

T  
621.3191  
DVE



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

"Secuencia de Arranque y Parada de la Central  
Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind"

**TOPICO DE GRADUACION**

**Previa a la Obtención del Título de:**

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD**  
**Especialización: POTENCIA**

Presentada por:

Gabriel Dueñas Reina  
Danny López García  
Germán Benítez Sigüenza

**Guayaquil - Ecuador**

**2004**





**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“SECUENCIA DE ARRANQUE Y PARADA DE LA CENTRAL  
HIDROELECTRICA MARCEL LANIADO DE WIND”**

**TOPICO DE GRADUACION**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

**Especialización: POTENCIA**

**Presentada por:**

**Gabriel Dueñas Reina**

**Danny López García**

**Germán Benitez Siguenza**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2004**

## **AGRADECIMIENTO**

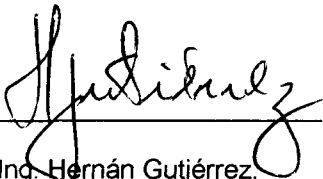
A Dios, por guiar nuestras vidas día a día especialmente a lo largo de esta importante carrera universitaria.

A todas las personas que nos aprecian y que siempre están junto a nosotros brindándonos su apoyo incondicional, y con especial aprecio al Ing. Juan Saavedra, Director del Tópico, por su gran ayuda.

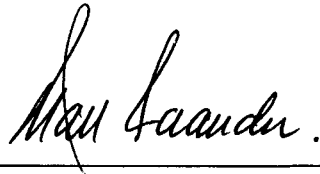
## **DEDICATORIA**

A NUESTROS PADRES, ESPOSAS,  
HIJOS, HERMANOS Y DEMÁS  
FAMILIARES POR TODA EL  
CARIÑO Y CONFIANZA QUE NOS  
HAN BRINDADO A LO LARGO DE  
NUESTRAS VIDAS Y POR TODO  
EL ESFUERZO REALIZADO PARA  
QUE SE HAYA HECHO REALIDAD  
EL SUEÑO DE CULMINAR DE LA  
MEJOR MANERA NUESTRA  
CARRERA UNIVERSITARIA.

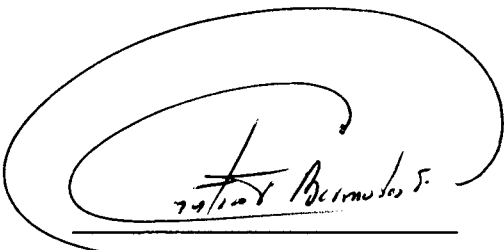
## TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Hernán Gutiérrez.  
PRESIDENTE



Ing. Juan Saavedra M.  
DIRECTOR DEL TOPICO



Ing. Gustavo Bermúdez.  
VOCAL

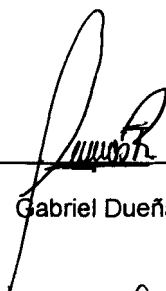


Ing. Holger Cevallos.  
VOCAL

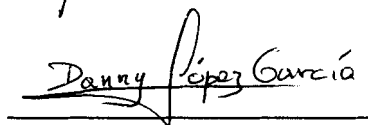
## DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Tópico de Graduación nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Gabriel Dueñas Reina



Danny López García



Germán Benitez Sigüenza

## RESUMEN

En la presente tesis se describen de una manera muy detallada todos los pasos que deben seguirse en la secuencia de Arranque y Parada de la Central Hidroeléctrica "MARCEL LANIADO DE WIND". Así como también los diferentes tipos de bloqueo que se pueden presentar cuando la central está en operación normal o en proceso de Arranque o de parada. Con el fin de que el lector se familiarice con las partes constitutivas de esta central. En el capítulo I, se describen de manera general los equipos más importantes que la constituyen.

Antes de abordar el tema principal de este proyecto y para que el lector no tenga inconvenientes en el momento de hacerlo, el capítulo II es dedicado a detallar claramente los sistemas que se relacionan con la Secuencia de Arranque y parada de la central. En el capítulo III se explican todos los pasos que se deben llevar a cabo tanto en la secuencia de arranque como en la de parada, mientras que en el capítulo IV, se analizan los problemas de interrupción que se pueden dar por presencia de los diferentes tipos de bloqueos cuando la central está en operación normal o en proceso de Arranque o de parada y se analiza un caso de interrupción ocurrido anteriormente. Por último en el capítulo V, se establecen las conclusiones y recomendaciones del caso.

## INDICE GENERAL

**Pág.**

<b>RESUMEN.....</b>	<b>VI</b>
<b>INDICE GENERAL.....</b>	<b>VII</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XV</b>
<b>INDICE DE ANEXOS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<p><b>I. DESCRIPCION GENERAL DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA DAULE - PERIPA "MARCEL LANIADO DE WIND".....</b></p>	
1.1.    Introducción.....	3
1.2.    Equipos que Constituyen la Central Hidroeléctrica.....	4
1.2.1. Equipos Hidromecánicos.....	4
1.2.2. Equipos Eléctricos.....	22
<p><b>II. FUNCIONAMIENTO DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS QUE SE RELACIONAN CON LA SECUENCIA DE ARRANQUE Y PARADA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA "MARCEL LANIADO DE WIND".....</b></p>	
2.1.    Sistema de Control Oleodinámico.....	34



2.2.	Sistema de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado....	48
2.3.	Sistema de Inyección de Aceite del Cojinete Combinado.....	53
2.4.	Sistema de Agua de Enfriamiento.....	57
2.5.	Sistema de Control Distribuido (DCS.....	58
2.5.1.	Control de Proceso .....	59
2.5.2.	Supervisión de Proceso.....	60
2.6.	Sistema de Protecciones .....	67
2.6.1.	Protección del Generador .....	68
2.6.2.	Protección Grupo Generador / Transformador .....	69
2.6.3.	Protección De Líneas De Transmisión Y Subestación...70	
<b>III. PROCEDIMIENTO PARA LA SECUENCIA DE ARRANQUE Y PARADA DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA "MARCEL LANIADO DE WIND".....72</b>		
3.1.	Introducción.....	72
3.1.1.	Terminología.....	73
3.1.2.	Diagramas Lógicos.....	77
3.2.	Procedimiento para la Secuencia de Arranque.....	79
3.2.1.	Paso3: Arranque de bomba de Aceite del Regulador de Velocidad, Bomba de Circulación, Aplicación de Frenos, etc.....	81

3.2.2. Paso 4: Apertura de la Válvula de Aislamiento del Sistema de Regulación de Velocidad.....	88
3.2.3. Paso 5: Apertura del Bypass de la Válvula Mariposa.....	94
3.2.4. Paso 6: Apertura de la Válvula Mariposa.....	101
3.2.5. Paso 7: Desbloqueo del Regulador Hidráulico de Velocidad y Frenos Desaplicados.....	105
3.2.6. Paso 8: Inserción del Regulador Electrónico de Velocidad y Arranque de Extractores de Vapor.....	109
3.2.7. Paso 9: Inserción del Sistema de Excitación y Parada de la Bombas de Inyección.....	113
3.2.8. Paso 10: Unidad en Rotación y con Tensión .....	117
3.2.9. Paso 11: Inserción de la Unidad de Sincronismo.....	120
3.2.10. Paso 12: Turbina en Regulación de Potencia Activa, Regulación de Apertura y Aumento hasta el Limite Técnico.....	124
3.2.11. Paso 13: Unidad en Generación .....	128
3.3. Procedimiento para la Secuencia de Parada.....	131
3.3.1. Paso 4: Potencia Reactiva Cero y Potencia Activa Cero.....	132
3.3.2. Paso 15: Apertura del Disyuntor del Generador.....	136

3.3.3. Paso 16: Excitación Desinsertada y Arranque de la Bomba de Inyección.....	141
3.3.4. Paso 17: Regulador de Velocidad Off.....	146
3.3.5. Paso 18: Frenos Aplicados.....	151
3.3.6. Paso 19: Cierre de la Válvula de Aislamiento.....	155
3.3.7. Paso 20: Apagar Bombas, Extractores de Vapor, Desaplicar Frenos, Cierre de Válvula de Agua de Enfriamiento.....	159

**IV. PROBLEMAS QUE SE PUEDEN PRESENTAR EN LA SECUENCIA DE ARRANQUE Y PARADA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “MARCEL LANIADO DE WIND” .....166**

4.1. Intervención de Bloqueos.....	166
4.1.1. Intervención del Bloqueo Eléctrico (IBE).....	168
4.1.2. Intervención del Bloqueo Mecánico (IBM).....	172
4.1.3. Bloqueo Eléctrico desde el Automatismo (BEA).....	175
4.2. Interrupción de la Secuencia de Arranque .....	177
4.2.1. Reporte de Falla.....	177
4.2.2. Análisis de la Falla.....	179

**CONCLUSIONES.....190**

**RECOMENDACIONES.....195**

<b>ANEXOS.....</b>	<b>197</b>
--------------------	------------

<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>212</b>
--------------------------	------------

## INDICE DE FIGURAS

**Pág.**

Fig. 1.1:	Niveles y Diámetros de la Chimenea de Equilibrio.....	5
Fig. 1.2:	Chimenea de Equilibrio en su Proceso Final de Construcción...	7
Fig. 1.3:	Bifurcaciones de la Tubería de Presión.....	9
Fig. 1.4:	Bifurcaciones en su Proceso de Construcción.....	10
Fig. 1.5a:	Válvula Mariposa en Posición de Apertura.....	12
Fig. 1.5b:	Válvula Mariposa en Posición de Cierre.....	12
Fig. 1.6:	Válvula Mariposa Acoplada al Sistema.....	14
Fig. 1.7:	Válvula Mariposa Antes de ser Instalada.....	14
Fig. 1.8:	Caja Espiral en su Proceso de Montaje.....	15
Fig. 1.9:	Distribuidor de la Turbina.....	16
Fig. 1.10:	Alabes fijos del Rodete.....	16
Fig. 1.11:	Turbina Francis Totalmente Ensamblada.....	18
Fig. 1.12:	Grúa Principal de la Casa de Máquinas.....	20
Fig. 1.13:	Grúa Auxiliar de la Casa de Máquinas.....	20
Fig. 1.14:	Grúa para Descarga de Equipos.....	21
Fig. 1.15:	Generador (rotor – estator).....	23
Fig. 1.16:	Estator.....	24

Fig. 1.17:	Rotor.....	24
Fig. 1.18:	Transformador de Potencia 85 MVA.....	26
Fig. 1.19:	Subestación de la Central.....	28
Fig. 1.20:	Líneas de Transmisión.....	32
Fig. 3.1:	Diagrama Lógico con Operador AND.....	77
Fig. 3.2:	Diagrama Lógico con Operador OR.....	78
Fig. 3.3:	Diagrama Lógico del Paso 3.....	82
Fig. 3.4:	Diagrama Lógico del Paso 4.....	89
Fig. 3.5:	Diagrama Lógico del Paso 5.....	95
Fig. 3.6:	Diagrama Lógico del Paso 6.....	101
Fig. 3.7:	Diagrama Lógico del Paso 7.....	105
Fig. 3.8:	Diagrama Lógico del Paso 8.....	109
Fig. 3.9:	Diagrama Lógico del Paso 9.....	114
Fig. 3.10:	Diagrama Lógico del Paso 10.....	118
Fig. 3.11:	Diagrama Lógico del Paso 11.....	121
Fig. 3.12:	Diagrama Lógico del Paso 12.....	125
Fig. 3.13:	Diagrama Lógico del Paso 13.....	129
Fig. 3.14:	Diagrama Lógico del Paso 14.....	133
Fig. 3.15a:	Diagrama Lógico del Paso 15.....	137
Fig. 3.15b:	Feedback del Paso 15 al Paso 10.....	138
Fig. 3.16:	Diagrama Lógico del Paso 16.....	143
Fig. 3.17:	Diagrama Lógico del Paso 17.....	147

Fig. 3.18:	Diagrama Lógico del Paso 18.....	152
Fig. 3.19:	Diagrama Lógico del paso 19.....	156
Fig. 3.20:	Diagrama Lógico del paso 20.....	160
Fig. 4.1:	Diagrama Lógico de la Actuación de los Bloqueos.....	168
Fig. 4.2:	Diagrama Lógico de la Intervención del Bloqueo Eléctrico.....	170
Fig. 4.3:	Diagrama Lógico OR Bloqueo del Grupo G/T.....	171
Fig. 4.4:	Diagrama Lógico de la Intervención del Bloqueo Mecánico....	174
Fig. 4.5:	Diagrama Lógico del (BEA).....	176
Fig. 4.6:	Configuración del Control de Excitación.....	180
Fig. 4.7:	Cambio Regulador y Conversor.....	181
Fig. 4.8:	Lógica de Control de los Relés KA123 y KA124.....	182
Fig. 4.9:	Lógica de Control del Relé KT10X.....	183
Fig. 4.10:	Lógica de Control del Relé KA16.....	184
Fig. 4.11:	Lógica de Control de los Relés KA23, KA23X, KA24 y KA24X.....	185
Fig. 4.12:	Desequilibrio de Corriente.....	186
Fig. 4.13:	Llegada de línea.....	187
Fig. 4.14:	Señales de Llegada del Puente Rectificador.....	188

## INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla I:	Datos Técnicos Del Transformador.....	25
Tabla II:	Terminología de la secuencia de Arranque y Parada....	76
Tabla III:	Condiciones Previas al Paso 3.....	82
Tabla IV:	Acciones que Ejecuta el Paso 3.....	83
Tabla V:	Condiciones Previas al Paso 4.....	89
Tabla VI:	Acciones que Ejecuta el Paso 4.....	90
Tabla VII:	Condiciones Previas al Paso 5.....	95
Tabla VIII:	Acciones que Ejecuta el Paso 5.....	96
Tabla IX:	Condiciones Previas al Paso 6.....	101
Tabla X:	Acciones que Ejecuta el Paso 6.....	102
Tabla XI:	Condiciones Previas al Paso 7.....	106
Tabla XII:	Acciones que Ejecuta el Paso 7.....	106
Tabla XIII:	Condiciones Previas al paso 8.....	110
Tabla XIV:	Acciones que Ejecuta el Paso 8.....	110
Tabla XV:	Condiciones Previas al paso 9.....	114
Tabla XVI:	Acciones que Ejecuta el Paso 9.....	115
Tabla XVII:	Condiciones Previas al paso 10.....	117



Tabla XVIII:	Acciones que Ejecuta el Paso 10 .....	118
Tabla XIX:	Condiciones Previas al paso 11.....	121
Tabla XX:	Acciones que Ejecuta el Paso 11 .....	121
Tabla XXI:	Condiciones Previas al paso 12.....	125
Tabla XXII:	Acciones que Ejecuta el Paso 12 .....	125
Tabla XXIII:	Condiciones Previas al paso 13.....	129
Tabla XXIV:	Acciones que Ejecuta el Paso 13 .....	129
Tabla XXV:	Condiciones Previas al paso 14.....	134
Tabla XXVI:	Acciones que Ejecuta el Paso 14 .....	134
Tabla XXVII:	Condiciones Previas al paso 15.....	138
Tabla XXVIII:	Acciones que Ejecuta el Paso 15 .....	139
Tabla XXIX:	Condiciones Previas al paso 16.....	143
Tabla XXX:	Acciones que Ejecuta el Paso 16 .....	144
Tabla XXXI:	Condiciones Previas al paso 17.....	148
Tabla XXXII:	Acciones que Ejecuta el Paso 17 .....	148
Tabla XXXIII:	Condiciones Previas al paso 18.....	152
Tabla XXXIV:	Acciones que Ejecuta el Paso 18.....	153
Tabla XXXV:	Condiciones Previas al paso 19.....	157
Tabla XXXVI:	Acciones que Ejecuta el Paso 19.....	157
Tabla XXXVII:	Condiciones Previas al paso 20.....	161
Tabla XXXVIII:	Acciones que Ejecuta el Paso 20.....	161

## INDICE DE ANEXOS

**Pág.**

Anexo 1.1: Grupo de Aire Comprimido y de Acumulación.....	198
Anexo 1.2: Grupo de Bombeo.....	199
Anexo 1.3: Anillo de Regulación de Distribuidor.....	200
Anexo 1.4: Grupo Control de Velocidad.....	201
Anexo 1.5: Mando Turbina y Regulador.....	202
Anexo 1.6: Válvula de Guardia Tipo Mariposa.....	203
Anexo 1.7: Sistema de Circulación de Aceite del Cojinete Combinado....	204
Anexo 1.8: Sistema de Inyección de Aceite del Cojinete combinado.....	205
Anexo 1.9: Cojinete Guía.....	206
Anexo 1.10: Esquema de Arquitectura del DCS.....	207
Anexo 1.11: Esquema de Actuación de las Protecciones, Conexión y Transmisión de los Contactos de Disparo.....	208
Anexo 1.12: Esquema de Conexión de los Medidores de Tipo Resistencia, Contactos de Disparo e Indicación.....	209
Anexo 2.1: Secuencia de arranque y Parada de la Unidad .....	211

## INTRODUCCION

La Central Hidroeléctrica "Marcel Laniado de Wind" forma parte del sistema nacional interconectado y ayuda a satisfacer la demanda del mercado eléctrico mayorista con una capacidad de generación de 213 MW, lo que corresponde a una producción de energía aproximada de 600 millones de KWH por año.

Esta central hidroeléctrica es la más reciente en construirse y como es obvio debido a su reciente construcción es la más moderna del país, ya que fue implementada con lo último en tecnología, especialmente en su sistema de control automatizado, el mismo que permite tener un control total de todos los sistemas que forman parte de la central y de esta manera nos brinda la facilidad de ejecutar el arranque y la parada de la central de una forma automática.

Considerando lo anteriormente mencionado la presente tesis está dirigida al estudio de la secuencia de arranque y parada de la central. En el cual se pueden notar las ventajas de tener una secuencia de arranque y parada automática.

La tesis está estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo I se describen de manera general los equipos más importantes que constituyen esta central con el fin de familiarizarse con las partes constitutivas de esta. El capítulo II es dedicado a detallar claramente los sistemas que se relacionan con la Secuencia de Arranque y parada de la central.

En el capítulo III se explican todos los pasos que se deben llevar a cabo tanto en la secuencia de arranque como en la de parada, mientras que en el capítulo IV, se analizan los problemas de interrupción que se pueden dar por presencia de los diferentes tipos de bloqueos y se hace un análisis de una falla ocurrida en la central.

# Capítulo 1

## DESCRIPCION GENERAL DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA DAULE PERIPA "MARCEL LANIADO DE WIND"

### 1.1. INTRODUCCION

La central hidroeléctrica "MARCEL LANIADO DE WIND" forma parte de un gran proyecto de propósito múltiple, en el cual el agua del embalse no solo se utiliza para la generación de energía eléctrica, sino también para el control de inundaciones, control de salinidad, suministro de agua para: riego, abastecimiento poblacional urbano e industrial, a través de obras de trasvases suministra de agua a La Esperanza y Posahonda.

El embalse está ubicado a 190 Km de la ciudad de Guayaquil y se forma de la confluencia de los ríos Daule y Peripa.



La central "MARCEL LANIADO DE WIND" tiene una capacidad de embalse de 6000 millones de m<sup>3</sup> y una capacidad nominal de generación de 213 MW, lo que corresponde a una producción de energía aproximada de 600 millones de KWH por año, Energía que proporciona al país a través del sistema de transmisión nacional interconectado.

A continuación se describen los principales equipos tanto hidromecánicos como eléctricos, que constituyen la central.

## **1.2. EQUIPOS QUE CONSTITUYEN LA CENTRAL HIDROELECTRICA**

Los equipos más importantes que constituyen la central y que se detallan a continuación son:

- Equipos Hidromecánicos
- Equipos Eléctricos.

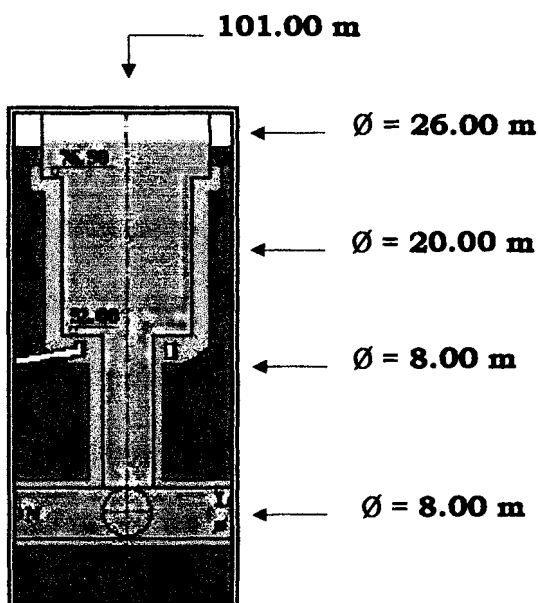
### **1.2.1. EQUIPOS HIDROMECAVICOS**

Los equipos hidromecánicos son los siguientes:

### a) Chimenea de Equilibrio

La chimenea de equilibrio tiene como propósito controlar los fenómenos transitorios hidráulicos ( golpes de ariete ) que se producen en el túnel de presión debido a las variaciones en la carga.

Esta chimenea está ubicada a 33 m a la derecha del túnel, tiene una longitud total de 49 m y un diámetro que varía discretamente 20 y 26 m en función de su altura. En la figura 1.1 se muestran los niveles y diámetros respectivos de la chimenea de equilibrio.



**Fig. 1.1: Niveles y Diámetros de la Chimenea de Equilibrio**

Como se observa en la figura su diámetro es de 20 m desde la cota 52 msnm (fondo). hasta la 76.50 msnm. y de 26 m desde la cota 76.50 msnm. hasta la cota 101 msnm (cima), sus paredes están compuestas de un blindaje de acero y una sección de hormigón armado de 1 m de espesor, Hasta la cota 76.50 m la chimenea va enterrada y hasta la cota 101 msnm sobresale del suelo (únicamente la chapa de acero).

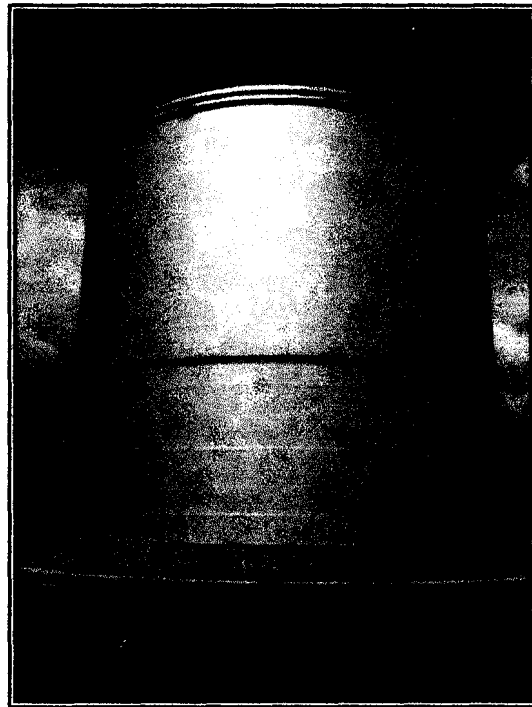
En la figura 1.1 se puede observar un túnel, el cual se encuentra en la cota 52 msnm, llamado túnel de drenaje, el mismo que tiene como objetivo evacuar el agua que se almacena alrededor de la chimenea, producto de las filtraciones del terreno, evitando de esta manera la sobre presión del agua y el deterioro del concreto de la chimenea.

En un principio esta chimenea estaba diseñada solo hasta la cota 76.5 msnm. Ya que la central se la diseñó solo para dos unidades, pero después se incluyó una tercer unidad y como no era suficiente con ese nivel de chimenea para un posible rechazo de carga de las tres unidades, se realizó la fabricación y el montaje de la chapa de acero.





La chimenea de equilibrio se conecta con la tubería de presión a través de una derivación en forma de "T" de 8 m de diámetro. Esta derivación está conformada por tres juntas oscilantes completas, con empaques, pernos, tuercas y puerta estanca. En la figura 1.2 se muestra una foto de la chimenea de equilibrio en su proceso final de construcción.



**Fig. 1.2: Chimenea de Equilibrio en su Proceso Final de Construcción**

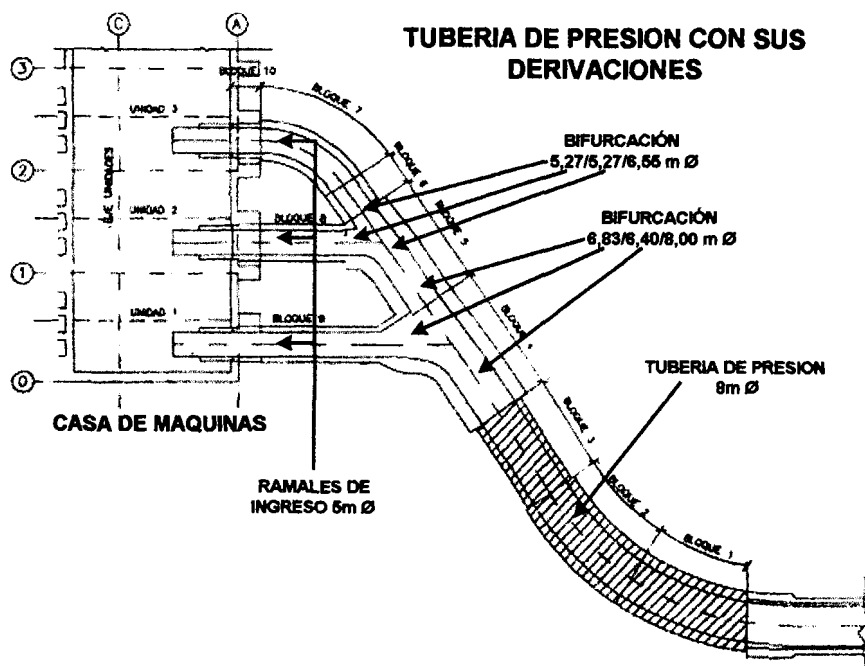
## **b) Tubería de Presión**

La tubería de presión tiene como propósito la conducción forzada del agua desde la chimenea de equilibrio hasta la turbina.

Esta tubería de Presión esta provista de un blindaje de acero cuya longitud es de 672 m, medida desde la toma de agua hasta la válvula mariposa (casa de máquinas).

La tubería incluye tres conos de reducción, codos, ramales y dos bifurcaciones antes del ingreso a la casa de máquina. Debido a que la central está constituida por tres unidades de generación y debido a condiciones económicas existe solo una tubería de presión, fue necesario colocar las derivaciones respectivas, con el objetivo de obtener tres ramales de ingreso a la casa de máquinas, cada uno de ellos con su respectivos sistema de seccionamiento (válvula mariposa), lo cual permite sacar de servicio una unidad ya sea por mantenimiento preventivo y/o correctivo sin afectar la continuidad de servicio de las otras dos unidades.

En la figura 1.3 se presenta la vista de planta de las derivaciones existentes en la tubería de presión.

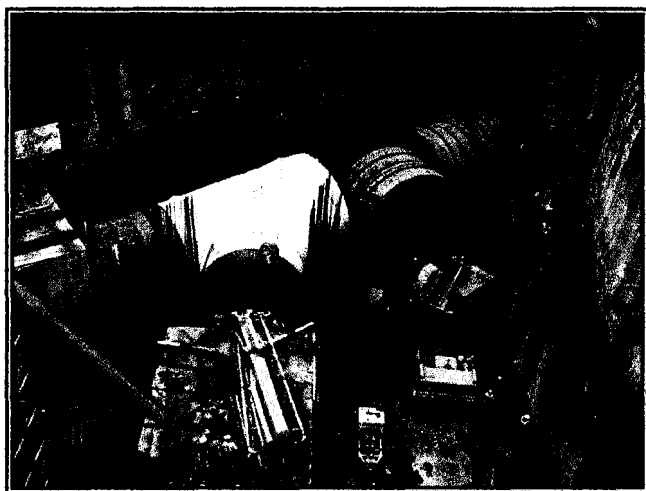


**Fig. 1.3: Bifurcaciones de la Tubería de Presión**

Como se puede observar en la figura, la tubería de presión inicia su recorrido con un diámetro de 8 m, hasta llegar a la primer bifurcación donde su diámetro se reduce a 6.83 m y finalmente en la segunda bifurcación su diámetro se reduce a 5.3 m.

De las dos bifurcaciones se obtiene como resultado tres ramales de 5 m de diámetro cada uno. Estos son los encargados de conducir el flujo de agua hasta cada una de sus respectivas unidades.

Desde el punto de vista constructivo se puede apreciar que las derivaciones que forman parte de la tubería de presión son curvas, esto se lo ha realizado con el propósito de reducir al máximo las caídas de presión, aun cuando su costo se incremente relativamente en comparación con una de ángulo recto. En la figura 1. 4 se muestra un tramo del conjunto tubería de presión – bifurcación – primer ramal, en su proceso de construcción con diámetros de 8 m, 6,83 m y 5 m, respectivamente.



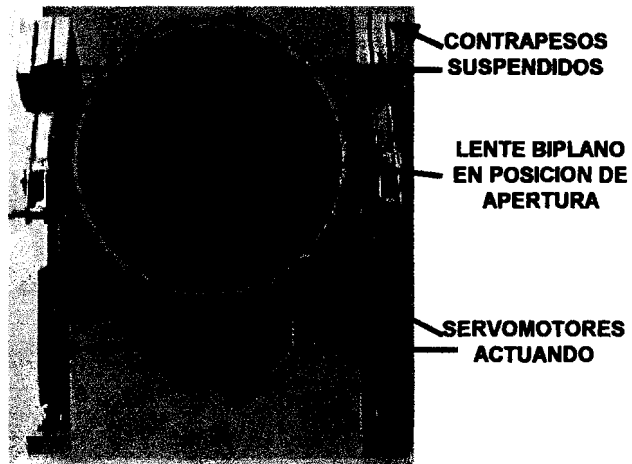
**Fig. 1.4: Bifurcaciones en su Proceso de Construcción**

### **c) Válvula Mariposa**

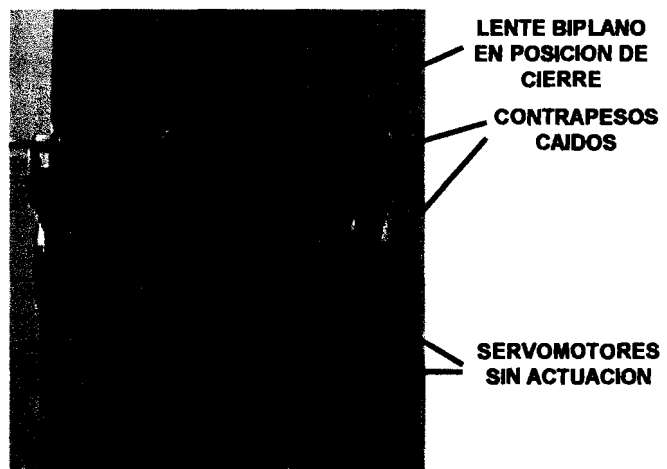
Tiene como objetivo abrir o cerrar el paso al flujo de agua que va desde el ramal de ingreso hasta la turbina. La válvula mariposa está instalada entre la conducción forzada y la turbina, En posición de cierre, la válvula mariposa garantiza el sello del agua de lado aguas arriba y en posición de apertura, permite el paso total del caudal. La válvula mariposa opera normalmente abierta y puede actuar como dispositivo de seccionamiento o como dispositivo de seguridad. Cuando se la utiliza para sacar de servicio a una unidad ya sea por mantenimiento preventivo o correctivo actúa como dispositivo de seccionamiento y cuando se cierra por fallas eléctricas o mecánicas como cortocircuitos, incremento inusual del caudal del agua, alta vibración en cojinetes de la turbina o del generador, etc. actúa como dispositivo de seguridad.

