



UNDÉCIMO ENCUENTRO REGIONAL
IBEROAMERICANO DEL CIGRÉ – XI ERIAC

COMITÉ NACIONAL PARAGUAYO DEL CIGRÉ
22 al 26 de mayo 2005 – Hernandarias - Paraguay

ARRANQUE EN NEGRO. AUDITORÍA TÉCNICA PARA LA HABILITACIÓN DE INSTALACIONES

J. L. AGÜERO, M. D. DEL POZO, F. ISSOURIBEHÈRE / H. DI PASQUO, P. ÁLVAREZ
IITREE-UNLP / PLUSPETROL S.A.
Argentina

Resumen – Dentro del marco regulatorio eléctrico de Argentina, se han establecido mecanismos de formación de Islas Eléctricas, como último recurso para evitar el colapso del sistema Argentino de Interconexión (SADI) y/o del Sistema Eléctrico Patagónico Interconectado (SEPI).

Asimismo, producido el colapso eléctrico de una región o de todo el sistema, la recomposición del sistema colapsado requiere contar con generadores que posean la característica de "Arranque en Negro".

En este artículo se presentan los resultados de los trabajos de Auditoría Técnica realizados por el IITREE-LAT y requeridos por CAMMESA, contemplando inspecciones y pruebas para la habilitación de instalaciones de arranque en negro de una unidad turbogas TG02 de la Central Térmica Pluspetrol Norte, propiedad de Pluspetrol S.A., ubicada en la localidad de El Bracho, provincia de Tucumán.

Palabras clave: Generadores-Sistemas de control- Islas eléctricas-Arranque en Negro-Full Speed No load (FSNL).

1 INTRODUCCIÓN

La Secretaría de Energía de la Nación dictó la Resolución 305/98 en donde instruye a la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA) y a los agentes del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) sobre las tareas a realizar respecto de "Islas Eléctricas" y "Arranque en Negro".

A partir de la Resolución 305/98 CAMMESA genera la normativa necesaria, mediante el Procedimiento Técnico N° 16 (PT-16).

En particular, el PT-16 reglamenta sobre los requisitos básicos que deben cumplir las instalaciones de un

generador para que su "Arranque en Negro" sea habilitado.

Los requisitos que deben cumplir los Agentes del MEM contemplan las pruebas a realizar para garantizar la capacidad de arranque sin suministro externo de energía, asegurándose así el funcionamiento estable de sus sistemas de control de tensión y de velocidad sin carga, y ante distintos niveles de potencias activa y reactiva requeridas por cargas aisladas.

Estas pruebas permiten estimar el funcionamiento del generador en isla eléctrica con y sin otros generadores en la isla, la provisión estable de energía eléctrica para cargas y para arranque de otros generadores, etc.

Las capacidades antes enunciadas se deben verificar mediante ensayos, uno de los cuales permite establecer el tiempo de arranque en negro de la unidad, bajo un escenario de colapso previo elegido al azar entre los posibles. Esta prueba también permite verificar la aptitud de los operadores de la planta frente a un "Arranque en Negro".

Otros ensayos permiten verificar el adecuado funcionamiento de la unidad generadora ante perturbaciones en la frecuencia de la red, características de un escenario eléctrico en recuperación de un colapso. Además para que sea habilitado el "Arranque en Negro" de un generador, se requiere contar con Manuales de Operación y de Mantenimiento de las instalaciones involucradas.

Personal del IITREE-LAT, en carácter de Auditores Técnicos, han certificado el cumplimiento de lo establecido en el PT-16 por generadores del SADI y del SEPI.

En el presente trabajo se presenta la parte relevante de las tareas requeridas para la habilitación de instalaciones de "Arranque en Negro" en una unidad turbogas del SADI.

2 DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

Si bien el Procedimiento PT-16 condensa los pasos a seguir para la habilitación, dentro del mismo son referenciados ensayos y mediciones pertenecientes a otros documentos de CAMMESA, para completar la simulación de la contingencia.

