00 p.m.	4	199	198	200	199,00	83,8	90
	02:00 p.m.	4	189	189	191	189,67	85,04	90
	04:00 p.m.	4	191	191	192	191,33	86,48	90
	06:00 p.m.	4	190	192	195	192,33	85,64	90
6dia	08:00 p.m.	4	188	190	194	190,67	84,84	90
	10:00 a.m.	4	195	196	197	196,00	83,96	90
	12:00 p.m.	4	190	190	195	191,67	86,32	90
	02:00 p.m.	4	196	198	201	198,33	85,64	90
	04:00 p.m.	4	193	193	195	193,67	84,76	90
	06:00 p.m.	4	191	191	194	192,00	84,84	90
7dia	08:00 p.m.	4	188	188	190	188,67	85,64	90
	10:00 a.m.	4	187	187	189	187,67	85,56	90
	12:00 p.m.	4	192	190	191	191,00	88,8	90
	02:00 p.m.	4	185	186	187	186,00	84,12	90
	04:00 p.m.	4	186	185	188	186,33	84,88	90
	06:00 p.m.	4	189	189	191	189,67	85,68	90
7dia	08:00 p.m.	4	190	189	192	190,33	84,92	90

2.4. Análisis del Voltaje

Fecha	Hora	Gen.	Tensión de línea (V)				Carga %	Ajuste de carga %
			U1	U2	U3	Uprom		
1 dia	10:00 a.m.	4	6596	6617	6585	6599,33	86,04	90
	12:00 p.m.	4	6611	6619	6589	6606,33	85,44	90
	02:00 p.m.	4	6599	6611	6581	6597,00	84,4	90
	04:00 p.m.	4	6625	6627	6607	6619,67	83,68	90
	06:00 p.m.	4	6641	6649	6627	6639,00	86,2	90
	08:00 p.m.	4	6695	6703	6683	6693,67	85,52	90
	10:00 a.m.	4	6693	6711	6677	6693,67	84,6	90
	12:00 p.m.	4	6657	6681	6653	6663,67	86,04	90
	02:00 p.m.	4	6667	6683	6653	6667,67	84,4	90
	04:00 p.m.	4	6663	6671	6653	6662,33	84,4	90
2 dia	06:00 p.m.	4	6657	6657	6647	6653,67	83,8	90
	08:00 p.m.	4	6621	6625	6611	6619,00	85,72	90
	10:00 a.m.	4	6679	6687	6675	6680,33	84,76	90
	12:00 p.m.	4	6673	6687	6679	6679,67	85,44	90
	02:00 p.m.	4	6665	6683	6653	6667,00	85,36	90
	04:00 p.m.	4	6669	6683	6665	6672,33	88,44	90
	06:00 p.m.	4	6673	6666	6675	6671,33	83,72	90
	08:00 p.m.	4	6669	6695	6665	6676,33	84,72	90
	10:00 a.m.	4	6604	6617	6601	6607,33	85,4	90
	12:00 p.m.	4	6611	6623	6697	6643,67	84,72	90
3 dia	02:00 p.m.	4	6607	6607	6697	6637,00	86,56	90
	04:00 p.m.	4	6657	6657	6651	6655,00	85,04	90
	06:00 p.m.	4	6665	6661	6663	6663,00	85,92	90
	08:00 p.m.	4	6630	6647	6627	6634,67	85,2	90
	10:00 a.m.	4	6625	6642	6621	6629,33	84,56	90
	12:00 p.m.	4	6629	6654	6625	6636,00	83,8	90
	02:00 p.m.	4	6633	6647	6641	6640,33	85,04	90
	04:00 p.m.	4	6599	6611	6588	6599,33	86,48	90
	06:00 p.m.	4	6619	6622	6593	6611,33	85,64	90
	08:00 p.m.	4	6599	6621	6586	6602,00	84,84	90
5 dia	10:00 a.m.	4	6631	6629	6611	6623,67	83,96	90
	12:00 p.m.	4	6650	6651	6632	6644,33	86,32	90
	02:00 p.m.	4	6697	6701	6679	6692,33	85,64	90
	04:00 p.m.	4	6698	6706	6681	6695,00	84,76	90
	06:00 p.m.	4	6682	6685	6679	6682,00	84,84	90
	08:00 p.m.	4	6667	6685	6681	6677,67	85,64	90