La válvula es de tipo de eje horizontal con lente biplano de 4.8 m de diámetro que gira “en apertura” por medio de dos servomotores de aceite de simple efecto, y “en cierre” por medio de dos contrapesos sujetos a la extremidad de las

respectivas palancas de mando. La lente, desde la posición horizontal, (válvula abierta) gira 90° para alcanzar la posición vertical (válvula cerrada). Tal como se muestra en las figuras 1.5a. y 1.5b. respectivamente.



**Fig. 1.5a: Válvula Mariposa en Posición de Apertura**



**Fig. 1.5b: Válvula Mariposa en Posición de Cierre**

La válvula mariposa está conectada, aguas arriba, a la conducción forzada y, aguas abajo, por medio de una junta de desmontaje, a la brida de embocadura de la caja espiral de la turbina.

Un tubo de desvío (by-pass) pone en conexión el lado aguas arriba con el lado aguas abajo de la válvula; este tubo está previsto de una válvula de cierre (normalmente en posición abierta) y de una válvula de desvío que es controlada por un servomotor de aceite.

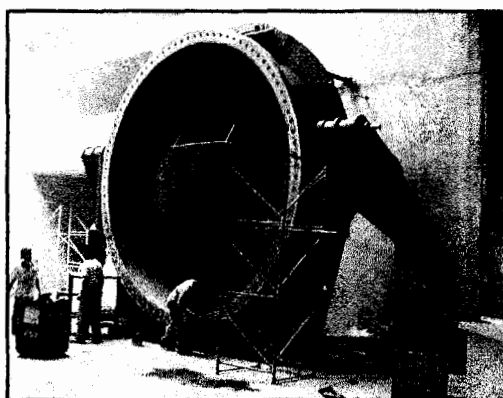
El tubo de desvío permite el relleno de la caja espiral, si es necesario, y equilibrar las presiones durante las maniobras de apertura y cierre de la válvula. El aceite de maniobra para el servomotor de la válvula de desvío y para los servomotores de la válvula mariposa procede del grupo de bombeo de turbina.

En la figura 1.6 se muestra una foto de la válvula mariposa y de los componentes del sistema al cual está acoplada. Y en la figura 1.7 se muestra la válvula mariposa antes de ser instalada.





**Fig. 1.6: Válvula Mariposa Acoplada al Sistema**



**Fig. 1.7: Válvula Mariposa Antes de ser Instalada**

#### **d) Turbina**

Es la máquina motriz que tiene como objetivo aprovechar la energía que se desarrolla por desplazamiento del agua entre dos niveles diferentes.



La turbina esta constituida principalmente por el distribuidor y el rodete. El flujo de agua llega desde los ramales de la tubería de presión hasta el distribuidor a través de la caja espiral / predistribuidor.

Entre las planchas superior e inferior del predistribuidor se encuentran 24 paletas fijas que tienen la función de encauzar uniformemente el agua al distribuidor. En la figura 1.8 se muestra una foto de la caja espiral.

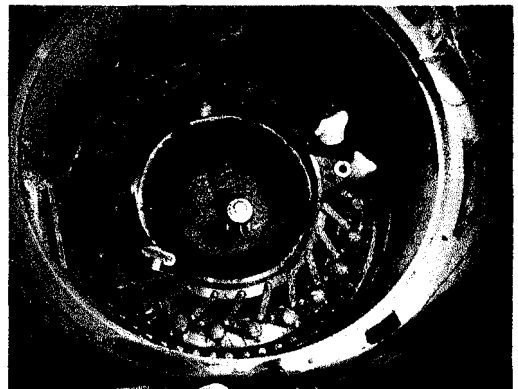


**Fig. 1.8: Caja Espiral en su Proceso de Montaje.**

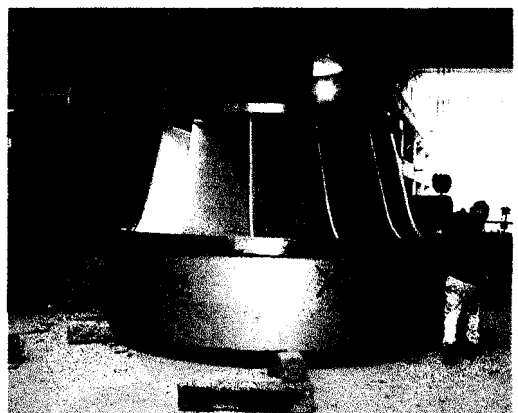
En el distribuidor se encuentran 24 paletas directrices (álabes móviles) de acero inoxidable que sirven para regular el flujo de agua hacia el rodete de acuerdo a las condiciones de carga de la unidad. Los álabes móviles son accionados

por un anillo móvil y éste por dos servomotores que forman parte del control hidráulico de velocidad. Cuando estos álabes móviles tienen sus caras prácticamente paralelas entre sí, se tiene el máximo flujo de agua hacia el rodete y en la posición en la que estos álabes móviles se tocan se tiene la posición de cerrado y no hay flujo de agua hacia el rodete. En la figura 1.9 se muestra al distribuidor y en la figura 1.10 se muestran los álabes fijos del rodete.

**Fig. 1.9: Distribuidor de la Turbina**



**Fig. 1.10: Alabes Fijos del Rodete**



La central está compuesta por tres turbinas tipo Francis de eje vertical acoplada cada una con un generador síncrono trifásico. Esta turbina es del tipo reacción (El agua no incide normalmente sobre el álabe sino que se desliza sobre el poniéndolo en movimiento y haciendo girar al rotor), radial axial (el agua entra en sentido radial y sale en sentido axial). Las características más importantes de esta turbina son las siguientes:

**Tipo:** Francis de eje vertical

**Número:** 3

**Caída de referencia por grupo:** 54.62 m

**Caudal nominal por turbina:** 132.5 m<sup>3</sup>/s

**Potencia bajo la caída de referencia:** 72.45 Mw

**Velocidad sincrónica:** 163.64 rpm

**Velocidad específica:** 270.51m\*Kw / 71ft - Hp

**Cota de ubicación del rodete:** 16.50 m

**Regulador:** P.I.D. Electrohidráulico

**Tiempo de cierre:** 6 segundos

**Tiempo de amortiguación:** 2 segundos

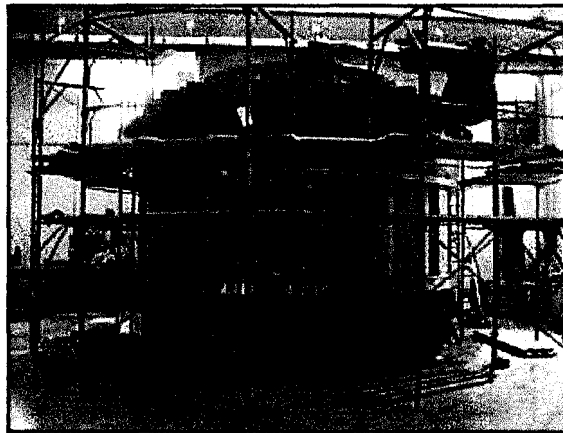
**Diámetro:** 4.80 m

**Funcionamiento:** Servomotores de aceite

**Compuerta del tubo de aspiración: Acero soldado**

**Compuerta por cada tubo de aspiración: 2**

En la figura 1.11 se muestra la Turbina como un paquete completo.



**Fig. 1.11: Turbina Francis Totalmente Ensamblada**

#### **e) Grúas**

En la Central existen varios tipos diferentes de grúas cada una de ellas para un único y diferente fin.

Así por ejemplo en la casa de maquinas existen dos grúas, una principal y una auxiliar que sirven para el montaje y desmontaje de cada uno de los equipos dentro de la casa de

máquinas. También existe la grúa para descarga de equipos: puente la cual se la utiliza para las labores de mantenimiento en el área exterior. A continuación se presentan las características de cada una de las grúas con su gráfico respectivo.

- **Grúas de la Casa de Máquinas:**

**Grúa Principal**

**Número: 1**

**Número de ganchos: 1 principal / 1 auxiliar**

**Capacidad de malacate principal y auxiliar: 280 t/50 t**

**Luz: 21.60 m**

**Longitud de vía: 98 m**

**Recorrido Vertical del Gancho: 16.9 m/23.8 m**

En la figura 1.12 se muestra la grúa principal de la casa de máquinas.

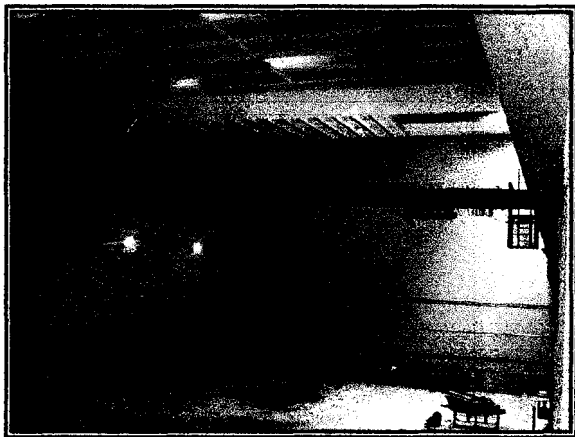


**Fig. 1.12: Grúa Principal de la Casa de Máquinas**

### **Grúa Auxiliar**

**Número: 1**

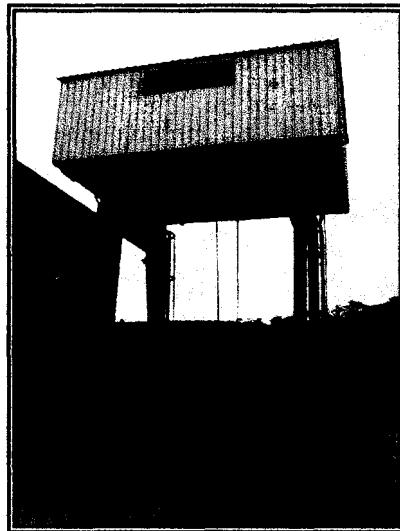
**Capacidad: 5 toneladas**



**Fig. 1.13: Grúa Auxiliar de la Casa de Máquinas**

**Grúa para Descarga de Equipos: Puente****Capacidad del malacate principal y auxiliar: 50 t/10 t****Luz: 13 m****Recorrido vertical de gancho: 26 m./25.3 m.****Grúa para tubos de aspiración: Pórtico****Capacidad del malacate: 7,5 t.****Luz: 4 m**

En la figura 1.14 se muestra la grúa para descarga de equipos.



**Fig. 1.14: Grúa para Descarga de Equipos**

### **Grúa para Tubos de Aspiración: Pórtico**

Capacidad del malacate: 7.5 Tn

Luz: 4 m.

### **1.2.2. EQUIPOS ELECTRICOS**

Los equipos eléctricos más importantes que constituyen la central y que se describen a continuación son:

#### **a) Generador**

El generador es el equipo eléctrico que tiene la función de transformar la energía motriz de las turbinas en energía eléctrica.

La central hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind está formada por tres generadores sincrónicos trifásicos, los cuales se encuentran instalados en la cota 26 msnm y sus características principales se muestran a continuación:



**Generadores:** Paraguas de eje vertical

**Número:** 3

**Potencia nominal:** 78.89 MVA

**Máxima continua:** 83.82 MVA

**Tensión nominal:** 13.8 + 5% KV

**Factor de potencia:** 0.90

**Frecuencia:** 60.0 Hertz

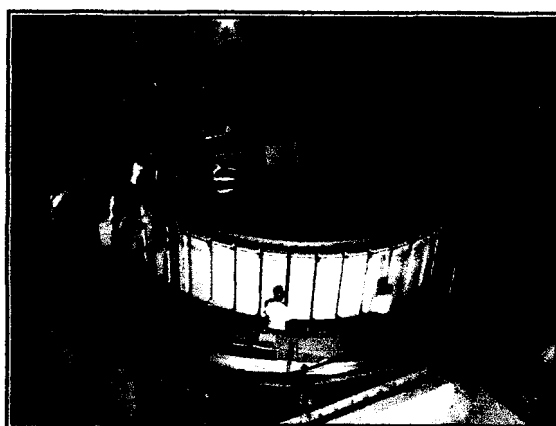
**Fases:** 3

**Velocidad:** 163.64 rpm.

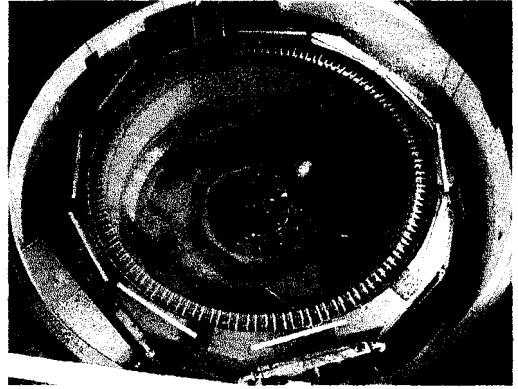
**Números de polos:** 44

En la Figura 1.15 se puede apreciar al rotor en el momento que ingresa en el estator del generador y en las figuras 1.16 y 1.17 se muestra el rotor y el estator del generador por separado.

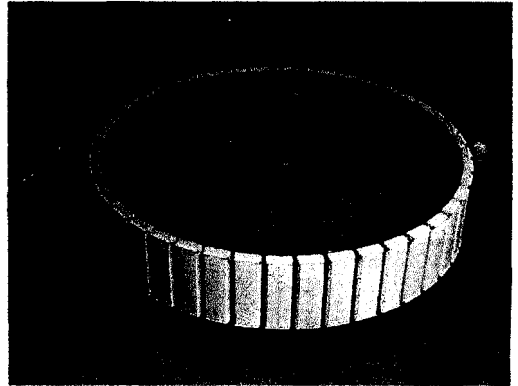
**Fig. 1.15: Generador**  
**(rotor – estator)**



**Fig. 1.16: Estator**



**Fig. 1.17: Rotor**



## **b) Transformador**

Los transformadores tienen como objetivo elevar el voltaje desde su valor de generación (13.8 KV) hasta su valor de Transmisión (138 KV). La central hidroeléctrica tiene tres transformadores de potencia de 85 MVA cada uno, son de fabricación Ansaldo-Coemsa de Brasil. Las características

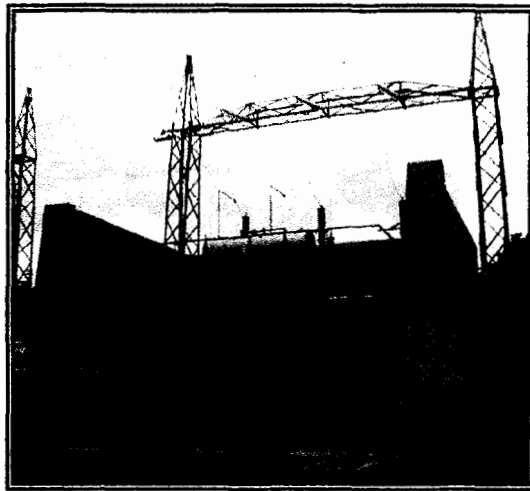
de los transformadores se presentan a continuación en la tabla I.

Tipo		TOV - FFA	
Número		3, trifásicos	
Grupo de conexiones		Ynd1	
Capacidad			
Alta tensión		85 MVA	
Baja tensión		85 MVA	
Nivel de aislamiento			
Impulso rayo cresta		650/95	95 kV
Baja frecuencia (rms)		275/38	38 kV
Rango de tensión nominal			
Baja tensión		13.8 kV	
Alta tensión		138 ± 2 x 2.5% kV	
Volumen de aceite		19100 litros	
Masa de aceite		16800 Kg	
Masa parte activa		41600 Kg	
Masa tanque y accesorios		18600 Kg	
Masa total		77000 Kg	
Cambiador de tomas			
Alta tensión			
Posición	Conexiones	Voltios (V)	Amperios (A)
5	a - b	144900	338,7
4	b - c	141450	346,9
3	c - d	138000	355,6
2	d - e	134500	364,7
1	e - f	131100	374,3
Baja Tensión		13800	3556,1
Tipo de enfriamiento		Circulación forzada de aceite y aire FOA	

**Tabla I: Datos Técnicos del Transformador**

Los transformadores están instalados a la intemperie, sobre el piso de la casa de máquinas, en la cota 42 msnm, dentro de celdas contra explosión, construidas de paredes de hormigón de gran espesor. En la figura 1.18 se muestra a

uno de los transformadores en funcionamiento normal, también se puede apreciar la construcción de la celda de hormigón.



**Fig. 1.18: Transformador de Potencia 85 MVA**

Cada transformador tiene un sistema de protección contra incendios con agua nebulizada. Los aisladores de Alta Tensión y del neutro son de porcelana de tipo capacitivo en papel resinado. Los aisladores de Media Tensión en porcelana y cuerpo en papel resina. Los terminales están conectados al ducto de barras de fases aisladas.

Tiene un núcleo formado por láminas de acero al silicio de granos orientados en frío, teniendo como características principales alta permeabilidad y bajas pérdidas específicas. Cada lámina es recubierta por una película aislante resistente al calor y no afectada por el aceite aislante. Los conductores usados para los devanados son de cobre electrolítico trefilado con cantos redondeados. El aislamiento es obtenido por recubrimiento con cintas de papel aislante. En los cables transpuestos, los conductores son recubiertos con resina.

### **c) Subestacion**

La subestación sirve como enlace entre la central de generación y las líneas de transmisión.

La subestación se alimenta por medio de tres transformadores de potencia de 85 MVA, 13.8/138 KV desde los generadores de la central. La subestación se encuentra implantada sobre un terraplén a 20 m de la central en la cota 42 msnm, es de tipo convencional con aislamiento en aire.

El esquema adoptado para esta subestación tiene 8 posiciones de interrupción, en arreglo de doble barra con un solo disyuntor y 5 seccionadores, sirviendo uno de estos como desvío, excepto en el caso de los generadores y acoples de barras que emplean solamente 2 seccionadores.

El arreglo de barras consta de :

- 4 posiciones de interrupción de líneas a 138 kV: 2 para la subestación Quevedo y 2 para la subestación de Portoviejo.
- 3 posiciones de 138 kV de los generadores.
- 1 posición de 138 kV para acople de barras.

El equipo utilizado es de tipo convencional con disyuntores aislados en SF6. En la figura 1.19 se muestra una foto de la subestación.



**Fig. 1.19: Subestación  
de la Central**

Los principales equipos eléctricos instalados en la subestación son:

- **Disyuntor:** Son de fabricación ABB, en gas de hexafluoruro de azufre SF<sub>6</sub>, tipo LTB - 145, con mando tripolar de apertura y cierre de resortes. Los resortes de apertura se cargan durante la operación de cierre del equipo, de forma tal que cuando el disyuntor está cerrado siempre está almacenada la energía para su disparo. El resorte de cierre es cargado al terminarse la maniobra de cierre por medio de un motor de 125 Vcc. Su capacidad nominal de corte de cortocircuito es 20 KA.
- **Transformadores de Corriente:** Son de fabricación ABB, tipo IBM 145, de tensión primaria  $138/\sqrt{3}$  kV, con corriente nominal de 400 A; los transformadores de corriente pueden ser sobrecargados en los siguientes límites, sin alterar su precisión.

560 A	permanente
650 A	durante 2 horas
700 A	durante 1 hora



Su corriente secundaria nominal es de 5 A, con cuatro devanados secundarios: uno de 100 VA clase 0.5 FS5 para medición y tres de 200 VA clase 5P20 para protección.

- **Transformadores de Tensión Capacitiva:** Son de tipo capacitivo, su fabricación es ABB, tipo CPB - 145, tanto en las salidas de línea, como en barras, con capacidad de 19000 pF y de tensión primaria de  $138/\sqrt{3}$  KV. Tienen dos devanados secundarios: uno de 100 VA clase 0.5 para medición y otro de 400 VA clase 3P para protección.
- **Pararrayos:** Son de fabricación ABB, tipo EXLIM Q 120 CM 145 de óxido metálico, son instalados en la salida de las líneas, y son equipos con mediciones de descargas y miliamperímetros para medición de la corriente de dispersión.

Los pararrayos están instalados arriba de la celda corta-fuego de los transformadores de potencia, para su protección.



- **Sistema de Puesta a Tierra:** El sistema de puesta a tierra de la subestación tiene un conductor de cobre desnudo de  $120 \text{ mm}^2$  que constituyen la malla primaria, las uniones tienen soldaduras exotérmicas en sus conexiones cobre-cobre y cobre-hierro, su resistencia es inferior a 1 ohmio y puede soportar una corriente de cortocircuito a tierra durante 2 s. Las derivaciones están hechas con conductores de cobre desnudo de  $90 \text{ mm}^2$  para constituir una malla de tierra secundaria. Las bandejas tienen una barra de cobre de puesta a tierra que corre por toda la subestación.

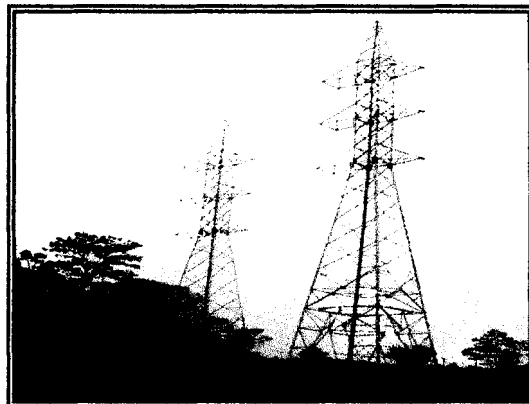
Los equipos electrónicos se conectan a tierra por medio de una barra de cobre que se conecta a la malla principal.

**Cables Aéreos:** Los conductores aéreos son de aluminio-acero (ACSR) de 397.5 mcm para líneas y barras, y acero galvanizado para los cables de guardia.

#### d) LINEAS DE TRANSMISION

El conductor utilizado para las líneas de transmisión de 138 kV es ACSR, código BRANT de 397.5 MCM para las fases y un cable de acero galvanizado de 9.5 mm (3/8") de alta resistencia para el hilo de guardia, éstos se encuentran montados sobre una estructura de acero autosoportantes, cuyos ejes recorren paralelamente en una longitud aproximada de 13 Km por cada uno.

En la figura 1.20 se muestra una foto de una torre que sirve de soporte de las líneas de transmisión.

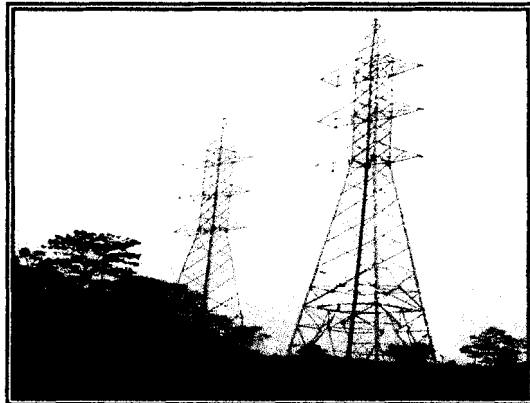


**Fig. 1.20: Líneas de Transmisión**

#### d) LINEAS DE TRANSMISION

El conductor utilizado para las líneas de transmisión de 138 kV es ACSR, código BRANT de 397.5 MCM para las fases y un cable de acero galvanizado de 9.5 mm (3/8") de alta resistencia para el hilo de guardia, éstos se encuentran montados sobre una estructura de acero autosoportantes, cuyos ejes recorren paralelamente en una longitud aproximada de 13 Km por cada uno.

En la figura 1.20 se muestra una foto de una torre que sirve de soporte de las líneas de transmisión.



**Fig. 1.20: Líneas de Transmisión**

El tipo de aisladores utilizados para soporte de líneas es de vidrio templado, clase ANSI 52 - 4, formando cadenas de aisladores de 10 elementos para anclaje y de 9 elementos para suspensión. La figura 1.25 muestra las torres que salen con líneas de 138 KV desde la central hacia los diferentes puntos de abastecimiento de energía eléctrica, como son las subestaciones Portoviejo y Quevedo, en dos dobles ternas de conductor.

# Capítulo 2

## **FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS QUE SE RELACIONAN CON LA SECUENCIA DE ARRANQUE Y PARADA DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA “MARCEL LANIADO DE WIND”**

### **2.1. SISTEMA DE CONTROL OLEODINAMICO**

Este sistema tiene como propósito controlar el funcionamiento de muchos equipos que actúan en el arranque y parada de la unidad.

El sistema como su nombre lo indica, realiza el control a través de aceite en movimiento y a una presión regulada.

El objetivo final de este sistema es controlar la apertura y cierre de la válvula mariposa y la velocidad de la turbina, logrando de una forma indirecta que la máquina gire.

Lo primero que realiza el sistema antes de suministrar el aceite, es la regulación de presión. Para entender como lo hace, se analizará los esquemas de los anexos 1.1 (grupo de aire comprimido y acumulación) y 1.2 (grupo de bombeo).

Del anexo 1.2., se puede observar que existe un reservorio de aceite y sobre él se encuentran dos moto – bombas (88 PR1 y 88 PR2), las cuales se encargan de enviar el aceite desde el reservorio hasta un tanque cilíndrico denominado acumulador de energía (AQ1) - anexo 1.1.

Las bombas trabajan en forma alternada y continua, lo cual significa que cuando se ejecuta el paso tres de la secuencia de arranque una de las acciones que realiza es el funcionamiento de solo una de las dos bombas (88 PR1 ó 88 PR2, pero no ambas al mismo tiempo), la cual permanecerá arrancada todo el tiempo que la unidad este en funcionamiento, mientras que la otra bomba permanecerá apagada dando respaldo a la primera.

El aceite que va desde el reservorio antes de llegar al acumulador de energía (AQ1) pasa por una serie de válvulas de las cuales se hablará a continuación.

Por ejemplo, si se supone que la bomba elegida en el arranque fue la 88 PR1, entonces el aceite circulará desde el reservorio hasta la válvula de retención r1 (anexo 1.2), al existir presión en el punto inferior de la válvula se levanta o comprime el resorte y permite el paso del aceite hasta la válvula v26. La cual es una válvula manual que debe estar siempre abierta y solo se cierra cuando la unidad está en mantenimiento.

Al estar abierta la v26 el aceite circula hasta la válvula de retención r3. al existir presión en el punto inferior de esta válvula se comprime el resorte y permite que el aceite continúe su trayectoria por la línea 1 (27F) hasta el acumulador de energía - anexo 1.1.

El acumulador de energía además de recibir aceite del reservorio, también recibe aire del sistema de aire comprimido.

Del acumulador a través de la válvula v8 sale una línea de aceite de control, este aceite pasa por un sistema de filtrado que garantizan su pureza y llega hasta la válvula de intermitencia (20 IN).

La válvula de intermitencia es un equipo especial, puramente mecánico y que regula la presión del aceite en el sistema entre dos límites (50 – 55) bar. Esta válvula funciona de la siguiente manera.

Como la bomba permanece prendida la presión en el interior del tanque acumulador se va incrementando hasta que llega a un valor de 55 bar que es el límite máximo de regulación, esta presión es censada por la válvula de intermitencia. Al censar esta presión alta la 20 IN hace que el aceite que está llegando a ella proveniente del acumulador de energía se descargue hacia al reservorio (líneas segmentadas en el anexo 1.1) y de esta manera deja sin presión la línea 11 que sale de la 20 IN y se dirige hacia la válvula de carga PCV – IN (anexo 1.1). Entonces al estar sin presión la línea 11, ya no hay fuerza sobre el resorte en el punto d3 por tal motivo la válvula PCV - IN se abre, como consecuencia todo el aceite que anteriormente enviaba la 88 PR1 hacia el acumulador de energía ahora se descarga hacia el reservorio (líneas segmentadas que salen de la PCV – IN y pasan por un sistema de filtrado y enfriamiento antes regresar al reservorio) debido a que el aceite al igual que la corriente eléctrica busca un camino más fácil para su recorrido.





Como el aceite proveniente de la 88 PR1 está recirculando hacia el reservorio y además como el aceite que va del AQ1 a la 20 IN se descarga también al reservorio, la presión en el interior del AQ1 empieza a bajar hasta que llega a un valor de 50 bar que es el límite inferior de presión.

Cuando la presión en el interior del AQ1 baja hasta 50 bar, la 20 IN censa esta presión y ya no permite la descarga de aceite hacia el reservorio, sino que lo envía a través de la línea 11, como consecuencia existe presión en esta línea y por lo tanto una fuerza que elonga el resorte comprimido de la PCV - IN, de tal manera que la válvula PCV – IN se cierra evitando que el aceite proveniente de la 88 PR1 se descargue al reservorio. Nuevamente el aceite buscará un camino más fácil para su recorrido y este es a través de la válvula de retención r3 hacia el AQ1, esto lo hará hasta que la presión en el interior del tanque llegue a su límite máximo (55 bar). Cumpliéndose de esta manera un ciclo de regulación de la presión del aceite.

De esta forma se tiene un aceite con una regulación de presión que es periódica y que varía entre 50 – 55 bar. Listo para ser usado en el momento que el sistema lo requiera. Que es inmediatamente después

que la válvula de aislamiento o de inserción (20Q) se abre para alimentar a los diferentes puntos del sistema.

La apertura de la válvula de aislamiento (20Q) es controlada a través de la electroválvula (S20Q), que se encuentra en el tablero de mando de la válvula mariposa y regulador (anexo 1.5). Cuando ésta se excita (paso 4 de la secuencia de arranque) envía una señal de aceite a presión por la línea 14, este aceite llega hasta la válvula de aislamiento provocando su apertura.

Cuando la válvula de aislamiento (20Q) se abre, el aceite procedente del reservorio y bombeado por la 88 PR1 ya no va al AQ1, sino que circula hasta los diferentes puntos de alimentación para sus respectivos usos, debido a que la válvula de aislamiento 20Q está abierta y permite el paso del mismo.

La válvula de aislamiento está provista de una válvula de control (iQC1) anexo 1.3 (anillo de regulación del distribuidor) que causa el cierre del distribuidor en caso de caída de presión en el circuito de mando de la válvula de aislamiento.

Cuando la central está fuera de servicio la válvula de aislamiento 20Q se cierra para dejar con presión todo el sistema. El cierre de esta válvula ocurre cuando se ejecuta el paso 19 de la secuencia de parada.

La válvula de arranque y descarga (PCV 1-2), mandada por un electrodistribuidor (S 1-2), colocada en el envío de cada bomba, permite el arranque de la bomba de carga escogida en dicha fase, la conmutación del electrodistribuidor es mandada por el regulador electrónico.

Una válvula de seguridad (nQ1-2), es colocada en el envío de cada bomba como limitadora de presión para evitar sobrecargas en las bombas en caso de funcionamiento anómalo del circuito de envío.

Las dos bombas envían aceite en presión al acumulador (en forma alternada y continua). A través de las válvulas de retención (r1 y r3) ó (r2 y r3) dependiendo de cual de las dos bombas está en operación. (ver anexo 1.2).

Los relés de presión 63 PR1 y 63 PR2 determinan la presión de las bombas 88 PR1 y 88 PR2 respectivamente. Estos funcionan de la

siguiente manera: Si falta la bomba elegida en la fase de arranque activa la alarma retardada (15 sg.) y el arranque de la segunda bomba. Si se para de manera accidental la bomba elegida, activa el arranque de la segunda bomba. Si se paran ambas bombas activa la parada de emergencia del grupo.

El termostato "38TS8" funciona de la siguiente manera: cuando la temperatura del aceite es alta (50°C) activa la señal de alarma, cuando la temperatura del aceite es demasiado alta (55°C) determina la parada del grupo.

