



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

FACULTAD DE METALURGIA ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA.

# **TRABAJO DE DIPLOMA**

*En opción al título de*

# **INGENIERO ELÉCTRICO**

**TITULO:** Sustitución del sistema de excitación rotatorio por excitación estática de los turbogeneradores 1 y 2 de la termoeléctrica de la empresa niquelífera Comandante. Ernesto Che Guevara.

**AUTOR:** Abelardo Cuenca Sánchez.

**TUTORES:** MSc. Wilber Acuña Rodríguez.

Ing. Ernesto F. Rodríguez Borges.

Moa, 2011

“Año del 53 Aniversario de la Revolución”

**Declaración de autoridad:**

Yo Abelardo Cuenca Sánchez, autor del Trabajo de Diploma titulado: **Sustitución del sistema de excitación rotatorio por excitación estático de los turbogeneradores 1 y 2 de la termoeléctrica de la fábrica de níquel Comandante. Ernesto Che Guevara.** Y los tutores que a continuación se describen certificamos la propiedad intelectual a favor del Departamento de Ingeniería Eléctrica del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Para que así conste firmamos la presente:

**Autor:** \_\_\_\_\_  
Abelardo Cuenca Sánchez.

**Tutores:** \_\_\_\_\_  
MSc. Wilber Acuña Rodríguez.

\_\_\_\_\_  
Ing. Ernesto F. Rodríguez Borges.

**Pensamiento:**

**“Debemos preocuparnos por prestar servicios con eficiencia y optima calidad, y simultáneamente producir en nuevo hombre que construye y crea la nueva sociedad socialista, que es el hombre que produce, sirve, dirige, controla y supervisa. Hace falta tener control y supervisión para prestar servicios con eficiencias...”**

**Ernesto Che Guevara**

**Dedicatoria:**

A mi difunta madre Delia Sánchez Reyes, que en gloria esté, pues se que en vida este sería uno de sus días más felices al ver a sus dos hijos profesionales.

A mi padre Santiago Cuenca García y tres hermanos que mi título ha sido un sueño desde siempre.

A mis dos hijos Abelardo y Denia, mis dos hijastras Mayelis y Mayelkis, para que mis logros les sirvan de inspiración en sus futuros estudios.

A mi amada esposa Addin Silvente Rosell que sin su ayuda no hubiese podido llevar a cabo estos seis años de estudios y trabajo.

Al conjunto de profesores que contribuyeron a mi formación como profesional en estos largos años.

A mis tutores Wilber y Ernesto por el apoyo brindado, consultoría y dedicación.

A La Revolución Cubana y Fidel Castro Ruz, por hacer de la educación en Cuba una de las más grandes obras de la Revolución.

A todos dedico este éxito.

Autor.

**Agradecimientos:**

Mi más sentido y profundo agradecimiento a todas aquellas personas que de una forma u otra hicieron posible el desarrollo y la exitosa culminación de este trabajo; por la disposición, paciencia y solidaridad. En especial a mis familiares.

A mis tutores, al personal del Taller Eléctrico y de la Central Termoeléctrica de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, quienes con su apoyo, dedicación y esmero supieron guiarme por el camino correcto hacia la meta final.

A TODOS, GRACIAS

## **Resumen.**

Este trabajo consiste en la sustitución del sistema de excitación rotatorio de los turbogeneradores de la fábrica niquelífera Comandante Ernesto Che Guevara, por un sistema estático moderno.

En el presente trabajo se sustituye el sistema de excitación rotatorio existente; el cual se encontraba en mal estado técnico, sin suministro de piezas de repuesto y con alto grados de desajustes apreciables de cada uno de los parámetros fundamentales para su operación precisa por un nuevo sistema de excitación estático utilizando un convertidor UNITROL F de la firma ABB, de fabricación checa.

Se realiza un análisis económico de la propuesta y la valoración social y medio ambiental de la inserción de este convertidor de potencia. Se estructura en tres capítulos con ecuaciones y gráficos que permiten la comprensión de los fundamentos teóricos con el rigor científico adecuado a este nivel.

**Abstract.**

This work consists in the substitution of the turbogenerators' rotatory excitation system of the Nickel Factory Comandante Ernesto Che Guevara, for a static modern system.

In the present work it is substituted the existing rotatory excitation system; Which was in bad technical condition, without supplies of spare parts and with high levels main parameters out of measures for its precise operation for a new a static modern system of excitation using a converter UNITROL from ABB manufacturer from the Czech republic.

A cost-reducing analysis of the proposal and the social and environmental impact of the insertion of this Potency Converter are made. It is structured in three chapters with equations and graphics that enable the compression of the theoretic fundamentals with the adequate scientific rigor required at this level.

## Contenido

Declaración de autoridad:.....	I
Pensamiento: .....	II
Dedicatoria: .....	III
Agradecimientos: .....	IV
Resumen. ....	V
Abstract. ....	VI
Introducción General. ....	1
Situación problemática. ....	1
Problema.....	1
Hipótesis.....	2
Objeto de Estudio.....	2
Campo de aplicación.....	2
Objetivo General. ....	2
Objetivos Específicos .....	2
Resultados esperados.....	3
CAPÍTULO I: Marco teórico metodológico	
1.1 Introducción .....	4
1.2 Funcionamiento y campo de aplicación de las Máquinas Síncronas.....	4
1.3 Sistemas de excitación .....	6
1.3.1 Generalidades de los Sistemas de excitación .....	8
1.3.2 Formas de excitación en los generadores .....	9
1.3.3 Clasificación de los Sistemas de excitación.....	9
1.4 Análisis del sistema rotatorio a sustituir, deficiencias .....	10
1.4.1 Principales fallas del sistema de excitación rotatorio .....	12
1.4.2 Estructura de la excitación rotatoria.....	13
1.5 Ventajas de la excitación estática .....	14
1.6 Estructura de la excitación estática.....	16
1.6.1 Descripción técnica del sistema de excitación estático.....	16
1.6.2 Conexiones exteriores del distribuidor de excitación .....	18
Autor: Abelardo Cuenca Sánchez.	VII

1.7 Estudio de posibles fabricantes .....	21
1.8 Conclusiones del capítulo .....	23

## CAPITULO II: La excitatriz estática a instalar.

2.1 Introducción. ....	24
2.2 Descripción de la Central Termoeléctrica .....	24
2.2.1 Flujo Tecnológico de la Central Termoeléctrica de la empresa ECG .....	26
2.3 Descripción del Sistema de Excitación Estático .....	28
2.3.1. Diagrama funcional en bloque de la excitatriz UNITROL-F .....	28
2.3.2 Funcionamiento del Sistema de Excitación Estático (SEE) .....	29
2.4 Descripción funcional del panel de control USN 0874 .....	35
2.4.1 Formatos de despliegue .....	35
2.4.2 Funciones de Teclas.....	36
2.4.3 Modos de operación .....	36
2.5 Clasificación de los sistemas estáticos .....	40
2.5.1 Sistema de alimentación.....	40
2.6 Selección de un sistema apropiado .....	41
2.6.1 Criterio de Elección.....	41
2.7 Caracterización del sistema elegido .....	42
2.8 Justificación de la selección.....	50
2.8.1 Evaluación del Sistema de Excitación Estática .....	55
2.9 Ventajas obtenidas por el esquema propuesto .....	56
2.9.1 Desventajas del sistema de excitación estático .....	57
2.10 Montaje, ajuste y puesta en marcha .....	58
2.11 Conclusiones del capítulo .....	61

## CAPITULO III: Análisis de resultados

3.1 Introducción. ....	62
3.2 Valoración económica.....	62
3.2.1 Costo de los mantenimientos en la excitatriz rotatoria.....	63
3.2.2 Costo de los mantenimientos en la excitatriz estática.....	65

3.3 Valoración medio-ambiental .....	65
3.4 Análisis de resultados técnicos.....	66
3.4.1 Resultados obtenidos de los esperados .....	66
3.4.2 Comprobación de funcionamiento según diseño .....	67
3.5 Valoración Social .....	67
3.6 Conclusiones del capítulo .....	68
Conclusiones Generales.....	69
Recomendaciones .....	70
Bibliografía.....	71
Anexos.....	72

## **Introducción General.**

Este trabajo consiste en la modernización del sistema de excitación de la central termoeléctrica de la fábrica niquelífera Comandante. Ernesto Che Guevara, el cual va a sustituir el sistema anterior debido a su envejecimiento, deficiencias y falta de piezas de repuesto con el objetivo de lograr un mejor resultado en las operaciones de excitación para la óptima generación de energía en la empresa.

Estos turbogeneradores fueron instalados como la necesidad de aprovechar el uso del vapor de agua generado por las calderas para el proceso productivo de la misma, su explotación ha permitido abaratar los costos de producción de dicha planta contribuyendo con la competitividad del níquel cubano.

Los sistemas de excitación de dichos turbogeneradores forman parte indispensable en el correcto desempeño de su tarea primordial que es la generación eléctrica de forma segura y eficaz.

## **Situación problemática.**

Desconexiones repetitivas de los turbogeneradores 1 y 2 de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara a causa del ineficiente sistema de excitación por su antigüedad y nulo suministro de piezas de repuesto, provocando pérdidas económicas sustanciales a la empresa por concepto de generación.

## **Problema**

Necesidad de sustitución de las excitatrices rotatorias debido a inestabilidad operativa de los turbogeneradores de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara.

## **Hipótesis**

Si se sustituye el sistema de excitación rotatorio actual de los turbogeneradores 1 y 2; por un nuevo sistema estático, el cual, además de su condición de nuevo, posee ventajas, en cuanto a posibilidades operativas y de protección, se puede elevar la eficiencia y la confiabilidad operativa de cada una de estas máquinas generadoras y la calidad del control sobre la potencia a generar por cada una de ellas.

## **Objeto de Estudio**

Sistema de excitación de los turbogeneradores 1 y 2 de la CTE de la fábrica de níquel Comandante. Ernesto Che Guevara.

## **Campo de aplicación**

Generación de electricidad.

## **Objetivo General.**

Modernizar el sistema de excitación de los turbos generadores de la termoeléctrica de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara.

## **Objetivos Específicos**

1. Buscar la mejor parametrización del convertidor de excitación.
2. Hacer valoración económica calculando los efectos de la inserción del nuevo sistema de excitación.

Para dar cumplimiento a la investigación se planificaron las siguientes tareas:

1. Revisión y análisis del sistema de excitación actual.
2. Revisión y estudio de los manuales técnicos del nuevo sistema de excitación.
3. Elaboración de informe de investigación.
4. Realizar una valoración económica que calcule el aporte de este trabajo por concepto de aumento de la productividad de los equipos objeto de estudio.

### **Resultados esperados**

1. Aumento de la eficiencia operativa de los turbogeneradores de la planta Comandante. Ernesto Che Guevara.
2. Minimizar las intervenciones de mantenimiento, propiciando la aplicación del mantenimiento por diagnóstico.
3. Propiciar flexibilidad de integración de este sistema a futuras mejoras compatibles con otros automatismos.

## **CAPÍTULO I: Marco teórico metodológico**

### **1.1 Introducción**

En el año 1832 fue inventada una máquina que revolucionaría el mundo de la energía eléctrica, esa máquina se llamó Generador Sincrónico y su inventor sólo dejó sus iniciales en latín (R.M). Este invento llevó a otros estudios que concluyó el ingeniero jefe de la firma Erlicon, C Braun en colaboración con Dolivo- Dobrovolski en 1891. Este alternador se ponía en movimiento por medio de una turbina hidráulica o hidro turbina que tenía los siguientes datos técnicos:  $S= 230 \text{ KVA}$ ,  $n=150 \text{ r.p.m}$ ,  $f=40 \text{ Hz}$  y  $U_L=95\text{V}$ .

La mayor parte de la energía eléctrica que se consume, se produce con auxilio de los hidrogeneradores y los turboalternadores trifásicos sincrónicos. Los primeros se ponen en rotación mediante hidroturbinas y los segundos por turbinas de gas o vapor. Existen además pequeñas unidades generadoras que utilizan máquinas sincrónicas de baja velocidad que son alimentadas con diesel y se destinan a la alimentación de cargas autónomas de vital importancia para la economía y la sociedad.

Las máquinas sincrónicas no solo funcionan como generadores, sino que también pueden trabajar como motores, sobre todo cuando se trata de cargas considerables y también como compensadores de energía reactiva. (Se les llama maquinas sincrónicas porque la velocidad de rotación del campo magnético se iguala a la velocidad de rotación del eje) [2]

### **1.2 Funcionamiento y campo de aplicación de las Máquinas Sincrónicas**

Durante la rotación del rotor, por el devanado de este circula corriente directa o rectificadas, en sus polos se crea un flujo magnético que se cierra fundamentalmente a través del acero activo del estator y del rotor y la holgura del entrehierro. Como resultado de esto en las tres fases del devanado estatórico desplazadas unas de otros 120 grados eléctricos se



las industrias.

5. Micromotores sincrónicos con imanes permanentes que se encargan de crear el campo excitador.

Un sistema de generación está formado por una máquina motriz o motor primario, el generador, el regulador y el equipo de control, además de algunos dispositivos de protección. En esencia los generadores representan el corazón o la parte central de un sistema de generación.

Los Generadores Sincrónicos se han convertido en las máquinas más utilizadas en la producción de Energía Eléctrica, su popularidad se debe a que permiten un control más preciso de la frecuencia y del voltaje de la electricidad generada, pero principalmente a un control efectivo de la potencia reactiva y la activa. [2]

### **1.3 Sistemas de excitación**

La condición ideal del generador sincrónico es que provea energía eléctrica a una tensión relativamente estable. Debido a las constantes oscilaciones de la carga, se vuelve necesaria la continua regulación de la excitación. Los generadores más antiguos de pequeña reactancia de dispersión y pequeña reacción de inducido (gran entrehierro) eran en gran medida insensibles a estas variaciones. Sus modelos primitivos de excitación se accionaban manualmente por un operador experto, quien controlaba constantemente la tensión de salida y realizaba los ajustes necesarios en el reóstato de campo de la excitadora en función de las variaciones de la carga, lo que se conoce como control de lazo abierto. Más adelante cuando se adicionó un regulador automático de tensión (AVR) se obtuvo un sistema de control de lazo cerrado.

Los sistemas de excitación han tenido un desarrollo paralelo al de los generadores, partiendo desde modelos manuales, pasando por las excitadoras mecánicas autorreguladas, también llamadas dinámicas, hasta los modernos sistemas de excitación de las últimas décadas que usan dispositivos electrónicos estáticos.

En la actualidad para lograr generadores más económicos y eficientes se construyen con gran reactancia de dispersión y pequeño entrehierro, lo que equivale a una mayor

reacción de inducido, estas son las llamadas máquinas blandas, en las cuales al variar la carga, la excitación debe variarse en magnitud sensiblemente superior.

El objetivo principal de los sistemas de excitación es mantener la tensión de la salida del estator en valores prácticamente constantes bajo regímenes de carga estables y también en regímenes transitorios, cuando la carga oscila lentamente, o en otros casos, instantáneamente.

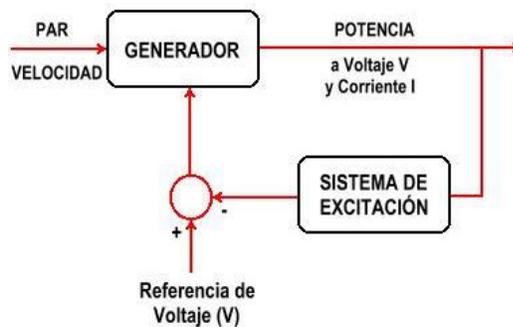


Figura 1.2 Diagrama de bloques del control de tensión

### Funciones básicas de un sistema de excitación

- ✓ Suministrar la corriente al devanado de campo.
- ✓ Controlar la tensión de salida en forma rápida y automática.
- ✓ Contribuir a la estabilidad sincrónica del sistema de generación.

Los elementos principales de un sistema de excitación son la excitatriz y el regulador de tensión, este constituye el elemento que controla la salida de la excitatriz de manera tal que se tengan los cambios de potencia reactiva y tensión generada en la magnitud requerida pre establecido.

La función de la excitación es permitir que el regulador la tensión use una pequeña señal de control para ajustar la corriente de campo del generador de valor mucho mayor. En esencia el circuito de excitación es un amplificador de potencia.

