

ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA DEL SISTEMA DE EXCITACIÓN ESTÁTICO DE UN GENERADOR HIDRÁULICO DE 700MVA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE GURI

**Romy Contreras, Olivia Guevara
C.V.G. EDELCA**

ABSTRACT: Las Unidades Generadoras de 700MVA de la Planta Guri de EDELCA están equipadas con Sistemas Estáticos de Excitación de tecnología analógica que utilizan el cierre y la apertura del Interruptor de Campo como mecanismo para los respectivos procesos de excitación y desexcitación del Generador. Este esquema operativo, aun siendo funcional, ha sido desincorporado por los fabricantes actuales, debido a los inconvenientes que involucra el manejo de la energía almacenada en el Campo del Generador durante la desexcitación. Como alternativa, los fabricantes actuales emplean una técnica de desexcitación sin apertura del Interruptor de Campo, basada en la devolución al transformador de excitación de la energía contenida en el Campo del Generador.

En el presente trabajo se resume la iniciativa de EDELCA para actualizar tecnológicamente sus Unidades Generadoras, convirtiéndolas al esquema de excitación y desexcitación sin apertura del Interruptor de Campo. El proyecto se inició con una fase de pruebas preliminares que demostró la factibilidad del cambio y concluyó con la implementación definitiva del nuevo esquema en una primera Unidad (Generador No. 15). Los resultados obtenidos fueron exitosos, cubriendo las expectativas de la empresa, por lo que se decidió continuar el proyecto, extendiéndolo al resto de las Unidades Generadoras.

1. INTRODUCCIÓN

El parque hidroeléctrico de EDELCA esta constituido por tres Plantas Generadoras (Guri, Macagua y Caruachi) que albergan en total 44 Unidades en producción. Macagua y Caruachi son Plantas nuevas con menos de 8 años en operación comercial, de manera que sus Unidades Generadoras están dotadas con equipamiento moderno de tecnología digital y los Sistemas de Excitación han sido provistos por los respectivos fabricantes para la desexcitación por aplicación de la técnica de retraso de pulsos. Por su parte, Guri es la más antigua de las Plantas, con aproximadamente 30 años de servicio y Unidades Generadoras dotadas con Sistemas de Excitación analógicos que prevén la operación del Interruptor de Campo durante los procesos rutinarios de excitación y desexcitación del Generador.

La Planta Guri está constituida por dos Casas de Máquinas, cada una con diez Unidades Generadoras, siendo la Casa de Máquinas No.2 la que alberga los Generadores de mayor tamaño (700MVA nominales C/U), los cuales fueron puestos en operación comercial hace aproximadamente 20 años. Por esto, desde el punto de vista de su capacidad instalada (10.000 Mwatts en total), Guri continua siendo la más importante de las Plantas.

Debido a su gran capacidad de potencia, las Unidades Generadoras de la Casa de Máquinas No. 2 de Guri requieren para la excitación corrientes elevadas (entre 2 y 3 KAmperios.), lo que aunado a la característica inductiva del Campo del Generador somete a los Interruptores de Campo a esfuerzos eléctricos y mecánicos de gran magnitud durante las sucesivas maniobras de apertura para la desexcitación. Por otro lado, es importante señalar que los requerimientos del Sistema de Potencia, en el sentido de conectar y desconectar Unidades a la red, exige que los Interruptores de Campo sean operados con mucha frecuencia, lo cual contribuye a generar inconvenientes, obligando al personal de Planta a elevar excesivamente los índices de mantenimiento correctivo y preventivo.

Lo expuesto anteriormente motivó la realización de una evaluación del control de los Sistemas de Excitación de las Unidades de 700 MVA para implementar en ellos la desexcitación por retraso de pulsos y evitar así las frecuentes operaciones del Interruptor de Campo durante las maniobras de arranque y parada de Unidades. El proyecto se llevó a cabo en varias etapas y se implementó con éxito, a manera de prototipo, en una primera Unidad. Luego de tres meses de evaluación con resultados satisfactorios, EDELCA decidió extender el proyecto al resto de las Unidades Generadoras.

2. ANTECEDENTES

Durante la última década las Unidades Generadoras de 700 MVA de la Planta Guri han sido afectadas por inconvenientes asociados a los procesos de desexcitación. Con carácter esporádico, se han presentado fallas en los Interruptores de Campo durante su carrera de apertura, que se manifiesta por destrucción (fundimiento) de los polos disyuntores y por avería de los elementos asociados al circuito para descarga de Campo. Al comienzo de las investigaciones, se especuló en aspectos relacionados con la capacidad de corriente de los Interruptores y también en cuestiones de diseño asociadas con la capacidad de disipación de los bancos de resistencias utilizados para la descarga de Campo. Pero con el paso de los años y en la medida que las investigaciones avanzaron se descartaron ambas teorías y se aclaró completamente el origen de las fallas. Se determinó que los Interruptores se fundían por generación de arco eléctrico durante la carrera de apertura de sus polos principales, producto de elevada sobretensión al momento de interrumpirse la corriente de excitación. Esto, como consecuencia de la acción tardía del polo central del Interruptor en la inserción de las resistencias para descarga de Campo durante la desexcitación, dando lugar a la sobretensión y por ende a la falla mencionada. En este punto, es oportuno aclarar que, el Interruptor de Campo posee tres polos disyuntores, dos principales, utilizados para la desconexión de la fuente de suministro (Puente Rectificador de Tiristores) y un tercer polo, de lógica negada, que se utiliza para insertar oportunamente las resistencias para descarga de Campo.

Por otro lado, desde el punto de vista operativo, se determinó que las sucesivas maniobras para excitar y desexcitar Unidades, producto de los requerimientos del Sistema de Potencia, tenían alta incidencia en el desajuste de los Interruptores. Principalmente, por el impacto mecánico al que éstos se someten cuando los muelles de soporte de sus polos disyuntores alcanzan el tope al final del recorrido de apertura. Como ilustración, en la figura No. 01 se muestra una panorámica del Interruptor de Campo de la Unidad No. 15 de Guri, averiado durante un proceso de desexcitación del Generador.

