



Metodología para solución de fallas en los generadores HYUNDAI de la Empresa Termoeléctrica de Felton

Yasmani Gutiérrez Moraga

Carrera: Ingeniería eléctrica

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

Resumen: En los sistemas eléctricos, una falla podría repercutir en el desarrollo productivo o de servicio de cualquier empresa, cuando ocurre en centrales eléctricas las consecuencias económicas pueden perjudicar el desarrollo económico de un país. En este trabajo, realizado en el emplazamiento de fuel-oil de la Empresa Termoeléctrica de Felton, se analizaron las fallas más comunes ocurridas durante los dos últimos años de explotación de los generadores Hyundai de la serie 9H25/32, donde; las causas que provocan cada interrupción en la generación, brindaron una valiosa información para mejorar el período de revisión y de mantenimiento de estas máquinas así como de los procedimientos operativos. Teniendo como base el análisis histórico, se confeccionó una metodología que permite la solución de cada falla en un menor tiempo para una mayor generación, mayor confiabilidad y mejor solución técnica, contribuyendo así a la economía del país.

Palabras clave: Metodología para fallas; generadores fuel oil Hyundai; termoeléctrica Felton.

Methodology for troubleshooting frequent Hyundai Generator failures at Felton's Power Generating Facility

Abstract: Electrical system failures can have a negative impact on any company's production or service. Failures occurring in power generating plants may have a direct repercussion on the economic development of any country. This investigation was conducted at the fuel oil station in Felton's electrical generating plant. The objective was to analyze the most frequent failures that have occurred in series 9H25/32 Hyundai generators during their last two years of operation. The root cause identified for each generator shutdown provided valuable information; which indicates the need to increase maintenance and inspection periods for these machines in addition to improve operating procedures. Based on historical data analysis, a methodology was developed to provide solutions for each failure in a shorter period of time; which will result in increased power generation, reliability and more technical knowledge; and therefore, contributing to the economic development of Cuba.

Key words: Failure troubleshooting methodology; Hyundai fuel oil generator; Felton's power plant.

Introducción

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

Para llevar a cabo la Revolución energética en Cuba, fue necesario romper con los esquemas tradicionales en la generación de energía eléctrica. Debido a la necesidad de revitalizar el sistema eléctrico nacional se instalaron en el país los grupos electrógenos diesel que sincronizadas al Sistema Eléctrico Nacional apoyaron la generación de las termoeléctricas, generando electricidad durante las horas del día en que tiene lugar los picos de demanda. El elevado costo del diesel ha obligado al país a introducir de forma paulatina los grupos electrógenos de fuel-oil, cuyo índice de consumo es mejor y el costo de generación inferior a las termoeléctricas y baterías diesel.

El análisis y prevención de fallas en grupos electrógenos fuel es un aspecto importante en los sistemas eléctricos de potencia. La determinación y descripción de los factores responsables para la falla de un componente, mecanismo o estructura, brindan una valiosa información para mejorar tanto el diseño, los procedimientos operativos y el uso de los componentes; como para evitar paradas de línea o pérdidas de producción en la industria. El reconocimiento de dichos factores permite establecer responsabilidades en litigios de toda índole originados en fallas de materiales.

Una vez que el modo de falla ha sido identificado, es posible la aplicación de medidas para la prevención de fallas similares futuras, minimizando costos y riesgos de accidentes. En el trabajo se estudian las fallas más comunes registradas desde la puesta en marcha de los generadores y los principales parámetros que caracterizan el conjunto generador Hyundai de 2,5 MW en operación con el objetivo de establecer una metodología para la solución de fallas más comunes en estos equipos.

Antecedentes

El análisis histórico de la información relacionada con la temática sobre los grupos electrógenos muestra que se ha trabajado en la determinación de las fallas más importantes en los equipos auxiliares de los Grupos Electrógenos *Hyundai Himsen* (Del

Castillo, 2009), pero no se ha abordado el tema de los generadores, ni las fallas que en ellos se evidencian.

El Grupo ISOLUX CORSAN S. A., (2006) estudió el impacto ambiental por ruido de grupos electrógenos. Hourné *et al*, (2012) analizan los fallos más importantes en los motores de la tecnología diesel, sin embargo no existe coincidencia con las fallas detectadas en los generadores de la tecnología Hyundai y desarrollaron 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.

En la actualidad no se dispone de una metodología para tratar las fallas más comunes que ocurren en generadores de tipo *Hyundai Himsen* 9H25/33. Disponer de una metodología para estas fallas disminuye el periodo de ruptura y el tiempo de solución y posibilita encontrar estrategias para mejorar la gestión de mantenimiento en estas máquinas.