Los indicadores de nivel LS3.LL Y LS3.HH con contactos eléctricos intervienen por medio de la activación de los micro interruptores en correspondencia a los valores planteados. Si el aceite en el interior del reservorio alcanza el nivel máximo, el (LS3. HH) activa la señalización de alarma y parada y si el aceite en el interior del reservorio alcanza el nivel mínimo, el (LS3.LL) activa la señalización de alarma y parada.

El nivel de aceite y la presión en el acumulador durante el funcionamiento normal, vienen controlados por la válvula de seguridad n6 y por el transductor de nivel (LS2).



El filtro doble para el aceite que alimenta los circuitos de control y las electroválvulas es instalado en la pared lateral del reservorio.

El filtro está equipado de indicador eléctrico de obstrucción y de válvula de desvío calibrada para la calibración en el elemento filtrante.

El enfriamiento del aceite del grupo de bombeo se lo realiza por medio de un intercambiador de calor (HE1 – HE2)

Los símbolos que contienen la leyenda GIn (GI1 – GI20) son tomas de presión, donde se puede colocar un manómetro y determinar la presión de ese punto en ese instante.

Los usos respectivos que tiene el aceite una vez que pasa por la válvula de aislamiento son los siguientes:

Línea 2 : Línea de **operación** o **fuerza** de aceite que alimenta al regulador hidráulico de velocidad de la turbina (anexo 1.3.) y que permite la activación de los servomotores que mueven el anillo de regulación de los álabes móviles.

Línea 3 : Línea de **operación o fuerza** de aceite que alimenta al sistema de apertura y cierre de la válvula mariposa (anexo 1.6) y que permiten la activación de los servomotores que levantan el contrapeso que actúa sobre la válvula mariposa.

Línea 15 : Línea de aceite que alimenta los controles del tablero de mando de la turbina y de la válvula mariposa (anexo 1.5).

Línea 16 : Línea de aceite que alimenta los controles del anillo de regulación del distribuidor (anexo 1.3.).

Línea 17 : Línea de aceite que alimenta los controles del grupo control de velocidad (anexo 1.4).

Con el propósito de entender el funcionamiento del aceite en la regulación de velocidad de la turbina, se analizará el anexo 1.3. Del cual se puede observar que el aceite proveniente del grupo bombeo (anexo 1.2) que sale por la línea 2 (línea de aceite de fuerza) cuando la válvula de aislamiento está abierta, llega directamente a la válvula de distribución (DT).

El control de apertura o cierre de los alabes de la turbina se lo realiza mediante la Válvula de Distribución (DT), la que controla la rotación del Anillo de Distribución, mediante la operación de dos servomotores.

La Válvula de Distribución (DT) es controlada por la Servoválvula Eléctrica (SVE-P3) y por el regulador electrónico de velocidad. La (SVE – P3) a su vez es comandada por el Regulador electrónico de Velocidad, el cual se activa en el paso 8 de la secuencia de arranque, éste envía una señal de 4 a 20 miliamperios a la Servoválvula, la señal de corriente es variable y depende de: la Potencia o apertura que se quiera suministrar o de la velocidad que se quiere mantener. (Potencia, Frecuencia, y Apertura son tres canales de regulación).

Con una señal de 4 a 20 miliamperios la SVE-P3 se comporta como un transductor, ya que modifica la señal eléctrica en una señal modulada de Presión, que es enviada a la Válvula de Distribución (DT). Ésta causa la apertura o cierre de los alabes por dos líneas de tuberías que inyectan aceite a presión a los servomotores, originando la rotación del Anillo de Regulación (anexo 1.3).

Mientras una línea esta en presión (rotando el anillo en una dirección) la otra esta despresurizada o viceversa. Nunca pueden estar las dos

líneas con presión de aceite ya que el efecto sería nulo y por tanto el anillo no girará.

La válvula de emergencia (De), es una válvula de respaldo en caso que falle la válvula de distribución.

En el anillo de Regulación se encuentran mecánicamente acoplados los álabes, los cuales se abren o se cierran dependiendo de la rotación del anillo.

En conclusión al controlar el movimiento del anillo de regulación por medio de los servomotores, quienes a su vez son controlados por la DT que se encarga de distribuir el aceite, también se está controlando la apertura o cierre de los alabes.

Previamente al movimiento de los servomotores se produce el desbloqueo de los mismos, a través de una señal de control eléctrica que viene del regulador electrónico de velocidad (línea 53) y a través de una señal de control de aceite que viene desde el tablero de mando (línea 19) anexo 1.5. Esta señal de control de aceite es comandada por medio de la servoválvula Eléctrica (S65). La cual cuando es activada (paso 7 de la secuencia de arranque) envía aceite a presión por la línea 19, el mismo que comprime el resorte de la válvula HTD,



como consecuencia el vástago de esta baja y se desbloquean los servomotores. El caso contrario ocurre cuando se ejecuta el paso 17 de la secuencia de parada, el cual quita la excitación de la servoválvula Eléctrica (S65), la cual a su vez se cierra y corta el paso de aceite por la línea 19, esto trae como consecuencia la elongación del resorte de la válvula HDT, lo que hace subir el vástago de esta y consecuentemente el bloqueo de los servomotores.

De la misma forma se revisará el funcionamiento del aceite en el control de la apertura o cierre de la válvula mariposa, para esto se analizará el anexo 1.6. Del cual se puede observar que el aceite proveniente del grupo bombeo (anexo 1.2) que sale por la línea 3 (línea de aceite de fuerza) cuando la válvula de aislamiento está abierta, llega directamente a la válvula de distribución (HQ – 20W). La cual es la encargada de distribuir el aceite a los servomotores que levantan el contrapeso que actúa sobre la válvula mariposa.

Antes de abrir la Válvula Mariposa se debe abrir la válvula de desvío (20BP) para equilibrar las presiones aguas arriba y aguas abajo de la Válvula Mariposa (20 W).



La válvula de desvío 20BP es controlada por la electroválvula S20BP que se encuentra en el tablero de mando de la válvula mariposa y regulador (anexo 1.5). Cuando ésta se excita, (lo cual ocurre cuando se ejecuta el paso 5 de la secuencia de arranque) envía una señal de aceite a presión por la línea 22 (anexo 1.5.), este aceite comprime el resorte de la 20 BP de modo que esta se abre, permitiendo la circulación del agua hacia el lado bajo de la válvula mariposa.

Una vez que las presiones arriba y abajo de la válvula mariposa son iguales, se excita la electroválvula de la válvula mariposa S20W (Paso 6 de la secuencia de arranque) y esta a su vez envía una señal de aceite a presión por la línea 23 a la válvula de distribución (HQ-20W). Esto permite que esta válvula se abra y deje pasar el aceite proveniente del grupo bombeo línea 3 anexo 1.6. Hacia los servomotores que levantan el contrapeso y de esta manera abren la válvula mariposa.

El aceite de la línea 3, antes de pasar a los servomotores, circula por la válvula unidireccional que sirve para hacer doble efecto (tiempo diferente para la apertura y cierre).



## **2.2. SISTEMA DE CIRCULACION DE ACEITE DEL COJINETE COMBINADO.**

Al igual que en el sistema de control oleodinámico de acumulación y bombeo, en este sistema se utiliza el aceite en movimiento, pero ya no con fines de control, si no con el propósito de lubricar y enfriar el cojinete, por tal motivo el sistema se activa desde el inicio de la secuencia de arranque de la unidad (paso tres) hasta la parada total de la misma (paso 20).

Para entender el funcionamiento de este sistema se analizará el esquema de la anexo 1.7.

En la figura se puede observar que existe un reservorio donde se acumula todo el aceite que se utiliza en el sistema, sobre este reservorio se encuentran instaladas dos moto – bombas (88 PC1 y 88 PC2) las cuales se encargan de enviar el aceite desde el reservorio hasta la cuba de los cojinetes.

El aceite de este reservorio también se utiliza para el sistema de inyección (línea 6) el cual se estudiará más adelante.

Las bombas trabajan en forma alternada y continua, lo cual significa que cuando se ejecuta el paso tres de la secuencia de arranque una de las acciones que realiza es el funcionamiento de solo una de las dos bombas (88 PC1 ó 88 PC2. Pero no ambas a la ves), la cual permanecerá arrancada todo el tiempo que la unidad este en funcionamiento, mientras que la otra bomba permanecerá apagada dando respaldo a la primera.

El aceite que va desde el reservorio antes de llegar a la cuba de los cojinetes atraviesa por una serie de pasos que tienen su importancia y de las cuales se hablará a continuación.

El aceite circulará desde cualquiera de las dos bombas (dependiendo de cual fue escogida en el momento del arranque de la unidad). Por ejemplo, si se supone que la bomba elegida en el arranque fue la 88 PC1, entonces el aceite circulará desde el reservorio hasta la válvula de retención r10 (anexo 1.7), al existir presión en el punto inferior se abre la válvula y permite el paso del aceite hasta la válvula v79. La cual es una válvula manual que debe estar siempre abierta y solo se cierra cuando la unidad está en mantenimiento.

Al estar abierta la v79 el aceite circula hasta el intercambiador de calor (HE3 – HE4), el cual es el encargado de extraer el calor del aceite que se genera cuando este se encuentra en la cuba, producto de la rotación del eje turbina – generador.

El agua que utiliza el intercambiador de calor llega desde el sistema de agua de enfriamiento y esto es posible cuando se abre la válvula del agua de enfriamiento (88WR) lo cual ocurre cuando se ejecuta el paso tres de la secuencia de arranque.

Después de pasar por el intercambiador, el aceite pasa por un filtro duplex (O10 – O11), la función de este es garantizar la pureza del aceite antes de que ingrese a la cuba.

El aceite que sale del filtro pasa por un relé de flujo (96FS2) que es el encargado de informar al DCS si la circulación de aceite es normal o baja (esta es una de las condiciones para que se ejecute el paso cuatro de la secuencia de arranque). La señal que envía el 96FS2 es una señal de corriente de 4 – 20 mili amperios, dependiendo de cual sea el flujo de aceite.



Luego que sale del relé de flujo 96 FS2, el aceite entra a la cuba donde se encuentra el cojinete.

El exceso de aceite de la cuba (aceite a mayor temperatura) es regresado al reservorio por reboce y pasa a través de la válvula de dos vías v78.

Para impedir que durante el normal funcionamiento del cojinete, los vapores de aceite que se formen, puedan salir de la cuba, se ha previsto de un sello estático en contacto con el eje ubicado en la tapa de la cuba.

En la parte superior exterior de la cuba esta instalado un electro aspirador (O9), equipado con un filtro separador, que sirve para dividir los gases de aceite y convertirlos en líquidos, los cuales retornan nuevamente a la cuba. Cada uno de los cojinetes posee un electro aspirador, los cuales son arrancados en el paso 8 de la secuencia de arranque y es una de las condiciones para que se ejecute el paso 9.

De esta forma se mantienen los cojinetes lubricados y con una temperatura relativamente baja.

El resto de la instrumentación del sistema como sensores de nivel, termostatos, termómetros, etc., tienen como función suministrar señales a la cadena de bloqueos y al DCS, ya que si algunos de los parámetros que estos miden han salido del rango ajustado, actuarán los bloqueos respectivos.

En el cojinete guía de la turbina y del generador el aceite no recircula como en el cojinete combinado, sino que permanece estático en la cuba, con el mismo propósito de enfriar y lubricar el cojinete (anexo 1.9).

Como el aceite no tiene circulación, el enfriamiento de este se lo realiza a través de serpentines instalados en la cuba. En estos serpentines circula agua proveniente del sistema de enfriamiento.

Al igual que en el cojinete combinado, en la parte superior exterior de la cuba de los cojinetes guías, está instalado un electro aspirador, equipado con un filtro separador, que sirve para dividir los gases de aceite y convertirlos en líquidos, los cuales retoman nuevamente a la cuba.

El resto de la instrumentación del sistema como sensores de nivel, termostatos, termómetros, etc., tienen como función suministrar señales a la cadena de bloqueos y al DCS, ya que si algunos de los parámetros que estos miden han salido del rango ajustado, actuaran los bloqueos respectivos.

En el cojinete guía de la turbina y del generador el aceite no recircula como en el cojinete combinado, si no que permanece estático en la cuba, con el mismo propósito de enfriar y lubricar el cojinete (anexo 1.9).

Como el aceite no tiene circulación, el enfriamiento de este se lo realiza a través de serpentines instalados en la cuba. En estos serpentines circula agua proveniente del sistema de enfriamiento.

Al igual que en el cojinete combinado, en la parte superior exterior de la cuba de los cojinetes guías, esta instalado un electro aspirador, equipado con un filtro separador, que sirve para dividir los gases de aceite y convertirlos en líquidos, los cuales retornan nuevamente a la cuba.



En la parte inferior de la cuba se ha previsto un grifo con rampa para el vaciado del aceite.

### **2.3. SISTEMA DE INYECCION DE ACEITE DEL COJINETE COMBINADO.**

El sistema de inyección de aceite tiene como finalidad la lubricación total a presiones elevadas de las piezas sometidas a fricción en el cojinete de empuje, antes de que el grupo empiece a girar.

Con esto se logra la formación de una capa o película de aceite que soporta la carga total del grupo. Dicha película, de poco espesor (milésimas de milímetros), ha de mantenerse en el momento de arranque y parada total del mismo.

Para entender el funcionamiento de este sistema se analizará el esquema del anexo 1.8.

Como se mencionó anteriormente el sistema se alimenta desde el reservorio de aceite del sistema de circulación (línea 6). El aceite es bombeado desde dicho reservorio por medio de una de las moto –

bombas (88 PI1 y 88 PI2) las cuales se encargan de enviar el aceite hasta la cuba de los cojinetes.

Las bombas trabajan en forma alternada y no continua, lo cual significa que cuando se ejecuta el paso tres de la secuencia de arranque una de las acciones que realiza es el funcionamiento de solo una de las dos bombas (88 PI1 ó 88 PI2. Pero no ambas a la ves), la cual permanecerá prendida durante el arranque de la unidad hasta que se llegue al 90% de la velocidad nominal (paso 9 de la secuencia de arranque), y en la parada del grupo, ya sea normal o de emergencia, cuando la velocidad de rotación baje más del 90% de los giros nominales, hasta la parada de la unidad (velocidad menor del 5% de la nominal) paso 20 de la secuencia de parada.

Mientras que la bomba seleccionada en el arranque está en funcionamiento la otra bomba permanecerá apagada dando respaldo a la primera.

El aceite que va desde el reservorio antes de llegar a la cuba de los patines de empuje atraviesa por una serie de pasos que tienen su importancia y de las cuales se hablará a continuación.

El aceite circulará desde cualquiera de las dos bombas (dependiendo de cual fue escogida en el momento del arranque de la unidad). Por ejemplo, si se supone que la bomba elegida en el arranque fue la 88 PI1, entonces el aceite circulará desde el reservorio hasta la válvula de retención r8 (anexo 1.8), al existir presión en el punto inferior se abre la válvula y permite el paso del aceite hasta la válvula v72. La cual es una válvula manual que debe estar siempre abierta y solo se cierra cuando la unidad está en mantenimiento.

Al estar abierta la v72 el aceite circula hasta un filtro duplex (O7 – O8), la función de este es garantizar la pureza del aceite antes de que ingrese a la cuba.

El aceite que sale del filtro es sensado por un relé de presión (63 PS8) que es el encargado de informar al DCS, si la presión del aceite es normal o baja (esta es una de las condiciones para que se ejecute el paso cuatro de la secuencia de arranque), y determina lo siguiente:

- Debajo del 15% de la velocidad nominal, la intervención de la segunda bomba, pero el grupo se parará por la maniobra de emergencia.

- Sobre el 15% de la velocidad nominal, la intervención de la segunda bomba, pero el grupo no se parará por cuanto el cojinete supera la velocidad crítica de seguridad (auto-sustentación). La presencia de alarma estará en los demás pasos de la secuencia de arranque.

A más del relé de presión existe un manómetro (63 PI10) el cual hace visible la presión del aceite que va a la cuba.

Cuanto más elevada es la temperatura del aceite, su viscosidad disminuye, corriéndose el riesgo de que se rompa la película de aceite que se forma entre la piezas sometidas a fricción, llegándose a producir un agarrotamiento entre las mismas, por tal motivo es necesario refrigerarlo convenientemente. Por esta razón el aceite es enfriado por medio de serpentines por cuyo interior circula agua proveniente del sistema de enfriamiento.

Finalmente después de todo aquel recorrido el aceite llega hasta la cuba, en donde es utilizado para los propósitos antes mencionados y en el tiempo establecido, de acuerdo con la lógica de la secuencia de arranque y parada, la misma que se estudiará en el capítulo tres.

El resto de la instrumentación del sistema como sensores de nivel, termostatos, presostatos, termómetros, etc., tienen como función suministrar señales a la cadena de bloqueos y al DCS, ya que si algunos de los parámetros que estos miden han salido del rango ajustado, actuarán los bloqueos respectivos.

## **2.4. SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO**

El sistema de agua de enfriamiento tiene como propósito proporcionar agua a los diferentes sistemas de la central, con el fin de reducir la temperatura del aceite y de ciertos equipos que se encuentren en funcionamiento.

El sistema se alimenta de agua por medio de un sistema de tuberías que salen de los tres tubos de presión, antes de la válvula mariposa de cada una de las unidades. Luego pasa por sus respectivos filtros donde se evita el paso de impurezas demasiado gruesas.

Después de los filtros el agua llega hasta la válvula motorizada (88 WR), la cual se abre en el paso tres de la secuencia de arranque, para permitir el paso del agua a los diferentes requerimientos.



El resto de la instrumentación del sistema como sensores de nivel, termostatos, termómetros, etc., tienen como función suministrar señales a la cadena de bloqueos y al DCS, ya que si algunos de los parámetros que estos miden han salido del rango ajustado, actuaran los bloqueos respectivos.

En el cojinete guía de la turbina y del generador el aceite no recircula como en el cojinete combinado, si no que permanece estático en la cuba, con el mismo propósito de enfriar y lubricar el cojinete (anexo 1.9).

Como el aceite no tiene circulación, el enfriamiento de este se lo realiza a través de serpentines instalados en la cuba. En estos serpentines circula agua proveniente del sistema de enfriamiento.

Al igual que en el cojinete combinado, en la parte superior exterior de la cuba de los cojinetes guías, esta instalado un electro aspirador, equipado con un filtro separador, que sirve para dividir los gases de aceite y convertirlos en líquidos, los cuales retornan nuevamente a la cuba.

En la parte inferior de la cuba se ha previsto un grifo con rampa para el vaciado del aceite.

### **2.3. SISTEMA DE INYECCION DE ACEITE DEL COJINETE COMBINADO.**

El sistema de inyección de aceite tiene como finalidad la lubricación total a presiones elevadas de las piezas sometidas a fricción en el cojinete de empuje, antes de que el grupo empiece a girar.

Con esto se logra la formación de una capa o película de aceite que soporta la carga total del grupo. Dicha película, de poco espesor (milésimas de milímetros), ha de mantenerse en el momento de arranque y parada total del mismo.

Para entender el funcionamiento de este sistema se analizará el esquema del anexo 1.8.

Como se mencionó anteriormente el sistema se alimenta desde el reservorio de aceite del sistema de circulación (línea 6). El aceite es bombeado desde dicho reservorio por medio de una de las moto –

bombas (88 PI1 y 88 PI2) las cuales se encargan de enviar el aceite hasta la cuba de los cojinetes.

Las bombas trabajan en forma alternada y no continua, lo cual significa que cuando se ejecuta el paso tres de la secuencia de arranque una de las acciones que realiza es el funcionamiento de solo una de las dos bombas (88 PI1 ó 88 PI2. Pero no ambas a la ves), la cual permanecerá prendida durante el arranque de la unidad hasta que se llegue al 90% de la velocidad nominal (paso 9 de la secuencia de arranque), y en la parada del grupo, ya sea normal o de emergencia, cuando la velocidad de rotación baje más del 90% de los giros nominales, hasta la parada de la unidad (velocidad menor del 5% de la nominal) paso 20 de la secuencia de parada.

Mientras que la bomba seleccionada en el arranque está en funcionamiento la otra bomba permanecerá apagada dando respaldo a la primera.

El aceite que va desde el reservorio antes de llegar a la cuba de los patines de empuje atraviesa por una serie de pasos que tienen su importancia y de las cuales se hablará a continuación.



El aceite circulará desde cualquiera de las dos bombas (dependiendo de cual fue escogida en el momento del arranque de la unidad). Por ejemplo, si se supone que la bomba elegida en el arranque fue la 88 PI1, entonces el aceite circulará desde el reservorio hasta la válvula de retención r8 (anexo 1.8), al existir presión en el punto inferior se abre la válvula y permite el paso del aceite hasta la válvula v72. La cual es una válvula manual que debe estar siempre abierta y solo se cierra cuando la unidad está en mantenimiento.

Al estar abierta la v72 el aceite circula hasta un filtro duplex (O7 – O8), la función de este es garantizar la pureza del aceite antes de que ingrese a la cuba.

El aceite que sale del filtro es sensado por un relé de presión (63 PS8) que es el encargado de informar al DCS, si la presión del aceite es normal o baja (esta es una de las condiciones para que se ejecute el paso cuatro de la secuencia de arranque), y determina lo siguiente:

- Debajo del 15% de la velocidad nominal, la intervención de la segunda bomba, pero el grupo se parará por la maniobra de emergencia.

- Sobre el 15% de la velocidad nominal, la intervención de la segunda bomba, pero el grupo no se parará por cuanto el cojinete supera la velocidad crítica de seguridad (auto-sustentación). La presencia de alarma estará en los demás pasos de la secuencia de arranque.

A más del relé de presión existe un manómetro (63 PI10) el cual hace visible la presión del aceite que va a la cuba.

Cuanto más elevada es la temperatura del aceite, su viscosidad disminuye, corriéndose el riesgo de que se rompa la película de aceite que se forma entre la piezas sometidas a fricción, llegándose a producir un agarrotamiento entre las mismas, por tal motivo es necesario refrigerarlo convenientemente. Por esta razón el aceite es enfriado por medio de serpentines por cuyo interior circula agua proveniente del sistema de enfriamiento.

Finalmente después de todo aquel recorrido el aceite llega hasta la cuba, en donde es utilizado para los propósitos antes mencionados y en el tiempo establecido, de acuerdo con la lógica de la secuencia de arranque y parada, la misma que se estudiará en el capítulo tres.

El resto de la instrumentación del sistema como sensores de nivel, termostatos, presostatos, termómetros, etc., tienen como función suministrar señales a la cadena de bloqueos y al DCS, ya que si algunos de los parámetros que estos miden han salido del rango ajustado, actuarán los bloqueos respectivos.

## **2.4. SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO**

El sistema de agua de enfriamiento tiene como propósito proporcionar agua a los diferentes sistemas de la central, con el fin de reducir la temperatura del aceite y de ciertos equipos que se encuentren en funcionamiento.

El sistema se alimenta de agua por medio de un sistema de tuberías que salen de los tres tubos de presión, antes de la válvula mariposa de cada una de las unidades. Luego pasa por sus respectivos filtros donde se evita el paso de impurezas demasiado gruesas.

Después de los filtros el agua llega hasta la válvula motorizada (88 WR), la cual se abre en el paso tres de la secuencia de arranque, para permitir el paso del agua a los diferentes requerimientos.



Este sistema maneja todas las variables de la central de manera automática tales como el regulador de velocidad, las protecciones, el sistema de excitación, sincronización, servicios auxiliares, etc., con lo cual la operación de la central se vuelve más sencilla.

Este sistema esta constituido con la más reciente tecnología, conformado por dos niveles de automatización:

### **2.5.1. CONTROL DE PROCESO**

Este considerado como el primer nivel de automatización está conformado principalmente por los controladores programables multifuncionales (PMC), los cuales permiten adquirir y enviar señales analógicas o digitales, desde y hacia el campo.

Además el PMC permitirá llevar el control, regulación y realización de cálculos matemáticos, gestión de recetas, etc., de la central.

Los PMC se encuentran dedicados de manera particular a tres sectores, los cuales son:

- Un controlador por unidad (tres en total)
- Un controlador para la subestación
- Un controlador para los servicios auxiliares y presa

### **2.5.2. SUPERVISIÓN DE PROCESO**

Este segundo nivel se encuentra conformado por una estación de supervisión y programación; la cual permite tener una cobertura completa de todas las necesidades de programación y supervisión de la central (anexo 1.10).

Este nivel se encuentra conformado por:

- Seis estaciones – operador con pantalla y teclado
- Una pantalla retroproyectora
- Una impresora blanco y negro para el DCS
- Una impresora blanco y negro para el RCE (Registrador Cronológico de eventos)
- Una impresora de color



Operadores los cuales están encargados de la programación y continuidad de la gestión de almacenamiento de datos y eventos ocurridos en la central.

El operador podrá realizar un control de los datos desde el modo local (sala de control) o a distancia (centro de despacho por medio de un sistema de onda portadora).

Todos los datos serán enviados del campo ( área de la central donde se encuentran: elementos transmisores digitales y analógicos, señales cableadas, accionadores) a la base de datos (PDB) de los varios PMC instalados en la central.

Algunas de las principales aplicaciones que ofrece este sistema son:

- Comando y control de la central; este se encuentra configurado de una manera tal, que puede ejecutar comandos y tener el control absoluto de la central.
- Visualización de diagramas de cantidades físicas; las cuales, nos permiten observar diagramas relativos de cualquier

cantidad eléctrica o mecánica. Además es posible añadir a los gráficos “en línea” todas las variables archivadas, como por ejemplo: curvas temporales de pruebas y puesta en marcha de la central.

- Registrador Cronológico de eventos (RCE); este tiene la tarea de permitir la exacta reconstrucción de la secuencia cronológica de los eventos cuando ha ocurrido alguna falla y además se permite un registro por medio de la impresora blanco y negro.
- Alarmas; son enviadas al DCS y pueden ser visualizadas en la pantalla y registradas con la impresora del DCS blanco y negro.
- Instrumentos; se pueden visualizar en tiempo real y de manera digital en las pantallas de cada una de las mediciones registradas por los instrumentos tanto eléctricas como mecánicas.

- Programación y Configuración; aquí se puede realizar cualquier tipo de modificación a los programas del sistema de acuerdo a los requerimientos de la central.

La central cuenta con protecciones contra fallas de diversos tipos y orígenes, tales como el generador, transformador, subestación, servicios auxiliares, etc. Pero en la práctica se ha encontrado que la mayoría de los bloqueos que ha tenido la central, no han sido ocasionados por fallas de tipo eléctrica, si no mecánica, los cuales también tienen sus respectivas protecciones, como son: el eje, las válvulas, los cojinetes, etc

La central consta de protecciones mecánicas y protecciones eléctricas para los sistemas que la componen, siendo el DCS el encargado de recibir todas las señales que emiten éstas.

Cada una tiene sus contactos de disparo, o sea, relés que manejan bobinas de disparo en caso de ocurrencia de una falla. Las protecciones eléctricas se las divide para la unidad y para la subestación, por facilidad de aplicación.





Para entender el funcionamiento de este sistema (DCS) se analizará el esquema de la anexo 1.11 (esquema de actuación de las protecciones).

Como se puede observar del esquema, cada protección emite tres señales, que actúan al mismo tiempo. La primera de ellas se dirige a los relés de disparo, dependiendo del tipo de falla que ha ocurrido, se energizará el contacto de disparo que permitirá la actuación del relé 86M, 86E, 86TG o 86PP, al energizarse este relé se enviará una señal que va al DCS, el cual dispondrá la actuación de secuencias de bloqueo normal, o sea, saca de servicio la unidad. Al mismo tiempo los relés de disparo emiten una señal al registrador cronológico de eventos (RCE) informando lo sucedido, este equipo tiene la tarea de permitir la exacta reconstrucción de la secuencia cronológica de los eventos, cuando ha ocurrido alguna falla y además se permite un registro por medio de una impresora blanco y negro.

La segunda señal de las protecciones va hacia el DCS, que es el centro de recopilación de las informaciones, éste, en caso de que los relés de disparo no actúen, esperará un tiempo prudente y analizará la situación para poder emitir un disparo de respaldo, mediante la actuación de secuencias de bloqueo de emergencia (back - up).

La tercer señal se dirige al Registrador Cronológico de Eventos (RCE) el cual, como se mencionó anteriormente se encarga de registrar la actuación de las protecciones.

Los relés de disparo o también llamados relés de bloqueo (lock out) son dispositivos eléctricos cuya función es sacar y mantener fuera de servicio la unidad, en caso de condiciones anormales de operación.

Los relés de disparo se pueden dividir en cuatro formas:

86M Relé de disparo contra falla mecánica.

86E Relé de disparo contra falla eléctrica.

86TG Relé de disparo contra falla del grupo generador transformador.

86PP Relé de disparo parada parcial.

Aparte de las señales que recibe el DCS de los diferentes tipos de protección, también llegan señales de medida de temperatura de los devanados del estator por los RTD, detectores de temperatura del tipo resistencia, las cuales al momento de sobrepasar los rangos establecidos por el DCS, accionan sus contactos de disparo cuyas señales van a los relés de bloqueo y al RCE, y pueden emitir

secuencias de bloqueo normal o de respaldo, dependiendo de quien haya emitido el disparo, el DCS o los relés.

En el esquema del anexo 1.12 se presenta la conexión de los medidores de temperatura tipo resistencia (RTD).

En la cual se puede observar los RTD en ausencia de relés de temperatura y en presencia de estos. En el primer caso la señal emitida por el RTD va directamente al DCS, de este salen tres señales una de las cuales va al RCE, y las otras dos pueden causar bloqueo normal o de respaldo con indicación. Si el disparo se produce por la actuación de los de disparo la parada es normal y si se produce por el DCS, la parada es de emergencia o respaldo con indicación en pantalla.

En el segundo caso hay una primer señal emitida por el RTD, la cual va al DCS y de este a una indicación de alarma en pantalla. También hay una segunda señal la cual es emitida por un relé de temperatura, la misma que se dirige hasta un relé auxiliar del cual salen cuatro señales las cuales van: al DCS, al RCE, al relé de disparo y una ultima que está de reserva.

La señal que sale del DCS provoca la actuación de la parada de emergencia con indicación en pantalla, la que sale de la cadena de disparo también provoca la actuación de la parada de emergencia.

## **2.6. SISTEMA DE PROTECCIONES**

El sistema de protección tiene como objetivo realizar la desconexión y de esta manera aislar el área en problemas.

El Sistema de Protección no se requiere que trabaje durante la operación normal del sistema, pero debe ser capaz de operar para evitar serios daños y salidas de los equipos.

Así el tiempo de vida de Operación del Relé es del orden de segundos aunque estén conectados en el sistema por muchos años.

En teoría un sistema de protección debe ser capaz de responder ante una cantidad infinita de anomalías que pueden ocurrir en el Sistema de Potencia.

Los Relés de Protección o Sistemas de Relés de Protección son redes compactas analógicas conectadas a varias partes de los Sistemas de



Potencia para detectar condiciones indeseables o intolerables dentro de su área asignada.

Los Relés y circuitos breaker conforman un equipo y ambos deben ser planeados juntos.