Para resolver el inconveniente EDELCA decidió aumentar la frecuencia del mantenimiento de los Interruptores mientras que, paralelamente, se mejoró el procedimiento de mantenimiento. Se implementó la toma de registros para evaluar la discrepancia de polos y se empezó a calibrar el desplazamiento de los mismos para lograr una adecuada correlación. Se estableció que, el polo para descarga de Campo (polo central) debía cerrar entre 10 y 15 mSeg. antes de la apertura de los polos principales para evitar la sobretensión en el momento de la desconexión de la fuente de suministro

del Campo. Estas acciones en conjunto, produjeron los resultados esperados, disminuyendo considerablemente la incidencia de fallas asociadas a los procesos de desexcitación. Pero, no fue sino hasta hace aproximadamente dos años, cuando se iniciaron las acciones orientadas a una solución definitiva, con miras a la adopción e implementación del esquema de desexcitación sin apertura del Interruptor de Campo, que se utiliza actualmente en los excitadores digitales de reciente tecnología. La técnica de desexcitación mencionada, se logra mediante el retraso máximo de los pulsos de conmutación de los Tiristores del Puente Rectificador, con lo cual se invierte la polaridad de la fuente de suministro y se devuelve al transformador de excitación la energía almacenada en el Campo del Generador.

Para cumplir el objetivo de eliminar completamente las fallas asociadas a los procesos de desexcitación, se emprendió un proyecto de actualización tecnológica, seleccionando la Unidad No. 15 de Guri como prototipo para implementar en ella el esquema de desexcitación sin apertura del Interruptor de Campo. El proyecto se inició en Enero de 2003 y se concluyó en Julio del mismo año, iniciándose inmediatamente un periodo de evaluación del prototipo de tres meses, el cual concluyó con resultados satisfactorios a mediados del mes de Octubre. Entre los resultados inmediatos obtenidos con la implementación del nuevo esquema en esta primera Unidad se cuenta la reducción del numero de operaciones del Interruptor de Campo, las cuales ahora quedan relegadas solo a labores de mantenimiento o a eventuales procesos de desexcitación bajo condiciones de emergencia, lo que redundo en disminución de los costos de mantenimiento y aumento de la vida útil de los equipos. También es importante mencionar que al eliminar el riesgo de fallas asociadas a los procesos normales de desexcitación se tienen procesos de desexcitación seguros y confiables, aumentando por ende la seguridad y confiabilidad de la Unidad Generadora. Con estos resultados, la alta Gerencia de EDELCA aprobó la fase de evaluación del prototipo, autorizando la implementación de la mejora en el resto de las Unidades Generadoras de la Planta.

3. FUNDAMENTOS TEORICOS SOBRE LA TÉCNICA DE DESEXCITACIÓN POR INVERSIÓN DE LA POLARIDAD DEL CAMPO

La técnica de desexcitación por inversión de la polaridad del Campo consiste en el aprovechamiento de la característica de inversor que puede obtenerse con un Puente Rectificador Trifásico de Onda Completa (Convertidor AC-DC), basado en Tiristores, cuando se manejan cargas inductivas como es el caso del Campo de una Unidad Generadora. Dado que los Sistemas de Excitación se basan en convertidores que utilizan los Tiristores del Puente Rectificador como válvulas de control para regular el voltaje continuo (D.C.) de salida, el control se logra disparando los Tiristores del puente con un retardo de tiempo, conocido como ángulo de disparo (α). Este ángulo se mide con relación al instante natural de conmutación en el cual se logra el máximo voltaje de salida del puente. La figura No. 02 ilustra el convertidor a base de Tiristores y la figura No. 3 ilustra la forma de onda del voltaje rectificado para diferentes ángulos de disparo (α).

Según se ilustra en la figura No. 03, el voltaje continuo sigue la onda de tensión alterna y luego en el instante de la conmutación salta a la siguiente onda senoidal de tensión. El proceso se repite seis veces por cada ciclo. Como resultado del control de los pulsos de disparo (retraso de la conmutación) el valor principal del voltaje continuo de salida puede reducirse. Tal como ilustra la figura No. 03, cuando $\alpha = 90^\circ$, el voltaje de salida resultante es realmente un voltaje alterno, cuya frecuencia es seis veces la frecuencia de la onda senoidal alterna y su valor promedio es cero voltios. Los Tiristores están entonces sujetos tanto a voltajes positivos como negativos, pero la dirección de la corriente es constante en todas las condiciones de control mostradas en la figura 03. Es importante resaltar, que no es posible mantener permanentemente una tensión D.C. negativa a la salida del puente rectificador, ya que esta condición operativa solo se logra mientras existe energía de naturaleza inductiva almacenada en la carga del convertidor.

Durante el proceso de desexcitación de una Unidad Generadora el retraso de los pulsos de conmutación (α) se lleva hasta un valor próximo a los 180° (normalmente 170°). Con esta acción, se invierte completamente el voltaje de Campo y comienza la devolución al Transformador de Excitación de la energía almacenada en el Campo del Generador. En la medida en que el Campo se descarga el voltaje de Campo disminuye hasta extinguirse totalmente, concluyendo el proceso de desexcitación.

4. ETAPAS DEL PROYECTO

El proyecto fue dividido en tres etapas. Una primera fase de evaluación técnica acompañada con una prueba preliminar para determinar la factibilidad del cambio. Una segunda fase, que comprendió la elaboración de la memoria descriptiva del proyecto y finalmente, la fase de implementación y pruebas de la mejora tecnológica en la primera Unidad Generadora de la Central Hidroeléctrica Guri.

4.1 Evaluación Técnica Preliminar

Comprendió la recopilación de la información técnica requerida para evaluar la factibilidad de implementación del esquema de desexcitación sin apertura del Interruptor de Campo en la Unidades de la Casa de Máquinas 2 de la Planta Guri. El alcance de la misma se centro exclusivamente en el Sistema de Excitación, abarcando tanto el esquema de control como la parte funcional del propio controlador del Excitador. Principalmente, se evaluó la forma de lograr el retraso máximo de los pulsos de disparo de los Tiristores del Puente Rectificador a nivel del Generador de Pulsos de Compuerta (GPG por sus siglas en Ingles) y luego, se evaluó el esquema de control para implementar las modificaciones provisionales, necesarias para llevar a cabo la prueba de factibilidad de actualización. La Figura No. 4 ilustra el esquema de instrumentación utilizado durante la prueba de factibilidad.

