



## **Ensayo de Black Start de la Usina de ITAIPU 50Hz**

**Silver Guerrero – Henrique Ribeiro – Julio H. Dreher**

**Juliano C. Portela – Denison P. Avila– Fernando Menezes**

**ITAIPU BINACIONAL**

**Paraguay y Brasil**

### **RESUMEN**

Itaipu Binacional en el año de 2015, produjo 89,2 millones de MWh y se consagra como líder mundial en la producción de energía limpia y renovable, habiendo producido más de 2,3 mil millones de MWh desde el inicio de su operación, en 1984. Con 14.000 MW de la potencia instalada, suministra alrededor del 15% de la energía consumida en Brasil y el 75% de la utilizada en Paraguay.

Debido a su importancia estratégica y en función de las dificultades encontradas durante el restablecimiento ocurridas en el Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) durante las grandes perturbaciones de 11/03/1999 y 21/01/2002 donde el intercambio entre ITAIPU e Furnas, sufrieron variaciones superiores a 10.000MW y generó un largo tiempo para la recomposición. Para enfrentar estos problemas el ONS (OPERADOR NACIONAL DEL SISTEMA BRASILEÑO) inició un trabajo de identificación de las centrales hidroeléctricas con capacidad de auto restablecimiento para que hagan parte de la fase de recomposición fluente del SEP reduciendo así el tiempo de restablecimiento.

Con el fin de atender las solicitudes del ONS y aumentar la eficiencia en la recomposición del Sistema ANDE, integrantes de la División de Estudios Eléctricos y Normas conjuntamente con la División de Operación de la Usina y Subestaciones, desarrollaron un sistema de directrices básicas para la realización de ensayos semestrales de *BlackStart* en la Central Hidroeléctrica de ITAIPU objetivando la máxima seguridad y confiabilidad.

El 24/11/2002, se llevó a cabo los primeros ensayos previos de *Black Start* en los sectores de 50Hz y 60Hz, a partir de este tipo de ensayo, fue posible verificar los entrenamientos que deberían ser intensificados y algunas de las alteraciones que deberían ser realizadas para atender las necesidades sistémicas que garanticen la demanda del ONS y también la confiabilidad al Sistema ANDE.

Conforme la demanda el Sistema Eléctrico Paraguayo fue ampliándose, fueron hechos cambios sustanciales en la Subestación de la Margen Derecha (SEMD), que inicialmente contaba con 11 disyuntores de 500kV, 3 transformadores y 2 líneas de 220kV, y que ahora cuenta con 23



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

**XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016**

---

disyuntores, una línea de 500kV, 6 transformadores y 4 líneas de 220kV. Esta ampliación forzó a que fuese también modificada la configuración de los Ensayos de *Black Start*.

En este artículo serán presentadas las evoluciones en los procedimientos operativos del ensayo de *Black Start* hasta el ensayo realizado en 13 de marzo de 2016, presentando sus fases de planificación, ejecución, mostrando también el análisis de sus resultados, así como las anomalías detectadas y las acciones tomadas bajo la óptica de la seguridad, confiabilidad y adecuaciones operacionales.

### **PALABRAS CLAVES**

Black Start (Negro inicio), Ensayo, Reconstrucción, autorestablecimiento.

## 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo aborda aspectos relacionados con la capacidad de auto restablecimiento de la Central Hidroeléctrica de ITAIPU BINACIONAL. A pesar de los procedimientos de restablecimiento ya sean parte de las actividades de expansión y operación de los Sistemas Eléctricos, nuevos temas deben ser abordados, para que las acciones de restablecimiento del sistema de energía eléctrica se lleven a cabo de la mejor manera posible.

En general, se caracteriza el proceso de restablecimiento de los sistemas eléctricos como una secuencia de procedimientos que tiene su inicio y avanza, haciendo que el Sistema Eléctrico sea cada vez más robusto y más seguro con la interconexión de Unidades Generadoras y carga consecuente toma de carga.