La contingencia está encuadrada como un evento posible en un sistema complejo de generación-transmisión de la energía eléctrica. El planteo de un Black-out debe ser contrarrestado, como primera medida garantizando que los generadores se puedan arrancar, acelerar y conectar a la red local de suministro lo más rápido posible luego de un apagón total del área. Si se trata de evitar una generalización del apagón, la creación de "Islas" permite lograr una independencia aceptable dentro del sistema interconectado de forma tal que las perturbaciones no se trasladen a otros generadores de las islas contiguas, y asegurar así que la mayor cantidad de generadores se mantenga en servicio. Las tareas realizadas por el IITREE-LAT están específicamente detalladas en el ANEXO I: HABILITACIÓN DE INSTALACIONES DE ARRANQUE EN NEGRO, del Procedimiento PT-16. Tal como se indicó anteriormente, en el ANEXO I se especifican el/los documentos PT-9 y PT-4 que son utilizados para verificar condiciones de los generadores que los hacen confiables para intervenir en la contingencia.

A continuación se efectúa una descripción de los puntos de cumplimiento del ANEXO I con la interpretación técnica destinada a una adecuada operación del sistema en la contingencia (Black-out).

3 METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA AUDITORÍA TÉCNICA

Las tareas realizadas en la auditoría fueron:

- Revisión previa de la documentación inherente.
- Definición y solicitud de documentación que permitió evaluar el comportamiento de las unidades en ensayo.
- Ejecución de los ensayos.
- Recopilación de la información probatoria de los ensayos.
- Prueba específica de arranque en negro, con medición del tiempo de arranque.

4 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

La instalación de arranque en negro se compone de la unidad generadora en si y de grupos diesel de arranque automático. Estos grupos permiten la alimentación de los servicios auxiliares de máquina y planta y en particular del motor de arranque de la turbina de la unidad generadora.

4.1. Descripción de la unidad generadora TG02

La unidad generadora, denominada TG02 posee un campo propio de 132kV para sus servicios auxiliares,

que se alimentan a través de un transformador de 10MVA, con el secundario en 6,6 kV.

Dicha unidad está impulsada por una turbina de gas marca GENERAL ELECTRIC, tipo PG9171 (E), de potencia efectiva 117,2 MW.

El generador de la TG02 es marca ALSTOM, tipo T 900B de 137,6 MVA, $\cos\phi$ 0,85 y 15 kV. Dicho generador se conecta a la red de 132 kV a través de un transformador elevador de 150 MVA, con dos arrollamientos en conexión YNd1 y regulador bajo carga del lado primario.

Los gases exhaustos de la TG02 son enviados a la atmósfera.

El sistema de control velocidad-potencia de la TG02 es marca General Electric, tipo Speedtronic, modelo MARK V.

El sistema de control de excitación de la TG02 es estático, marca ALSTOM, tipo Microrec, y utiliza un transformador de excitación alimentado por tensión de bornes del generador.

4.2. Descripción de los generadores diesel y sus transformadores asociados

Los motogeneradores diesel son marca CATERPILLAR modelo SRB4, con las siguientes especificaciones:

- Potencia eléctrica entregada: 2000 KVA
- Factor de potencia: $\cos\phi = 0,8$.
- Tensión en bornes 3x380 Vca. 50 Hz.
- Combustible: Gas Oil.
- Capacidad del tanque de combustible: 4740 litros.
- Autonomía a carga base: 10 horas.

Los transformadores elevadores de conexión a la barra de 6,6 kV de la instalación son marca SUNBELT y poseen las siguientes especificaciones:

- Potencia nominal: 2100 KVA
- Tensión: 0,4/6,6 kV 50 Hz.
- Grupo de conexión: Dyl.
- Reactancia de cortocircuito: 5.8%.

5 DOCUMENTACIÓN

Se dispuso de la documentación conforme a obra de toda la instalación. Esta documentación permite investigar cualquier falla que se presente y analizar e ilustrar los procedimientos operativos definidos para todas las condiciones especificadas en el manual de operación.

5.1. Manual de Mantenimiento

El manual de mantenimiento contiene la documentación que describe las rutinas y planillas de mantenimiento de los diversos equipos de la instalación. Dicho manual contiene la siguiente documentación:

- Manual de mantenimiento de los grupos diesel emitido por el fabricante y traducido al español.