El regulador la tensión muestrea la tensión de salida del generador, esta entrada es reducida y convertida a una señal de corriente directa que representa la tensión de línea del generador. La señal se entrega a un detector de error donde se compara con una señal de referencia. La señal de referencia es el punto de regulación del regulador y está directamente relacionada con la tensión nominal del generador. Si la señal muestreada aumenta o disminuye debajo de la señal de referencia, se produce una señal de error, la cual es amplificada y aplicada a la etapa de control de potencia del campo del generador.

### **1.3.1 Generalidades de los Sistemas de excitación**

El sistema de excitación de una máquina sincrónica no es más que el conjunto de máquinas, dispositivos y mecanismos, utilizados para suministrar y regular corriente directa al devanado inductor.

Los sistemas de excitación deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Poseer una alta confiabilidad.
2. Ser sencillo y que su costo sea pequeño.

Además, la necesidad de regular la tensión y garantizar un trabajo estable de las máquinas sincrónicas, le impone al sistema de excitación, una serie de requisitos complementarios.

“Para mantener la tensión de salida constante en los terminales del generador, durante una variación de la carga es necesario regular corriente de excitación y correspondientemente tensión de excitación en márgenes amplios.

Otros sistemas de excitación que utilizan, de alguna manera u otra, dispositivos electrónicos semiconductores de potencia principalmente tiristores. Estos pueden ser controlados de manera automática mediante microprocesadores o micro controladores.

Con estos nuevos procedimientos, se consiguen ventajas sustanciales, tales como mayor velocidad de respuesta ante cualquier variación de carga o contingencia en un sistema eléctrico de potencia, que en consecuencia aumentan la estabilidad del sistema.

### 1.3.2 Formas de excitación en los generadores

- Según la forma de alimentación de las bobinas se tienen 2 tipos de excitación:

Excitación independiente: la corriente que alimenta al devanado inductor es ajena a la propia máquina, procede de una fuente independiente externa.

Autoexcitación: la corriente de excitación en este caso procede de la propia máquina.

### 1.3.3 Clasificación de los Sistemas de excitación.

#### Electromecánico Directo.

Este sistema se conoce también como Rotatoria o Dinámica. Los sistemas de excitación directa son aquellos conjugados directamente con el árbol de la máquina síncrona o sea, está acoplado al árbol del generador, los circuitos de excitación con un generador de corriente continua como se muestra en la figura 1.2 el sistema comprende, además de la propia excitatriz, un subexcitador, que alimenta el devanado de excitación independiente de la excitatriz principal, reóstatos reguladores, contactores, equipos de telemando, reguladores automáticos de tensión y otros dispositivos.

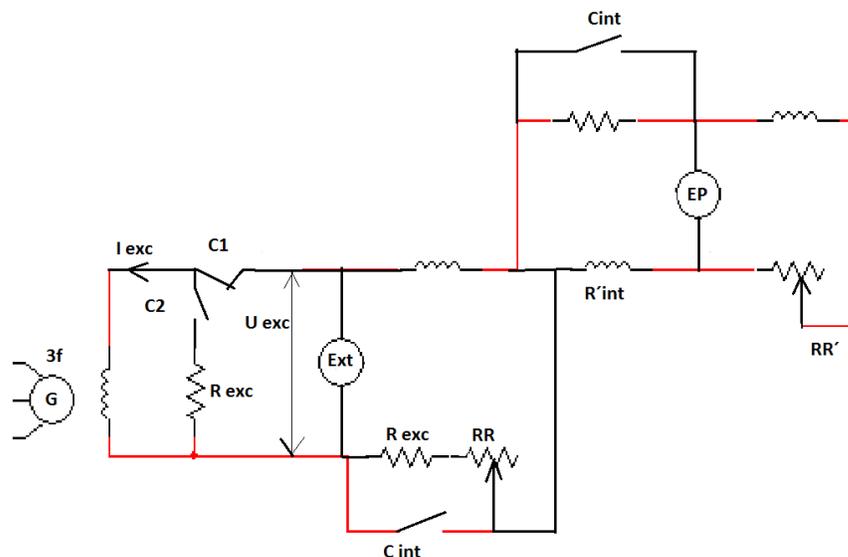


Figura 1.3 Sistemas de excitación de las máquinas síncronas

R-rotor de la maquina; Exc-excitatriz (dínamo en derivación independiente); EP-excitatriz piloto, dinamo de excitación independiente; RR y RR'- resistencia de regulación; Cint y C1int-contactores para la intensificación de la excitación; Rint y R'int-resistencias que se cortocircuitan durante la intensificación; C1 y C2-contactos del aparato automático de excitación del campo (AAEC); Rexc-resistencia de extinción. (2)

### **Electromecánico Indirecto**

El sistema indirecto también es rotatorio sólo que el rotor de la excitatriz esta conjugado no con el árbol del generador, sino con un motor aislado o es decir que el rotor de la excitatriz se pone en rotación por un motor sincrónico o asincrónico que se alimenta de las barras destinadas a cubrir las propias necesidades de la central o del generador sincrónico auxiliar montado en el árbol del generador principal o del generador sincrónico auxiliar instalado en la central, por lo general y como es el caso de la termo que se está estudiando este sistema se utiliza como excitatriz de reserva.

**a) Con generador y excitatriz de corriente directa y rectificadores.** Este también es compuesto y además es auto excitado. La energía necesaria para excitar la máquina sincrónica se toma de su devanado del inducido, en tal caso la corriente alterna, obtenida del inducido, se rectifica con auxilio de semiconductores gobernados (tiristores).

La toma de energía se lleva a cabo por medio del transformador, conectado en paralelo con el devanado del inducido, el transformador permite garantizar el forzamiento de la excitación en caso de cortocircuitos cercanos, cuando la tensión en el devanado del inducido baja bruscamente.

#### **1.4 Análisis del sistema rotatorio a sustituir, deficiencias**

En la central termoeléctrica de la fabrica Comandante, Ernesto Che Guevara se cuenta con dos turbogeneradores del tipo SKODA accionados cada uno por una turbina del tipo

contrapresión, la cual es alimentada con vapor convirtiendo la Energía Cinética en Energía Mecánica de rotación y luego transforma esta en Energía Eléctrica que recibe en su eje. El eje de la turbina está acoplado al rotor del generador y este a su vez tiene acoplada la excitatriz rotatoria a través del colector.

Este sistema rotatorio a sustituir ya tiene 25 años de trabajo ininterrumpidos por lo que presentan un desgaste considerable el colector a causa del rozamiento de las escobillas, los cuales ya han tenido que ser maquinado en varias ocasiones los dos rotores de los turbogeneradores con el objetivo de pulir las superficie eliminando las zanjas provocadas por las escobillas, debido a esto ya el grosor de los colectores a disminuido hasta el punto que ya no es recomendable el maquinado de los mismo, de hecho ya la excitatriz del turbogenerador numero dos presenta avería la cual es imposible de solucionar este se tuvo que mantener trabajando con excitatriz de reserva haciendo la función como excitatriz de trabajo. De esta manera ya no se contaba con ninguna excitatriz de reserva y entonces hubo que montar otra nueva excitatriz de reserva para cuando falle la excitatriz del TG1 de trabajo o la excitatriz del TG2 que su diseño es de reserva pero hace la función de trabajo.

Esta excitatriz de reserva rotativa antes mencionada es independiente y está alimentado por un sub-excitador que en este caso es un motor asincrónico de 250 KVA que se utiliza cuando la excitatriz de trabajo de una de las máquinas presenta problemas.

“Este tipo es de la que se obtiene la alimentación del rotor y del estator de dos fuentes de tensión independientes. Con ello, el campo del estator es constante al no depender de la carga del motor, y el par de fuerza es entonces prácticamente constante. Las variaciones de velocidad al aumentar la carga se deberán sólo a la disminución de la fuerza electromotriz por aumentar la caída de tensión en el rotor.



Figura 1.4 Excitatriz de reserva.

Este sistema de excitación no se suele utilizar debido al inconveniente que presenta el tener que utilizar una fuente exterior de corriente. Por esta razón es que se utiliza como reserva”

#### **1.4.1 Principales fallas del sistema de excitación rotatorio**

- Pérdida del campo a causa del chisporroteo causado por el desgaste en las escobillas.
- Desconexiones repentinas provocadas por los deficientes y antiguos elementos de control y fuerza, dígame interruptores magnéticos, bancos de resistencias etc....
- Baja reacción de respuesta del regulador automático de tensión ante fenómenos transitorios en el sistema eléctrico.

Por otra parte elementos que se encuentran separados del excitador de trabajo pero que pertenecen al mismo conjunto han sido razón más de varias interrupciones prolongadas que han afectado la generación, dígame interruptores, magnéticos y cables de fuerza, banco de resistencias etc...

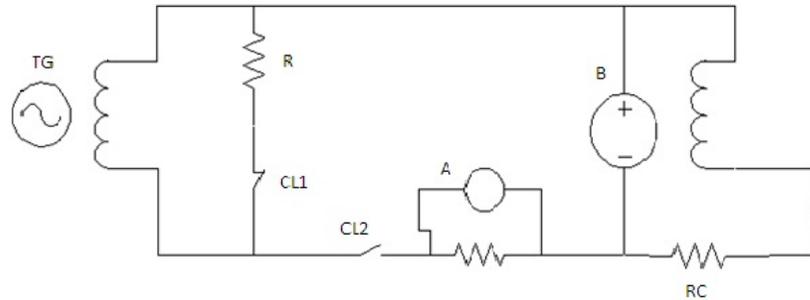


Figura 1.5 Esquema del turbogenerador con su excitatriz de trabajo.

Funcionamiento de la figura 1.5: En condiciones de operación el interruptor CL2 debe cerrarse, provocando la apertura de CL1, con lo que fluye la  $I_{exc}$  a través del devanado de campo del generador, que al estar en rotación a 3600 rpm, genera una f.e.m trifásica en su devanado del estator, el resistor R, tiene la función de extinguir la sobretensión que aparece en los bornes del rotor en caso de una desconexión repentina del interruptor CL1 estando sincronizado el generador.

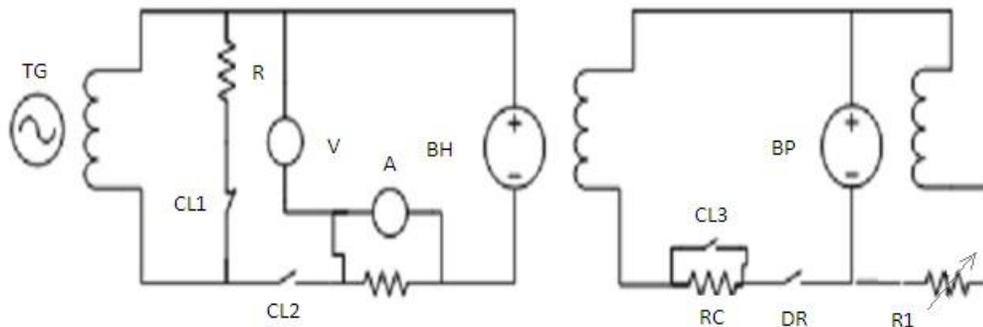


Figura 1.6 Esquema del turbogenerador con su excitatriz de reserva.

#### 1.4.2 Estructura de la excitación rotatoria

La excitatriz rotatoria de los turbo generadores de 12.5 Mw. de la fábrica Comandante. Ernesto Che Guevara se compone de un sistema doble, es decir, el mismo consta de un generador de corriente continua acoplado al eje del turbogenerador el cual constituye la excitatriz de trabajo o principal y es la encargada de suministrarle la corriente de excitación a régimen permanente al generador.

Además de la excitatriz de trabajo, el sistema consta de un motor generador; un motor asincrónico de 250 KVA que acciona un generador de corriente directa el cual tiene la

capacidad de suministrar la corriente de excitación necesaria para la operación a régimen permanente del turbogenerador.



Figura 1.7 Excitatriz de trabajo.

Tabla 1.1 Datos técnicos de la excitatriz rotatoria.

<b>P (Kw)</b>	<b>U<sub>n</sub> (V)</b>	<b>I<sub>n</sub> (A)</b>	<b>Velocidad (rpm)</b>
125	230	544	3600

Tabla 1.2 Datos técnicos del generador.

<b>P<sub>n</sub> (MW)</b>	<b>Q<sub>n</sub> (MVA<sub>r</sub>)</b>	<b>S<sub>n</sub> (MVA)</b>	<b>U<sub>n</sub> (kV)</b>	<b>U<sub>excit.rotor</sub> (V)</b>	<b>I<sub>cc</sub> (A)</b>	<b>I<sub>excit.rotor</sub> (A)</b>	<b>Velocidad (rpm)</b>
12	9	15	10.5	42-158	825	142-463	3600
<b>Cos φ</b>	<b>H</b>	<b>F(Hz)</b>	<b>Conex</b>	<b>X<sub>d</sub> (%)</b>	<b>X<sub>d'</sub> (%)</b>	<b>X<sub>d''</sub> (%)</b>	
0.8	0.95	60	Y	6.6	22.6	16.5	

### 1.5 Ventajas de la excitación estática

Es oportuno señalar que la primera ventaja del sistema de excitación estático sobre el rotor es su juventud, o sea, las excitatrices rotatorias en explotación están en pésimas condiciones, sin suministro de piezas de repuesto y con desgastes apreciables de sus

dispositivos de potencia; dígame interruptores, máquinas de corriente directa, escobillas, colectores, cables de fuerza, etc.

Por otro lado sus limitaciones operacionales respecto la nueva tecnología con que fueron diseñadas las excitatrices estáticas, su lentitud ante la dinámica de la red que alimenta, debido en gran medida a los coeficientes integrales incrementados que aportan las constantes de tiempo de las máquinas generadoras de corriente directa que son componentes intrínsecas del sistema, lo ponen en total desventaja respecto al sistema de excitación estática.

Otra ventaja muy importante es que debido a la inexistencia de partes móviles, sensibles al desgaste mecánico, reduce los requerimientos de mantenimiento, al menos mecánico y de ser necesario realizar algún mantenimiento a la misma el generador pasaría a trabajar con una excitatriz de reserva sin la paralización del mismo.



Figura 1.8 Excitatriz estática.

## 1.6 Estructura de la excitación estática

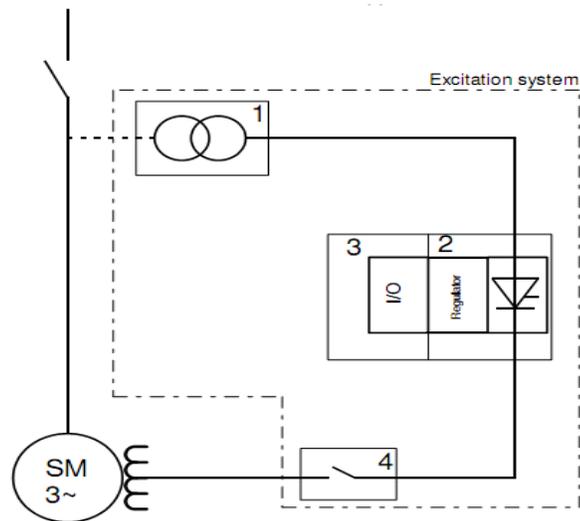


Figura 1.9 Estructura de la excitación estática.

1. Sistema de alimentación con transformador de excitación.
2. Módulo de excitación.
3. Interface de señales.
4. Interruptor desexcitador de campo.

### 1.6.1 Descripción técnica del sistema de excitación estático

#### ▪ El equipamiento de excitación consta de:

1. El distribuidor de excitación estática el que alimenta directamente al enrollamiento de excitación del generador.
2. El transformador de excitación se alimenta directamente de los bornes del generador.

#### ▪ Este sistema está proyectado para garantizar:

1. Seguro funcionamiento del generador en el rango del régimen del diagrama de explotación.
2. Rápida regulación de alta calidad en las variaciones del régimen de operación.

El distribuidor de la excitación contiene:

- **El Regulador digital de excitación**

Consiste en una pieza compactada que utiliza un micro controlador de gran potencia de 16 bits INTEL 87C196CA. Es de un canal que cumple todas las condiciones de la regulación automática de tensión, regulación manual de corriente de excitación, sincronizador automático y autómeta lógico.

- **El Regulador automático**

Tiene repercusión rápida sobre la tensión de salida del generador y sus características son las siguientes:

1. La tensión es su variable de salida principal.
2. El rango de regulación de tensión en los bornes del generador en el estado estabilizado es de 0.5% de la tensión en la salida del estator.
3. El rango de posibilidad de regulación de tensión en los bornes del generador es de 80-120%  $U_a$ .
4. Extensión de arreglo estático es  $\pm 10\%$
5. Comparador de la tensión del generador con la tensión de la red (antes de sincronizar).
6. Regulación de la potencia reactiva  $Q=0$  (antes de desconexión del generador de la red).
7. Régimen invertido del cambiador para desexcitación del generador.
8. Control del rectificador tiristorizado.
9. Regulación manual de corriente de excitación del generador.

