

## INSTITUTO TECNOLÓGICO TUXTLA GUTIÉRREZ

### REPORTE DE RESIDENCIA

#### “MIGRACIÓN DEL EQUIPO ELECTRÓNICO ANALÓGICO A DIGITAL PARA LA REGULACIÓN DE TENSIÓN”

**PRESENTA:**

**FLAVIO COUTIÑO RUIZ**

**ASESOR INTERNO:**

**MC. RAFAEL SÁNCHEZ MALDONADO**

**ASESOR EXTERNO:**

**ING. ELÍAS DOMÍNGUEZ INTERIANO**

**EMPRESA:**

**C. H. ÁNGEL ALBINO CORZO**

**ING. ELECTRÓNICA**

## ÍNDICE

**INTRODUCCIÓN.....1**

### **CAPITULO 1. GENERALIDADES**

1.1 TITULO DEL PROYECTO.....2  
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....2  
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....3  
1.4 OBJETIVOS.....3  
    1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....3  
    1.4.2 OBJETIVO ESPECIFICO.....3  
1.5 ALCANCES.....4

### **CAPITULO 2. ASPECTOS DE LA EMPRESA**

2.1 ANTECEDENTES.....5  
2.2 LOCALIZACIÓN.....7  
2.3 EVOLUCIÓN DE LA EMPRESA.....8  
2.4 MISIÓN.....9  
2.5 VISIÓN.....9  
2.6 OBJETIVOS.....10  
2.7 POLÍTICAS.....10  
2.8 ORGANIGRAMA DE LA CENTRAL.....11

### **CAPITULO 3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS I**

3.1 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....12

3.1.1	DEFINICIÓN.....	12
3.1.1.1	CONCEPTOS BÁSICOS.....	13
3.1.2	TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	13
3.1.2.1	SEGÚN SU ARQUITECTURA.....	13
3.1.2.1.1	C. H. al aire libre.....	13
3.1.2.1.2	C. H. tipo caverna.....	13
3.1.2.2	SEGÚN SE RÉGIMEN DE FLUJO.....	14
3.1.2.2.1	C. H. al filo de agua servida.....	14
3.1.2.2.2	C. H. de bombeo.....	14
3.1.2.3	SEGÚN LA ALTURA DEL SALTO.....	14
3.1.2.3.1	C. H. de alta presión.....	14
3.1.2.3.2	C. H. de media presión.....	14
3.1.2.3.3	C. H. de baja presión.....	14
3.2	MODALIDAD DE GENERACIÓN.....	15

## **CAPITULO 4. DESCRIPCIONES**

4.1	TURBINA AUXILIAR.....	17
4.2	TURBINA PRINCIPAL.....	17
4.2.1	COMPONENTES PRINCIPALES.....	17
4.3	GENERADOR SÍNCRONO.....	20
4.3.1.1	COMPONENTES PRINCIPALES.....	21
4.4	REGULADOR DE VELOCIDAD.....	22
4.5	TRANSFORMADORES DE POTENCIA.....	23
4.6	EMBALSE.....	24

4.7	OBRA DE EXCEDENCIAS.....	24
4.8	OBRA DE DESFOGUE.....	25
4.9	RETEN DE CONTENCIÓN DE OBRA DE TOMA.....	25
4.10	OBRA DE TOMA.....	25

## **CAPITULO 5. DEFINICIONES**

5.1	CANAL AUTOMÁTICO.....	27
5.2	CANAL MANUAL.....	27
5.3	CIRCUITO DE DESCARGA.....	27
5.4	CIRCUITO DE EXCITACIÓN INICIAL.....	27
5.5	CONVERTIDOR DE TIRISTORES.....	27
5.6	CORRIENTE DE CAMPO NOMINAL ( $I_{fn}$ ).....	28
5.7	CORRIENTE DE CAMPO NOMINAL SOBRE LA LINEA DE ENTREHIERRO ( $I_{fg}$ ).....	28
5.8	ETAPA DE POTENCIA.....	28
5.9	FORMATO COMTRADE.....	28
5.10	GENERADOR CON CARGA.....	28
5.11	GENERADOR EN VACIO.....	29
5.12	INTERRUPTOR DE CAMPO.....	29
5.13	FORMATO IRIG-B (INTER-RANGE INSTRUMENTATION GROUP- FORMAT B).....	29
5.14	PANEL DE ALARMAS Y SEÑALIZACIÓN.....	29
5.15	PROTECCIONES.....	29
5.16	VALOR POR UNIDAD (pu).....	30
5.17	REGISTROS DE EVENTOS.....	30

5.18	REGISTROS DE TRANSITORIOS.....	30
5.19	REGULADOR DE CORRIENTE DE CAMPO.....	30
5.20	REGULADOR DE TENSIÓN EN TERMINALES DEL GENERADOR.....	30
5.21	SISTEMA DE EXCITACIÓN.....	31
5.22	SUPRESOR DE SOBRETENSIONES (Crow Bar).....	31
5.23	TENSIÓN DE CAMPO NOMINAL ( $V_{fn}$ ).....	31
5.24	TENSIÓN DE CAMPO SOBRE LA LÍNEA DE ENTREHIERRO.....	31
5.25	TENSIÓN DE TECHO ( $V_t$ ).....	32
5.26	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF).....	32
5.27	TIEMPO MEDIO PARA REPARACIÓN (MTBR).....	32
5.28	TIEMPO MEDIO ENTRE REPARACIONES (MTBR).....	32
5.29	TIRISTOR.....	32
5.30	TOMACORRIENTE.....	32
5.31	TRANSFORMADOR DE EXCITACIÓN.....	33

## **CAPITULO 7. DESARROLLO DEL PROYECTO**

6.1	SISTEMA DE EXCITACIÓN ESTÁTICO.....	34
6.1.1	REGULADOR DE VOLTAJE ANALÓGICO ASEA TIPO “FREA”.....	34
6.1.1.1	DIAGRAMA A BLOQUES.....	35
6.1.1.2	VISTA FRONTAL.....	35
6.1.1.3	VISTA TRASERA.....	36
6.1.1.4	REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE (AVR).....	37
6.1.1.4.1	Unidad Básica.....	37

6.1.1.4.2	Limitador de Corriente de Campo.....	38
6.1.1.4.3	Estabilizador de Potencia.....	38
6.1.1.4.4	Compensador de Frecuencia.....	39
6.1.1.4.5	Limitador de Baja Excitación.....	39
6.1.1.4.6	Seguidor de Voltaje de Línea.....	39
6.1.1.4.7	Unidad para Descarga de la Potencia Activa.....	40
6.1.1.5	REGULADOR DE CORRIENTE DE CAMPO (FCR).....	40
6.1.1.5.1	Control Manual.....	40
6.1.2	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS REQUERIDAS DEL NUEVO REGULADOR DE VOLTAJE.....	41
6.1.2.1	UNIDADES DE CONTROL DE EXCITACIÓN (UCE).....	41
6.1.2.1.1	Funciones de control de las turbinas de control de excitación.....	41
6.1.2.1.2	Registro de eventos.....	42
6.1.2.1.3	Índices de respuesta.....	43
6.1.2.1.4	Estabilizador de sistema de potencia (PSS).....	43
6.1.2.1.5	Referencia del canal automático (90D).....	44
6.1.2.1.6	Referencia del canal manual (70D).....	44
6.1.2.1.7	Compensador de reactivos.....	45
6.1.2.1.8	Limitador de mínima excitación o limitador de ángulo interno.....	45
6.1.2.1.9	Limitador de máxima corriente de campo.....	45
6.1.2.1.10	Limitador de Volts/Hertz.....	45
6.1.2.1.11	Canal de regulación de corriente de campo (canal manual).....	46

6.1.2.1.12 Seguidores automáticos.....	46
6.1.2.1.13 Generadores y amplificadores de pulsos.....	46
6.1.2.1.14 Autodiagnostico.....	47
6.1.2.1.15 Lógica de transferencia entre las unidades de control de excitación.....	47
6.1.2.1.16 Proceso de desexcitación.....	48
6.1.2.1.17 Mandos de control, señalización y alarmas.....	48
6.1.2.1.18 Interface de entradas analógicas.....	48
6.1.2.1.19 Circuito para prueba de escalón y perturbación.....	49
6.1.2.1.20 Interfaz de salida analogías.....	49
6.1.2.1.21 Interface de salida de condiciones de estado lógico.....	50
6.1.2.1.22 Entradas digitales.....	50
6.1.2.1.23 Bloque de pruebas.....	51
6.1.3 REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE DIGITAL (RAV) CON SECUENCIADOR INTEGRADO TIPO “GMR3” ANDRITZ HYDRO.....	52
6.1.3.1 DIAGRAMA A BLOQUES.....	52
6.1.3.2 DIAGRAMA DE ENSAMBLÉ.....	53
6.1.3.3 VISTA FRONTAL.....	53
6.1.3.4 VISTA TRASERA.....	54
6.1.3.5 VISTA FRONTAL SIN PUERTAS.....	55
6.1.3.6 VISTA TRASERA SIN PUERTAS.....	56
6.1.3.7 REGULADOR DE VOLTAJE.....	56
6.1.3.7.1 Limitadores y Funciones Adicionales.....	57

6.1.3.8	REGULACIÓN.....	57
6.1.3.8.1	<b>MRB</b> Tarjeta Procesadora Principal.....	58
6.1.3.8.2	<b>PGS</b> Tarjeta Procesadora de Señales y Generadora de Pulsos.....	58
6.1.3.8.3	<b>AA8</b> Tarjeta de Salidas Analógicas.....	59
6.1.3.8.4	<b>DE32</b> Tarjeta de Entrada Digitales.....	59
6.1.3.8.5	<b>DA32</b> Tarjeta de Salida Digitales.....	59
6.1.3.8.6	<b>Elterm GMR</b> Terminal de Operación.....	60
6.1.3.9	PROGRAMA (SOFTWARE).....	60
6.1.3.10	SEGUIDOR AUTOMÁTICO Y TRANSFERENCIA ENTRE MODOS AUTOMÁTICO Y MANUAL.....	62
6.1.3.11	REGULADOR DE VOLTAJE (MODO DE OPERACIÓN AUTOMÁTICA).....	63
6.1.3.12	REGULADOR DE CORRIENTE DEL ROTOR (MODO DE OPERACIÓN MANUAL).....	64

## **CAPITULO 7. DESMONTAJE DEL “AVR”**

7.1	INTERRUPTOR DE CAMPO.....	65
7.2	RESISTENCIAS DE DESCARGA Y EXCITACIÓN INICIAL.....	66
7.3	EQUIPO DE DESEXCITACIÓN Y PROTECCIÓN.....	66
7.4	DISTRIBUIDOR DE PULSOS.....	67
7.5	REGULADOR.....	68

## **CAPITULO 8. MONTAJE DEL “RAV”**

8.1	LLEGADA A ALMACÉN.....	70
-----	------------------------	----

8.2	LLEGADA A CASA DE MAQUINAS.....	70
8.3	INTERRUPTOR DE CAMPO.....	71
8.4	REGULADOR.....	71

## **CAPITULO 9. COMPLEMENTOS**

9.1	ADAPTACIÓN DEL FRENADO ELÉCTRICO.....	72
9.2	GABINETE DEL MODULO DE PLC.....	73
9.3	DIAGRAMA DE FLUJO.....	74
9.4	PROGRAMA.....	80

## **CAPITULO 10. FICHA TÉCNICA**

10.1	CAPACIDAD INSTALADA.....	82
10.2	TURBINA PRINCIPAL.....	82
10.3	GENERADOR.....	83
10.4	EXCITADOR.....	83
10.5	CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	84
10.5.1	HIDROLOGÍA.....	84
10.5.2	EMBALSE.....	84
10.5.3	CORTINA.....	85
10.5.4	OBRA DE EXCEDENCIAS.....	85
10.5.5	OBRA DE GENERACIÓN.....	86
10.5.6	CONDUCCIÓN.....	86
10.5.7	CASA DE MAQUINA.....	86

---

**CONCLUSIÓN.....87**

**BIBLIOGRAFÍA.....88**

## **INTRODUCCIÓN**

La central hidroeléctrica Ángel Albino Corzo se ubica como el cuarto aprovechamiento hidroeléctrico de la cuenca del río Grijalva en el estado de Chiapas.

La central cuenta con cuatro unidades de 105 MW, la cual tiene una gran importancia para el sistema interconectado nacional por su aportación de energía eléctrica y su alto factor de planta.

Las unidades generadoras fueron puestas en servicio en el año de 1987, a la fecha podemos determinar que tienen aproximadamente 21 años de operación.

Las unidades generadoras cuentan con equipos para la regulación de tensión, los cuales permiten entregar el producto con los parámetros de calidad requeridos.

Las unidades generadoras están operando con un sistema de excitación estático, con el generador de tensión construido a base de electrónica analógica.

---

## **CAPITULO 1. GENERALIDADES**

### **1.1 TITULO DEL PROYECTO**

#### ***“MIGRACIÓN DEL EQUIPO ELECTRÓNICO ANALÓGICO A DIGITAL PARA LA REGULACIÓN DE TENSIÓN”***

### **1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Los reguladores de tensión están descontinuados por parte del fabricante, por lo que, al requerir refacciones, estas son de fabricación especial con un alto costo y largo tiempo de entrega y en consecuencia aumenta el costo de mantenimiento.

En virtud de que los reguladores de tensión son de tecnología obsoleta, presentan limitaciones como el ajuste rígido a base de potenciómetros estáticos que solo aceptan un ajuste para maquina en vacio como para maquina con carga.

En la operación de las unidades generadoras se requiere tener la posibilidad de ajustes más dinámicos que permitan condiciones de vacío y con carga, así mismo se requiere confiabilidad y velocidad en la respuesta ante cualquier contingencia en el sistema interconectado.

Los reguladores de tensión actuales no se pueden ajustar fácilmente, el sistema de estabilización de potencia que es de vital importancia para la estabilidad de la red con la partición de los generadores eléctricos de la central. Por todo lo anterior se ha determinado hacer el cambio y modernizar el sistema de regulación de tensión de las unidades de la central hidroeléctrica Ángel Albino Corzo “PEÑITAS”.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Los reguladores de tensión nuevos permitirán mejorar la respuesta del sistema de regulación de tensión, que tiene que ver directamente con la calidad de nuestro producto que es la energía eléctrica.

Al tener una mejor respuesta del sistema de regulación de tensión, permitirá responder eficientemente ante los requerimientos de operación sistema mediante el “AGC” (Control Automático de Generación).

Al tener los reguladores de tensión de tecnología reciente podremos contar con el refaccionamiento necesario para dar mantenimiento preventivo y correctivo.

Al modernizar el sistema de regulación de tensión coadyuvamos al logro de las metas pactadas y comprometidas con nuestros clientes y partes interesadas.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Modernizar la central hidroeléctrica, a través de la migración del módulo de regulación de tensión de analógico a digital en el área de control, para hacer el funcionamiento de la misma.

#### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Sustituir el sistema de regulación analógico que se encuentra instalado en este momento.
- ✓ Mantener los parámetros del sistema de regulación en monitoreo y bajo control con un sistema de PLC.
- ✓ Evitar un sin número de fallas que produce la tecnología analógica.

## **1.5 ALCANCES**

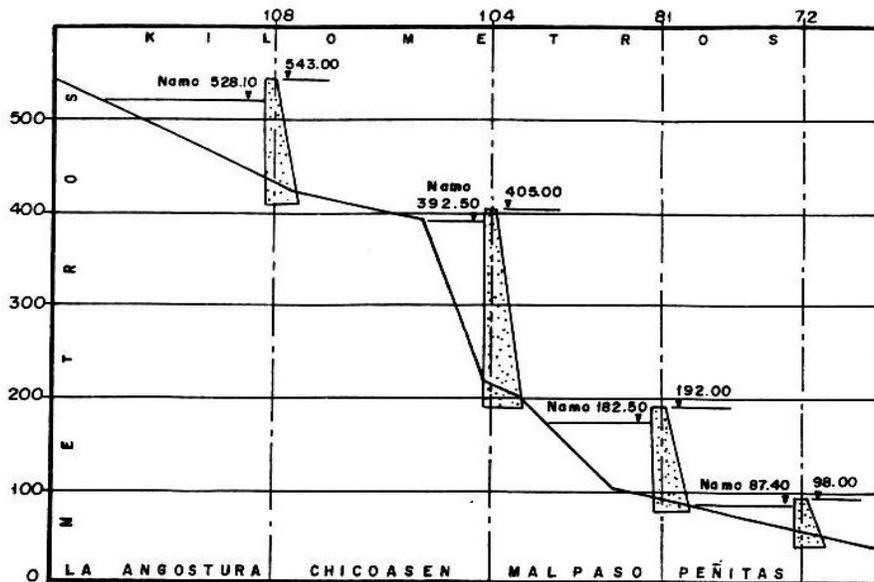
- ✓ El sistema de regulación contará con un control local y remoto donde el usuario podrá interactuar con el sistema a través del CatWeb.
- ✓ Controlar de manera rápida y eficaz el sistema de regulación con la capacidad de realizar cambios en el sistema de manera instantánea.
- ✓ Consulta de fallas y estados del sistema.

## CAPITULO 2. ASPECTOS DE LA EMPRESA

### 2.1 ANTECEDENTES

La región sureste del país constituye la zona de mayor potencial hidroeléctrico, dado que en ella se localiza el sistema hidrográfico Grijalva-Usumacinta que aporta el 30 % de los recursos hidrológicos de México. Sin embargo, la parte hidroeléctricamente explotable de ambos Ríos se localiza en su mayoría en el Estado de Chiapas.

Desde 1958, la **“Comisión Federal de Electricidad”** viene desarrollando estudios en la cuenca del Río Grijalva, encaminados a determinar su potencialidad hidroeléctrica, y con ello lograr el aprovechamiento integral de sus recursos, con base en estos estudios y los efectuados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, ambas dependencias formularon el "Plan Integral del Río Grijalva.



**Fig.1** Esquema en cascada según el Plan del Río Grijalva

La cuenca del Río Grijalva se localiza en el sureste del país, y se encuentra limitado al sur por la República de Guatemala, al oeste por la cuenca del Río Usumacinta y al norte por el Golfo de México.

La Presa de usos múltiples **Netzahualcóyotl "MALPASO"**, constituye el primer aprovechamiento realizado para el desarrollo del Río Grijalva, y el tercero que proporciona la cuenca, a partir del sitio de su nacimiento. La construcción estuvo a cargo de la Secretaría de Recursos Hidráulicos durante el periodo de 1959-1964, en su primera etapa, con capacidad instalada de 720 MW. La Comisión Federal de Electricidad, realizó la segunda etapa con capacidad de 360 MW, para un total acumulado de 1080 MW. Con 6 unidades tipo Francis de 180 MW cada una.

El segundo aprovechamiento y primero de la cuenca lo constituye la presa **"LA ANGOSTURA"** que la Comisión Federal de Electricidad realizó durante el periodo de 1969 a 1974. La característica que reúne esta presa la sitúa como el proyecto básico para el desarrollo integral del río Grijalva. Su almacenamiento de  $18,500 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de capacidad total, permite regularizar un escurrimiento medido anual de 11,824 millones de m<sup>3</sup>, con capacidad instalada de 920 MW. Con 5 unidades generadoras tipo Francis de 180 MW cada una.

El tercer aprovechamiento lo constituye la Presa **"CHICOASEN"** realizado por la Comisión Federal de Electricidad durante los años de 1974 a 1980, en su primera etapa, con capacidad de 1500 MW con 5 unidades generadoras tipo Francis de 300 MW cada una. En su segunda etapa podría elevarse a 2400 MW con 3 unidades más de la misma capacidad. La Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres "Chicoasen" aprovecha 160 metros de desnivel de los 246 que existen entre la descarga de la Central Belisario Domínguez "Angostura" y el nivel de aguas máximas de la Presa Netzahualcóyotl (Malpaso).