	10:00 a.m.	4	6669	6679	6659	6669,00	85,56	90
	12:00 p.m.	4	6673	6688	6660	6673,67	88,8	90
	02:00 p.m.	4	6679	6677	6671	6675,67	84,12	90
	04:00 p.m.	4	6675	6691	6670	6678,67	84,88	90
	06:00 p.m.	4	6610	6619	6622	6617,00	85,68	90
7dia	08:00 p.m.	4	6620	6629	6680	6643,00	84,92	90

2.5. Análisis de las Potencias

Fecha	Hora	Gen.	Potencia			Carga %	Ajuste de carga %
			P (KW)	Q (KVar)	S (KVA)		
1dia	10:00 a.m.	4	2151	479	2188	86,04	90
	12:00 p.m.	4	2136	499	2197	85,44	90
	02:00 p.m.	4	2110	495	2149	84,4	90
	04:00 p.m.	4	2092	741	2224	83,68	90
	06:00 p.m.	4	2155	692	2233	86,2	90
	08:00 p.m.	4	2138	800	2296	85,52	90
	2dia	10:00 a.m.	4	2115	797	2262	84,6
12:00 p.m.		4	2151	490	2232	86,04	90
02:00 p.m.		4	2110	500	2196	84,4	90
04:00 p.m.		4	2110	492	2196	84,4	90
06:00 p.m.		4	2095	504	2161	83,8	90
08:00 p.m.		4	2143	529	2206	85,72	90
3dia		10:00 a.m.	4	2119	494	2177	84,76
	12:00 p.m.	4	2136	481	2175	85,44	90
	02:00 p.m.	4	2134	466	2209	85,36	90
	04:00 p.m.	4	2211	471	2245	88,44	90
	06:00 p.m.	4	2093	493	2163	83,72	90
	08:00 p.m.	4	2118	400	2224	84,72	90
	4dia	10:00 a.m.	4	2135	348	2185	85,4
12:00 p.m.		4	2118	410	2163	84,72	90
02:00 p.m.		4	2164	380	2194	86,56	90
04:00 p.m.		4	2126	351	2136	85,04	90
06:00 p.m.		4	2148	321	2169	85,92	90
08:00 p.m.		4	2130	732	2255	85,2	90
5dia		10:00 a.m.	4	2114	686	2184	84,56
	12:00 p.m.	4	2095	721	2240	83,8	90
	02:00 p.m.	4	2126	385	2168	85,04	90
	04:00 p.m.	4	2162	481	2192	86,48	90
	06:00 p.m.	4	2141	502	2195	85,64	90

	08:00 p.m.	4	2121	497	2152	84,84	90
	10:00 a.m.	4	2099	745	2230	83,96	90
	12:00 p.m.	4	2158	698	2229	86,32	90
	02:00 p.m.	4	2141	805	2289	85,64	90
	04:00 p.m.	4	2119	799	2270	84,76	90
	06:00 p.m.	4	2121	498	2179	84,84	90
6 día	08:00 p.m.	4	2141	488	2169	85,64	90
	10:00 a.m.	4	2139	471	2216	85,56	90
	12:00 p.m.	4	2220	482	2251	88,8	90
	02:00 p.m.	4	2103	499	2160	84,12	90
	04:00 p.m.	4	2122	411	2231	84,88	90
	06:00 p.m.	4	2142	351	2180	85,68	90
7 día	08:00 p.m.	4	2123	415	2173	84,92	90

2.6. Conclusiones Parciales

En este capítulo se realiza un análisis de potencia, tensión y corriente a los generadores 4 y 19, este último se evidencia en el ANEXO 2, y se demuestra que la carga está por debajo del ajuste de carga, por lo que los generados están trabajando a baja carga.