- **Posibilidades automáticas adicionales de la regulación**

1. Limitador de corriente del estator (dependiente en tiempo de sobre corriente).
2. Limitador de corriente del rotor (dependiente en tiempo de sobre corriente).
3. Vigilador del límite de sub/excitación.

4. Limitador U/f.
5. Regulación a distancia de la potencia reactiva.

- **El sincronizador automático**

Genera a través de los bornes de salida una señal para regulación de las revoluciones durante la sincronización y para la conexión del interruptor del generador.

- **El autómatas lógico**

Sirve para mando y diagnostica al control secuencial de los procesos en el sistema de excitación durante el tiempo del arranque y disparo del generador.

Tabla 1.3 Parámetros del regulador digital.

Número de canales	2
Precisión (estado estable)	$\pm 0,5\%$
Posibilidad de ajuste del voltaje	0-120% (rango bruto)
Posibilidad de ajuste del voltaje	80-120% (rango fino)
Estática ajustable en el rango	$\pm 10\%$

### 1.6.2 Conexiones exteriores del distribuidor de excitación

- **La alimentación del distribuidor contiene**

1. Alimentación de circuitos de fuerza o trabajo desde el transformador de excitación 400kVA, 10,5 Kv / 0,25 Kv.
2. Alimentación de circuitos auxiliares o reserva 2-220 V CD, 1-4; 3 fases a 60 Hz, 0,25 kV.

- **Las señales de entrada (contactos sin tensión) incluyen**

1. Los sensores de estado de los equipos tecnológicos.

2. Interruptor de salida del generador.

▪ **Las entradas analógicas**

1. Señales desde los transformadores de tensión y de corriente.
2. Medición de tensión del generador – 1 transformadores de tensión conectados en estrella.
3. Medición de la corriente del generador – 1 transformador de corriente.
4. Medición de tensión de la red – 1 transformador de tensión.
5. Conectado entre dos fases de la red.

▪ **Las señales de salidas lógicas (contactos sin tensión) incluyen**

1. Parada por avería.
2. Orden para conectar interruptor de potencia.
3. Orden “revoluciones más o menos”.
4. Contactos auxiliares del interruptor de campo.
5. Señalización de operación.
6. Señalización de fallas.

▪ **Rectificador a tiristores**

Cada uno de los rectificadores a tiristores (dos) está compuesto por 6 módulos de tiristores sin potencial los que son conectados en el puente trifásico completamente controlado.

El control de los tiristores, es a través de ametrallamiento de sus electrodos de control para reducir las pérdidas de potencia en las resistencias necesarias y para mantener la conducción de los tiristores a una décima parte en comparación con el control convencional con los pulsos de corta duración.

La conexión del circuito de fuerza es dos rectificadores trifásicos cada uno con 6 tiristores

y los datos de chapa son:

Tabla 1.4 Datos nominales del rectificador.

Tensión nominal CD	225 V
Corriente nominal CD	525 A
Tensión máximo CD	492 V
Corriente máxima CD	765 A
Tensión de entrada CA	3 x 400 V, 60 Hz
Tensión de techo relativo	2,4 V
Corriente de techo relativa	1,6 A

#### ▪ Sistema de ventilación

El aire refrigerante para el puente trifásico está suministrado por un ventilador. Su función está indicada por un sensor de flujo de aire. El aire entra al distribuidor a través de los filtros situados en la puerta y una vez calentado sale expulsado por un ventilador a la parte superior del distribuidor.

#### ▪ Protecciones de sobretensión

Esta, en la parte alterna, protege el variador contra sobretensión originada en su alimentación. La protección incluye un juego de circuitos RC, las que son a través de una resistencia de amortiguación y un rectificador auxiliar conectado a los bornes de salida del variador.

También se protege al variador en parte de corriente continua. La protección incluye dos tiristores conectados en anti-paralelo, los cuales son conectados a través de una resistencia eléctrica no lineal a las barras de salida de excitación.

#### ▪ Interruptor de campo o excitación

Este dispositivo sirve para desexcitación del turbogenerador durante disparos de

emergencia y averías. En la parada operacional se reduce corriente de excitación por un régimen invertido de rectificador o marcha inversa.

- **Cambio de polaridad de tensión de excitación**

El cambio de polaridad de tensión de excitación en las anillas del generador se realiza por medio del intercambio de los dos cables en la bornera de salida de armario de excitación. Esto representa aflojar y después apretar dos tornillos.

- **Los accesorios incluyen**

1. Circuitos de medición.
2. Calefacción.
3. Alumbrado y tomacorrientes auxiliares. (1)

### **1.7 Estudio de posibles fabricantes**

En la licitación se tuvieron en cuenta cuatro suministradores, dentro de ellos ABB (Suiza), ALTON POWER (Francia), SKODA (Checa) por VIROEX, en las mismas se midieron varios aspectos técnicos económicos, prestaciones, flexibilidad, prestigio en el mundo, experiencia en el tipo de equipo y valor económico de la oferta; de lo cual resultó ganador en el proceso de licitación el suministrador ABB por haber hecho la mejor oferta en cuanto a todos los requisitos mencionados, además de poseer mejor adaptabilidad a las máquinas en cuestión y económicamente por estar dos veces por debajo de los demás suministradores con un costo de 80 000.00 Euros mientras que los demás con características similares no bajan de los 200 000.00 Euros.

### Algunas rreferencias de excitatrices UNITROL instaladas en el mundo.

Tabla 1.5 Excitatrices UNITROL instaladas en el mundo.

No.	País	No de excitatrices	Potencia.
1	Itaipu brasil (Brasil)	20	800 Mva
2	Ilha Solteira (Brasil)	20	177 Mva
3	Salto Grande (Argentina)	14	150 Mva
4	Mejillones (Chile)	1	176 Mva
5	Porce III (Colombia)	4	418 Mva
6	Macagua (Venezuela)	12	250 Mva
	Macagua (Venezuela)	2	102 Mva
7	Yuncan (Perú)	3	47 Mva
8	Cumbayá (Ecuador)	4	11 Mva
9	Hidropaute (Ecuador)	1	111 Mva
10	Termo barranquilla (Colombia)	1	750 Mva
11	Centro Cadafe (Venezuela)	3	390 Mva

### Totalidad aproximada de excitatrices estáticas de la firma ABB instaladas en el mundo.

#### Máquinas de polos salientes hasta 823 MVA.

- Más de 900 Sistemas de Excitación Estática y más de 500 Reguladores de Tensión.
- Turbogeneradores refrigerados con hidrógeno hasta 1635 MVA.

Más de 400 Sistemas de Excitación Estática

- Turbogeneradores refrigerados con aire hasta 426 MVA.

Más de 500 Sistemas de Excitación Estática.

- **Referencia especial:** Proyecto Lungman (Planta Nuclear, Taiwán con dos generadores de 1600 MVA)

Cliente Mitsubishi, este es uno de los sistemas más grandes de excitación estática

construidos en el mundo. (12)

### **1.8 Conclusiones del capítulo**

1. El sistema de excitación rotatorio que se encuentra en operación necesita ser sustituido debido a su mal estado técnico.
2. El sistema de excitación estático es ventajoso respecto al sistema de excitación rotatorio.
3. El sistema de excitación ofertado por ABB consta con respaldo internacional por cuanto ha sido aplicado con resultados satisfactorios en varios lugares del mundo.

## **CAPITULO II: La excitatriz estática a instalar.**

### **2.1 Introducción.**

La excitación estática puede ser a fuente de tensión o compuesta. En la excitación estática el regulador de tensión alimenta directamente el campo rotativo del generador y no al campo de una excitatriz rotativa.

Actualmente todos los reguladores de tensión son dispositivos estáticos, lo que significa que sus componentes de estado sólido permiten al regulador realizar su función sin la necesidad de partes móviles. La potencia se suministra al campo por medio de anillos rozantes y escobillas.

Estas excitadoras rotatorias han sido reemplazadas por modernos sistemas de excitación estática. Paralelamente las nuevas plantas hidroeléctricas cuentan con excitadoras estáticas para sus generadores. La generación eléctrica basada en las características propias de los generadores sincrónicos de polos salientes y con sistemas de excitación estáticos han dado buenos resultados y su funcionamiento es muy confiable.

El sistema de excitación estático debe mantener la tensión de salida del generador estable con una tolerancia de  $\pm 0.5\%$  de la tensión nominal, para esto se usa un muestreo constante de la tensión de salida del generador - realimentación negativa. Esta medición se compara con la tensión de referencia, la diferencia de esta comparación causa un cambio inmediato en la salida corriente directa de la excitatriz que alimenta el campo del generador, lo que tiende a normalizar la tensión de salida del generador.

### **2.2 Descripción de la Central Termoeléctrica**

La planta termoeléctrica de la empresa de níquel Ernesto Guevara está formada por diferentes plantas que componen su proceso productivo, la destinación de la misma es la

producción de vapor y energía eléctrica para el proceso tecnológico de la empresa en la producción de níquel. Las diferentes áreas o plantas que componen la termoeléctrica son:

- Planta de tratamiento químico del agua.
- Planta de base de petróleo 36/37 (Mazut).
- Área de calderas:
- Área de compresores:
- Área de torres de enfriamiento:
- Área de turbinas:
- Área de subestaciones eléctricas:

La Central Termoeléctrica (CTE) consta de dos turbogeneradores SKODA de fabricación checa, la potencia aparente de los mismos es de 15 MVA, la activa es de 12 MW. Se operan a una frecuencia de 60 Hz con una velocidad de 3600 rpm a un voltaje de 10,5 kV y corriente nominal de 825 A. El dispositivo de distribución principal de 10,5 kV es la principal subestación distribuidora de la fabrica "Comandante. Ernesto Che Guevara", está compuesto por cuatro secciones enlazadas entre sí por reactores, un disyuntor y un interruptor de aceite de media tensión La sección 1 está alimentada por el Turbogenerador #1, la sección 2 por el transformador 1T, la sección 3 por el Turbogenerador #2 y la sección 4 por el transformador; en estos momentos esta subestación está siendo objeto de una reestructuración y un proceso de modernización en el cual se está insertando una quinta sección de barras para la incorporación de un nuevo turbo generador que debe comenzar su aporte energético en un futuro próximo.

Cada sección está estructurada como se observa en la Figura 2.1

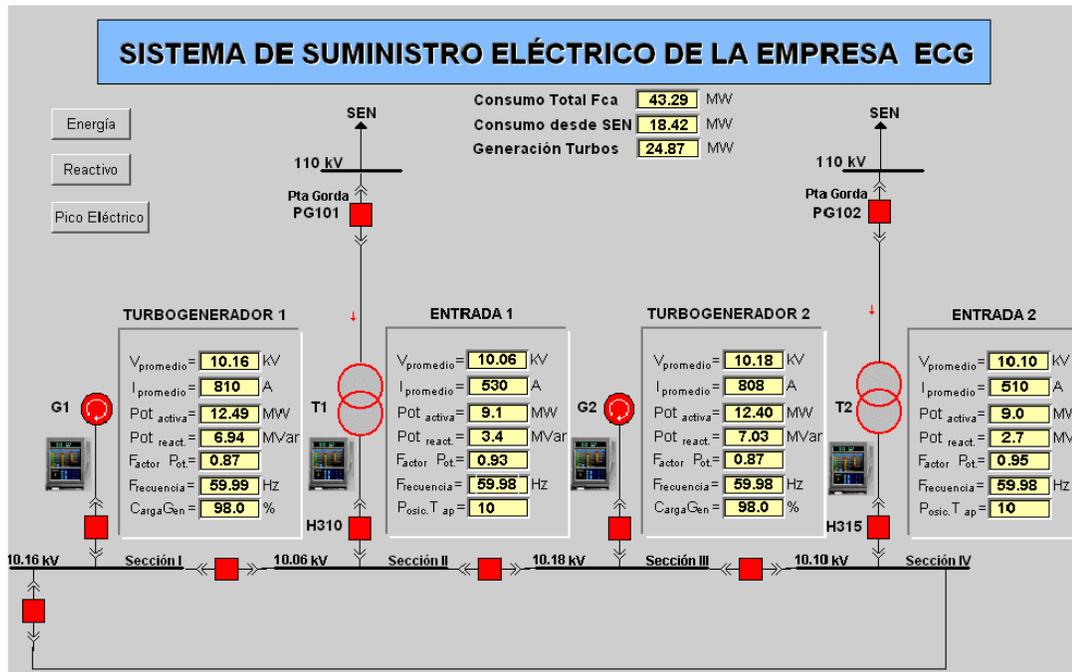


Figura 2.1 Página de Citect, software empleado para el monitoreo del Sistema de suministro eléctrico de la empresa ECG.

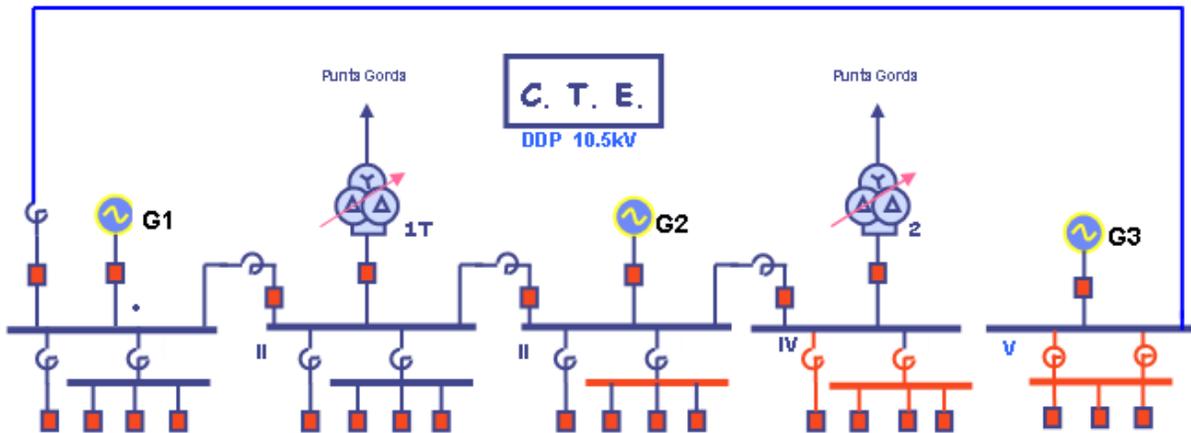


Figura 2.2 Dispositivo de Distribución Principal –DDP– de la empresa ECG con la quinta sección incorporada.

### 2.2.1 Flujo Tecnológico de la Central Termoeléctrica de la empresa ECG

La Turbina de vapor de tipo 12/12-3,5/1/0,2 de potencia nominal de 12 MWh y contrapresión nominal de 1 kgf/cm<sup>2</sup>, está destinada a mover el generador de corriente alterna de tipo, el vapor pasa a la turbina por los lados a través de las válvulas de arranque, las cuales cuando la turbina está en servicio, están abiertas completamente; luego el vapor

pasa al tren de válvulas formado por cuatro válvulas reguladoras de alta presión, las cuales se abren una tras otra.

Después el vapor pasa por los escalones de regulación de alta presión y posteriormente va a la parte de baja presión, aunque puede suceder que una porción del vapor se extraiga voluntariamente por la toma regulada

En la parte de baja presión están instaladas cuatro válvulas reguladoras, un escalón de regulación y nueve escalones de presión. Después del tercer escalón de baja presión, se hace la extracción de vapor para el calentador de alta presión con el objetivo de calentar el agua de alimentar. El vapor restante pasa a la contrapresión de la turbina.

La termoeléctrica se consta de 5 calderas de vapor destinadas fundamentalmente a satisfacer las necesidades del flujo tecnológico (producción del níquel) a la vez cuentan con dos turbogeneradores designados para cogenerar la electricidad a partir del vapor La energía de los turbogeneradores se utiliza para el auto abastecimiento eléctrico de la fábrica, constituyendo este aproximadamente 64 % de la energía total consumida por la fábrica.

En la Central Termoeléctrica se genera 24 MW de energía activa, con un voltaje nominal de 10,5 kV y factor de potencia de 0,8; la producción auxiliar de energía reactiva es de 18 MVAr.