La Central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo (Político Militar nace en Chiapas de Corzo el 1ro. de marzo de 1816 y muere a los 59 años, el 13 de agosto de 1875) **"PEÑITAS"**. Constituye la cuarta y última etapa del plan del Río Grijalva, plan concebido en el año de 1948 por la Comisión Federal de Electricidad en conjunto con la antigua Secretaría de Recursos Hidráulicos, el cual está encaminado a lograr el aprovechamiento integral de sus recursos, construida durante el periodo de 1979 a 1986, con una capacidad instalada de 420 MW y con una generación media anual de 1420 GWH. Y con un escurrimiento medio anual de 23 mil millones de metros cúbicos.

Con estos cuatros aprovechamientos el sistema tiene una capacidad total instalada del orden de los 5 millones de KW con una generación anual de 12,500 millones de KW el caudal medido anual regularizado es de 800 m<sup>3</sup>/segundo.

## 2.2 LOCALIZACIÓN

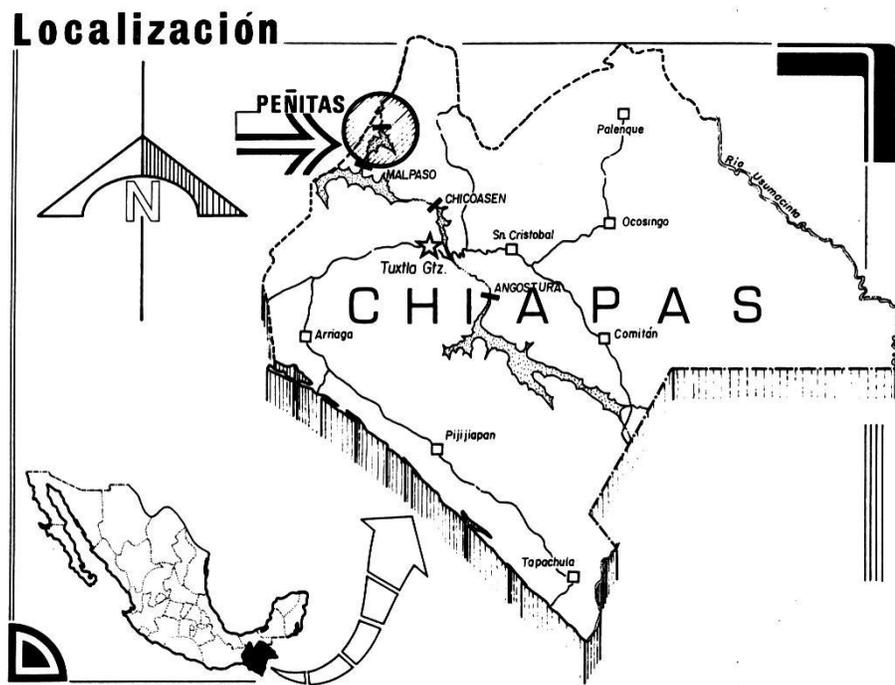
La cuenca del Río Grijalva se localiza en el sureste del país, y se encuentra limitado al sur por la República de Guatemala, al oeste por la cuenca del Río Usumacinta y al norte por el Golfo de México.

La Presa "**PEÑITAS**" se localiza al norte del Estado de Chiapas, dentro del Municipio de Ostuacan, muy próximo a los límites con el Estado de Tabasco. La Central tiene comunicación por carretera pavimentada a la Central Hidroeléctrica "Malpaso" (49 Km.), a la Estación Chontalpa, Tabasco. (31 Km.); a Huimanguillo, Tabasco (51 Km.) y a la Ciudad de Cárdenas, Tabasco. (66 Km.) Siendo en este punto en donde la carretera se intercepta con la carretera Coatzacoalcos, Veracruz - Villahermosa, Tabasco.



**Fig.2** Central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo

La Central Hidroeléctrica "**PEÑITAS**" se encuentra localizada en la margen izquierda del Río Grijalva, y consta de las siguientes estructuras: Obra de Toma, Tuberías de Conducción, Casa de Maquinas y Canal de Desfogue. La Central Hidroeléctrica tiene como principal objetivo la generación de la energía eléctrica. Del Vaso de Almacenamiento se encauza a través de su Canal de Llamada, el agua que posteriormente será conducida a través de las Tuberías de Conducción, para operar las Unidades Generadoras, las cuales se encuentran ubicadas en la Casa de Maquina y posteriormente restituir al Río el gasto utilizado a través del canal de desfogue.



**Fig.3** Proyecto Hidroeléctrico Peñitas

### 2.3 EVOLUCIÓN DE LA EMPRESA

Es un organismo descentralizado de la administración pública federal. Con personalidad jurídica patrimonio propio, que tiene por objeto la planeación de sistema eléctrico nacional, así como la generación, conducción, transformación distribución y venta de energía para la prestación del servicio público y la realización de todas las obras. Instalaciones y todas los trabajos que se requieran para el cumplimiento de su objeto, de conformidad con lo dispuesto en la ley del servicio público de energía

eléctrica, la ley orgánica de la administración pública federal, la ley federal de las entidades paraestatales y demás ordenamientos aplicables.

Comercializa energía eléctrica para 24.8 millones de clientes, lo que representa casi 80 millones de mexicanos. Un compromiso de la empresa es ofrecer servicios de excelencia, garantizando altos índices de calidad en todos sus procesos, al nivel de las mejores empresas eléctricas del mundo.

La CFE. Ofrece al servicio de energía eléctrica en la mayor parte del país, con excepción del distrito federal y algunos países cercanos a este, donde el servicio está a cargo de luz y fuerza del centro.

## **2.4 MISIÓN**

- ✓ Asegurar, dentro de un marco de competencia y actualizado tecnológicamente, el servicio de energía eléctrica, en condiciones de cantidad, calidad y precio, con la adecuada diversificación de fuentes de energía.
- ✓ Optimizar la utilización de su infraestructura física, comercial y de recursos humanos.
- ✓ Proporcionar una atención de excelencia a nuestros clientes.
- ✓ Proteger el medio ambiente, promover el desarrollo social y respetar los valores de las poblaciones donde se ubican las obras de electrificación.

## **2.5 VISIÓN**

- ✓ Una empresa de clase mundial que participa competitivamente en la satisfacción de la demanda de energía eléctrica nacional e internacional, que optimiza el uso de su infraestructura física y comercial, a la vanguardia en tecnología, rentable, con imagen de excelencia, industria limpia y recursos humanos altamente calificados.

## **2.6 OBJETIVOS**

- ✓ Mantenernos como la empresa de energía eléctrica más importante a nivel nacional.
- ✓ Operar sobre las bases de indicadores internacionales en materia de productividad, competitividad y tecnología.
- ✓ Ser reconocida por nuestros usuarios como una empresa de excelencia que se preocupa por el medio ambiente, y está orientada al servicio al cliente.
- ✓ Elevar la productividad y optimizar los recursos para reducir los costos y aumentar la eficiencia de la empresa, así como promover la alta calificación y el desarrollo profesional de los trabajadores.

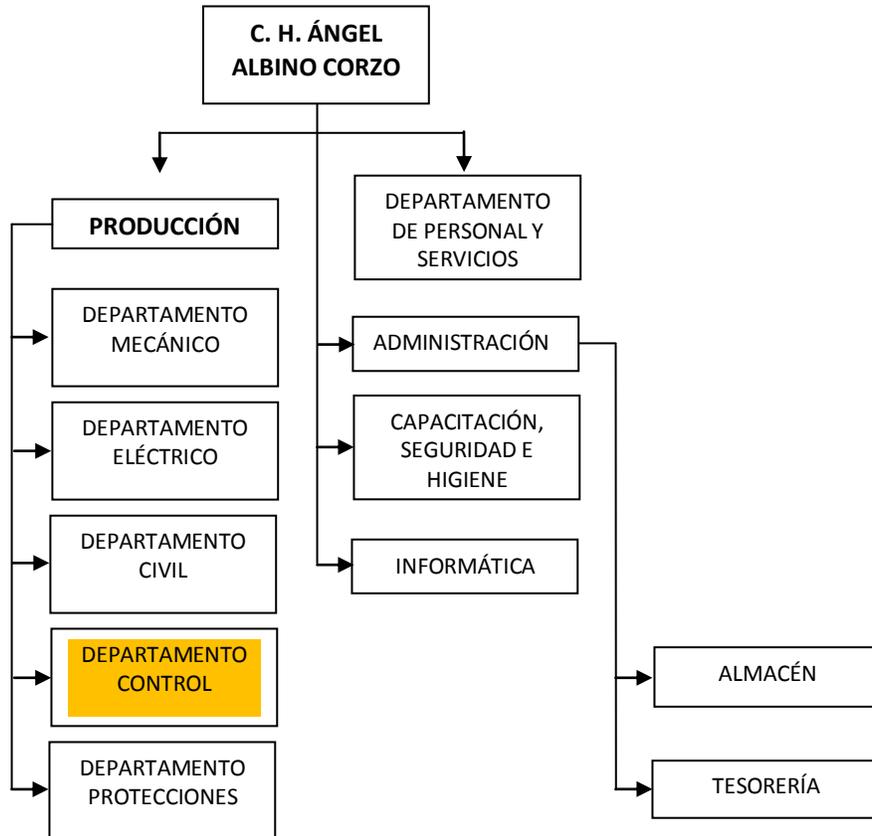
## **2.7 POLÍTICAS**

Satisfacer las necesidades de energía eléctrica de la sociedad, mejorando la competitividad asegurando la eficiencia de los procesos de la Dirección de Operación, sustentados en la autonomía de gestión de sus áreas y con el compromiso de:

- ✓ Desarrollar el Capital Humano.
- ✓ Prevenir y controlar los riesgos que afectan la integridad de los trabajadores e instalaciones.
- ✓ Cumplir con la legislación, reglamentación y otros requisitos aplicables.
- ✓ Prevenir la contaminación.

Mejorando continuamente la eficacia de nuestro Sistema Integral de Gestión.

**2.8 ORGANIGRAMA**



## CAPITULO 3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS I

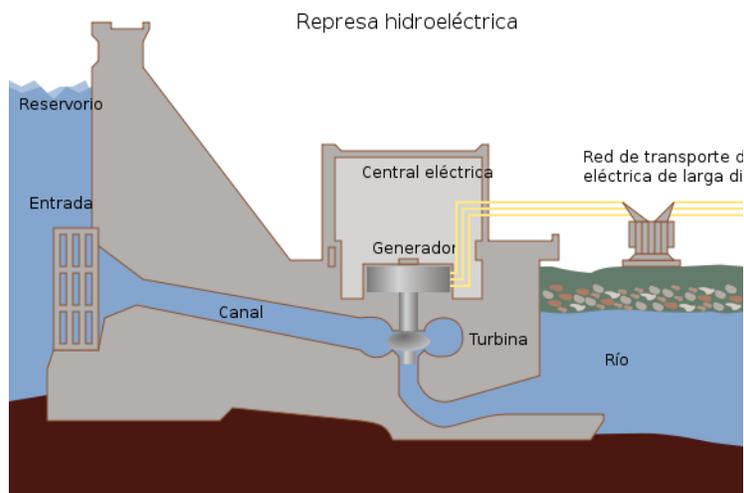
### 3.1 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

#### 3.1.1 DEFINICIÓN

Una central hidroeléctrica es aquella que utiliza energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. En general estas centrales aprovechan la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como salto geodésico. El agua en su caída entre dos niveles del cauce se hace pasar por una turbina hidráulica la cual transmite la energía a un generador el cual la convierte en energía eléctrica.

Las dos características principales de una central hidroeléctrica, desde el punto de vista de su capacidad de generación de electricidad son:

- **La potencia**, que es función del desnivel existente entre el nivel medio del embalse y el nivel medio de las aguas debajo de la central, y del caudal máximo turbinable, además de las características de la turbina y del generador.
- **La energía garantizada**, en un lapso de tiempo determinado, generalmente un año, que está en función del volumen útil del embalse, y de la potencia instalada.



**Fig.4** Represa Hidroeléctrica

### **3.1.1.1 CONCEPTOS BÁSICOS**

✓ **Galerías de Inspección:**

Zona donde los ingenieros realizan inspecciones sobre el estado en que se encuentra las instalaciones como es la cortina, el caracol del rodete, etc.

✓ **Canal de Descarga o Desfogue:**

Conducción por la que se libera el agua tras pasar por las turbinas.

✓ **Casa de Maquinas o Piso de Turbinas:**

Zona donde los generadores transforman la energía cinética del agua en energía eléctrica, así como también es el are donde se encuentran los tableros de control de cada unidad.

✓ **Foso de Turbina:**

Zona donde se encuentra la chumacera de carga y los medidores de velocidad.

✓ **Cota:**

Altura a la que se encuentra un punto sobre el nivel del mar.

### **3.1.2 TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS**

#### **3.1.2.1 SEGÚN SU ARQUITECTURA**

✓ **C. H. al Aire Libre:**

Al pie de la presa, o relativamente alejadas de esta, y conectadas por medio de una tubería en presión.

✓ **C. H. Tipo Caverna:**

Generalmente conectadas al embalse por medio de túneles, tuberías en presión, o por la combinación de ambas.

### **3.1.2.2 SEGÚN SE RÉGIMEN DE FLUJO**

#### ✓ **C. H. al Filo de Agua Servida:**

También denominadas centrales de agua fluyente o de pasada, utilizan parte del flujo de un río para generar energía eléctrica. Operan en forma continua porque no tienen capacidad para almacenar agua, no disponen de embalse. Turbinan el agua disponible en el momento, limitadamente a la capacidad instalada. En estos casos las turbinas pueden ser de eje vertical, cuando el río tiene una pendiente fuerte u horizontal cuando la pendiente del río es baja.

#### ✓ **C. H. de Embalse:**

Es el tipo más frecuente de central hidroeléctrica. Utilizan un embalse para reservar agua e ir graduando el agua que pasa por la turbina. Es posible generar energía durante todo el año si se dispone de reservas suficientes. Requieren una inversión mayor.

#### ✓ **C. H. de Bombeo:**

Se trata de un tipo de central que solo genera energía en horas punta y la consume en horas valle (noches y fines de semana), mediante un grupo electromecánico de bombeo y generación. Justifican su existencia para hacer frente a variaciones de demanda energética en horas determinadas. Distinguimos tres tipos; centrales puras de acumulación, centrales mixtas de acumulación y centrales de acumulación por bombeo diferencial.

### **3.1.2.3 SEGÚN LA ALTURA DEL SALTO**

#### ✓ **De Alta Presión:**

Tiene grandes saltos, mayores de 200 metros. Suelen estar construidas en zonas de alta montaña.

#### ✓ **De Media Presión:**

Poseen saltos entre 20 y 200 metros, con caudales alrededor de los 200 m<sup>3</sup>/s. suelen situarse en zonas de baja y media montaña y utilizan agua embalsada.

**✓ De Baja Presión:**

Con saltos menores de 20 metros y caudales que poseen alcanzar los 300 m<sup>3</sup>/s.

<b>Altura del Salto</b>	<b>Turbina</b>
Más de 100 metros	Pelton, Turgo, Francis
Entre 20 y 100 metros	Francis, Crossflow
De 5 a 20 metros	Crossflow, Propeller, Kaplan
Menos de 5 metros	Propeller, Kaplan

**3.2 MODALIDAD DE GENERACIÓN**

El tipo de funcionamiento de una central hidroeléctrica puede variar a lo largo de su vida útil. Las centrales pueden operar en régimen de:

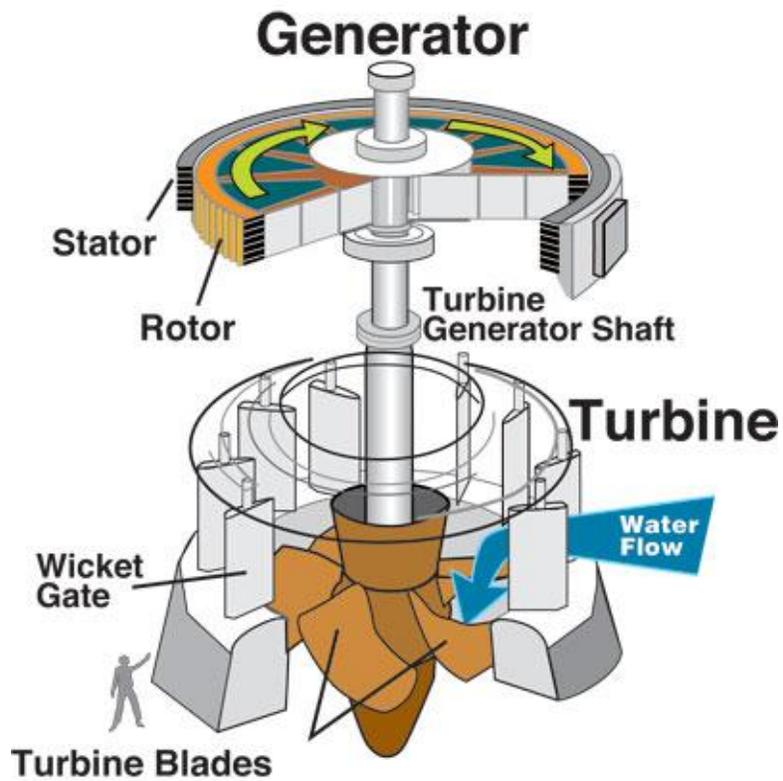
- Generación de energía de base.
- Generación de energía en períodos de punta. Estas a su vez se pueden dividir en:
  - Centrales tradicionales.
  - Centrales reversibles o de bombeo.

La demanda de energía eléctrica de una ciudad, región, o país, tiene una variación a lo largo del día. Esta variación es función de muchos factores, entre los que se destacan:

- Tipos de industrias existentes en la zona, y turnos que estas realizan en su producción.
- Tipo de cocina doméstica que se utiliza más frecuentemente.
- Tipo de calentador de agua que se permite utilizar.
- La estación del año.
- La hora del día en que se considera la demanda.

La generación de energía eléctrica debe seguir la curva de demanda, así, a medida que aumenta la potencia demandada deberá incrementarse el caudal turbinado, o iniciar la generación con unidades adicionales, en la

misma central, e incluso iniciando la generación en centrales reservadas para estos períodos.



**Fig.5** Generador

## CAPITULO 4. DEFINICIONES

### 4.1 TURBINA AUXILIAR

La Central Hidroeléctrica PEÑITAS, cuenta con una **Unidad Auxiliar** de respaldo y emergencia para la alimentación de los **Servicios Propios** de la Central, como son: Bombas y Compresores de regulación, Bombas de Prelubricación, Circulación de Aceite en Chumaceras, etc. para el funcionamiento de las Unidades Generadoras de la Central, siendo dicha alimentación muy importante para el arranque de las Unidades Principales por lo que es recomendable tenerla siempre disponible y en condiciones de operación. Esta Unidad es de tipo Francis horizontal tipo F 30 H con un diámetro 880 mm acoplada directamente con el Generador eléctrico de síncrono trifásico de 60 Hz de frecuencia, 480 volts de tensión y una potencia de 1220 KW el acoplamiento es a través de una flecha de acero soportada y guiada por chumaceras.

### 4.2 TURBINA PRINCIPAL

#### 4.2.1 COMPONENTES PRINCIPALES

**La Carcasa Espiral o Caracol**, tiene la función de conducir y distribuir el flujo de agua proveniente de los conductos de presión dirigida hacia el antedistribuidor, de tal manera que se tenga la misma presión de agua alrededor de la turbina. La Carcasa Espiral está compuesta por 12 paletas fijas predirectrices, las cuales transmiten la carga axial de tracción y su perfil corresponde al perfil hidráulico del modelo. Las paletas fijas son atornilladas al anillo superior durante el montaje y posteriormente soldadas.