CAPÍTULO III: Metodología para el diagnóstico de Generadores HYUNDAI

3.1. Ahorro de energía y valoración económica.

Hoy día, el ahorro de energía eléctrica no es solo una campaña, es una necesidad y una cultura que debe formar parte de todos para disminuir el consumo de combustible debido a que su costo se mantiene en proceso de aumento constantemente. La producción de energía eléctrica constituye el 50% del consumo de petróleo en el país. Ahorrar un kW en generación es 287.3g de petróleo que ahorra la Central Termoeléctrica en su producción o un kW más que se entrega al Sistema Electro energético Nacional (SEN).

Actualmente una tonelada de petróleo mejorado CM650 tiene un valor de 191.3 CUC, lo que hace más importante el impacto económico en la disminución del insumo en las CTE. En las instalaciones de generación de electricidad se precisan que los mayores consumidores de energía eléctrica lo representan los accionamientos eléctricos de las bombas y los ventiladores.

Por la exigencia del proceso tecnológico, frecuentemente se hace necesario variar el caudal Q_B , lo que en la mayoría de los casos, se realiza abriendo o cerrando la válvula que posibilita la recirculación del combustible hacia la succión de la bomba, así se mantiene el valor de presión deseado donde existe pérdida de petróleo por recirculación y disminuye el rendimiento de la instalación.

En esencia la introducción del esquema de control con los variadores de velocidad en el sistema de bombeo de petróleo mejora la eficiencia en el accionamiento, permite la disminución de las pérdidas de energía y aumenta el tiempo de vida útil o empleo de las bombas.

3.1.1 Ahorro de Energía

En el sistema de bombeo de petróleo de cada bloque se encuentran trabajando dos motores y uno de reserva, como estos motores se detienen en caso de

mantenimiento o interrupciones no previstas, se tomo para el análisis que a continuación se relaciona, una suma de 60 días por año:

$$\text{Ahorro energético} = 24 \text{ (h/día)} * X \text{ (kW.)} * 287.3 \text{ g/kWh)} * 305\text{día/año)} \quad (3.5)$$

Una tonelada de petróleo significa 191.3 CUC

Una tonelada tiene = 1000000 g = 980 litros

1litro de petróleo = 1020g

Costo del petróleo = 0.19 CUC el litro.

Ahorrando 7kW mínimo por cada motor, se ahorran 28kW.

Ahorro en 1día = 28kW*24h

Ahorro en 1día = 672 kW/día

$$\begin{aligned} \text{Ahorro en litros de petróleo/día} &= (24\text{h} * 28 \text{ kW} * 287.3 \text{ g/kW})/1020 & (3.6) \\ &= 189.28 \text{ Lts/día} \end{aligned}$$

$$\text{Ahorro en CUC/año} = \text{Ahorro litros de petróleo/día} * \text{costo del petróleo} * 305\text{días} \quad (3.7)$$

$$\text{Ahorro en CUC/año} = 189.28 \text{ Lts/día} * 0.19 \text{ CUC} * 305\text{días} = 10\,968.776 \text{ CUC}$$

$$\text{Combustible Ahorrado (t)} = (\text{Ahorro en CUC/año}) / \text{costo del combustible (1t)} \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} \text{Combustible Ahorrado (t)} &= 10\,968.776 / 191.3 \\ &= 57.34 \text{ t} \end{aligned}$$

3.2. Impacto Ambiental

La Industria Eléctrica comprende de forma fundamental el conjunto de instalaciones que se utilizan para transformar otros tipos de energía en electricidad y transportarla hasta los lugares donde se consume. Estas instalaciones pueden agruparse de forma simplificada en dos operaciones básicas: *Generación de la energía eléctrica* y *Transmisión y distribución de la electricidad*. Cada una de estas operaciones involucra una serie de actividades especializadas y complejas que por sus características específicas son generadoras de impactos ambientales.

De forma simplificada, las principales actividades relacionadas con la generación de electricidad, en fase operacional, causantes de impactos ambientales, son las vinculadas con la utilización de materias primas para el proceso y la generación de residuales sólidos y líquidos y de emisiones gaseosas. Este último es de mucha importancia debido a la expulsión de sustancias a la atmósfera que pueden provocar daños catastróficos al ecosistema.