Para efectuar la prueba sin alterar significativamente la circuitería de control original, se diseñó un módulo de control externo, conteniendo la función de desexcitación, el cual fue interconectado con el control del excitador. La prueba se desarrolló en dos etapas; un primer proceso de sondeo que consistió en efectuar una desexcitación mixta, realizada por la vía de la apertura del Interruptor de Campo, previo envío de la señal de retraso de pulsos al GPG (2 Seg. antes de la emisión de la orden de apertura del Interruptor). Esto con el propósito de evaluar el comportamiento del excitador como inversor y determinar la efectividad de la devolución de energía del Campo al Transformador de excitación durante el proceso. la segunda etapa de la prueba, condicionada por el éxito de la primera, consistió en efectuar la desexcitación de la Unidad únicamente por la vía de retraso de pulsos, sin apertura del Interruptor de Campo. Los resultados de ambos procesos de desexcitación fueron exitosos y se reproducen en las figuras Nros. 05 y 06.

De acuerdo con el registro mostrado en la figura 05, el control del excitador es efectivo aun con bajo voltaje terminal. Nótese los pulsos de disparo presentes durante el proceso de descarga de Campo y su actividad hasta aproximadamente los 6.4 Seg. del registro, en el cual el voltaje terminal ha disminuido hasta alrededor de los 3 KV. De este instante en adelante, hasta el momento de apertura del Interruptor, lo cual ocurre a lo 7,5 Seg. del registro la descarga de Campo es prácticamente nula, lo cual indica que en este tramo se pierde la efectividad de los pulsos de disparo. Finalmente, la desexcitación es culminada por acción del circuito para descarga de Campo en el momento de la apertura del Interruptor de Campo.

En el registro mostrado en la figura 06, correspondiente al proceso de desexcitación por retraso de pulsos sin apertura del Interruptor de Campo, se observa prácticamente el mismo resultado. Nótese la rápida disminución del voltaje terminal del Generador hasta aproximadamente 3 KV. De este instante en adelante se pierde la acción de la conmutación de Tiristores y por ende la devolución efectiva de energía desde el Campo al Transformador de Excitación. Sin embargo, la corriente de Campo no se interrumpe y la energía remanente se disipa lentamente en las pérdidas del devanado de Campo y la fase del Transformador que quedo conectada por la última rama del puente en conducción.

4.2 Elaboración de la Memoria Descriptiva del Proyecto

En esta etapa se elaboró el informe técnico correspondiente y se efectuó la modificación de los planos de control y de cableado, requeridos para implementar la actualización desde todos los sitios de control de la Unidad (local y remoto), incluyendo el sistema de control por computador. Básicamente, la modificación consistió en anexar los comandos “Excitar y Desexcitar” adoptando la posición de Interruptor de Campo cerrado como una condición normal de la Unidad. Para ello, se requirió migrar a estos comandos todas las funciones originales efectuadas por el Interruptor de Campo durante las maniobras de cierre y apertura, desligándolo completamente de las funciones excitar y desexcitar. Para ilustrar brevemente el contenido de las modificaciones realizadas en el control del excitador se muestran en las figuras Nros. 7 y 8 los diagramas de flujo simplificados que corresponden a las funciones “Excitar y Desexcitar”.

4.3 Implementación y Pruebas del Nuevo Diseño

Esta fase consistió en la instalación sobre la Unidad No. 15 de Guri de los dispositivos (Relés, Manillas de Control, Cableado y Lámparas Indicadoras) requeridos para implementar de manera definitiva, desde todos los sitios de control, el esquema de desexcitación sin apertura del Interruptor de Campo. También comprendió modificaciones de software y de hardware a nivel del sistema de control por computador para extender la actualización hasta la Sala de Control principal de la Casa de Máquinas. Finalmente, una vez concluido el proceso de instalación de componentes y dispositivos se procedió con las pruebas de excitación y desexcitación para certificar la funcionalidad del nuevo diseño. Desde el punto de vista técnico los resultados obtenidos fueron satisfactorios. No obstante, tomando en cuenta que la actualización tecnológica efectuada representaba un cambio drástico en la filosofía operativa de las Unidades Generadoras se consideró prudente mantener esta Unidad como prototipo por un periodo de tres (3) meses, al final de los cuales se evaluaron los resultados definitivos del proyecto. Paralelamente, el personal de Operaciones de la Planta cubrió durante este tiempo el periodo de asimilación del nuevo esquema operativo, adaptándose a la nueva filosofía. En la figura Nros. 9 se presentan los registros correspondientes a un proceso de desexcitación por aplicación de la técnica de retraso de pulsos, obtenidos al final de la implementación definitiva del proyecto.

5. CONCLUSIONES

- En la figura 05 se observan dos picos negativos de voltaje de Campo durante la desexcitación. El primero, de aproximadamente -1.500 Voltios, corresponde a la inversión de la polaridad del Campo por acción de la señal de retraso de pulsos, con lo cual se inicia la desexcitación de la Unidad y el segundo pico, de aproximadamente -500 Voltios, corresponde al instante de apertura del Interruptor de Campo con la inserción simultánea de las resistencias para descarga de Campo, con lo cual se acelera la desexcitación y finaliza el proceso rápidamente. Por otro

lado, en la figura 06, que corresponde al proceso de desexcitación por retraso de pulsos, solo se observa un solo pico de voltaje negativo, también del orden de los -1.500 Voltios, pero el tiempo total de desexcitación es aproximadamente 10 veces mayor que en el primer caso. Este resultado, en términos de tiempo, no representa una desventaja con respecto al resultado obtenido con el esquema original del fabricante, ya que en condiciones normales de operación, no existe ninguna premisa de tiempo para la desexcitación de la Unidad. En contraparte, la desexcitación por retraso de pulsos ofrece grandes beneficios, especialmente en lo que respecta a la seguridad y confiabilidad del proceso, debido a que el mismo, no permite la generación de sobretensiones transitorias como eventualmente puede ocurrir en una desexcitación por apertura del Interruptor de Campo, lo cual pone en situación de riesgo tanto al circuito de potencia del excitador como a sus componentes asociados.

