

Análisis para el Inicio del Restablecimiento de la Zona 4 del S.N.I. posterior a un “Black-out” considerando el Arranque en Negro de las Unidades de la Central Mazar

M. A. Maldonado

V. A. Llivichuzhca

Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC E.P., Unidad de Negocio Hidropauta

Resumen— El presente documento tiene por objeto realizar un estudio para el inicio del restablecimiento de la zona 4 a través de la energización de los servicios auxiliares de las unidades de generación de la central Molino mediante las unidades de la central Mazar, a través del circuito 2 de la línea de transmisión Zhoray – Molino a 230 kV.

Para esto es necesario primeramente energizar la subestación Zhoray, posteriormente energizar la Subestación Molino y consecuentemente el Centro de Fuerza Molino de 13,8 kV a través del devanado terciario de los Autotransformadores AT2.

Para poder determinar la factibilidad de la propuesta, se realizaron las pruebas pertinentes, en coordinación con el CENACE, para simular la condición de un Black-out, donde se pudo apreciar que el tiempo necesario para sincronizar una unidad en barra muerta y energizar la barra 2 de la subestación Zhoray es de 6 minutos aproximadamente.

Cabe señalar que la prueba de energización del autotransformador AT2 no se realizó debido a problemas presentados en uno de los equipos de la subestación Molino.

Palabras clave— Black-out, Arranque en negro, Energización, Servicios auxiliares.

Abstract— The purpose of this paper is to study the start of restoring processes of the Zone 4 by energizing auxiliary services of the Molino power plant generating units, through the Mazar power plant units, through Circuit 2 of the Zhoray-Molino 230 kV transmission line.

In order to do this, it would be necessary firstly energize the Zhoray substation, followed by energizing the Molino substation, and finally the Molino 13.8 kV power supply center through the tertiary windings of the AT2 Autotransformers.

To determine the proposal's feasibility, relevant tests were carried out in coordination with the CENACE to simulate the Black-out condition, and it was found that approximately 6 minutes is needed to synchronize a dead busbar and energize busbar 2 of the Zhoray substation.

The AT2 autotransformer energizing test was not carried out due to equipment problems in the Molino Substation.

Index Terms— Black out, Black Start, Energizing, Auxiliary Services.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas eléctricos de potencia tienen como función suministrar energía a los consumidores con altos niveles de calidad, seguridad y confiabilidad. Al estar conformados por una gran cantidad de componentes que pueden fallar en un determinado momento y de manera aleatoria, el sistema puede enfrentarse a problemas que pueden conllevar un colapso parcial o total del mismo, en el Ecuador también ha sucedido este tipo de colapsos en su sistema por ejemplo en la última década se ha presentado dos ocasiones en los años 2003 [1] y 2004 [2].

Por tal razón es necesario contar con un plan de emergencia para resolver este tipo de contingencias en el menor tiempo posible. El CONELEC a través de la Regulación No. CONELEC-006/00 [3] establece los procedimientos básicos a seguir ante este tipo de sucesos, así como las jerarquías entre las instituciones encargadas de la coordinación y ejecución de maniobras necesarias para el restablecimiento del mismo.

Entre los procedimientos básicos a seguir se encuentra la conformación de islas eléctricas, dentro de las cuales existen centrales de generación cuyas unidades tienen la característica de “arranque en negro”, además, se establecen los niveles de frecuencia, tensión y circuitos que deben ser considerados ante estas contingencias por parte de los agentes encargados de iniciar el restablecimiento del sistema.

En la actualidad la Central Molino al ser la central con mayor potencia de generación, es prioritario que después de un Black-out, se realice la energización de su Centro de Fuerza que alimenta a todos los auxiliares de la Central sin embargo, sus limitaciones tecnológicas actuales incorporan tiempos de arranque en negro considerables (de 20 a 30 min); no así la Central Mazar que con sus características tecnológicas y operativas reduciría estos tiempos a 6 minutos, si se dispone de una unidad lista para arrancar y 13 minutos si se considera la parada y arranque de la unidad, cabe recalcar que estos tiempos son considerados únicamente para la sincronización de barra muerta, a estos tiempos hay que incorporarles el necesario para la ejecución de las maniobras de energización de la subestación Molino y por consiguiente los servicios auxiliares de la central Molino.

Adicionalmente, a más de poseer la característica de arranque en negro, para dar inicio al restablecimiento de la zona, se requiere que las unidades posean sistemas de control de tensión y frecuencia en una red aislada, características que poseen las unidades de la central Mazar, en las cuales los reguladores de velocidad pueden operar en esta cualidad conmutando su modo de control a operación en “Red Aislada” y de esta forma se puede alimentar el centro de fuerza de la central Molino con niveles de tensión y frecuencia adecuados.