La operación de las Centrales Eléctricas produce emisiones de gases contaminantes procedentes de la combustión. Estas emisiones constituyen el principal problema ambiental de las centrales eléctricas que queman combustible fósil y la composición específica de las mismas depende del tipo de combustible que se queme y de las características tecnológicas de la instalación. Las emisiones de gases a la atmósfera constituye un impacto directo sobre la calidad del aire que es el que recibe dichas emisiones y un impacto indirecto sobre el agua, el suelo, la vegetación y la fauna debido al retorno de parte de estos contaminantes a la tierra, por deposición seca o húmeda.

La utilización de variadores de velocidad en el sistema de bombeo de petróleo de la "CTE" de Felton, es un requisito básico para una política de ahorro de energía y protección del medio ambiente adecuada, esto está determinado por la disminución de combustible en la combustión, contribuyendo así a la consecuente mejora del medio ambiente por menor desprendimiento de gases tóxicos como el CO₂, NO₂ y Material Particulado (MP). Basta decir que por cada kW-h de energía eléctrica consumida por un equipo se descarga a la atmósfera 0.94 kg. de CO₂. (Fernández. J., 1996) [11]

El estado de la técnica no ha permitido aún encontrar soluciones suficientemente satisfactorias que aseguren un desarrollo sostenible y minimicen las consecuencias indirectas de este consumo de energía: el efecto invernadero, el agujero de la capa de ozono, la lluvia ácida, los residuos radiactivos, etc. Actualmente la forma más eficaz e inmediata es el ahorro de energía.

Parecer general es que el dióxido de carbono contribuye aproximadamente en un 50 % al problema del calentamiento global y el metano del 10 % al 20 %. Los beneficios de dicho programa son ambientales y económicos. Aún con reducidos

niveles de costo del combustible, la cantidad gastada en consumo de energía es extremadamente elevada y los ahorros potenciales pueden justificar muchos proyectos. La contaminación del aire: está dado por emisiones de gases a la atmósfera que se producen como resultado de la utilización de productos químicos en su proceso de generación de energía.

Estas afectaciones producen efectos indirectos y negativos como incremento de la presión sanguínea, aceleración del ritmo sanguíneo, la contracción de los capilares de la piel y la disminución en la capacidad de trabajo físico y mental del hombre, expuestos también a enfermedades respiratorias y de la piel.

3.3. Valoración social

En medio de una revolución energética, cada medida que se tome con el objetivo del ahorro tiene necesariamente un impacto social. De modo general cada uno de nosotros centra su atención en la disminución de los portadores energéticos principales y que representan un alto valor económico repercutiendo debido a su inversión en el desarrollo del país. Es decir que cada centavo que se ahorre por medio de generación de electricidad es menor inversión de combustible, mayor servicio de energía eléctrica para el pueblo y mayores ingresos monetarios para la compra de otros recursos y materiales como medicinas, alimentación, recuperación de las instalaciones sociales, etc. Este trabajo no esta exento de estas características, además que la introducción de estos resultados permite humanizar la labor de los trabajadores que están expuestos a las emisiones gaseosas de CO_2 , letales para la vida en altas concentraciones. Al mismo tiempo esto mejorara el entorno de trabajo, disminuyendo las emisiones gaseosas hacia los barrios residenciales de la comunidad, impidiendo en gran parte la aparición de problemas respiratorios en los niños y adultos.

3.4. Conclusiones parciales

Se evidencia que con estos equipos hay un ahorro de combustible. A pesar de que ellos emiten gases contaminantes al ambiente, su efecto es menor al que produce las centrales

Termoeléctricas, lo que socialmente tiene un efecto positivo en tanto disminuye las afecciones que pueden tener para los humanos

CAPÍTULO IV: Evaluación económica del trabajo

4.1 Valoración económica

El análisis económico es la demostración final y decisiva a la hora de diseñar o modificar cualquier sistema industrial debido al costo de las inversiones. Entre los métodos que existen para comparar alternativas de inversión están:

- Método del valor actual neto (VAN)
- Método del valor del futuro
- Método del periodo de reembolso
- Método de la tasa interna de retorno (TIR)

Para este análisis se escogió el método del VAN y la TIR, a continuación definiremos todos los conceptos para la mejor comprensión de la valoración económica.