La medición de la presión se hace a través de 8 tomas colocadas sobre el techo de la carcasa espiral, conectadas a un manómetro localizado en el tablero de control. Después de la carcasa espiral el agua fluye por el Distribuidor que está compuesto por 24 álabes móviles directrices. Tienen la función de regular el caudal de la turbina y caudal de la turbina y

cerrarla. Los álabes son fundidos como monobloque y se apoyan con dos bujes autolubricados.

**El Rodete** transfiere la energía del agua, al momento torsor sobre el árbol, aprovechado en el alternador para la producción de la energía eléctrica. El Rodete se compone del cubo en el cual se halla ubicado tanto los pernos de los alabes, formados hidráulicamente el mecanismo, el cual va girando estos álabes, según la exigencia de la regulación los álabes son fabricados de acero fundido inoxidable del tipo 13.6% Cr. El ala del álabe esta unida con el perno por tornillos ajustadas el rodete pesa 140 toneladas con una altura de 6 m. y un diámetro 6600mm. Cuando el agua de servicio ha entregado su energía al rodete, fluye a través del tubo de succión hacia la galería de Desfogue. El diámetro de entrada del cono es de 6790.75 mm. Y de salida 8612 mm la longitud es de 5427 mm el espesor de la pared 15 mm. Bajo un ángulo de 45°.

**El sello de flecha de la Turbina** se realiza mediante una junta axial de anillos deslizante, el anillo de deslizamiento bipartido que gira de la flecha lleva un blindaje inoxidable sobre el cual deslizan los segmentos de anillos de carbón que están colocados en el porta-anillo de sellos, bipartido que pueden moverse en sentido axial.

**Las Unidades** constan de un sistema de dos flechas, las cuales tienen la función de transmitir el movimiento rotacional del rodete hacia el rotor del Generador, siendo diseñadas suficientemente para la transmisión del máximo momento de torsión la longitud de la flecha del lado de Rodete tiene una longitud de 4793 mm y la longitud de lado de rotor es de 5667 mm el diámetro.

Sobre el eje, respectivamente en su cercanía y sobre el caballete portador de la chumacera combinada se hallan colocados los aparatos y equipos para medición.

- a) Dispositivo para medir empuje axial.
- b) Dispositivos para medir corrientes circulares.
- c) Dispositivos para detectar vibraciones radiales.
- d) Dispositivo para detectar vibraciones de torsión.
- e) Dispositivo para detectar la velocidad de la flecha.

La Turbina está equipada con una chumacera guía Inferior y una chumacera guía superior. La chumacera de guía superior esta combinada con la chumacera de carga. Como otro lugar de apoyo, hay una chumacera guía en la parte superior del generador denominada chumacera guía generador.

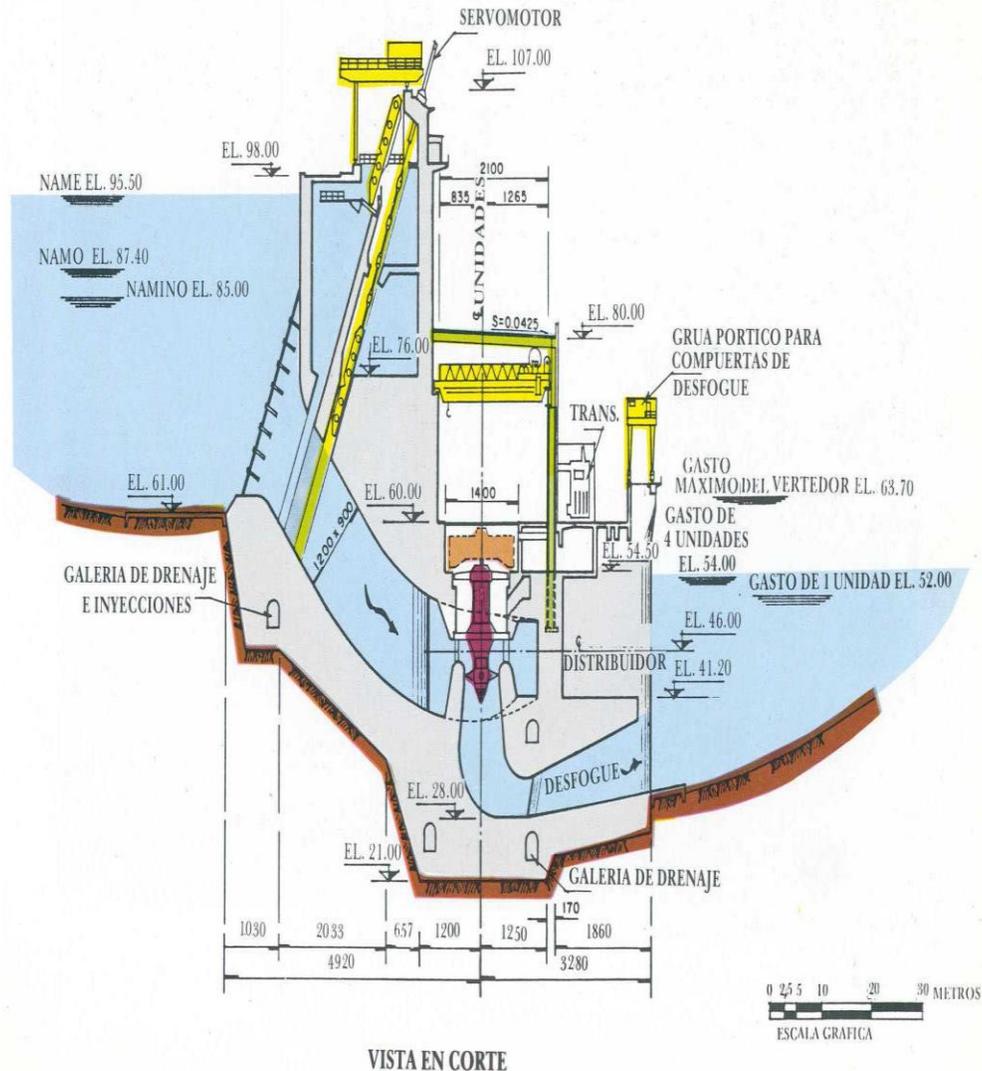
La chumacera consta de 12 segmentos radiales con una dimensión de 300 x 300 mm. Los cuales guían el eje sobre el diámetro de 1,500 mm. Teniendo una tolerancia de 0.2 - 0.3 mm.

La lubricación de los segmentos de la chumacera es mediante aceite, siendo refrigerado éste mediante enfriadores de agua. El volumen de aceite es de 700 lts.

La chumacera combinada está compuesta por segmentos axiales y radiales, funcionando como chumacera de carga y chumacera guía superior Turbina respectivamente. Sobre la chumacera de carga (chumacera axial) se transmiten todas las cargas desde el rotor, las cuales son transmitidas a su vez a la tapa de la Turbina y los alabes del Antedistribuidor y de ahí a la cimentación de la obra. La capacidad de carga de la chumacera axial es de 1800 Tons. Estando formada por 12 segmentos de acero forjado con revestimiento de metal blanco. Los segmentos están colocados sobre un inter-anillo elástico de acero, el cual está colocado sobre el cuerpo de la chumacera.

La chumacera radial (chumacera guía superior turbina) soporta las fuerzas radiales de la turbina, y está formada por 24 segmentos radiales de acero forjado con revestimiento de metal - blanco. Tiene una capacidad de carga radial máxima de 128 Ton. La lubricación de las dos chumaceras es mediante aceite, teniendo un volumen en el recipiente de 6000 Lts.

El sistema de bombeo de agua infiltrada tiene la función de achicar las fugas de agua que se acumulan en la parte de la turbina proveniente del sello de carbones, manguitos de los alabes del distribuidor o de las válvulas de aireación. Las fugas de agua mencionadas anteriormente, se acumulan en el lugar más bajo del adaptador de la tapa de la turbina y de ahí mediante un interruptor flotante de conexión, el cual acciona a una motobomba de este modo es achicada el agua infiltrada descargando al desfogue.



**Fig.6** Vista en Corte

### 4.3 GENERADOR SÍNCRONO

El generador es el conjunto de partes electromecánicas que nos sirven para convertir la energía mecánica de la turbina en energía eléctrica. Esto se logra haciendo girar un campo magnético constante, alrededor de una serie de bobinas de tal manera que se corten las líneas de flujo, engendrando con esto una fuerza electromotriz que aparecerá en los extremos de las bobinas.

Al campo giratorio le llamamos “ROTOR” y es el elemento que está acoplado directamente con la flecha de la turbina para aprovechar la energía mecánica de ésta, convertida en movimiento giratorio. A la serie de bobinas, conjuntamente con su laminado lo denominamos “ESTATOR” siendo éste la parte fija del generador que es donde se genera la fuerza electromotriz.

#### **4.3.1 COMPONENTES PRINCIPALES**

El **Estator** es la parte fija del generador donde se forman las líneas de fuerzas magnéticas que bajo la acción de un campo magnético giratorio genera una fuerza electromotriz.

El Estator está formado por: el bastidor es una estructura soldada construida de placas de acero y perfiles. Está compuesto de anillos horizontales, placas, soportes verticales y barras en cola de milano.

Exteriormente tiene una forma de polígonos regulares y dividida en compartimentos. El bastidor se diseña para que solo existan fuerzas de compresión pequeñas en el núcleo cuando su temperatura exceda aquella del bastidor o para asegurar deformaciones mínimas debido a la presencia de fuerzas magnéticas desbalanceadas y para prevenir pérdidas en la circularidad debido a las diferencias de temperaturas.

El **Rotor** es la parte móvil del generador en el que se forma un campo magnético giratorio a través de los polos para romper las líneas de fuerza magnéticas inducidas en el devanado del estator. Las principales partes del rotor son: el laminado que está formado por segmentos de chapa de acero troquelado traslapado de tal forma que se obtenga la máxima sección transversal y al mismo tiempo la mayor área de fricción total que pueda alcanzarse entre las diferentes capas de los segmentos tomando en cuenta el número de polos. El devanado consiste en bobinas de barras de cobre soldadas en las esquinas para formar una bobina rectangular (polo) que forma el campo. Cada polo tiene un devanado amortiguador formado en un número determinado de varillas de cobre colocadas en ranuras semicerradas en la periferia de cada polo.

Los **Anillos colectores** están formados de acero especial y son lo suficientemente anchos para permitir que las escobillas queden

alternadas. Los anillos colectores se soportan en un cubo de acero soldado situado en el eje con un anillo tope. Una cantidad de bloques en el cubo soporta los pernos axiales que sujetan los anillos en su posición entre las arandelas de aislamiento.

El **mecanismo de las escobillas** de monta en una consola generalmente fija en la araña de soporte o de la parte superior de la caseta en soportes cortos de bronce. Los **porta-escobillas** están diseñados para ejercer la mayor presión posible sobre las escobillas aún en estado de desgaste.

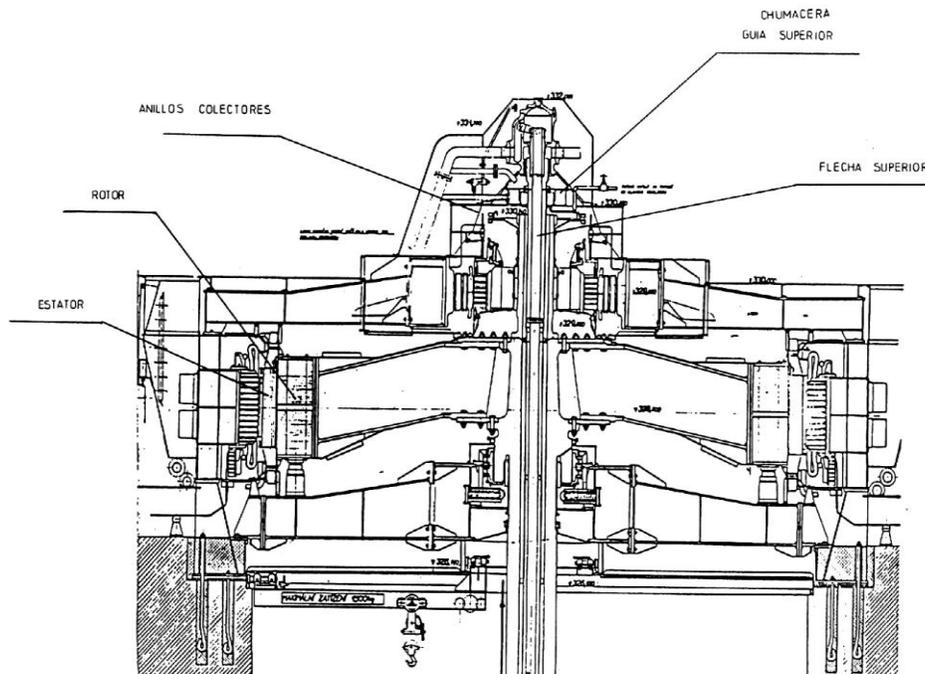


Fig.7 Generador

#### 4.4 REGULADOR DE VELOCIDAD

El mecanismo de regulación de velocidad en una turbina hidráulica, tiene la función de mantener la velocidad constante en la unidad, ajustándola a la velocidad de diseño. Debido a las posibles fallas que causen un desbalanceo en la reacción potencia-apertura del distribuidor, la velocidad de la turbina tiende a variar, por lo que, para evitar estas variaciones, el mecanismo de regulación de velocidad ajusta a través de dos servomotores la apertura del distribuidor y álabes del rodete, controlando así en función de las condiciones de operación la velocidad de trabajo de la turbina.

El regulador de velocidad se divide en dos: la parte eléctrica y la parte hidráulica. El esquema de regulación de velocidad de las turbinas Kaplan de la central hidroeléctrica Peñitas está concebido para soportar una unidad de procesamiento de error de velocidad del tipo Proporcional - Integral - Derivativo con error permanente por desviación de frecuencia, así como un procesador de error en potencia activa del tipo Integral y un sistema de control de apertura del rodete con corrección por volumen de gradiente hidrostático con los cuales se determina la apertura del distribuidor y apertura de rodete en una acción combinada destinada a obtener una máxima eficiencia para diferentes cargas de potencia activa así como para diferentes caídas de agua o sea diferentes valores de gradiente hidrostático. La flecha superior transmite el movimiento desde la flecha principal de la turbina hasta el rotor del generador. Está formado de acero forzado, normalizado y maquinado en toda su superficie, la parte inferior es forjada para formar una brida para conexión al eje principal.

#### **4.5 TRANSFORMADORES DE POTENCIA**

La energía eléctrica generada en la Central es elevada de 13.8 Kilo Volts a 230 Kilo Volts por el Transformador de Potencial, y llegan a una Subestación, de donde se distribuye para integrarse al sistema Oriental, con dos alimentadores a la subestación Malpaso II, (líneas: 93930 y 93940) ubicada en la Central Hidroeléctrica Malpaso, otras dos a la subestación Kilometro 20 (líneas: 93910 y 93920) en Villahermosa, Tabasco. y otra más a la Subestación Cárdenas II, (línea: 93970) ubicada en el municipio de Cárdenas, Tabasco. Cuenta además con una Subestación reductora de 115 KV, la cual es alimentada por las líneas (73910, 73900) que vienen de Malpaso y Mezcalapa respectivamente, para los servicios propios y auxiliares de la planta.

Los Central cuenta Transformadores de Potencial para cada unidad y uno de reserva, instalados en la parte exterior frontal de Casa de Maquina. Estos Transformadores reciben el potencial de 13.8 Kv por el lado de baja tensión a través del bus de fase aislada y elevan el voltaje a 230 Kv por el lado de alta tensión energizando la subestación elevadora mediante cable aéreo.

#### **4.6 EMBALSE**

Está formado por una Presa de enrocamiento, con corazón impermeable de 53.00 metros de altura, permitiendo un almacenamiento a los niveles: Máximo 95.50 m.s.n.m. conocido como **N.A.M.E.** (Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias) y mínimo 85.00 m.s.n.m. conocido como **N.A.Min.O.** (Nivel de Aguas Mínimas de Operación) teniendo como **N.A.M.O.** (Nivel de Aguas Máximas de Operación) el nivel 87.40 m.s.n.m. dentro de los tratamientos que se le dieron a la cortina para asegurar su impermeabilización, podemos destacar, la compactación dinámica. Este método se realizó por primera vez en el país, en el caso de esta obra se utilizó una masa de 37.0 toneladas que era levantada a una altura de 27.0 metros por medio de un trípode, para después dejarla caer hasta completar 20 golpes, con lo que se asegura la compactación de la zona, este trabajo se efectuó formando cuadrículas de 20.0 metros con una cuadrícula intermedia compactada con un peso de 15.0 toneladas levantada por una grúa y utilizando el mismo procedimiento que en la primera fase, para mejoramiento de la cortina.

#### **4.7 OBRA DE EXCEDENCIAS**

**El Vertedor de Demasías** o Obra de Excedencias de la Central Hidroeléctrica se encuentra localizado en la margen derecha del Río Grijalva, a la Elev. 73.50 m.s.n.m. a cielo abierto, cuenta con 8 compuertas radiales para regulación, cuyo labio superior se encuentra en la Elev. 91.13 m.s.n.m. (Siendo este nivel tomado como **N.A.M.E.**) sus estructuras son: Canal de Llamada, zona de estructuras y Canal de Descargas. La Obra de Desvío tiene un ancho de 45 metros en el Canal de Llamada reduciéndose a 35 metros por una transición en la zona de estructuras y una longitud de 827 metros. La capacidad del Vertedor está aprovechada para controlar y regular la descarga de un gasto de 18,700 metros cúbicos/segundo. La función de este vertedor es la de controlar la descarga de los volúmenes de agua que se consideren excedentes de la capacidad útil en el Vaso almacenador.

#### **4.8 OBRA DE DESFOGUE**

Es por donde el agua turbinada se reintegra al Río por un canal excavado a cielo abierto que parte de la Elevación 30.70 y mediante una rampa de 66.00 metros, hasta la Elevación de 49.00 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar) misma que se mantiene en una longitud de 346 metros hasta el lecho del Río. El Desfogue de cada Unidad tiene dos tipos de secciones. La primera sección es un túnel de forma abocinada, con una longitud aproximada de 18.60 metros y un ancho de 17.60 metros; tiene una pila central de 2.0 metros de espesor y a la salida del abocinamiento tiene instalada dos compuertas respectivamente en cada Unidad. La segunda sección es en forma de canal, con una longitud aproximada de 429 metros y un ancho de 102 metros, con taludes recubiertos con concreto y bermas a la Elev. 55.00 y 65.00 m.s.n.m. para estabilizar el talud izquierdo del canal de desfogue, y en el talud derecho a la Elev. 59.50 m.s.n.m. el volumen de concreto es de 43,600 metros cúbicos. El nivel medio de Desfogue para 4 unidades es de 54.00 m.s.n.m. y el nivel medio de desfogue para una unidad es de 52.00 m.s.n.m.

#### **4.9 RETEN DE CONTENCIÓN OBRA DE TOMA**

Consiste en una estructura flotante sobre el embalse, localizado en la entrada del canal de llamada de Obra de Toma; formada por pares de tambos vacíos cerrados herméticamente para evitar su hundimiento, sujetos a tres líneas de cables acero de 1/2" mismas que están enclavados en sus extremos en atraques de concreto, y a lo largo del mismo se tensan con cables de acero fijados en muertos de concretos en el fondo del agua, complementándose dicha estructura con malla ciclón de 2 metros de ancho para evitar el paso de la basura y palizada al interior de Obra de Toma.

#### **4.10 COMPUERTAS DE OBRA DE TOMA**

El mecanismo de Obra de Toma, tiene la finalidad de permitir u obstruir el flujo de agua hacia la turbina, ya sea dentro de procedimientos de operación, en caso de fallas que requieran el cierre de compuertas en

emergencia y en caso de mantenimientos programados y no programados ya sea a la Turbina o los propios mecanismos de Obra de Toma.