2. REVISION DE LA NORMATIVA VIGENTE

La Regulación No. CONELEC-006/00 [3] publicada por el Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, establece los procedimientos básicos para la restauración del SNI después de un colapso parcial o total, dentro de la misma se establece las disposiciones que los diferentes actores deben cumplir. El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) será el encargado de valorar la situación y coordinar con el COT y COs los pasos o maniobras para el inicio del restablecimiento.

El principal objetivo de este procedimiento es conseguir el restablecimiento del SNI en el menor tiempo posible, garantizando la seguridad del personal, equipos y continuidad del servicio, para esto, el CENACE ha definido la conformación de 4 Subsistemas o Zonas Eléctricas, dentro de las cuales deben existir centrales que posean unidades con la característica de arranque autónomo o arranque en negro y que puedan realizar control de frecuencia en forma manual, para el presente estudio la zona de interés es la zona 4, la cual está conformada de la siguiente manera: **Figura 1 : Diagrama del sistema CDI**

Tabla 1 : Zona No.4 Molino – Riobamba – Milagro.

Empresas de generación	Subestaciones	Empresas de distribución
Central Paute-Molino.	Molino (230/138 kV)	Regional Centro Sur
Centrales de ELECAUSTRO	Milagro (230/69/138 kV)	Regional Sur
Regional Sur S.A.	Riobamba (230/69 kV)	Milagro C.A.
Riobamba S.A.	Cuenca (138/69 kV)	Los Ríos S.A.
Bolívar S.A.	Loja (138/69 kV)	Riobamba S.A.
Milagro C.A.	Babahoyo (138/69 kV)	Guayas – Los Ríos S.A.
		Azuagues S.A.
		Bolívar S.A.

Fuente: Regulación No. CONELEC-006/00 [3] Procedimientos de despacho y operación

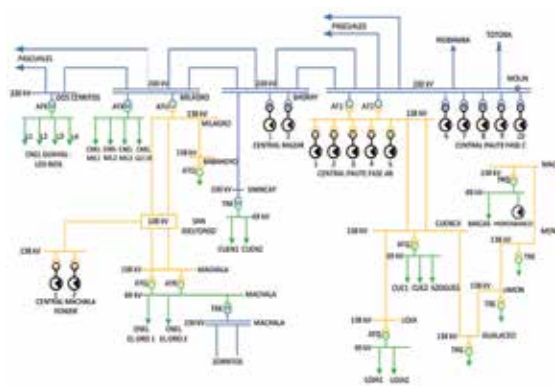


Figura 1 : Conformación del Subsistema o Zona 4 del SNI [4]

Dentro de esta zona la principal central que tiene unidades con capacidad de arranque en negro es la central Paute-Molino unidades que serían las utilizadas para el restablecimiento de la Zona 4 en el caso de presentarse un colapso total del sistema. Como es evidente dentro de este procedimiento no se incluyen las unidades de la central Mazar, que también poseen la característica de arranque en negro y se encuentran junto con la subestación Zhoray dentro de la zona geográfica que abarca la Zona 4. Por lo tanto el presente análisis pretende poner a consideración del CENACE y CONELEC, los procedimientos desarrollados en este estudio para que, de ser pertinente, sean incorporados dentro de los procedimientos para el restablecimiento del SNI después de un colapso total.

3. CENTRAL MAZAR

La central hidroeléctrica Paute-Mazar a partir del año 2010 inicio su proceso de operación con las dos unidades que la conforman, brindando estas un importante aporte al sistema nacional interconectado.

3.1. Arranque en Negro “Black Start”

La Central Mazar posee diferentes fuentes de alimentación para los servicios auxiliares, las cuales son conmutadas de acuerdo a la lógica establecida en SDSC; en condiciones normales, es decir, con la(s) unidades sincronizadas los servicios auxiliares se alimenta de esta(s), o de lo contrario si las unidades se encuentran en reposo, estos se alimentan de las líneas de transmisión a 13,8 kV Presa-Mazar1 o Presa-Mazar2 provenientes del centro de fuerza de la Presa Daniel Palacios como se muestra en la Fig.2.