Figura 2.3 turbogenerador



transformador de excitación. [1]

### **2.3.2 Funcionamiento del Sistema de Excitación Estático (SEE)**

Básicamente el sistema de excitación estático debe mantener la tensión de salida del generador estable entre  $\pm 0.5$  % de la tensión nominal, para esto mide constantemente la salida del generador. Esta medición se compara con el voltaje de referencia, la diferencia de esta comparación causa un cambio inmediato en la salida DC de la excitatriz que alimenta el campo del generador, lo que tiende a normalizar el voltaje de salida del generador. Cómo se lleva a cabo este proceso y cómo intervienen los distintos dispositivos se analiza a continuación.

- **Transformador de excitación.**

Es un transformador seco, enfriado por circulación natural de aire y conectado en configuración Y- $\Delta$ . En el lado de alta tensión se conecta la tensión de salida del generador, por este motivo se ubica en un gabinete cerrado y aparte del cubículo de los equipos de control.

El lado de baja tensión está conectado al panel de rectificación y además puede ser utilizado para alimentar el servicio propio del panel de control. Su potencia nominal está en función al tamaño de la máquina sincrónica y de su corriente e campo. Los datos técnicos de este son:

Tabla 2.1 Datos técnicos del transformador de excitación.

Potencia nominal permanente con 40 °C	400 kVA
Conexión	Y / Y
Tensión nominal primario	10,5 kV
Tensión nominal secundario	0,25 kV
Tensión de corto circuito	6%
Clase de aislamiento	F (con resistencia térmica de 155 °C)
Material de enrollado	Cu
Protección	IP (contra contacto accidental con el conductor vivo o las partes móviles; contra los objetos sólidos mayores o iguales de 12,5 mm de diámetro.)

#### ▪ Transformadores de medición

Son dos transformadores de precisión, el primero para el censado trifásico de tensión de salida del generador y el segundo para la corriente en una de las fases.

El transformador de potencial es de impedancia propia muy alta, debido a que trabaja prácticamente en régimen de vacío, ya que la carga conectada en su secundario son los circuitos de comparación del Regulador Automático de Tensión (AVR) y el de sincronización del control de disparo. Se conecta en configuración delta abierta tanto en el primario como en el secundario.

El transformador de corriente o intensidad consiste en un toroide o galleta debidamente aislado, el arrollamiento primario es el mismo conductor principal que lleva la generación.

### ▪ **Módulo de control**

El panel de control es doblemente alimentado, con tensión de corriente directa desde el banco de baterías y adicionalmente con tensión de corriente alterna. La operación puede ser desde ambas fuentes. La tensión de corriente alterna se aísla a través de un transformador, luego la tensión es rectificadora y filtrada con un condensador.

La fuente de tensión corriente directa se conecta también al filtro a través de un diodo. Esto permite la operación con una o ambas fuentes conectadas al panel. La alimentación de corriente alterna puede conectarse al secundario del transformador de excitación a través de transformadores de aislamiento. Se busca con esto disminuir la carga sobre la fuente de corriente directa del banco de baterías.

Este dispositivo controla o lleva a cabo tres procesos importantes en el funcionamiento del sistema de excitación estático, primeramente el cebado o alimentación de arranque al arrollamiento del campo del generador, la sincronización y generación de las señales de disparo para los tiristores de la excitatriz y la regulación de la tensión de salida del generador sincrónico.

### ▪ **Función de cebado o arranque**

Para iniciar el arranque es necesario alimentar el arrollamiento de campo del generador con una corriente de cebado que proviene del banco de baterías a través de un circuito de crecimiento de tensión. El proceso da inicio con la puesta en marcha de la máquina. El panel de control cierra el contacto de cebado y simultáneamente arranca un temporizador de tiempo ajustable.

El contacto se mantiene cerrado hasta que se detecta a la salida del generador la tensión de sincronización, esta tensión es ajustable. Si el temporizador termina su cuenta antes de obtener la tensión de sincronización, abre el contacto de cebado y envía una señal de intermitencia.

Debido a que el arrollamiento del campo es altamente inductivo, la repentina desconexión puede provocar un sobre tensión de regreso en el panel rectificador, para lo cual está conectado un “diodo volante de potencia en derivación con el campo y en oposición al paso de la corriente directa. Si la tensión de salida alcanza la tensión requerida, el circuito de crecimiento abre el contacto de cebado, en ese momento el panel toma el control total de la salida de la excitatriz.

#### ▪ **Función de sincronización y generación de las señales de disparo**

Las señales la tensión a la salida del transformador de excitación son llevadas a través de un transformador de aislamiento hasta el circuito de disparo, que las deriva y sincroniza por separado y son comparadas con la señal de error amplificada del AVR, como resultado se obtienen tres grupos de pulsos de salida, que se utilizan para el manejo de los SCR en el panel de rectificación. La señal de control de error varía el ángulo entre el cruce por cero de una fase y el pulso de salida, variando de este modo la potencia rectificada.

#### ▪ **Función del regulador automático de tensión (AVR)**

El regulador censa la tensión de línea por medio del transformador de potencial (TP) de medición, esta señal es reducida y rectificadas a una pequeña señal de corriente directa representativa de la tensión de línea del generador. Esta señal se conduce a un detector de error donde se compara con la señal de referencia la tensión, que está relacionada con la tensión nominal de línea del generador. Si la señal de tensión de línea del generador excede o disminuye debajo de la señal de referencia, se produce una señal de error. Esta señal es amplificada y llevada al circuito de control de disparo.

#### ▪ **Panel de rectificación o excitatriz**

La función básica del panel rectificador es producir la potencia para excitar el campo del generador. Para la rectificación utiliza un puente rectificador de potencia con tres tiristores (SCR) y tres diodos, que toma la alimentación trifásica del transformador de excitación

externo y la convierte a corriente directa para alimentar el arrollamiento del campo.

El puente de rectificación es controlado por la señal de pulsos proveniente del control de disparo. Cuando el SCR es disparado antes o después de la mitad del ciclo (paso por cero), el regulador variará la tensión de corriente directa censada a través del campo y mantendrá la tensión de línea del generador dentro de la banda de regulación.

▪ **Panel de control manual.**

El control manual es una opción de régimen de funcionamiento, bajo el cual funciona el sistema de excitación, puede requerirse para controlar la máquina en caso de falla del control automático o en caso de inestabilidad del mismo bajo ciertas condiciones de carga. Consiste en controles de llave e indicadores a los que se tiene acceso en el panel frontal del cubículo del sistema de excitación estático.

Los controles manuales nos dan una idea de las magnitudes que es necesario manipular para el funcionamiento del sistema de excitación estático y el generador. Estos controles son:

- Llave automático – manual: transfiere el control entre los modos automático y manual del SEE.
- Llave (aumentar –disminuir) la tensión de referencia en modo automático: cambia la tensión de referencia cuando opera en modo automático.
- Llave de reposición de falla: se utiliza para restablecer el equipo cuando se ha activado alguna de las protecciones y ha parado la máquina, por ejemplo durante la falla de cebado de arranque.
- Llave (aumentar–disminuir) la tensión de referencia en modo manual: varía la tensión de referencia cuando opera en modo manual.
- Llave de arranque–parada: sirve para conectar o desconectar el sistema de excitación.

En el panel frontal también se encuentran otros equipos de medición y protecciones que

no se describen pues no forman parte de los objetivos de este trabajo.

#### ▪ **Ajustadores electrónicos de tensión de referencia**

Los ajustadores electrónicos reemplazan los potenciómetros operados por motor proveyendo un método de ajuste basado completamente en electrónica de estado sólido, opera como una resistencia ajustable.

Con la variación de la resistencia varía el valor de tensión de referencia ante el AVR de manera inversa, una disminución de la resistencia provoca un aumento de la tensión de referencia y viceversa. Se tiene un ajustador para cada modo de operación, manual y automático. Pueden ser ajustados exteriormente desde el panel frontal.

#### ▪ **Dispositivos electrónicos de control y protección**

Para asegurar la operación normal el sistema de excitación estático cuenta con una serie de protecciones que miden las variables del proceso de regulación, en primera instancia si alguna magnitud toma valores fuera de los límites de trabajo, envían señales de advertencia a los indicadores del panel frontal o activan el disparo o desconexión de la máquina.

#### ▪ **Otros elementos son:**

- Limitador de excitación mínimo - máximo
- Controlador de factor de potencia.
- Relé de sobre-excitación.
- Relé de secuencia de fase.
- Relé de baja tensión, sobre tensión y baja-sobre tensión.

## 2.4 Descripción funcional del panel de control USN 0874

El panel de control USN 0874 es empleado en el control local del sistema de excitación y para ajuste de valores de parámetros, el mismo cuenta con 16 teclas de membranas y un LCD con 4 líneas de 20 caracteres y con las dimensiones aproximada de una calculadora de bolsillo.

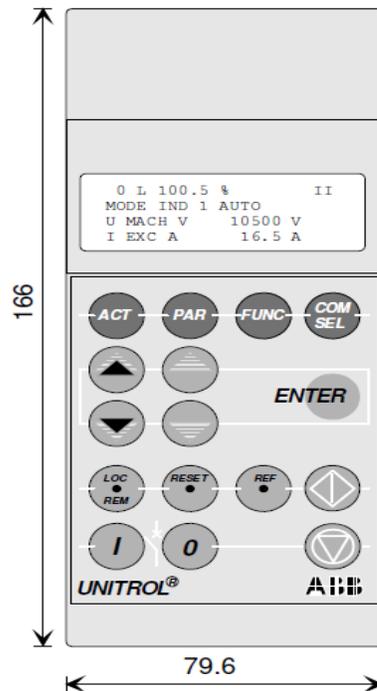


Figura 2.5 Panel de control USN 0874

El panel de control está conectado con el equipamiento UNITROL F vía una interface serial (RS 485). La velocidad de comunicación es de 9600 bits/s la alimentación al panel se realiza a través del cable de conexión serial. El equipo no contiene batería.

### 2.4.1 Formatos de despliegue

Dependiendo del modo de operación empleado, el despliegue LCD del panel de control indica el estado de operación de la excitación, mensajes de falla, valores de parámetros y otras informaciones del sistema de excitación. Toda la información parámetros y mensajes de fallas son indicados en el idioma Ingles. Cada esta detallada en los siguientes ejemplos:

### **2.4.2 Funciones de Teclas**

Las teclas de membranas son utilizadas para seleccionar el modo de despliegue y operar las funciones del panel. Las teclas poseen las funciones siguientes: (ver tabla en anexo 4)

### **2.4.3 Modos de operación**

El panel de control UNS 0874 posee 5 modos de operación diferentes:

1. Modo de despliegue de valores actuales,
2. Modo de parámetros.
3. Modo de función.
4. Modo de selección de aparato.
5. Modos de arranque.

En la mayoría de ellos es posible el control local del sistema de excitación del sistema simultáneamente.

#### **❖ Modo de despliegue de la señal actual (ACT)**

En este modo tres valores actuales pueden ser indicados en el despliegue simultáneamente, por ejemplo la tensión de la maquina, potencia reactiva y corriente de excitación.

#### **❖ Modo de parámetro (PAR)**

PAR: En este modo la mayoría de los valores del sistema de excitación pueden ser ajustados, por ejemplo: Límites de valores de referencia del regulador de tensión, y ajustes de limitadores, estos ajustes solo pueden ser ejecutados por personal de puesta en marcha y de servicio.

### ❖ **Modo función (FUNC)**

En este modo se puede realizar el intercambio del conjunto completo de parámetros entre el panel de control UNITROL-F seleccionado, estas funciones se denominan "upload" y "download" estas funciones se utilizan para copiar un conjunto completo de parámetros de un canal al segundo.

### ❖ **Modo de selección de aparato (COM SEL)**

Este modo es utilizado para seleccionar el aparato con el cual el panel de control debe comunicarse. Esta función solo es relevante en sistemas de canal doble.

### ❖ **Modo de arranque (STAR)**

Cuando la alimentación al sistema es iniciada o el panel se conecta por primera vez, un despliegue de identificación aparece mostrando la versión del software. Al mismo tiempo los parámetros del sistema de excitación se descargan al panel "download". Cuando el panel es conectado por primera vez esta operación puede demorar hasta un minuto, al cabo de la misma el panel se despliega el modo de señales actuales.

El cable de conexión serial al panel de control, puede ser conectado o desconectado en cualquier momento sin interrumpir la alimentación del aparato UNITROL F. después de una interrupción de comunicación, el panel una vez vuelto a conectar, restablece la comunicación con el mismo canal que fue seleccionado antes de la interrupción.

En caso de falla del canal con el cual el panel está comunicando, la comunicación cambia automáticamente al otro canal y aparece una indicación similar a esta indicada arriba, la cual puede ser suprimida apretando la tecla (ACT).

### ❖ **Operación Normal** (ver tabla en anexo 5)

### ❖ **Como desplegar la historia de fallas**

Los sistemas de excitación UNITROL poseen una hallada muy conveniente para localizar fallas. El personal de operación siempre debe de consultar la historia de fallas antes de resetear una alarma de fallas y luego informar al personal de servicio.

En sistemas de canal doble el mensaje de fallas puede ser originado en el otro canal que en ese momento no está comunicando con el panel, en este caso antes de leer la historia de fallas se debe establecer primero la conexión con el otro canal usando la función selección de aparatos. (Ver tabla en anexo 6)

En sistema de canal doble, algunos mensajes de alarma solo pueden ser reseteadas en el canal donde se origino. En caso de que alguna alarma no pueda ser reseteada se debe proceder como sigue:

Establecer conexión con el otro canal en modo selección del aparato”.

1. Espere hasta que el mensaje de falla sea indicado.
2. Reconocer la falla como descripta arriba.

### ❖ **Control Local del sistema de excitación**

En esta operación el sistema de excitación puede ser controlado localmente, lo que significa delante del cubículo con el panel de control. Están a disposición las mismas funciones como en la sala de mando.

### ❖ **Disyuntor de campo y control de excitación**

Los cuatro comandos (EXCITACIÓN ON/OFF y DISYUNTOR DE CAMPO ON/OFF) son asignados a cuatro teclas. Después de cambiar a operación local estos comandos son activados en todos los modos de operación del panel de control y son ejecutados inmediatamente cuando presionamos la tecla correspondiente. Excepto las funciones de bloqueo en el sistema de control como por ejemplo las que previenen la desconexión de la

excitación cuando la maquina se encuentra en paralelo. (Ver tabla en anexo 7 y 8)

#### ❖ **Ajuste del valor de referencia.**

El ajuste siempre actúa sobre el regulador seleccionado momentáneamente (AUTO, MANUAL, COSPHI, Q-CTRL). (Ver tabla en anexo 9)

El margen de ajuste del valor de referencia del panel es 100 % a más 150 %. En el aparato UNITROL F, este valor es limitado al rango del valor de referencia por ejemplo 90 % para el regulador de tensión. (AUTO).

#### ❖ **Puesta en marcha y servicio.** (Ver tabla en anexo 10)

Algunos de los parámetros tienen protección contra escritura. Si alguien intenta alterar uno de estos valores ya ajustados aparecerá un mensaje de acceso denegado.

#### ❖ **Carga (Upload) y descarga (download) de parámetros.**

**Upload:** (Carga) todos los parámetros del aparato seleccionado serán copiados al panel de control. La función Upload puede ser realizada mientras el mecanismo está funcionando.

**Download:** (Descarga) copia todos los parámetros del panel de control al aparato UNITROL F seleccionado. Downloading es posible solo cuando la excitación y el disyuntor de campo en el sistema destino están en OFF.

Entre carga y descarga, el panel de control puede ser desconectado desde el cable serial y conectado a otro sistema. El conjunto de parámetros permanece grabado a salvo si la tensión de alimentación es interrumpida. [6] (Ver tabla en anexo 11)

## 2.5 Clasificación de los sistemas estáticos

Con el desarrollo de la electrónica de potencia y los microprocesadores y micro controladores han surgido muchas vías de resolver el problema de la excitación de las máquinas síncronas mediante componentes de estado sólido; en el caso del presente estudio se expondrán variantes de alimentación para reguladores de excitación, debido a su importancia en la configuración definitiva del sistema objeto de estudio.