Los órganos de seguridad de la Obra de Toma son las compuertas rodantes de cierre rápido, operadas por vástagos y servomotores hidráulicos. Cada una de las cuatro turbinas de la Central tiene su condición de Toma bipartida y es protegida por dos compuertas (Compuerta de Servicio), normalmente abiertas en posición de espera, disponibles para cerrar por gravedad en agua muerta o bajo cualquier condición de flujo previsto. Aguas arriba de las compuertas de servicio, se pueden bajar las compuertas de protección y mantenimiento (Compuertas Auxiliares) operadas por una grúa pórtico especial.

---

## **CAPITULO 5. DEFINICIONES**

### **5.1 CANAL AUTOMÁTICO**

Lazo de control asociado con la regulación de tensión en terminales del generador.

### **5.2 CANAL MANUAL**

Lazo de control asociado con la regulación de la corriente de campo.

### **5.3 CIRCUITO DE DESCARGA**

Arreglo o circuito conformado por dispositivos que permiten insertar una resistencia de descarga en las terminales del devanado de campo del generador, durante la secuencia de desexcitación de forma coordinada con la apertura del interruptor de campo.

### **5.4 CIRCUITO DE EXCITACIÓN INICIAL**

Circuito conformado por los dispositivos que permiten la iniciación de la excitación del generador a través de fuentes externas de alimentación.

### **5.5 CONVERTIDOR DE TIRISTORES**

Banco de rectificación trifásico de onda completa constituido por dos o más rectificadores conectados en paralelo, cada rectificador debe estar confirmado por seis ramas de rectificadores controlados de silicio (Tiristores o SCR's) para permitir la operación como rectificador inversor.

## **5.6 CORRIENTE DE CAMPO NOMINAL ( $I_{fn}$ )**

Corriente en el devanado de campo requerida por el generador para operar a velocidad, tensión, corriente y factor de potencia nominal.

La corriente nominal de campo antes mencionada es de 1165 A.

## **5.7 CORRIENTE DE CAMPO NOMINAL SOBRE LA LÍNEA DE ENTREHIERRO ( $I_{fg}$ )**

Corriente de campo que teóricamente debe ser requerida para producir la tensión nominal en terminales de generador bajo la relación determinada por la línea característica de entrehierro.

## **5.8 ETAPA DE POTENCIA**

Es el equipo que suministra la corriente de campo para la excitación de la máquina síncrona (generador). La cual se compone por: el transformador de excitación, banco de rectificación, barras y/o buses de potencia de C.D. y C.A. y elementos de seccionamiento.

## **5.9 FORMATO COMTRADE**

Formato común para intercambio de datos de fenómenos transitorios en sistemas de potencia.

## **5.10 GENERADOR CON CARGA**

Condición operativa del generador cuando está conectado a un sistema eléctrico de potencia y está entregando potencia activa y/o reactiva de potencia.

### **5.11 GENERADOR EN VACIO**

Condición operativa del generador cuando está operando con tensión nominal en terminales de generador y se encuentra desconectado del sistema eléctrico de potencia, rodando a velocidad nominal.

### **5.12 INTERRUPTOR DE CAMPO**

Es el equipo que tiene la función de conexión y desconexión entre la salida en corriente directa de la etapa de potencia del sistema de excitación y el devanado de campo del generador, así como la inserción y extracción del circuito de descarga del devanado de campo del generador.

### **5.13 FORMATO IRIG-B (INTER-RANGE INSTRUMENTATION GROUP-FORMAT B)**

Designación del estándar que define las características de codificación de referencia de tiempo.

### **5.14 PANEL DE ALARMAS Y SEÑALIZACIÓN**

Es el dispositivo que contiene la señalización e indicación del estado operativo del sistema de excitación.

### **5.15 PROTECCIONES**

Son los dispositivos que detectan en el sistema excitación la presencia de condiciones anormales, operación incorrecta y/o fallas e inician secuencias de conmutación de canal de regulación, desconexión y/o alarma.

### **5.16 VALOR POR UNIDAD (pu)**

Valor por unidad correspondiente a valores nominales, para tensión de campo valor correspondiente a  $V_{fg}$  y para corriente de campo valor correspondiente a  $I_{fg}$ .

### **5.17 REGISTROS DE EVENTOS**

Función de almacenamiento con etiquetado de fecha y hora de los cambios de estado de condiciones lógicas internas y externas del sistema de excitación asociada con accionamiento de protecciones, limitadores y secuencias de excitación y paro.

### **5.18 REGISTROS DE TRANSITORIOS**

Función de almacenamiento con etiquetado de fecha y hora de formas de onda de señales analógicas internas y externas del sistema de excitación asociado con tensiones y corrientes de campo así como tensiones y corriente del generador, señales de control y condiciones de estado lógico del sistema de excitación.

### **5.19 REGULADOR DE CORRIENTE DE CAMPO**

Es un sistema de control automático cuya función es la de mantener la corriente en el devanado de campo del generador a un valor definido por un elemento de referencia.

### **5.20 REGULADOR DE TENSIÓN EN TERMINALES DEL GENERADOR**

Es un sistema de control automático cuya función es la de mantener la tensión en las terminales del generador a un valor definido por un elemento de referencia.

### **5.21 SISTEMA DE EXCITACIÓN**

Sistema que incluye componentes de control y potencia cuya función es la de proporcionar la corriente de campo requerida por el generador para mantener la tensión en sus terminales bajo cualquier condición de operación dentro de la característica de capacidad del generador, el subsistema de control debe operar bajo el modo de operación de regulación de tensión y regulación de corriente de campo además debe contener funciones de protección, control lógico, comunicación, monitoreo y registro.

### **5.22 SUPRESOR DE SOBRETENSIONES (Crow Bar)**

Arreglo o circuito conformado por un elemento estático de inserción controlada (Tiristor), que permite el drenado de la energía asociada con transitorios de sobretensión en el devanado de campo, a través de una resistencia no lineal tipo varistor.

### **5.23 TENSIÓN DE CAMPO NOMINAL ( $V_{fn}$ )**

Tensión en terminales del devanado de campo requerida para producir la corriente de campo nominal con la temperatura en el devanado de campo estabilizada a carga nominal del generador a la temperatura máxima permisible del medio refrigerante del generador.

### **5.24 TENSIÓN DE CAMPO SOBRE LA LÍNEA DE ENTREHIERRO**

Tensión de corriente requerida para producir en el campo una corriente igual a  $I_{fg}$  considerando una resistencia en el devanado de campo igual a  $V_{fn}/I_{fn}$ , el valor de  $V_{fg}$  determina el valor base de corriente de campo ( $1pu$   $V_f=V_{fg}$ ).

### **5.25 TENSIÓN DE TECHO ( $V_t$ )**

Son los valores absolutos máximos en pu de la tensión de campo en c.d. positiva o negativa que el sistema de excitación puede suministrar en sus terminales bajo condiciones de generador en vacío.

### **5.26 TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF)**

Es la razón del tiempo total del periodo entre el número de fallas en el mismo, para un tiempo dado.

### **5.27 TIEMPO MEDIO PARA REPARACIÓN (MTBR)**

Es la razón del tiempo total gastado en mantenimiento correctivo, entre el tiempo en el cual no se realiza otro mantenimiento correctivo.

### **5.28 TIEMPO MEDIO ENTRE REPARACIONES (MTBR)**

Es el tiempo promedio requerido para realizar el mantenimiento correctivo.

### **5.29 TIRISTOR**

Rectificador controlado de silicio mejor conocido por sus siglas en inglés como SCR.

### **5.30 TOMACORRIENTE**

Terminal de conexión de corriente alterna para alimentación de equipo auxiliar de prueba y mantenimiento.

### **5.31 TRANSFORMADOR DE EXCITACIÓN**

Transformador cuya función es la de proporcionar energía a la etapa de potencia y sistemas auxiliares del sistema de excitación.

## CAPITULO 6. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 6.1 SISTEMA DE EXCITACIÓN ESTÁTICO

En una maquina generadora de corriente alterna tenemos que su funcionamiento consiste básicamente en la interacción de dos devanados, uno llamado devanado del estator o devanado de armadura y otro llamado devanado de rotor o devanado de campo. En la Central Peñitas, las maquinas tienen una capacidad de 105 MVA a 13.8 KV por lo que el devanado del estator maneja 4.81 KA y 60 Hz. cuando la maquina se encuentra rodando a 112.5 r. p. m. En el rotor tenemos otro devanado llamado devanado de campo el cual maneja hasta 1165 Amperes de corriente directa.

De todo lo anterior tenemos que la corriente en el devanado del estator se logra por la inducción del campo magnético generado por la corriente del devanado de campo cuando el rotor gira y las líneas de campo magnético cortan los conductores del devanado del estator, de lo anterior tenemos que el voltaje y la corriente alterna en las terminales del estator dependen directamente de la corriente directa en el devanado del rotor o devanado de campo cuando la velocidad de este se mantiene constante.

Las Unidades Generadoras ASEA instaladas en la Central Peñitas, están diseñadas para operar con un Sistema de Excitación basado en un arreglo de control de corriente de campo controlado por tiristores del tipo, denominado FMTB el cual provee de un sistema completo para el control, supervisión y regulación de la excitación de la Unidad Generadora.

#### 6.1.1 REGULADOR DE VOLTAJE ANALÓGICO ASEA TIPO “FREA”

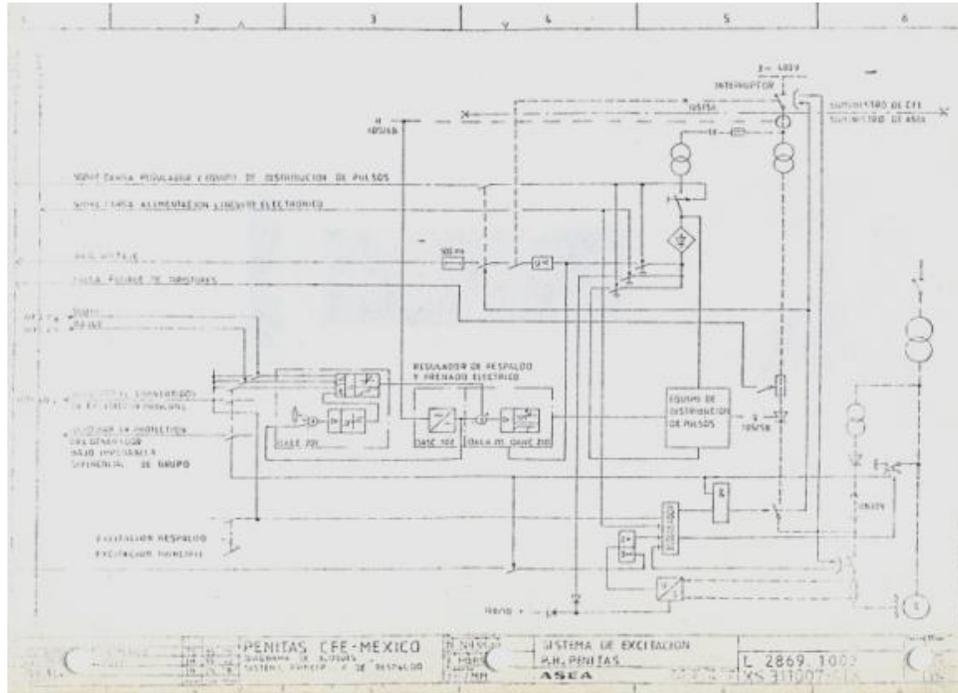
✓ **Parte automática:**

- Regulador automático de voltaje (AVR).

✓ **Parte manual:**

- Regulador de corriente de campo (FCR).

**6.1.1.1 DIAGRAMA A BLOQUES**



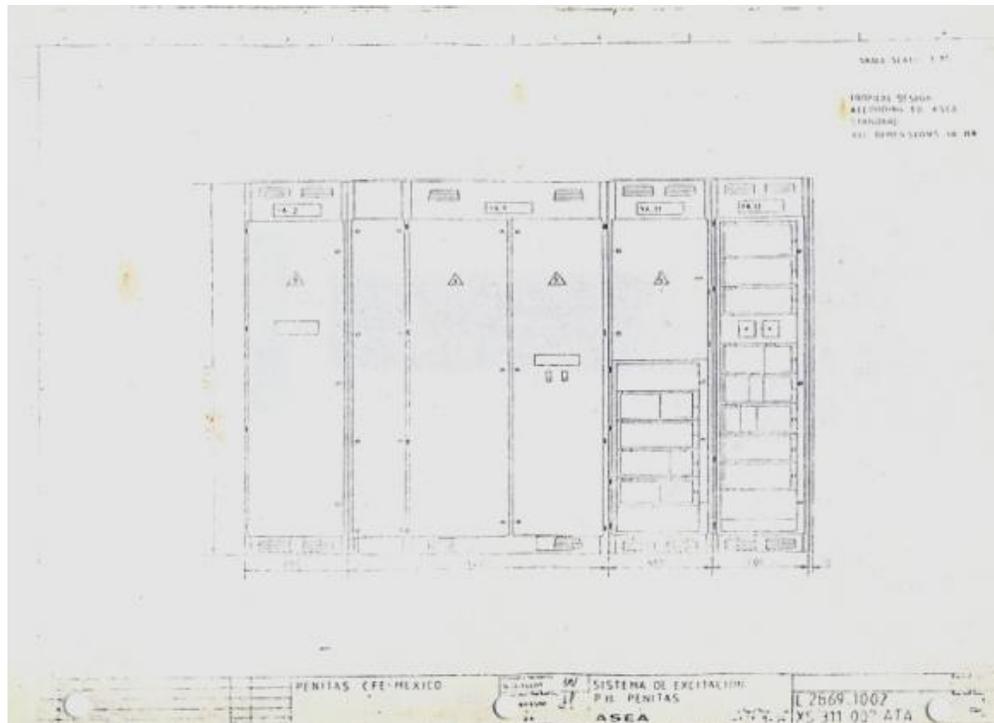
**Fig.8** Diagrama a bloques

**6.1.1.2 VISTA FRONTAL**



26-Dic-09 4:07 pm

**Fig.9** Gabinetes Frontales

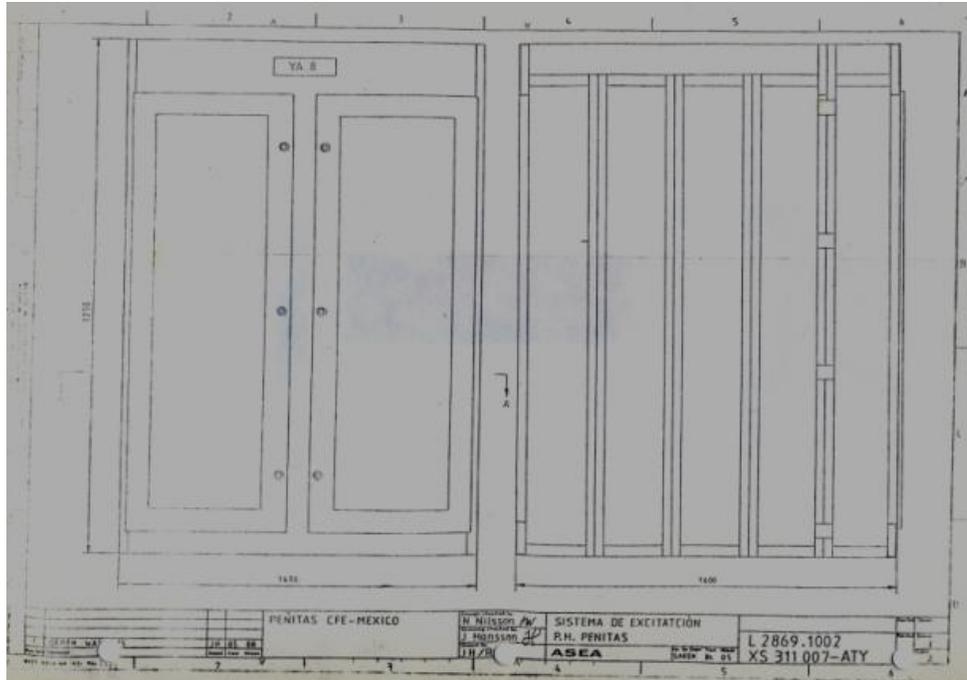


**Fig.10** Gabinetes Frontales

### 6.1.1.3 VISTA TRASERA



**Fig.11** Gabinetes Traseros



**Fig.12** Gabinetes Traseros

#### **6.1.1.4 REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE (AVR)**

✓ **Unidad Básica:**

Ejecuta funciones primarias del AVR, las cuales son:

- Mantener el voltaje constante.
- Distribuir apropiadamente la carga reactiva entre las diferentes maquinas síncronas trabajando en paralelo.
- Mantener el estado estable durante condiciones transitorias de la red.

Los limitadores intervienen en el sistema de regulación para evitar que el generador sea sobrecargado reactivamente.

Los limitadores intervienen en el AVR através de circuitos interruptivos.

Cuando un limitador interviene, el control de voltaje deja de funcionar completamente, en su lugar se efectúa una regulación de la cantidad limitada.

✓ **Limitador de Corriente de Campo:**

- Limitador de corriente de campo de operación retrasada:
  - Previene que el generador opere con corriente de campo excesiva (en caso de existir una caída de voltaje en la red).
  - Permite que el AVR incremente la excitación de la maquina tan pronto como sea posible para fallas temporales en la red para mantener constante el voltaje y mantener la sincronización.
  
- Limitador instantáneo de la corriente de campo.
  - Previene sobrecargas de corto tiempo en el convertidor a tiristores (tiene una constante de tiempo térmica extremadamente pequeña).

La corriente de campo se mide en el dispositivo para medición de la corriente (común en ambos limitadores).

✓ **Estabilizador de Potencia:**

Estudios han demostrado que el amortiguamiento electromecánico de una maquina síncrona se puede mejorar gradualmente por medio de la inyección de señales al regulador de voltaje de la maquina, las cuales son proporcionales al error en la velocidad del rotor y a la aceleración del rotor.

Para obtener estas señales se utiliza el sistema estabilizador de potencia.

El sistema de excitación puede variar la corriente de campo durante una oscilación del sistema, produciendo una influencia transitoria en el par electromecánico de la maquina, contribuyendo a la aceleración o desaceleración de la maquina.

De esta forma, el amortiguamiento de la maquina mejora bastante por medio de la variación de la corriente de campo en relación a las oscilaciones del rotor.

El método para obtener señales apropiadas de la oscilación del rotor es utilizar la potencia activa generada por la maquina como una señal básica.

Esto se basa en el hecho de que un cambio en la potencia activa es proporcional a la aceleración o desaceleración de la maquina considerando que el par de la turbina es constante.

✓ **Compensador de Frecuencia:**

Reduce el voltaje cuando la frecuencia se encuentra por debajo de su valor nominal protegiendo contra sobreflujos al equipo conectado al voltaje de la maquina.

✓ **Limitador de Baja Excitación:**

Previene la perdida de sincronización, dado que su operación es instantánea.

En caso de que la unidad básica del AVR reduzca la corriente de campo a un valor más allá del aceptado. Para evitar perdida de sincronismo, el limitador de baja excitación impide una reducción excesiva de la corriente de campo, permitiendo que la unidad se mantenga sincronizada.

El limitador previene que la maquina sea disparada por la pérdida de la protección de la excitación.

✓ **Seguidor de Voltaje de Línea:**

La conexión de una maquina síncrona a la red debe ser hecha sin perturbar la red u originar corrientes elevadas que por su valor lleguen a ser peligrosas.

El método para ajuste de referencia en al AVR es el QALE201, el cual está equipado por un seguidor analógico, que se encarga de comparar el voltaje de línea con el voltaje del generador y ajusta el voltaje del generador al voltaje de la línea, cuando el interruptor está abierto.

Una conexión, la cual es libre de dichas interferencias es llamada sincronización.

✓ **Unidad para Descarga de la Potencia Activa:**

Elimina la potencia reactiva del generador durante la secuencia de paro, antes de la desconexión del generador de la red, evitando la producción de disturbios de potencia reactiva durante un paro normal.