El VAN es un método práctico, los gastos o entradas futuras se transforman en unidades monetarias del tipo equivalentes actual, este método es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos, de esta forma es fácil observar la ventaja económica de la alternativa sobre otras.

El VAN se define como el valor actualizado del flujo de ingresos netos (in) generados durante la vida útil del proyecto, es decir del saldo entre los ingresos y los gastos anuales que impliquen derogaciones de efectivos

Para la utilización del VAN es necesario una tasa de actualización(a). Esta tasa debe reflejar el costo de oportunidad de capital que expresa la garantía del rendimiento mínimo. En otras palabras una tasa similar a la que se obtendría con cualquier otra alternativa de inversión. Para el cálculo de esta tasa generalmente se utiliza la tasa de interés existente sobre préstamos a largo plazo en el mercado de capitales

El Valor Actual Neto (VAN) se calcula mediante la determinación en cada año de todos los ingresos en efectivo y de salidas anuales como ingresos, desde que se incurre en el primer gasto en el proceso inversionista, hasta que se concluye la vida útil estimada de operación o funcionamiento del proyecto. Estos saldos anuales

positivos y negativos, se actualizan en los momentos del primer gasto, de la forma siguiente:

$$VAN = \sum inj * A_j \quad (3.9)$$

Donde: (inj) es el saldo entre los ingresos y el gasto en los años.

(A_j) es el factor de actualización de los años.

El factor de actualización se puede obtener de las tablas de actualización o de las siguientes formas:

$$A_j = \frac{1}{(1+i)^j} \quad (3.10)$$

Donde: i es tasa de actualización (para nuestro trabajo es de 12%)

$j: 1, 2, 3$ cada año del proyecto que se genera en ingresos en efectivo.

A los efectos de selección del proyecto el criterio será siempre mayor o igual a cero para que el proyecto sea rentable.

La tasa interna de retorno TIR es aquella que el valor anual neto de un proyecto es cero, es decir que el valor actual neto del flujo de ingresos es igual al valor neto del flujo de egresos.

La TIR se calcula en esencia igual que el VAN, la única diferencia es que se estiman tasas de actualización a que el VAN es igual a cero en un proceso de actualizaciones sucesivas.

El procedimiento general consiste en utilizar aquellas tasas de actualización que aproximen lo más posible el VAN a cero, hasta llegar a que este sea negativo. La TIR se encontrará entre dos tasas, por supuesto que mientras mayor sea la aproximación a cero mayor será la exactitud obtenida no debiendo la diferencia intertasas de (+-) 2%. Si se quiere una buena aproximación, el valor de la tasa interna de retorno se puede hallar mediante la interpolación entre ambas tasas o por la fórmula siguiente:

$$TIR = I_1 + VAN_p (I_2 - I_1) / VAN_p + VAN_n \quad (3.11)$$

Donde:

I_1 : es la tasa de actualización del VAN que es positivo.

VAN_p : Es el VAN positivo a la tasa de actualización de I_1

I_2 : es la tasa de actualización en que el VAN es negativo.

VAN_n : es el VAN negativo a la tasa de actualización I_2 .

La TIR representa la rentabilidad general del proyecto, el criterio de selección es que la TIR debe ser mayor o igual a aquella tasa que garantice un rendimiento mínimo para la inversión realizada, o sea mayor que el 12%.

Para el cálculo económico en el presente trabajo tenemos un inversión de dos variadores de velocidad Altivar 71, uno para cada bloque de generación:

Inversión = 21 500 CUC

Ahorro en CUC = 10 968.776 CUC / año

ANALISIS FINANCIERO DEL VARIADOR DE VELOCIDAD ATV71 HD55N4

Tasa de descuento 12%

AÑO	GASTOS	INGRESOS	RESULTADO	VA
0	21.500		-21.500	-21.500
1	0	10.969	10.969	9.794
2	0	10.969	10.969	8.744
3	0	10.969	10.969	7.807
4	0	10.969	10.969	6.971
5	0	10.969	10.969	6.224
	21.500	54.844	33.344	VAN = 18.040