El control de restablecimiento de un Sistema Interligado se realiza considerando dos fases: la fluidez y la cordenada.

La fase fluida corresponde a la primera fase de restablecimiento de lo Sistema Interligado, en que los procedimientos operativos establecidos anteriormente permiten la recomposición de autorestablecimiento de las áreas de una manera descentralizada, con mínima comunicación entre las plantas y subestaciones con centros de operación.

La fase coordinada es la segunda fase de restablecimiento del Sistema Interligado en que se llevan a cabo con el funcionamiento del centro de coordinación de cierre paralelas y anillos entre las zonas y regiones, la liberación de restablecimiento de cargos adicionales y la intervención en la recomposición fluida cuando hay un impedimento en el procedimiento preferido.

### 1.1 Concepto

El auto restablecimiento está asociado con la capacidad de una Central Hidroeléctrica, que una vez puesta completamente fuera de servicio (desligadas mecánica y eléctricamente), se procede a arrancar y sincronizar el número mínimo de unidades generadoras necesarias para dar inicio al proceso de recomposición del sistema de transmisión asociado, incluyendo las barras, transformadores o líneas que hacen parte del restablecimiento fluente definido en las instrucciones, sin depender de ninguna fuente externa de energía.

### 1.2 Objetivo Del Ensayo De Black Start.

El objetivo del ensayo consiste en evaluar la capacidad de auto restablecimiento de la Central Hidroeléctrica de ITAIPU, frente al crecimiento de la demanda del Sistema Eléctrico Paraguayo así como la eficiencia de los procedimientos adoptados, identificando eventuales problemas y posibles mejorías. ITAIPU tiene comprobada su capacidad de recomposición fluente del Sistema (por el ONS), para esto, los siguientes requisitos fueron atendidos:

- Tener la capacidad de restablecer el número mínimo de Unidades Generadoras definido en las instrucciones de operación referentes a la recomposición, en un intervalo máximo de 30 (treinta) minutos;



XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

- 
- Estar apta a efectuar por lo menos 2 (dos) tentativas de recomposición sin la necesidad de auxilio externo; y
  - Tener un índice de disponibilidad de las Unidades Generadoras superior a 80%.

## 2. PLANIFICACIÓN DE LA EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE BLACKSTART

Las maniobras de preparación para la ejecución del ensayo de Black Start deben ser coordinadas por el Despacho de Carga de la ITAIPU;

El Supervisor del Turno de Operación de la Central será el responsable de la coordinación y ejecución de las maniobras asociadas al ensayo;

Las maniobras referentes al ensayo de Black Start de la Central de ITAIPU, deberán ser ejecutadas siguiendo una rutina pre-establecida en la Instrucción de la Operación de la Usina “Maniobra de la Central 05.15” que fue elaborada específicamente para lo ensayo, por el sector de estudios y normas del Departamento de Operación de la Usina y Subestaciones.

### 2.1 Definiciones

La Operación de la Usina y Subestaciones definirá previamente las Unidades y la Barra que hará parte de cada ensayo, considerando los siguientes factores:

- Rotatividad entre los Conjuntos;
- Rotatividad entre las Unidades del mismo Conjunto;
- Rotatividad entre las Barras del mismo Conjunto; y
- Disponibilidad mínima de 04 Unidades en el Conjunto de Unidades escogido para hacer parte del ensayo.

### 2.2 Equipamientos

Las Unidades Generadoras y Barras de 500kV 50Hz de la Subestación Aislada a Gas SF6 (GIS SF6), fueron divididas en dos Conjuntos conforme presentadas en el figura 1, en función de la configuración del sector 50Hz, fueron definidos conjuntos de equipos para realización del Ensayo de Black Start definidos como:

- Conjunto 1 - U01 o U03 + Barra A1;
- Conjunto 2 - U02 o U04 + Barra B1;
- Conjunto 3 - U05 o U07 o U09 + Barra A2;
- Conjunto 4 - U06 o U08 o U9A + Barra B2.