- Es importante resaltar que los inconvenientes asociados a los procesos de desexcitación solo se han presentado en las Unidades de mayor potencia de Guri (700MVA nominales) y que los mismos no se han observado en las Unidades de menor tamaño (por debajo de los 400MVA), aun cuando estas últimas presentan el mismo esquema de control del excitador. Por este hecho y de acuerdo con las investigaciones efectuadas, se concluye que, las fallas observadas en las Excitatrices de Planta Guri durante las desexcitaciones por apertura del Interruptor de Campo están directamente relacionadas con tres elementos; El primero es la cantidad de energía almacenada en el Campo del generador, el segundo es el tamaño del Interruptor de Campo y el tercero, el número de maniobras del Interruptor para excitar y desexcitar la Unidad.. En otras palabras, mientras mayor es la inductancia del Campo y mayor es la corriente de excitación requerida por el Generador más grande es el riesgo potencial de falla. Desde luego, existe un factor detonante que, en este caso, es la descalibración de la adecuada correlación de los polos disyuntores del Interruptor de Campo, lo cual se encuentra directamente asociado con el tamaño del Interruptor y el numero de operaciones a los cuales éste se encuentra sometido. Sencillamente, en la medida que aumenta el tamaño del Interruptor, mayor es el impacto mecánico producto de las carreras de cierre y apertura, y a mayor número de operaciones mayor descalibración.
- Desde el punto de vista de los beneficios obtenidos con la actualización tecnológica de la Unidad No. 15 de Planta Guri para adaptarla al esquema de desexcitación sin apertura del Interruptor de Campo se cuenta de inmediato la reducción directa de los costos de mantenimiento y la disminución del índice de fallas asociadas a los procesos de desexcitación, con lo cual aumenta la confiabilidad y seguridad operativa de la Unidad Generadora. No obstante, no debe perderse de vista el logro intrínseco de la actualización, contenido en el proyecto de ingeniería, quedando demostrado que un Sistema de Excitación de vieja tecnología puede ser mejorado y adecuado para operar al estilo de los Sistemas homólogos de la más reciente tecnología.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] KLOSS, ALBERT. “A BASIC GUIDE TO POWER ELECTRONICS”. John Wiley & Sons Publication, 1984
- [2] MITSUBISHI. “ MANUAL DE SISTEMAS ESTATICOS DE EXCITACIÓN UNIDADES IMPARES DE GURI”
- [3] CANADIAN GENERAL ELECTRIC. “ESTATIC EXCITATION COURSE”. Power Delivery Department, Peterborough – Ontario.

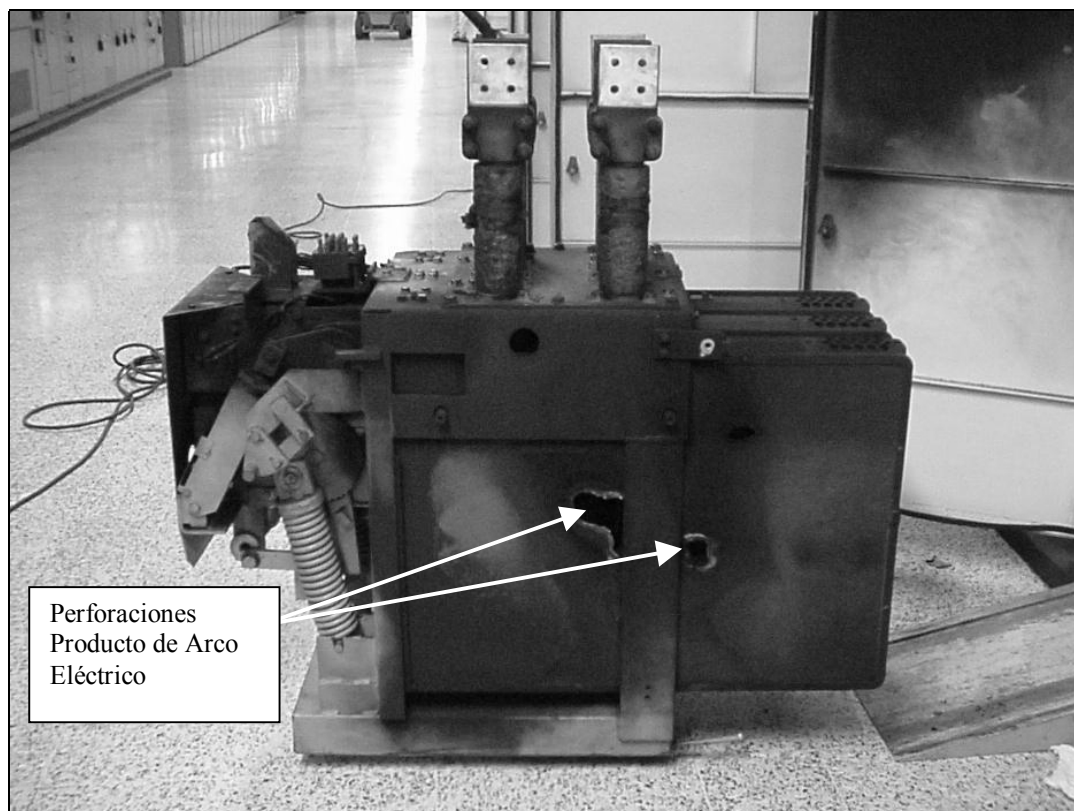


Fig. 01. Interruptor de la Unidad No. 15 de Planta Guri Averiado Durante un Proceso de Desexcitación por Apertura del Interruptor de Campo