Generadores Hyundai 2.5 MW de Felton. Análisis de las fallas

Caracterización del emplazamiento Fuel

El emplazamiento de Felton está constituido por 24 grupos electrógenos fuel-oil de la serie 9H25/33, suministrados por la firma Hyundai, agrupados en 6 baterías de 4 motores cada una. La planta cuenta con un sistema de tratamiento de combustible, sistema de enfriamiento, compresores y caldera recuperadora de vapor 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 comunes para todas las baterías. El emplazamiento utiliza 2 tanques de almacenamiento de fuel-oil el T-101^a de 5 000 m^3 y el T-101B de 2 000 m^3 y un tanque de diesel para arranque de 100 m^3 de capacidad.

El combustible llega al emplazamiento en carros cisternas los cuales son conectados a dos válvulas para permitir el paso del combustible, una vez que este 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 m^3/h y una presión de descarga de 3,5 *bar*. Las bombas 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-101^a/B.

En la Casa de Bombas se encuentran las bombas de transferencia P-102 A/B que poseen un flujo de $27 \text{ m}^3/\text{h}$ y una presión de descarga de $3,5 \text{ bar}$. Los tanques de fuel-oil poseen un calentador de boca para garantizar que la temperatura del combustible se mantenga en la succión de las bombas aproximadamente a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ y por tanto realicen un menor trabajo durante el trasiego. Las bombas envían el combustible hacia los tanques de almacenamiento (settling) de todas las baterías por medio de una tubería de 3 pulgadas. 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, 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 $90 \text{ }^\circ\text{C}$ a los tanques de servicio los cuales tienen una capacidad de 10 m^3 , estos poseen en su interior un calentador para asegurar que el combustible salga a $90 \text{ }^\circ\text{C}$.

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 $3,4 \text{ m}^3/\text{h}$ 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 son denominadas bombas reforzadoras. Antes de entrar el combustible al motor pasa por un calentador para asegurar la viscosidad requerida ya que la misma asegura la calidad en la inyección del combustible en un rango entre 12 y 18 sCt . Este parámetro es censado por un viscosímetro que regula la entrada de vapor al calentador para con posterioridad pasar por un autofiltro Alfa Laval con filtro de 20 donde el fuel queda listo para su inyección en el motor.

El Sistema Diesel se utiliza para el arranque y parada. 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 en reserva, con un flujo de $25 \text{ m}^3/\text{h}$ 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, de donde es impulsado hacia las válvulas de entrada de combustible de cada motor pasando a los inyectores en los que se produce la combustión y la conversión de la energía térmica en energía mecánica para mover el rotor del generador y producir la energía entregada al Sistema Eléctrico Nacional.

El sistema de combustible inyecta el fuel-oil en los cilindros donde ocurren los procesos de admisión, compresión, explosión y escape, transmitiendo esta energía al cigüeñal, produciendo el torque necesario para mover el generador trifásico acoplado al motor, creando una corriente inducida y con ella un campo magnético que produce una potencia eléctrica. Los generadores accionados por estos motores, son máquinas con una potencia de 2,5 *MW* cada uno, 6,6 *kW*, 8 polos, factor de potencia de 0,8; 60 *Hz*, 273,4 *A*. Poseen un regulador de voltaje de $\pm 10\%$, 900 rpm, enfriamiento por aire, autoexcitación sin escobillas y trifásico. El grupo electrógeno fuel-oil posee un sistema eléctrico simple y distribuido en tres barras de 6,6 *kW*. A cada una de 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 *kW* 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 motogeneradores 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 necesario.

Los gases de salida de cada batería de motogeneradores son aprovechados por una caldera recuperativa de 7 *bar* de presión para la producción del vapor utilizado en las líneas de acompañamiento de combustible, en los calentadores y en las purificadoras. El agua necesaria para la producción de este vapor y los circuitos de enfriamientos de los motores proviene de una unidad de tratamiento químico basado en el principio de la osmosis inversa a través de membranas. El vapor es recuperado en un tanque o colector de condensado y se reincorpora al proceso.

Relación de las fallas más comunes encontradas en estos generadores

Se tuvieron en cuenta las fallas ocurridas en el tiempo de explotación de estas máquinas. Gran parte de las fallas responde a la gran cantidad de filtros sucios en poco tiempo de trabajo.

