

IMPLEMENTACION DEL BLACK START EN LA CENTRAL HIDROELECTRICA MARCEL LANIADO DE WIND

Rodrigo Aguilera Mocha¹, Tomás Chávez², Camilo Varas Cordero³, Juan Saavedra⁴

¹Egresado de Ingeniería en Electricidad en Potencia 2003

²Egresado de Ingeniería en Electricidad en Potencia 2003

³Egresado de Ingeniería en Electricidad en Potencia 2003

⁴Director de Tópico, Estudios de Ingeniería Eléctrica en la ESPOL, BS de Ingeniería, 1969; Postgrado en Universidad Missouri-Rolla, EEUU, 1971; Profesor de la ESPOL desde 1971.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo la implementación del Sistema de Arranque Autónomo o Black Start de las unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado De Wind.

Todos los sistemas de potencia requieren que se establezcan contingencias de manera que puedan reiniciarse sin problemas en el hipotético caso que todo o parte del sistema colapse. El proceso de restauración de un Sistema de Potencia es comúnmente denominado Arranque Autónomo o Black Start, esto permite que centrales de generación, que son arrancadas aisladamente, se puedan conectar entre sí formando otra vez un subsistema interconectado.

Para el diseño e implementación del proyecto se siguieron principalmente dos consignas: primero, minimizar los costos modificando los equipos existentes; y segundo, mantener el nivel de automatización de la Central.

INTRODUCCION

La Central Hidroeléctrica Marcel Laniado De Wind tiene una capacidad de generación de 213 MW, compuesta por 3 Unidades de Generación de 71 MW cada una. Posee un embalse que almacena 6000 millones de m³ de agua posibilitando a la Central, tener una regulación del tipo anual, lo cual permite que pueda generar mayor cantidad de energía en los meses de estiaje (noviembre a febrero).

Sin embargo, la Central no poseía un sistema de arranque autónomo por lo que necesitaba energía del sistema para arrancar, esto provocaba que en el momento de un colapso total o parcial del SNI (en el cual se perdiese la alimentación de energía) la Central no pudiese arrancar. Este problema la limitaba también para el funcionamiento en Red Aislada.

Siendo una central de generación muy importante dentro del sistema eléctrico ecuatoriano, se hacía imprescindible la implementación del sistema de arranque autónomo o Black Start.

MODIFICACIONES REALIZADAS

Para la implementación del Sistema de Black Start y la configuración de operación en Red Aislada, se modificaron 5 subsistemas (ver figura 1) y los cambios fueron realizados idénticamente en las 3 Unidades.