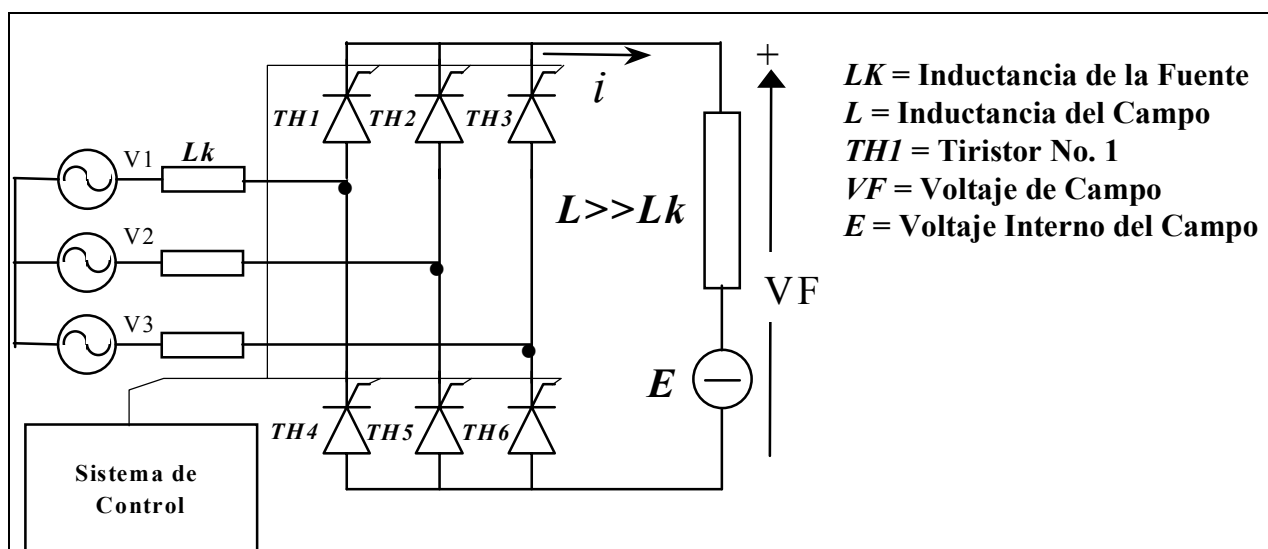


Fig. 02. Esquema del Puente Rectificador Trifásico de Onda Completa Basado en Tiristores

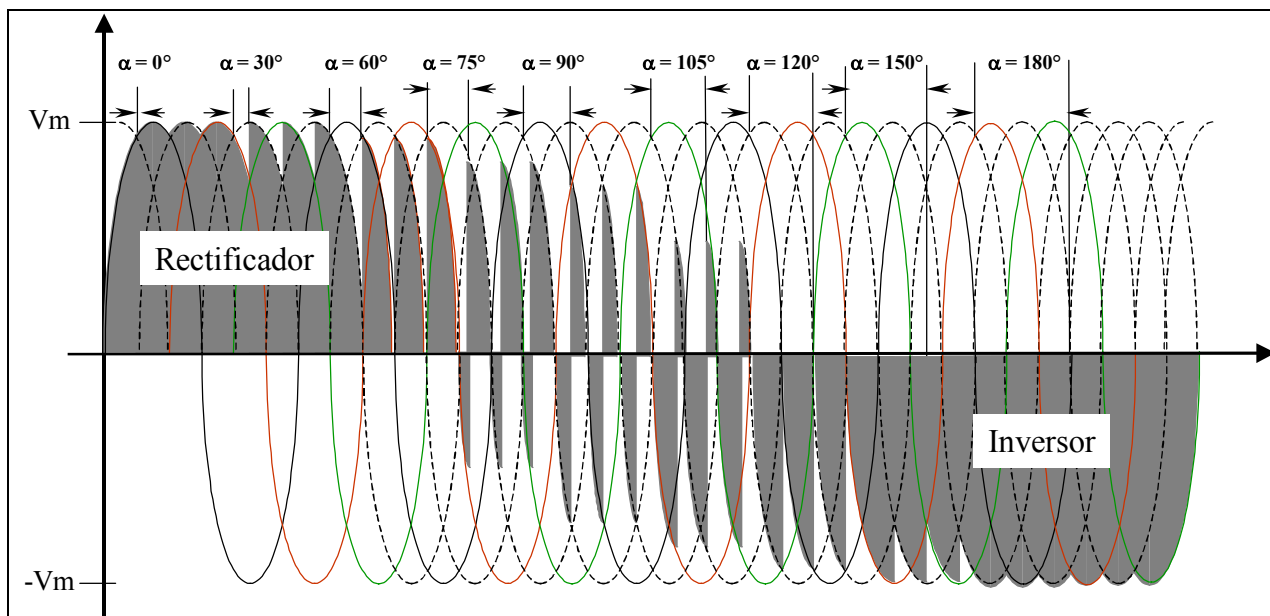


Fig. 03. Forma de Onda del Voltaje Rectificado para Diferentes Angulos de Disparo (α)