Tabla 1. Relación de las fallas más comunes encontradas en estos generadores

Fallas	Generadores	Número de fallas
Alta temperatura en los devanados	5*****,1*****,6*****,8*****,17*****,9****,10*****,7*** ***,12*****,15*****,13****,3****,22****,4****,2****,19** **,16****,20*****,24****, 23****,14*****,11****,18*****,21****	95
Alta temperatura en las Chumaceras	7**,12*,1**,24**,16*,5*,11*,21**	12
Falla en la excitación del generador	10**,18**,11*,17*,13****,23*,16*,6*,7**,1*,3**,9*,15* 22**,21*,5*,1**	26
Falla en los interruptores	24*,18**,7*,12**,14**,13*,17**,23*,9*,11*,3*,5**,16*, 10*	19
Fallas en las mediciones	2*,12**,14*,1*,24*,22*,21*,19**,16*,15*,13*,7*,10*,17 *,5*	19

Las altas temperaturas en los devanados

Para el análisis de esta falla se tuvieron en cuenta las salidas por emergencia a causa de la alta temperatura en el devanado del rotor. No se tuvieron en cuenta los cambios de filtros de aire por mantenimientos planificados o con el motogenerador fuera de servicio.

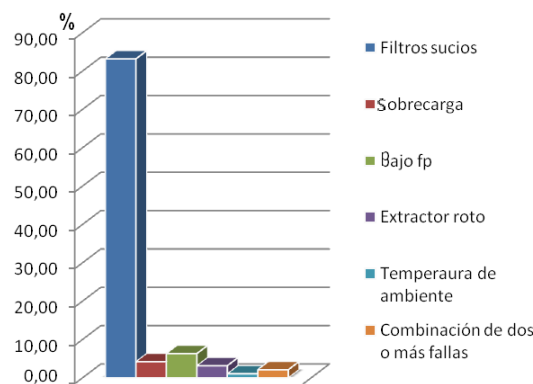


Figura 1. Altas temperaturas en los devanados de los generadores.

En la Figura 1 se muestran las diferentes causas de la falla por alta temperatura en los devanados y el porcentaje que representa cada una de ella. Se puede apreciar que el mayor por ciento está representado por los filtros sucios con 83,2%. Esta causa está influenciada por la baja altura de las chimeneas de los grupos, es decir los gases salen

a la atmósfera y un gran porcentaje de ellos retorna a través de extractores encargados del enfriamiento interno de la nave donde se encuentran estos generadores. El contenido de cenizas, carbonillas y ácidos resultantes de la combustión se introduce en estos filtros provocando el deterioro inmediato de los mismos y la taponamiento de los poros disminuyendo, así, el flujo de entrada de aire a los devanados que, como consecuencia, aumenta la temperatura.

La sobrecarga es otro de los factores que influye en las altas temperaturas del generador con un 4,21%, al aumentar la carga, a su vez se incrementa también la corriente hasta su valor máximo trayendo consigo el aumento de la temperatura en los devanados del generador en gran medida.

El bajo factor de potencia representa 6,32% que en algunas ocasiones se debe a una nueva estrategia que está llevando a cabo el país para aumentar la potencia reactiva en las líneas de transmisión a través de los grupos electrógenos, lo cual provoca el aumento de la corriente del generador, disipando todo ese calor dentro de la máquina y provocando la falla.

El extractor con un 3,16% en la ocurrencia de las fallas es el encargado de sacar el aire caliente que se produce en el interior del generador, cuando el flujo de aire es muy caliente este no puede extraer toda la masa de aire caliente existente, evidentemente cuando se avería el motor o le falla el aislamiento, provoca la alta temperatura en el interior de la máquina.

Otra de las causas del calentamiento en los devanados del generador son las altas temperaturas del medio ambiente que representa el 1,05% de las fallas. El aire caliente es succionado a la nave donde se encuentran emplazados estos generadores y promedia su temperatura con la existente en la nave, superior a los 50 °C.

Frecuencia de Falla (FF)

Para definir los diferentes niveles de la variable se tienen en consideración todos los factores que pueden producir una falla. Para ello se tomó como referencia de los datos históricos del emplazamiento de Felton.

$FF = 365 \text{ días} / \text{Número promedio de fallas en un año}$

$FF = 4,26 \text{ días /falla}$

Capacidad productiva (CP): Se consideró como una función de la capacidad instalada en el emplazamiento. $CP = 2.5 MW \cdot \text{Generador}$.

Impacto a la producción (IP): Los niveles se determinaron considerando el % de afectación que produce la falla a la producción, en este caso la entrega de energía al sistema.

$$IP = \frac{CP}{60} \cdot 100$$

Fallas en las chumaceras

Estas pueden ser por calentamiento o por vibraciones. La Cuña de aceite debe de estar con el ángulo adecuado según las normas estipuladas por el fabricante.

Holguras laterales: Deben de estar dentro del margen permisible. La holgura puede estar cerrada, en este caso se devasta o se desgasta cuidadosamente hasta lograr la medida adecuada para un correcto funcionamiento. Si están pasadas hay que rellenar o recubrir toda la superficie hasta lograr la medida exacta.