El sistema de protección de la central esta constituido de la siguiente manera:

### **2.6.1. PROTECCIÓN DEL GENERADOR**

El Generador consta de las siguientes Protecciones:

- Relé de Protección Diferencial (87G)
- Relé Térmico (49G)
- Protección de Secuencia Negativa (46)
- Protección contra Pérdida de Excitación (40)
- Relé de Distancia (21G)
- Protección contra Sobretensión (59)
- Protección de Equilibrio de Tensión (60G)
- Relé de Desplazamiento del Neutro (64E)
- Relé contra falla a Tierra del Rotor (64R)

- Relé contra falla a Tierra del Estator (64G)
- Relé de Balance (60G)
- Relé de Sincronización (25)
- Protección Equilibrio de Tensión lado de la Red (60R)

### **2.6.2. PROTECCIÓN GRUPO GENERADOR/TRANSFORMADOR**

La protección del Grupo Generador - Transformador incluye los siguientes relés de protección:

- Relé Diferencial del Generador - Transformador (87G)
- Relé Diferencial contra fallas a tierra del Transformador (87TN)
- Relé de Desplazamiento del Neutro (64B)
- Relé de Sobrevoltaje y frecuencia (59/81)
- Relé Balance de Potencial (60R)

### **2.6.3. PROTECCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y SUBESTACIÓN**

La protección de las líneas y subestación están diseñadas para producir la desconexión de las mismas en caso de falla debidas a corto circuito o sobrevoltaje, con el fin de aislar la parte fallada y preservar la integridad de los equipos involucrados de la Central o del Sistema Interconectado.

Las líneas de transmisión de 138 kV Quevedo – Daule Peripa y Daule Peripa – Portoviejo tienen protecciones de distancia primaria y secundaria con relés del tipo digital ABB - REL 316.

El esquema de protección primaria es de sobrealcance permisivo de disparo transferido de una sola zona, que opera con un sistema carrier de onda portadora.

El esquema de protección secundaria es de disparo libre de 4 zonas.

Los disyuntores de alta tensión están equipados con dos bobinas de disparo, una para cada tipo de protección. El



esquema de protección tiene auto-recierre de un solo disparo, que se arranca con la protección primaria y tiene verificación de *sincronismo*.



# Capítulo 3

## **PROCEDIMIENTO PARA LA SECUENCIA DE ARRANQUE Y PARADA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “MARCEL LANIADO DE WIND”**

### **3.1. INTRODUCCIÓN**

La secuencia de arranque y parada de la central, está constituida de una serie de pasos que se van ejecutando de una manera ordenada y condicionada.

Tanto el arranque como la parada de las unidades pueden ser automática o manual. En el modo automático la secuencia se realiza a través del programa del (DCS). Y en el modo manual la secuencia se ejecuta por medio de un operador. Para seleccionar el modo de secuencia se lo realiza con la máquina apagada.

Los bloqueos pueden presentarse en cualquier momento y por diferentes fallas. Pueden darse bloqueos en cualquier paso de la secuencia de arranque - parada o cuando la maquina esta en funcionamiento normal.

En el anexo 2.1 se muestra un esquema general de los pasos que constituyen la secuencia de arranque y parada de la central, también se presentan los diferentes tipos de bloqueos que pueden ocurrir en cada uno de los pasos.

### **3.1.1. TERMINOLOGÍA**

Cuando se cumplen todas las condiciones necesarias para un determinado paso de la secuencia, ya sea esta de arranque o parada, dicho paso se ejecuta. Decir que un paso se ejecutó correctamente significa que se llevarán a cabo todas las acciones pertinentes que involucra el mismo. Estas acciones pueden ser de orden eléctricas y/o mecánicas dependiendo de los requerimientos de cada paso y de la secuencia.

Las condiciones y las acciones de cada paso se presentan más adelante, pero estas se encuentran escritas en un lenguaje



especial (no usual), para poder entender lo que significa cada una de ellas, en la tabla II se muestran las diferentes terminologías que se utilizan.

<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
BEAn	Bloqueo Eléctrico desde Automatismo, donde <b>n</b> varía de acuerdo al paso en que se encuentre
CIS	Condiciones Iniciales Satisfechas
CTMn	Configuración del paso <b>n</b> (Setup step <b>n</b> ), donde <b>n</b> varía de acuerdo al paso donde se encuentre
ES_AZZQ	Potencia Reactiva Cero
ES_OAT	Excitación Insertada
ES_OCH	Excitación Desinsertada
EVRM_OAT	Pedido de Adaptación a Tensión Línea
EVQS_OAT	Arranque Extractor de Vapor de Aceite 1, 2 y 3
FTR Estado	Unidad en Rotación y con Tensión
FTG Estado	Unidad en Generación
ISG	Intervención de Bloqueo para Fallas Externas
MPTn = RTMn	Máximo Tiempo Paso <b>n</b> , de igual manera <b>n</b> varía de acuerdo al paso donde se encuentre
N>0	Velocidad Mayor de Cero
N>0.5%	Velocidad Mayor de 0.5 %
N>35%	Velocidad Mayor del 35 %
N>90%	Velocidad Mayor del 90 %
OCA_M	Arranque de una de dos Bombas del Regulador de Velocidad
OCA_F	Parada Grupo Acumulación y Bombeo
PC1/2_OAT	Arranque de una de dos Bombas de Circulación del Cojinete Combinado

PC1/2_OCH	Parada de una de dos Bombas de Circulación del Cojinete Combinado
PI1/2_OAT	Arranque de una de dos Bombas de Inyección del Cojinete Combinado
PI1/2_OCH	Parada de una de dos Bombas de Inyección del Cojinete Combinado
PR1/2_OAT	Arranque de una de dos Bombas del Regulador de Velocidad
RAVG	Pedido de Arranque en Generación
RAVR	Pedido de Arranque en Rotación
RF	Pedido Automático Parada desde DCS
RFE	Pedido de Parada del Operador
RFn = RTMn*AUT	Pedido Automático de Parada, n varía de acuerdo al paso en que se encuentre
RV_A	Inserción de Regulación por Apertura
RV_AA	Aumento de Apertura por 65 segundos
RV_AZPP	Potencia Activa Cero
RV_OAT	Insertar Regulador de Velocidad Electrónico
RV_OCH	Regulador de Velocidad apagado (OFF)
S20BP_OAT	Desvió de Válvula Mariposa Abierta
S20FR_OAT	Frenos Insertados
S20FR_OCH	Frenos Desaplicados
S20Q_OAT	Válvula de Aislamiento Abierta
S20Q_OCH	Válvula de Aislamiento Cerrada
S65_OAT	Desbloqueo del Regulador de Velocidad Hidráulico
S65_OCH	Electro válvula del Regulador de Velocidad Bloqueada
X25_OAT	Insertar Control de Sincronismo
ZS20W_OAT	Válvula Mariposa Abierta
ZSHDT_CL	Cerrojo de Servomotor del Regulador

	Cerrado
ZSHDT_OP	Cerrojo de Servomotor del Regulador Abierto
ZST1_CL	Servomotor del Distribuidor Cerrado
ZST1_M	Servomotor del Distribuidor Abierto en Vacío
52G_OAT	Interruptor Principal Abierto
59M	Presencia de Voltaje en Unidad
59R	Presencia de Voltaje en Red
63PS5	Presencia de Presión en el Sistema de Regulación
63PS7	Presencia de Presión en el lado Caracol de la Válvula Mariposa
63PS8	Presencia de Presión en el Sistema de Inyección
88EQS1_OAT	Extractor de Vapor de Aceite de Cojinete Combinado Arrancado
88EQS2_OAT	Extractor de Vapor de Aceite de Cojinete Turbina Arrancado
88EQS3_OAT	Extractor de Vapor de Aceite de Cojinete Guía Superior Arrancado
88QS1_OCH	Extractor de Vapor de Aceite de Cojinete Combinado Parado
88QS2_OCH	Extractor de Vapor de Aceite de Cojinete Turbina Parado
88QS3_OCH	Extractor de Vapor de Aceite de Cojinete Guía Superior Parado
88WR_OAT	Válvula de Agua de Enfriamiento Abierta
88WR_OCH	Válvula de Agua de Enfriamiento Cerrada
96FS2.L	Circulación de Aceite del Cojinete Combinado Baja
96SF1.L	Circulación de Agua de Enfriamiento Grupo Bombeo Baja
96SF4.L	Circulación de Agua de Enfriamiento Cojinete Guía Baja

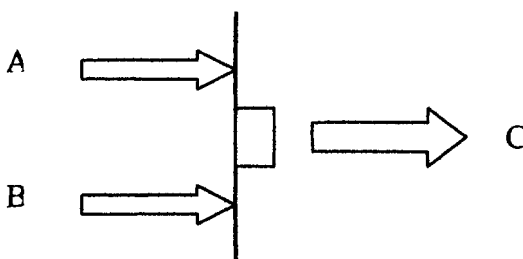
Tabla II: Terminologías de secuencias de arranque y parada

### 3.1.2. DIAGRAMAS LÓGICOS

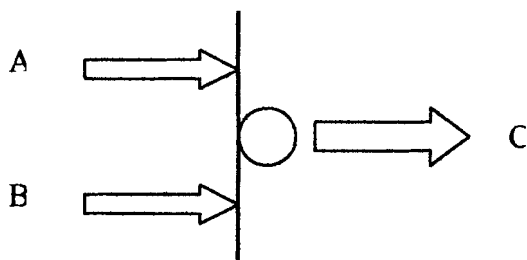
Los diagramas lógicos se utilizan como una herramienta para explicar las condiciones previas que debe de cumplir cada paso y las acciones que deben de realizarse después de que se han satisfecho estas condiciones iniciales.

Un diagrama lógico está constituido básicamente por una línea vertical, flechas, variables y operadores lógicos. Los operadores lógicos que utilizaremos son el AND y el OR.

En la figura 3.1 se muestra un ejemplo de diagrama lógico con operador AND y en la figura 3.2 se muestra uno con operador OR.



**Fig. 3.1: Diagrama Lógico con operador AND**



**Fig. 3.2: Diagrama Lógico con operador OR**

Como se puede observar de las figuras 3.1 Y 3.2, el operador AND se representa con un cuadrado y el operador OR con una circunferencia. La línea vertical representa el paso en el cual se encuentra, en el lado izquierdo de la línea, las flechas con sus respectivas variables representan las condiciones iniciales y del lado derecho las acciones a ejecutarse en dicho paso.

En el operador AND, para que se pueda ejecutar la acción C tienen que cumplirse necesariamente las condiciones A y B caso contrario nunca se efectuara la acción.

En el operador OR, para que se pueda ejecutar la acción C es suficiente que se cumpla una de las condiciones, cualesquiera que sea esta, pero si ninguna de las condiciones iniciales se

cumplen nunca se realiza la acción y no se avanzará al siguiente paso.

### **3.2. PROCEDIMIENTO PARA LA SECUENCIA DE ARRANQUE**

La secuencia de arranque está constituida por **once** pasos, cada uno de los cuales activa o desactiva los diferentes equipos del sistema.

La secuencia de arranque puede ser automática o manual, la selección del tipo de secuencia se la realiza previamente con la máquina parada.

Cuando se selecciona el modo automático, el arranque de la unidad es controlado desde el (DCS), esto es posible ya que a este llegan todas las señales de entrada y salida de la máquina.

El (DCS) es el encargado de verificar que se cumplan las condiciones correspondientes de un determinado paso de la secuencia y ejecutar las acciones respectivas del mismo. Durante la operación automática el operador no puede efectuar ningún comando.



Cuando se selecciona el modo manual, el arranque de la unidad se lo ejecuta a través de un operador. En este caso el operador seleccionará el momento en el cual hace avanzar la secuencia al paso siguiente hasta llegar a la final de la secuencia o simplemente detenerse en un paso intermedio y después ordenar la parada.

Los pasos que constituyen la secuencia de arranque son los siguientes:

- Paso 3: Arranque de bomba de aceite del regulador de velocidad, bomba de circulación del cojinete combinado y del sistema de inyección, apertura de la válvula del agua de enfriamiento y aplicación de frenos.
- Paso 4: Válvula de aislamiento del sistema de regulación abierta.
- Paso 5: Desvío de la válvula mariposa abierta.
- Paso 6: Válvula mariposa abierta.
- Paso 7: Desbloqueo del regulador de velocidad y frenos desaplicados.
- Paso 8: Regulador de velocidad insertado.
- Paso 9: Excitación insertada.
- Paso 10: Unidad en rotación y con tensión.
- Paso 11: Unidad de sincronismo insertada (sincronización).

- Paso 12: Regulación de apertura – turbina en regulación de potencia.
- Paso 13: Unidad en generación.

Como se puede observar en el anexo 2.1, la secuencia de arranque empieza en el paso 3 debido a que el paso uno está compuesto por las condiciones iniciales satisfechas (CIS) que involucra: frenos aplicados, válvula de aislamiento cerrada, válvula mariposa cerrada, bombas apagadas, cerrojo del sistema de velocidad hidráulico cerrado máquina parada, etc.. El paso dos fue eliminado porque involucraba muchos riesgos (válvula mariposa abierta y máquina parada). También existe el paso cero que es el estado inicial o DCS desconectado.

### **3.2.1. PASO 3: ARRANQUE DE LA BOMBA DE ACEITE DEL REGULADOR DE VELOCIDAD, BOMBA DE CIRCULACION, APLICACIÓN DE FRENOS, ETC.**

Para que se ejecuten las acciones que involucran este paso deben de cumplirse las condiciones previas, tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.3.



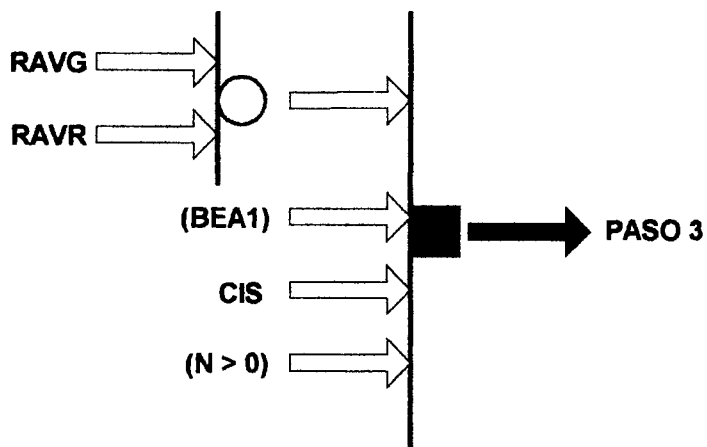


Fig. 3.3: Diagrama Lógico del paso 3

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas del paso tres se muestran en la tabla III: y las acciones respectivas en la tabla IV.

<b>CODIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RAVG	Pedido de Arranque en Generación
RAVR	Pedido de Arranque en Rotación
(BEA1)	Que no exista Bloqueo Eléctrico desde Automatismo
CIS	Condiciones Iniciales Satisfechas
(N > 0)	Que la velocidad no sea mayor de cero

Tabla III: Condiciones previas al paso 3

<b>CODIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
OCA _ M	Arranque ½ Bombas del sistema de Regulación de Velocidad
PC1/2 _ OAT	Arranque ½ Bombas de circulación del cojinete combinado
PI1/2 _ OAT	Arranque ½ Bombas de inyección del cojinete combinado
88WR _ OAT	Válvula de Agua de Enfriamiento Abierta
S20FR _ OAT	Frenos Insertados
CTM3	Configuración del paso 3
MPT3 = RTM3	Tiempo máximo del paso 3
RF3 = RTM3 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla IV: Acciones que ejecuta el paso 3

### Condiciones Previas Correspondientes al paso 3:

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.3 como en la tabla III se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 3.

Como se puede observar, para iniciar el proceso de arranque se necesita que haya un pedido de arranque en generación (RAVG) o un pedido de arranque en rotación (RVAR) y no necesariamente ambos a la vez. Este pedido de arranque lo realiza el operador a través de un botón que se encuentra en el



panel de control del DCS, el operador puede seleccionar el tipo de arranque que desea. Cuando el operador selecciona (RAVG) significa que la unidad arrancará y seguirá su proceso hasta quedar sincronizada y con carga de acuerdo a las consignas y ajustes establecidos previamente (paso 13). Por otro lado cuando el operador selecciona (RAVR) significa que la unidad arrancará hasta quedarse en un estado de rotación y con tensión en sus terminales, lista para sincronizar (paso 10).

El segundo requerimiento o condición que chequea el DCS es que no exista bloqueo eléctrico desde el automatismo (BEA de color rojo en el diagrama, equivalente a un valor lógico negativo).

Ausencia de bloqueo eléctrico desde el automatismo significa que no debe de existir alguna señal producto de la historia anterior que esté con bloqueo y que impida continuar con la secuencia.

El tercer requerimiento que chequea el DCS es que las condiciones iniciales sean satisfechas, lo cual en términos generales significa que todo este apagado. Por ejemplo:

Bombas de regulación de velocidad, circulación e inyección de aceite apagadas, válvula de agua de enfriamiento cerrada, frenos aplicados, válvula de aislamiento cerrada, válvula de desvío cerrada, válvula mariposa cerrada, regulador de velocidad hidráulico y electrónico bloqueados, etc.

El cuarto requerimiento que chequea es que la velocidad de la máquina sea igual a cero ( $N > 0$ . de color rojo en el diagrama, que significa un valor lógico negativo).

Si estas condiciones se cumplen de acuerdo a la lógica de los circuitos “OR” y “AND” antes mencionados se ejecutan las acciones correspondientes al paso 3.

### **Acciones del Paso 3:**

Las acciones que ejecuta el paso 3 con sus respectivos códigos se muestran en la tabla IV.

La primer acción que realiza el paso tres es el arranque de una de las dos bombas del sistema de regulación hidráulico de velocidad (OCA \_ M), antes de realizar esta acción todo estaba

Bombas de regulación de velocidad, circulación e inyección de aceite apagadas, válvula de agua de enfriamiento cerrada, frenos aplicados, válvula de aislamiento cerrada, válvula de desvío cerrada, válvula mariposa cerrada, regulador de velocidad hidráulico y electrónico bloqueados, etc.

El cuarto requerimiento que chequea es que la velocidad de la máquina sea igual a cero ( $N > 0$ . de color rojo en el diagrama, que significa un valor lógico negativo).

Si estas condiciones se cumplen de acuerdo a la lógica de los circuitos “OR” y “AND” antes mencionados se ejecutan las acciones correspondientes al paso 3.

### **Acciones del Paso 3:**

Las acciones que ejecuta el paso 3 con sus respectivos códigos se muestran en la tabla IV.

La primer acción que realiza el paso tres es el arranque de una de las dos bombas del sistema de regulación hidráulico de velocidad (OCA \_ M), antes de realizar esta acción todo estaba



apagado. Como se estudio en el capitulo 2, el sistema posee dos bombas (88-PR1 y 88-PR2), pero solo una permanece en funcionamiento durante el proceso y la otra sirve de respaldo de la primera. El arranque de esta bomba tiene como objetivo final la existencia de una presión regulada de aceite en el Grupo de Acumulación y Bombeo, la misma que será utilizada más adelante para el control de los diferentes sistemas.

La segunda acción que realiza el paso tres es el arranque de una de las dos bombas de circulación de aceite del cojinete combinado (PC1/2 \_ OAT). Al igual que en el sistema de regulación en el sistema de circulación solo una bomba arranca mientras que la otra permanece apagada. El arranque de esta bomba tiene como propósito la circulación del aceite que va a la cuba del cojinete combinado y que de esta forma baje su temperatura a través de los sistemas de enfriamiento, ya que cuando el rotor está girando este aceite se calienta.

La tercer acción que realiza el paso tres es el arranque de una de las dos bombas del sistema de inyección, en este sistema también arranca solo una bomba mientras que la otra permanece apagada. En este paso la bomba solo arranca pero



todavía no envía el aceite a presión al rotor, lo hará en otro paso, cuando el rotor este a punto de girar, ya que el fin es levantar el rotor por unos cuantos segundos hasta que alcance una velocidad adecuada cuya fuerza centrípeta le permita mantenerse suspendido luego de esto la bomba se apagará.

La cuarta acción que realiza el paso tres es la apertura de la válvula del agua de enfriamiento. Al abrirse esta válvula permite el paso del agua desde el embalse hacia el sistema de enfriamiento de los otros diferentes sistemas que forman parte del arranque de la unidad.

La quinta acción que realiza el paso tres es la aplicación de los frenos, esto lo realiza como una medida de seguridad, ya que la máquina estuvo anteriormente apagada es necesario cerciorarse que realmente estén aplicados hasta que en algún paso de la secuencia exista la necesidad de desaplicarlos para que la máquina pueda girar.

Luego de haberse cumplido las cinco acciones antes mencionadas la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 3) que significa que el paso tres se ha concluido y la secuencia

continúa a chequear las condiciones del paso 4. Sin embargo si no se ha concluido el paso 3 el sistema le da un tiempo máximo para que lo haga (RTM3). Este tiempo puede ser cinco segundos aproximadamente, dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que todas las acciones se hayan ejecutado.

Si no se concluye el paso tres en el tiempo previsto y además existe un requerimiento de parada ( $RF3 = RTM3 \cdot AUT$ ), la secuencia no avanza y en lugar de chequear las condiciones previas del paso 4 lo envía al paso 20 el cual pertenece a la secuencia de parada y cuyas acciones son deshacer todo lo que se realizó en el paso tres, tal como se muestra en el anexo 2.1.

### **3.2.2. PASO 4: APERTURA DE LA VÁLVULA DE AISLAMIENTO DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DE VELOCIDAD.**

Cumplido el paso tres la máquina automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas para que se ejecuten las acciones del paso cuatro tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.4.

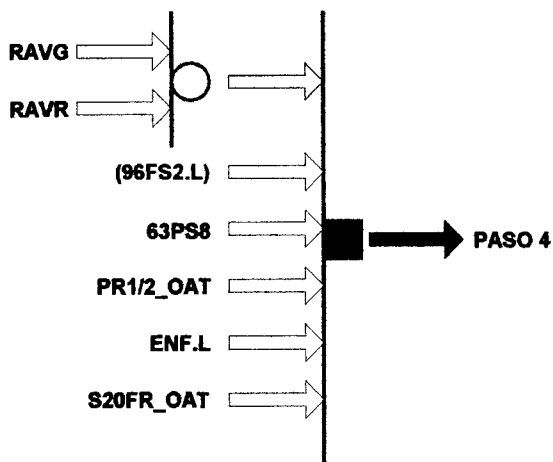


Fig. 3.4: Diagrama Lógico del paso 4

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas del paso cuatro se muestran en la tabla V y las acciones respectivas en la tabla VI.

<b>CÓDIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RAVG	Pedido de Arranque en Generación
RAVR	Pedido de Arranque en Rotación
(96FS2.L)	Que la circulación de aceite en el cojinete combinado no sea baja
63PS8	Presencia de presión en el sistema de inyección
PR1/2 _ OAT	Bomba del regulador de velocidad arrancada
ENF.L	Circulación del agua de enfriamiento
S20FR _ OAT	Frenos insertados

Tabla V: Condiciones previas al paso 4

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
S20Q _ OAT	Válvula de Aislamiento Abierta
CTM4	Configuración del paso 4
MPT4 = RTM4	Tiempo máximo del paso 4
RF4 = RTM4 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla VI: Acciones que ejecuta el paso 4

#### **Condiciones Previas Correspondientes al paso 4:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.4 como en la tabla V se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 4.

Como podemos observar en este paso nuevamente se necesita que haya un RAVG O RAVR y este pedido si existe ya que el operador lo hizo al iniciar el arranque, esta condición pareciera redundante, pero el DCS debe cerciorase al iniciar cada paso de que exista el deseo de continuar ya que el operador pudo haber apagado el proceso en el paso anterior, por esta razón es una condición que estará presente en cada paso.

La segunda condición que chequea el paso cuatro es que la circulación de aceite del cojinete combinado no sea baja (96 FS2.L de color rojo en el diagrama, equivalente a un valor lógico negativo). Esto lo realiza a través de un relé de flujo que se encuentra en el sistema de circulación de aceite, este relé es el encargado de informar al DCS si la circulación de aceite es baja o normal. Debido a que la bomba de circulación ya arranco en el paso tres una baja en la circulación significa que algo está mal, lo cual es censado inmediatamente por el DCS, el mismo que impedirá que el proceso continúe, sin embargo si la circulación es normal el proceso continúa.

La tercera condición que verifica el paso cuatro es la presencia de presión en el sistema de inyección (63PS8), esto lo realiza a través de un relé de presión ubicado en el mismo sistema. Puesto que la bomba de inyección ya arrancó en el paso tres una baja de presión implica que algo está mal lo cual es censado inmediatamente por el DCS, el mismo que impedirá que el proceso continúe, sin embargo si la presión es normal el proceso continúa.

La cuarta condición que verifica el paso cuatro es que siga arrancada una de las dos bombas del sistema de regulación de velocidad.

A diferencia de la bomba de inyección que solo arranca para alzar al rotor cuando este empieza a girar y después se apaga, las bombas de regulación y de circulación permanecen prendidas siempre y solo se apagan cuando la unidad es parada.

La quinta condición que verifica el paso cuatro es que exista la circulación del agua de enfriamiento, puesto que en el paso tres se abrió la válvula que permite el paso de esta agua.

La sexta condición que verifica el paso cuatro es que los frenos permanezcan insertados.

Es importante notar que las condiciones previas que verifica el paso cuatro son básicamente la permanencia de las acciones del paso tres que ya se ejecutaron anteriormente. En otras palabras el sistema trabaja con una lógica que le permite brindar confiabilidad y flexibilidad al proceso.



Si estas condiciones se cumplen de acuerdo a la lógica de los circuitos “OR” y “AND” antes mencionados se ejecutan las acciones correspondientes al paso 4.

#### **Acciones del Paso 4:**

La única acción que realiza el paso cuatro es la apertura de la válvula de aislamiento del sistema de regulación de velocidad (S20Q \_ OAT) tal como se muestra en la tabla VI.

La apertura de esta válvula es muy importante ya que permite o bloquea el paso del aceite a los diferentes controles del sistema de regulación de velocidad, así como también la apertura y cierre de la válvula mariposa. La apertura o cierre de la válvula de aislamiento es controlado a través de la electro válvula S20Q y esta es controlada automáticamente a través del DCS.

La válvula de aislamiento posee dos limitadores de fin de carrera (ZS – 20Q. OP y ZS – 20Q. CL) . Los cuales le informan al DCS si la válvula de aislamiento está abierta o cerrada.

Después que se ha abierto la válvula de aislamiento la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 4) que significa que el paso cuatro se ha concluido y la secuencia continua a chequear las condiciones del paso 5. Sin embargo si no se ha concluido el paso 4 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM4). Este tiempo puede ser un segundos aproximadamente, dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que se ejecute esta acción.

Si no se concluye el paso cuatro en el tiempo previsto y además existe un requerimiento de parada ( $RF4 = RTM4 \cdot AUT$ ), la secuencia no avanza y en lugar de chequear las condiciones previas del paso 5 lo envía al paso 19 el cual pertenece a la secuencia de parada y cuya acción es deshacer todo lo que se realizo en el paso cuatro, tal como se muestra en el anexo 2.1.

### **3.2.3. PASO 5: APERTURA DEL BYPASS DE LA VÁLVULA MARIPOSA.**

Cumplido el paso cuatro la máquina automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas para que se ejecuten





las acciones del paso cinco tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.5.

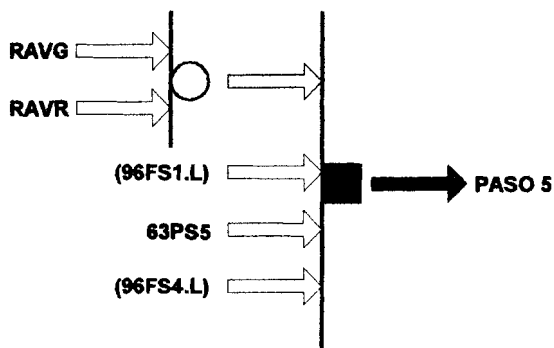


Fig. 3.5: Diagrama Lógico del paso 5

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas del paso cinco se muestran en la tabla VII y las acciones respectivas en la tabla VIII.

CÓDIGO	CONDICIONES
RAVG	Pedido de Arranque en Generación
RAVR	Pedido de Arranque en Rotación
(96FS1.L)	Que la circulación de agua de enfriamiento en el grupo bombeo no sea baja
63PS5	Presencia de presión en el sistema de regulación
PR1/2 _ OAT	Bomba del regulador de velocidad arrancada
(96FS4.L)	Que la circulación de agua de enfriamiento en el cojinete guía no sea baja

Tabla VII: Condiciones previas al paso 5

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
S20BP _ OAT	Válvula de desvió abierta
CTM5	Configuración del paso 5
MPT5 = RTM5	Tiempo máximo del paso 5
RF5 = RTM5 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla VIII: Acciones que ejecuta el paso 5

### **Condiciones Previas Correspondientes al paso 5:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.5 como en la tabla VII se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 5.

La primera condición que chequea el paso cinco es que haya un RAVG O RAVR.

La segunda condición que chequea el paso cinco es que la circulación de agua de enfriamiento del grupo bombeo no sea baja (96 FS1.L de color rojo en el diagrama, equivalente a un valor lógico negativo). Esto lo realiza a través de un relé de flujo que se encuentra en el sistema de enfriamiento del grupo bombeo, este relé es el encargado de informar al DCS si la

circulación de agua es baja o normal. Debido a que la válvula del agua de enfriamiento ya se abrió en el paso tres una baja en la circulación significa que algo está mal, lo cual es censado inmediatamente por el DCS, el mismo que impedirá que el proceso continúe, sin embargo si la circulación es normal el proceso continúa.

La tercer condición que verifica el paso cinco es la presencia de presión en el sistema de regulación (63PS5), esto lo realiza a través de un relé de presión ubicado en el mismo sistema, este relé es el encargado de informar al DCS si la presión de aceite en el sistema es baja o normal. Puesto que la válvula de aislamiento ya se abrió en el paso cuatro una baja de presión implica que algo está mal, lo cual podría ser porque una de las bombas se apago o que la válvula de aislamiento se cerro o algún otro defecto posible en el sistema, el cual es censado inmediatamente por el DCS, el mismo que impedirá que el proceso continúe, sin embargo si la presión es normal el proceso continúa.

La cuarta condición que chequea el paso cinco es que la circulación de agua de enfriamiento en el cojinete guía no sea

baja (96 FS4.L de color rojo en el diagrama, equivalente a un valor lógico negativo). Esto lo realiza a través de un relé de flujo que se encuentra en el sistema de enfriamiento del cojinete guía, este relé es el encargado de informar al DCS si la circulación de agua es baja o normal. Debido a que la válvula del agua de enfriamiento ya se abrió en el paso tres una baja en la circulación significa que algo está mal, lo cual es censado inmediatamente por el DCS, el mismo que impedirá que el proceso continúe, sin embargo si la circulación es normal el proceso continúa.

Si estas condiciones se cumplen de acuerdo a la lógica de los circuitos "OR" y "AND" antes mencionados se ejecutan las acciones correspondientes al paso 5.

#### **Acciones del Paso 5:**

La única acción que realiza el paso cinco es la apertura de la válvula desvío de la válvula mariposa (S20BP\_ OAT) tal como se muestra en la tabla VIII

La apertura de esta válvula permite la circulación del agua de un lado del caracol (aguas arriba) hacia el otro lado (aguas abajo) con el propósito de igualar las presiones de los dos lados del caracol en que se encuentra dividido cuando la válvula mariposa está cerrada. En otras palabras se esta preparando para la apertura de la válvula mariposa, lo cual ocurre en el paso seis. Es importante notar que como es una secuencia, la ejecución de un paso dado sirve para la ejecución del siguiente y si el paso anterior no se realizo correctamente o simplemente falla en algún momento del proceso de arranque, la secuencia no podrá continuar. Además si la ejecución de algún paso falla cuando la máquina ya está generando, esta realizara una parada por bloqueo, debido a que algún elemento del sistema que estaba funcionando perfectamente fallo. De aquí la importancia de que el DCS este chequeando continuamente a través de los diferentes sensores el perfecto funcionamiento de todos los sistemas.