El conjunto mínimo de equipos necesarios para el ensayo de auto restablecimiento está constituido de:

- Hasta dos unidades generadoras;
- Una barra de 500kV 50Hz (preferentemente A2 o B2);
- Uno o dos grupos generadores diesel;
- Por lo menos una línea de 500kV;

Nota: La disponibilidad de la línea de transmisión de 500kV entre ITAIPU y Foz de Iguazú para el ensayo depende de la coordinación previa de ITAIPU con la ANDE y con el ONS.

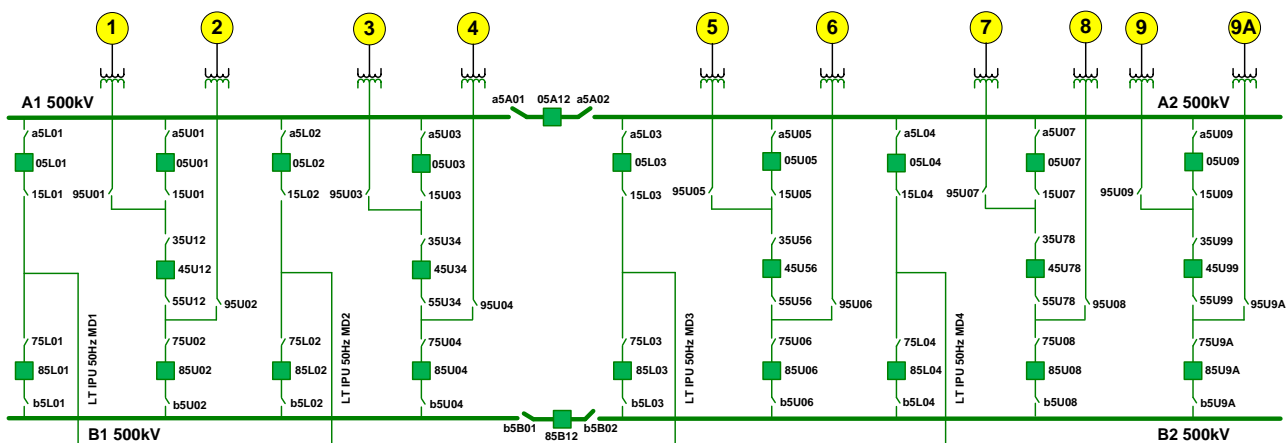


Figura 1: Subestación Aislada a Gas SF6 50Hz

## 2.2 Requisitos

Al ser alcanzadas las condiciones de tensión, frecuencia y número de unidades sincronizadas, el Supervisor del Turno de Operación de la Central, deberá informar inmediatamente al Despacho de Carga de la ITAIPU, caracterizando el término del ensayo.

Al terminar el ensayo, el Despacho de Carga de la ITAIPU deberá coordinar la adopción de la configuración operativa para el momento, inclusive el cierre del paralelo.

En caso de contingencia en el Sistema Inter conectado, el Despacho de Carga de la ITAIPU podrá paralizar o cancelar el ensayo. En estas condiciones el Despacho de Carga de la ITAIPU, informará el hecho al Supervisor del Turno de Operación de la Usina y coordinará la adopción de los procedimientos de recomposición para la Usina de ITAIPU 50Hz.

En caso de perturbación en la Central de ITAIPU 50Hz, el Supervisor del Turno de Operación de la Central, deberá paralizar el ensayo y normalizar el(los) equipo(s) desconectado(s) e informará al Despacho de Carga de la ITAIPU.

En el momento del ensayo, preferentemente, no deberán estar siendo ejecutadas maniobras de aislación y normalización programada en el Sector 50Hz.

Todas las Barras de la Subestación Aislada a Gas SF6 (GIS 50Hz) deben estar en condiciones normales de operación antes del inicio del ensayo.