Holguras de techo: (Chumaceras cilíndricas) Las normas requieren que la holgura de techo sea el doble de la holgura de los laterales. Deben realizarse de 4 a 5 mediciones a promediar.

Holguras de apriete: Los aprietes deben ser revisados y comprobar que las chumaceras no se ajusten más de lo establecido para que el eje quede con las suficientes holguras laterales y de techo para un correcto funcionamiento. Se debe revisar el sistema de lubricación que puede ser forzado o de aros y el sistema de enfriamiento.

Para el caso específico de las vibraciones hay que tener mucho cuidado principalmente con lo relacionado con el asentamiento ajustes y uniones horizontales, además las guías de las chumaceras deben tener las medidas necesarias para un correcto funcionamiento.

Tipos de chumaceras

Chumaceras de empuje: Encargadas de controlar el desplazamiento axial del eje y mantener las holguras axiales entre los elementos estáticos y móviles.

Chumaceras de apoyo: Soportan las cargas de los rotores y mantienen las holguras axiales entre los elementos fijos y los móviles.

En la figura 2 se muestra las diferentes causas por las que ocurren las altas temperaturas en los devanados de los generadores.

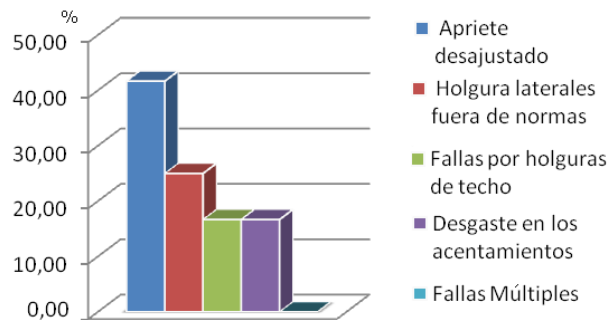


Figura 2. Altas temperaturas en las chumaceras de los generadores.

Fallas en la excitación

La principal causa de fallas en la excitación en los generadores (61,5%) se debe a problemas en los reguladores de voltaje (AVR). Sus componentes electrónicos están en una base metálica sobre una placa sellada (figura 3), lo que imposibilita cambiar o determinar el componente que se ha dañado y reparar la placa, por lo que hay que sustituir el regulador íntegramente. Los componentes del rectificador de excitación, principalmente los varistores cuando se abren, dejan desprotegidos el circuito de rectificación y cualquier variación en el voltaje de la excitación provoca una variación en el voltaje del generador que se va de los rangos de regulación del AVR, hasta que este no puede regular estas variaciones.



Figura 3. Regulador Automático de Voltaje (AVR).

Los puentes de diodos representa el 15,4% de las fallas (figura 4) al estar expuestos a las altas temperaturas (60–140 °C) que se crea dentro del generador. Otro de los

factores que influye en su ruptura son las variaciones de corriente y de voltaje. Las vibraciones en la máquina provoca los falsos contactos en los terminales y el calentamiento.

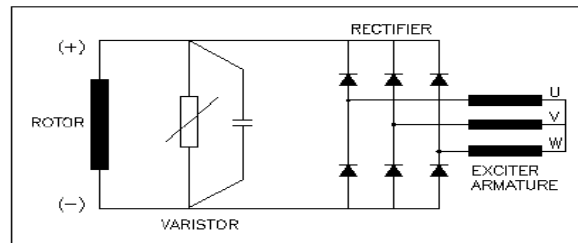


Figura 4. Circuito de Excitación del generador.

Los transformadores de corriente (TC) son los encargados de transformar la corriente del generador a una corriente permisible para que los instrumentos de medición la persivan, constituyendo el 3,85% de las fallas. Los casos reportados, muestran apertura de los conductores por calentamiento, así como flejedad en los terminales provocando falso contacto, este último a causa de las vibraciones.

La combinación de fallas ocurrencia de dos o más fallas en un mismo equipo o circuito, representa el 7,69%de fallas.

Fallas automáticas son las provenientes de los circuitos de control automáticos. Se evidencian en las tarjetas fallidas de los Controladores Lógicos Programables (PLC), o por la ausencia de energía de corriente directa (dc) por la apertura de alguno de los circuitos de control debido a los relés auxiliares.

En la figura 5 se muestran los tipos de fallas en la excitación.