La apertura de la válvula desvió es controlada a través de la electro válvula S20BP y esta es controlada automáticamente.

La válvula de BYPASS posee dos limitadores de fin de carrera (ZS – 20BP. OP y ZS – 20BP. CL) . Los cuales informan al DCS si la válvula desvió está abierta o cerrada.

Una vez que se ha abierto la válvula de BYPASS la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 5) que significa que el paso cinco se ha concluido y la secuencia continua a chequear las condiciones del paso 6. Sin embargo si no se ha concluido el paso 5 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM5). Este tiempo puede ser un segundos aproximadamente, dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que se ejecute esta acción.

Si no se concluye el paso cinco en el tiempo previsto y además existe un requerimiento de parada ( $RF5 = RTM5 * AUT$ ), la secuencia no avanza y en lugar de chequear las condiciones previas del paso 6 lo envía al paso 17 el cual pertenece a la secuencia de parada y cuya acción es deshacer todo lo que se realizó en el paso cinco, tal como se muestra en el anexo 2.1.

### 3.2.4. PASO 6: APERTURA DE LA VÁLVULA MARIPOSA.

Cumplido el paso cinco la máquina automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas para que se ejecuten las acciones del paso seis tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.6.

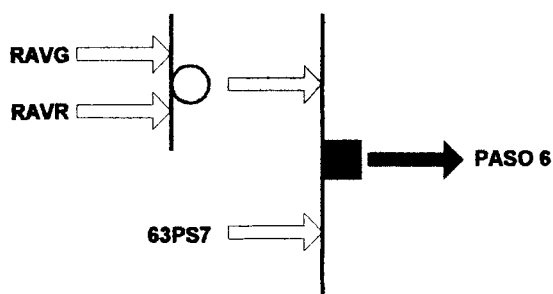


Fig. 3.6: Diagrama Lógico del paso 6

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas del paso seis se muestran en la tabla IX: y las acciones respectivas en la tabla X.

CÓDIGO	CONDICIONES
RAVG	Pedido de Arranque en Generación
RAVR	Pedido de Arranque en Rotación
63PS7	Presencia de presión al otro lado de la válvula mariposa

Tabla IX: Condiciones previas al paso 6

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
S20W _ OAT	Válvula Mariposa Abierta
CTM6	Configuración del paso 6
MPT6 = RTM6	Tiempo máximo del paso 6
RF6 = RTM6 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla X: Acciones que ejecuta el paso 6

### **Condiciones Previas Correspondientes al paso 6:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.6 como en la tabla IX se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 6.

La primera condición que chequea el paso seis es que haya un RAVG O RAVR.

La segunda condición que verifica el paso seis es la presencia de presión en el lado aguas abajo del caracol (63PS7), esto lo realiza a través de un relé de presión ubicado en el lado aguas debajo de la válvula mariposa, este relé es el encargado de informar al DCS si exista alguna diferencia de presión entre los lados de la válvula mariposa. Puesto que la válvula desvió ya se



abrió en el paso cinco, una diferencia de presión implica que no se ha llenado de agua el otro lado del caracol y que por ende la válvula mariposa no se abrirá, esto es censado inmediatamente por el DCS, el mismo que impedirá que el proceso continúe, sin embargo si no existe diferencia de presión el proceso continúa.

Si estas condiciones se cumplen de acuerdo a la lógica de los circuitos "OR" y "AND" antes mencionados se ejecutan las acciones correspondientes al paso 6.

#### **Acciones del Paso 6:**

La única acción que realiza el paso seis es la apertura de la válvula mariposa (S20W\_ OAT) tal como se muestra en la tabla X.

La apertura de esta válvula permite la circulación del agua desde el embalse hasta los alabes de la turbina, en este punto la cámara de la turbina se encuentra todavía cerrada.

La apertura de la válvula mariposa es controlada a través de dos servomotores los mismos que son controlados por la electro válvula S20W y esta es controlada automáticamente.

La válvula de mariposa posee tres limitadores de fin de carrera (ZS – 20W. OP, ZS – 20W.OP X% y ZS – 20BP. CL) . Los cuales le informan al DCS si la válvula mariposa está abierta o cerrada. El ZS – 20W.OP X% indica el porcentaje de apertura de la válvula. El paso se concluye cuando este porcentaje sea el 100% que significa que la válvula esta completamente abierta.

Luego que se ha abierto la válvula mariposa la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 6) que significa que el paso seis se ha concluido y la secuencia continua a chequear las condiciones del paso 7. Sin embargo si no se ha concluido el paso 6 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM6). En este caso el tiempo es grande aproximadamente tres minutos ya que la válvula mariposa tarda en abrir.

Si no se concluye el paso seis en el tiempo previsto y además existe un requerimiento de parada ( $RF6 = RTM6 * AUT$ )



secuencia no avanza y en lugar de chequear las condiciones previas del paso 7 lo envía al paso 17 el cual pertenece a la secuencia de parada y cuya acción es deshacer todo lo que se realizó en el paso seis, tal como se muestra en el anexo 2.1.

### 3.2.5. PASO 7: DESBLOQUEO DEL REGULADOR HIDRÁULICO DE VELOCIDAD Y FRENOS DESAPLICADOS

Cumplido el paso seis la máquina automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas para que se ejecuten las acciones del paso siete tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.7.

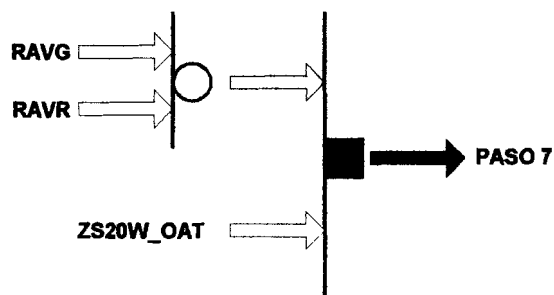


Fig. 3.7: Diagrama Lógico del paso 7

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas del paso siete se muestran en la tabla XI: y las acciones respectivas en la tabla XII.

<b>CÓDIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RAVG	Pedido de Arranque en Generación
RAVR	Pedido de Arranque en Rotación
ZS20W – OAT	Válvula Mariposa Abierta

Tabla XI: Condiciones previas al paso 7

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
S65 _ OAT	Desbloqueo del Regulador de Velocidad Hidráulico.
S20 FR _ OCH	Frenos Desaplicados
CTM7	Configuración del paso 7
MPT7 = RTM7	Tiempo máximo del paso 7
RF7 = RTM7 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla XII: Acciones que ejecuta el paso 7

### **Condiciones Previas Correspondientes al paso 7:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.7 como en la tabla XI se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 7.



La primera condición que chequea el paso siete es que haya un RAVG O RAVR.

La segunda condición que chequea el paso siete es que la válvula mariposa permanezca abierta (ZS20W – OAT). Esto lo realiza a través de un limitador de carrera que le informa al DCS si la válvula está abierta o cerrada.

Si estas condiciones se cumplen de acuerdo a la lógica de los circuitos “OR” y “AND” antes mencionados se ejecutan las acciones correspondientes al paso 7.

#### **Acciones del Paso 7:**

La primer acción que realiza el paso siete es el desbloqueo del regulador hidráulico de velocidad (S65 \_ OAT). Como se explico en el capitulo dos, esto se realiza a través de la electro válvula S65 la cual controla un servomecanismo que bloquea o desbloquea mecánicamente a los servomotores que ejecutan el movimiento de los alabes de la turbina.

Este servomecanismo esta constituido básicamente por una válvula (HTD) un cerrojo y dos limitadores de fin de carrera (ZS – HTD.CI y ZS HTD. Op). Cuando la electro válvula S65 envía una señal de aceite a la válvula HTD esta retira el cerrojo que bloqueaba al regulador de velocidad.

Los limitadores de fin de carrera sirven para indicar al DCS si el cerrojo fue retirado o no.

La segunda acción que ejecuta el paso siete es la desaplicación de los frenos. Estos habían estado aplicados por medidas de seguridad, pero ya en este nivel es necesario desaplicarlos puesto que la maquina está a punto de girar.

Después que se han ejecutado las dos acciones antes mencionadas la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 7) que significa que el paso siete se ha concluido y la secuencia continua a chequear las condiciones del paso 8. Sin embargo si no se ha concluido el paso 7 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM7). Este tiempo puede ser un segundos aproximadamente, dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que se ejecute esta acción.



Si no se concluye el paso siete en el tiempo previsto y además existe un requerimiento de parada ( $RF7 = RTM7 * AUT$ ), la secuencia no avanza y en lugar de chequear las condiciones previas del paso 8 lo envía al paso 17 el cual pertenece a la secuencia de parada y cuya acción es deshacer todo lo que se realizó en el paso siete, tal como se muestra en el anexo 2.1.

### 3.2.6. PASO 8: INSERCIÓN DEL REGULADOR ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD Y ARRANQUE DE EXTRACTORES DE VAPOR

Cumplido el paso siete la máquina automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas para que se ejecuten las acciones del paso ocho tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.8.

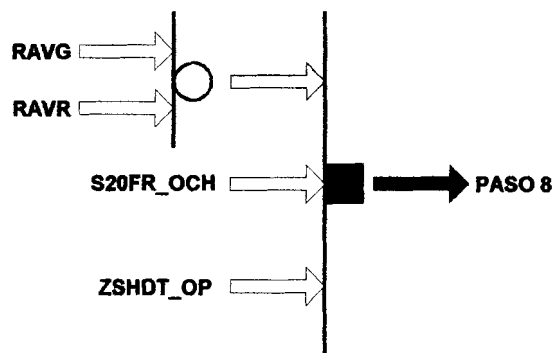


Fig. 3.8: Diagrama Lógico del paso 8

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas del paso ocho se muestran en la tabla XIII y las acciones respectivas en la tabla XIV.

<b>CÓDIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RAVG	Pedido de Arranque en Generación
RAVR	Pedido de Arranque en Rotación
S20FR – OCH	Frenos Desaplicados
ZSHTD – OP	Cerrojo de los Servomotores del Regulador de Velocidad Abierto

Tabla XIII: Condiciones previas al paso 8

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
RV _ OAT	Inserción del Regulador de Velocidad Electrónico
EVQS _ OAT	Arranque de Los Extractores de Vapor de Aceite 1,2,3.
CTM8	Configuración del paso 8
MPT8 = RTM8	Tiempo máximo del paso 8
RF8 = RTM8 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla XIV: Acciones que ejecuta el paso 8

### **Condiciones Previas Correspondientes al paso 8:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.8 como en la tabla XIII se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 8.



La primera condición que chequea el paso ocho es que haya un RAVG O RAVR.

La segunda condición que chequea el paso ocho es que los frenos sigan desaplicados (S20FR – OCH).

La tercera condición que chequea es que el cerrojo de los servomotores del regulador de velocidad permanezca abierto (ZSHTD – OP). Esto lo realiza a través de los dos limitadores de carrera que posee el servomecanismo.

Si estas condiciones se cumplen de acuerdo a la lógica de los circuitos “OR” y “AND” antes mencionados se ejecutan las acciones correspondientes al paso 8.

#### **Acciones del Paso 8:**

La primer acción que realiza el paso ocho es la inserción del regulador electrónico de velocidad. Este regulador es el encargado de realizar el control de frecuencia, potencia y apertura de los alabes de la turbina. Una vez que el regulador electrónico es insertado tiene una consigna de apertura que le

permite controlar a los servomotores del regulador hidráulico de velocidad y de esta manera abrir un porcentaje de los álabes de la turbina. Al abrir estos álabes el agua puede circular y la maquina empieza a girar, este porcentaje de apertura es realmente pequeño ya que como la maquina esta en vacío, sin asumir carga solo necesita una pequeño torque para vencer la inercia del conjunto turbina generador.

La segunda acción que ejecuta el paso ocho es el arranque de los extractores de vapor de aceite. Cada extractor pertenece a un cojinete los cuales son: cojinete combinado, cojinete de turbina y cojinete guía superior. El arranque de estos extractores es importante ya que una vez que la máquina arranca el aceite se calienta debido al movimiento del rotor y este calentamiento produce un vapor el cual es retirado por los extractores, de aquí la importancia del arranque de los mismos en este paso.

Una vez que se han ejecutado las dos acciones antes mencionadas la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 8) que significa que el paso ocho se ha concluido y la secuencia continua a chequear las condiciones del paso 9. Sin embargo si

no se ha concluido el paso 8 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM8). Este tiempo puede ser un segundo aproximadamente, dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que se ejecuten estas acciones.

Si no se concluye el paso ocho en el tiempo previsto y además existe un requerimiento de parada ( $RF8 = RTM8 * AUT$ ), la secuencia no avanza y en lugar de chequear las condiciones previas del paso 9 ocurre un pedido automático de parada que lo envía al paso 17, el cual pertenece a la secuencia de parada y cuya acción es deshacer todo lo que se realizó en el paso ocho y después continuar con toda la secuencia de parada, tal como se muestra en el anexo 2.1.

### **3.2.7. PASO 9: INSERCIÓN DEL SISTEMA DE EXCITACIÓN Y PARADA DE LA BOMBAS DE INYECCIÓN.**

Cumplido el paso ocho la máquina automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas para que se ejecuten las acciones del paso nueve tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.9.

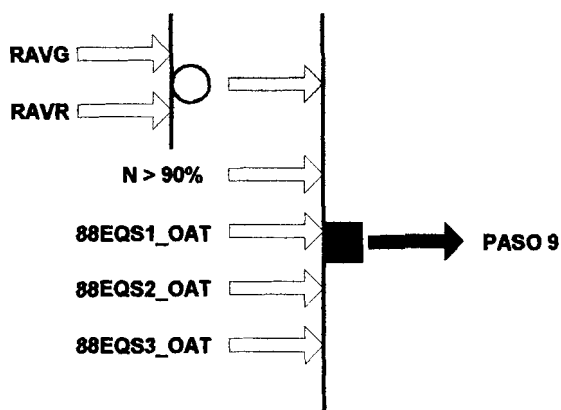


Fig. 3.9: Diagrama Lógico del paso 9

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas del paso nueve se muestran en la tabla XV: y las acciones respectivas en la tabla XVI.

CÓDIGO	CONDICIONES
RAVG	Pedido de Arranque en Generación
RAVR	Pedido de Arranque en Rotación
N > 90 %	Velocidad > 90 %
88EQS1 _ OAT	Extractor de Vapor de Aceite del Cojinete Combinado Arrancado
88EQS2 _ OAT	Extractor de Vapor de Aceite del Cojinete Turbina Arrancado
88EQS3 _ OAT	Extractor de Vapor de Aceite del Cojinete Guía Superior Arrancado

Tabla XV: Condiciones previas al paso 9

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
ES _ OAT	Inserción del sistema de Excitación
PI1/2 _ OCH	Parada de una de las dos bombas del sistema de inyección
CTM9	Configuración del paso 9
MPT9 = RTM9	Tiempo máximo del paso 9
RF9 = RTM9 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla XVI: Acciones que ejecuta el paso 9

### **Condiciones Previas Correspondientes al paso 9:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.9 como en la tabla XV se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 9.

La primera condición que chequea el paso nueve es que haya un RAVG O RAVR.

Puesto que en el paso ocho la inserción del regulador electrónico de velocidad provocó la apertura de los alabes y con esto el movimiento de la máquina, la segunda acción que verifica el paso nueve es que la velocidad de la turbina sea mayor que el 90 % y de esta manera poder insertar la excitación.

La tercera condición que chequea el paso nueve es que los extractores de vapor de aceite de los cojinetes permanezcan arrancados retirando el vapor que ahí se genera.

Si estas condiciones se cumplen de acuerdo a la lógica de los circuitos "OR" y "AND" antes mencionados se ejecutan las acciones correspondientes al paso 9.

#### **Acciones del Paso 9:**

La primer acción que realiza el paso nueve es la inserción del sistema de excitación. Como la maquina ya está girando es importante aplicar la excitación a las escobillas del colector con el propósito de que la máquina empiece a generar.

La segunda acción que ejecuta el paso nueve es que se apague la bomba de inyección. Como el rotor ya esta girando ya no es necesario que siga prendida, por esta razón en este paso ya se apaga.

Después que se han ejecutado las dos acciones antes mencionadas la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 9)

que significa que el paso nueve se ha concluido y la secuencia continua a chequear las condiciones del paso 10. Sin embargo si no se ha concluido el paso 9 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM9). Este tiempo puede ser un segundo aproximadamente, dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que se ejecuten estas acciones.

Si no se concluye el paso nueve en el tiempo previsto y además existe un requerimiento de parada ( $RF9 = RTM9 * AUT$ ), la secuencia no avanza y en lugar de chequear las condiciones previas del paso 10 ocurre un pedido automático de parada que lo envía al paso 16, el cual pertenece a la secuencia de parada y cuya acción es deshacer todo lo que se realizó en el paso nueve y después continuar con toda la secuencia de parada, tal como se muestra en el anexo 2.1.

### **3.2.8. PASO 10: UNIDAD EN ROTACIÓN Y CON TENSIÓN.**

Cumplido el paso nueve la máquina automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas para que se ejecuten las acciones del paso diez tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.10.



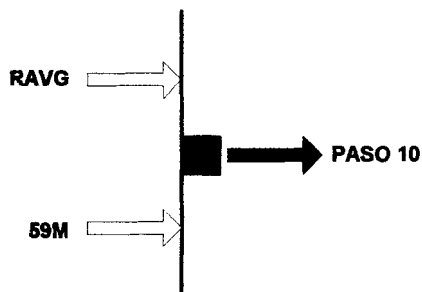


Fig. 3.10: Diagrama Lógico del paso 10

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas del paso diez se muestran en la tabla XVII y las acciones respectivas en la tabla XVIII.

<b>CÓDIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RAVG	Pedido de Arranque en Generación
59 M	Presencia de voltaje en la Unidad

Tabla XVII: Condiciones previas al paso 10

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
FTR Estado	Unidad en Rotación y con Tensión
$MPT10 = RTM10$	Tiempo máximo del paso 10
$RF10 = RTM10 * AUT$	Pedido Automático de Parada.

Tabla XVIII: Acciones que ejecuta el paso 10



### **Condiciones Previas Correspondientes al paso 10:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.10 como en la tabla XVII se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 10.

La primera condición que chequea el paso diez es que haya un RAVG, en este nivel ya no se necesita que haya un RAVR, puesto que la maquina ya está girando.

Puesto que la máquina ya está rotando y que la excitación ya se aplico en el paso anterior, la segunda condición que chequea el paso diez es que exista la presencia de voltaje en la unidad (59M).

Si estas condiciones se cumplen se ejecutan las acciones del paso diez, en este paso la unidad llega a un estado de rotación y con tensión en sus terminales, lista para sincronizar.

Luego que se ha ejecutado la acción antes mencionadas la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 10) que significa que el paso diez se ha concluido y la secuencia continua a



chequear las condiciones del paso 11. Sin embargo si no se ha concluido el paso 10 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM10). Este tiempo pueden ser segundos aproximadamente, dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que se ejecuten estas acciones.

Si no se concluye el paso diez en el tiempo previsto y además existe un requerimiento de parada ( $RF10 = RTM10 * AUT$ ), la secuencia no avanza y en lugar de chequear las condiciones previas del paso 10 ocurre un pedido automático de parada que lo envía al paso 16, el cual pertenece a la secuencia de parada y cuya acción es deshacer todo lo que se realizó en el paso diez y después continuar con toda la secuencia de parada, tal como se muestra en el anexo 2.1.

### **3.2.9. PASO 11: INSERCIÓN DE LA UNIDAD EN SINCRONISMO.**

Cumplido el paso diez la máquina automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas para que se ejecuten las acciones del paso once tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.11.

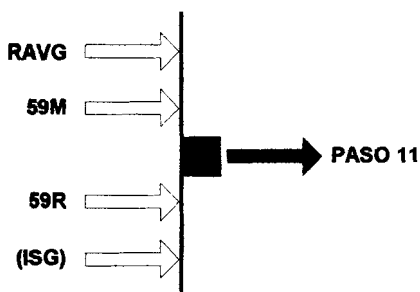


Fig. 3.11: Diagrama Lógico del paso 11

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas del paso once se muestran en la tabla XIX: y las acciones respectivas en la tabla XX.

<b>CÓDIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RAVG	Pedido de Arranque en Generación
59 M	Presencia de voltaje en la Unidad
59 R	Presencia de voltaje en la Red
(ISG)	Que no hayan Intervención de Bloqueo por fallas externas

Tabla XIX: Condiciones previas al paso 11

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
X_25 OAT	Insertar Control de Sincronismo
EVRM_ OAT	Pedido de Adaptación a Tensión de Línea
CTM11	Configuración del paso 11
MPT11 = RTM11	Tiempo máximo del paso 11
RF11 = RTM11 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla XX: Acciones que ejecuta el paso 11

### **Condiciones Previas Correspondientes al paso 11:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.11 como en la tabla XIX se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 11.

La primera condición que chequea el paso once es que haya un RAVG, en este nivel ya no se necesita que haya un RAVR, puesto que la maquina ya está girando.

La segunda condición que chequea el paso once es que haya presencia de voltaje en la unidad.

La tercera condición que chequea el paso once es que haya presencia de voltaje en la red.

La cuarta condición que chequea el paso once es que no haya intervención de bloqueo por fallas externas (ISG de color rojo en el diagrama, equivalente a un valor lógico negativo)..



### **Condiciones Previas Correspondientes al paso 11:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.11 como en la tabla XIX se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 11.

La primera condición que chequea el paso once es que haya un RAVG, en este nivel ya no se necesita que haya un RAVR, puesto que la maquina ya está girando.

La segunda condición que chequea el paso once es que haya presencia de voltaje en la unidad.

La tercera condición que chequea el paso once es que haya presencia de voltaje en la red.

La cuarta condición que chequea el paso once es que no haya intervención de bloqueo por fallas externas (ISG de color rojo en el diagrama, equivalente a un valor lógico negativo)..



Si estas condiciones se cumplen de acuerdo a la lógica de los circuitos “OR” y “AND” antes mencionados se ejecutan las acciones correspondientes al paso 11.

#### **Acciones del Paso 11:**

La primer acción que realiza el paso once es la inserción del control de sincronismo (X25 \_ OAT).

La segunda acción que ejecuta el paso once es el pedido de adaptación a tensión de línea. Como hay presencia de voltaje en la unidad y en la red, el control de sincronismo verifica que los dos voltajes tengan la misma magnitud, frecuencia, secuencia de fase y que estén en fase, una vez que esto se cumple el control de sincronismo cierra el interruptor principal dejando de esta manera sincronizada la unidad, pero sin tomar carga aún.

Después que se han ejecutado las dos acciones antes mencionadas la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 11) que significa que el paso once se ha concluido y la secuencia continua a chequear las condiciones del paso 12. Sin embargo

si no se ha concluido el paso 11 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM11). Este tiempo puede ser un segundo aproximadamente, dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que se ejecuten estas acciones.

Si no se concluye el paso once en el tiempo previsto y además existe un requerimiento de parada ( $RF11 = RTM11 * AUT$ ), la secuencia no avanza y en lugar de chequear las condiciones previas del paso 12 ocurre un pedido automático de parada que lo envía al paso 15, el cual pertenece a la secuencia de parada y cuya acción es deshacer todo lo que se realizó en el paso once y después continuar con toda la secuencia de parada, tal como se muestra en el anexo 2.1.

### **3.2.10.PASO 12: TURBINA EN REGULACIÓN DE POTENCIA ACTIVA, REGULACIÓN DE APERTURA Y AUMENTO HASTA EL LIMITE TÉCNICO.**

Cumplido el paso once la máquina automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas para que se ejecuten las acciones del paso doce tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.12.

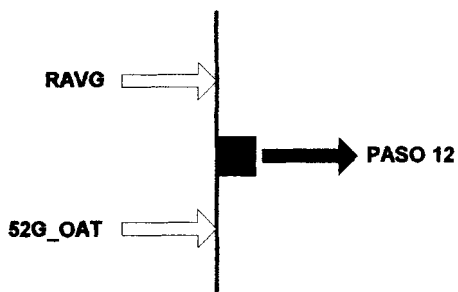


Fig. 3.12: Diagrama Lógico del paso 12

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas del paso doce se muestran en la tabla XXI y las acciones respectivas en la tabla XXII.

<b>CÓDIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RAVG	Pedido de Arranque en Generación
52G _ OAT	Interruptor Principal Cerrado

Tabla XXI: Condiciones previas al paso 12

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
RV_ A	Inserción del Regulador por Apertura
RV_ AA	Aumento de Apertura por 65 Sg
CTM12	Configuración del paso 12
MPT12 = RTM12	Tiempo máximo del paso 12
RF12 = RTM12 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla XXII: Acciones que ejecuta el paso 12



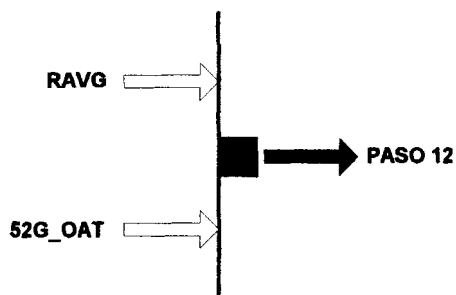


Fig. 3.12: Diagrama Lógico del paso 12

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas del paso doce se muestran en la tabla XXI y las acciones respectivas en la tabla XXII.

<b>CÓDIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RAVG	Pedido de Arranque en Generación
52G _ OAT	Interruptor Principal Cerrado

Tabla XXI: Condiciones previas al paso 12

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
RV_ A	Inserción del Regulador por Apertura
RV_ AA	Aumento de Apertura por 65 Sg
CTM12	Configuración del paso 12
MPT12 = RTM12	Tiempo máximo del paso 12
RF12 = RTM12 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla XXII: Acciones que ejecuta el paso 12

**Condiciones Previas Correspondientes al paso 12:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.12 como en la tabla XXI se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 12.

La primera condición que chequea el paso doce es que haya un RAVG, en este nivel ya no se necesita que haya un RAVR, puesto que la maquina ya está girando.

La segunda condición que chequea el paso doce es que el interruptor principal este cerrado (52G \_ OAT. Puesto que en este paso la máquina se encargará de la regulación de potencia activa y apertura, es necesario que la máquina este generando y que este interruptor esté cerrado.

**Acciones del Paso 12:**

La primer acción que realiza el paso doce es la inserción de regulación por apertura (RV\_ A). Cuando la máquina está sin carga es suficiente con una pequeña apertura de los alabes para mover el rotor, pero no la adecuada para coger carga, por

esta razón una vez que la máquina ha sincronizado (paso 11) y desea asumir carga, es necesario abrir un poco más los alabes, por lo cual en este paso se inserta la regulación por apertura.

La segunda acción que ejecuta el paso doce es el aumento de apertura por 65 segundos (RV\_ AA). Esto se lo realiza progresivamente dependiendo de cual sea la tasa que tiene la unidad para asumir carga. Esto significa que una vez que la unidad está sincronizada empieza a entregar poco a poco su potencia hasta llegar a su valor nominal y el tiempo que tarda en ejecutar esta acción depende de la consigna que se le ha dado.

El aumento de apertura por 65 segundos significa que la unidad tarda 65 segundos desde que empieza a entregar potencia hasta que llega a su valor nominal, lo puede realizar en un tiempo menor, pero el CENACE le exige que lo haga lentamente con el propósito de no producir cambios bruscos en la red.

Una vez que se han ejecutado las dos acciones antes mencionadas la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 12)



que significa que el paso doce se ha concluido y la secuencia continua a chequear las condiciones del paso 13. Sin embargo si no se ha concluido el paso 12 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM12). Dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que se ejecuten estas acciones.

Si no se concluye el paso doce en el tiempo previsto y además existe un requerimiento de parada ( $RF12 = RTM12 * AUT$ ), la secuencia no avanza y en lugar de chequear las condiciones previas del paso 13 ocurre un pedido automático de parada que lo envía al paso 14, el cual pertenece a la secuencia de parada y cuya acción es deshacer todo lo que se realizó en el paso doce y después continuar con toda la secuencia de parada, tal como se muestra en el anexo 2.1.

### **3.2.11. PASO 13: UNIDAD EN GENERACIÓN .**

Cumplido el paso doce la máquina automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas para que se ejecuten las acciones del paso trece tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.13.



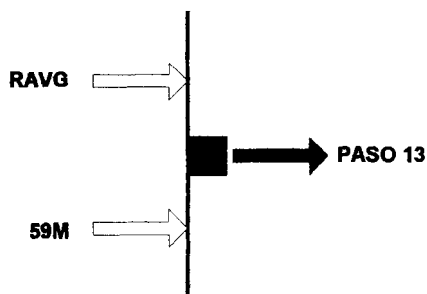


Fig. 3.13: Diagrama Lógico del paso 13

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas del paso trece se muestran en la tabla XXIII: y las acciones respectivas en la tabla XXIV.

<b>CÓDIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RAVG	Pedido de Arranque en Generación
59M	Presencia de Voltaje en la Unidad

Tabla XXIII: Condiciones previas al paso 13

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
FTG ESTADO	Unidad en Generación

Tabla XXIV: Acciones que ejecuta el paso 13

**Condiciones Previas Correspondientes al paso 13:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.13 como en la tabla XXIII se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 13.

La primera condición que chequea el paso trece es que haya un RAVG, en este nivel ya no se necesita que haya un RAVR, puesto que la maquina ya está girando.

La segunda condición que chequea el paso doce es la presencia de voltaje en la unidad (59M).

**Acciones del Paso 13:**

La única acción que realiza el paso trece es la confirmación de que todo este en correcto estado de funcionamiento FTG estado.

### 3.3. PROCEDIMIENTO PARA LA SECUENCIA DE PARADA

La secuencia de parada está constituida por **SIETE** pasos, cada uno de los cuales activa o desactiva los diferentes equipos del sistema.

La secuencia de parada sigue exactamente el mismo patrón que la secuencia de arranque, pero en sentido contrario.

La secuencia de parada tiene como objetivo deshacer de una forma ordenada todo lo que se realizó en la secuencia de arranque.

Los pasos que constituyen la secuencia de parada son los siguientes:

- Paso 14: Potencia Reactiva Cero y potencia Activa Cero.
- Paso 15: Disyuntor del Generador Abierto.
- Paso 16: Excitación Desaplicada y Bomba del Sistema de Inyección de Aceite Arrancada.
- Paso 17: Regulador Electrónico de Velocidad Apagado y Bloqueo del Regulador Hidráulico de Velocidad.
- Paso 18: Frenos Aplicados.
- Paso 19: Cierre de la Válvula de Aislamiento.



- Paso 20: Bombas y Extractores de Aceite Apagados, Cierre de Válvula del Agua de Enfriamiento y Desinserción de Frenos.

### **3.3.1. PASO 14: POTENCIA REACTIVA CERO Y POTENCIA ACTIVA CERO.**

El paso 14 constituye el primer paso de la secuencia normal de parada y tiene como objetivo bajar la potencia reactiva y activa de sus valores actuales a un valor de cero (MVAR Y MW) respectivamente, esto lo pude lograr a través del control de potencia por apertura y del control de excitación.