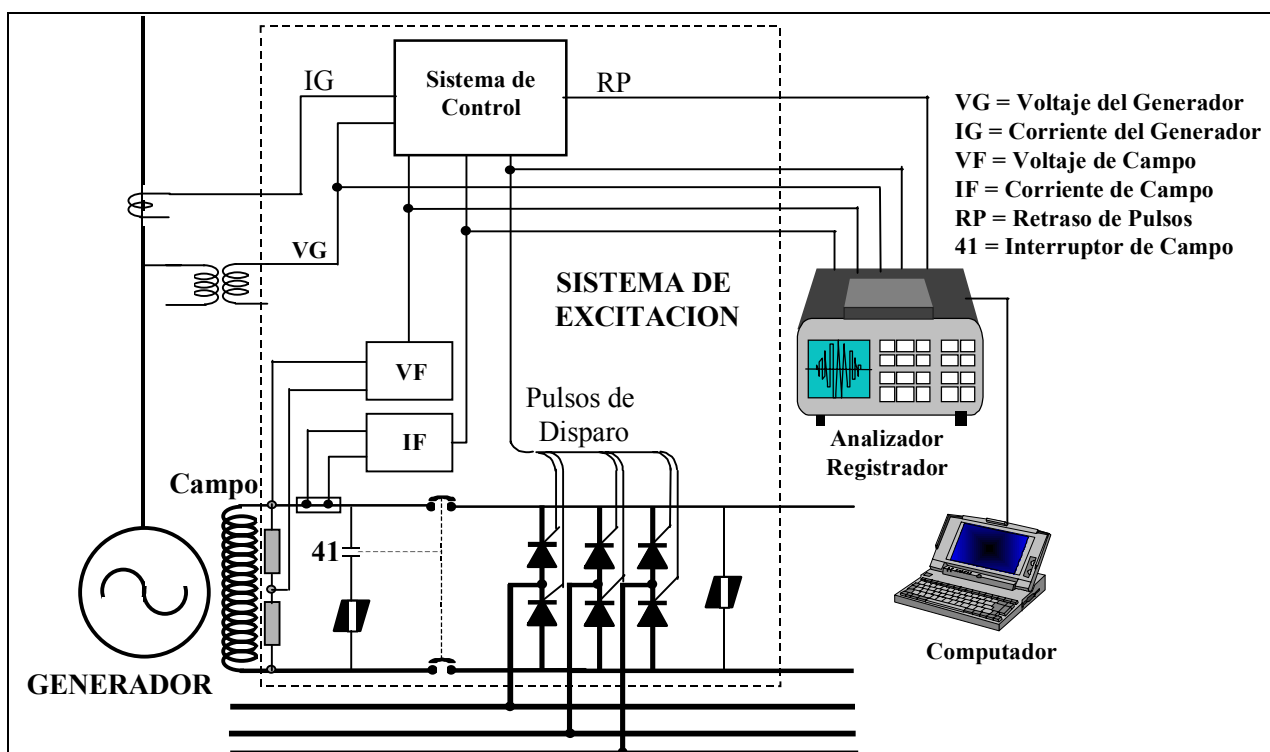


Fig. 04. Esquema de Medición Utilizado Durante las Pruebas

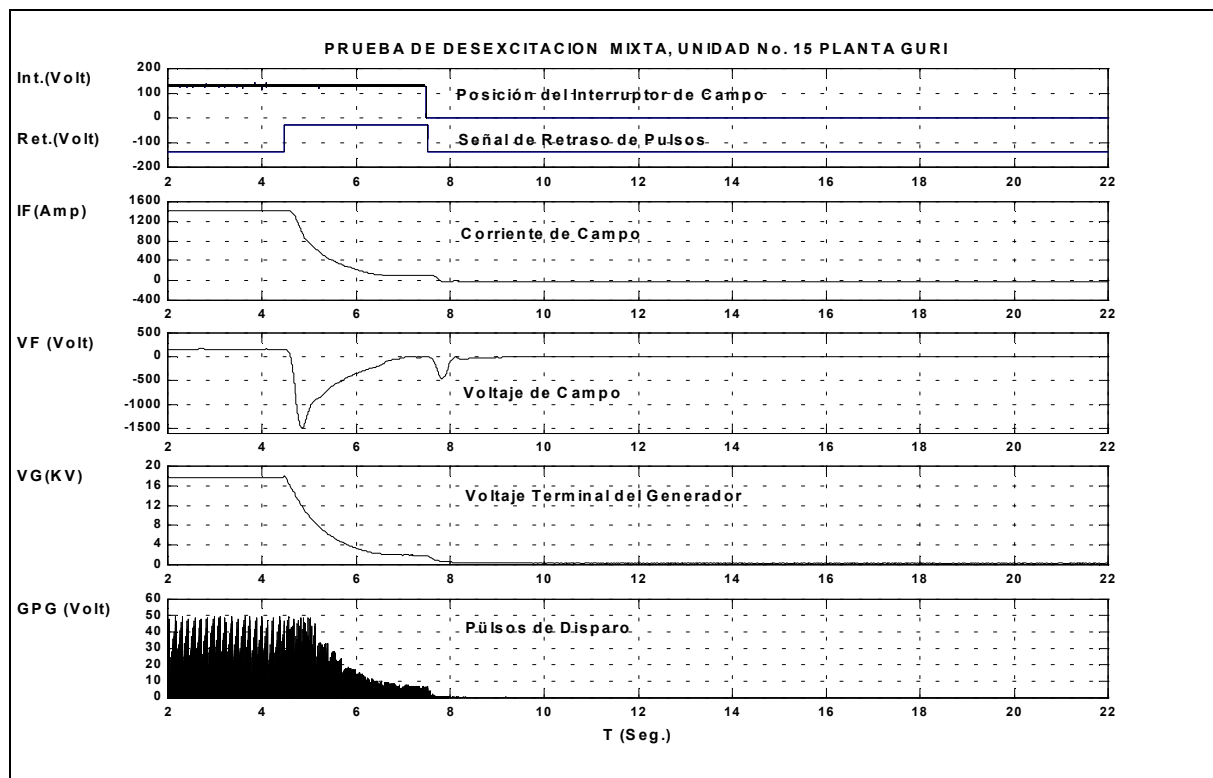


Fig. 05. Prueba de Desexcitación Mixta, Retraso de Pulsos + Apertura del Interruptor de Campo