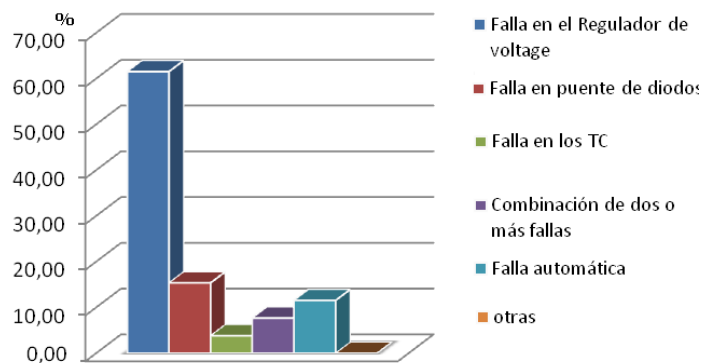


Figura 5. Fallas en la excitación de los generadores.

Fallas en los interruptores

La principal causa de ruptura en los interruptores está relacionada con sus partes mecánicas, debido a un sistema de resortes o muelles que por la gran cantidad de operaciones de cierre y apertura pierden su resistencia mecánica. Esta falla representa el 47,37%.

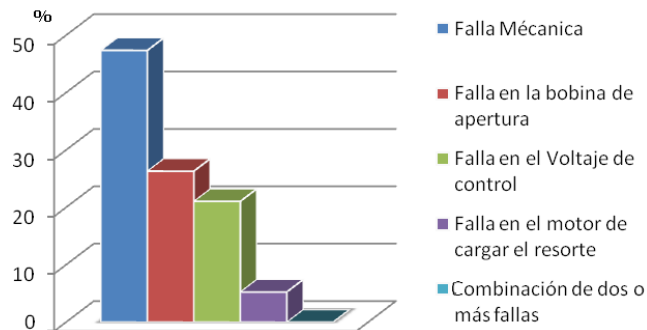


Figura. 6 Fallas en los interruptores de los generadores.

Otro factor determinante lo constituyen las bobinas de los interruptores que representan un 26,34% de las fallas. Debido a la apertura o falso contacto en los terminales la bobina deja de liberar un resorte que lleva el brazo mecánico de cierre y apertura en el interruptor.

Las fallas por causas del voltaje de control en los interruptores representan el 21,06%. Están dadas por un mal funcionamiento en las llaves de control, conductor averiado o falso contacto. Al producirse cualquiera de estas interrupciones queda fuera de servicio el circuito de control.

Otra de las causas raíces de las fallas de los interruptores está en el motor que carga el resorte con un 5,26%, por lo general está dada por el desgaste en los rodamientos o por rupturas en el acople por un pasador del resorte el cual al estirar y encoger tan reiteradas veces pierde sus propiedades mecánicas, se parte y el motor se queda funcionando continuamente.

Fallas en las mediciones

Cada equipo o sistema está provisto de mediciones que permiten el control o la variación en la explotación de los parámetros diseñados por el fabricante o implantados en una carta régimen, cuando algún elemento en el sistema de medición

falla el funcionamiento del equipo o sistema queda sin control y por lo tanto sin protección.

En la figura 7 se aprecian las fallas en las mediciones de las variables eléctricas. Durante los años de explotación de estas máquinas solo ha ocurrido una falla en los transformadores potenciales (TP) con un 5,26% de ocurrencia y se debe a la apertura en el devanado por la parte de alta del transformador.

Las fallas en los fusibles de los TP es de un 63,16%, está dada a las variaciones de los parámetros que hace que estos dispositivos semiconductores se abran a la corriente máxima de un ampere.

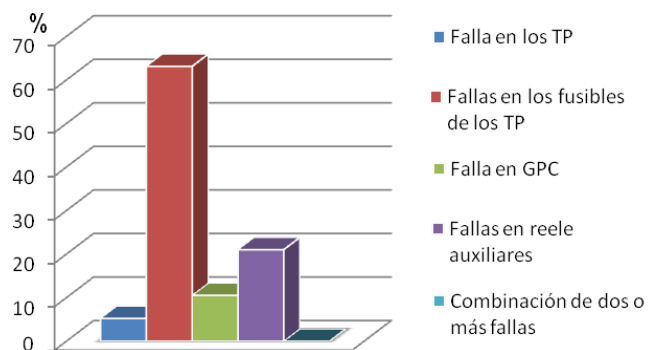


Figura. 7 Fallas en las mediciones de los generadores.

Los controladores de generadores en paralelo (GPC) con una ocurrencia de 10,53%, son instrumentos encargados de las visualizaciones y el control de todas las mediciones del generador, así como de su sincronización. Las fallas se deben a la conexión de la interface (equipo-display) y a las altas temperaturas en los locales donde están instalados.

Los relés auxiliares, encargados de las protecciones de equipos e instrumentos, representan un 21,06% en la ocurrencia de estas fallas. Otra de las causas para su deterioro son las altas temperaturas en los locales donde están los paneles automáticos.

Metodología para solución de falla por alta temperatura en los devanados del generador

Las fallas en los generadores están determinadas por varias causas. La propuesta de una metodología permite solucionarlas de una forma rápida y técnica.