### 2.5.1 Sistema de alimentación

Hay dos diferentes modos de alimentación:

1. Alimentación en derivación.
2. Alimentación auxiliar.

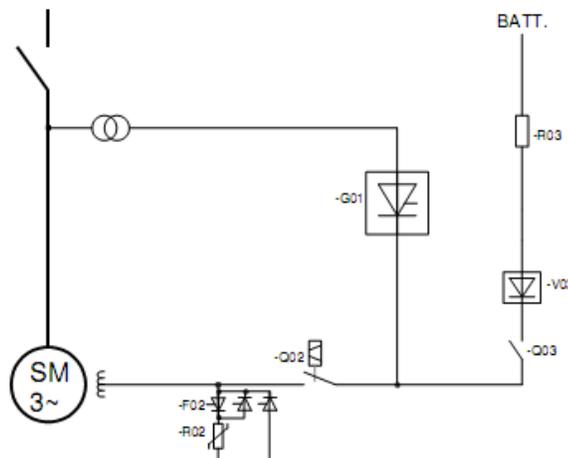


Figura 2.6 Sistema de alimentación en derivación.

En este sistema la alimentación en régimen normal fluye a través del transformador de excitación conectado a los bornes de salida del generador; en caso de una caída de tensión con la que sea imposible a regulador, mantener los niveles de corriente de excitación necesarios, se conecta de forma automática la alimentación “compounding” a través del banco de baterías que suministrarían la energía necesaria para excitar la máquina en ese periodo.

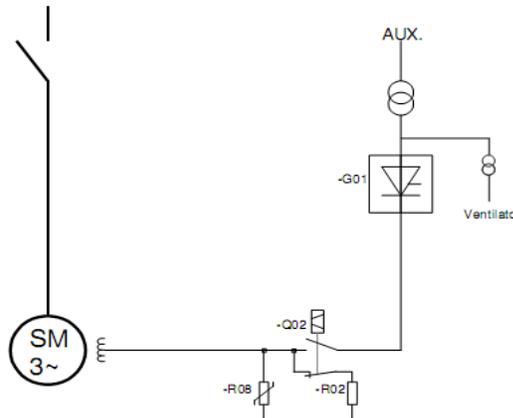


Figura 2.7 Sistema de alimentación auxiliar.

En esta configuración el suministro de energía para la excitación se toma de una fuente auxiliar que puede constituir una línea o acometida de salida de alguna de las Pizarra General de Distribución del uso planta de la Central Termoeléctrica.

Exciten otras posibles variantes y combinaciones de ambos métodos combinándolos entre sí y agregándole dispositivos redundantes que deben seleccionarse valorando las condiciones específicas de cada instalación y los niveles de confiabilidad requeridos en cada caso. [7]

## 2.6 Selección de un sistema apropiado

### 2.6.1 Criterio de Elección

Según tablas 1.1 y 1.2 del capítulo 1 se tiene que:

El regulador de excitación, debe estar dimensionado para brindar un reforzamiento de campo del 20% por encima de la  $I_{exc}$  nominal del generador, y debe mantener la tensión del estator en el rango de  $\pm 0,5\%$  de su valor de operación.

Como la  $I_{exc}$  del generador es 463 A, el 20% de ella sería 92,6 A, es decir, si sumamos la  $I_{exc}$  más el 20% de ella se obtiene 555,6 A, que sería el nivel de corriente a suministrar por

el excitador estático, o como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$I_{exc\ est} = I_{exc\ gen} * 1,2 \quad (1)$$

$$I_{exc\ est} = 463\ A * 1,2$$

$$I_{exc\ est} = 555,6\ A$$

Una vez identificado el valor de la corriente a suministrar por el excitador, y consultando la metodología del manual UNITROL - **3BHS102402 S81**- se tiene que: (4) (Ver anexo 2)

Codificación del controlador del convertidor.

El excitador seleccionado es el UNS 5875V5061 según en (anexo 3) que trata sobre los rangos de potencia y dimensiones del modulo de excitación.

## 2.7 Caracterización del sistema elegido

UNITROL F pertenece a una serie de productos de reguladores automáticos de tensión y sistemas de excitación estáticos para regulación muy exigente de máquinas sincrónicas de cualquier tipo.

El sistema UNITROL F es utilizado como:

- Regulador automático de tensión (**AVR**)
  - para alimentación de 50/60 Hz, utilizando convertidor de tiristores.
  - para alimentación CC o CA de frecuencias más elevadas, usando un convertidor de potencia tipo IGBT (Chopper)
- Sistema de excitación estática (SEE) para alimentación de 50/60 Hz, utilizando convertidor de tiristores.

Una gran diversidad de componentes y softwares están disponibles para satisfacer los requerimientos técnicos más exigentes.

- **Control digital.**

El UNITROL F es un sistema microprocesador completamente digital. Altamente eficaz, garantiza un tiempo de reacción muy rápido (aprox. 20 ms) y una gran precisión de regulación (aprox.  $\pm 0,5$  %). El software bien estructurado, ofrece amplias funciones estandarizadas (ej. limitadores) y funciones adicionales.

- **Operación local**

El UNITROL F incluye un panel de control para operación local y monitoreo. Con este panel es posible, cambiar parámetros del sistema o hacer cambios menores al programa en operación online.

La operación y monitoreo del sistema puede ser realizada vía PC utilizando el programa "Puesta en servicio y mantenimiento" CMT.

- **Comunicación**

En adición al conjunto de interfaces de entradas / salidas requeridas para el funcionamiento desde la sala de control, el UNITROL F puede ser suministrado con una vía de comunicación serial, la cual soporta varios protocolos para control de operación remota y monitoreo. Todas las interfaces de entradas / salidas están galvánicamente aisladas a través de relés y opto acopladores.

- **Diagnóstico**

La tecnología del microprocesador facilita un amplio diagnóstico de fallas al operador. Los defectos son fácilmente localizados por el panel de control o por la utilización del software CMT que es opcional.

AVR y SEE están disponibles como:

- Sistema mono canal automático (SFE) con un módulo de excitación, incluyendo un convertidor de potencia y un controlador para ambos modos de control automático

(AUTO) y manual (MAN)

- Sistema de canal doble automático (AFT) con dos módulos de excitación idénticos, cada uno con un convertidor de potencia y controlador. Cada canal puede ser operador en modo AUTO o MAN.

Un control de seguimiento automático garantiza un cambio imperceptible de un modo para el otro.

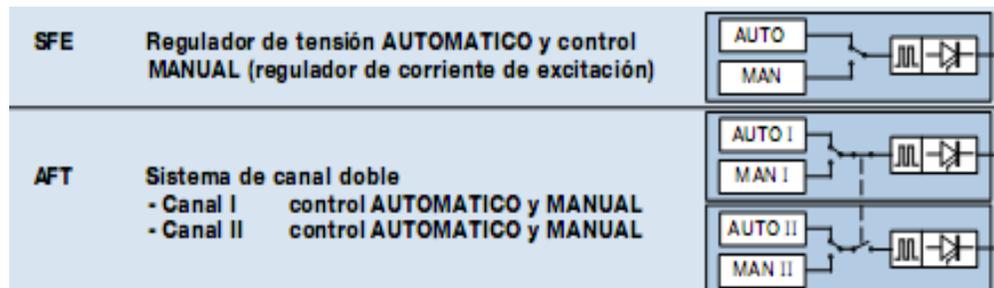


Figura 2.8 Doble canal automático y manual

#### ▪ Funciones básicas de regulación

- Regulador de tensión con filtro PID (modo AUTO)
- Regulador de corriente de campo con filtro PI (modo MAN)
- Compensación de la corriente activa y/o reactiva
- Limitadores para:
  - corriente de campo máxima y mínima
  - Corriente de estator máxima (sobre / subexcitado)
  - Excitación mínima – gradiente V/Hz
- Control de seguimiento
  - AUTO « AUTO (solamente para sistemas de canal doble)
  - AUTO « MAN
- Regulación del factor de potencia o de la corriente reactiva
- Función de arranque suave en modo AUTO
- Limitación en modo MAN.

**▪ Funciones básicas de protección y monitoreo**

- Tiempo de excitación inicial
- Protección de sobre corriente (Instantánea / tiempo inverso)
- Protección de pérdida de excitación
- Monitoreo de la temperatura del convertidor
- Monitoreo de la conducción de los tiristores
- Monitoreo del transformador de medición
- Subtensión en la alimentación principal
- Subtensión en la alimentación auxiliar.

**▪ Funciones opcionales de protección y monitoreo.**

- Temperatura del rotor (solo para SES)
- Protección U/Hz.

Funciones de monitoreo y protección son categorizadas en tres diferentes niveles de actuación:

- Solo Alarma
- Conmutación para el segundo canal (si existe) para evitar paradas innecesarias
- Apague instantáneo de la excitación por motivos de protección.

**▪ Control lógico**

Para secuencias estandarizadas y bloqueos internos, existen bloques de funciones específicos programados.

**▪ Aplicación lógico de bloque de funciones.**

A más de las funciones pertenecientes al software standard, existen bloques de funciones adicionales de diferentes tipos, los cuales, pueden ser usados para software de aplicación programable. Estos son los bloques de aplicación verificados,

como ampliación de entrada / salida, funciones específicas de monitoreo etc.

- **Registrador de datos**

El software del UNITROL F también incluye un registrador de eventos con capacidad para registrar cronológicamente hasta 100 eventos y alarmas. Los registros pueden ser consultados para lectura o análisis vía el panel de control o el software CMT.

Hasta seis señales de medición pueden ser almacenadas en el registrador de datos, que para diagnóstico pueden ser desplegadas en la pantalla gráfica del software CMT.

- **Supervisión del procesador**

- Auto-test.**

El procesador inicia un auto test después de conectar la alimentación de tensión a la placa de control. Durante la inicialización se comprueban las memorias RAM y ROM. La placa de control monitorea los diferentes niveles de alimentación de potencia.

- Función “Watchdog”**

La placa de control contiene internamente un sistema “Watchdog” que monitorea la ejecución del programa.

- **Auto-test. Estabilizador del sistema de potencia (PSS)**

El propósito del PSS es el de usar la excitación del generador para mejorar la amortiguación de las oscilaciones de potencia y la estabilidad del conjunto generador y del sistema de transmisión. El PSS influye la entrada del regulador de tensión sumamente efectivo en sistemas estáticos, pero también es aplicable a sistemas con excitatriz rotativa.

El PSS del UNITROL F está basado en el IEEE PSS2A (considerando la potencia

acelerativa).

Para la función PSS se necesita una tarjeta en adición al software, la cual se conecta sobre la unidad de procesamiento de señales.

#### ▪ **Entradas / Salidas adicionales**

Cuando son necesarias entradas/salidas digitales adicionales, existe una ampliación de entrada / salida con 16 entradas y 16 salidas. Esta ampliación consiste en una tarjeta que se conecta sobre la tarjeta principal, en el módulo de excitación y una segunda tarjeta E/S la cual es atornillada en el cubículo.

La extensión E/S proporciona 2 entradas y 2 salidas analógicas adicionales.

#### ▪ **Herramienta de ingeniería GAD**

El GAD (Graphic Application Design) es un software para PC utilizado para programar los programas de aplicación y posee las siguientes características:

- Programación de los programas estándares y de aplicación.
- Editor gráfico para crear y modificar la documentación del programa.
- Definido por el usuario para presentación de los documentos.
- Posibilidad para crear nuevos símbolos de documentación.

Programas de aplicación hechos con GAD tienen que ser cargados al módulo de excitación con el CMT.

#### ▪ **Programación con el panel de control**

Utilizando el panel de control, se pueden modificar online los programas estándares o de aplicación, para ello están disponibles las siguientes funciones:

- Inicializar el programa
- Conectar las entradas y salidas de los bloques de funciones
- Cambiar las conexiones de los bloques de funciones
- Adicionar o eliminar bloques de funciones

- Modificar el orden de ejecución de los bloques de funciones
- Visualización de los parámetros de los bloques de funciones del programa de aplicación.

▪ **El software (CMT) para puesta en servicio y mantenimiento**

Con este software se pueden realizar por ejemplo, modificaciones online al programa de aplicación, observar las funciones del sistema y cambiar los parámetros.

Con la pantalla del programa se puede operar el sistema y al mismo tiempo controlar su estado. El contenido de la misma incluye las siguientes funciones:

▪ **Pantallas del software (CMT)**

✓ **Pantalla de tendencia (oscilógrafo)**

La pantalla puede indicar en tiempo real, el estado de hasta seis señales elegidas por el usuario o grabarlas para indicarlo después, todas las señales disponibles en el sistema pueden ser indicadas por este medio. El Menú es muy amigable, de fácil uso y facilita la elección de cada señal incluyendo todos los parámetros requeridos para escala y offset.

✓ **Pantalla del programa de aplicación**

Esta pantalla muestra el diagrama en bloque de funciones realizado con el GAD. La pantalla le puede mostrar al usuario, los valores actuales de diferentes puntos seleccionados por él.

✓ **Pantalla de parámetros y señales**

Esta pantalla muestra en forma tabular parámetros o señales permitiendo al usuario modificarlos. Cada parámetro o señal puede ser incluido en un grupo de parámetros y señales, lo que posibilita que en otra oportunidad solo sea necesario seleccionar el grupo para visualizar y modificar los valores de parámetros y señales pertenecientes a éste.

✓ **Pantalla del registrador de alarmas.**

Esta pantalla muestra las últimas 100 alarmas y fallas, actualizadas en el registrador de alarmas en orden cronológico.

✓ **Funciones del sistema.**

En esta pantalla el usuario encuentra las mismas indicaciones y los mismos botones que en el panel de control.

✓ **Pantalla de registrador de eventos**

Esta pantalla muestra en orden cronológico los últimos eventos actualizados en el registrador (seis canales, cada uno con 1000 puntos de datos).

▪ **Conexión óptica al nivel de jerarquía superior**

Una comunicación con sistemas superiores (Máster) es posible. Para ello se requieren MODBUS o Profibus. Para cada canal del sistema de excitación se necesita un adaptador bus para la conexión con el máster vía el cable RS485. La conexión soporta 6 palabras de datos (c/u 16 bits en cada dirección). Para el control del máster son requeridas dos palabras de datos en cada dirección. Las palabras de datos restantes son conectables fácilmente con cualquier señal de entrada o salida. [10]

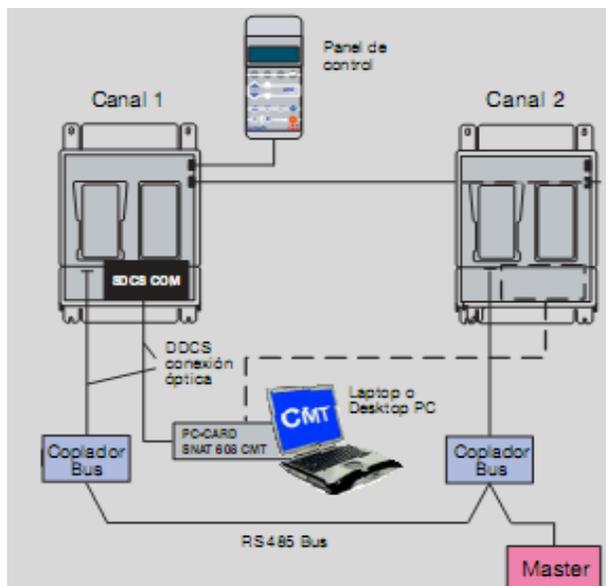


Figura 2.9 Conexión óptica al nivel de jerarquía superior.

## 2.8 Justificación de la selección

Estas excitatrices tienen ya 25 años de explotación, las cuales han presentado diferentes problemas con el transcurso del tiempo tales como: desgastes en el colector de la máquina a causa del roce con las escobillas; por tanto se han tenido que maquinarse los rotores de los dos turbogeneradores en varias ocasiones para emparejarlos de sus imperfecciones, hasta el punto que ya es casi imposible el maquinado pues se está agotando el grosor de las delgas por tanto desgaste y maquinado y resulta ser poco económico a la hora de cambiar los colectores por otros nuevos, pues seguirá con el mismo problema.

Estos turbogeneradores también cuentan con una excitatriz de reserva rotativa Independiente alimentada por un sub-excitador que en este caso es un motor que se utiliza cuando la excitatriz de trabajo de una de las máquinas presenta problemas.

El turbogenerador dos (TG2) presentó problemas que no pudieron ser resueltos debido a esta misma situación del desgaste en los colectores y se tuvo que mantener trabajando el mismo con la excitatriz de reserva haciendo la función de excitatriz de trabajo. De esta manera ya no se contaba con ninguna excitatriz de reserva y entonces hubo que montar otra excitatriz en calidad de "excitatriz de reserva". Para el (TG1).