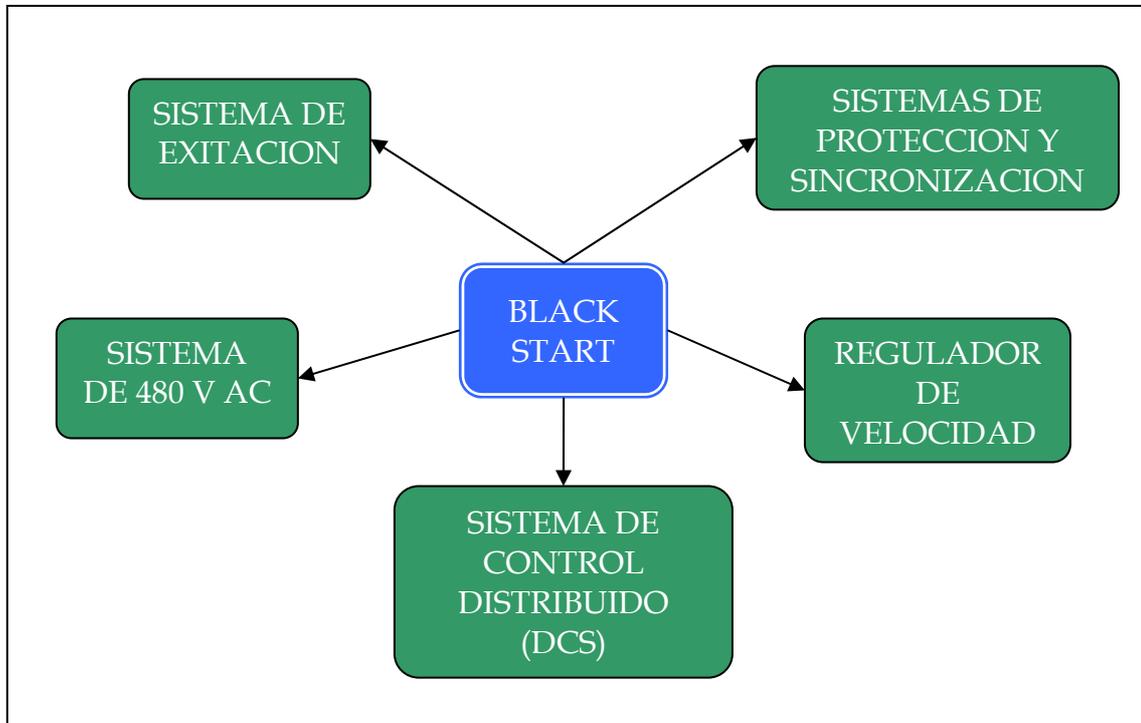


Figura 1. Detalle de Sistemas Modificados

- **Sistema de Alimentación de 480 Vac**

Todos los sistemas de control y de proceso para la generación toman la energía del Sistema de Alimentación de 480 Vac. Este sistema es alimentado directamente por los transformadores auxiliares instalados en las Unidades 2 y 3. Adicionalmente, se cuenta con una alimentación alternativa proveniente de una línea 13.8 KV de EMELGUR.

Para casos de emergencia, como colapsos del sistema, existe un generador auxiliar Diesel de 500 KVA a 480 V ac. Es de este generador que se tomó la alimentación para realizar el arranque autónomo de las Unidades. En la figura 2 podemos observar un esquema con todos los tipos de alimentación:

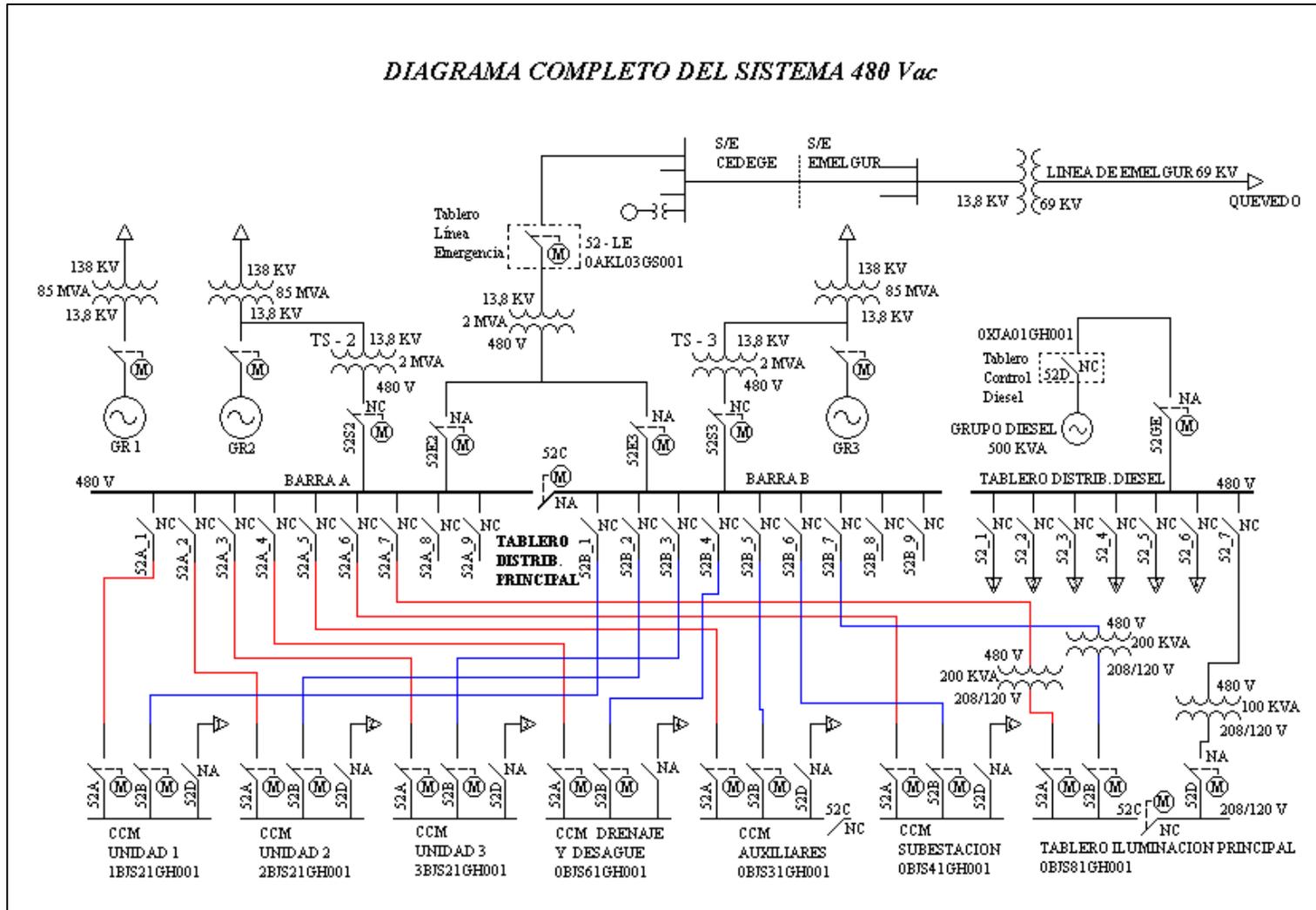


Figura 2. Sistema de Alimentación de 480 Vac

Se habilitó una alimentación directa desde el generador auxiliar a los ventiladores del sistema de excitación, puesto que el sistema permanece bloqueado mientras los ventiladores no encienden.

En un arranque en modo Black Start, se debe realizar la maniobra de transferencia de todos los sistemas que trabajan con 480 Vac a la alimentación desde el generador auxiliar Diesel.

- **Sistema de Excitación**

Los tres transformadores de potencia (uno por generador) permanecen energizados y al arrancar las Unidades se sincroniza en el lado de baja tensión a 13.8 KV. Sin embargo, ante un colapso del SNI, los transformadores se desenergizan. Al arrancar una Unidad en modo Black Start es necesario energizar su transformador.

Una energización del transformador al 100% del voltaje nominal provocaría que la Unidad arrancada en Black Start se disparara, esto debido a que el generador auxiliar no soporta la elevada corriente de magnetización o inrush producida.

Para solucionar el problema, se modificó la tarjeta de control del sistema de excitación, permitiendo cerrar el disyuntor de baja tensión y energizar el transformador al 30% de su valor nominal en el modo Black Start. Esto evita que se genere una elevada corriente de magnetización.

- **Regulador Electrónico de Velocidad**

En el Regulador se realizaron varias modificaciones, todas relacionadas con la operación de las Unidades en Red Aislada.

El estatismo permanente para generación aislada fue ajustado al 1%, este parámetro garantiza una rápida respuesta del regulador para mantener la frecuencia ante las variaciones de carga en la red local. Para operación interconectada, el valor del estatismo permanente está fijado al 4%.

La banda de velocidad para red aislada fue ajustada entre el 99% y el 101% de la velocidad nominal, con lo que la velocidad de la turbina queda restringida entre esos valores.

Adicionalmente, se conectaron los mandos remotos de aumentar y disminuir la referencia de frecuencia, con lo que queda habilitado el control desde el DCS (Sistema de Control Distribuido).

- **Sistema de Protecciones y Sincronización**

En el Sistema de Protecciones cuenta con relés de protección multifuncionales como es el caso del REG – 316 de la ABB. Este relé permite la configuración de varias

funciones de protección como son las de sobrecorrientes, diferenciales, etc., mediante el uso del programa MMI (Man Machine Interface)

Para la operación en Red Aislada, se programaron dos funciones, una para alta frecuencia, $81 > _N/BS$, y otra para baja frecuencia, $81 < _N/BS$. El valor de alta frecuencia fue ajustado a 62 Hz con un retardo de 60 segundos mientras que el de baja frecuencia a 58 Hz con retardo de 5 segundos, es decir, que si la frecuencia se mantiene por encima de 62 Hz por más de 60 segundos o por debajo de 58 Hz por 5 segundos, la Unidad se dispara o bloquea.

Del mismo modo, se programó un relé de bajo voltaje 27, este supervisa que no exista voltaje en el transformador cuando se arranca en modo Black Start. Está ajustado a 0.1 del voltaje nominal (13.8 KV) con un retardo de 2 segundos. Si este relé se encuentra desactivado (es decir, existe voltaje en el transformador), no se permitirá cerrar el disyuntor de bajo voltaje.

- **Sistema de Control Distribuido (DCS)**

Las modificaciones realizadas en el DCS agrupan los cambios hechos en los demás sistemas antes mencionados, puesto que todo el proceso de generación es controlado y supervisado por este sistema.

Se realizó un subprograma dentro del DCS con la lógica de control para el arranque en modo Black Start, a su vez se añadieron secuencias lógicas en los subprogramas existentes para la operación en Red Aislada.