1. Revisar los registros de operación y comprobar la corriente en el momento de la interrupción.
 - Si esta se encuentra en parámetros, entre 195-200 A al 85 % de la carga y entre 218-230 A para el 100%, remitirse al paso número 9.
 - Si este valor superó los 230 A para el 100% de la carga y 218 A para el 85% entonces:
2. Comprobar el factor de potencia antes de la salida del generador.
 - Si el factor de potencia estaba entre los 0,91-0,99 remitirse al paso número 8.
 - Si el factor de potencia era bajo (menor que 0,9) entonces:
3. Proceder nuevamente al arranque del motor según norma TL-OE-4002.
4. Sincronizar y subir carga al generador según norma TL-OE-4544.
5. Fijar en el controlador del generador (GPC) el factor de potencia a 0,95.
6. Comprobar que la corriente está en parámetros.
7. Comprobar temperatura en los devanados del generador por debajo de 140 °C. Si queda solucionada la falla se declara disponible la máquina, de lo contrario:
8. Comprobar la carga que tenía antes del disparo.
 - Si la carga en el momento del disparo era inferior al 2500 kW (100%), no existe problema de sobrecarga.
 - Si el generador estaba sobrecargado (superior al 100%) entonces:
 - Establecer la carga hasta un 100 %.
 - Realizar desde la operación 3 hasta la 7.
 - Si después de haber comprobado la corriente en el generador esta se encontraba en parámetros según carta régimen entonces:
9. Abrir generador según procedimiento F-PM-11-62.
10. Revisar extractor de aire del generador, medir resistencia, comprobar conexiones, probarlo manualmente.
11. Cambiar filtros de aire del generador según procedimiento F-PM-11-62.
12. Realizar los pasos 3, 4 y 7 del presente procedimiento.

Metodología para la solución de fallas por alta temperatura en la chumacera

1. Comprobar ajustes y apretar en caso que fuese necesario en la manga superior e inferior de la chumacera.
2. Observar el nivel de la chumacera y el color (coloración negra significa rozamiento entre las partes y desgastes internos).
3. En caso de existir bajo nivel reponer aceite.

4. Se arranca el motor según procedimiento TL-OE-4002 y TL-OE-4544 para la sincronización y subida de carga. Se comprueba la temperatura.

Si la falla permanece:

5. Con el motor en servicio se realiza prueba de vibraciones al motogenerador.
6. Con los resultados de las vibraciones se abre la chumacera y se procede a corregir parámetros según procedimiento F-IM-11-104.
7. Después de ser intervenida la chumacera se repiten los pasos 5, 6 y 7 hasta que se reajusten los parámetros.

Metodología para la solución de fallas en la excitación

1. Revisión inicial

a) Revisar la parte trasera del panel del generador, los elementos que se encuentran ubicados en esa posición, (AVR, resistor, fusibles de excitación inicial, conductores etc.) por si existe falso contacto, o se encuentran desconectados.

En caso de existir la anomalía anterior:

- Proceder al ajuste.
 - En caso de ser un conductor averiado, cambiarlo por otro en buen estado.
- b) Revisar las partes del generador y comprobar que no existan anomalías visibles como (huellas de humo u olor característico de algún conductor quemado).

En caso de existir la anomalía anterior:

- Si existiera algún desprendimiento de humo como resultado de un calentamiento en algún contacto o conductor (punto caliente), revisar inmediatamente, localizar la anomalía y eliminarla.

2. Se arranca el motor según procedimiento TL-OE-4002 y TL-OE-4544 para la sincronización y subida de carga. Si excita, se ha solucionado la falla, si no:

3. Proceder a la excitación inicial (por si hay pérdidas del voltaje remanente), si al desconectarle la excitación inicial mantiene el voltaje en el generador se ha solucionado la falla sino:

4. Revisar parte posterior del panel, el regulador de voltaje, si está la luz roja encendida significa que la tarjeta ha fallado y entonces:

5. Descargar generador según procedimiento TL-OE-4544 y TL-OE-4002 para la parada del motor.

6. Como el generador ya está abierto se aprovecha para la revisión y medición de resistencia de aislamiento de la excitatriz, TP y TC ubicados todo en el interior de la máquina.

a) Si existieran problemas con la excitatriz, con respecto al aislamiento, se considera una falla compleja y se procederá a su reparación o sustitución según procedimiento F-PM-11-62.

b) Las fallas en los TP y TC ubicados en el interior del generador están relacionadas con las fallas en conductores por el calentamiento debido a las vibraciones en el motor que provocan falsos contactos en los terminales, así como también su aislamiento, si hay un problema de terminales hay que valorar entre los técnicos si se puede o no explotar el transformador, si la decisión es positiva, garantizar un buen apriete, pero si es un problema de aislamiento lo mejor es la sustitución.