Teniendo en cuenta la situación problemática producto del deterioro de estas excitatrices y con difícil solución se analizaron tres variantes posibles:

a) **La primera** consistía en la sustitución de la excitatriz existente por una de igual tipo, pero esto implicaría una nueva compra con el mismo fabricante que la suministró desmontando y empacando todo el sistema viejo para trasladarlo a la Republica Checa corriendo el riesgo de que en la realización de este trabajo puedan producirse daños mayores al eje del generador además de la tardanza de este viaje dejando de generar miles de Mw lo que encarecería la producción de níquel en gran manera y que se habla de una tecnología que cuenta ya con más de 25 años de fabricación y por consiguiente la falta

de suministros de las piezas de repuesto y que con el tiempo volvería a presentar las mismas deficiencias que presenta en estos momentos, desechando esta posibilidad por ser este sistema es antieconómico.

b) **La segunda** era implementar el sistema sin escobillas brushless en estos turbogeneradores de 12MW, pero no pudo ser posible, pues, fue analizado con los fabricantes de SKODA y determinaron que para hacer ese cambio había que modificar las características del eje del rotor del generador, lo cual no era factible pues cambiaban las características dinámicas del mismo. Esto implicaba la compra de dos nuevos rotores para los turbogeneradores TG1 y TG2 más el sistema de excitación como tal.

c) **La tercera** era en vez de realizar los cambios de las anteriores variantes se utilizaría un sistema de excitación estática con el mismo rotor del generador existente, que consiste en una excitación directa a los anillos del rotor del generador.

Se hizo un estudio profundo y se aprobó en utilizar la tercera variante la cual era más económica, también se tuvo en cuenta que en estos momentos se trabaja en la instalación del turbogenerador numero tres con una potencia de 25 MW y que según diseño comenzaría a trabajar con igual sistema de excitación.

La figura 2.10 muestra el sistema de excitación propuesto a los turbogeneradores, se puede ver el bloque de potencia, un rectificador trifásico onda completa totalmente controlado alimentado de un transformador trifásico con conexión Y / Y

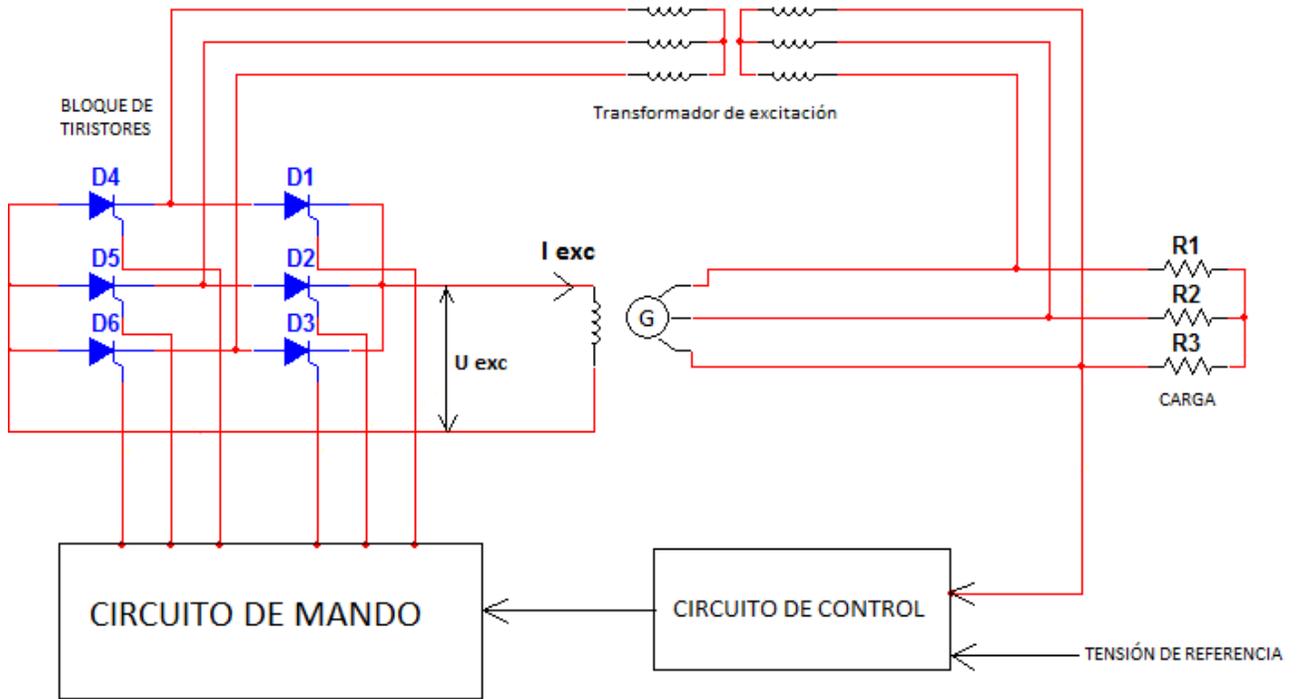


Figura 2.10: Sistema de excitación de los turbogeneradores TG1 y TG2

El bloque de potencia de la figura 2.10: basa su funcionamiento por medio de las ecuaciones siguientes. La corriente alterna por fases posee la siguiente expresión:

$$i_{a1} = \frac{\sqrt{2}E_{ef} \frac{\pi}{m}}{X_a} [\cos \alpha - \cos \vartheta] \quad (2)$$

Al fin de la primera etapa de conmutación, cuando  $\vartheta = \alpha + \gamma$ , el valor instantáneo de la corriente de válvula alcanza el valor de  $I_d$ . Por eso de la ecuación anterior se obtiene:

$$I_d = \frac{\sqrt{2}E_{ef} \text{sen} \frac{\pi}{m}}{X_a} [\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma)] \quad (3)$$

Dónde:

- $E_{ef}$ : Tensión eficaz
- $\alpha$ : Angulo de disparo
- $\gamma$ : Angulo de solapamiento

La tensión secundaria resultante en el sector de conmutación de las corrientes se determina, como en el rectificador no controlado, por la media aritmética de los valores instantáneos de las tensiones de fase. Hasta el instante de apertura de la válvula correspondiente (aplicada a ella la corriente de mando) la corriente anódica continúa circulando por la válvula precedente y el devanado secundario del transformador que la alimenta.

Conforme a las secciones de las tensiones secundarias totales, con consideración de las f.e.m inducidas por los flujos de dispersión.

Para ángulos  $\alpha < 90^\circ$ , la válvula debe soportar sin la apertura prematura el valor máximo de la tensión directa antes de aplicarle el impulso de mando, y después de su cierre, el valor máximo de la tensión inversa.

$$U_{b\text{máx}} = \sqrt{6}E_{ef} \quad (4)$$

Y el salto inicial de la tensión inversa es igual a:

$$U_{bo} = \sqrt{6}E_{ef} \text{sen}(\alpha + \gamma) \quad (5)$$

Integrando los valores instantáneos de la tensión continua en los límites de una capa de repetición  $\frac{2\pi}{m}$ , y refiriendo la integral a la duración de esta etapa hallamos el valor medio de la tensión continua en vacío

$$E_{da0} = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{m} + \alpha}^{\frac{\pi}{m} + \pi} \sqrt{2}E_{ef} \cos \vartheta d\vartheta = 0,955\sqrt{2}E_{ef} \cos \alpha \quad (6)$$

$$\alpha_1 = \cos^{-1} \left( \frac{42}{0,955\sqrt{2}E_{ef}} \right) \quad (7)$$

$$\alpha_2 = \cos^{-1} \left( \frac{158}{0,955\sqrt{2}E_{ef}} \right)$$

$$\alpha_1 = 83.8^\circ$$

$$\alpha_2 = 63.1^\circ$$

El rango de variación del ángulo de disparo para el cual debe variar y mantener la tensión de excitación entre 48 y 158 V, es de  $83.8^\circ$  a  $63.1^\circ$ .

Esta expresión es real en la gama de los ángulos  $\alpha$ , para los cuales la curva de la corriente continua permanece constante.

El valor medio de la caída de tensión en las etapas de conmutación del rectificador controlado de  $m$  fases puede hallarse por la igualdad siguiente:

$$\Delta U_x = \frac{m}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \sqrt{2}E_{ef} \operatorname{sen} \frac{\pi}{m} \operatorname{sen} \frac{\pi}{m} \mathcal{G} d\mathcal{G} = \frac{\sqrt{2}E_{ef}}{\frac{2\pi}{m}} \operatorname{sen} \frac{\pi}{m} [\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma)] \quad (8)$$

Sustituyendo en la ecuación (8) el término  $[\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma)]$

En la ecuación (3) se obtiene:

$$\Delta U_x = \frac{I_d X_a}{\frac{2\pi}{m}} = \frac{6}{2\pi} = I_d X_a \quad (9)$$

En la ecuación (9) comparándola con la ecuación

$$\Delta U_x = \frac{I_a X_a}{\frac{2\pi}{m}} = \frac{I_d X_a}{3\pi} \quad (10)$$

Se ve que el  $\Delta U_x$  mediante la corriente rectificada  $I_d$ , la caída de tensión inductiva en el rectificador controlado es la misma que en el no controlado restando de la tensión en vacío la caída de tensión inductiva basándonos en la ecuación (9) se obtiene:

$$U_{d\alpha} = E_{d0} - \frac{6}{2\pi} I_d X_a = 0.955 \sqrt{2} E_{ef} \cos \alpha - \frac{6}{2\pi} I_d X_a \quad (11)$$

Los valores relativos de la tensión  $\tau$ , llevados sobre el eje de ordenadas están expresados por la amplitud de la tensión de fase  $\sqrt{2}E_{2ef}$

$$\tau = \frac{E_{d\alpha 0}}{\sqrt{2}E_{ef}} = 0.955\sqrt{3} \cos \alpha \quad (12)$$

Los valores relativos de las corrientes en el eje de abscisas están expresados por la amplitud de la corriente resultante de cortocircuito  $I_{2cc}$  en el devanado secundario

$$I_{2cc} = \frac{\sqrt{2}E_{ef}}{X_a} \quad (13)$$

Con las ecuaciones anteriores se comprueba que el excitador seleccionado cumple con las exigencias nominales de la excitación del generador existente, por eso se ha elegido el sistema de excitación estático UNITROL-F de la firma ABB.

### 2.8.1 Evaluación del Sistema de Excitación Estática

Por tales inconvenientes que afectan la generación en reiteradas ocasiones y para prever que el sistema no se quede sin generación en caso de que las dos excitatrices de trabajo presenten problemas, se vio la necesidad de llevar a cabo un proceso de modernización: que consiste en instalarle a estos turbogeneradores un sistema de excitación nuevo quedando así el sistema de excitación estática para cada uno de los turbogeneradores TG1 y TG2 incluyendo, también una excitatriz de reserva para ser utilizada en caso de que alguna de estas posee averías o sea necesario dar mantenimiento a estas, con características similares a las de trabajo de las TG1 y TG2.

La empresa comercializó este sistema de excitación con el productor ABB con el modelo UNITROL-F con las especificaciones solicitada.

Este tipo de sistemas de excitación se usan en los turbogeneradores de una gama amplia de rendimiento, como tal es el caso. Si es alimentada de los terminales del generador, su regulador de tensión debe dominar la poca caída de tensión siguiendo las tres fases del cortocircuito cercana a la estación de potencia.

En las redes interconectadas puede alimentarse de una rama-línea de arranque de la estación de potencia el cual hace que el sistema de excitación sea relativamente independiente.

## **2.9 Ventajas obtenidas por el esquema propuesto**

Entre las ventajas fundamentales que brinda este nuevo sistema se encuentra la sustitución de 20 escobillas las cuales son muy deficitarias su adquisición por no fabricarse en el mundo debido a ser de uso obsoleto y exclusivo para antiguos clientes de quienes las fabricaban, estas se compran al pedido, es decir que se solicitan de manera especial al fabricante y por ende tienen altos precios, las mismas se comercializan a un precio que oscila desde los 19.00 hasta los 33.00 USD por cada unidad.

Otra ventaja importante es que en el mantenimiento de la excitatriz estática el tiempo de frecuencia de estos es más prolongado, reduciendo las horas de mantenimiento para cada uno de ellos, por no contar con partes móviles o elementos gastables el mismo se concentra en la verificación de polvo, suciedad y ruidos extraños en un tiempo de tres meses a un año, no siendo necesario paralizar un turbogenerador para el mismo, pues se sincroniza el mismo por una excitatriz de reserva, propiciando con esto la no utilización de energía de la Central Energética Nacional la cual encarece los gastos. Véase la tabla 2.12 el plan de mantenimiento para la excitatriz estática.

Con la implementación de este novedoso sistema se reduce el número de elementos conectados al turbogenerador con igual desgaste como es el AGP (barrido de campo) el cual cuenta con varios interruptores, banco de resistencia, interruptores magnéticos etc.... los cuales provocan varias interrupciones al sistema, todo esto antes mencionado se concentra en el mismo gabinete de la propia excitatriz estática.

Debido a que esta es una tecnología de punta se puede tener una mejor parametrización y control pues a través de un PC con el software CMT se puede obtener una gran gama de información de su funcionamiento como es el almacenamiento de fallas, no existe el

peligro de que los parámetros programados se pierdan pues posee una memoria EPROM que guarda toda esta información aun cuando la excitatriz se quede sin energía.

Tabla 2.2: Plan de mantenimiento para excitatriz estática.

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EXCITATRIZ ESTÁTICA.		
Objeto	Cada 3 meses	Anual
Transformador de excitación	Verificar polvo, suciedad, ruidos extraños etc...	Verificar polvo, suciedad, ruidos extraños etc...
Ventiladores	Verificar suciedad, polvo, flujo de aire normal, ruidos extraños.	Verificar suciedad, polvo, flujo de aire normal, ruidos extraños.
Filtros	Control visual de polvo o suciedad.	Control visual de polvo o suciedad.
Radiadores	Control visual de polvo o suciedad, temperatura etc...	Control visual de polvo o suciedad, temperatura etc...
Convertidor	-----	Verificar el disparo de todos los tiristores.
Disyuntor de campo	-----	Control visual sobre suciedad y contactos carbonizados.
Barras	-----	Verificar todas las conexiones.
Aisladores	-----	Control visual de polvo o suciedad.
Tarjetas electrónicas.	-----	Control visual de polvo o suciedad.
Control de función.	Verificar circuitos redundantes (solo para corto tiempo)	Verificar circuitos redundantes y de seguridad.

### 2.9.1 Desventajas del sistema de excitación estático

Estos sistemas se equipan con elementos de control electrónicos y micro electrónicos, ideados para ser cambiados íntegramente en caso de falla. Esto dificulta los intentos de reparación pues debido a su complejidad es necesario un conocimiento experto del elemento, por parte del encargado del mantenimiento y adicionalmente la dificultad de obtener repuestos específicos y no los módulos completos.

## **2.10 Montaje, ajuste y puesta en marcha**

El sistema de excitación estático UNITROL F es de fácil instalación debido a que es un gabinete de poco tamaño (altura 220 ctm, base 80 ctm y profundidad de 75 ctm), con un peso de solo 380 Kg el mismo fue ubicado, instalado y puesto en marcha, incluyendo la instalación de el transformador de excitación y tiro de líneas eléctricas para alimentar al generador con dicha excitación en un tiempo de 15 días por personal técnico especializado de la propia fábrica y la asesoría técnica de un especialista del suministrador de la compañía.

### **▪ Preparativos para el sitio de montaje.**

- Para evitar daños debido a la humedad y suciedad, antes de la colocación de los armarios deberán realizarse los siguientes trabajos:
- Perforarlos orificios de fijación, luego proceder a la limpieza de los mismos y del área de instalación.
- Realizar todos los orificios necesarios en el suelo, en los muros o en el techo para el tendido de los cables, conductores, tubos, caños y barras indicados en los planos de la obra civil.
- Terminar la limpieza, pintura de techos y paredes.
- Deberá ser garantizada una iluminación suficiente y la fácil accesibilidad a los locales de la instalación.

### **▪ Conexiones Eléctricas:**

En el momento de selección de los cables y conductores, se debe prestar atención a la longitud de los mismos y como están tendidos.

- **Entrada de Cables**

Dispositivos de contra tracción deben ser instalados en la parte inferior para compensar los esfuerzos en las ataduras de los cables. Las mismas también sirven para aterramiento de EMC del apantallado de cables blindados.

Si los cables entran desde la parte superior del cubículo, los cables blindados deben ser aterrados a través de terminales de tierra. Las chapas (tanto inferior como superior) donde se perforan los orificios de entrada para los cables deben ser conectadas a la tierra del sistema.

- **Cables de Potencia CA / CC**

Los cables de alimentación y de potencia de los circuitos para excitación indirecta están conectados a las borneras. La sección transversal mínima es definida en el diagrama eléctrico del sistema.