La eliminación de la potencia se logra por medio de un detector de nivel QAPL210 el cual compara la potencia reactiva producida por el generador con un valor de referencia 0.

El detector de nivel consta de dos canales: uno es utilizado para la potencia reactiva producida y el otro para la potencia reactiva consumida. Cuando la potencia reactiva del generador es diferente de 0 uno de los canales es activado.

La potencia reactiva del generador se controla por medio de señales de incremento/reducción enviadas al dispositivo para ajuste del volteje de referencia.

Cuando la potencia reactiva es alrededor de 0, ninguno de los canales esta activado, queriendo decir que la señal de carga reactiva es 0 esto se logra cuando los relevadores auxiliares se encuentran desenergizados.

### **6.1.1.5 REGULADOR DE CORRIENTE DE CAMPO (FCR)**

✓ **Control manual:**

El regulador de la corriente de campo se diseña para sustituir al AVR completamente y es utilizado como un sistema de reserva.

El control, continuo compara las señales de salida del regulador de voltaje y de la corriente de campo del regulador e influye las señales de salida de la corriente de campo del regulador o el respectivo voltaje del regulador de tal manera que las señales de salida desde el regulador son iguales.

Pero la transición de la corriente de campo del regulador y el regulador de voltaje respectivamente siempre toma lugar sin considerar la variación de la corriente de campo del generador y la potencia reactiva sin previo balance manual.

### **6.1.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS REQUERIDAS DEL NUEVO REGULADOR DE VOLTAJE**

El sistema de excitación debe estar conformado de una etapa de potencia en base a un transformador de excitación y un convertidor de tiristores así como una etapa de control en base a una o dos unidades de control de excitación (UCE) las cuales deben contener las funciones de regulación, compensación, limitación, protección, control lógico, registro de eventos y registros de transitorios, las UCE's deben estar construidas en base a tecnología digital microprocesada, el sistema de excitación debe proporcionar  $\pm 5$  pu de tensión de techo de acuerdo a la resistencia y temperaturas del devanado de campo que se especifican en las características particulares.

#### **6.1.2.1 UNIDADES DE CONTROL DE EXCITACIÓN (UCE)**

El sistema de excitación debe contener los componentes necesarios para poder operar en un arreglo redundante con dos UCE's o en un arreglo normal con una sola UCE.

##### **✓ Funciones de Control de las Turbinas de Control de Excitación:**

Cada unidad de control de excitación debe contener las siguientes características:

- a) Regulación de tensión en terminales del generador.
- b) Regulación de corriente de campo.
- c) Medición de variables del sistema de excitación y del generador síncrono.
- d) Compensación de reactivos.
- e) Seguidor automático-manual-automático.
- f) Seguidor UCE en servicio – UCE redundante.
- g) Limitación de mínima excitación.

- h) Limitación volts/Hz.
- i) Limitación por sobre excitación.
- j) Registro de eventos.
- k) Lógica de control.
- l) Alarmas.
- m) Protecciones.
- n) Acoplamiento y coordinación con la lógica de disparo del conjunto turbina-generador-transformador.
- o) Interface local de usuario para configuración completa de parámetros y lógica de disparos.
- p) Puertos de comunicación para conexión del equipo portátil para configuración, diagnóstico, mantenimiento, pruebas del sistema de excitación, extracción y análisis de registros de transitorios.

En cada UCE las funciones de regulación de tensión en terminales de generador y la función de regulación de corriente de campo deben ser independientes.

Cada unidad de control de excitación debe disponer de circuitos independientes para las entradas de retroalimentación de tensión en terminales del generador.

✓ **Registro de Eventos:**

Cada UCE debe contener capacidad para registro de eventos con etiquetado de hora y fecha para almacenar cambios de estado lógico de todas las funciones internas de control así como el accionamiento de los elementos de seccionamiento del sistema de excitación, así mismo debe registrar como eventos los accesos vía interface local de acceso, los accesos vía puerto de comunicación así como los cambios de configuración.

✓ **Índices de Respuesta:**

El sistema de excitación debe poseer la capacidad para presentar las siguientes características mínimas de respuesta:

- a) Sobrepasso de tensión de generador menor del 15% del escalón del 0.1 pu aplicado en vacío sin llegar a las tensiones de techo.
- b) Tiempo de respuesta menor de 0.25 s.
- c) Tiempo de estabilización menor de 1 s.
- d) Coeficiente de amortiguamiento entre 0.5 y 1.

✓ **Estabilizador de Sistema de Potencia (PSS):**

La función de estabilización del sistema de potencia debe estar integrada de forma independiente para cada unidad de control de excitación ya sea integrada a la UCE o en módulos externos e independientes, esto es un PSS para cada unidad de control de sensores o transductores, se debe suministrar por el proveedor sensores y/o transductores independientes para cada PSS, cuando los PSS's estén contenidos en módulos externos, estos deben ser instalados en el mismo gabinete que contiene las unidades de control de excitación.

El PSS debe detectar condiciones de oscilación del sistema, manifestados en el generador a través de variaciones de potencia, velocidad o frecuencia, a partir de lo cual el PSS debe generar una señal de compensación e introducirla en el lazo de control para producir una respuesta amortiguada cuyo efecto mejore el proceso de estabilización del generador. La señal de entrada al estabilizador de potencia puede provenir de la velocidad del rotor (W), de la frecuencia (Hz) y/o de la potencia eléctrica (MW) del generador.

Estando en operación el estabilizador de potencia, este no debe tener acción durante la operación del variador de carga (65P), el compensador de frecuencia (FC), el control de grupo (Joint Control) y otras funciones de control que modifiquen la potencia de la unidad. EL PSS debe proveer acceso para la programación a todos los ajustes requeridos. Para fines de prueba se requiere un modo de diagnóstico en que se disponga de una

salida analógica con la indicación del accionamiento del PSS. Cuando el PSS se encuentre deshabilitado se debe generar una indicación luminosa en el tablero del regulador de tensión y la consola de control.

En el tablero del sistema de excitación y en la consola de control se debe poseer la función de habilitación - deshabilitación vía un mando manual disponible.

✓ **Referencia del Canal Automático (90D):**

Debe generar una señal de referencia en un intervalo continuo de la tensión nominal del generador entre el 90% y el 110% en operación en vacío, en operación con carga debe permitir operar en toda la curva de capacidad del generador, la velocidad de cambio de esta referencia debe permitir cubrir todo su intervalo de operación linealmente en aproximadamente 1 minuto.

Este dispositivo debe contar con señalización al panel de alarmas local y remoto cuando llegue a sus límites de operación máximo y mínimo. El accionamiento del 90D debe ser de forma local en el gabinete de las unidades de control de excitación y remoto en la consola de control de unidad. El 90D debe de ser del tipo estático, no se aceptan dispositivos motorizados.

✓ **Referencia del Canal Manual (70D):**

Debe generar una señal de referencia en un intervalo continuo de la tensión nominal del generador entre el 90% y 110% en operación en vacío y con carga del generador, la velocidad de cambio de esta referencia debe permitir cubrir todo su intervalo de operación linealmente en aproximadamente 1 minuto.

Este dispositivo debe contar con señalizaciones al panel de alarmas local y remoto cuando llegue a sus límites de operación máximo y mínimo. El accionamiento del 70D debe ser de forma local en el gabinete del regulador y remoto en la consola de control de unidad. El 70D debe ser del tipo estático, no se aceptan dispositivos motorizados.

✓ **Compensador de Reactivos:**

Debe ser ajustable para compensar cualquier valor entre -12%, +12% en pasos de 1% de la reactancia síncrona del generador ( $X_d$ ).

✓ **Limitador de Mínima Excitación o Limitador de Angulo Interno:**

En la región de subexcitación debe limitar el punto de operación del generador, debe permitir su ajuste para limitar la potencia reactiva de la unidad según el intervalo permitido por la curva de capacidad (capacibility curve) del generador.

El accionamiento de este limitador debe generar una señal de alarma la cual se debe instalar en los tableros del sistema de excitación, la consola de control y en el registrador de eventos.

✓ **Limitador de Máxima Corriente de Campo:**

En la región de sobreexcitación debe prevenir el sobrecalentamiento del devanado del rotor de acuerdo al intervalo de operación permitido por la curva característica de capacidad del generador.

El accionamiento de este limitador debe generar una señal de alarma la cual se debe instalar en los tableros del sistema de excitación, la consola de control y en el registrador de eventos.

✓ **Limitador de Volts/Hertz:**

Debe operar corrigiendo la tensión en terminales del generador para evitar que la relación:

$$(V_g/V_{gnom})/(F/F_{nom})$$

Entre la zona de daño por sobreexcitación del generador, los transformadores principal y de servicios.

El accionamiento de este limitador debe generar una señal de alarma la cual se debe instalar en los tableros del sistema de excitación, la consola de control y en el registrador de eventos.

✓ **Canal de Regulación de Corriente de Campo (Canal Manual):**

Cada unidad de control de excitación debe contener un modo de operación para regulación de corriente de campo, el cual opera tomando como referencia la señal generada por el dispositivo de referencia manual 70D.

✓ **Seguidores Automáticos:**

Las unidades de control de excitación (UCE) deben contar con seguidores automáticos de las señales de control entre los canales de regulación y las unidades de control de excitación de forma bidireccional para que en caso de transferencia del canal automático al canal manual, o viceversa y de la UCE principal a la UCE redundante o viceversa para que no se produzca perturbaciones en la tensión del generador.

En caso de transferencia por falla debe producirse una señal de alarma. Se debe contar con dos medidores de balance con cero central localizados uno en el gabinete del regulador de tensión y el otro en la consola de control de unidad los cuales deben indicar el balance de las señales de control de las UCE's.

✓ **Generadores y Amplificadores de Pulsos:**

Cada unidad de control de excitación debe poseer un generador y amplificador de pulsos de disparo independientes y los circuitos necesarios para accionar sobre el banco rectificador, las fuentes de alimentación de los generadores ya amplificadores de pulsos deben ser independiente, las señales de tensión por fase, del transformador de excitación para sincronización de pulsos deben ser acopladas con un transformador o medio de acoplamiento exclusivo para esta función y no derivar de esta señal para alimentación de fuentes para electrónica.

✓ **Autodiagnostico:**

Los UCE`s deben contar con una función de autodiagnostico la cual permite la detección de fallas internas en el sistema de control, esta función debe operar de forma continua y generar un historial de los eventos detectados.

Esta función debe permitir su consulta a través de los puertos de comunicación utilizando el software de diagnostico y a través del panel de indicación de estado operativo.

✓ **Lógica de Transferencia entre las Unidades de Control de Excitación:**

La lógica de transferencia debe operar dando prioridad a las funciones de regulación de tensión ante falla de los transformadores de potencial asociados con la retroalimentación de tensión en terminales de generador o ante falla total de la UCE, las funciones de regulación de corriente de campo solo se deben activar ante falla de las funciones de regulación de tensión disponibles en las dos UCE`s.

La lógica de transferencia debe operar en ambos sentidos, esto es si se ha transferido de la UCE 1 a la UCE 2 por falla en los fusibles de los transformadores de tensión y estos se han establecido, la UCE 2 debe de transferir bajo una condición de falla en su función de regulación de tensión a la UCE1.

La transferencia del sistema de excitación a un canal de regulación de corriente de campo solo debe ocurrir cuando hallan fallado los canales de regulación de tensión en las dos UCE`s así mismo cuando se haya restablecido la funcionalidad de un canal automático en una UCE el sistema debe dar indicación de esta condición, la transferencia del canal de regulación de corriente de campo al canal de regulación de tensión se realizara de forma manual.

✓ **Proceso de Desexcitación:**

Para la secuencia de paro normal del sistema de excitación se requiere del accionamiento de los puentes rectificadores operando en modo inversor para descargar el devanado de campo de forma previa a la apertura del interruptor de campo.

Para la secuencia de paro de emergencia el interruptor de campo debe ser capaz de seccionar la conexión del devanado de campo de forma inmediata en coordinación con el accionamiento de los dispositivos de descarga.

✓ **Mandos de Control, Señalización y Alarmas:**

Los seleccionadores de los mandos de control (transferencia entre canales de operación, apertura y cierre de interruptor de campo, subir y bajar excitación) así como los indicadores de estado requeridos por el sistema de excitación, debe ser suministrados para ser instalados en los tableros de control.

Debe contar con los dispositivos necesarios para la señalización visual de alarmas y señalizaciones de condiciones operativas en los tableros de los dispositivos de potencia (puentes rectificadores e interruptores de campo) en el tablero de las unidades de control de excitación y en consola de control del generador.

✓ **Interface de Entradas Analógicas:**

Para esta interface proveer de forma adicional a las entradas requeridas por el sistema dos entradas analógicas conectadas al punto suma del detector de error del regulador de tensión del generador, estas entradas son requeridas para:

- a) Prueba de escalón y perturbación.
- b) Futura instalación o reemplazo de PSS.

La conexión de entrada de estas señales debe estar disponible en tablillas de conexión.

Los intervalos y escalamientos de estas señales de entrada se deben indicar en las características particulares.

✓ **Circuito para Prueba de Escalón y Perturbación:**

En el panel de indicación local se debe disponer de un dispositivo para producir las señales analógicas de prueba de escalón y perturbación.

✓ **Interfaz de Salida Analógicas:**

Cada unidad de control de excitación debe poseer una interface de salida analógica para al menos las siguientes señales internas:

- a) Potencia activa.
- b) Potencia reactiva.
- c) Tensión de generador.
- d) Corriente de generador.
- e) Tensión de campo.
- f) Corriente de campo.
- g) Tensión de control a pulsos de disparo.
- h) Corriente por puente rectificador.
- i) Entrada al PSS.
- j) Salida del PSS.
- k) Señal de referencia canal manual.

Estas señales deben estar disponibles en tablillas de conexión.

✓ **Interface de Salida de Condiciones de Estado Lógico:**

Cada unidad de control de excitación debe poseer una interface de salida con contactos secos para las condiciones de estado lógico de al menos las siguientes señales:

- a) Interruptor principal de generador.
- b) Interruptor de campo.
- c) Interruptor de excitación inicial.
- d) Indicación de PSS en servicio.
- e) Indicación de canal automático – manual en servicio.
- f) Operación limitador V/Hz.
- g) Operación limitador mínima excitación.
- h) Operación limitador de máxima excitación.
- i) Operación de disparo por falla del sistema de excitación.
- j) Indicación límite superior – inferior referencia canal automático.
- k) Sobretensión en devanado de campo (operación del crow - bar).
- l) Indicación límite superior – inferior referencia canal manual.
- m) Indicación unidad de control de excitación en servicio (2).

Los contactos de salida deben soportar 5 A C.D. y 30 A C.A. durante un segundo. Su capacidad interruptiva debe ser al menos 10 VA resistivos y 60 VA inductivos a la tensión indicada en las características particulares.

✓ **Entradas Digitales:**

Cada unidad de control de excitación debe poseer una interface optoacoplada de entrada de mandos con conexión de tablilla para al menos las siguientes funciones:

- a) Mando remoto habilitación – deshabilitación PSS.

- b) Los requeridos por el diseño del sistema.

Las características eléctricas que representan las condiciones lógicas para cada mando se indican en las características particulares.

✓ **Bloque de Pruebas:**

En el gabinete que contiene las UCE`s se debe contar con un bloque de pruebas en uno de los gabinetes del sistema de excitación el cual permita la inserción de equipo de prueba sin interferir con el accionamiento normal del sistema de excitación, se deben incluir los accesorios requeridos para el tipo de bloques de pruebas utilizado, las señales que deben estar disponibles en este bloque son:

- a) Tensión del generador fase A tomando del secundario del transformador de potencia de generador.
- b) Tensión del generador fase B tomado del secundario del transformador de potencial de generador.
- c) Tensión del generador fase C tomado del secundario del transformador de potencia de generador.
- d) Corriente del generador fase A tomado del secundario de corriente de generador, el bloque debe contar con mecanismo de cortocircuito de esta corriente.
- e) Corriente del generador fase B tomado del secundario del transformador de corriente de generador, el bloque debe contar con mecanismo de cortocircuito de esta corriente.
- f) Corriente del generador fase C tomado del secundario del transformador de corriente de generador, el bloque debe contar con mecanismo de cortocircuitado de esta corriente.
- g) Corriente del transformador de excitación fase A tomado del secundario del transformador de corriente, el bloque debe contar con mecanismo de cortocircuito de esta corriente.

### 6.1.3 REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE DIGITAL (RAV) CON SECUENCIADOR INTEGRADO TIPO "GMR3" ANDRITZ HYDRO

#### 6.1.3.1 DIAGRAMA A BLOQUES

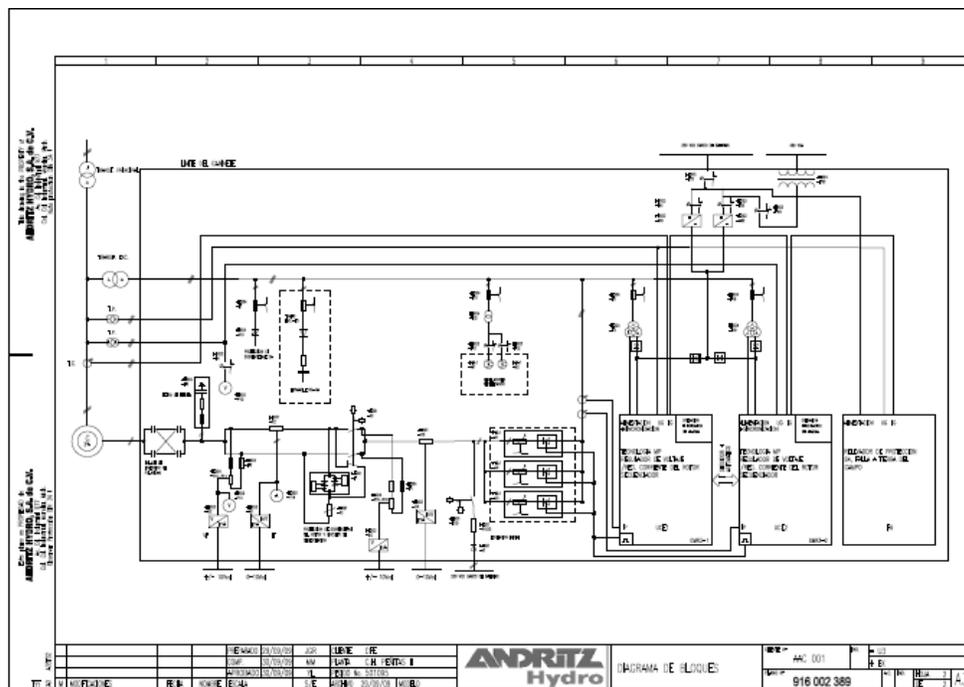
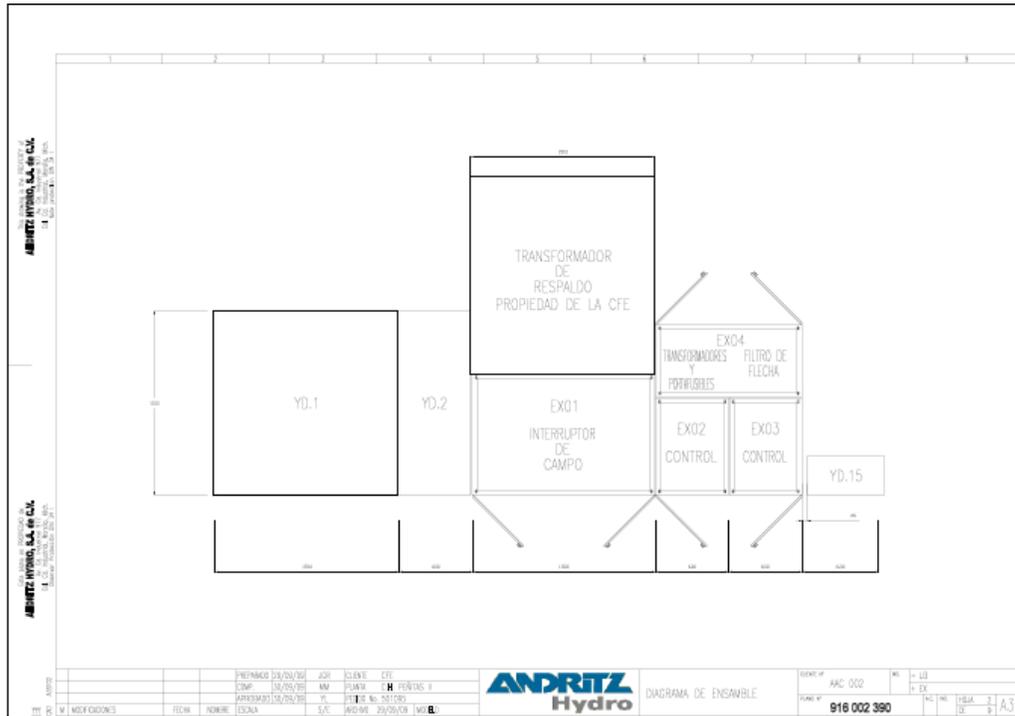