- Planificación de las tareas de mantenimiento de rutina mecánico y eléctrico de las instalaciones involucradas.
- Programación de pruebas periódicas de funcionamiento.

Estos registros serán utilizados por personal de Operaciones y Mantenimiento.

Se demostró el funcionamiento del sistema de seguimiento de los controles preventivos de los equipos involucrados.

Con respecto a la iluminación de las zonas involucradas, se verificó que la iluminación está conectada a un sistema de alimentación ininterrumpible (UPS), restableciéndose la condición de funcionamiento normal con la conexión del primer grupo diesel, en un tiempo de 20 segundos luego de la condición de Black-out.

5.2. Manual de Operación

El manual de operación contiene la documentación completa para consulta y capacitación de los operadores. El manual contiene en forma clara los procedimientos para ejecutar las operaciones en todas las condiciones en que pueda ser requerido el arranque de la unidad.

La empresa suministró información acerca de las comunicaciones, indicando que las mismas quedan aseguradas por cuatro vías:

- Telefonía fija conectada a un sistema de alimentación ininterrumpible (UPS).
- Telefonía celular.
- Onda portadora.
- Radio.

Se confeccionó además una lista con los nombres de las personas para operar/supervisar las operaciones para realizar el arranque en negro.

6 ENSAYOS

6.1. Ensayos requeridos para la regulación de frecuencia

Estos ensayos se encuentran descritos en [3], y se realizaron previamente a las pruebas de arranque en negro, ya que son indispensables para la Habilidad comercial y homologación del modelo de la TG02 para ser incluido en la base de datos de CAMMESA. Los ensayos y los parámetros obtenidos de las pruebas se encuentran descritos en [5].

6.2. Prueba de arranque

La prueba realizada consiste en el arranque en frío de la unidad TG02 siguiendo lo indicado en el punto correspondiente del Manual de Operaciones. El escenario elegido por la empresa consistió en producir el colapso mientras la unidad TG02 se encontraba en virado estable a un 3 % de su velocidad nominal.

Los dos generadores diesel se encontraban parados en adecuado estado de stand-by.

La apertura del interruptor, de 132kV de la ET El Bracho hacia la barra de 132 kV de la central, inició la secuencia de automatismos y controles manuales necesarios hasta la recuperación de esta parte del sistema, puesta en evidencia en el momento que la máquina llegó a la velocidad nominal (FSNL).

En este caso la tarea consiste en seguir el procedimiento presentado por la empresa para el arranque en negro de la unidad en el escenario elegido.

La secuencia de operaciones realizadas durante arranque fue la siguiente:

- La TG02 se encuentra en la condición de virado estable a un 3% de su velocidad nominal.
- Los grupos diesel se encuentran parados en adecuado estado de stand-by. Esta condición se verifica en el tablero previsto para el Arranque en Negro, ubicado en la sala de control de la central.
- Se abre el interruptor de 132kV de la ET El Bracho hacia la Barra de 132 kV de Central Térmica Pluspetrol Norte.
- El sistema de iluminación y el sistema de control quedan alimentados por la UPS. Se inicia la cuenta del tiempo.
- Los grupos diesel arrancan inmediatamente después de la apertura del interruptor. En un tiempo aproximado de 20 segundos el grupo diesel líder, pasa a alimentar la barra de 6,6 kV de los servicios auxiliares de Central Térmica Pluspetrol Norte.
- En un tiempo aproximado de 40 segundos, es decir 20 segundos después de la entrada del primer grupo, el segundo grupo se sincroniza con el primero. Esta condición se verifica en el tablero previsto para el Arranque en Negro, ubicado en la sala de control.
- Se realiza una serie de operaciones de aceptación de alarmas y de chequeo de permisivas de arranque de la TG02. La duración de estas acciones es de aproximadamente 90 segundos.
- El arranque de la TG02 se realiza directamente desde la pantalla HMI (Human-Machine Interface) de control remoto en sala de control. El tiempo total de arranque de la TG02 es de aproximadamente 12 minutos. La máquina llega en este tiempo a la condición de velocidad nominal (FSNL).
- La máquina queda en esta condición de funcionamiento durante el tiempo necesario para efectuar la prueba de "Funcionamiento de la Unidad Aislada de la Red", descrita más adelante.
- Finalizada la prueba anterior, se procede a la parada normal de la TG02 hasta alcanzar la condición de virado.
- Se procede a la desconexión normal de los grupos desde el tablero ubicado en la sala de control. Los grupos quedan en condiciones de realizar un nuevo Arranque en Negro.
- Se alimentan los servicios auxiliares desde la barra de 132 kV de Central Térmica Pluspetrol Norte.