El Servicio Auxiliar del Sector 50 Hz deberá estar en condiciones normales de Operación, sin restricción en sus fuentes de alimentación y en su automatismo.

### 3. CAPACITACIÓN OPERACIONAL DEL ENSAYO DE BLACK START

A pesar de haber la probabilidad muy baja de la parada general de la ITAIPU, hay una posibilidad de tener la ocurrencia y los operadores deben ser capaces de realizar el autorestablecimiento. Así la capacitación frecuente es importante para mantener las equipos en tiempo real entrenadas y expertas en acciones operativas requeridas en un auto restablecimiento.

Realizar los Ensayos de forma periódicas es la garantía de que los equipos necesarios para llevar a cabo el autorestablecimiento están aptos a operar, demostrando así la capacidad de autorestablecimiento llena de ITAIPU Sector 50Hz .

#### 3.1 Definición de la Sistemática de Capacitación

Todos integrantes de los equipos de Operación de la Usina y Subestaciones serán reciclados operacionalmente en las maniobras asociadas al ensayo de Black Start, independiente del hecho de participar o no directamente del ensayo semestral. La capacitación operacional es dividida en dos partes, siendo:

- Primera parte: Capacitación teórica, con la realización de disertaciones específicas referentes al ensayo de Black Start del Sector 50Hz, teniendo como referencia las directrices básicas y la instrucción de la Operación de la Usina “Maniobra de la Central 05.15”.
- Segunda parte: Capacitación práctica operacional, referente a los siguientes temas: Partida y parada de los Generadores Diesel de Emergencia; Sincronismo de los dos Generadores Diesel de Emergencia del Sector 50Hz; Partida y colocación en carga de los Generadores Diesel de Emergencia, alimentando el Servicio Auxiliar del Sector 50Hz; Energización del Servicio Auxiliar de una Unidad Generadora del Sector 50Hz, a través de fuente de emergencia, con tensión proveniente de los Generadores Diesel de Emergencia y, Accionamiento y acompañamiento de la partida de una Unidad Generadora, con su Servicio Auxiliar siendo alimentado por el Generadores Diesel de Emergencia.

### 4. EJECUCION DEL ENSAYO DE BLACK-START

El ensayo reproduce las condiciones reales de Auto restablecimiento de la Central de ITAIPU 50Hz, es decir, unidades generadoras son conectadas y sincronizadas sin la utilización de fuente externa y consiste básicamente en: Accionar la partida del número mínimo de Unidades generadoras, a partir de la condición “reposo”, con sus servicios auxiliares proporcionados por el (los) Grupo(s) Diesel de Emergencia, hasta que se obtenga la condición mínima exigida para el restablecimiento de la línea con tensión y frecuencia especificados. Para el caso de la Central de ITAIPU 50Hz, las condiciones mínimas son las siguientes:

- Una Unidad Generadora sincronizada a una de las barras de 500kV;

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

- Tensión en la(s) Unidad(es) Generadora(s) ajustada aproximadamente en 16,2kV (esto corresponde a aproximadamente 460kV en la barra de 500kV); y
- Frecuencia estabilizada en 50,0Hz.