Resumen de la inversión 1	
Rta. contable	2,55087674
Rta. contable media	0,51017535
Plazo de recuperación	2,00
VAN	18.040
TIR	42,26%

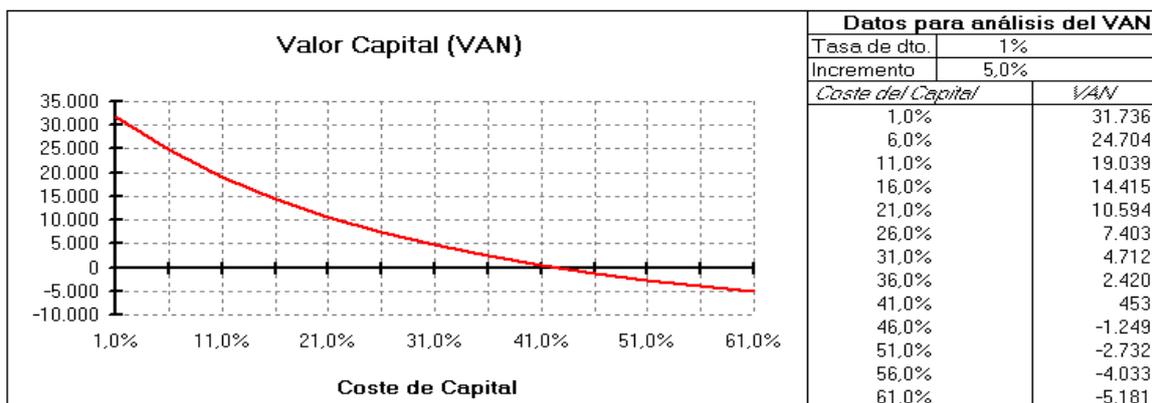


Figura 3.8: Análisis financiero del variador ATV71 HD55N4 para el sistema de bombeo de primer impulso del combustible en la CTE

Aquí se obtiene una amortización de 2 años, es importante destacar que en este trabajo solo se han tomado en cuenta las ganancias por ahorro de electricidad en el motor y no se incluyó el ahorro por pérdidas hidráulicas en las tuberías de transporte de combustible que por su longitud, es de gran significación, además que justifica elegantemente el uso de estos variadores de velocidad en el sistema de bombeo de primer impulso al aumentar numerosas ganancias y disminuir el plazo de recuperación, haciendo el proyecto mucho más factible y realizable económicamente.

El desarrollo del análisis financiero anterior se hizo suponiendo que la central termoeléctrica hiciera las inversiones y sufriera los riesgos, se tomaron datos específicos de la central como la cantidad de petróleo utilizado para producir un kW, que es de 287.3g/kW y a nivel nacional supera los 300g/kW. Ahora, si se realiza un análisis económico más profundo del costo por cada kW en Cuba, se obtienen resultados eficientes en el uso de este tipo de variador, esto esta dado porque los precios reales en la producción de un KW en nuestro país es de 0.11 CUC/kW generado, si en vez de solo ahorrar electricidad, se entrega al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) lo ahorrado, le reportaría de forma general, para el país, la siguiente cifra por año:

$$\text{Ahorro anual (CUC)} = 0.11 \text{CUC/kW} * \text{consumo diario (kW)} * \text{días de trabajo} \quad (3.8)$$

$$\text{Ahorro anual (CUC)} = 0.11 \text{CUC/kW} * 672 \text{ kW} * 305 \text{ días}$$

$$\text{Ahorro anual (CUC)} = 22\ 545.6 \text{ CUC/año}$$

4.2 Conclusiones parciales

La instalación de variadores de velocidad para el sistema de bombeo del combustible de primer impulso de la CTE de Felton, garantiza al SEN 22 545.6 CUC por la incorporación de 204.960 MW que se utilizaba en el insumo de la empresa.