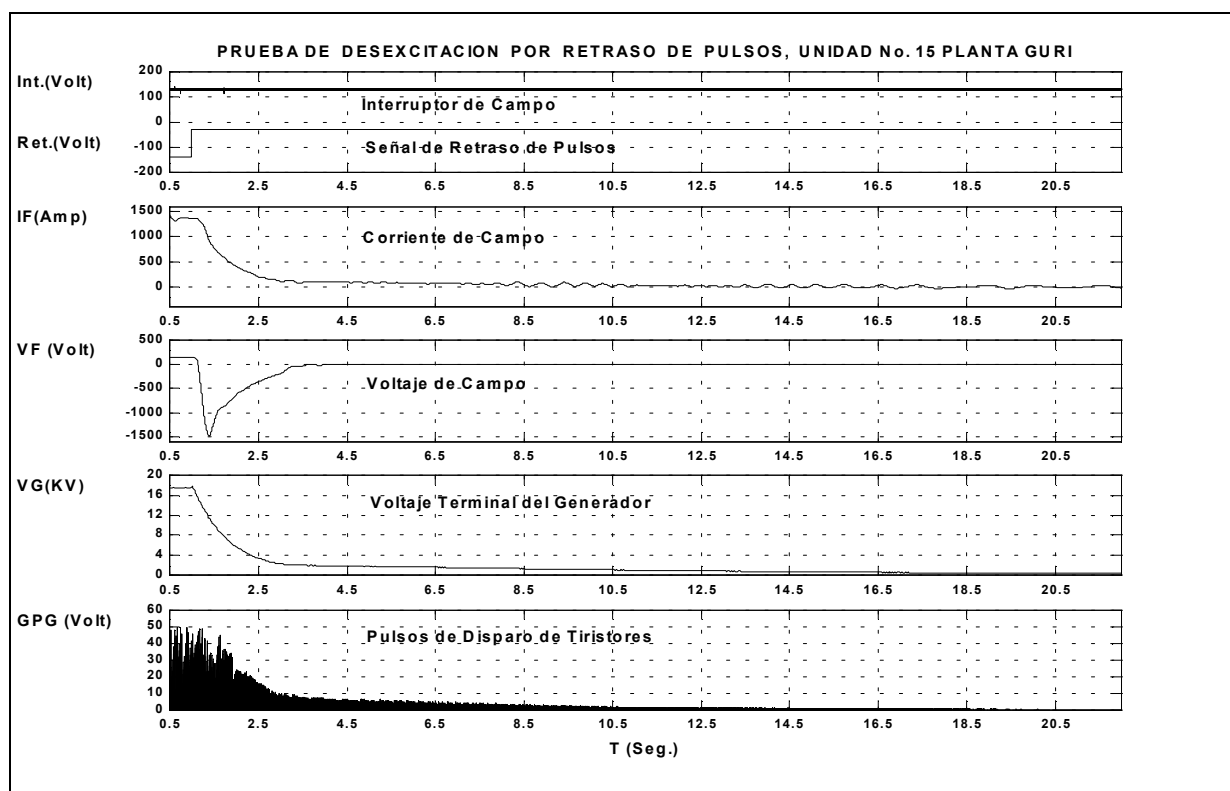


Fig. 06. Prueba de Desexcitación por Retraso de Pulsos sin Apertura del Interruptor