- **Cables de Control y Señal**

Los cables a la Sala de Control están normalmente conectados en forma directa a los terminales de la Placa de Interface. Los cables de señal conductores de tensión o señales de corriente están conectadas a la bornera.

- **Conexión Principal a tierra PE**

El armario tipo "Lütze" es un sistema de aterrado. Los rieles y soportes están hechos de aluminio con conexión a tierra. El terminal especial X1: GND de 16 mm es responsable del aterramiento del armario completo y debe ser conectado a la barra principal a tierra vía un conductor de 10 a 16 mm.

### ▪ **Trabajos Finales**

- Retirar del gabinete todos los objetos extraños como herramientas, material de embalaje o resto de conductores.
- Limpiar con un trapo antiestático. No usar disolventes

### ▪ **Verificaciones**

- Si el armario ha sido instalado correctamente.
- Si todas las tapas están correctamente fijadas.
- Si la clase de protección requerida ha sido ejecutada, especialmente en lo referente a las placas de suelo y entradas de cable por arriba del gabinete.
- Control visual general, como ser: aspecto, instalación completa, inscripciones características, cuerpos extraños (estado de limpieza) en el equipo.
- Comprobar que hayan sido efectuadas completa y correctamente las conexiones de los cables y el alambrado interno cuando estos trabajos hayan sido efectuados en Sitio de obras.
- Verificar que la totalidad de las conexiones de tierra hayan sido efectuadas y correctamente terminadas.
- Cerrar las puertas del gabinete.

### ▪ **Instrucciones Especiales**

Si los trabajos de colocación y conexionado deben ser interrumpidos, se tomarán las medidas necesarias para que las instalaciones resulten protegidas de forma óptima contra la penetración de agentes externos tales como polvo, humedad y cuerpos extraños, procediéndose de la siguiente manera: Cierre de puertas de armarios. Cubrir los armarios y equipos con folios de plástico. [8]

## **2.11 Conclusiones del capítulo**

En este capítulo se dan a conocer las características fundamentales el antiguo sistema de excitación rotatorio, evaluación para la adquisición de un nuevo sistema y características del novedoso sistema de excitación estático que sustituye al anterior antes mencionado.

Se detalla el panel de control USN 0874 con sus principales funciones y como programarlas dando como resultado de ser un sistema de excitación más confiable, eficaz y rápido en las operaciones a realizar por parte del personal de operaciones de la planta termoeléctrica.

## **CAPITULO III: Análisis de resultados**

### **3.1 Introducción.**

En el presente capítulo se evalúan los resultados técnicos luego de instalado el nuevo sistema de excitación estático y comprobada la estabilidad operativa de los turbogeneradores 1 y 2 se tiene que ha mejorado ostensiblemente la calidad del servicio prestado por estas máquinas, demostrando que fue eficaz la inversión acometida, además de arrojar una sustancial valoración económica por concepto de sustitución de piezas de repuesto y ahorro de energía al no tener que consumirla del Sistema Energético Nacional.

### **3.2 Valoración económica**

Conociendo que el sistema de excitación rotatoria cuenta con partes móviles, girando a 3600 revoluciones por minuto y con 25 años de explotación ininterrumpida, las mismas tienen un desgaste apreciable, sin posibilidad de continuar maquinando los colectores, además de la constante acumulación de polvo en las mismas, es necesario dar mantenimiento a los generadores cada dos meses esto lleva consigo la paralización del turbo por un término de seis a ocho horas y en ocasiones se extienden a más tiempo debido a la complejidad del mismo, teniendo que tomar esta energía del suministro energético nacional lo que implica un costo adicional a la empresa por concepto Mw horas además del costo de materiales y horas hombres, todo esto se multiplica por la cantidad de generadores que son dos y próximamente quedara instalado uno de 25 Mw,

Con el sistema rotatorio el mantenimiento consiste en la paralización del turbo para así dar limpieza a las partes móviles del mismo con el objetivo de eliminar polvo, residuos provocados por el desgaste de las escobillas además de eliminar zanjas en los colectores provocadas por el rose de las escobillas entre otras cosas como son la sustitución de las escobillas ya desgastadas y porta escobillas con poca presión etc...

El sistema de excitación estática debido a que no cuenta con partes móviles es prácticamente libre de mantenimiento y de averiarse alguna se alimentaría a través de una excitatriz de reserva sin necesidad de parar un turbo y así no se desprendería vapor pues aunque los dos turbos estuviesen fuera de servicio las calderas deben de seguir generando vapor para en proceso del mineral en la fabrica con un considerable consumo de combustible.

### 3.2.1 Costo de los mantenimientos en la excitatriz rotatoria

El ciclo de mantenimiento de la excitatriz rotatoria es de aproximadamente dos meses, debido al mal estado técnico de la misma y a la baja calidad de las escobillas encontradas en el mercado, es bueno señalar que el costo estimado de este equipo no se ha obtenido debido a que el turbo generador fue suministrado como un conjunto, procedente del ya extinto CAME, una posible sustitución de este equipo habría que contratarla a una empresa especializada que tomara datos in situ y se hiciera responsable con la garantía de montaje, ajuste y puesta en marcha de todo el equipo, circunstancias que hacen de esta variante poco práctica por lo que no fue considerada en este estudio.

Estos son los materiales que se utilizan en los mantenimientos de las excitatrices:

Tabla 3.1 Precio de los materiales.

No	Material	U de medida	Precio	Cantidad	Valor
1	Desecho textil	Kg	3.09	3	9.27
2	Alcohol	L	0.83	3	2.49
3	Escobillas (20x32x50)	U	33.09	20	661.80
4	Lija fina (80)	Pliegue	0.49	5	2.45
5	Lija Gorda (120)	Pliegue	0.39	5	1.95
6	Acetona	L	2.77	4	11.08
7	Tecneclean AS40	U	4.27	6	25.62
8	Lubricante DWF	U	4.05	2	8.10
	<b>Valor total</b>				<b>772.76</b>

Como ya había explicado en el primer párrafo de este tema en cuanto a frecuencias de mantenimiento al año, (valor total de los materiales por seis veces al año por los dos generadores) nos daría un total de **9273.12 USD**, también se debe de reflejar la mano de obra que tiene un costo de 4.76 MN/h lo que equivale en un mantenimiento de 8 horas a 38.08 MN con un costo anual de 456.96 MN, además horas hombres que podrían estar efectuando otros trabajos de mantenimiento en las restantes plantas.

Debido a que la empresa niquelífera es cogeneradora de energía, es decir que ella misma abarata sus costos gracias a el aprovechamiento del vapor que se utiliza en proceso fabril para su propia generación que representa un 62 % de la que se consume por hora un aspecto fundamental en este valor económico, es que de quedar fuera de servicio alguno de estos generadores la energía se tomaría del suministro energético nacional el cual encarecería los costos de producción la Empresa Eléctrica cobra por cada Mw consumido un promedio de **152.48 CUC** lo que se debe de multiplicar por 12 Mw que es la potencia de estos generadores nos daría **1853.76 CUC en una hora** (este valor lo multiplicamos por ocho horas promedio de mantenimiento, nos daría **14830.08 CUC**, si lo multiplicamos por seis veces al año, nos daría **88980.48 CUC** y pos dos generadores tendría un resultado de **117960.96 CUC al año**), el valor del Mw hora la empresa eléctrica lo varia en dependencia de factor k el mismo empresa el ajuste por variación del tipos y precio de los combustibles en el mercado internacional empleados en la generación, si le sumamos al valor por concepto de generación el de los gastos de los materiales nos daría al año **187234.08 CUC.**

Para abaratar estos gastos la empresa usa como estrategia dar estos mantenimientos en conjunto con otras labores cuando se paralizan los generadores para reparaciones, mantenimiento general a los mismos o interrupciones en cualquiera de sus sistemas.

### **3.2.2 Costo de los mantenimientos en la excitatriz estática**

Gracias a que este moderno sistema de excitación no cuenta con partes móviles y la acumulación de polvo es prácticamente nula por ser una unidad sellada en un local acondicionado y cercano a los turbogeneradores, reduce considerablemente el costo de los mantenimientos en cuanto a frecuencia de los mismo, materiales y horas hombres, además no es necesario paralizar un turbogenerador para la realización del mismo.

El costo de la excitatriz estática es de 80000 Euros y la misma esta dos veces por debajo de las demás excitatrices ofertadas en el mundo teniendo en cuenta que se compra de primera mano sin suministradores intermediarios que encarecen su valor original.

En la excitatriz estática los mantenimientos consisten solamente en verificaciones visuales para encontrar polvo o suciedad además de detectar algún ruido extraño o de verificar los contactores que no estén calcinados por sobre calentamiento.

### **3.3 Valoración medio-ambiental**

Con la instalación de este nuevo sistema de excitación se eliminan, en un elevado porcentaje, las desconexiones no deseadas debido a fallos transitorios del Sistema Eléctrico Nacional –SEN- y con ello las interrupciones del proceso productivo de la planta de níquel; se eliminan pérdidas a la economía por concepto de producciones dejadas de hacer y material semi-procesado que habría que verter con la carga química de sustancias perjudiciales al medio ambiente.

También serían minimizadas la emisión de gases tóxicos a la atmósfera que, en condiciones de bache energético se generan cada vez que ocurre un transiente que arrastra a los turbos y se interrumpe el proceso fabril.

### **3.4 Análisis de resultados técnicos**

Hay que decir que desde su puesta en operación, las excitatrices estáticas funcionan correctamente, esta planta de régimen continuo es objetivo económico de vital importancia para la economía del país por lo que un diagnóstico in situ de dicho sistema no está permitido debido a los riesgos de desconexión que debería asumir dicha industria.

#### **3.4.1 Resultados obtenidos de los esperados**

En pruebas realizadas a esta excitatriz estática ante una falla u oscilación del sistema la respuesta en todos los casos ha sido correcta sin reportarse incidencias negativas ante algún evento del sistema haciendo un análisis del comportamiento los cuales han cumplido con todos los parámetros esperados en cuanto a la funcionalidad de la excitatriz estática, prestando mayor información al operador ya que posee un registrador de eventos con capacidad para registrar cronológicamente hasta 100 eventos y alarmas. Los registros pueden ser consultados para lectura o análisis vía el panel de control o el software CMT. Hasta seis señales de medición pueden ser almacenadas en el registrador de datos, que para diagnóstico pueden ser desplegadas en la pantalla gráfica del software CMT lo que permite un mejor diagnóstico para su mantenimiento o reparación.

La respuesta para la recuperación de la tensión de línea del generador es más rápida en comparación con la excitación rotativa, ya que el sistema no ve el retraso adicional debido a las constantes de tiempo propias de la excitadora rotativa, además la eficiencia del sistema es mayor.

En cuanto a la protección y monitoreo se obtuvieron resultados positivos al verificar sus funciones a través del software CMT como son.

- Tiempo de excitación inicial
- Protección de sobre corriente (Instantánea / tiempo inverso)
- Protección de pérdida de excitación

- Monitoreo de la temperatura del convertidor
- Monitoreo de la conducción de los tiristores
- Monitoreo del transformador de medición
- Subtensión en la alimentación principal
- Subtensión en la alimentación auxiliar.

### **3.4.2 Comprobación de funcionamiento según diseño**

Según diseño se esperaba que no se saturara ante un reforzamiento pasando la prueba de 462 A logrando un reforzamiento de hasta 800 A proporcionando así una mejor respuesta ante oscilaciones en el sistema brindando mayor estabilidad y confiabilidad al mismo.

Se logra alcanzar el valor funcional de la maquina sin provocar ninguna anomalía en la misma, se comprobó que al conmutar del canal 1 al canal 2 ó al pasar de la posición de manual a automático o viceversa la maquina no experimenta ningún tipo de salto en sus valores ajustados.

### **3.5 Valoración Social**

Teniendo en cuenta las acciones a realizar por el personal de operaciones para las diferentes manipulaciones eléctricas en el sistema de excitación se ha hecho necesario la adquisición de nuevas tecnologías con el fin de lograr la mejora de las operaciones en la planta termoeléctrica, donde las mismas se realizan de manera eficaz, rápida y confiable dándole una mejoría social a los operadores los cuales son los encargados de explotar este sistema modernizado de excitación.

Este nuevo sistema garantiza la posibilidad de realizar el trabajo con mayor eficiencia, menor posibilidad de equivocación por parte de los operadores, mejor rendimiento ante las operaciones para las cuales en estos momentos de acondiciona un local protegido para instalación de esta nueva tecnología.

### **3.6 Conclusiones del capítulo**

En este capítulo se dan a conocer características fundamentales, funcionamiento, Programación , montaje , puesta en marcha y una considerable evaluación económica del sistema de excitación sustituido y el sistema de excitación antiguo y deficiente que aun se utiliza en estos momentos, así como los detalles de las diferentes acciones a realizar el proceso de excitación de los turbogeneradores.

Se detalla el trabajo y resultados del sistema de excitación UNITROL F dando resultados notables de ser un sistema confiable, eficaz y excelente velocidad de respuesta dándole estabilidad al sistema de generación de la empresa y mejor operación del mismo por parte del personal de operaciones de la planta termoeléctrica.

Se da a conoce la metodología de excitación para la explotación del sistema sustituido y modernizado de excitación, estas instrucciones van a ser de conocimiento para todos los operadores que realizan las diferentes operaciones relacionadas con este proceso de excitación y así dar un servicio más seguro propiciando estabilidad en el sistema de generación de dicha empresa.

## **Conclusiones Generales**

Después de haber analizado la implementación un novedoso sistema de excitación se tienen las siguientes conclusiones.

1. Se documenta el proceso de modernización del sistema de de excitación estático en la termo eléctrica de la empresa Comandante. Ernesto Che Guevara, con la nueva adquisición de nuevas tecnologías para el trabajo más seguro, eficaz y confiable de todos los elementos de trabajo de la planta.
2. Se elabora la metodología para la realización de los trabajos de excitación mediante el UNITROL F.
3. Se llevó a cabo una comparación técnica entre los dos sistemas de excitación analizados, en cuanto a los parámetros que los caracterizan quedando demostrado que el Sistema de Excitación estáticos es el óptimo, este no tiene la presencia de las escobillas, que es la principal desventaja en estos. Además las variaciones ocurridas en el equipamiento son reflejadas directamente al eje del generador y a la vez a su sistema de regulación; no hay elementos intermedios. A pesar de ser un sistema inercial es mucho más conveniente su utilización ante los requerimientos de la máquina sincrónica.

Este tiene la capacidad de reaccionar rápidamente ante un proceso transitorio, ya que este tipo de sistema moderno posee tecnología de punta.

## **Recomendaciones**

1. Aplicar la metodología propuesta en las operaciones de excitación de la termoeléctrica de la empresa Comandante. Ernesto Che Guevara.
2. Aumentar la capacitación al personal a cargo del mantenimiento, operación y programación de este moderno sistema.

## **Bibliografía**

1. Cubillos Sánchez, Fabián sistema de excitación estático de generadores sincrónicos. Trabajo de diploma universidad de Costa Rica 2004.
2. Ivanov. A. V. Smolenki, Máquinas Eléctricas, Editorial Pueblo y Educación 1984.
3. Kostenko. M. piotrouski. L., Máquinas Eléctricas, Editorial Pueblo y Educación 1982.
4. Kanganov. I. L. Electrónica de Potencia, Editorial Mir Moscú 1971.

Manuales tecnológicos UNITROL, de ABB.

5. 3BHS102402 S81 (RESUMEN)
6. 3BHS102402 S82 (DESCRIPCIÓN FUNCIONAL PANEL DE CONTROL USN 874 )
7. 3BHS102402 S83 (DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE )
8. 3BHS102402 S85 (INSTRUCCIÓN DE OPERACIÓN)
9. 3BHS102402 S86 (MANUAL DE MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE FALLAS)
10. 3BHS102402 S87 (INSTRUCCIÓN DE MONTAJE)
11. Sistema de excitación para máquinas sincrónicas con y sin excitatriz rotatoria.
12. La actual respuesta de ABB para aumentar la confiabilidad de los sistemas de excitación.