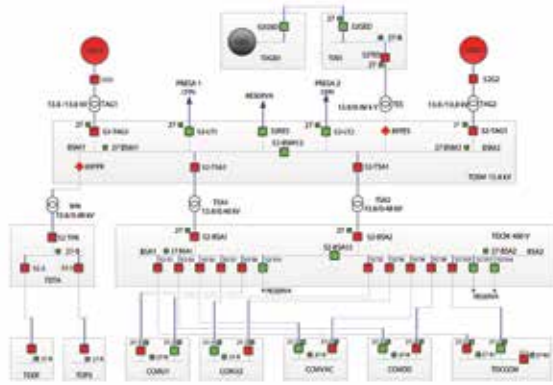


Figura 2 : Diagrama unifilar de los servicios auxiliares de la central Mazar

En el caso de ocurrencia de un colapso total Black-Out donde no se dispondría de la auto alimentación por medio de las unidades, ni de las líneas provenientes del centro de fuerza de la Presa Daniel Palacios, Presa1 y Presa2, se dispone de un generador de emergencia a diesel GED cuya potencia es de 1MVA con una tensión de 480V, el cual arranca automáticamente 10 segundos después de haber detectado que no hay presencia de tensión en las demás fuentes de alimentación e inicia la toma de carga 30 segundos después.

Luego del arranque del generador de emergencia y de la confirmación de que exista la presencia de tensión en los servicios auxiliares de la central se podrá realizar el arranque autónomo de la unidad “Black start”.

Para la operación del generador de emergencia se dispone de un tanque de reserva de diesel de 5000 galones, que permite garantizar la disponibilidad de combustible para la operación de dicho generador.

3.2. Operación Aislada de las Unidades de la Central Mazar.

Para la operación aislada de las unidades de la central Mazar se requiere de sistemas que permitan controlar

los diferentes parámetros necesarios para garantizar adecuados niveles de tensión, frecuencia, etc. mismos que se describen brevemente a continuación

Control de tensión y potencia reactiva

El sistema de excitación de las unidades de la central Mazar permiten realizar el control de la tensión en bornes del generador o la potencia reactiva del mismo a través de su Interfaz Hombre – Máquina (IHM) o desde el SDSC para el control de la tensión, manteniendo los parámetros dentro de los establecidos por la curva de capacidad del generador. Adicionalmente, desde el SDSC se puede controlar directamente la tensión de la barra correspondiente en la Subestación Zhoray, considerando siempre los márgenes de operación segura del generador. [5]

Control de frecuencia y potencia activa.

Las unidades de la Central Mazar poseen diferentes tipos de control en el sistema de regulación de velocidad, en el IHM del tablero de control del regulador de velocidad se puede seleccionar cada uno de los diferentes tipos de control, estos se describe brevemente a continuación.

Regulación de apertura.- Este modo de control solo es posible con la unidad sincronizada, es decir con el interruptor cerrado y la velocidad dentro de los límites permitidos. La regulación de apertura actúa directamente en el bucle de regulación de posición para los alabes directrices, el valor establecido en la consigna es comparado con el límite de apertura establecido y fija el menor de los dos. [6]

Regulación de potencia.- En este modo de operación, la consigna de potencia es enviada al regulador de velocidad, el cual a través de la curva característica de la turbina (curva de colina) determina la apertura de los alabes directrices para alcanzar la potencia deseada rápidamente, pero debido a las variaciones posibles en la altura neta, no siempre se alcanza la potencia deseada con precisión, por lo cual automáticamente corrige la desviación que pudiera presentarse, este modo de operación se encuentra presente durante la operación normal de las unidades. [6].

Detección de red aislada.- Este modo de operación permite monitorear cualquier falla en la red, ya que en régimen interconectado, el regulador de velocidad monitorea constantemente la frecuencia de la red y si se verifica que la turbina está abandonando la banda de velocidad, conmuta automáticamente a este modo y mantiene la velocidad dentro de los parámetros

establecidos. Este modo también puede ser colocado por el operador desde el IHM del regulador de velocidad en cuando sea necesario, por lo tanto este modo permite mantener la frecuencia dentro de los parámetros que han sido establecidos en el mismo.

4. SIMULACIÓN DE BLACK-OUT Y PRUEBAS DE SINCRONIZACIÓN DE LA CENTRAL MAZAR

Con la finalidad de energizar el Centro de Fuerza Molino para que las unidades de dicha central puedan disponer de una fuente de alimentación para sus servicios auxiliares que les permitan garantizar su proceso de parada y/o re-arranque de sus unidades y continuar con el restablecimiento de la zona 4 del SNI en el menor tiempo posible, se realizaron en semanas anteriores un simulacro coordinado con los diferentes actores para verificar el planteamiento indicado anteriormente.

4.1. Energización del Centro de Fuerza Molino, a Tráves del Circuito 2 de la Línea de Transmisión Zhoray – Molino de 230 Kv.