7. Si el AVR no estaba en amarillo, significa que le llega energía y está en perfecto estado de trabajo. En este caso se debe de revisar el circuito desde el regulador de voltaje hasta el generador.

a) Medir resistencia de aislamiento en los conductores.

b) Revisar falsos contactos o desprendimiento entre conductores.

8. Arrancar el motor según procedimiento TL-OE-4002 y TL-OE-4544 para la sincronización y subida de carga. Se comprueba solucionada la falla.

Metodología para solución de fallas en los interruptores de los generadores

1. Comprobar que el generador este fuera de servicio (F/S).

2. Comprobar interruptor en posición de prueba (P/P) y abierto.

3. Sacar interruptor del panel para su revisión.

4. Probar el interruptor manualmente, abriéndolo y cerrándolo a través de los botones de open y closed (abrir y cerrar respectivamente).

5. Una vez detectado que el interruptor opera, se descarta algún problema mecánico.

6. Se revisa entonces el circuito de control, comprobando voltaje de control.

a) Si existe el voltaje de control entonces se procede a revisar la interface de comunicación del interruptor (peineta). Si esta se encuentra en perfecto estado entonces:

b) Abrir el interruptor según procedimiento F-PM-11-62.

c) Medir resistencia de aislamiento a las bobinas Y1 y Y2 (cierre y apertura).

d) Si alguna de estas se encuentra defectuosa se debe de sustituir inmediatamente.

e) Proceder al arme del interruptor según la norma F-PM-11-62.

7. Si por lo contrario cuando el interruptor es accionado manualmente y no opera, entonces la falla es mecánica en este caso se debe:
 - a) Abrir el interruptor según procedimiento F-PM-11-62.
 - b) Comprobar resorte acoplado, sino acoplarlo poniendo el pasador que lo acopla con el motor.
 - c) Comprobar que el muñón de enclavamiento baje hasta su posición.
 - d) Comprobar ajustes de tornillos.
 - e) Accionar botón de cerrar con el interruptor abierto para identificar la falla, siguiendo los brazos y límites mecánicos.
 - f) Una vez solucionada la falla se arma el interruptor según procedimiento F-PM-11-62.
8. Si el resorte no se carga, entonces la falla es en el motor y se debe:
 - a) Abrir el interruptor según procedimiento F-PM-11-62.
 - b) Medir resistencia de aislamiento al motor, comprobar rodamiento, acoples (pasador).
 - c) Si el motor tiene baja o nula su resistencia de aislamiento sustituirla.
 - d) Si el motor tiene desgaste en los rodamientos sustituirlos por rodamientos 6203 ZZ.
 - e) Una vez solucionada la falla armar el interruptor según procedimiento F-PM-11-62.
9. Colocar el interruptor en posición de prueba (P/P) y hacerle pruebas de cierre y apertura tanto mecánicas como eléctricas.
10. Luego de comprobado su funcionamiento se procede a entregar el interruptor como disponible.

Metodología para solución de fallas en las mediciones de los generadores

1. Revisión inicial.
2. Comprobar donde existe ausencia de medición, para ello:
3. Arrancar el motor según procedimiento TL-OE-4002 y TL-OE-4544 para la sincronización y subida de carga.
4. Una vez identificada la falla (circuito donde se encuentra):
5. Comprobar la no existencia de conductores flojos o con falso contacto.
6. Si la falla es en la medición de voltaje:
 - a) Comprobar fusibles de los TP.
 - b) Si están defectuosos, sustituir inmediatamente en la fase fallida.
 - c) En el lazo de medición rectificar los relés auxiliares para comprobar su estado, en caso de que se encuentren averiado sustituirlo.
 - d) Si el voltaje es alto, (mayor de 6,7 kV), revisar si el voltaje de excitación también lo está (mayor de 65 Vcd).

7. Si la falla es en la medición de corriente:

- a) Verificar la carga del generador en el momento de la falla.
- b) Medir fusibles de los TC
- c) Si están defectuosos, se deben de sustituir inmediatamente en la fase fallida.
- d) Rectificar los relés auxiliares para comprobar su estado, en caso de que se encuentren averiado sustituirlos.
- e) Verificar relación de transformación en los TC.

8. Si la falla sucede en el Controlador del generador (GPC) entonces:

Solicitar la presencia de especialistas automáticos que revisen el equipo y determinen las prioridades.