### **Sitios visitados en internet:**

13. <http://www.abb.com/unitrol>
14. <http://es.wikipedia.org/wiki/reguladordetensi%C3%B3n>

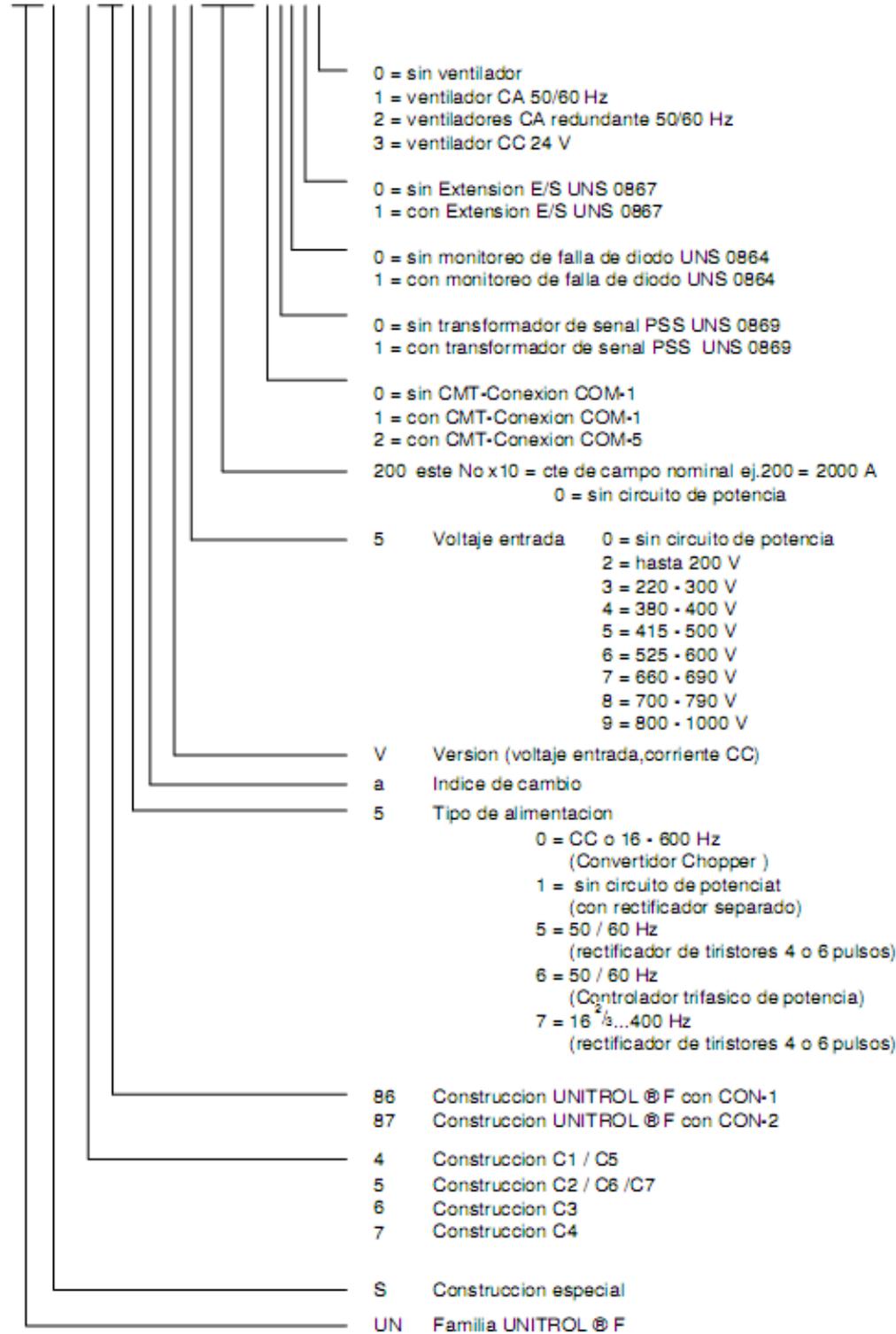
### **Software utilizado:**

15. Paquete de Microsoft Office.
16. Software CMT.



**Anexo 2 Codificación del controlador del convertidor.**

UNS 4865 a V5200-10001



**Anexo 3: Rangos de potencia y dimensiones del modulo de excitación.**

Typ DCS 501B	Typ0 UNITROL® F	Entrada Max. (≤60) *	CA Hz	corriente de salida IP21 (Id)	Dimensiones H / W / D	Peso	Temp. ambien- te	IP	Tipo de Construcción
		[V]		[A]	[mm]	[kg]	[°C]		
DCS 501B-0050-51-2100000	UNS 4875V5005	400...500		50	420/273/195	8	45	54	C1
DCS 501B-0075-51-2100000	UNS 4875V5007	400...500		75	420/273/195	8	35	21	C1
DCS 501B-0100-51-2100000	UNS 4875V5010	400...500		100	469/273/228	12	35	21	C1
DCS 501B-0110-61-2100000	UNS 4875V6010	600		100	469/273/228	12	35	21	C1
DCS 501B-0140-51-2100000	UNS 4875V5014	400...500		125	469/273/228	12	35	21	C1
DCS 501B-0200-51-2100000	UNS 5875V5018	400...500		180	505/273/361	23	35	21	C2
DCS 501B-0250-51-2100000	UNS 5875V5022	400...500		225	505/273/361	23	35	21	C2
DCS 501B-0270-61-2100000	UNS 5875V6025	600		245	505/273/361	23	35	21	C2
DCS 501B-0350-51-2100000	UNS 5875V5032	400...500		315	505/273/361	23	35	21	C2
DCS 501B-0450-51-2100000	UNS 5875V5041	400...500		405	505/273/361	29	35	21	C2
DCS 501B-0520-51-2100000	UNS 5875V4047	400...500		470	505/273/361	29	35	21	C2
DCS 501B-0450-61-2100000	UNS 5875V6041	600		405	505/273/361	29	35	21	C2
DCS 501B-0680-51-2100000	UNS 5875V5061	400...500		610	652/273/384	60	35	21	C2b
DCS 501B-0820-51-2100000	UNS 5875V6074	400...500		740	652/273/384	60	35	21	C2b
DCS 501B-1000-51-2100000	UNS 5875V5090	400...500		900	652/273/384	60	35	21	C2b
DCB 505-1203-51-0000000	UNS 7875V5120	400...500		1200	1005/510/400	110	35	21	A5
DCB 505-1503-51-0000000	UNS 7875V5150	400...500		1500	1005/510/400	110	35	21	A5
DCB 505-2003-51-0000000	UNS 7875V5200	400...500		2000	1005/510/400	110	35	21	A5
DCB 505-0903-61-0000000	UNS 7875V7090	600...690		900	1005/510/400	110	35	21	A5
DCB 505-1503-61-0000000	UNS 7875V7150	600...690		1500	1005/510/400	110	35	21	A5
DCB 505-2003-61-0000000	UNS 7875V7200	600...690		2000	1005/510/400	110	35	21	A5

**Anexo 4: funciones de teclas.**

Tecla	Texto de referencia	Función
	ACT	Selecciona el modo "Despliegue Señal Actual". Lo que incluye el despliegue de alarma, falla y del registrador de fallas.
	PAR	Selecciona el modo "Parámetro"
	FUNC	Selecciona el modo "Función"
	COM/SEL	Selecciona el modo "Selección de Aparato"
 	[Flecha doble arriba] [Flecha doble abajo]	Diferentes funciones de las teclas dependen del modo de despliegue: - selecciona un parámetro- o grupo de señal - cambia rápidamente un valor de parámetro - cambios entre el despliegue de señal actual y el registrador lógico de fallas
 	[Flecha arriba] [Flecha abajo]	Diferentes funciones de las teclas dependen del modo de despliegue: - selecciona un parámetro o señal - cambiar un valor de parámetro lentamente - mueve el cursor a una línea
	ENTER	Confirma la selección o entrada
	LOC/REM	Usada para seleccionar una operación local o remota LOC: operación local usando el panel de control REM: cualquier otro modo de operación
	RESET	Reseteo de Alarma- & falla
	REF	Control local de la excitación: ajuste de referencia
	[START]	Excitación ON
	[STOP]	Excitación OFF
	[ON]	Disyuntor de Campo ON
	[OFF]	Disyuntor de Campo OFF

**Anexo 5: Tabla Para desplegar señales.**

	<b>Función</b>	<b>Tecla</b>	<b>Indicación</b>
1.	Para activar el modo de despliegue del valor actual		1 L 104.5 % II MODE IND 1 AUTO U MACH 102.4 % I EXC 100.5 %
2.	Para seleccionar línea	  o	1 L 104.5 % II MODE IND 1 AUTO U MACH 102.4 % I EXC 100.5 %
3.	Para confirmar la línea seleccionada.  Despliega el grupo, nombre y valor de la señal.		1 L 104.5 % II 101 ANALOG INPUTS 01 U MACH RELATIVE 102.4 %
4.	Para seleccionar un grupo de señal diferente	  o	1 L 104.5 % II 105 CONVERTER 02 I EXC A 1350 A
5.	Para seleccionar otra señal en el grupo	  o	1 L 104.5 % II 105 CONVERTER 06 U EXC V 453 V
6.	Para confirmar la selección y retornar al despliegue del valor actual.		1 L 104.5 % II MODE IND 1 AUTO U EXC V 453 V I EXC 100.5 %

**Anexo 6: Tabla para Despliegue de historia de fallas.**

	<b>Función</b>	<b>Tecla</b>	<b>Indicación</b>
1.	Para activar el valor actual		1 L 0.0 % 00 MODE IND 1 AUTO U EXC V 0 V I EXC 0.0 %
2.	Para desplegar la historia de fallas	  o	1 L 0.0 % 00 1 LAST FAULT Loss of exc trip xxxx:xx:xx.xx
3.	Para seleccionar mensaje de falla: flecha arriba: mensaje de falla anterior flecha abajo: mensaje de falla más reciente	  o	1 L 0.0 % 00 2 LAST FAULT Loss conv. supply xxxx:xx:xx.xx
4.	Para volver al despliegue de valor actual	  o	1 L 0.0 % 00 MODE IND 1 AUTO U EXC V 0 V I EXC 0.0 %

**Anexo 6.1: Tabla para Reseteo de fallas.**

	<b>Función</b>	<b>Tecla</b>	<b>Indicación</b>
	Despliegue después de ocurrir una falla:		<pre> 1      0.0 %   00 UNITROL .. *** FAULT *** Loss of exc trip                     </pre>
1.	Para cambiar al modo LOCAL		<pre> 1 L    0.0 %   00 UNITROL .. *** FAULT *** Loss of exc trip                     </pre>
2.	Para resetear la falla		<pre> 1 L    0.0 %   00 MODE IND 1 AUTO [ ] EXC V      0 V I EXC        0.0 %                     </pre>
3.	Para retornar al modo de operación remota		<pre> 1      0.0 %   00 MODE IND 1 AUTO [ ] EXC V      0 V I EXC        0.0 %                     </pre>

**Anexo 7: Teclas de comandos**

<b>Tecla del Panel de Control</b>	<b>Nombre de la Tecla</b>	<b>Función</b>
	[START]	EXCITACION ON (solo es efectiva cuando el disyuntor de campo está cerrado)
	[STOP]	EXCITACION OFF <sup>1)</sup>
	[ON]	DISYUNTOR DE CAMPO ON
	[OFF]	DISYUNTOR DE CAMPO OFF <sup>1)</sup> (cambia a excitation off al mismo tiempo)

**Anexo 8: Tabla de selección del modo de operación auto manual**

	Función	Tecla	Indicación
1.	Para activar el modo Parámetro		1 L 0.0 % 00 3 CONTROL LOGIC 01 RELEASE FCB OFF NO
2.	Para seleccionar el grupo de señal 103 "LOGICA DE CONTROL"	  O	1 L 0.0 % 00 103 CONTROL LOGIC 01 MODE INDICATION 1 REF MIN
3.	Para seleccionar la señal 02 "SELECCION MODO"	  O	1 L 0.0 % 00 103 CONTROL LOGIC 02 MODE SELECTION AUTO ON
4.	Para confirmar la selección (los valores de los parámetros aparecen entre corchetes)		1 L 0.0 % 00 103 CONTROL LOGIC 02 MODE SELECTION [AUTO ON]
5.	Para cambiar el modo de operación, ej. seleccionar el regulador del factor de potencia	  O	1 L 0.0 % 00 103 CONTROL LOGIC 02 MODE SELECTION [COSPHI SEL]
6a.	Confirmar nuevo ajuste		1 L 0.0 % 00 103 CONTROL LOGIC 02 MODE SELECTION COSPHI SEL
6b.	cancelar el nuevo ajuste cambiando a un otro modo de despliegue	   	1 L 0.0 % 00 103 CONTROL LOGIC 02 MODE SELECTION AUTO ON

**Anexo 9: Tabla ajuste del valor de referencia.**

	<b>Función</b>	<b>Tecla</b>	<b>Indicación</b>
1.	<p>Seleccionar el despliegue del valor actual</p> <p>La señal 10301 INDICACION MODO (modo de operación) normalmente aparece en la segunda línea</p>		<pre> 1      104.5 %   II MODE IND 1 AUTO U MACH V   13500 V I EXC A    1350.5 A                     </pre>
2.	<p>Seleccionar modo LOCAL</p>		<pre> 1 L      104.5 %   II MODE IND 1 AUTO U MACH V   13500 V I EXC A    1350.5 A                     </pre>
3.	<p>Activar el ajuste del valor de referencia</p> <p>el valor de referencia aparece entre corchetes en la línea de estado</p>		<pre> 1 L [ 104.5 % ]   II MODE IND 1 AUTO U MACH V   13500 V I EXC A    1350.5 A                     </pre>
4.	<p>Cambiar valor de referencia</p> <p>Use las teclas flechas para pasos cortos, use las dobles para pasos más grandes.</p> <p><b>Atención: la alteración del valor de referencia es inmediatamente efectiva!</b></p>	   	<pre> 1 L [ 105.7 % ]   II MODE IND 1 AUTO U MACH V   13635 V I EXC A    1375.9 A                     </pre>
5.	<p>Salida del modo de ajuste del valor de referencia cambiando a otro modo de despliegue</p>	   	<pre> 1 L      105.7 %   II MODE IND 1 AUTO MACH V   13635 V I EXC A    1375.9 A                     </pre>
6.	<p>Para cambiar al modo de operación remota</p>		<pre> 1      105.7 %   II MODE IND 1 AUTO U MACH V   13635 V I EXC A    1375.9 A                     </pre>

**Anexo 10: Tabla de de alteración de parámetros.**

	<b>Función</b>	<b>Tecla</b>	<b>Indicación</b>
1.	Para seleccionar el modo de ajuste de parámetro		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">                     1 L      0.0 %    00                      3 CONTROL LOGIC                      01 RELEASE FCB OFF                      NO                 </div>
2.	Para seleccionar el grupo de parámetro	  o	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">                     1 L      0.0 %    00                      5 CONVERTER                      01 U EXC V NOMINAL                      350 V                 </div>
3.	Para seleccionar el parámetro	  o	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">                     1 L      0.0 %    00                      5 CONVERTER                      02 I EXC A NOMINAL                      1000.0 A                 </div>
4.	Para confirmar la selección El valor del parámetro ahora aparece entre corchetes		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">                     1 L      0.0 %    00                      5 CONVERTER                      02 I EXC A NOMINAL                      [1000.0 A]                 </div>
5.	Cambiar el valor del parámetro. Use teclas flecha para paso corto Use teclas de doble flecha para pasos más grandes	   	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">                     1 L      0.0 %    00                      5 CONVERTER                      02 I EXC A NOMINAL                      [1350.0 A]                 </div>
6a.	Confirmar nuevo valor		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">                     1 L      0.0 %    00                      5 CONVERTER                      02 I EXC A NOMINAL                      1350.0 A                 </div>
6b.	o cancelar el nuevo ajuste cambiando a un modo de despliegue diferente	   	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">                     1 L      0.0 %    00                      5 CONVERTER                      02 I EXC A NOMINAL                      1000.0 A                 </div>

**Anexo 11: Tabla para seleccionar la función Upload y download.**

	Función	Tecla	Indicación
1.	Introducir modo de Función		<pre> 1 L      0.0 %   00 U PLOAD  &lt;= &lt;= D OWNLOAD =&gt; =&gt; C ONTRAST 7                     </pre>
2.	Seleccionar función ej. Down-load	 	<pre> 1 L      0.0 %   00 U PLOAD  &lt;= &lt;= D OWNLOAD =&gt; =&gt; C ONTRAST 7                     </pre>
3.	Ejecutar función seleccionada		<pre> 1 L      0.0 %   00 =&gt; =&gt; =&gt; =&gt; =&gt; =&gt; D OWNLOAD                     </pre>
4.	Almacenado completo de parámetros		<pre> 1 L      0.0 %   00 M ODE IND 1 AUTO U EXC V           0 V I EXC A           0.0 A                     </pre>