El paso 14 puede ejecutarse si se presentan cualquiera de los siguientes eventos:

- \* Porque hubo un pedido de parada cuando la unidad se encontraba en el paso 13 de la secuencia de arranque. Este pedido pudo ser originado por el operador (RFE) o desde el automatismo (RF). Además del pedido de parada también se exige (ISG) que no haya intervención de bloqueo por fallas externas. (RF + RFE) \* (ISG).



<b>CÓDIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RFE	Pedido de Parada del Operador
RF	Pedido de Parada desde el DCS
(ISG)	Que no hayan Intervención de Bloqueo por fallas externas
RTM12	Máximo Tiempo del Paso 12

Tabla XXV: Condiciones previas al paso 14

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
ES_AZZQ	Potencia Reactiva cero
RV_AZZP	Potencia Activa Cero
CTM14	Configuración del paso 14
MPT14 = RTM14	Tiempo máximo del paso 14
RF14 = RTM14 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla XXVI: Acciones que ejecuta el paso 14

### **Condiciones Previas Correspondientes al paso 14:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.14 como en la tabla 3.24 se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 14.

La primera condición que chequea el sistema es que exista un pedido de parada, esta puede ser ejecutado desde el operador (RFE) o desde el automatismo (RF).

La segunda condición que chequea el sistema es que no haya intervención de bloqueo por fallas externas (ISG). El color rojo corresponde a una lógica negativa. En el caso de que existiera esta intervención de bloqueo ocurriría una parada de emergencia (parada por bloqueo) y no una parada normal.

La tercera condición que chequea el sistema es que haya expirado el tiempo máximo establecido en el paso 12: RTM12.

Si no se cumplen las condiciones requeridas por el paso catorce se produce una parada de emergencia o parada por bloqueo.

#### **Acciones del Paso 14:**

La primer acción que realiza el paso catorce es bajar la potencia reactiva del generador, de su valor actual a un valor de cero MVAR (ES\_AZZQ).

La segunda acción que realiza el paso catorce es bajar la potencia activa del generador, de su valor actual a un valor de cero Mw. (RV\_AZZP).



Luego que se han ejecutado las dos acciones antes mencionadas la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 14) que significa que el paso catorce se ha concluido y la secuencia continua a chequear las condiciones del paso 15. Sin embargo si no se ha concluido el paso 14 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM14). Este tiempo puede ser dos o más segundos, dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que se ejecuten estas acciones.

Si no se concluye el paso catorce en el tiempo previsto se produce una parada de emergencia o parada por bloqueo.

### **3.3.2. PASO 15: APERTURA DEL DISYUNTOR DEL GENERADOR.**

El paso 15 constituye el segundo paso de la secuencia normal de parada y tiene como objetivo abrir el disyuntor del generador luego que este ha bajado sus potencias reactivas y activas a cero (MVAR Y Mw.) respectivamente, en otras palabras lo que hace este paso es aislar al generador de la red.

El paso 15 puede ejecutarse si se presentan cualquiera de los siguientes eventos:

- \* Siguiendo u obedeciendo la secuencia de parada que ya ha sido solicitada previamente en el paso 13
- \* Porque no se han ejecutado una o más acciones del paso 11 y que haya expirado el tiempo máximo establecido RTM11.

Si se presentan cualquiera de los dos eventos antes mencionados, el sistema automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas de acuerdo con la lógica de los circuitos "OR" y "AND", para que se ejecuten las acciones del paso quince tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.15a.

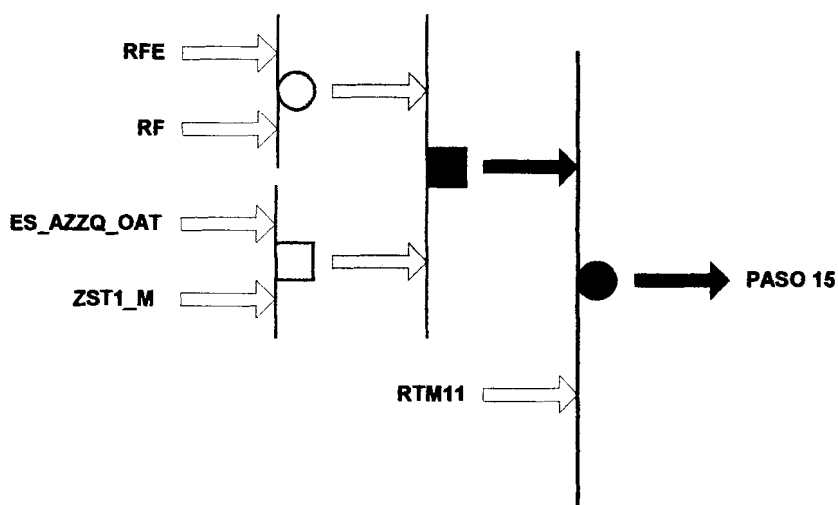


Fig. 3.15 a: Diagrama Lógico del paso 15

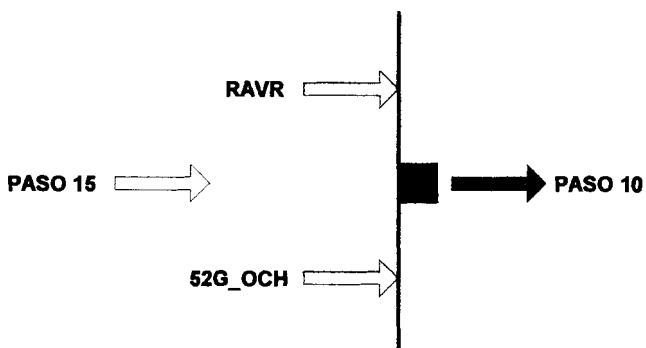


Fig. 3.15 b: Feedback del Paso 15 al Paso 10.

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas al paso quince se muestra en la tabla XXVII y las acciones respectivas en la tabla XXVIII.

<b>CÓDIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RFE	Pedido de Parada del Operador
RF	Pedido de Parada desde el DCS
ES_AZZQ_OAT	Potencia Reactiva cero
RV_AZZP	Potencia Activa Cero
ZST1_M	Servomotor del distribuidor abierto en Vacío.
RTM11	Máximo Tiempo del Paso 11

Tabla XXVII: Condiciones previas al paso 15

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
52G_OAT	Abertura del Disyuntor del Generador
CTM15	Configuración del paso 15
MPT15 = RTM15	Tiempo máximo del paso 15
RF15 = RTM15 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla XXVIII: Acciones que ejecuta el paso 15

### **Condiciones Previas Correspondientes al paso 15:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.15 como en la tabla 3.26 se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 15.

La primera condición que chequea el sistema es que exista un pedido de parada, esta puede ser ejecutado desde el operador (RFE) o desde el automatismo (RF).

La segunda condición que chequea el sistema es que la potencia reactiva del generador sea de cero MVAR (ES\_AZZQ).

La tercera condición que chequea el sistema es que la potencia activa del generador sea de cero Mw. (RV\_AZZP).

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
52G_OAT	Abertura del Disyuntor del Generador
CTM15	Configuración del paso 15
MPT15 = RTM15	Tiempo máximo del paso 15
RF15 = RTM15 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla XXVIII: Acciones que ejecuta el paso 15

### **Condiciones Previas Correspondientes al paso 15:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.15 como en la tabla 3.26 se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 15.

La primera condición que chequea el sistema es que exista un pedido de parada, esta puede ser ejecutado desde el operador (RFE) o desde el automatismo (RF).

La segunda condición que chequea el sistema es que la potencia reactiva del generador sea de cero MVAR (ES\_AZZQ).

La tercera condición que chequea el sistema es que la potencia activa del generador sea de cero Mw. (RV\_AZZP).

La cuarta condición que chequea el sistema es que el servomotor del generador esté abierto en vacío (ZST1\_M).

La quinta condición que chequea el sistema es que haya expirado el tiempo máximo establecido en el paso 11: RTM11.

Si no se cumplen las condiciones requeridas por el paso quince se produce una parada de emergencia o parada por bloqueo.

#### **Acciones del Paso 15:**

La única acción que realiza el paso quince es la apertura del disyuntor del generador, aislando de esta forma a la unidad de la red.

Si se han ejecutado las acciones del paso 15 continuara la secuencia normal de parada a menos de que exista un (RAVR \* 52G\_OAT) pedido de arranque en rotación con apertura del disyuntor del generador tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.15b, lo cual lo envía al paso 10 (secuencia de arranque) que es un paso en que la unidad se encuentra en un estado de rotación y con tensión.



Después que se han ejecutado las acciones del paso 15 la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 15) que significa que el paso quince se ha concluido y la secuencia continua a chequear las condiciones del paso 16. Sin embargo si no se ha concluido el paso 15 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM15). Este tiempo puede ser dos o más segundos, dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que se ejecuten estas acciones.

Si no se concluye el paso quince en el tiempo previsto se produce una parada de emergencia o parada por bloqueo.

### **3.3.3. PASO 16: EXCITACIÓN DESINSERTADA Y ARRANQUE DE LA BOMBA DE INYECCIÓN.**

El paso 16 constituye el tercer paso de la secuencia normal de parada y tiene como objetivo desinsertar la excitación y arrancar la bomba de inyección de aceite del cojinete combinado.

El paso 16 puede ejecutarse si se presentan cualquiera de los siguientes eventos:

- \* Siguiendo u obedeciendo la secuencia de parada que ya ha sido solicitada previamente en los pasos anteriores.
  
- \* Porque no se han ejecutado una o más acciones del paso 9 y que haya expirado el tiempo máximo establecido RTM9.
  
- \* Pedido de parada del operador cuando la secuencia se encontraba en el paso 10 (secuencia de arranque).

Si se presentan cualquiera de estos eventos antes mencionados, el sistema automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas de acuerdo con la lógica de los circuitos "OR" y "AND", para que se ejecuten las acciones del paso dieciséis tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.16.

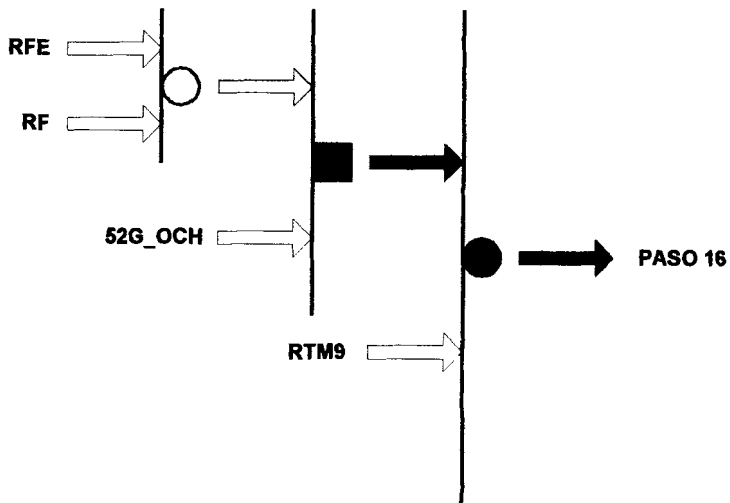


Fig. 3.16: Diagrama Lógico del paso 16

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas al paso dieciséis se muestra en la tabla XXIX y las acciones respectivas en la tabla XXX.

<b>CÓDIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RFE	Pedido de Parada del Operador
RF	Pedido de Parada desde el DCS
52G_OCH	Disyuntor del Generador Abierto
RTM9	Máximo Tiempo del Paso 9

Tabla XXIX: Condiciones previas al paso 16

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
ES_OCH	Excitación Desinsertada
PI1/2_OAT	Arranque de ½ bombas de Inyección
CTM16	Configuración del paso 16
MPT16 = RTM16	Tiempo máximo del paso 16
RF16 = RTM16 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla XXX: Acciones que ejecuta el paso 16

### **Condiciones Previas Correspondientes al paso 16:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.16 como en la tabla XXIX se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 16.

La primer condición que chequea el sistema es que exista un pedido de parada, este puede ser ejecutado desde el operador (RFE) o desde el automatismo (RF).

La segunda condición que chequea el sistema es que el disyuntor del generador esté abierto.

La tercera condición que chequea el sistema es que haya expirado el tiempo máximo establecido en el paso 9: RTM9.



Si no se cumplen las condiciones requeridas por el paso dieciséis se produce una parada de emergencia o parada por bloqueo.

### **Acciones del Paso 16:**

La primera acción que realiza el paso dieciséis es desinsertar el sistema de excitación de las escobillas y con esto hace que el generador ya no tenga tensión en sus terminales aunque siga girando.

La segunda acción que realiza el paso dieciséis es el arranque de la bomba del sistema de inyección. Esto lo realiza ya que es necesario para la parada del rotor.

Una vez que se han ejecutado las dos acciones antes mencionadas la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 16) que significa que el paso dieciséis se ha concluido y la secuencia continua a chequear las condiciones del paso 17. Sin embargo si no se ha concluido el paso 16 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM16). Este tiempo

puede ser dos o más segundos, dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que se ejecuten estas acciones.

Si no se concluye el paso dieciséis en el tiempo previsto se produce una parada de emergencia o parada por bloqueo.

#### **3.3.4. PASO 17: REGULADOR DE VELOCIDAD OFF.**

El paso 17 constituye el cuarto paso de la secuencia normal de parada y tiene como objetivos apagar el regulador electrónico de velocidad (RV\_ OCH) y bloquear el regulador hidráulico de velocidad o bloqueo de la turbina (S65\_OCH).

El paso 17 puede ejecutarse si se presentan cualquiera de los siguientes eventos:

- \* Siguiendo u obedeciendo la secuencia de parada que ya ha sido solicitada previamente en los pasos anteriores.
  
- \* Porque no se han ejecutado una o más acciones de los pasos 5,6,7,8 y que haya expirado el tiempo máximo establecido RTM5, RTM6, RTM7 y RTM8.

Si se presentan cualquiera de estos eventos antes mencionados, el sistema automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas de acuerdo con la lógica de los circuitos "OR" y "AND", para que se ejecuten las acciones del paso diecisiete, tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.17.

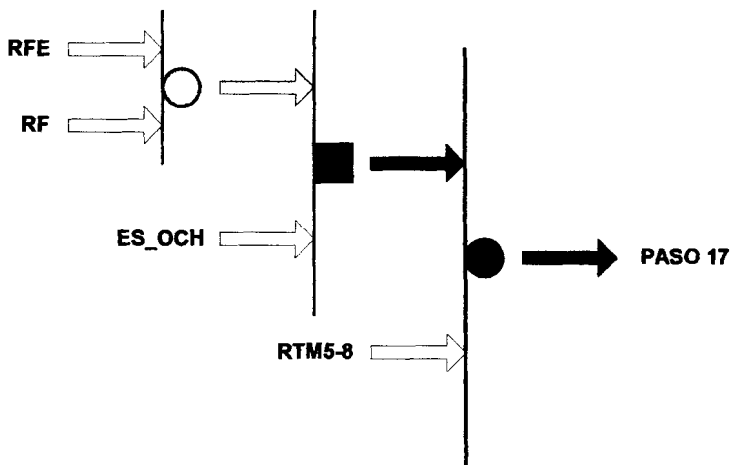


Fig. 3.17: Diagrama Lógico del paso 17

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas al paso diecisiete se muestra en la tabla XXXI y las acciones respectivas en la tabla XXXII.

<b>CÓDIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RFE	Pedido de Parada del Operador
RF	Pedido de Parada desde el DCS
ES_OCH	Excitación Desinsertada
RTM 5-8	Máximo Tiempo del Paso 7

Tabla XXXI: Condiciones previas al paso 17

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
RV_OCH	Regulador de Velocidad OFF
S65_OCH	Bloqueo de los Servomotores de la Turbina
CTM17	Configuración del paso 17
MPT17 = RTM17	Tiempo máximo del paso 17
RF17 = RTM17 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla XXXII: Acciones que ejecuta el paso 17

### **Condiciones Previas Correspondientes al paso 17:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.17 como en la tabla XXXI se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 17.

La primera condición que chequea el sistema es que exista un pedido de parada, este puede ser ejecutado desde el operador (RFE) o desde el automatismo (RF).



La segunda condición que chequea el sistema es que el sistema de excitación esté desinsertado (ES\_OCH).

La tercera condición que chequea el sistema es que haya expirado el tiempo máximo establecido en el paso 5: RTM5

La cuarta condición que chequea el sistema es que haya expirado el tiempo máximo establecido en el paso 6: RTM6.

La quinta condición que chequea el sistema es que haya expirado el tiempo máximo establecido en el paso 7: RTM7.

La sexta condición que chequea el sistema es que haya expirado el tiempo máximo establecido en el paso 8: RTM8.

Si no se cumplen las condiciones requeridas por el paso diecisiete se produce una parada de emergencia o parada por bloqueo.



**Acciones del Paso 17:**

La primera acción que realiza el paso diecisiete es apagar el regulador electrónico de velocidad lo cual incluye: el cierre de los álabes del distribuidor y que de esta manera ya no entre agua a la cámara de la turbina.

La segunda acción que realiza el paso diecisiete es el bloqueo de los álabes de la turbina. Esto lo realiza ya que en la primer acción se cerro el distribuidor, quedando los servomotores en la posición original (Posición de cerrado).

Luego que se han ejecutado las dos acciones antes mencionadas la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 17) que significa que el paso diecisiete se ha concluido y la secuencia continua a chequear las condiciones del paso 18. Sin embargo si no se ha concluido el paso 17 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM17). Este tiempo puede ser dos o más segundos, dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que se ejecuten estas acciones.

Si no se concluye el paso diecisiete en el tiempo previsto se produce una parada de emergencia o parada por bloqueo.

### **3.3.5. PASO 18: FRENOS APLICADOS.**

El paso 18 constituye el quinto paso de la secuencia normal de parada y tiene como objetivo la aplicación de frenos (S20FR\_OAT).

El paso 18 puede ejecutarse si se presentan cualquiera de los siguientes eventos:

\* Siguiendo u obedeciendo la secuencia de parada que ya ha sido solicitada previamente en los pasos anteriores.

Si se presentan cualquiera de estos eventos antes mencionados, el sistema automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas de acuerdo con la lógica de los circuitos “OR” y “AND”, para que se ejecuten las acciones del paso dieciocho, tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.18.

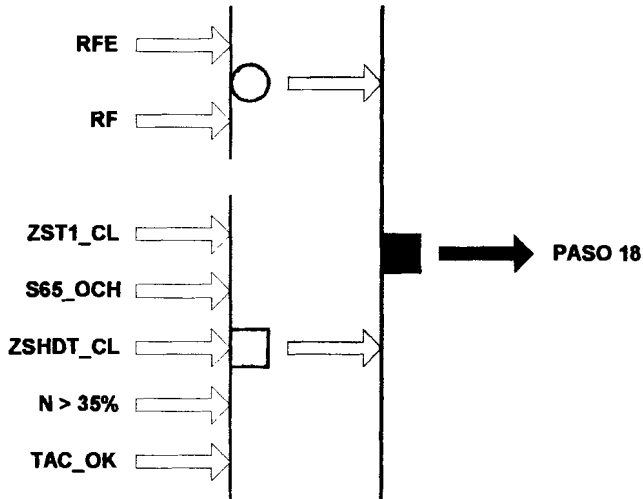


Fig. 3.18: Diagrama Lógico del paso 18

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas al paso dieciocho se muestra en la tabla XXXIII y las acciones respectivas en la tabla XXXIV.

<b>CÓDIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RFE	Pedido de Parada del Operador
RF	Pedido de Parada desde el DCS
ZST1_CL	Servo Motores del Distribuidor Cerrado
S65_OCH	Regulador de velocidad Bloqueado
ZSHDT_CL	Cerrojo del Servomotor del Regulador Cerrado
N > 35%	Velocidad mayor del 35%

Tabla XXXIII: Condiciones previas al paso 18

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
S20FR_OAT	Frenos Insertados
CTM18	Configuración del paso 18
MPT18 = RTM18	Tiempo máximo del paso 18
RF18 = RTM18 * AUT	Pedido Automático de Parada.

Tabla XXXIV: Acciones que ejecuta el paso 18

### Condiciones Previas Correspondientes al paso 18:

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.18 como en la tabla XXXIII se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 18.

La primera condición que chequea el sistema es que exista un pedido de parada, este puede ser ejecutado desde el operador (RFE) o desde el automatismo (RF).

La segunda condición que chequea el sistema es que el servo distribuidor este cerrado (ZST1\_CL).

La tercera condición que chequea el sistema es que el regulador de velocidad esté bloqueado (S65\_OCH).

La cuarta condición que chequea el sistema es que el cerrojo del servomotor del regulador esté cerrado (ZSHDT\_CL).

La quinta condición que chequea el sistema es que la velocidad del rotor sea mayor del 35% ( $N > 35\%$ ).

Si no se cumplen las condiciones requeridas por el paso dieciocho se produce una parada de emergencia o parada por bloqueo.

#### **Acciones del Paso 18:**

La única acción que realiza este paso es la aplicación de los frenos, logrando de esta manera la parada del rotor.

Después que se ha ejecutado esta acción antes mencionada la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 18) que significa que el paso dieciocho se ha concluido y la secuencia continua a chequear las condiciones del paso 19. Sin embargo si no se ha concluido el paso 18 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM18). Este tiempo puede ser dos o más

segundos, dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que se ejecuten estas acciones.

Si no se concluye el paso dieciocho en el tiempo previsto se produce una parada de emergencia o parada por bloqueo.

### **3.3.6. PASO 19: CIERRE DE LA VÁLVULA DE AISLAMIENTO.**

El paso 19 constituye el sexto paso de la secuencia normal de parada y tiene como objetivo el cierre de la válvula de aislamiento (S20Q\_OCH).

El paso 19 puede ejecutarse si se presentan cualquiera de los siguientes eventos:

- \* Siguiendo u obedeciendo la secuencia de parada que ya ha sido solicitada previamente en los pasos anteriores.
  
- \* Porque no se han ejecutado una o más acciones del paso cuatro y que haya expirado el tiempo máximo establecido RTM4.

Si se presentan cualquiera de estos eventos antes mencionados, el sistema automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas de acuerdo con la lógica de los circuitos "OR" y "ADN", para que se ejecuten las acciones del paso diecinueve, tal como se muestra en el diagrama lógico de la figura 3.19.

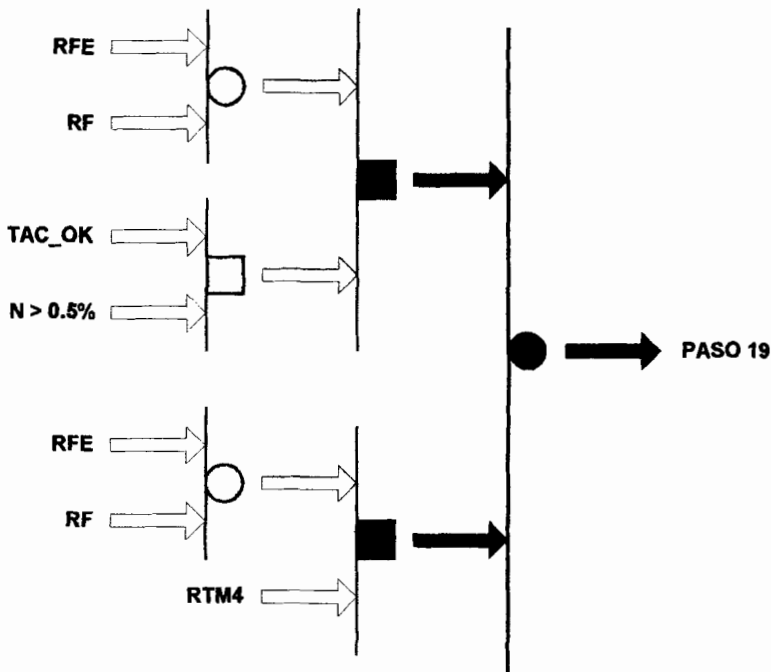


Fig. 3.19: Diagrama Lógico del paso 19

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas al paso diecinueve se muestra en la tabla XXXV y las acciones respectivas en la tabla XXXVI.



<b>CÓDIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RFE	Pedido de Parada del Operador
RF	Pedido de Parada desde el DCS
$N > 0.5\%$	Velocidad mayor del 0.5%
RTM4	Máximo Tiempo del Paso 4

Tabla XXXV: Condiciones previas al paso 19

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
S20Q_OCH	Cierre de la Válvula de Aislamiento

Tabla XXXVI: Acciones que ejecuta el paso 19

### Condiciones Previas Correspondientes al paso 19:

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.19 como en la tabla XXXV se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 19.

La primera condición que chequea el sistema es que exista un pedido de parada, este puede ser ejecutado desde el operador (RFE) o desde el automatismo (RF).

La segunda condición que chequea el sistema es que la velocidad del rotor sea mayor del 0.5% ( $N > 0.5\%$ ).



La tercera condición que chequea el sistema es que haya expirado el tiempo máximo establecido en el paso 4: RTM4.

Si no se cumplen las condiciones requeridas por el paso diecinueve se produce una parada de emergencia o parada por bloqueo.

#### **Acciones del Paso 19:**

La única acción que realiza este paso es el cierre de la válvula de aislamiento (S20Q\_OCH).

Una vez que se ha ejecutado esta acción antes mencionada la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 19) que significa que el paso diecinueve se ha concluido y la secuencia continua a chequear las condiciones del paso 20. Sin embargo si no se ha concluido el paso 19 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM19). Este tiempo puede ser dos o más segundos, dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que se ejecuten estas acciones.

Si no se concluye el paso diecinueve en el tiempo previsto se produce una parada de emergencia o parada por bloqueo.

### **3.3.7. PASO 20: APAGAR BOMBAS, EXTRACTORES DE VAPOR, DESAPLICAR FRENOS, CIERRE DE VÁLVULA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.**

El paso 20 constituye el séptimo de la secuencia normal de parada y tiene como objetivo deshacer todo lo que realizó el paso 3 (secuencia de arranque). Las acciones que este paso ejecuta se muestran en la tabla XXXVIII.

El paso 20 puede ejecutarse si se presentan cualquiera de los siguientes eventos:

- \* Siguiendo u obedeciendo la secuencia de parada que ya ha sido solicitada previamente en los pasos anteriores.
  
- \* Porque no se han ejecutado una o más acciones del paso tres y que haya expirado el tiempo máximo establecido RTM3.

Si se presentan cualquiera de estos eventos antes mencionados, el sistema automáticamente chequea que se cumplan las condiciones previas de acuerdo con la lógica de los circuitos “OR” y “ADN”, para que se ejecuten las acciones del paso veinte, tal como se muestra en el diagrama lógico la figura 3.20.

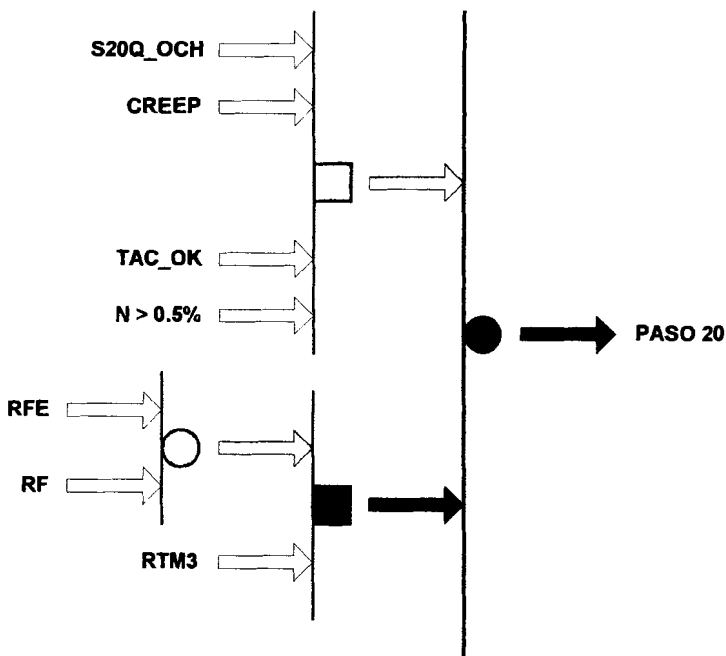


Fig. 3.20: Diagrama Lógico del paso 20

El equivalente o significado de cada código de las condiciones previas al paso veinte se muestra en la tabla XXXVII y las acciones respectivas en la tabla XXXVIII.

<b>CÓDIGO</b>	<b>CONDICIONES</b>
RFE	Pedido de Parada del Operador
RF	Pedido de Parada desde el DCS
S20Q_OCH	Válvula de Aislamiento Cerrada
N > 0.5%	Velocidad menor del 0.5%
RTM3	Máximo Tiempo del Paso 3

Tabla XXXVII: Condiciones previas al paso 20

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>
OCA _ F	Parada ½ Bombas del sistema de Regulación de Velocidad
PC1/2 _ OCH	Parada ½ Bombas de circulación del cojinete combinado
PI1/2 _ OCH	Parada ½ Bombas de inyección del cojinete combinado
88WR _ OCH	Cierre de la Válvula del Agua de Enfriamiento
S20FR _ OCH	Frenos Desinsertados
88QS1 _ OCH	Extractor de Vapor de Aceite de Cojinete Combinado Parado
88QS2 _ OCH	Extractor de Vapor de Aceite de Cojinete Turbina Parado
88QS3 _ OCH	Extractor de Vapor de Aceite de Cojinete Guía Superior Parado

Tabla XXXVIII: Acciones que ejecuta el paso 20



**Condiciones Previas Correspondientes al paso 20:**

Tanto en el diagrama lógico de la figura 3.20 como en la tabla XXXVII se muestran las condiciones previas que deben de cumplirse para que se ejecuten las acciones del paso 20.

La primera condición que chequea el sistema es que exista un pedido de parada, este puede ser ejecutado desde el operador (RFE) o desde el automatismo (RF).

La segunda condición que chequea el sistema es que la válvula de aislamiento este cerrada (S20Q\_OCH).

La tercera condición que chequea el sistema es que la velocidad no sea mayor del 0.5%.

La cuarta condición que chequea el sistema es que haya expirado el tiempo máximo establecido en el paso 3: RTM3.

Si no se cumplen las condiciones requeridas por el paso veinte se produce una parada de emergencia o parada por bloqueo.

**Acciones del Paso 20:**

La primera acción que realiza el paso veinte es la parada del grupo acumulación y bombeo (OCA \_ F), la misma que estuvo prendida durante todo el proceso de arranque de la máquina y durante su funcionamiento.

La segunda acción que realiza el paso veinte es la parada de la bomba de inyección (PI1/2 \_ OCH), esta fue arrancada en el paso dieciséis con el propósito de bajar suavemente al rotor una vez que este empiece a reducir su velocidad y a perder su fuerza centrípeta.

La tercera acción que realiza el paso veinte es la parada de la bomba de circulación (PC1/2 \_ OCH) de aceite del cojinete combinado.

La cuarta acción que realiza el paso veinte es la desinserción de los frenos (S20FR \_ OCH), los cuales fueron aplicados en el paso dieciocho con el propósito de parar el rotor.

La quinta acción que realiza el paso veinte es el cierre de la válvula del agua de enfriamiento (88WR \_ OCH), la misma que estuvo abierta durante todo el proceso de arranque de la máquina y durante su funcionamiento con el propósito de proporcionar agua del embalse a los sistemas de enfriamiento.

La sexta acción que realiza el paso veinte es la parada de los extractores de vapor de aceite (88QS1,2,3\_ OCH), los cuales fueron arrancados en el paso ocho (secuencia de arranque) con el propósito de extraer el vapor que se genera en el sistema de cojinetes combinados.

Una vez que se ha ejecutado esta acción antes mencionada la pantalla del DCS muestra el (SETUP STEP 20) que significa que el paso veinte se ha concluido y la secuencia continua a chequear las condiciones del paso 1. Sin embargo si no se ha concluido el paso 20 el sistema establece un tiempo máximo para que lo haga (RTM20). Este tiempo puede ser dos o más segundos, dependiendo de cual sea el tiempo normal requerido para que se ejecuten estas acciones.