CONCLUSIONES GENERALES

- Del estudio realizado a los generadores 4 y 19 se demuestra que la carga oscila entre un 83 % y un 86 % para un ajuste de carga de 90%.
- Los gráficos de carga demuestran que es insuficiente la carga generada por las unidades generadores debido a alto consumo de energía reactiva en las líneas de transmisión, y pérdidas de tensión en las redes.
- En el sistema de bombeo de petróleo de cada bloque se ahorró en litros de petróleo/día 189.28 Lts/día para un ahorro de combustible total 57.34 t.
- Los gases contaminantes emitidos al ambiente, tienen un efecto negativo menor al que produce las centrales Termoeléctricas, lo que socialmente tiene un efecto positivo.
- La instalación de variadores de velocidad para el sistema de bombeo del combustible de primer impulso de la CTE de Felton, garantiza al SEN 22 545.6 CUC por la incorporación de 204.960 MW que se utilizaba en el insumo de la empresa.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir un estudio continuo acerca de estos generadores ya que no hay mucha documentación sobre ellos.
- Elaborar un registro de las condiciones de trabajo, parámetros y consumos de cada generador para determinar oportunidades de ahorro y realizar acomodos de carga.
- Priorizar un mantenimiento capital a los generadores 4 y 19, para detectar las fallas de baja carga y tener el conocimiento necesario para que la falla no ocurra.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aróstegui, J. M. y otros.: Metodología del Conocimiento Científico. La Habana: Editorial de Ciencias Sociales, 1978. 445 p
2. Feodorov, A.A; Rodríguez L, E. Suministro eléctrico de empresas industriales. Editorial Pueblo y Educación.1980.
3. [7] BATISTA MARRERO, W. L. “Metodología para la determinación de las reservas energéticas en el SEN”. Tesis de Maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 2004.
4. Cruz, Blanco, Y. Descripción técnica del emplazamiento Fuel – Oil de Felton.2011.
5. Stevenson, William D. Análisis de sistemas eléctricos de potencia. La Habana; Editorial Pueblo y Educación, 1982. 398 p.
6. Suministro de electricidad y equipos eléctricos. Kiev; GIPROSELMASH, 1973. 42 h. (Proyecto Técnico de la Fábrica de Combinadas KTP-1 en la República de Cuba).

ANEXOS

Anexo 1. DATOS TÉCNICOS CALCULADOS

Item no.	Descripción		Unidad	Datos	
GENERADOR					
1	Fabricante		HYUNDAI		
2	Tipo		Escobillas y rotorio 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		$\pm 10\%$	
		(d) Precisión del Control		$\pm 0.5\%$	
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	Enrollado Amortiguador			Provisto	
25	Reactancia Sincrónica		Xd	420 % (No Saturado) 325 % (Saturado)	
26	Reactancia Transiente		X'd	29.0 % (Saturado) 35.7% (No Saturado)	
27	Reactancia Subtransiente		X''d	16.0 % (Saturado) 25.8% (No Saturado)	

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 (GD2)		1459.6 Kg-m ²
34	Temperatura del aire de entrada	°C	Máx. 45
35	Temperatura del aire de salida	°C	Menor 100

Anexo 2. Parámetros del Generador 19.