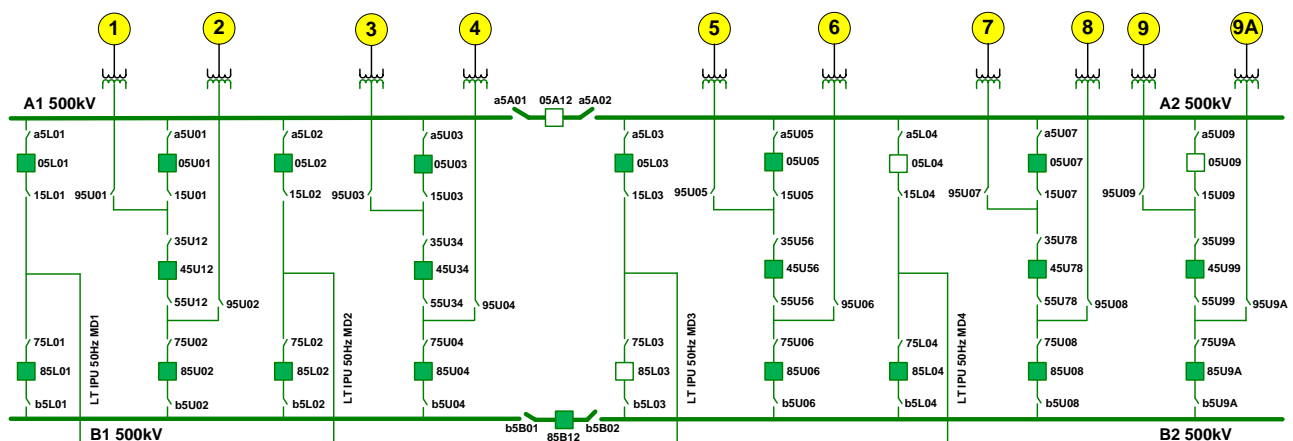
Como consecuencia natural del ensayo se evaluará también la capacidad de los equipamientos y de los equipos de Operación para efectuar las maniobras necesarias específicas para la recomposición en estas condiciones.

En el día 13 de marzo de 2016, fue realizado – con éxito, el 5° Ensayo de Black Start del Sector de 50Hz de la ITAIPU BINACIONAL. Ese ensayo fue realizado, utilizándose el Conjunto 3 citado en el ítem 2.2 para hacer parte del ensayo.

Antes del inicio del ensayo, todas las Unidades del Sector de 50Hz se encontraban operando con aproximadamente 460MW, todas las líneas e barras energizadas.

Las maniobras de preparación del Ensayo del Black Start fueron coordinadas por el Despacho de Carga de la ITAIPU, que efectuó la liberación posterior del inicio del ensayo. La condición inicial está presentada en la figura 2 y consistió en la preparación de la formación de una isla de las unidades U05 y U07 con la barra A2 y la línea LT IPU 50Hz MD - 3 a través de las siguientes maniobras:

- U05 y U07, la reducción de la generación a cero;
- Apertura de interruptores 05A12, 85L03, 05L04 y 05U09; y
- Apertura de disyuntores del otro extremo de la línea LT IPU 50Hz MD - 3;



**Figura 2: Condición inicial del Sector 50Hz para el Ensayo de Black Start**

A las 7:24h, inicia la prueba por el comando de parada simultánea de los generadores U05 y U07, la figura 3 presenta esta condición. La Tabla 1 presenta la temporización de los eventos relevantes del Ensayo.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