Si no se concluye el paso veinte en el tiempo previsto se produce una parada de emergencia o parada por bloqueo que lo envía al paso 52 (Bloqueo eléctrico con velocidad cero).

Del paso 20 o del paso 52 la secuencia continúa al paso 1, el cual puede ser considerado como el paso de partida y llegada. De partida ya que de aquí inicia la secuencia de arranque hacia el paso tres y de llegada porque en este paso finaliza la secuencia de parada, ya sea esta normal o de emergencia (bloqueo).

# Capítulo 4

## **PROBLEMAS QUE SE PUEDEN PRESENTAR EN LA SECUENCIA DE ARRANQUE Y PARADA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “MARCEL LANIADO DE WIND”**

### **4.1. INTERVENCION DE BLOQUEOS**

La interrupción de la secuencia de arranque o parada de una unidad y consecuentemente su parada de emergencia, puede ocurrir por la presencia de los bloqueos, el bloqueo o disparo de la unidad puede ser de origen eléctrico, mecánico u originado desde el automatismo (DCS).

La central consta de protecciones mecánicas y protecciones eléctricas en todos los sistemas que la componen. Estas señales de protección llegan hasta los relés de disparo y al mismo tiempo al DCS

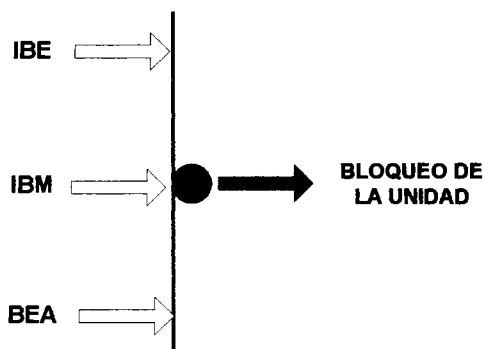
dependiendo del tipo de falla que se produzca. Por ejemplo, si la falla es de origen eléctrico, el elemento de protección enviará una señal al relé de disparo 86E y al DCS, de la misma forma si la falla es de origen mecánica el elemento de protección enviará una señal al relé 86M y al DCS, si la falla se origina desde el grupo generador – transformador, el elemento de protección enviará una señal al relé 86TG y al DCS, finalmente si la falla se produce en los sistemas auxiliares el elemento de protección enviara una señal al relé de disparo 86PP y al DCS. En este último caso se producirá la parada parcial del grupo.

El bloqueo de la unidad puede darse por la actuación de los relés de disparo 86M, 86E, 86TG, 86PP y/o por el sistema de control distribuido DCS (ver anexo 1.11).

En la figura 4.1 se muestra un diagrama lógico “OR” de la actuación de los bloqueos: Intervención del Bloqueo Eléctrico ( IBE), Intervención del Bloqueo Mecánico (IBM), y Bloqueo Eléctrico desde el Automatismo (BEA),



En esta figura se puede observar que es suficiente con que actúe un relé de disparo y/o el DCS para que se produzca el bloqueo de la unidad.



**Fig. 4.1: Diagrama Lógico de la Actuación de los Bloqueos**

#### **4.1.1. INTERVENCION DEL BLOQUEO ELECTRICO (IBE)**

El bloqueo eléctrico se puede dar por medio de la actuación de los relés de protección del generador, del grupo generador transformador o fallas externas.

El bloqueo eléctrico se puede dar por la apertura del lazo de control que mantiene energizados a los relés 86E, 86TG, 86PP o de manera directa por el DCS. Este lazo de control está constituido por una serie de contactos normalmente cerrados cuyas bobinas reciben voltaje de las señales de protección,

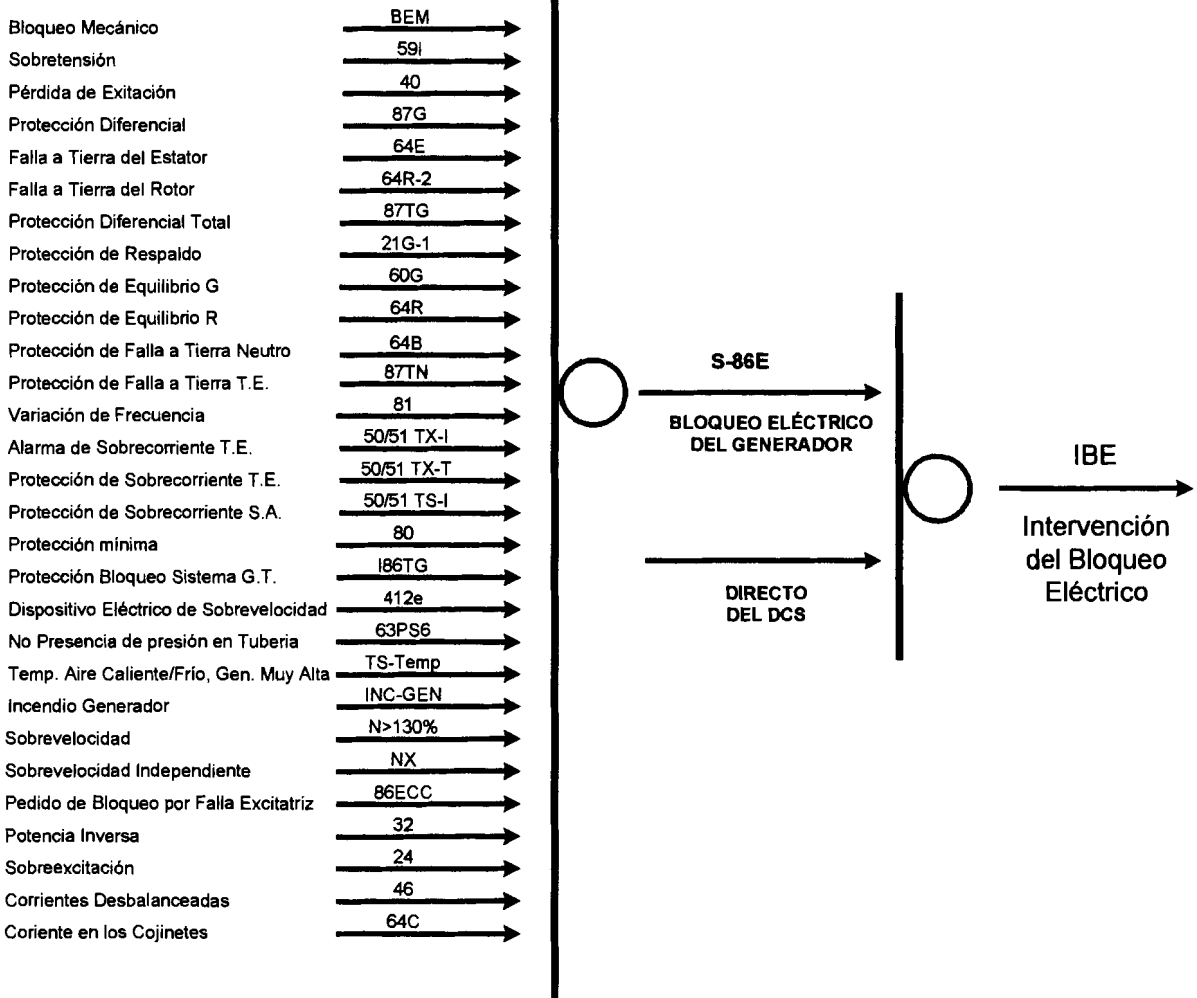
pero cuando ocurre algún evento anómalo la señal de voltaje se corta, la bobina o las bobinas de uno o más de los contactos (dependiendo de la cantidad de eventos anómalos) del lazo se desenergiza y el lazo se abre, provocando el disparo del relé de bloqueo 86E y consecuentemente el disparo del disyuntor 52G.

En el caso de que no actúe el relé de disparo 86E, la intervención del bloqueo eléctrico IBE también puede darse de manera directa desde el DCS.

En la figura 4.2 se muestra un diagrama lógico “OR”, con todas la variables asociadas al relé 86E.

#### **a. Bloqueos del Grupo Generador – Transformador (86GT)**

Este bloqueo se da debido a señales que son emitidas por los relés de protección de la unidad generador transformador cuando existe algún evento anómalo tanto eléctrico como mecánico. Al producirse un evento anómalo uno o más de los contactos dispuestos en serie normalmente cerrados de este bloqueo se abre y se provoca el disparo del relé 86TG que acciona la señal de intervención del bloqueo I86TG.



**Fig. 4.2: Diagrama Lógico de la Intervención del Bloqueo Eléctrico**

Siendo esta una de las señales que llega hasta el diagrama

lógico OR de la intervención del bloqueo eléctrico (fig. 4.2).

La señal I86TG también es alimentada directamente desde el DCS en caso de que el relé 86TG no opere. En la figura 4.3 se muestra un diagrama lógico "OR", con todas las variables asociadas al relé 86TG.

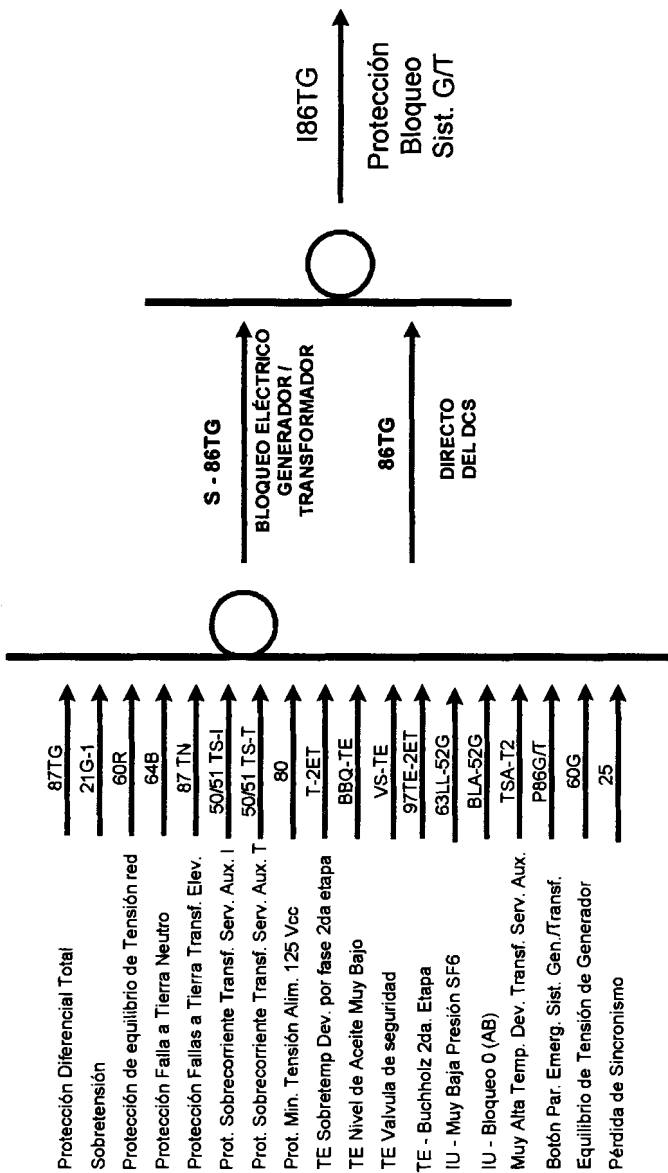


Fig. 4.3: Diagrama Lógico OR Bloqueo del Grupo G/T

## **b. Bloqueos Contra Fallas Externas (86 PP)**

La activación del bloqueo a través del relé 86PP puede ser provocado por una falla externa en la línea de transmisión, subestación o equipos asociados, cuyo resultado es la marcha en vació. Es decir, se produce una baja de carga y la correspondiente apertura del interruptor 52G.

### **4.1.2. INTERVENCION DEL BLOQUEO MECANICO (IBM)**

El bloqueo mecánico se puede dar por la apertura del lazo de control que mantiene energizado al relé 86M o de manera directa por el DCS.

Este lazo de control está constituido por una serie de contactos normalmente cerrados cuyas bobinas reciben voltaje de las señales de protección, pero cuando ocurre algún evento anómalo la señal de voltaje se corta, la bobina o las bobinas de uno o más de los contactos (dependiendo de la cantidad de eventos anómalos) del lazo se desenergiza y el lazo se abre, provocando el disparo del relé de bloqueo 86M.





Las señales de protección son originadas desde los diferentes sensores que están ubicados en puntos estratégicos de la unidad, por ejemplo: en todo el sistema de control oleodinámico, el sello del eje, los cojinetes, el sistema de agua de enfriamiento, el sistema de aire comprimido, la válvula mariposa, etc.

El 86M interrumpe al menor tiempo posible que la unidad siga girando, mediante el cierre de los álabes móviles, lo cual impide el paso del agua hacia el rodete. En el momento en que ya no exista carga en la unidad se procede a abrir el interruptor principal 52 G

En el caso de que no actúe el relé de disparo 86M, la intervención del bloqueo mecánico IBM también puede darse de manera directa desde el DCS.

En la figura 4.4 se muestra un diagrama lógico "OR", con todas la variables asociadas al relé 86M.

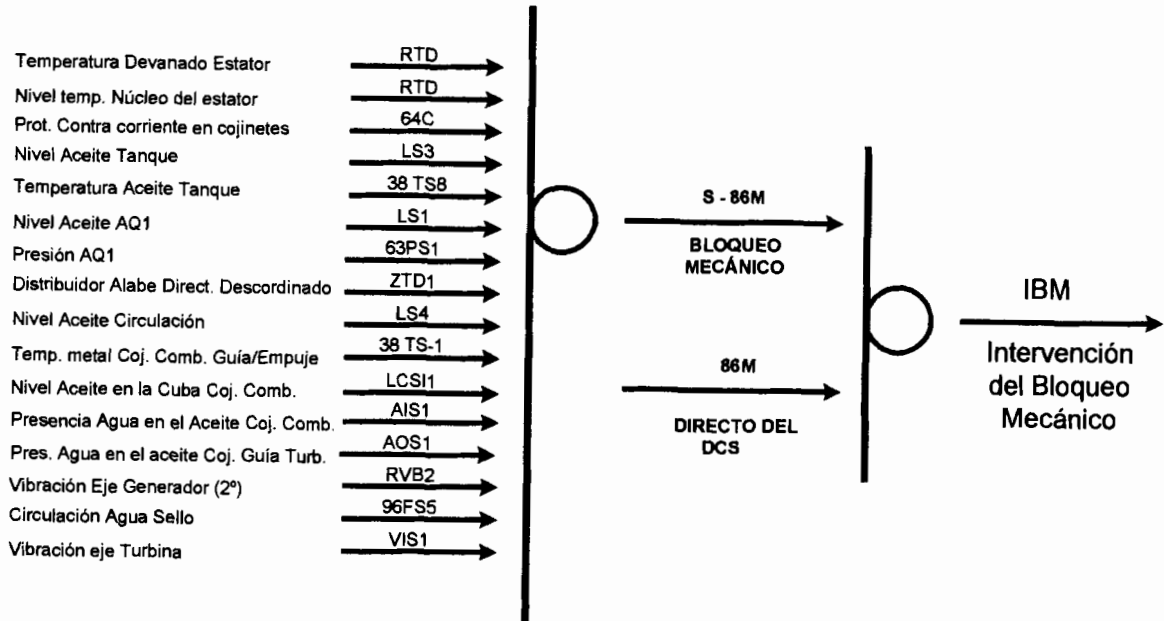


Fig. 4.4: Diagrama Lógico de la Intervención del Bloqueo

Mecánico

#### **4.1.3. BLOQUEO ELÉCTRICO DESDE EL AUTOMATISMO (BEA)**

Como podemos observar en el anexo 1.11. Al DCS llegan todas las señales de los relés de protección, sean éstos eléctricos (unidad o subestación) o mecánicos (RTD's, etc.), los cuales primeramente hacen que actúen los relés de bloqueo, pero cuando esto no ocurre por falla en sus contactos, el DCS da el disparo de respaldo por medio de la secuencia de bloqueo de emergencia. También se puede observar que existen señales que no van a los relés de bloqueo, sino que llegan directamente al DCS y provocan el llamado Bloqueo Eléctrico desde el Automatismo.

Estas señales adicionales que recibe el DCS se producen por Fallas de Origen Eléctrico (FOE) o por Fallas de Origen Mecánico (FOM), las cuales inmediatamente activan este bloqueo. También hay que tomar en cuenta que para la actuación de este bloqueo eléctrico se puede recibir una señal de un relé de bajo voltaje del Centro de Control de Motores (CCM), de manera tal que sin importar el resto de fallas se active el bloqueo.

En la figura 4.5 se muestra un diagrama lógico "OR", con todas las variables que pueden activar el (BEA), sin necesidad de que actúen primeramente los relés de disparo.

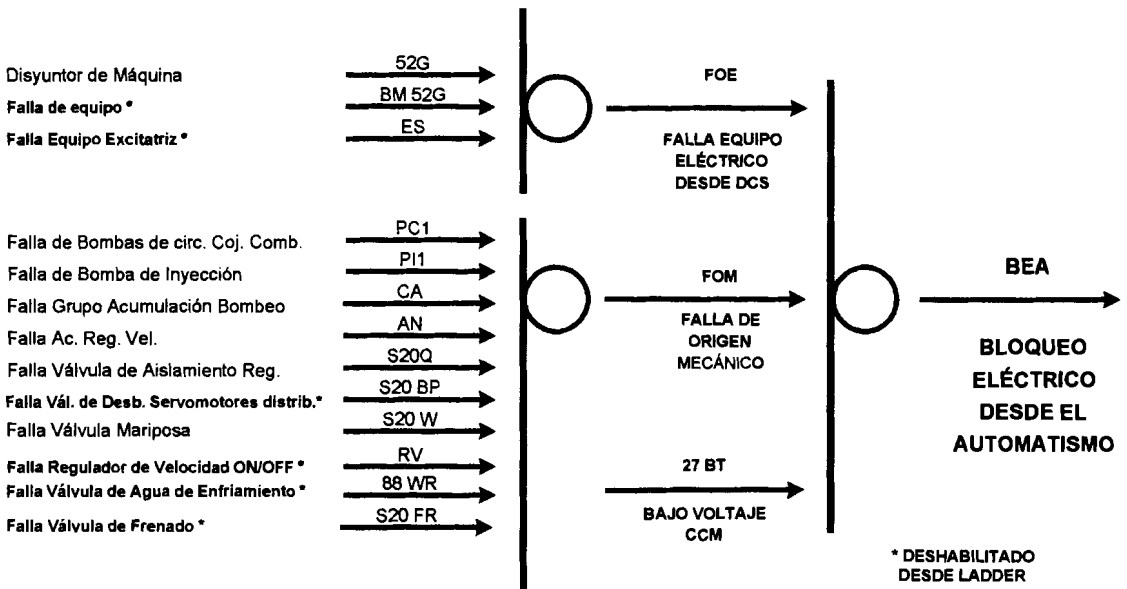


Fig. 4.5: Diagrama Lógico del Bloqueo Eléctrico desde el Automatismo

La acción final del bloqueo es disparar el disyuntor principal 52G desde el sistema supervisor.

## **4.2. INTERRUPCION DE LA SECUENCIA DE ARRANQUE**

A continuación se presenta un reporte de una falla ocurrida en la Central Hidroeléctrica “Marcel Laniado de Wind” y posteriormente el análisis respectivo. La falla causó la interrupción de la secuencia de arranque de una unidad.

### **4.2.1. REPORTE DE FALLA**

**Fecha:** 29 de Agosto del 2002

**Unidad Afectada:** Unidad 2

**Horas de Operación:** 12256

#### **Condiciones previas a la falla**

- **Potencia Activa:** 0 Mw.
- **Potencia Reactiva:** 0 Mw.
- **Voltaje de Barra:** 0 Kv.
- **Frecuencia:** 0 Hz.
- **Líneas afectadas por la falla:** Ninguna

**Causa:** Falla interna.- Panel Electrónico de excitación con señal de bloqueo por Desequilibrio de corrientes Puentes 1 y 2.

**Descripción del evento:** A las 18:08 la Unidad # 2 se encontraba en el Paso 9 de la secuencia de arranque, en ese momento, se presenta la alarma EXCITACIÓN KA75 REPILOGO ALARMAS LOCALES y a continuación RB FALLA ELÉCTRICA GEN, el tablerista de turno comunica que en el Panel de Alarmas del Tablero de excitación están activas las señales DESEQUILIBRIO DE CORRIENTE PUENTE 1 y DESEQUILIBRIO DE CORRIENTE PUENTE 2, las mismas que desenergizan a los relés KA86 y KA86X lo que origina la desenergización del relé 86E.

**Alarmas Actuadas:**

- EXCITACIÓN KA75 REPILOGO DE ALARMAS LOCALES
- RB FALLA ELÉCTRICA GEN
- EXCITACIÓN PEDIDO DE BLOQUEO POR FALLA
- (KA85 KA86/KA86X)

**Relé Actuado:**

- 86E

**Maniobras realizadas para despejar la falla:**

- Se midió el voltaje en el secundario del transformador de excitación.
- Revisión de las resistencias RR01 y RR02 (22 ohm).
- Cambio de las tarjetas electrónicas ELTEN y ERSCB.
- Limpieza de los relés KA23, KA23X, KA24 y KA24X.
- Limpieza del relé KA46, con lo que el sistema se pone en condiciones operativas.

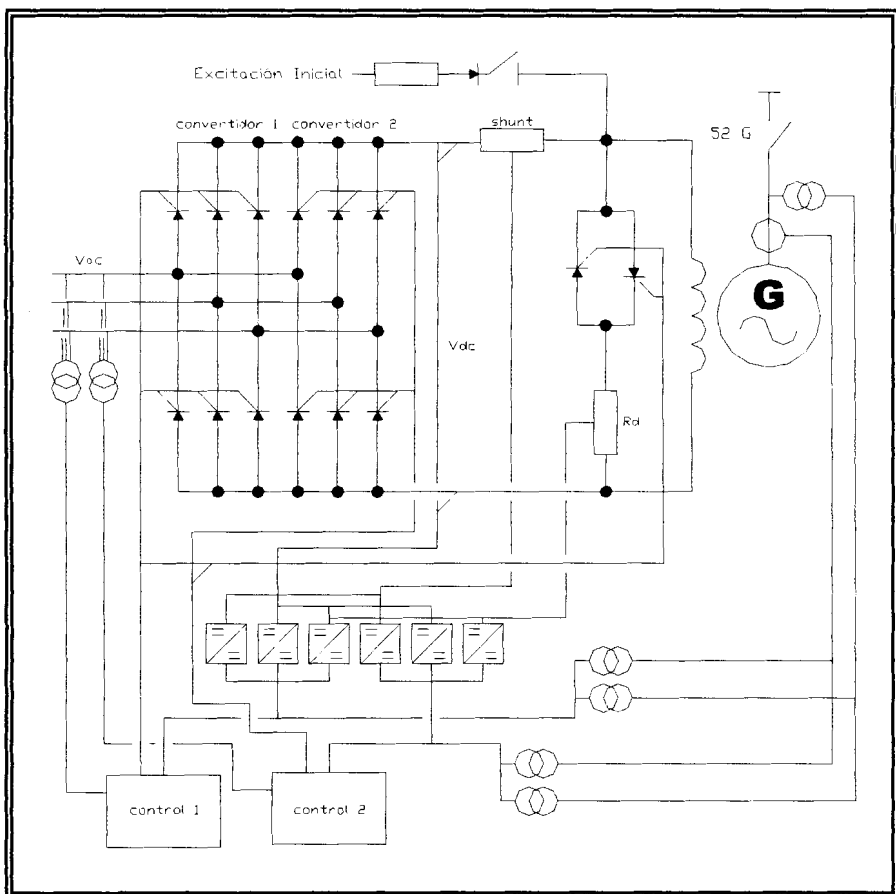
A continuación se dio una orden de ROTACIÓN y alcanza los 11.64 Kv sin alguna novedad, con estas condiciones comunican al CENACE la disponibilidad de la unidad.

**4.2.2. ANALISIS DE LA FALLA**

En el paso 9 se inserta la excitación, al no cumplirse este paso se produce el bloqueo eléctrico y mecánico, ejecutando las siguientes acciones de parada: bloqueo del regulador de velocidad hidráulico, desinserción del regulador de velocidad electrónico, arranque de la bomba de inyección de soporte

combinado, cierre de by-pass de la válvula mariposa, cierre de la válvula mariposa.

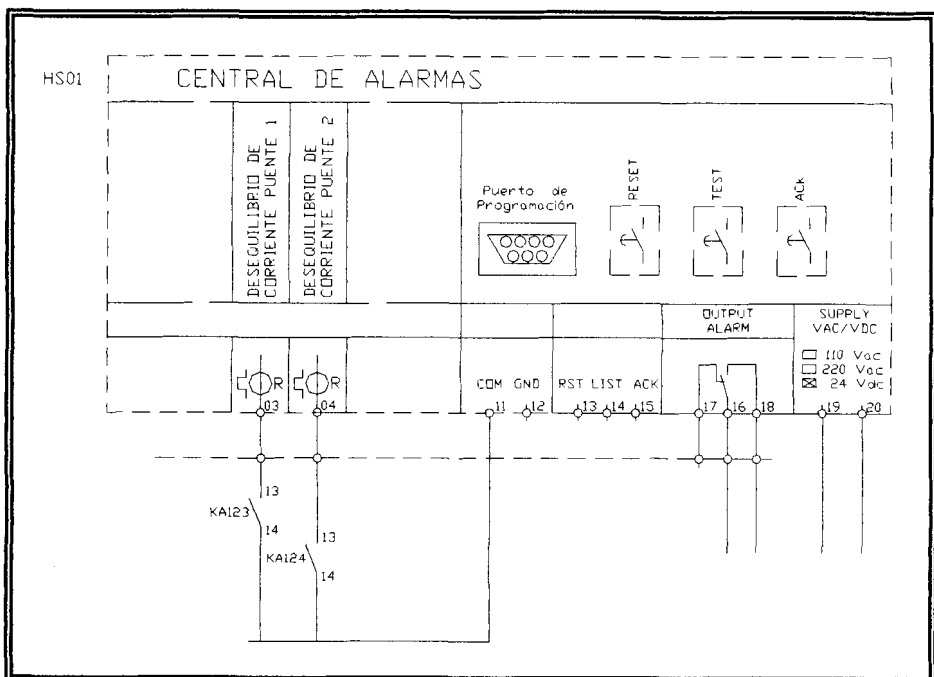
De la alarma desequilibrio de corrientes puentes 1 y 2 se evidencia que el sistema de rectificación que alimenta el devanado de campo del generador esta conformado por dos puentes idénticos de tiristores conectados en paralelo. (Ver figura 4.6).



**Fig. 4.6: Configuración del Control de Excitación**

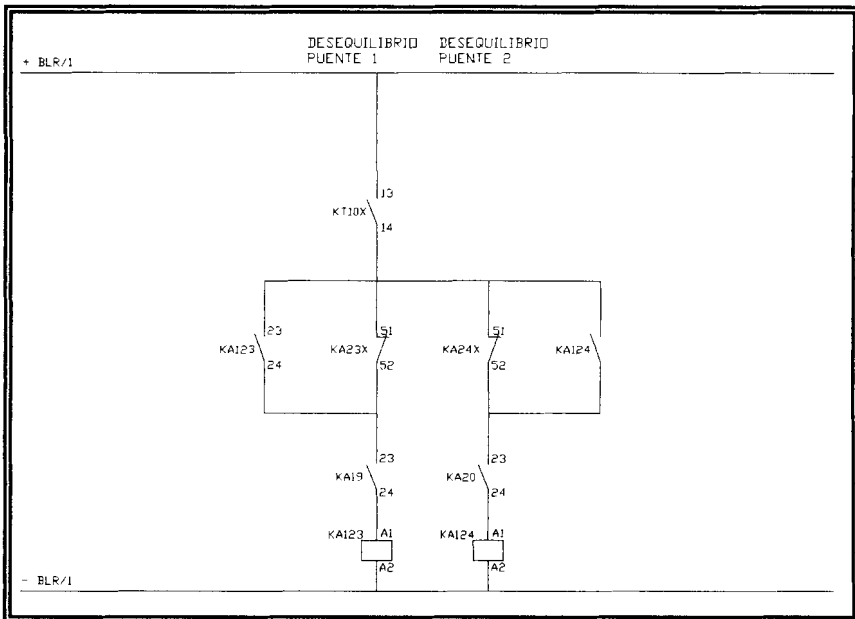


La alarma visual de desequilibrio de corriente en los rectificadores se encuentran ubicados en la Central de Alarmas HS01, esta Central es programable. Estos bombillos son activados por los relés KA123 y KA124. (Ver figura 4.7).



**Fig. 4.7: Cambio Regulador y Conversor**

La activación de las bobinas del KA123 y KA124 se presenta a continuación. (Ver figura 4.8).

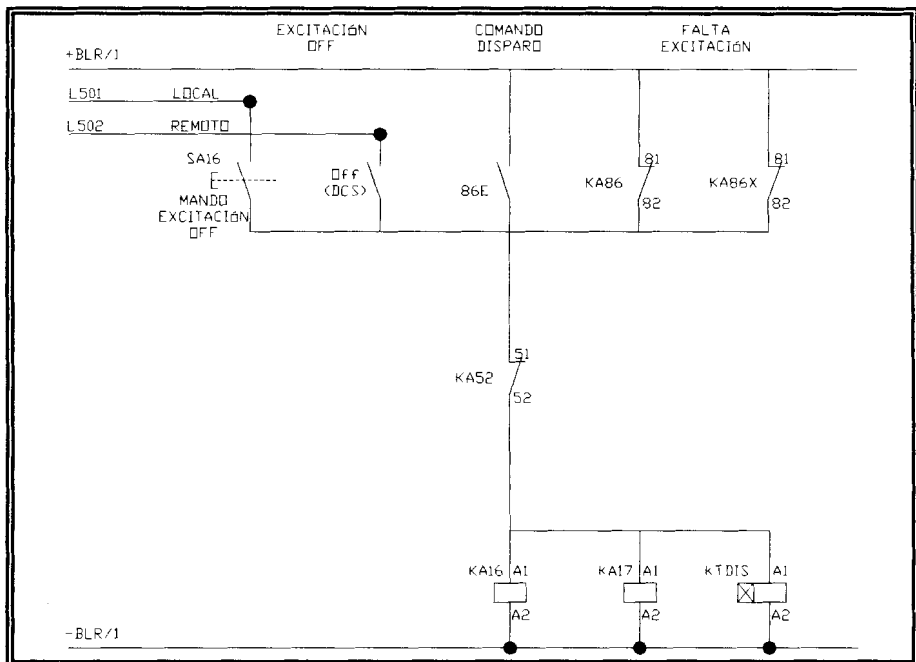


**Fig. 4.8: Lógica de Control de los Relés KA123 y KA124**

- La desenergización de las bobinas de los relés KA123 y KA124 producen las alarmas de desequilibrio de corriente puente 1 y/o desequilibrio de corriente puente 2.
- El contacto N.O. 13-14 del relé KT10X se cierra si hay presencia de excitación.
- Los contactos N.C. del KA23X y KA24X permanecen en esta condición, estos contactos se abren si se ha enviado una señal de disparo por parte de la Tarjeta ELTEN, la cual

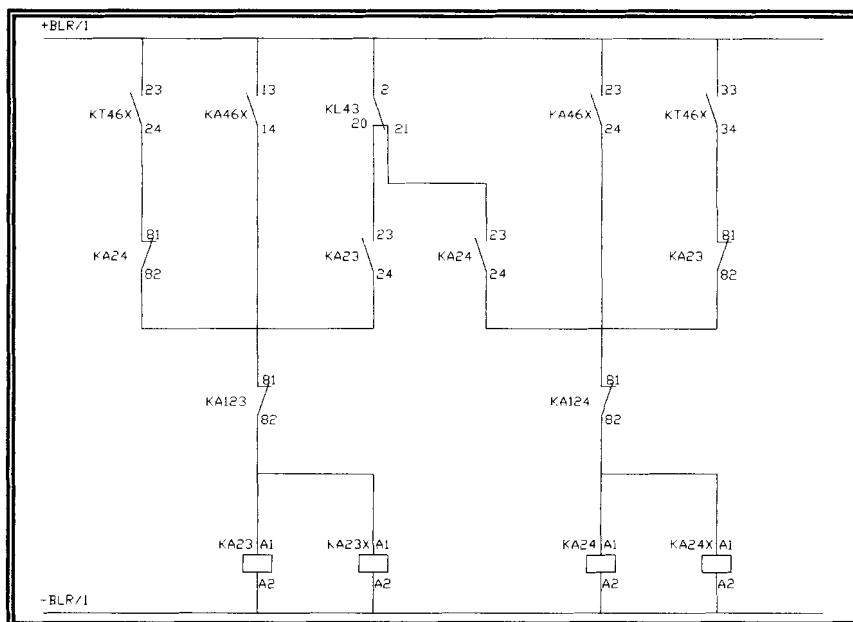


El contacto 51-52 del relé KA16 permanece en posición cerrada siempre que no exista señal de disparo. La lógica de control de este relé se muestra en la figura 4.10.