El tiempo total del Arranque en Negro es la suma de los tiempos parciales antes indicados hasta que la unidad TG02 llega a la condición de FSNL. El tiempo medido durante el ensayo fue de 15 minutos.

6.3. Prueba de escalón en la referencia de frecuencia con la unidad aislada de la red.

El objeto de esta prueba es calcular el sobrepico y el tiempo de establecimiento para una dada la variación en la consigna de velocidad.

La unidad TG02 se operó fuera de paralelo con la red, con la turbina girando en vacío. Partiendo de una velocidad correspondiente a 50 Hz, primero se llevó a TG02 a 49,5Hz durante más de un minuto, luego se la llevó a 49Hz durante más de tres minutos, posteriormente se la llevó a 48,5Hz por veinticinco segundos, para finalmente recuperar la velocidad nominal, correspondiente a una frecuencia de 50Hz.

En todos los casos, los cambios de velocidad fueron realizados a través de escalones en la referencia de velocidad del regulador.

A partir del registro de velocidad medida y de referencia de velocidad, se calcularon los siguientes índices de desempeño dinámico:

- Tiempo de establecimiento = 5.9 segundos
- Tiempo de crecimiento = 2.4 segundos
- Sobrepico = 22.2 %

Los resultados de la prueba se muestran en la Fig. 1.

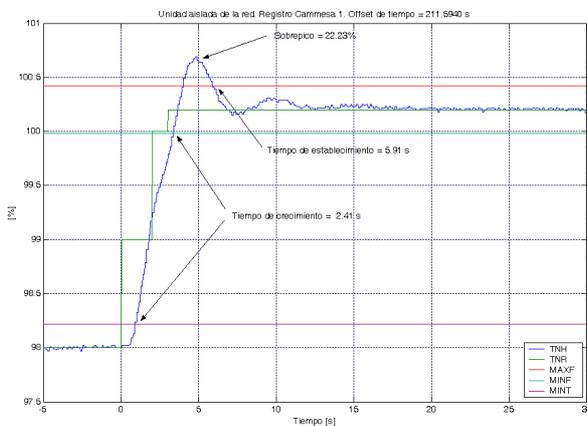


Fig. 1-Índices de desempeño dinámico del control de frecuencia.

6.4. Prueba de funcionamiento de la unidad aislada de la red.

El objeto de esta prueba es verificar el funcionamiento estable de la turbina de gas TG02, al encontrarse aislada del sistema.

La unidad TG02 se operó fuera de paralelo con la red, con la máquina girando en vacío, a velocidad nominal (condición de operación denominada FSNL, "Full Speed No Load"). En estas condiciones, se considera que el funcionamiento es aceptable si la tensión se

mantiene dentro del $\pm 1\%$ y la frecuencia dentro de $\pm 0,1$ Hz a lo largo de veinte (20) minutos.

Para documentar los ensayos se utilizó el sistema de registro del sistema de control Speedtronic –MARK V. En la Fig. 2 se muestra el registro de la tensión en bornes del generador, y en la Fig. 3 se muestra el registro de la frecuencia.