Fig.13 Diagrama a bloques

**6.1.3.2 DIAGRAMA DE ENSAMBLÉ**

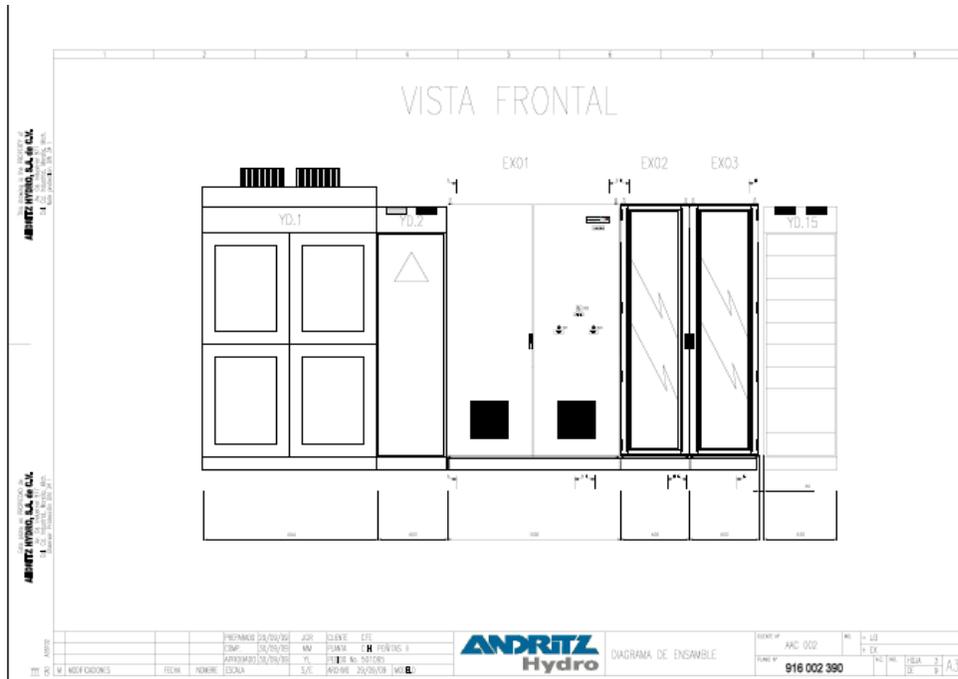


**Fig.14** Diagrama de Ensamble

**6.1.3.3 VISTA FRONTAL**

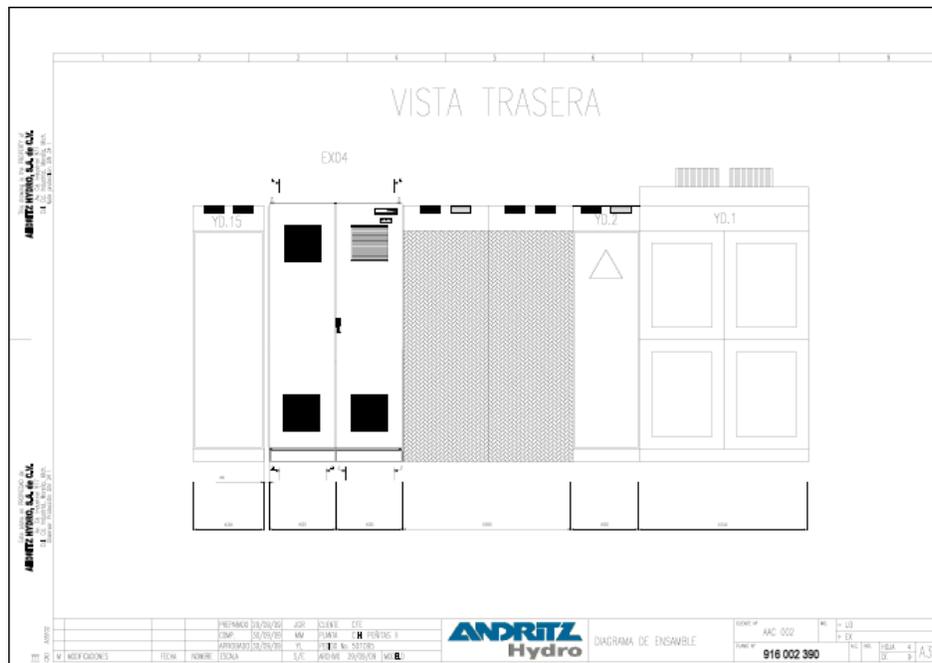


**Fig.15** Vista frontal



**Fig.16** Vista Frontal

### 6.1.3.4 VISTA TRASERA

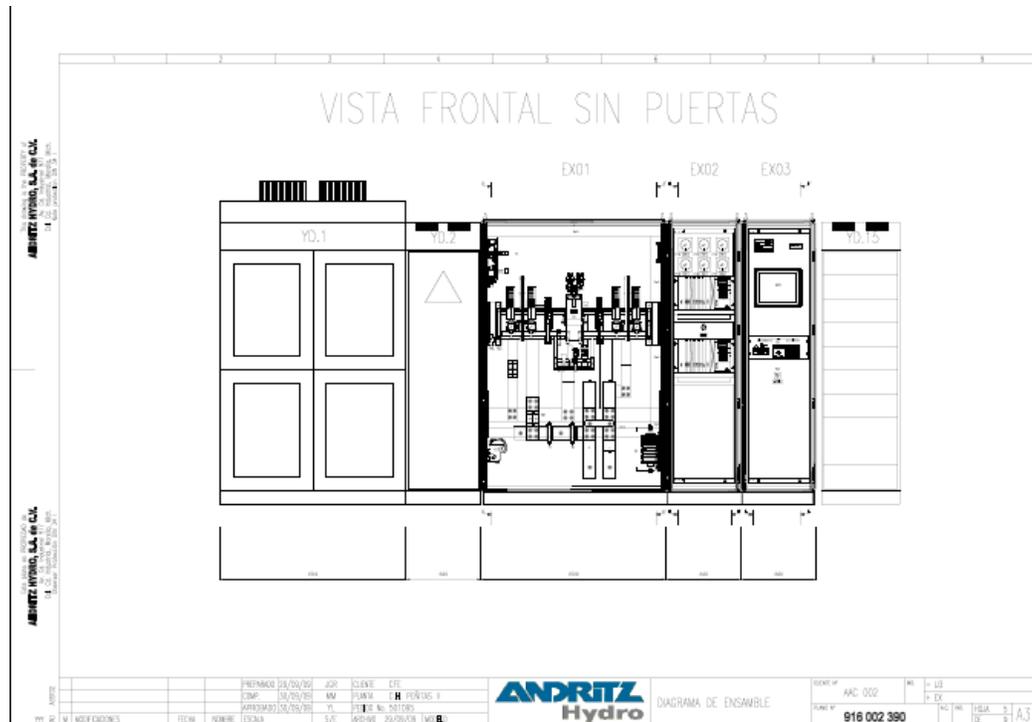


**Fig.17** Vista Trasera

**6.1.3.5 VISTA FRONTAL SIN PUERTAS**



**Fig.18** Vista frontal sin puertas



**Fig.19** Vista Frontal Sin Puertas

**6.1.3.6 VISTA TRASERA SIN PUERTAS**



**Fig.20** Vista Trasera Sin Puertas

**6.1.3.7 REGULADOR DE VOLTAJE**

El regulador y la unidad de control de compuerta GMR3, es un regulador de voltaje multiprocesado con amplio rango de frecuencia para máquinas síncronas monofásicas o trifásicas. Este incluye un regulador de voltaje completo con limitadores y reguladores adicionales, el circuito de disparo para operación monofásica o trifásica y el control lógico necesario para la adecuada operación del sistema de excitación.

Las principales características del sistema son:

- Regulación de voltaje (maestro, operación automática) a un valor ajustable de voltaje, usando un lazo de corriente del rotor (esclavo).
- Regulación de corriente del rotor como operación manual.
- Transferencia automática o manual suave entre modos de operación automático y manual.
- Compensación de carga activa y reactiva.

- Limitador de máxima corriente del rotor (sin retraso), para limitar la máxima corriente de techo de corto tiempo.
- Limitador de máxima corriente del rotor con retardo de tiempo dependiente de la corriente (característica de tiempo inverso), para limitar la máxima corriente continua admisible del rotor.
- Limitador de mínima corriente del rotor (sin retraso), para prevenir la operación por debajo de la corriente mínima admisible.
- Interruptor de prueba en la tarjeta de control de compuerta para pruebas de lazo abierto del circuito de regulación.

#### ✓ **Limitadores y Funciones Adicionales**

Las siguientes funciones están instaladas en el microprocesador:

- Limitador de corriente del estator con característica de tiempo inverso, para cargas con factor de potencia atrasado o adelantado.
- Limitador de Volts/Hertz (sobre flujo).
- Limitador de subexcitación (ángulo de carga), sin retraso.
- Estabilizador del sistema de potencia.
- Cálculo de la temperatura del rotor.

#### **6.1.3.8 REGULACIÓN**

El regulador consiste de dos unidades idénticas, canal A y canal B, cada canal incluye un regulador y control de compuerta GMR3, el cual es un regulador de voltaje para máquinas síncronas de tamaño medio y grande. Este contiene las fuentes de alimentación, una sección de regulación controlada por microprocesadores y el control de compuerta para un máximo de 8 puentes rectificadores de tiristores. El regulador permite la operación automática (regulación de voltaje) y la operación manual (regulación de corriente de campo), bajo condiciones normales la operación automática controla la excitación y regulación de voltaje del generador.

Cada canal del regulador está equipado con las siguientes tarjetas de circuito impreso (PCB):

- 1 NGT2 Fuente de Alimentación
- 1 MRB3 unidad procesadora principal
- 1 LCOM Tarjeta de Comunicación
- 1 PGS3 Tarjeta de Procesamiento de Señales
- 2 AA8 Tarjeta de Salidas Analógicas
- 2 DE32 Tarjeta de Entradas Digitales
- 2 DA32 Tarjeta de Salidas Digitales
- 1 ELTERM1 Terminal de Operación Local

✓ **MRB Tarjeta Procesadora Principal**

Este módulo contiene el procesador, la memoria, el interruptor lógico y el adaptador serial para la conexión a un dispositivo de servicio, el programa del regulador está almacenado en EPROM's y los parámetros ajustables en EEPROM.

✓ **PGS Tarjeta Procesadora de Señales y Generadora de Pulsos**

Esta unidad está equipada con tres procesadores de señal (A, B, C).

• **Subprocesador A – Control de Compuerta**

El control de compuerta proporciona los pulsos de disparo de los seis tiristores de cada puente rectificador trifásico (L1+, L2+, L3+, L1-, L2-, L3-), la periodicidad de los pulsos con respecto al voltaje de CA del puente rectificador es controlado por el ángulo de disparo  $\alpha$ , el valor  $\alpha$  es determinado por el procesador B y su rango de control va desde 0° hasta 180°. Sin embargo, existen unos valores máximo y mínimo para el ángulo de disparo  $\alpha$ , por lo que el rango resultante cubre desde 1° hasta 150°.

- **Subprocesador B – Regulador de Corriente de Campo**

El subprocesador B incluye el lazo de regulación de corriente de campo, utilizado para operación manual, este lazo calcula el ángulo de disparo a y transmite su valor al subprocesador A.

- **Subprocesador C – Procesamiento de la Medición en Tiempo Real**

Se procesan a partir de las señales de entrada de voltaje y corriente (UGL1, UGL2, UGL3, IGL1, IGL2) del generador.

- ✓ **AA8 Tarjeta de Salida Analógicas**

Este módulo incluye 8 salidas analógicas (Y0 a Y7), a las cuales puede asignarse cualquier valor interno del regulador GMR3.

Las salidas son conectadas mediante un cable a la terminal de conexiones externa -X94, -X95, el rango de salida es 0 a 10 VCD y/o 0-20mA, la conexión a tierra es común para todas las señales.

Todas las salidas analógicas pueden ser monitoreadas desde la parte frontal de la tarjeta de salidas analógicas AA8.

- ✓ **DE32 Tarjeta de Entradas Digitales**

Este módulo contiene 32 entradas digitales y es usado para control del regulador, las entradas son conectadas mediante un cable a la terminal de conexiones externa, como entrada de voltaje se usa el voltaje de control de 24 VCD (21E).

El programa tiene acceso a las entradas mediante las variables E0 a E95.

- ✓ **DA32 Tarjeta de Salidas Digitales**

Este módulo contiene 32 relés de salida para señalización y control de dispositivos externos.

Las salidas son conectadas mediante un cable a la terminal de conexiones externa, como voltaje de operación se usa el voltaje de control de 24 VCD (21E).

El programa controla las salidas mediante las variables A0 a A63.

### ✓ **Elterm GMR Terminal de Operación**

La interface de usuario elterm GMR proporciona operación local fácil y rápida, indicación de las variables del generador y una extensa indicación de alarmas.

Las principales características de la interface elterm GMR son:

- Reporte en línea del estado del sistema.
- Teclado de membrana de 8 botones para una completa operación directa local.
- Menú guiado y funciones de mantenimiento.
- Los valores más importantes son mostrados en unidades físicas.
- Todos los valores reales son mostrados en p.u.
- Pueden verificarse o modificarse en línea más de 50 valores de referencia, de una forma fácil mediante menús.
- El control de acceso de dos niveles previene cambios de parámetros no autorizados.
- Sus 96 mensajes individuales de alarma proporcionan información precisa para la solución de problemas.
- Registro de las últimas 104 eventos de alarma en su secuencia de ocurrencia.
- Reporte automático de las funciones de auto supervisión en caso de falla del RAV, indicando el componente de software o hardware defectuoso.

### **6.1.3.9 PROGRAMA (SOFTWARE)**

El programa está dividido en software programable (regulador) y firmware (las modificaciones al software únicamente puede ser realizadas por el

personal de (VATECH), el software programable corre en la unidad procesadora principal MRB y el firmware incluye los programas de los subprocesadores (PGS) y el sistema operativo del procesador principal (MRB). Todos los programas son almacenados en EPROM's y los parámetros modificables en EEPROM's.

El sistema operativo es responsable de la conversión de entradas y salidas y de la coordinación del programa del regulador, este también cubre la comunicación del regulador usando el puerto serie de la tarjeta frontal y proporciona algunos auto-diagnósticos.

Los subprogramas de la tarjeta subprocesadora realizan el procesamiento y cálculo de los valores reales (procesador C), la regulación de corriente de campo (procesador B) y el cálculo de los pulsos de disparo para un puente de seis tiristores (procesador A).

Las siguientes funciones están implementadas en el programa del regulador:

- **Regulación de Voltaje:**

Controla el voltaje del generador de acuerdo con el valor de ajuste (modo automático). Actúa como maestro, usando el lazo de regulación de corriente de campo del subprocesador B como esclavo.

- **Regulación de Corriente de Campo:**

Controla la corriente de campo de acuerdo con el valor de ajuste (modo manual). Es posible realizar la transferencia entre automático y manual, debido a que los valores de ajuste son balanceados automáticamente.

- **Limitador de Corriente de Campo:**

El limitador de máxima corriente de campo (sin retraso) limita la máxima corriente de techo de corto tiempo admisible.

El limitador de máxima corriente de campo con retardo de tiempo dependiente de la corriente, limita la corriente continua admisible.

El limitador de mínima corriente de campo (sin retraso), previene la operación por debajo de la corriente mínima de campo permisible.

- **Caída de carga:**

Proporciona la característica de regulación de voltaje con componente de corriente activa y reactiva, esto permite la operación en paralelo de generadores.

- **Limitador de Corriente del Generador:**

Limita la corriente del estator a un valor admisible durante operación sobre-excitada y subexcitada del generador, este limitador opera después de un retraso de tiempo dependiente de la corriente.

- **Limitador de Baja excitación:**

Actúa sin retardo limitando el ángulo de carga (ángulo del rotor en grados eléctricos), previniendo inestabilidad del generador (deslizamiento de polos).

- **Limitador Volts/Hertz:**

Limita el flujo magnético del generador y/o del transformador principal de acuerdo con una característica voltaje/frecuencia ajustable.

- **Estabilizador del Sistema de Potencia:**

Amortigua las oscilaciones del rotor causadas por condiciones inestables de la red, usa la potencia activa como señal de entrada, la señal de salida es ajustable en magnitud y fase.

Algunas de las funciones del secuenciador lógico necesarias para la correcta operación del sistema de excitación están incluidas en una subrutina del programa (arranque, paro, excitación forzada, etc.).

### **6.1.3.10 SEGUIDOR AUTOMÁTICO Y TRANSFERENCIA ENTRE MODOS AUTOMÁTICO Y MANUAL**

La transferencia de regulador de voltaje (modo automático) a regulador de corriente del rotor (modo manual) puede hacerse manual o automáticamente.

La transferencia del modo manual al modo automático únicamente puede hacerse manualmente.

El seguidor automático permite una transferencia suave de un modo a otro sin requerir balanceo, en el caso de que durante operación manual (regulación de corriente del rotor) el punto de ajuste exceda el rango de ajuste del RAV, se bloquea la transferencia al modo automático.

#### **6.1.3.11 REGULADOR DE VOLTAJE (MODO DE OPERACIÓN AUTOMÁTICA)**

Regulación de voltaje del generador. En este modo de operación el voltaje del generador es regulado de acuerdo al valor de ajuste del voltaje del generador.

Si el sistema de excitación está listo para arrancar, este puede ser encendido. Las condiciones de arranque necesarias para operación automática pueden encontrarse en los diagramas lógicos, si estas condiciones son satisfechas la línea de estado indica **Listo** y puede iniciarse la secuencia de arranque de excitación presionando el botón **ON**.

Si el comando de arranque ha sido aceptado, la línea de estado indicará de forma intermitente **Arrancar**, el voltaje del generador se incrementará automáticamente hasta el 100%. Los pasos detallados de la secuencia de arranque pueden verse en los diagramas lógicos, cada uno de los pasos inicializa nuevas funciones (marcadas con flechas) listadas en la columna “Texto de identificación”, los números de las señales individuales de la columna “Identificación” se incluyen en la lista de referencia (esta lista de referencia es útil para encontrar el origen de cada señal). Si todos los pasos de control han sido exitosos y todas las retroalimentaciones están listas, la señal excitación en operación se activa y la línea de estado indica **Enc.**

El tiempo de la secuencia de arranque es supervisado y la excitación será disparada si el tiempo excede el máximo permitido.

El valor de ajuste del voltaje del generador puede ser modificado dentro del rango total mediante los botones (subir excitación) y (bajar excitación).

### **6.1.3.12 REGULADOR DE CORRIENTE DEL ROTOR (MODO DE OPERACIÓN MANUAL)**

Regulación de corriente del rotor. En este modo de operación la corriente de campo es regulada de acuerdo al valor de ajuste de la corriente de campo.