Fecha	Hora	Gen.	Corriente de línea (A)				Tensión de línea (V)				Potencia			Carga %	Ajuste de Potencia %
			I1	I2	I3	Iprom	U1	U2	U3	Uprom	P (KW)	Q (KVar)	S (KVA)		
1 dia	10:00 AM	19	168	166	169	167,67	6634	6644	6619	6632,33	1896	260	1916	75,84	80
	12:00 PM	19	169	169	171	169,67	6649	6651	6637	6645,67	1894	444	1970	75,76	80
	2:00 PM	19	174	175	176	175,00	6649	6654	6638	6647,00	2007	426	2030	80,28	85
	4:00 PM	19	172	171	172	171,67	6644	6650	6645	6646,33	1901	513	2160	76,04	80
	6:00 PM	19	181	181	183	181,67	6634	6648	6629	6637,00	2037	514	2104	81,48	85
	8:00 PM	19	180	180	182	180,67	6649	6627	6668	6648,00	2017	607	2068	80,68	85
	10:00 AM	19	166	165	167	166,00	6610	6619	6603	6610,67	1897	259	1922	75,88	80
	12:00 PM	19	150	150	151	150,33	6661	6659	6661	6660,33	1653	354	1645	66,12	70
	2:00 PM	19	179	179	180	179,33	6662	6673	6662	6665,67	2018	373	2009	80,72	85
	4:00 PM	19	181	180	182	181,00	6645	6658	6644	6649,00	1977	386	2021	79,08	85
2dia	6:00 PM	19	167	167	167	167,00	6659	6661	6650	6656,67	1835	383	1882	73,4	80
	8:00 PM	19	178	179	179	178,67	6590	6592	6588	6590,00	1990	267	2001	79,6	85
	10:00 AM	19	184	185	187	185,33	6622	6632	6626	6626,67	2004	632	2114	80,16	85
	12:00 PM	19	182	182	184	182,67	6647	6656	6642	6648,33	2008	588	2123	80,32	85
	2:00 PM	19	175	174	176	175,00	6666	6677	6652	6665,00	1901	657	2012	76,04	80
	4:00 PM	19	155	154	155	154,67	6657	6667	6661	6661,67	1616	610	1767	64,64	70
	6:00 PM	19	187	187	188	187,33	6661	6666	6665	6664,00	2020	746	2161	80,8	85
	8:00 PM	19	187	186	188	187,00	6609	6622	6607	6612,67	1991	741	2123	79,64	85
	10:00 AM	19	172	172	173	172,33	6611	6610	6605	6608,67	1864	709	1990	74,56	80
	12:00 PM	19	184	183	185	184,00	6698	6616	6696	6670,00	2006	711	2124	80,24	85
3dia	2:00 PM	19	166	166	168	166,67	6673	6687	6679	6679,67	1750	786	1912	70	75
	4:00 PM	19	167	167	171	168,33	6602	6615	6687	6634,67	1880	435	1924	75,2	80
	6:00 PM	19	153	152	154	153,00	6629	6635	6631	6631,67	1625	613	1739	65	70
	8:00 PM	19	174	174	176	174,67	6625	6634	6614	6624,33	1891	670	1995	75,64	80
	10:00 AM	19	185	185	188	186,00	6621	6630	6615	6622,00	1999	666	2102	79,96	85
	12:00 PM	19	172	172	175	173,00	6632	6638	6625	6631,67	1870	655	1955	74,8	80
	2:00 PM	19	188	187	190	188,33	6622	6636	6612	6636,00	1977	684	2109	79,08	85
	4:00 PM	19	186	185	188	186,33	6697	6711	6691	6699,67	1980	809	2151	79,2	85

	6:00 PM	19	185	185	187	185,67	6689	6715	6691	6698,33	1978	781	2164	79,12	85
	8:00 PM	19	183	183	185	183,67	6689	6707	6669	6688,33	1962	790	2139	78,48	85
	10:00 AM	19	175	175	177	175,67	6687	6697	6683	6689,00	1866	755	2021	74,64	80
	12:00 PM	19	183	183	186	184,00	6631	6640	6630	6633,67	2010	630	2120	80,4	85
	2:00 PM	19	180	181	182	181,00	6643	6662	6648	6651,00	2018	590	2125	80,72	85
	4:00 PM	19	172	171	173	172,00	6659	6670	6665	6664,67	1909	659	2019	76,36	80
	6:00 PM	19	159	157	161	159,00	6664	6663	6671	6666,00	1618	615	1770	64,72	70
6dia	8:00 PM	19	186	189	185	186,67	6658	6657	6673	6662,67	2022	748	2163	80,88	85
	10:00 AM	19	175	175	177	175,67	6652	6659	6643	6651,33	2012	430	2037	80,48	85
	12:00 PM	19	178	177	179	178,00	6650	6643	6639	6644,00	1881	505	2165	75,24	80
	2:00 PM	19	183	182	184	183,00	6641	6661	6610	6637,33	2015	509	2109	80,6	85
	4:00 PM	19	179	183	181	181,00	6653	6631	6656	6646,67	2009	610	2064	80,36	85
	6:00 PM	19	168	166	168	167,33	6619	6622	6609	6616,67	1899	262	1945	75,96	80
7dia	8:00 PM	19	152	152	154	152,67	6657	6668	6670	6665,00	1644	356	1651	65,76	70