Se modificaron 3 pantallas de visualización: las ventanas “Secuencia de Arranque”, “Mandos” y “Regulador de Velocidad”.

Para la pantalla de Secuencia de Arranque se adicionaron los pasos para el arranque en modo Black Start. Del paso 2 al paso 8, el DCS sigue la secuencia normal de arranque pero al llegar al 9, este se salta al paso 30 y sigue la secuencia hasta el paso 34 que es “Unidad en Generación Black Start” (ver figura 3).

En la ventana de Mandos se proporcionaron 5 pulsadores adicionales: 3 para el arranque autónomo de la Unidad (Black Start, Cerrar 52G y Volt 100%) y los 2 restantes para la operación en Red Aislada (Reset Gener Aislada y Gen Aislada). En la figura 4 podemos ver la pantalla de Mandos modificada.

El botón “Black Start” inicia la secuencia del arranque autónomo; “Cerrar 52G”, permite cerrar el disyuntor de baja cuando el voltaje del generador está al 30% del voltaje nominal; y “Volt 100%” lleva el voltaje del generador a su valor nominal.

“Gen Aislada” permite cambiar la Unidad, de generación en Red Interconectada a Red Aislada, mientras que “Reset Gener Aislada” lleva la Unidad de operación en Red Aislada a operación en Red Interconectada.

Finalmente, en la del Regulador de Velocidad, se añadieron los pulsadores para aumentar y disminuir la velocidad de la turbina.


11:17:52
Panel Secuencia - Unidad 2


Mandos

LUGAR	CONDUCCION	SECUENCIA
Sala de Control	Automatico	Automatica

Estado Inicial

Condiciones Iniciales No Satisfechas

0	Estado Inicial Cero-Dos Desconetado			
1	Unidad Parada	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr> <td style="background-color: cyan;">NIVEL DESCARGA</td> <td style="background-color: cyan;">22.65 m</td> </tr> </table>	NIVEL DESCARGA	22.65 m
NIVEL DESCARGA	22.65 m			

Secuencia de Arranque

3	Bombas en Marcha - Frenos Aplic. - Agua Enf. Ab.
4	Válvula Aisl Grupo de Bombeo Abierta (S20Q)
5	Bypass Válvula Mariposa Abierto
6	Válvula Mariposa Abierta
7	Desbl. Reg. de Veloc. (S65) - Frenos Desaplicados
8	Regulador Velocidad On
9	Excitación On - Parada Bomba Inyección
10	Unidad en Rotación en Tensión
11	Control Sincronismo Insertado
12	Turbina Aumento Apertura hasta Límite Técnico
13	Unidad en Generación

Secuencia de Black Start

30	Rotacion en tension 30%
31	Cerrar disyuntor 52G
32	Disyuntor cerrado con 30% Vn
33	Subir tension al 100%
34	Unidad en Generacion Black Start

Secuencia de Parada

14	Potencia Activa y Reactiva Cero
15	Disyuntor del Generador Abierto
16	Excitación Off - Arranque Bomba Inyección
17	Reg. Vel. Off - V. Marip. y Byp. Cerr. - RV Bloq. (S65)
18	Frenos Aplicados
19	Válvula Aisl. Grupo de Bombeo Cerrada (S20Q)
20	Bombas Off - Agua Enf. Cerrada - Frenos Desaplic.

Secuencia de Intervención Creep Detector

21	Frenos Aplicados - Bomba Inyección On
----	---------------------------------------

Bloqueos

40	Bloqueo Mecánico Unidad
50	Bloqueo Eléctrico Unidad - Paso 1
51	Bloqueo Eléctrico Unidad - Paso 2
52	Bloqueo Eléctrico Unidad - Paso 3

● MANUAL/INYECCION AIRE TURBINA

Figura 3. Ventana de Secuencia de Arranque



Figura 4. Ventana de Mandos

PRUEBAS REALIZADAS

Se realizaron 4 pruebas para comprobar el correcto funcionamiento del sistema implantado.

La primera prueba demostró que las Unidades arrancaran en modo Black Start. En la segunda, ocurrió una falla real en SNI, la Unidad 3 arrancó en modo Black Start. Sin embargo, al intentar energizar los transformadores de las Unidades 1 y 2, se produjo una elevada corriente de magnetización que provocó que la Unidad 3 se disparara.

En la tercera prueba, se energizó una línea de transmisión y se tomó carga con la Unidad arrancada en Black Start. Finalmente, en la cuarta prueba se definió el

procedimiento de arranque, en el cual se incluye la energización de dos transformadores al 30% del voltaje nominal.