Si el sistema de excitación está listo para arrancar, este puede ser encendido. Las condiciones de arranque son las mismas que en el caso del modo de operación automático, si estas condiciones son satisfechas la línea de estado indica **Listo** y puede iniciarse la secuencia de arranque presionando el botón **ON**.

El valor de ajuste de la corriente de campo puede ser modificado dentro del rango total mediante los botones (subir excitación) y (bajar excitación).

En modo manual se usa el lazo de corriente del regulador para controlar la corriente del rotor dependiendo del ajuste para operación manual, el valor de ajuste del modo manual también forma parte del software y no se requieren potenciómetros.

Los limitadores no actúan en este modo para incrementar la seguridad.

## **CAPITULO 7. DESMONTAJE DEL “AVR”**

Antes del desmontaje se etiquetan todos los cables de señales de campo e interconexión entre gabinetes a cada etiqueta se le coloca el nombre del gabinete, numero de bornera y borne respectivamente esto con el fin de poder determinar su ubicación exacta conforme a los diagrama de los circuitos.

### **7.1 INTERRUPTOR DE CAMPO**



**Fig.20** Desmontaje del Gabinete YA.9



**Fig.21** Retiro del Gabinete YA.9

## 7.2 RESISTENCIAS DE DESCARGA Y EXCITACIÓN INICIAL



**Fig.22** Desmontaje del Gabinete YA.10

## 7.3 EQUIPO DE DESEXCITACIÓN Y PROTECCIÓN



**Fig.23** Desmontaje del Gabinete YA.11



**Fig.24** Retiro del Gabinete YA.11

#### **7.4 DISTRIBUIDOR DE PULSOS**



**Fig.25** Desmontaje del Gabinete YA.12



**Fig.26** Retiro del Gabinete YA.12

## 7.5 REGULADOR



**Fig.27** Desmontaje del Gabinete YA.13



**Fig.28** Retiro del Gabinete YA.13

## **CAPITULO 8. MONTAJE DEL “RAV”**

Los reguladores de tensión al llegar en primera instancia deben ser inventariados y almacenados para su posterior instalación en el sistema de excitación.

### **8.1 LLEGADA A ALMACÉN**



**Fig.29** Llegada a Almacén General

### **8.2 LLEGADA A CASA DE MAQUINAS**



**Fig.30** Llegada a Casa de Maquinas

### 8.3 INTERRUPTOR DE CAMPO



**Fig.31** Montaje del Gabinete EX01

### 8.4 REGULADOR



**Fig.32** Montaje del Gabinete EX02, EX03 Y EX04

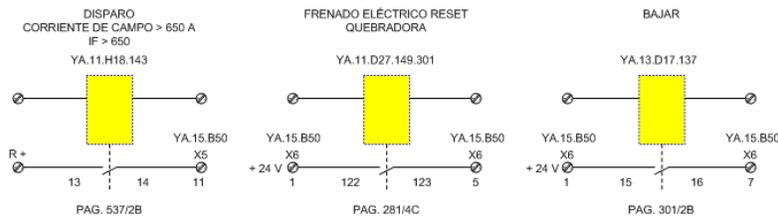
## CAPITULO 10. COMPLEMENTOS

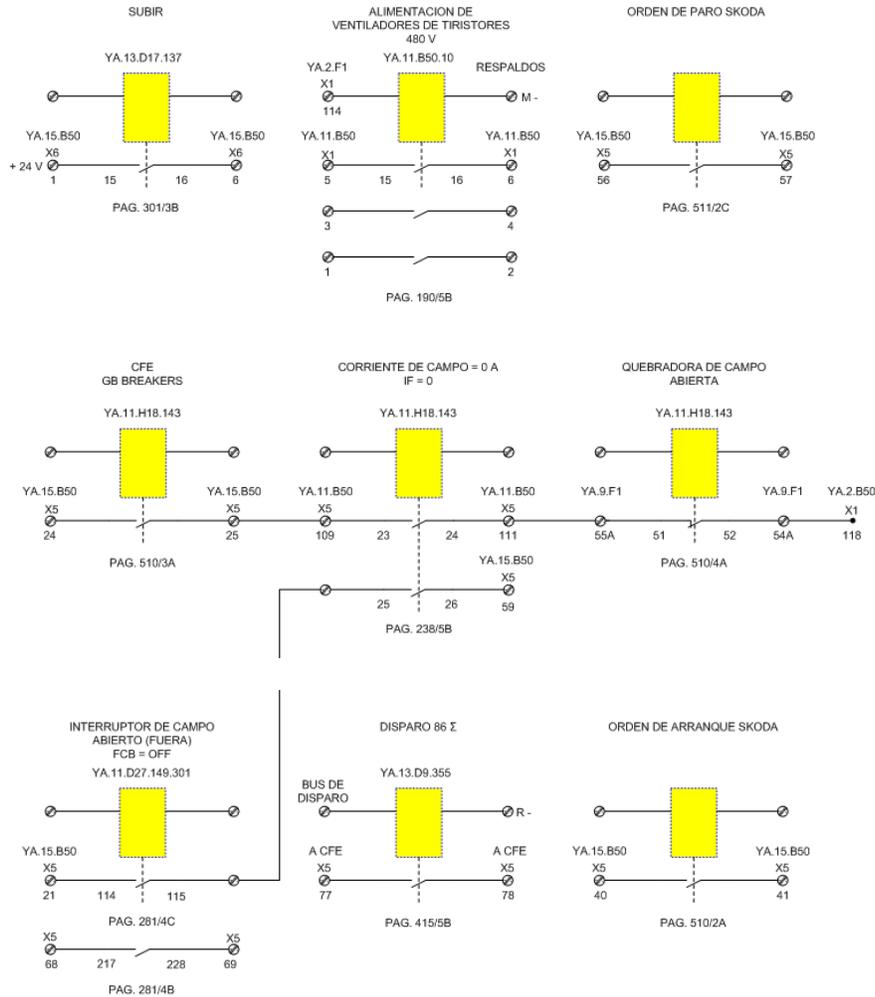
### 9.1 ADAPTACIÓN DEL FRENADO ELÉCTRICO

El frenado eléctrico será la única parte analógica del sistema de excitación que quedara en servicio por lo tanto este debe conectarse de tal manera que realice su funcionamiento sin ningún problema, para lograrlo el frenado eléctrico debe pasar por una etapa de adaptación en la cual se crea una interfaz adecuada que lo controle y le proporciona las señales necesarias para su funcionamiento.

LISTADO DE CABLES DE CONTROL												
CABLE		CONDUCTORES		SALE DE				LLEGA A				SEÑAL/FUNCIÓN/ESTADO
CAUDER	COLOR	AWG/NO	LINEA	ELEVEN	COINTE	AWG/NO	LINEA	ELEVEN	COINTE			
<b>SECCIONADOR</b>												
			S105A	RUEBITE	5		205B	RUEBITE	02		CIRCUITO PRINCIPAL (REC. TIRISTORAS)	
			S112A	RUEBITE	02	YA.1	2225A	RUEBITE	02			
		YA.2.050	S112A	30	110	YA.15.020	S112A	30	22		SECCIONADOR DE EXCITACION (REARDO)	
		YA.2.050	S155B	30	112	YA.15.020	S155B	30	14		SECCIONADOR DE EXCITACION (ARRETO)	
		YA.2.050	S154B	30	112	YA.15.020	S154B	30	14		SECCIONADOR DE EXCITACION (ARRETO)	
		YA.2.050	1905B	30	114	YA.15.020	905B	30	27		RELEVADOR (RELEVADORES TRISTOR)	
		YA.2.050	4155B	30	116						REARDO (REARDO MODIFICACION DEL JUBR)	
		YA.2.050	4154B	30	116						REARDO (REARDO MODIFICACION DEL JUBR)	
		YA.2.050	S104A	30	118	PLC	S104A				PRONTO POR DEFERIR (REARDO)	
		YA.2.050	S103A	30	119	YA.15.020	S103A	30	22		PARA SECCIONADOR EN EL SISTEMA DE EXCITACION	
		YA.2.050	S104C	30	120	YA.15.020	S104C	30	22		PARA SECCIONADOR EN EL SISTEMA DE EXCITACION	
		YA.2.050	S200C	30	122	YA.15.020	S214C	30	22			
		YA.15.020	S214C	30	117	YA.15.020	4154B	30	17		BUS DE EXCITACION	
		YA.15.020	4155C	30	122	YA.15.020	4154C	30	18		BUS DE EXCITACION	
		YA.2.050	S104C	30	123	YA.15.020	S104C	30	22		PARA SECCIONADOR EN EL SISTEMA DE EXCITACION	
		YA.2.050	S104C	30	123	YA.15.020	S104C	30	22		PARA SECCIONADOR EN EL SISTEMA DE EXCITACION	
		YA.2.050	S105A	30	123	YA.15.020	S105A	30	4		LUMENACION AL SECCIONADOR DE V	
		YA.2.050	S105A	30	123	YA.15.020	S105A	30	5		LUMENACION AL SECCIONADOR DE V	
<b>FRENADO ELÉCTRICO Y ENC. RESPALDO</b>												
		YA.15.020	S101C	30	1		S101C	RUEBITE	02A		LUMENACION ENTRE SEÑALES	
		YA.15.020	S105A	30	2		S105A	RUEBITE	02A		LUMENACION ENTRE SEÑALES	
		YA.15.020	1154B	30	3		1154C	RUEBITE	02A		OPR. SECCION PROTECCION RESPALDO	
		YA.15.020	S210B	30	4			RUEBITE	02A		OPR. SECCION PROTECCION RESPALDO	
		YA.15.020	S210B	30	11	YA.11.014C	S210B	RUEBITE	02A		OPR. SECCION PROTECCION RESPALDO	
		YA.11.014C	S210B	30	11	YA.11.014C	S210B	RUEBITE	02A		OPR. SECCION PROTECCION RESPALDO	
		YA.15.020	S211A	30	14	YA.15.011	S211A	RUEBITE	02A		MODULO DE TEMPERATURA	
		YA.15.020	S211A	30	15	YA.15.011	S211A	RUEBITE	02A		MODULO DE TEMPERATURA	
		YA.15.020	S211A	30	16	YA.15.011	S211A	RUEBITE	02A		MODULO DE TEMPERATURA	

**Fig.33** Lista de Cables para Frenado Eléctrico Analógico





**Fig.34** Arreglo de Relés Para Adaptación

## 9.2 GABINETE DEL MODULO DE PLC

Este PLC se encargara de controlar al regulador de tensión, la seccionadora y el frenado eléctrico en él se programaran las secuencias que determinaran el momento en que cada componente del sistema de excitación entrara en funcionamiento.

**LISTADO DE CABLES DE CONTROL**

UBICACIÓN: AVR ANDRITZ U4 HOJA: 4

CABLE	CONDUCTORES		SALE DE				LLEGA A				SEÑAL/FUNCIONES/TAG	
	CALIBRE	COLOR	ARMARIO	LINEA	ELEMENTO	BORNE	ARMARIO	LINEA	ELEMENTO	BORNE		
EX403			PLC AVR U4 (DI)		BED1/0	C7	EX03	40.8	XS1	17	DO	EXCITACION MANUAL
						26				18	M	
						C2				19	DO	EXCITACION AUTOMATICO
						5				20	M	
						C1				21	DO	INTERRUPTOR EXC. INICIAL CERRADO
						4				22	M	
										23	DO	A03 RESERVA
										24	M	
										25	DO	SOBREVOLTAJE DE ROTOR
										26	M	
										27	DO	EXCITACION ENCENDIDA
										28	M	
						29		DO		EXCITACION APAGADA		
						30		M				
						31		DO		UCE1 EN SERVICIO		
						32		M				
						33		DO		UCE2 EN SERVICIO		
						34		M				
						35		DO		SOBRECORRIENTE ROTOR		
						36		M				
						37		DO		PARO EXCITACION		
						38		M				
						39		DO		PERDIDA SENSADO DE TP S		
						40		M				
						41		DO		PSS EN SERVICIO		
						42		M				
						43		DO		LIM. MINIMA EXC. ACTIVO		
						44		M				
						45		DO		LIM. MAXIMA EXC. ACTIVO		
						46		M				
						47		DO		LIMITADOR VOLTZ HERTZ		
						48		M				

NOTAS: AO SALIDA ANALOGICA DI ENTRADA DIGITAL B COMANDO L ALIMENTACION  
 AI ENTRADA ANALOGICA DO SALIDA DIGITAL M SEÑALIZACION I CORRIENTE V VOLTAJE

**Fig.35** Lista de Cables para Modulo de PLC

**LISTADO DE CABLES DE CONTROL**

UBICACIÓN: AVR ANDRITZ U4 HOJA: 5

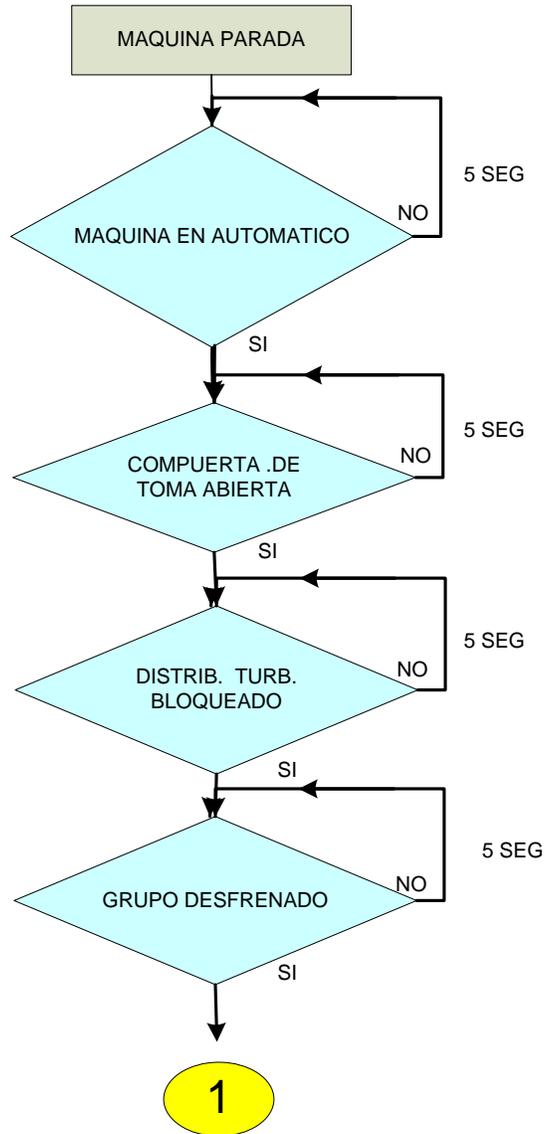
CABLE	CONDUCTORES		SALE DE				LLEGA A				SEÑAL/FUNCIONES/TAG	
	CALIBRE	COLOR	ARMARIO	LINEA	ELEMENTO	BORNE	ARMARIO	LINEA	ELEMENTO	BORNE		
EX404			PLC AVR U4 (DI)		BED1/2	C5	EX03	50.8	XS1	49	DO	ALARMA SIST. EXC.
						17				50	M	
						C8				51	DO	DISPARO DE EXCITACION
						31				52	M	
										53	DO	PSS DESHABILITADO
										54	M	
										55	DO	LIMITE MAXIMO VOLTAJE 90D
										56	M	
										57	DO	LIMITE MINIMO VOLTAJE 90D
										58	M	
										59	DO	LIMITE MAXIMO CORRIENTE 70D
										60	M	
						61		DO		LIMITE MINIMO CORRIENTE 70D		
						62		M				
						63		DO		FALLA UCE1		
						64		M				
						65		DO		FALLA UCE2		
						66		M				
						67		DO		TRANSFERENCIA AUTO-MANUAL		
						68		M				
						69		DO		TRANSFERENCIA MANUAL-AUTO		
						70		M				
						71		DO		A34 RESERVA		
						72		M				
						73		DO		A35 RESERVA		
						74		M				
						75		DO		FALLA PUENTE DE TIRISTORES 1		
						76		M				
						77		DO		FALLA PUENTE DE TIRISTORES 2		
						78		M				
						79		DO		FALLA PUENTE DE TIRISTORES 3		
						80		M				

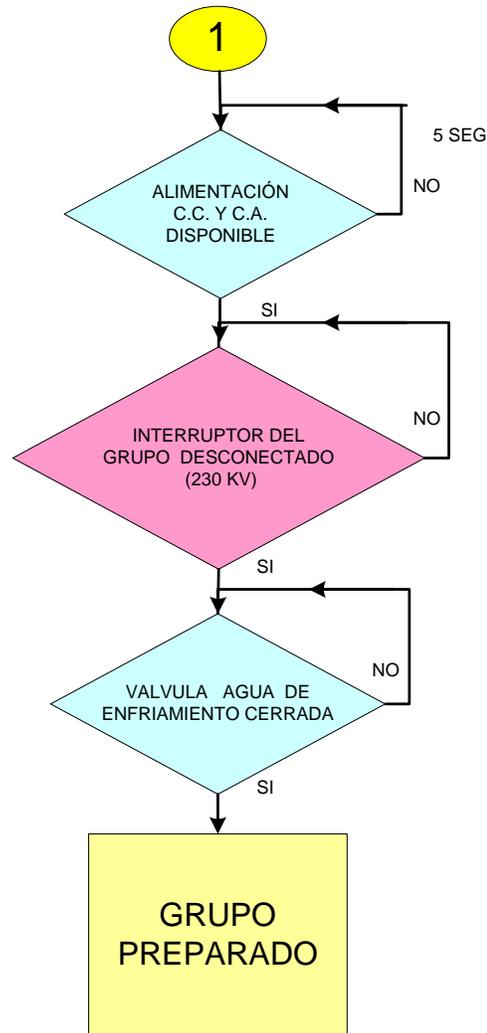
NOTAS: AO SALIDA ANALOGICA DI ENTRADA DIGITAL B COMANDO L ALIMENTACION  
 AI ENTRADA ANALOGICA DO SALIDA DIGITAL M SEÑALIZACION I CORRIENTE V VOLTAJE