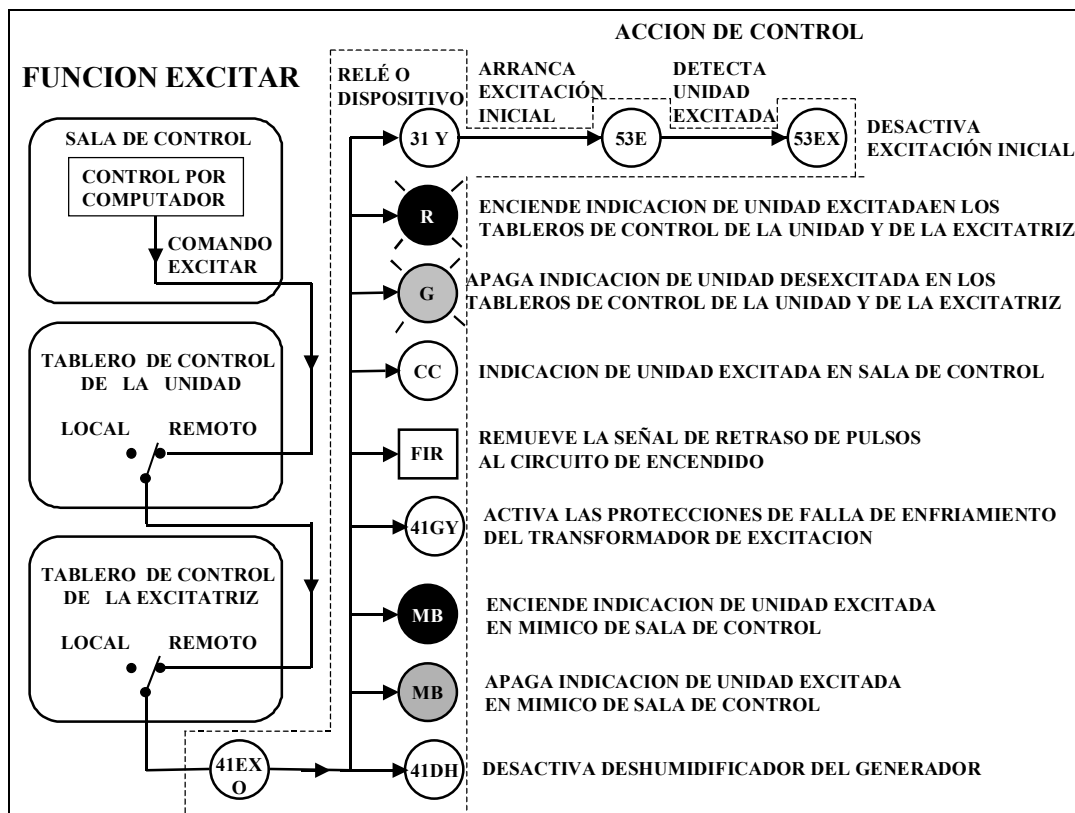


Fig. 07. Diagrama de Flujo de la Función Excitar

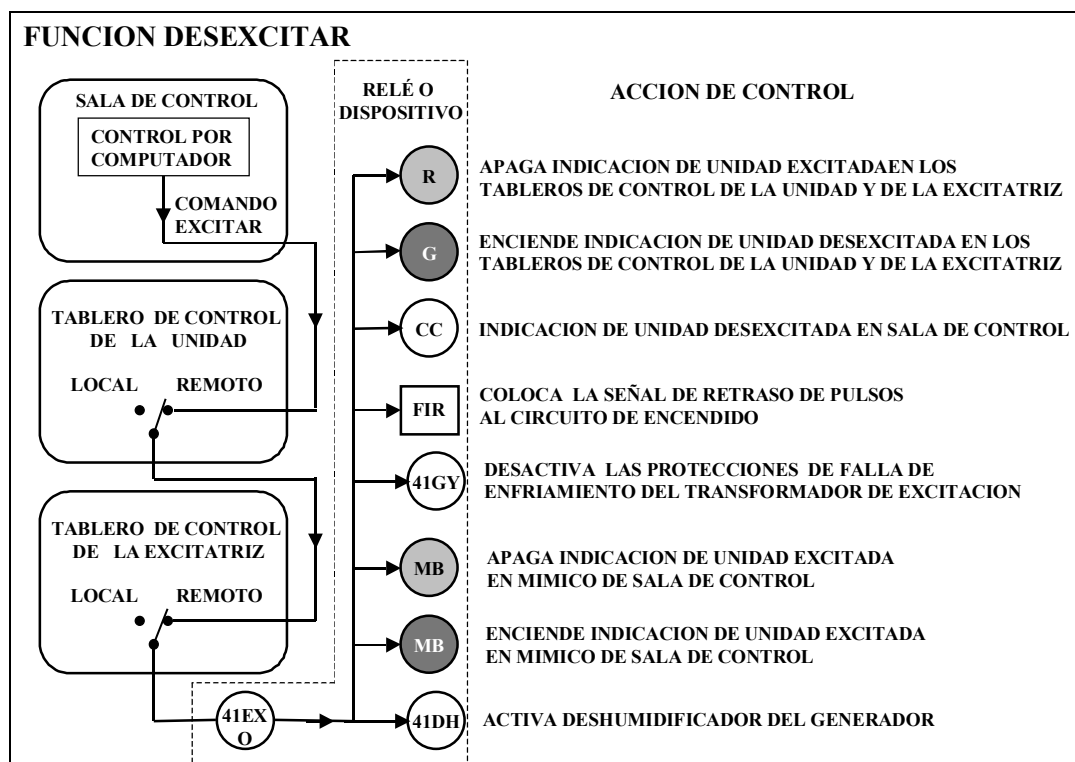


Fig. 08. Diagrama de Flujo de la Función Deexcitar

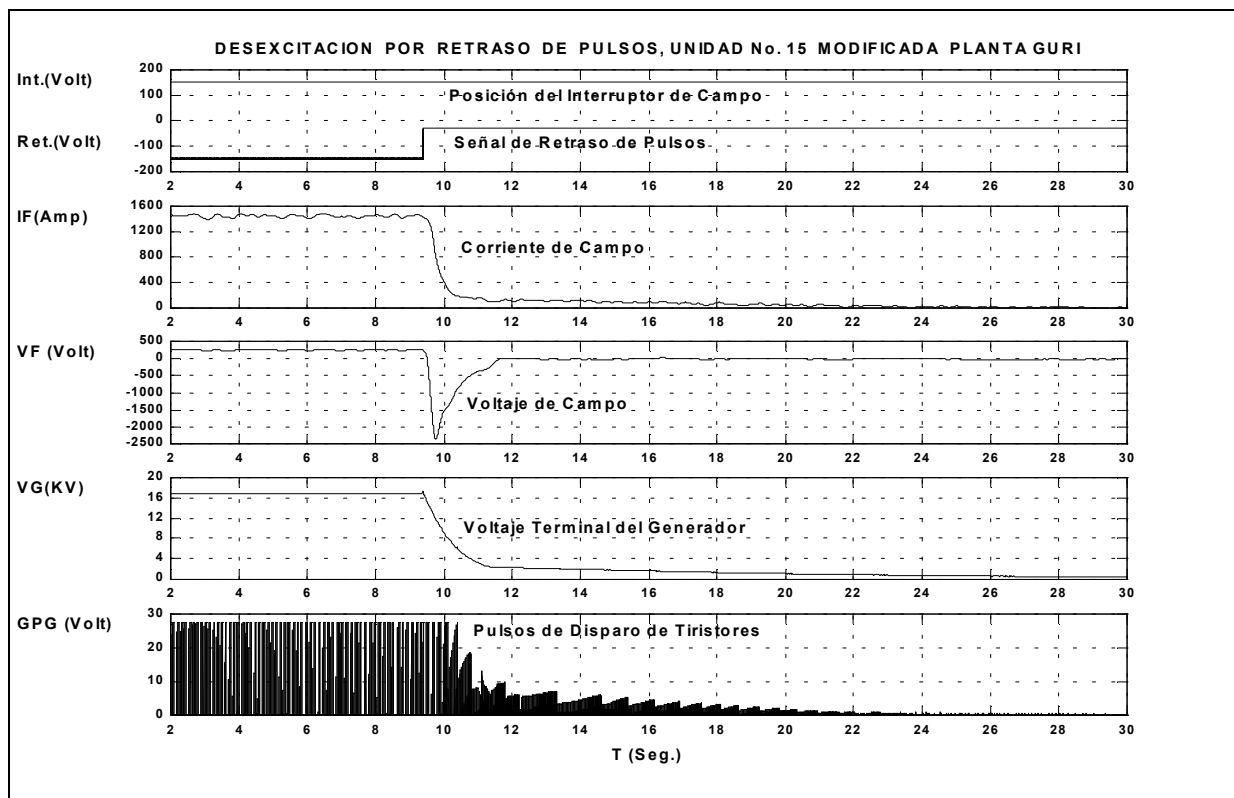


Fig. 09. Desexcitación por Retraso de Pulsos, Unidad No. 15 de Guri Modificada

RESUMEN CURRICULAR DE LOS AUTORES

Romy C. Contreras A.

Nació en Mérida, Venezuela en Diciembre de 1960. Ingeniero Electricista egresado de la Universidad de Los Andes en 1985. Ingreso al Departamento Ingeniería de Mantenimiento de Planta Guri en 1988, desempeñándose durante 10 años en el área de Reguladores Automáticos y Sistemas de Control. Posteriormente en 1999 pasa al Departamento de Investigaciones y Pruebas de Generación de EDELCA donde continua su especialización en el área de Control, efectuando varios cursos en Sistemas de Excitación y Gobernadores de Velocidad directamente con los Fabricantes de los Equipos. Actualmente, continua dedicado a esta área, desempeñándose además como Ingeniero de pruebas especiales, orientadas a la Investigación.

Guevara D. Olivia A.

Nacida en Caracas, Venezuela en Mayo 1972. Ingeniero Electricista egresada de la Universidad Simón Bolívar en 1998. Desde 1999 trabaja en el Departamento de Investigaciones y Pruebas de Generación de EDELCA, y desde entonces se ha desempeñado en área de Reguladores Automáticos y Simulaciones de Sistemas de Potencia. El área de investigación a que se ha dedicado incluye evaluación de sistemas de control y regulación de máquinas eléctricas, estudios dinámicos del sistema de potencia, modelación y simulación de sistemas de control.