RESULTADOS

La implementación del sistema de Black Start así como la habilitación de la operación en Red Aislada de la Central Marcel Laniado De Wind fueron realizadas con éxito.

A pesar de existir muchas formas de implementar el sistema de Black Start, el método utilizado en la Central le permitió minimizar los costos y mantener automatizado el proceso, modificando los equipos y sistemas existentes. Las modificaciones fueron realizadas de igual forma en las tres unidades.

La Unidad que arranca en modo Black Start recibe la alimentación inicial para sus sistemas proveniente del grupo Diesel; sin embargo, una vez arrancada, se realiza la transferencia en la barra de 480 V ac, dejando fuera al grupo Diesel y poniendo en servicio la alimentación proveniente de la misma Unidad.

Adicionalmente, se logró energizar dos transformadores simultáneamente arrancando una Unidad en modo Black Start, lo cual evita energizar al 100% de su voltaje nominal a los transformadores y permite arrancar una segunda Unidad en modo Normal o en Generación Aislada.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema de arranque en modo Black Start permitirá a la Central responder rápidamente ante un colapso del Sistema Nacional Interconectado (SNI) y además ayudar a la recuperación del mismo con la brevedad posible.

La operación en Red Aislada permite a la Central brindar el servicio eléctrico a un sector o red local del sistema interconectado en caso de que se realicen mantenimientos de líneas de transmisión o transformadores, o se produzca un colapso en el sistema. Con las modificaciones efectuadas, podemos variar los parámetros de operación en Red Interconectada a Red Aislada simplemente pulsando los botones en la ventana de mandos del DCS.

Se recomienda realizar una prueba de arranque en Black Start que energice simultáneamente los tres transformadores principales al 30% de su voltaje nominal para evitar energizarlos luego con el 100% de su valor nominal.

El sistema tiene la característica de que el Regulador de la Turbina de la Unidad que arranca en modo Black Start, permanece en Regulación de Velocidad y no permite el cambio a Regulación de Potencia o de Apertura de Alabes. El operador puede controlar la carga en Regulación de Velocidad pero su control no es exacto y es susceptible a las variaciones de frecuencia del Sistema, lo que limita la capacidad del operador. A esta Unidad (modo Black Start), se le debe dar parada para que luego pueda arrancar en modo Normal.

Este problema se solucionaría adicionando un permisivo a la lógica del DCS que admita el libre cambio de regulación en el Regulador de Velocidad de la Turbina.

En el caso de que se cambie la lógica del DCS, se sugiere que sea política operativa que los transformadores principales que se encuentren fuera de línea, se energicen al 30% de su voltaje nominal arrancando la Unidad de su grupo en modo Black Start y sincronizando luego en las barras de 138 KV de la S/E. Esto evitaría que se produzca una corriente inrush elevada en el transformador que cause daños en el mismo.

REFERENCIAS

- [1] T. CHAVEZ, R. AGUILERA, C. VARAS, J. SAAVEDRA, “La Implementación del Sistema Black Start de la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind”, (Guayaquil, 2004)
- [2] www.cedega.gov.ec/centralh.htm, “La Central Hidroeléctrica Daule Peripa”, (Guayaquil, 2000)
- [3] National Grid Control, “An Introduction to Black Start”, (Inglaterra, 2001)
- [4] CEDEGE y CHDP, “Manual de Mantenimiento y Operación de la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind – Paneles de Baja Tensión para los Servicios Auxiliares”, (Guayaquil, 1999)
- [5] CEDEGE y CHDP, “Manual de Mantenimiento y Operación de la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind – Sistema de Excitación”, (Guayaquil, 1999)
- [6] CEDEGE y CHDP, “Manual de Mantenimiento y Operación de la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind – Turbinas Hidráulicas y Sistema de Regulación”, (Guayaquil, 1999)
- [7] CEDEGE y CHDP, “Manual de Mantenimiento y Operación de la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind – Equipos de Protección y Medición”, (Guayaquil, 1999)
- [8] CEDEGE y CHDP, “Manual de Mantenimiento y Operación de la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind – Equipos de Mando y Control”, (Guayaquil, 1999)
- [9] Washington Lama, “Lógica del DCS, Central Daule Peripa”, (Guayaquil, 1999)
- [10] Angel Herrera, “Manual de utilización del Programa PC/TERM”, (Guayaquil, 2000)