La alternativa planteada considera el circuito 2 de la línea de transmisión que une las subestaciones Zhoray y Molino a 230 kV, el uso del circuito 2, se debe a lo establecido en el Procedimiento de Despacho y Operación, donde se indica que dichos circuitos deben ser usados para el restablecimiento del sistema ya que los circuitos 1 poseen protección de sobrevoltaje. Para esto se energiza la subestación Zhoray, posteriormente se energiza la Subestación Molino y consecuentemente el Centro de Fuerza Molino de 13,8 kV a través del devanado terciario de los Autotransformadores AT1 y/o AT2, el diagrama de interconexión se presenta en la Fig. 3.

Previo a energizar la línea Mazar – Zhoray 2, el CENACE, COT y CELEC, realizaron las maniobras necesarias para simular la condición de Black-out en las instalaciones involucradas [7].

El tiempo necesario para sincronizar una de las unidades en barra muerta dependerá de las condiciones previas a la ocurrencia del Black-Out, las pruebas se realizaron con las 2 unidades en reposo previo a la simulación y lista para arrancar, en esta condición el tiempo necesario para la sincronización fue de 6 minutos.

En el escenario, de que las dos unidades se encuentren sincronizadas al sistema previo a la ocurrencia de la falla y en el instante que se presente la misma se presenta la actuación de uno de los relés de

bloqueo, que lleva a las unidades al paro total, debido a la actuación de las protecciones por causas externas, de tal forma que al momento de salir de sincronismo la unidad, la falla desaparezca permitiendo el rearme de las protecciones. De ser el caso, previo a un nuevo arranque de una unidad, la misma debe alcanzar el estado de Unidad Aislada ya que el sistema no permite realizar “re-arranque” cuando se ha presentado la actuación de uno de los relés de bloqueo. Para esto se requiere de un tiempo mínimo de 7 minutos (parada), de acuerdo con estudios realizados, y más el tiempo necesario para el arranque, el tiempo total para sincronizar en barra muerta una unidad oscilará alrededor de 13 minutos.

Luego de energizar una de las barras de la S/E Zhoray, el CENACE y Transelectric coordinan las maniobras de energización de la línea Zhoray – Molino 2, con la intención de energizar la barra 2 en 230 KV de la Subestación Molino, para esta maniobra se procedió a disminuir al mínimo la tensión del generador 13,1 kV, y debido a las condiciones de configuración de la red fue necesario modificar los setting del regulador de tensión a 94% de la tensión nominal, alcanzando un valor mínimo de 12,9 kV en bornes del generador, maniobra requerida durante la prueba para lograr un valor de tensión adecuado al nivel de barra de alta tensión.

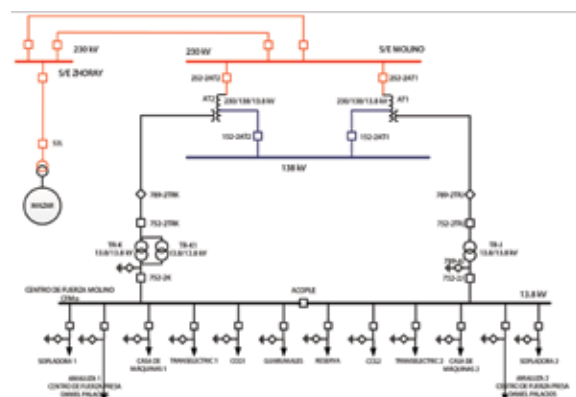


Figura 3 : Diagrama de interconexión entre la Central Mazar y el Centro de Fuerza Molino a través de la red de 230 kV

Cabe señalar finalmente que debido a ciertos inconvenientes presentados en uno de los interruptores de la subestación Molino la prueba no pudo ser terminada en su totalidad, quedando pendiente para un posterior ensayo verificar y validar el procedimiento de energización de uno de los autotransformadores de la subestación Molino alimentados desde la central Mazar.