Resultados empíricos

Para calcular el tiempo promedio para reparar, antes de la existencia de una metodología, se determinaron los niveles por los criterios de especialistas y técnicos de mantenimiento de los emplazamientos y de los directivos de la empresa acerca del tiempo de duración de las reparaciones de acuerdo al tipo de fallo. Se realizó una revisión de los datos que aparecen en las órdenes de trabajos (alrededor de 800) en el Departamento de Gestión de Mantenimiento de los grupos fuel de Felton.

Tabla 2. Comparación del tiempo de resolución de falla antes y después de aplicada la metodología

Falla	Tiempo de solución antes de aplicar la metodología	Tiempo de solución después de aplicar la metodología	Tiempo ahorrado (horas)
Fallas en la excitación	4-6 horas	1-1,5 horas	5
Fallas por alta temperatura en devanados	2-3 horas	0,30 - 1 horas	1,5
Fallas en las mediciones	2- 3 horas	No se ha realizado	
Fallas por altas temperaturas en chumaceras	6- 8 horas	No se ha realizado	
Fallas en los interruptores	3-4 horas	1-1,5	3

Impacto económico de la Metodología para solución de fallas en los generadores HYUNDAI de la Empresa Termoeléctrica de Felton

Cada contribución o aporte científico que se haga al mejoramiento de nuestro sistema económico es un avance en el desarrollo del país.

Al existir una metodología los costos de reparación deben de disminuir en una gran cuantía, pero esta variable no es controlada directamente en los emplazamientos, se maneja a nivel de los centros de control. Los niveles de los costos de reparación se definen considerando el tipo de avería, en dependencia de si se tratase de equipos principales o auxiliares, de los costos de las piezas de repuesto, de la existencia de ofertas de mercado, etc.

Aunque empíricamente se han hecho pruebas y la metodología ya está vigente como un programa de gestión de mantenimiento; no se puede asegurar que en cada solución de la falla el tiempo va a ser el mismo. Para los resultados obtenidos el ahorro en el tiempo de solución debido a la existencia de una metodología es tomada como el tiempo máximo que se puede ahorrar. Gracias a la metodología para solucionar estas fallas el costo en cada falla disminuye considerablemente.

Tabla 3. Costos en generación al país por fallas comunes en generadores 9H25/33 con metodología de solución y su ahorro

Fallas	Tiempo promedio para reparar con Metodología (horas)	Generación afectada (kW)	Consumo Diesel con otra central para reponer la generación afectada	Costo (CUC)	Ahorro (CUC)
Excitación	1	2 500	659,8240469	277,1260997	1385.6305
HT Devanado	0,5	1250	329,91202375	138,5630499	692,815249
HT Chumacera	8	20000	5278,592379	2217,008798	0
Mediciones	3	7500	1979,472141	831,3782991	0
Interruptores	1	2500	659,8240469	277,1260997	831,378299

De la tabla 3 se deduce el ahorro por concepto del tiempo de solución que significa además una disminución de combustible como promedio por falla de 1385 L de diesel, lo que significa para un promedio de fallas anual de 85 fallas 117,725 t de diesel al año. El precio actual del diesel es de 0,7847 CUC el litro, para un total de 92378,8075 CUC al año por concepto de ahorro en este aspecto.

Conclusiones

Los factores que más propician las fallas están determinados por:

La construcción de baja altura de las chimeneas que provocan un mayor deterioro de filtros de aire, ensuciamiento de los contactos y parte interior del generador, con posibilidades futuras de fallas en los aislamientos de los enrollados.

Las vibraciones, que afectan al sistema electromecánico en su totalidad, donde se incluyen los desajustes en chumaceras, falsos contactos en los terminales electro-automático.

La metodología para la solución de las fallas en estos generadores constituye una herramienta muy importante para mejorar el tiempo de restauración de la disponibilidad.

El análisis económico responde a que mejorando el tiempo de solución de las fallas se obtiene una mayor generación y un menor consumo de diesel al país.

Un gran número de las fallas que ocurren es debido a que la realización de algunos mantenimientos consta de un período de realización muy prolongado.

Referencias bibliográficas

DEL CASTILLO, S. 2009: "Análisis de Criticidad Personalizados", Ingeniería Mecánica, 3:1-12, La Habana.

HOURNÉ, M.; BRITO, M.; DEL CASTILLO, A.; FRAGA, E.; DÍAZ A. 2012. Análisis de criticidad de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, ISSN-1010-2760, RNPS-0111, Vol. 21, No. 3 (julio- septiembre, pp. 55-61).

ISOLUX CORSAN GRUPO S.A. 2006. Estudio de impacto ambiental Central Termoeléctrica a carbón Rio Turbio, Santa Cruz [en línea], Informe final documento síntesis, 90 páginas en línea]. Consultado: 10 Abril 2012) Disponible en <http://www.opisancruz.com.ar/home/wp-content/uploads/eia-ctrt-sintesis-rev2.pdf>