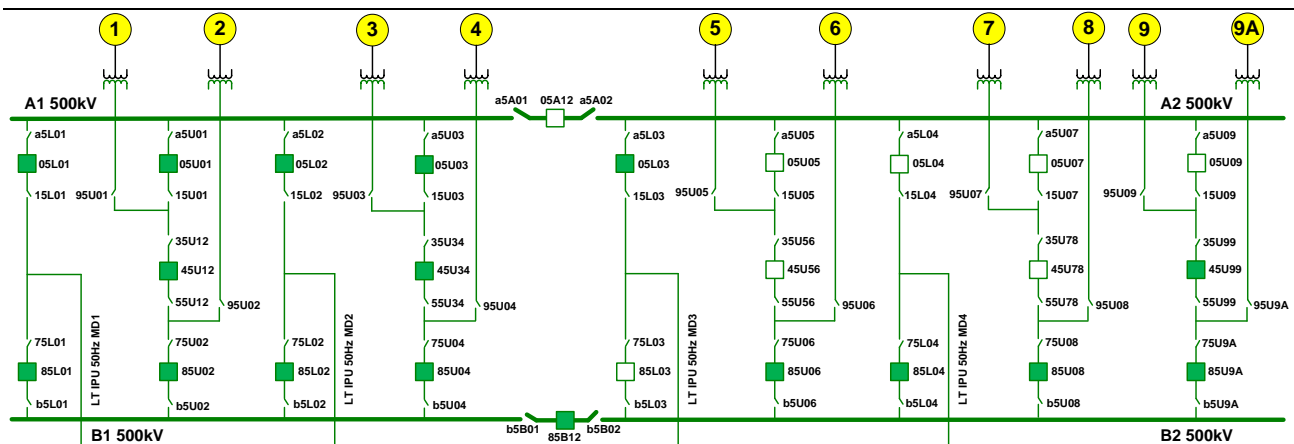


Figura 3: Ensayo de Black Start

Tabla I: Secuencia de eventos/ maniobras

Tempo T <sub>0</sub> = 7:24:51 h	Evento	
t <sub>0</sub> + 00,053s	U05 INT 05U05 A-17	ABIERT
t <sub>0</sub> + 00,053s	U5/06 INT 45U56 A-18	ABIERT
t <sub>0</sub> + 00,109s	U05 INT 52-1 UMCC-05	ABIERT
t <sub>0</sub> + 00,233s	U07/08 INT 45U78 A-23	ABIERT
t <sub>0</sub> + 00,240s	U07 INT 05U07 A-22	ABIERT
t <sub>0</sub> + 00,281s	U07 INT 52-1 UMCC-07	ABIERT
t <sub>0</sub> + 01,974s	U05 .INT 52-2 UMCC-05	CERRAD
t <sub>0</sub> + 02,079s	U07 .INT 52-2 UMCC-07	CERRAD
t <sub>0</sub> + 28,551s	LT_IPU_MD3 INT 05L03 A-15	ABIERT
t <sub>0</sub> + 47,000s	GD-01 e GD02	PARTIDA
t <sub>0</sub> + 7min26s	SSAA_50 AUXILIAR_CA INT 52B CS-01	CERRAD
t <sub>0</sub> + 7min53s	U05 UN TOTALMENTE PARADA	
t <sub>0</sub> + 7min58s	U07 UN TOTALMENTE PARADA	
t <sub>0</sub> + 8min26s	U07 UN LISTO PARA OPERACION	
t <sub>0</sub> + 10min50,384s	U07p . INT 52-2 UMCC-07	ABIERT
t <sub>0</sub> + 11min46,218s	U07 . INT 52-3 UMCC-07	CERRAD
t <sub>0</sub> + 14min21s	U07 .ULP-07 04X12	PARTIDA
t <sub>0</sub> + 17min31,768s	U07 . INT 52-3 UMCC-07	ABIERT
t <sub>0</sub> + 17min36,670s	U07 . INT 52-1 UMCC-07	CERRAD
t <sub>0</sub> + 19min4,000s	U07 - TENSION	AJUSTE
t <sub>0</sub> + 19min36,596s	SF6_50 . U07 INT 05U07 A-22	CERRAD
t <sub>0</sub> + 33min54,125s	LT_IPU_MD3 INT 05L03 A-15	CERRAD

En la secuencia de eventos presentada en la tabla 01 es posible verificar las siguientes acciones:



**XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**25 y 26 de Agosto de 2016**

- 
- Comando de parada manual de las unidades U05 y U07, simultáneamente con la desenergización de la barra A2 y línea LT IPU 50Hz MD - 3;
  - La apertura manual del interruptor 05L03, trayendo la desconexión de la barra A2 de la LT IPU 50Hz - MD 3;
  - Accionada la partida de los Generadores Diesel de Emergencia GD.01 y GD.02 y efectuado su sincronismo;
  - La U05 no se hubo la señalización "U05 LISTO PARA OPERACIÓN";
  - Alimentado el Centro de Control de los Motores de la Unidad 07 (UMCC.07) via GD.01 y GD.02;
  - Accionada partida de la Unidad 07;
  - Ajustada la tensión y la frecuencia en 50Hz de la Unidad 07;
  - Energizada la Barra A2 de 500kV;
  - Energizada la línea LT IPU 50Hz MD – 3;
  - Informado al Despacho de Carga de la ITAIPU la finalización del ensayo.