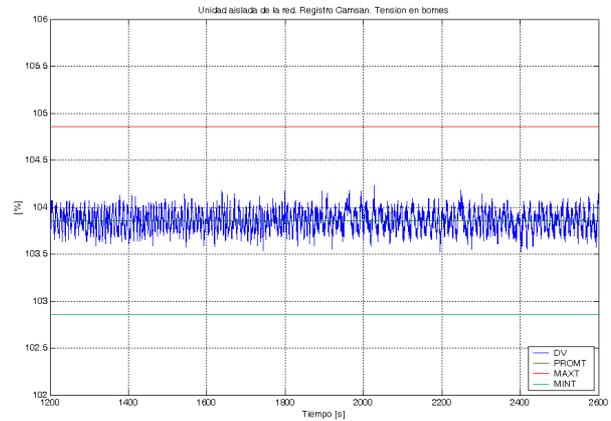


Fig. 2-Registro de tensión en bornes del generador.

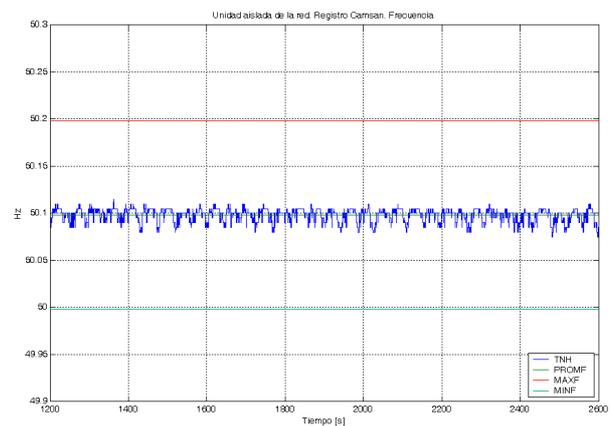


Fig. 3-Registro de frecuencia.

Como resultado de la prueba se concluye que el funcionamiento de la unidad aislada de la red es satisfactorio.

6.5. Prueba de puntos de funcionamiento del generador conectado a la red.

Se requiere verificar el funcionamiento del generador en 4 puntos elegidos sobre el límite de capacidad de la unidad: al 50 y 100% de potencia activa dentro de los límites superior (sobreexcitada) e inferior (subexcitada) de reactivo.

Estos ensayos, que se encuentran descritos en [3], se realizaron previamente a las pruebas de arranque en negro, ya que son indispensables para la Habilitación comercial y homologación del modelo de la TG02 para ser incluido en la base de datos de CAMMESA. Los ensayos y los parámetros obtenidos de las pruebas se encuentran descritos en [5].

7 PLANILLA DE DATOS DE LA INSTALACIÓN DE ARRANQUE EN NEGRO

En la Tabla I se indican los datos de la instalación de arranque en negro a fin de cumplir con el correspondiente punto del Anexo I del PT-16. Dicha

tabla contiene información obtenida de los ensayos e información suministrada por personal de Pluspetrol S.A.

TABLA I. PLANILLA DE DATOS DE LA INSTALACIÓN DE ARRANQUE EN NEGRO

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIÓN
Tiempo de arranque medido	Minutos	15	
Sobrepico de vacío para una variación en la consigna de velocidad	%	22.2	Variación de consigna: 98 al 100.2%
Tiempo de establecimiento para una variación en la consigna de velocidad	Segundos	5.9	Variación de consigna: 98 al 100.2%
Verificación del funcionamiento de la unidad aislada durante 20 minutos	-	SI	IT 993
Verificación de la curva de capacidad del generador	-	SI	IT 942
Menor umbral de sobrefrecuencia que desconecta la unidad	Hz	51 (1)	Suministrado por Pluspetrol S.A.
Tiempo de ajuste del menor umbral de sobrefrecuencia	Segundos	100 (1)	Suministrado por Pluspetrol S.A.
Mayor umbral de subfrecuencia que desconecta la unidad	Hz	47.5 (2)	Suministrado por Pluspetrol S.A.
Tiempo de ajuste del mayor umbral de subfrecuencia	Segundos	0 (2)	Suministrado por Pluspetrol S.A.
Umbral inferior de la protección de sobretensión	kV	18 (3)	Suministrado por Pluspetrol S.A.
Umbral superior de la protección de subtensión	kV	12	Suministrado por Pluspetrol S.A.

- (1) Fijados por CAMMESA como nivel de desenganche para reducción automática de generación (RAG).
- (2) De acuerdo a PT-4 de CAMMESA.
- (3) Nivel de actuación de protecciones. Nivel normal de operación +10 %.