Es importante indicar que la prueba mencionada anteriormente facilitó identificar ciertos puntos de mejora en diferentes sistemas de la planta, puntos

que fueron analizados, adecuados o mejorados posteriormente, entre estos podemos indicar:

- En el sistema SDSC se desarrolló tres lógicas que permiten al operador mejorar su respuesta ante la presencia de un Black-out en el sistema:
- Lógica para detectar condiciones de Black-out en el sistema, la cual presenta al operador una alarma en el despliegue de control de unidades, de tal manera que el operador pueda ser alertado de tal situación.
- Lógica para la detección automática de Barra Muerta que permita al operador confirmar esta condición vía comando y realizar el sincronismo de la unidad en Barra Muerta.
- Lógica que envía una señal al regulador de velocidad para que este sistema conmute automáticamente a modo de Red Aislada inmediatamente después del cierre del interruptor principal en condición de barra muerta.
- Verificación de los setting de los relés de sobre voltaje de las unidades los mismos se encuentran ajustados de acuerdo a las recomendaciones del fabricante 110% 5 seg -130% 0,1 seg para las dos unidades, cabe señalar que el relé de bajo voltaje no se encuentra habilitado.
- Se realizaron pruebas de sincronismo en barra muerta de las unidades de generación para verificar la respuesta de los reguladores de velocidad. Se ha determinado que la Unidad 01 presenta mejores condiciones para el control de frecuencia en Red Aislada. La unidad 02 presenta oscilaciones en el control de frecuencia.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se confirmó la validez de los procedimientos desarrollados para la sincronización en barra muerta de las unidades, y se adecuaron mejoras para confirmar "Barra Muerta" previo a la orden de sincronización desde el SDSC que es inmediato.
- El tiempo necesario para arrancar y sincronizar la unidad en barra muerta, bajo el escenario de reposo de la misma durante la falla alcanzó los 6 minutos
- Se aprecia que el tiempo necesario para que se estabilice la frecuencia en los valores recomendados es relativamente largo.
- La absorción de reactivos durante la energización de los diferentes elementos se realizó con normalidad sin llegar a límites de inestabilidad de la unidad.

- Las maniobras necesarias para energizar la barra 2 de la Subestación Zhoray y la línea de transmisión Zhoray- Molino 2 se realizaron exitosamente. La energización de la barra 2 de 230 kV de la Subestación Molino y de su Autotransformador AT2 no se realizaron debido a inconvenientes presentados durante la prueba.
- Determinar si el tiempo de estabilización de la frecuencia del generador es adecuado o de lo contrario realizar los ajustes para mejorar la respuesta del regulador de velocidad, ó a su vez analizar si el rango de frecuencia en estado de emergencia es el apropiado en la normativa.
- Realizar los estudios de estabilidad cuando una unidad de la central Mazar se interconecte con la central Molino con baja carga y confirmar que la energización del AT2 de la Subestación Molino desde Mazar no presentaría problemas de ferro-resonancia mediante un análisis eléctrico.
- Se debe coordinar con los diferentes actores la realización de nuevas pruebas las que sean necesarias para verificar o validar procedimientos, e identificar puntos de mejora.
- Con la validación de las pruebas de arranque en negro de las unidades de la central Mazar y energización de los auxiliares de la central Molino a través de la L/T Zhoray-Molino 230 kV circuito 2 se plantearía este procedimiento como una alternativa para el inicio del restablecimiento de la zona 4 en estado de emergencia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración del personal de CENACE, TRANSELECTRIC, HIDROPAUTE por la cooperación brinda durante las pruebas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Supervisión de Operación Molino., "Informe de falla IF01-2003". Central Molino.
- [2] Supervisión de Operación Molino., "Informe de falla IF02-2004". Central Molino.
- [3] CONELEC, Regulación No. CONELEC – 006/00, Procedimiento de despacho y operación, 2000.
- [4] TRANSELECTRIC, SISTEMA NACIONAL DE TRANSMISION, disponible en línea <http://190.90.144.25/real/INDEX.asp?zoom2=1>

- [5] Alstom, Manual de Operación y Mantenimiento del Regulador de Tensión, 2010.
 - [6] Voith-Siemens, Manual de Operación y Mantenimiento del Regulador de Velocidad, 2010.
 - [7] CENACE, Ficha de Moniobras CENACE No. 101 - 2013, 2013.
-



Miguel Ángel Maldonado O.- Nació en Atahualpa – El Oro en 1982. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad de Cuenca en 2011. Se encuentra realizando sus estudios de Maestría en Administración de Empresas en la Universidad de Especialidades Espíritu Santo. Actualmente labora en el área de operación en la Unidad de Negocio Hidropaute de CELEC EP.



Vicente Alejandro Llivichuzhca P.- Nació en Cuenca en 1980. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana en 2006. Realizó sus estudios de Maestría en Sistemas Eléctricos de Potencia en la Universidad de Cuenca, y sus áreas de interés e investigación se encuentran relacionadas con la operación económica, planificación con procesos de optimización, operación de centrales eléctricas. Actualmente labora en el área de operación en la Unidad de Negocio Hidropaute de CELEC EP