OBS: Apó 19 minutos del inicio del Ensayo de Black Start, ya era posible efectuar la energización de la LT IPU 50Hz - MD 3.

El Ensayo de Black Start fue encerrado a las 7:58h por la energización de la línea LT IPU 50Hz - MD 3, hubo un retraso debido las dificultades presentadas en la partida de la U05.

Completado el Ensayo de Black Start, fue coordinada la normalización de la planta cerrando el paralelo del conjunto en prueba con el sistema eléctrico por el disyuntor 45U78 interruptor. En la secuencia foran cerrados los disyuntores 05U09, 05L04, 85L03 y 05A12, también se normalizo la otra extremidad de la línea LT IPU 50Hz - MD 3.

#### **4.1 Contratiempos en la U05**

La U05 presento un problema en lo solenoide "BB" que permaneció atracado, no volviendo a la posición "PARADA", por lo tanto, no hubo permisivo para la unidad operar después de su parada total, "SUPER / CONTROLADOR DE UN LISTO OPERACION". Esto impidió la partida de esta Unidad Generadora.

También hubo la información de zapatas de freno N ° 19 atrapada después de la parada de la Unidad Generadora U05. El problema fue solucionado de acuerdo con los procedimientos internos, y no causaran falta de disponibilidad en esta unidad. Los problemas fueran resueltos por la Operación a las 8:40h después de la finalización del ensayo que ocurrió solamente con la Unidad Generadora U07.

## 5. CONCLUSIÓN

La preparación de las maniobras para realizar el ensayo se realizaron con seguridad y consumirán solamente 24 minutos. La reducción en la generación de las U05 y U07 se llevó a cabo simultáneamente en una rampa de 420 MW/10 min no causando variaciones significativas de frecuencia.

El tiempo total de la prueba fue de 33 minutos. La duración del ensayo fue influenciado principalmente debido a las dificultades que se presentan a partir de la Unidad Generadora U05, que el propio equipo en tiempo real trato de resolver. Así consideramos el Ensayo de Black Start muy satisfactorio donde destacamos: Comando de parada de las unidades generadoras a cabo simultáneamente (simulación de la condición real); Ajuste de la unidad generadora de tensión y frecuencia deseada antes de la energización del barramiento;

Entonces concluimos, que la realización del Ensayo de Black Start en una Central Hidroeléctrica, así como ocurrió en ITAIPU, puede y debe ser conducido en el sentido de permitir una evolución de conocimiento no solo de los equipos de Operación, sino también de todos los equipos involucrados con la central.

Los problemas presentados en el decurso del ensayo también son una grande oportunidad para los equipos testar sus habilidades de solución de problemas y conocer los equipos y su comportamiento.

Resaltamos que el ensayo de BlackStart en la Itaipú Binacional, fue conducido de tal forma que fue visible el nivel de motivación alcanzado en todos los integrantes de los equipos de Operación, desde el inicio de los cursos de capacitación hasta el momento de la ejecución del ensayo.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

---

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Junior, Luiz C. G. de S; Bordin, E. F.; “Ensaio de Black Start na Usina de Itaipu 60Hz.”2º SENOP; 2006.
- [2] Departamento de Operación de la Usina de Itaipu; “Instrucciones de Operación – Teste de Autorrestablecimiento da Usina Hidroelétrica de ITAIPU 50Hz”; 2015.
- [3] Departamento de Operación de la Usina de Itaipu; “Relatório de Evento Relevante RER 04/2016”; 2016.