8 PRUEBA DE CIERRE DEL INTERRUPTOR CONTRA BARRA DESENERGIZADA

El conjunto de pruebas y ensayos descriptos establecen los requerimientos impuestos por el Anexo I del PT-16 para la habilitación de pruebas de las instalaciones de arranque en negro.

En la prueba de arranque de la unidad, se verificó el tiempo de arranque de la misma hasta alcanzar la condición de FSNL (con generador excitado). Enclavamientos en la lógica normal de control de la TG02 impiden el cierre del interruptor de máquina contra barra desenergizada.

Para realizar la conexión contra barra muerta se debe habilitar manualmente tal condición en el sistema de control. Por este motivo se repitió la prueba de arranque, pero se dio el orden de cierre contra barra desenergizada desconectando previamente el regulador de tensión de la TG02, como queda demostrado en los registros de ensayo suministrados por personal de Pluspetrol S.A. En estas condiciones se realizó el cierre efectivo del interruptor de máquina contra barra desenergizada.

Para realizar la prueba se desacopló mecánicamente el seccionador que vincula la TG02 de Central Térmica Pluspetrol Norte con la barra de 132 kV. Esta acción permitió cerrar el interruptor de máquina de la TG02 contra el pequeño tramo de barra desenergizada que se encuentra entre el seccionador y el interruptor, según

consta en los diagramas unifilares proporcionados por personal de Pluspetrol S.A.

La prueba se documentó mediante los registros del sistema de control velocidad-potencia de la unidad TG02 (Speedtronic, MARK V).

En la Fig. 4 se muestra la tensión en bornes del generador, en la Fig. 5 se muestra la potencia eléctrica entregada por la TG02, en la Fig. 6 se muestra la señal lógica de comando del interruptor de máquina, y en la Fig. 7 se muestra la velocidad de la TG02.

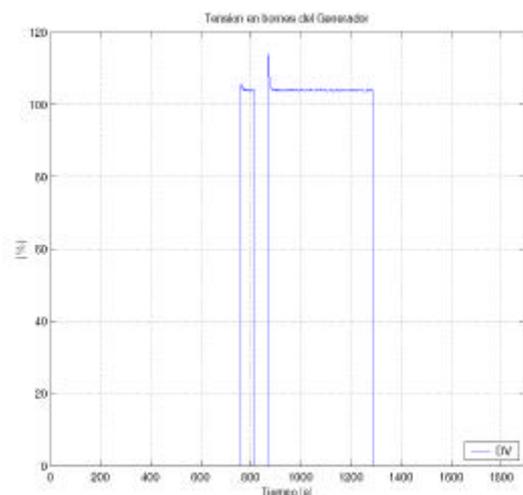


Fig. 4-Tensión en bornes del generador.

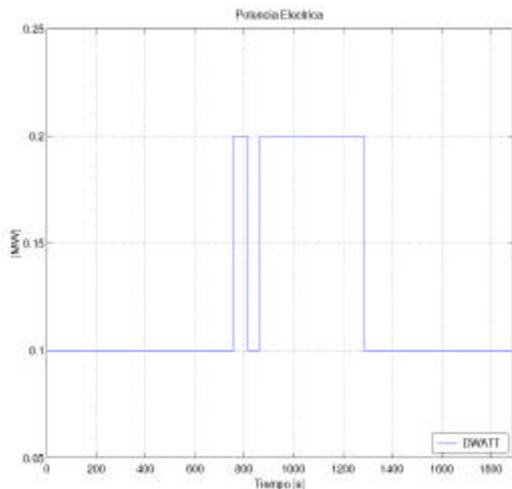


Fig. 5-Potencia eléctrica.