**Fig.36** Lista de Cables para Modulo de PLC

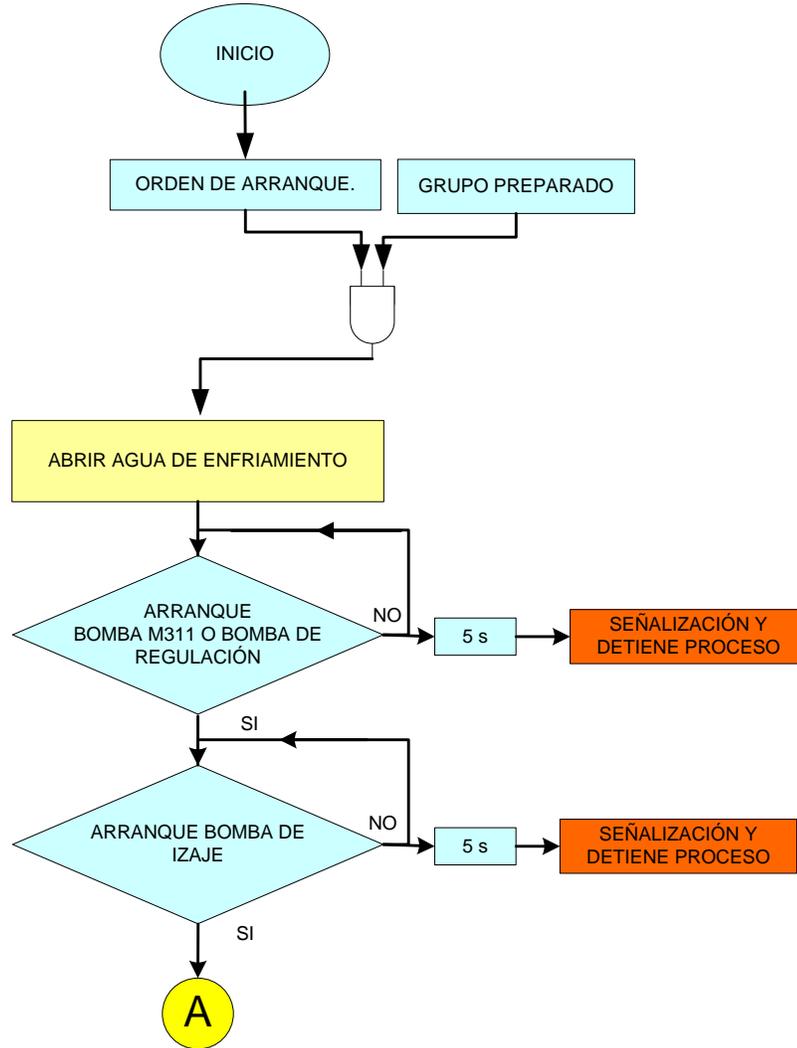
**9.3 DIAGRAMA DE FLUJO**

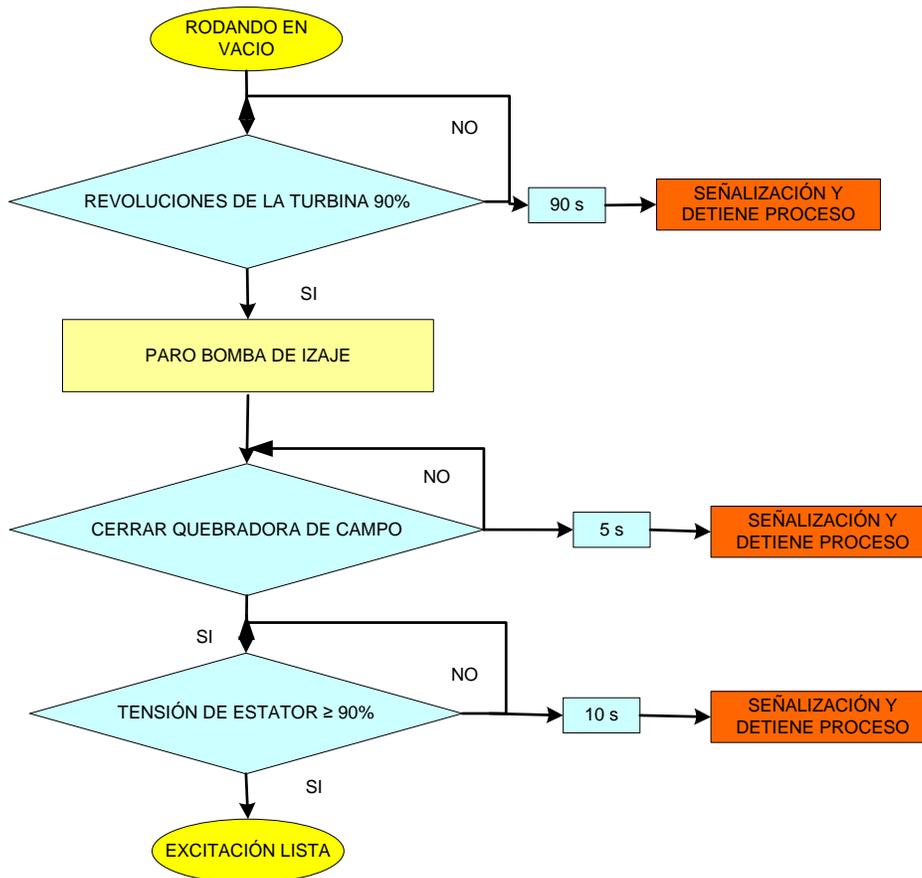
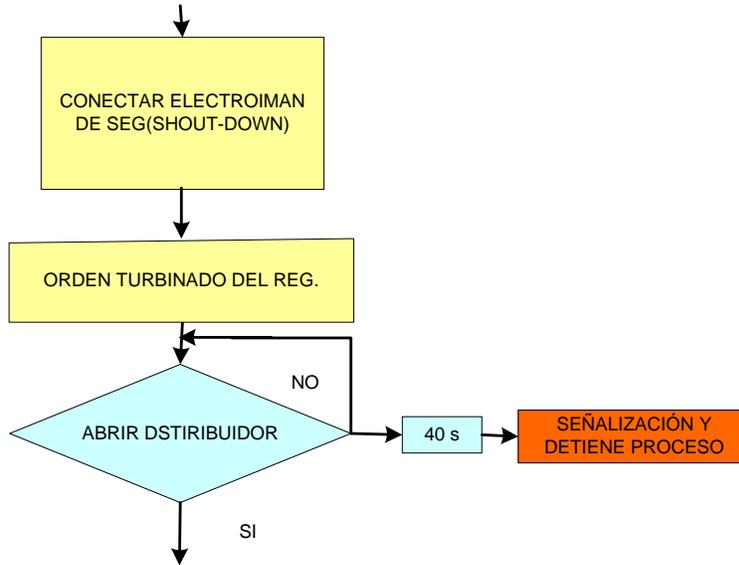
**SECUENCIA DE GRUPO PREPARADO**

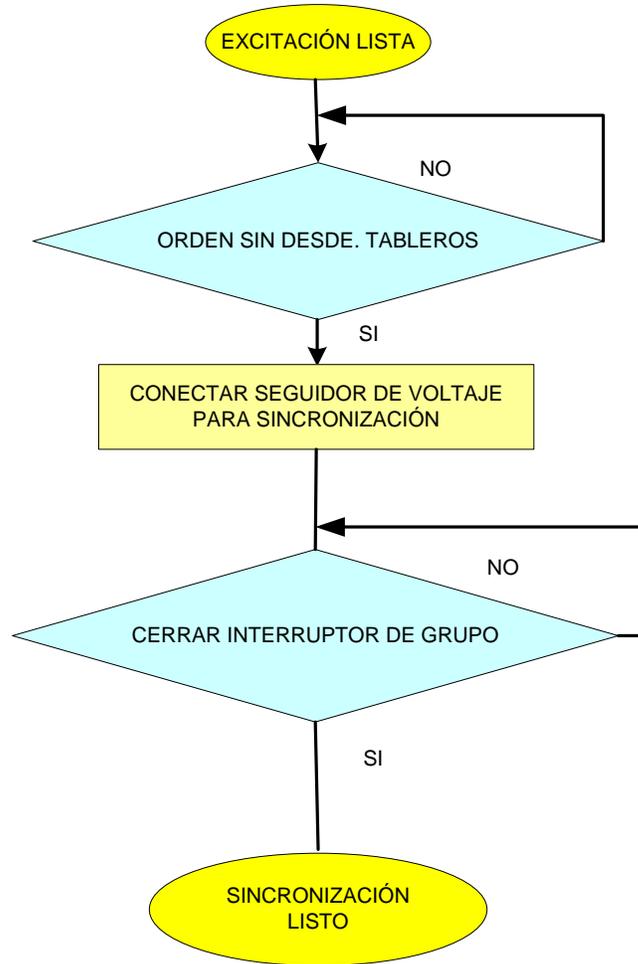




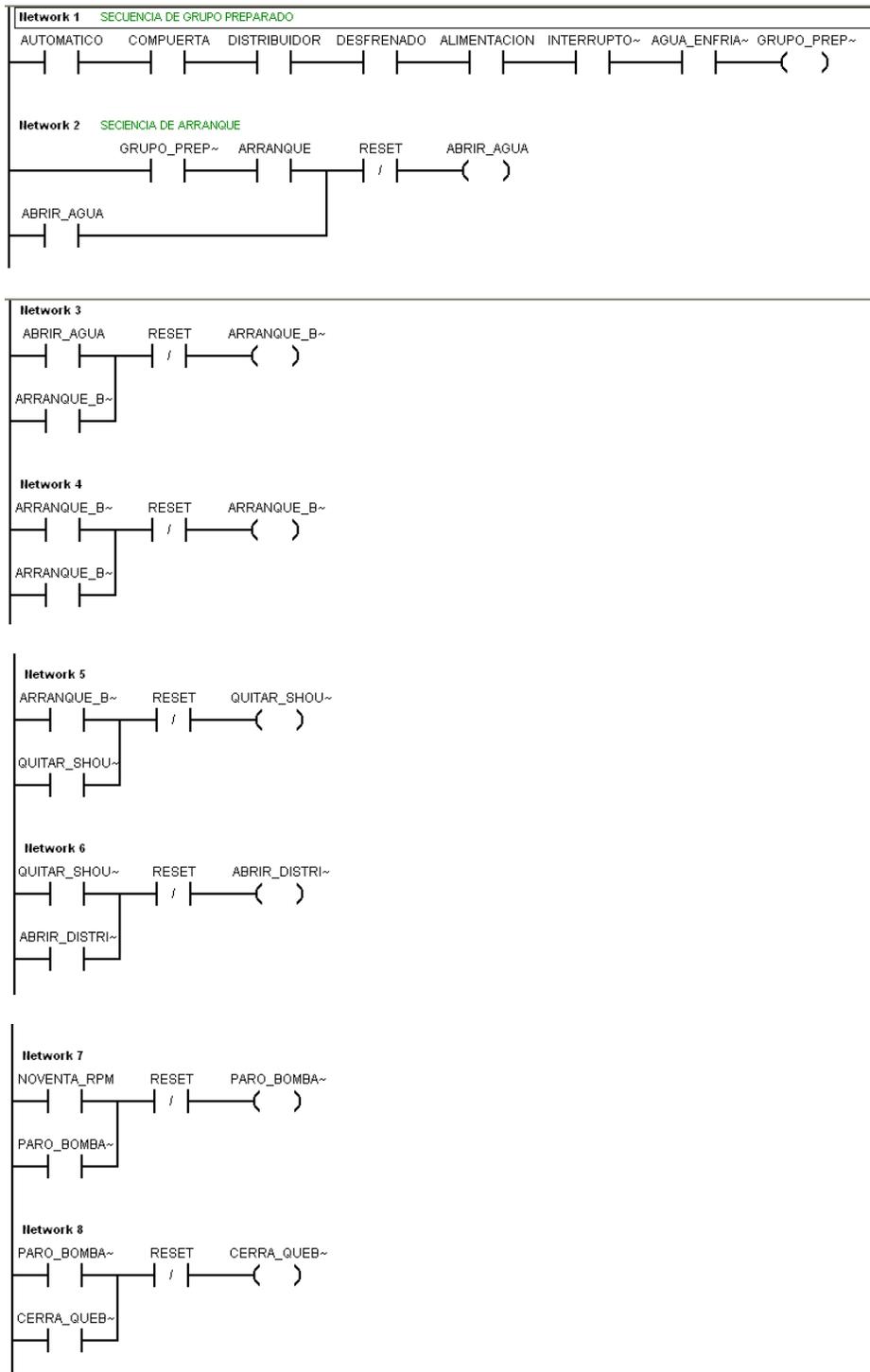
### SECUENCIA DE ARRANQUE







## 9.4 PROGRAMA





## **CAPITULO 10. FICHA TÉCNICA**

### **10.1 CAPACIDAD INSTALADA**

La capacidad instalada de la Central Hidroeléctrica es de 420 MW distribuida en 4 Turbinas tipo Kaplan de eje vertical, las cuales generan 105 MW cada una, con un gasto máximo de 360.00 m<sup>3</sup>/seg por unidad, para un total de 1,440 m<sup>3</sup>/seg. La obra de toma consta de 4 bocatomas y 8 compuertas de 10.10 x 12.60 mts. y 2 compuertas auxiliares de las mismas dimensiones, cada una accionada por un servomotor a pistón, alimentado por la central oleodinámica, compuestas por bombas de eje horizontal con sus dispositivos de seguridad y control.

### **10.2 TURBINA PRINCIPAL**

Los datos técnicos característicos son:

- Tipo.....Kaplan vertical 5K37
- Caída (H).....35.27-30.89 Mts
- Caudal (Q).....334-349 m<sup>3</sup>/s
- Potencial de la turbina (P).....108.33-98.716 MW
- Velocidad de régimen (Nn).....112.5 R.P.M.
- Velocidad de embalamiento (Np).....291 R.P.M.
- Masa inerte (GD<sup>2</sup>) .....18,778 tm<sup>2</sup>
- Trabajo de regulación del servomotor del distribuidor.....94,824 Kgm (carrera 835 mm)
- Trabajo de regulación del servomotor del rodete (ArR) ....137,344 Kgm (carrera 257 mm)
- Crecimiento máximo calculado de la presión .....36 % H

### 10.3 GENERADOR

Características técnicas del Generador:

- Marca.....Asea
- Capacidad nominal.....110,465 KVA
- Factor de potencia.....0.95
- Capacidad para diseño mecánico.....108,330 KW
- Velocidad nominal.....112.5 R.P.M.
- Velocidad de desboque.....291 R.P.M.
- Frecuencia nominal.....60 Hz
- Voltaje nominal .....13,800 V
- Corriente nominal .....4,622 A
- Clase de aislamiento estator .....F
- Clase de aislamiento rotor .....F
- Número de polos .....64
- Número de fases .....3
- Número de enfriadores de aire .....12

El Regulador de Voltaje. (AVR) Es el encargado de regular el voltaje de salida del generador.

### 10.4 EXCITADOR

- ✓ Tipo de excitación .....Estática
- ✓ Voltaje de excitación .....350 V
- ✓ Corriente de excitación .....1,300 A

## 10.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES

### 10.5.1 HIDROLOGÍA

- ✓ Área de la cuenca propia.....1,275 km<sup>2</sup>
- ✓ Área total de la cuenca hasta Peñitas.....35,701 km<sup>2</sup>
- ✓ Avenida máxima registrada (2 oct. 1999).....8,103 m<sup>3</sup>/s
- ✓ Gasto de la avenida de diseño.....22,877 m<sup>3</sup>/s
- ✓ Volumen avenida de diseño.....6,850x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>
- ✓ Duración de avenida de diseño .....8 días
- ✓ Escurrimiento medio anual cuenca propia.....3795x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>  
(1952-1999).
- ✓ Gasto medio anual cuenca propia.....120.32 m<sup>3</sup>/s

### 10.5.2 EMBALSE

- ✓ NAME.....95.50 msnm
- ✓ NAMO.....87.40 msnm
- ✓ NAMinO.....85.00 msnm
- ✓ Capacidad de azolves (hasta el umbral de la Obra de Toma)...39.63 Mm<sup>3</sup>
- ✓ Capacidad muerta (hasta el NAMinO).....615.83 Mm<sup>3</sup>
- ✓ Capacidad útil (del NAMinO al NAMO).....106.30 Mm<sup>3</sup>
- ✓ Capacidad de control de avenidas (del NAMO al NAME)...415.74 Mm<sup>3</sup>
- ✓ Capacidad total al NAME (Batimetría de 1996).....1137.87 Mm<sup>3</sup>
- ✓ Fecha de cierre del desvío.....20/07/1986
- ✓ Longitud (hasta Malpaso).....73 Km

- ✓ Nivel máximo histórico registrado (16/10/1999).....90.65 msnm
- ✓ Nivel mínimo histórico registrado (29/10/1999).....84.15 msnm

### **10.5.3 CORTINA**

- ✓ Tipo .....Materiales graduados y enrocamiento
- ✓ Elevación de la corona.....98.00 msnm
- ✓ Longitud de la corona.....750.00 m
- ✓ Volumen total .....3.24 Mm<sup>3</sup>
- ✓ Altura máxima desde el desplante.....53.00 m

### **10.5.4 OBRA DE EXCEDENCIAS (VERTEDEROS)**

- ✓ Tipo.....Canal a cielo abierto con cresta controlada
- ✓ No. de canales vertederos (de servicios y auxiliar).....2
- ✓ Tipo de compuertas.....Radiales
- ✓ Número de compuertas.....8 (4 por canal)
- ✓ Dimensiones (ancho y alto).....14.50x15.00 m
- ✓ Elevación de la cresta.....76.50 msnm
- ✓ Gasto máximo de descarga total (2canales).....18.700 m<sup>3</sup>/s
- ✓ Labio superior de la compuerta (cerrada).....91.13 msnm
- ✓ Longitud total de la cresta.....116.00 m
- ✓ Gasto mínimo de despegue por canal.....650 m<sup>3</sup>/s
- ✓ Pendiente del canal de servicio.....0.025
- ✓ Pendiente del canal de emergencia.....0.026
- ✓ Ancho de la plantilla de los dos canales.....69.90 m

**10.5.5 OBRA DE GENERACIÓN**

- ✓ Obra de toma (numero de tomas).....4
- ✓ Gasto máximo por toma.....360.00 m<sup>3</sup>/s
- ✓ Compuertas rodantes.....8
- ✓ Dimensiones.....10.10x12.60 m
- ✓ Umbral de la obra de toma.....63.00 msnm

**10.5.6 CONDUCCIÓN**

- ✓ Número de conductos.....8
- ✓ Dimensiones de los conductos.....9.25 x 12.60 m
- ✓ Longitud total de los túneles.....40.00 m
- ✓ Inclinación.....45°

**10.5.7 CASA DE MAQUINAS**

- ✓ Tipo.....Exterior
- ✓ Dimensiones....Ancho=23.70 m. Largo=165.00 m. Altura=60.00 m

## **CONCLUSIÓN**

En la industria eléctrica es una necesidad entender los principios de funcionamiento y características del sistema de regulación de tensión y generación visto desde una perspectiva general. A fin de realizar un mejor análisis del sistema de regulación y en especial de sus etapas electrónicas.

Durante el desarrollo se definen las características del funcionamiento del regulador analógico ASEA, así como también las características requeridas por la empresa y las características del nuevo regulador de tensión ANDRITZ HYDRO. Esto con el fin de tener una comparación entre el regulador analógico y el regulador digital.

Al tener las características del funcionamiento de cada regulador, cualquier ingeniero esta en el punto preciso de empezar a realizar la comparación entre el regulador de tensión analógico ( ASEA) y el regulador de tensión digital (ANDRITZ HYDRO).

Durante el tiempo que he estado colaborando en la empresa he obtenido los nociones necesarios para desarrollarme como ingeniero haciendo uso de los conocimientos obtenidos durante el transcurso de la carrera, esto me ha ayudado a profundizar cada día más en el entorno electrónico de la industria, además incrementar mi comprensión acerca del funcionamiento del sistema de regulación de tensión.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. ELECTRICIDAD. Comisión Federal, Manual de Organización Básica de la Subgerencia Regional de Generación Hidroeléctrica Grijalva, SRGHG 2003, México.
2. Dawes L. Chester; “TRATADO DE ELECTRICIDAD TOMO 1 CORRIENTE CONTINUA”; pp. 277 - 282; Gustavo Gili, México 1993.
3. Dawes L. Chester; “TRATADO DE ELECTRICIDAD TOMO 2 CORRIENTE CONTINUA”; p. 189; Gustavo Gili, México 1999.
4. Fitzgerald, A. E., Higginbotham D. E., Gravel, A.; “FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA”; p. 564; Mc Graw Hill, México 1998.
5. Fitzgerald, A. E., Higginbotham D. E., Gravel, A.; “FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA”; pp. 685 - 686; Mc Graw Hill, México 1992.
6. Luca Marín, Carlos; “PLANTAS ELÉCTRICAS TEORÍA Y PROYECTOS”; p. 159; RESISA, México 1994.
7. Julio Cesar Turbay, “Empleo del EMTP para los estudios de estabilidad transitoria con especial atención al modelo de los sistemas de control de la excitación”; IEEE, España 2000.
8. Maloney J., Timothy; “ELECTRONICA INDUSTRIAL”; pp. 141 – 142; Prentice Hall, Colombia 1983.
9. ASEA, “Manual Operativo”, Gustavo Gili, Barcelona 1983.
10. ANDRITZ HYDRO “Manual de Operación y Mantenimiento”, 2009.