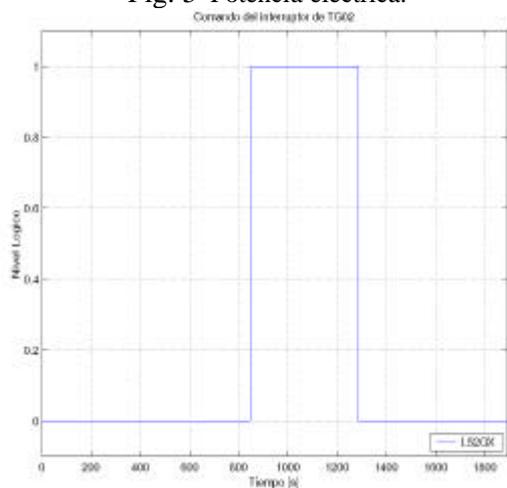


Fig. 6-Señal lógica de comando del interruptor.

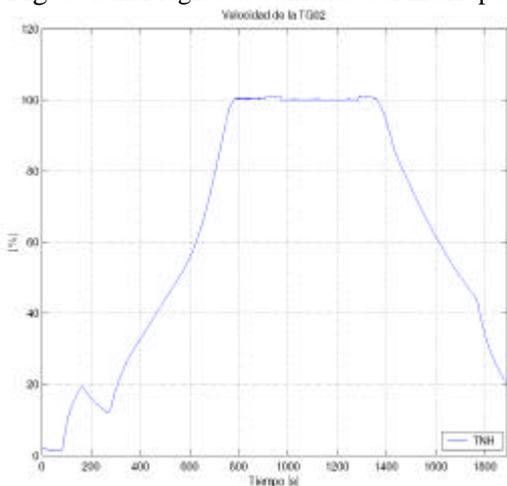


Fig. 7-Velocidad de la TG02.

9 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ARRANQUE EN NEGRO

Las conclusiones emitidas por el Auditor respecto de las pruebas de arranque en negro realizadas en la TG02, de Central Térmica Pluspetrol Norte son:

- El Manual de Operación presentado por PPN se ajusta a lo requerido por CAMMESA, y detalla

adecuadamente las operaciones que debe realizar el operador.

- El desempeño de la unidad operando en condiciones de baja frecuencia y desvinculada de la red fue satisfactorio.
- Los índices de desempeño dinámico que surgen de la medición de velocidad ante la aplicación de un escalón en la referencia de velocidad del regulador de turbina se consideran aceptables.
- El tiempo de Arranque en Negro de la TG02 de la CT PPN fue de 15 minutos.

El resultado de la prueba de Arranque en Negro fue satisfactorio.

10 CONCLUSIONES

En este artículo se presentan en forma detallada los pasos a seguir según el PT-16 de CAMMESA para la habilitación de instalaciones de Arranque en Negro.

En este tipo de instalaciones es muy importante la verificación de la documentación, en particular los manuales de mantenimiento, que permite ejecutar el mantenimiento preventivo y correctivo de la instalación para asegurar su disponibilidad, y el manual de operación que debe describir todas las acciones necesarias para realizar el arranque en negro ante cualquier escenario de contingencia del sistema.

Es de vital importancia que el tiempo de arranque de la unidad sea el mas bajo posible, de forma tal de recomponer el sistema y restablecer el suministro a los generadores adyacentes que estén disponibles y necesiten de esa energía para la normalización de sus instalaciones y su puesta en marcha. Coordinadamente se deben conectar las cargas locales y mediante circuitos de interconexión llegar a otras centrales eléctricas hasta restablecer progresivamente el suministro normal a la mayor cantidad de usuarios.

11 REFERENCIAS

- [1] “Procedimiento Técnico N° PT-16. Trabajos a realizar por los agentes del MEM para el proyecto de islas y arranque en negro”. Fase I. CAMMESA.
- [2] “Procedimiento Técnico N° PT-4. Ingreso de nuevos grandes usuarios mayores, distribuidores, generadores, autogeneradores y cogeneradores al MEM”. CAMMESA.
- [3] “Procedimiento Técnico N° PT-9. Participación de generadores en el servicio de regulación de frecuencia del MEM”. CAMMESA.
- [4] “Auditoria Técnica. Habilitación de instalaciones de arranque en negro. Central Térmica Pluspetrol Norte. Turbina de gas TG02”. IT-993. IITREE-LAT.
- [5] “Turbina de gas TG02 Central Térmica Pluspetrol Norte: Habilitación comercial y homologación de modelos”. IT-942. IITREE-LAT.