**Fig. 4.10: Lógica de Control del Relé KA16**

La señal de alarma y disparo que envía la Tarjeta ELTEN si hay desequilibrio de corriente lo hace a través de los relés KT46X y KA46X, estos energizan el grupo de relés KA23, KA23X o el grupo KA24, KA24X . (Ver figura 4.11).

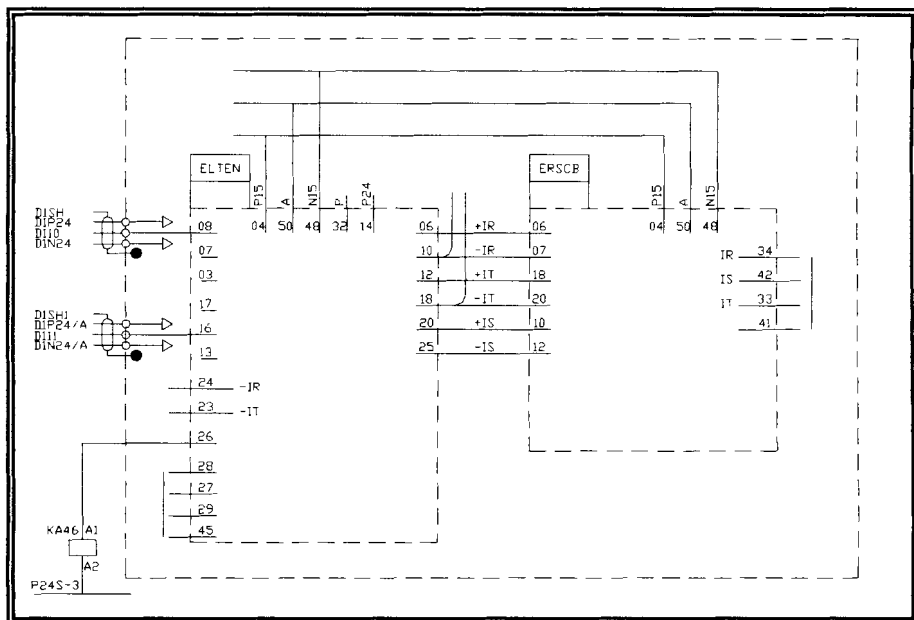


**Fig. 4.11: Lógica de Control de los Relés KA23, KA23X, KA24 Y KA24X**

Los contactos del relé KA46X envían la señal de alarma y los contactos del relé KT46X envían la señal de disparo.

La bobina del rele KT46x es accionada por un contacto N.O. del rele KA46.

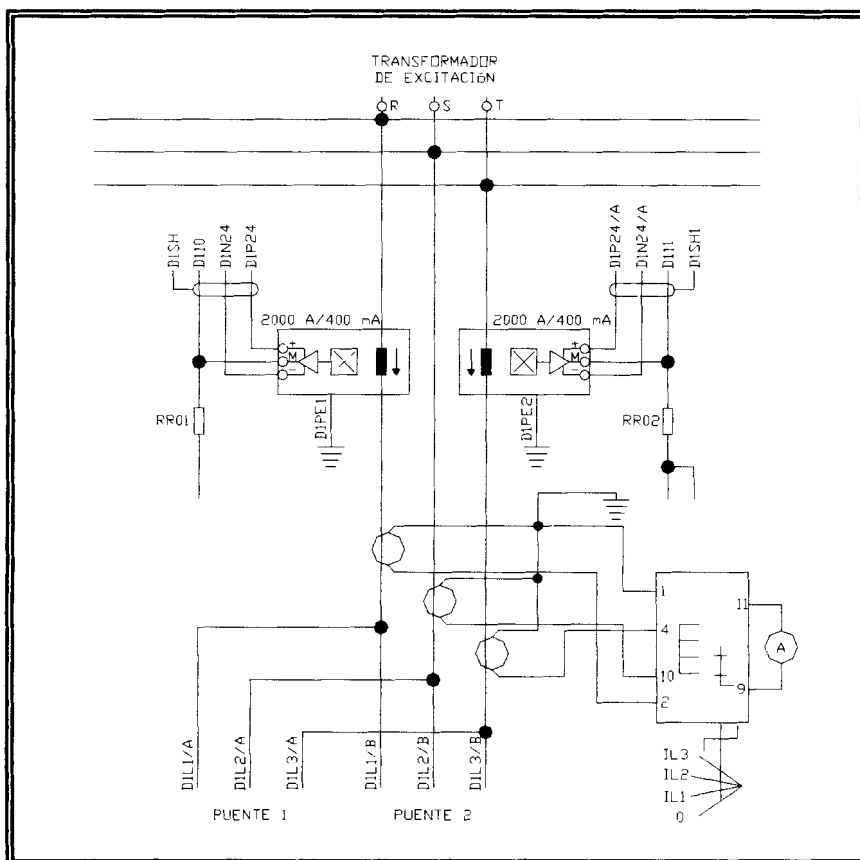
En el siguiente diagrama se aprecia la activación del relé KA46 por parte de la Tarjeta ELTEN. (Ver figura 4.12).



**Fig. 4.12: Desequilibrio de Corriente**

Las señales D1P24, D110, D1N24 corresponden a la fase R del secundario del transformador de excitación y las señales D1P24/A, D111, D1N24/A corresponden a la fase T del secundario del transformador de excitación.

Esto se evidencia en la Figura 4.13.

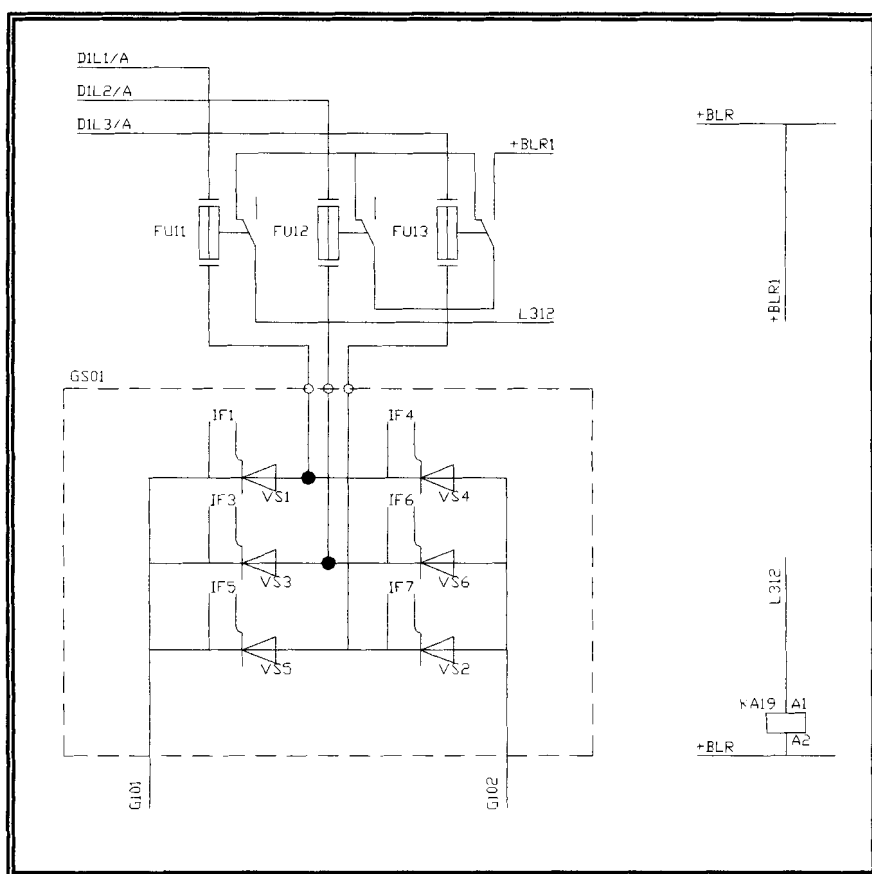


**Fig. 4.13: Llegada de línea**

Si en los fusibles FU11, FU12, FU13 correspondientes al Puente Rectificador 1 no hay presencia de circuito abierto, las señales +BLR1 Y L312 energizan el rele KA19, de la misma

forma los fusibles FU21, FU22, FU23 a través de las señales +BLR2 y L420 energiza el relé KA20.

En el siguiente diagrama se muestra las señales que llegan al Puente Rectificador 1, y la activación del relé KA19.



**Fig. 4.14: Señales de Llegada del Puente rectificador**



Del análisis presentado se concluye que no hubo desequilibrio de corriente en ninguna de las fases de los puentes rectificadores, debido a que los fusibles permanecen intactos y que la falsa alarma y bloqueo de la Unidad se presenta por falla de contactos, es decir:

- Fallo el contacto 13-14 del relé KA11, el cual no energizó al relé KT10 ó
- Fallo el contacto temporizado 15-18 del relé KT10 el cual no energizó al relé KT10X ó
- Fallo el contacto 13-14 del relé KT10X el cual no permitió energizar los relés KA123, KA124, o
- La Tarjeta ELTEN estaba defectuosa.

## CONCLUSIONES

La construcción de una central hidroeléctrica es| sin lugar a duda un proyecto de gran importancia para el desarrollo del país, sin embargo en los últimos años no se han construido muchas, debido a su alto costo de inversión y a la falta de atención en esta área por parte de los gobiernos de turno, no obstante la más reciente en construirse es la central hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind. Esta central como es obvio, debido a su reciente construcción es la más moderna del país, y la diferencia principal de ésta con el resto de centrales hidroeléctricas está en su sistema de control automatizado, el cual permite tener un control total de todos los sistemas y de esta manera brinda la facilidad de realizar el arranque y parada de la central de una forma automática.

Debido a que en la secuencia de arranque y parada se involucran todos estos sistemas de control, el análisis y las conclusiones se basarán en la conveniencia, ventajas, desventajas, facilidad, etc., de contar con un sistema

---

automatizado para el arranque y parada de esta central, comparando con el resto de centrales hidroeléctricas del país.

- Después de haber estudiado el presente tópico y conocer como se ejecuta la secuencia de arranque y parada, se puede decir que es muy conveniente que una central de generación de energía eléctrica pueda contar con un sistema automatizado para el arranque y la parada de la misma.
- Este sistema automatizado maneja todas las variables de la central de manera automática, tales como el regulador de velocidad, las protecciones, el sistema de excitación, sincronización, servicios auxiliares, etc., con lo cual la operación de la central se vuelve más sencilla.
- Gracias a que el proceso de arranque y parada se lo realiza de una manera automática, que brinda mucha confiabilidad y seguridad, se tiene un bajo porcentaje de error humano.

Con este sistema, existe más simplicidad en el proceso de arranque y parada de la central, ya que el arranque se lo realiza en tan solo once pasos y la parada en siete pasos.

- Este sistema proporciona alta velocidad en el proceso de arranque y parada de la central. El tiempo que tarda en arrancar la central desde que se aplasta el botón de pedido de arranque en generación (RAVG) hasta que la unidad está completamente arrancada es de 12 minutos aproximadamente tal como se detalla a continuación paso a paso.

**Paso 3: Arranque de bomba de Aceite del Regulador de Velocidad, Bomba de Circulación, Aplicación de Frenos, etc. (25 Sg)**

**Paso 4: Válvula de Aislamiento del Sistema de Regulación Abierta (16 Sg)**

**Paso 5: Apertura de la válvula de By – pass e igualación de presión (79 Sg)**

**Paso 6: Apertura de la Válvula Mariposa (180 Sg)**

**Paso 7: Desbloqueo del Regulador de Velocidad y Frenos Desaplicados (16 Sg)**

**Paso 8: Regulador de velocidad Insertado (70 Sg)**

**Paso 9: Excitación Insertada (36 Sg)**

**Paso 10: Unidad en Rotación y con Tensión (31 Sg)**

**Paso 11: Unidad de Sincronismo Insertada (Sincronización) (11 Sg)**

**Paso 12: Turbina en Regulación de potencia Activa, Regulación de Apertura y Aumento hasta el Límite Técnico (240 Sg)**

**Paso 13: Unidad en Generación (5 Sg)**

- El tiempo que tarda en parar la central desde que se aplasta el botón de pedido de parada hasta que la unidad está completamente parada es de 8 minutos aproximadamente tal como se detalla a continuación paso a paso

**Paso 14: Potencia Reactiva Cero y Potencia Activa Cero (240 Sg).**

**Paso 15: Apertura del Disyuntor del Generador (10 Sg).**

**Paso 16: Excitación Desinsertada y Arranque de la Bomba de Inyección (20 Sg).**

**Paso 17: Regulador de Velocidad Off (150 Sg).**

**Paso 18: Frenos Aplicados (20 Sg).**

**Paso 19: Cierre de Válvula de Aislamiento (60 Sg).**

**Paso 20: Apagar Bombas, Extractores de Vapor, Desaplicar Frenos, Cierre de Válvula de Agua de Enfriamiento (30 Sg).**

- Este sistema automatizado está constituido básicamente de dos partes: Software y hardware (equipos), el software nunca ha fallado y el hardware ha fallado pocas veces pero inmediatamente se ha reemplazado la parte afectada por una buena. Con lo cual se ratifica como un sistema de alta confiabilidad.
- De acuerdo a lo experimentado hasta la actualidad en la central, se tiene que el proceso de arranque se realiza con un éxito del 99%, y el 1% de falla en el proceso se debe principalmente a que no se cumplen las condiciones operativas (parámetros previamente fijados en el software del sistema), lo cual puede ser originado por: falla eléctrica o mecánica de algún motor, averías en sensores de temperatura, nivel, presión o flujo, avería en el sistema de excitación etc., los mismos que han sido solucionados por el personal que trabaja en la central y que se encuentra bien capacitado para resolver cualquier inconveniente que se presente.



## RECOMENDACIONES

Este tipo de sistema es muy aceptable y debería de implementarse en el resto de las centrales Hidroeléctricas existentes en el país, con el propósito de que estas puedan tener ventajas similares a las que tiene la central hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind tales como: confiabilidad, flexibilidad y rapidez.

En el caso de centrales que estén por construirse y que deseen contar con un sistema automatizado, se recomienda que este sea instalado simultáneamente con la construcción de la central, con el propósito lograr una mayor reducción de costos en la implementación del mismo.

En el caso de centrales que ya estén construidas (Paute, Agoyán, Pisayambo, etc.) y que deseen cambiar la operación manual a la automatizada, su costo será considerablemente mayor debido a que encontrarán algunos inconvenientes en el momento de implementar el sistema, tales como: el montaje de sensores en los diferentes equipos que constituyen la central (esto puede implicar la necesidad de parar la

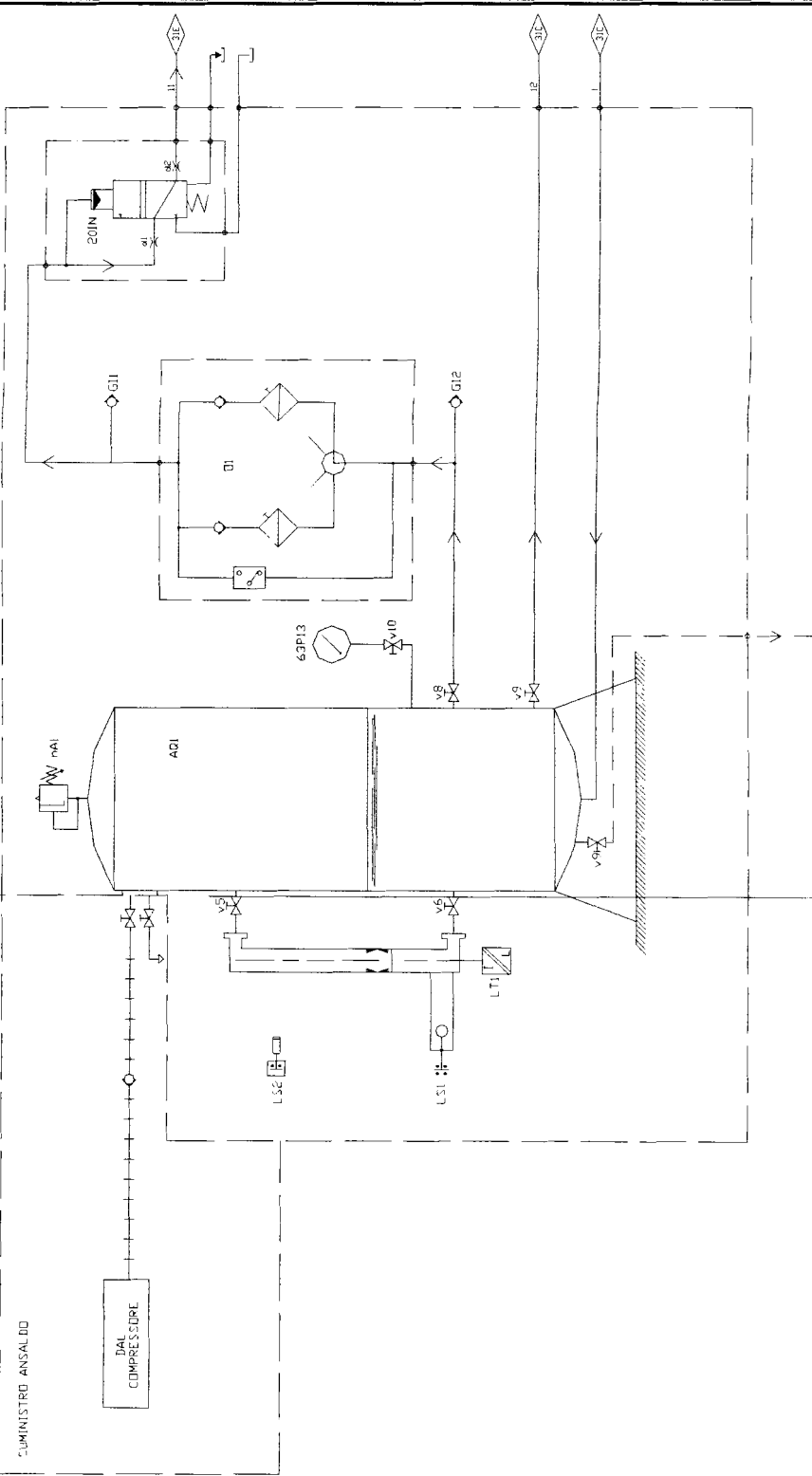
unidad), la instalación del hardware del sistema automatizado, realizar el cableado de comunicación desde los diferentes sensores hasta el hardware del sistema (esto se torna complicado por inconvenientes en cuanto a espacio en la galería de cables o distancias entre los dos puntos), la interfase entre el sistema de protecciones y el sistema automatizado, etc. Sin embargo pese a todo esto se recomienda la instalación del sistema automatizado ya que no representa un alto costo comparado con la inversión que se realiza en la construcción de la central.



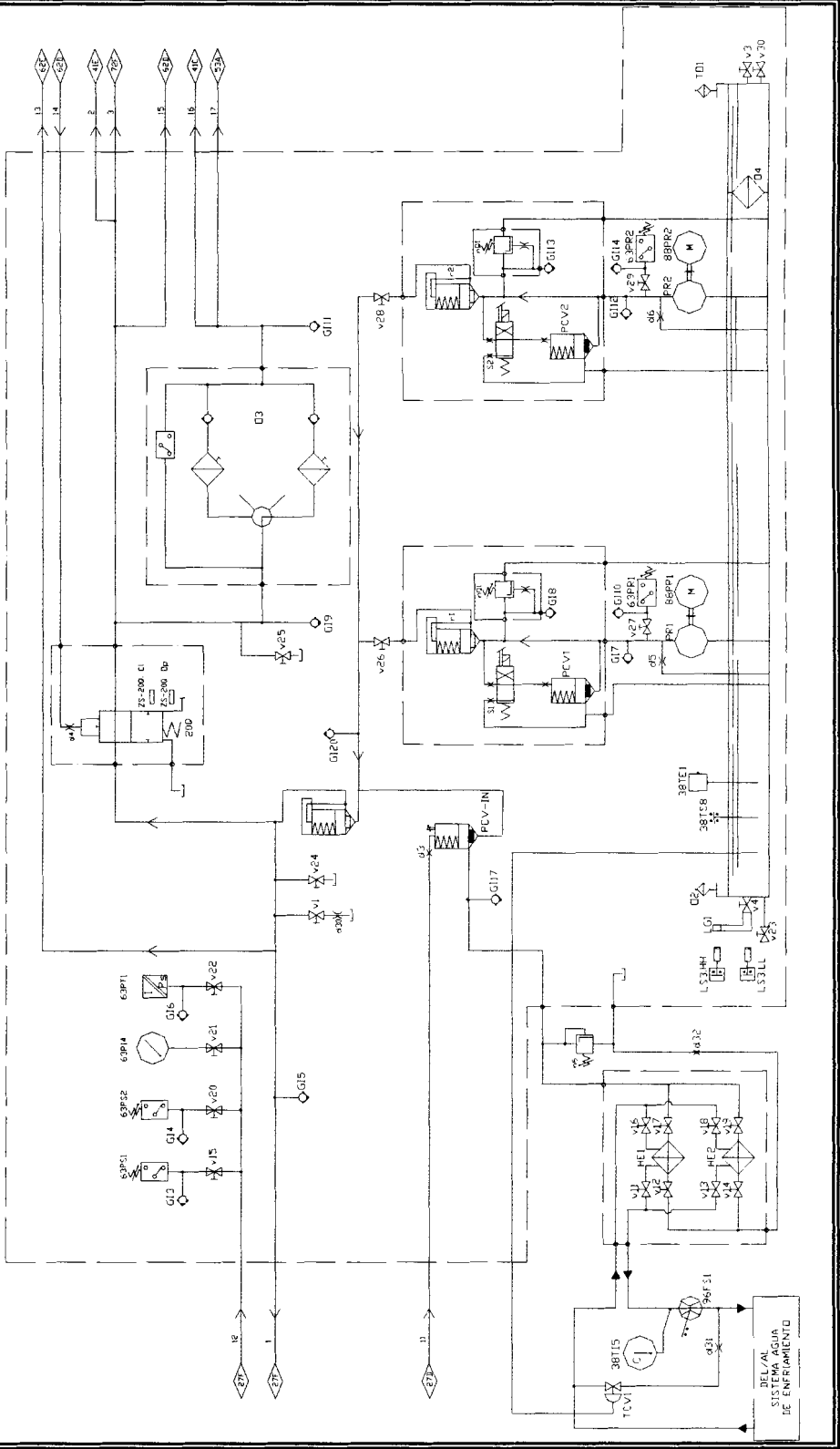
# **ANEXO 1**

# Grupo de Aire Comprimido y de Acumulación

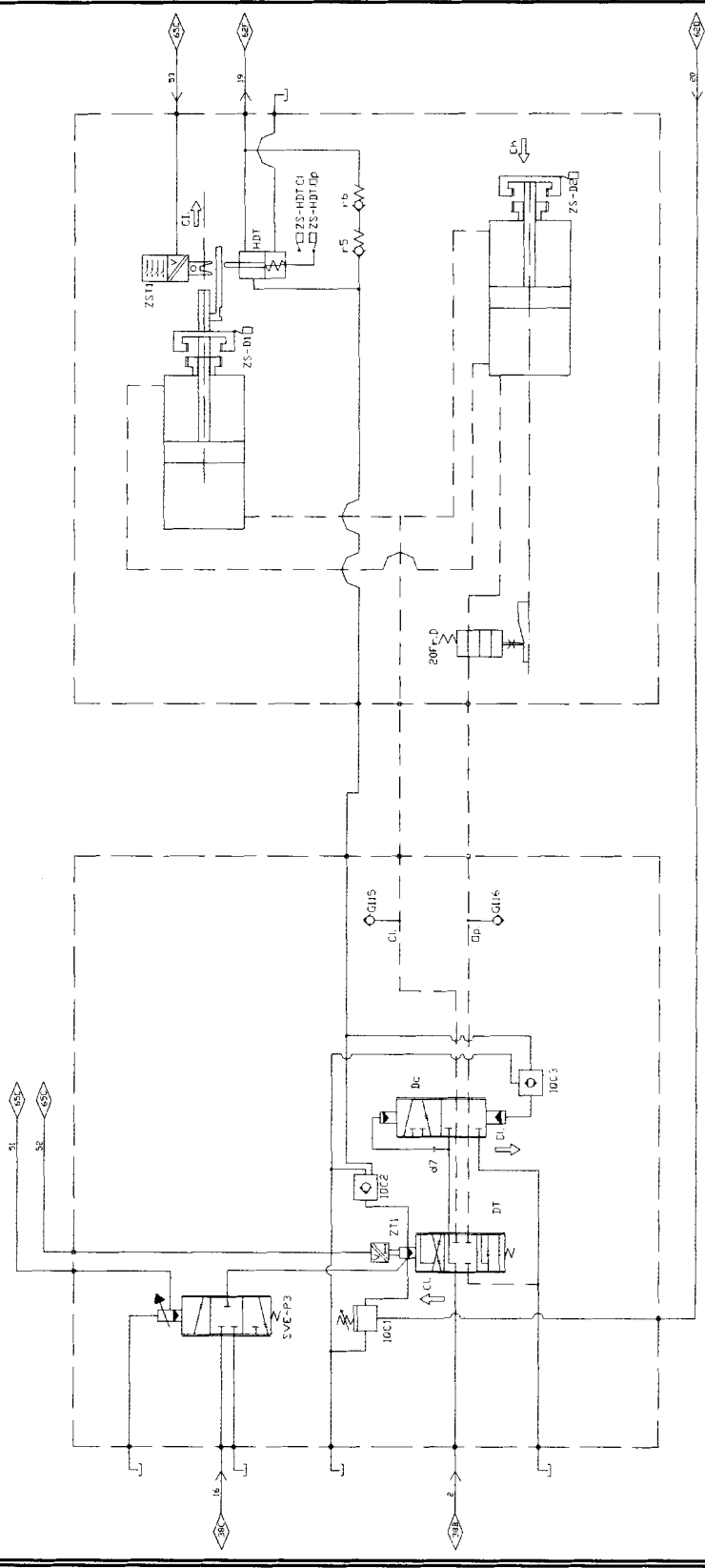
## ANEXO 1.1



Grupo de Bombeo

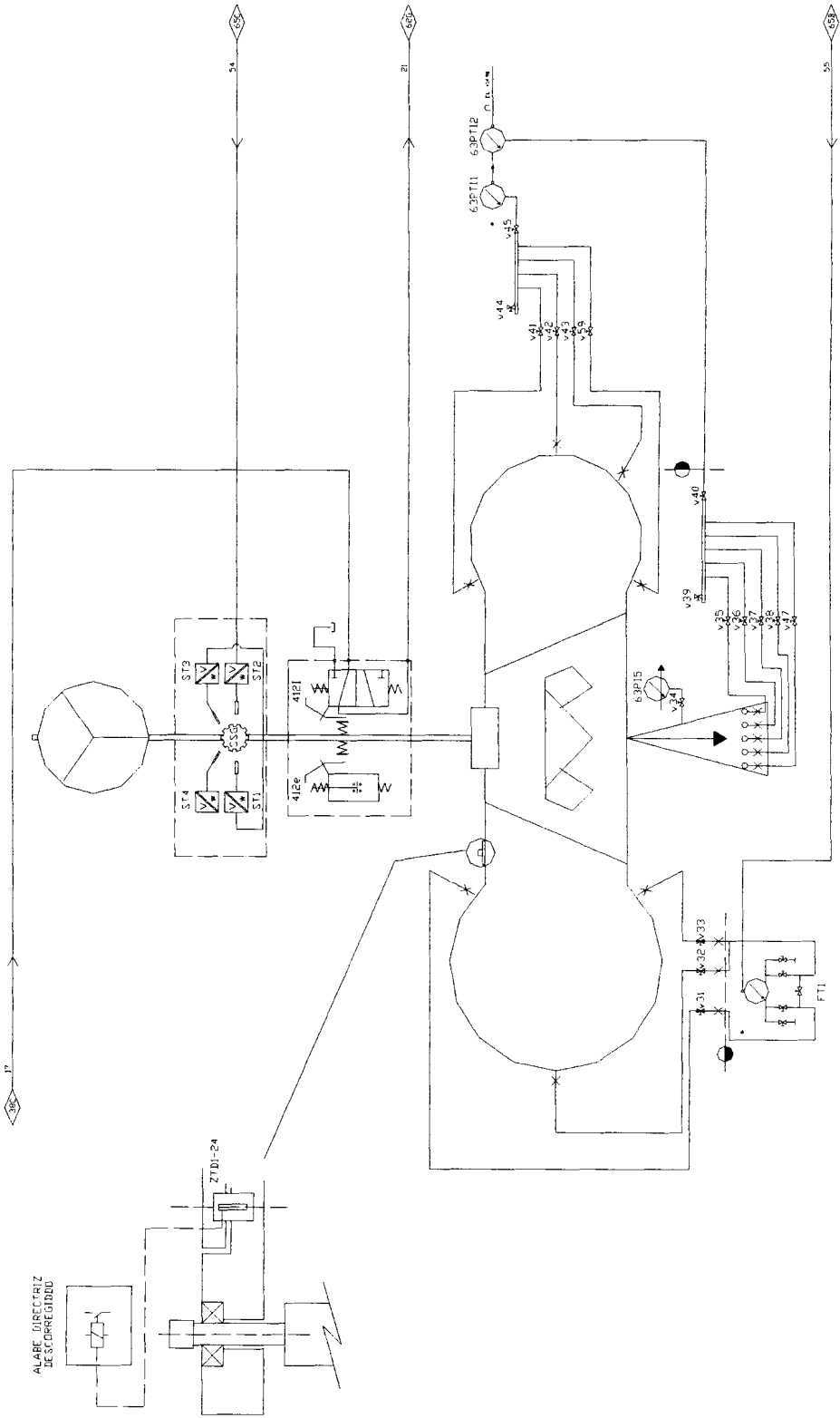


Anillo de Regulación del Distribuidor



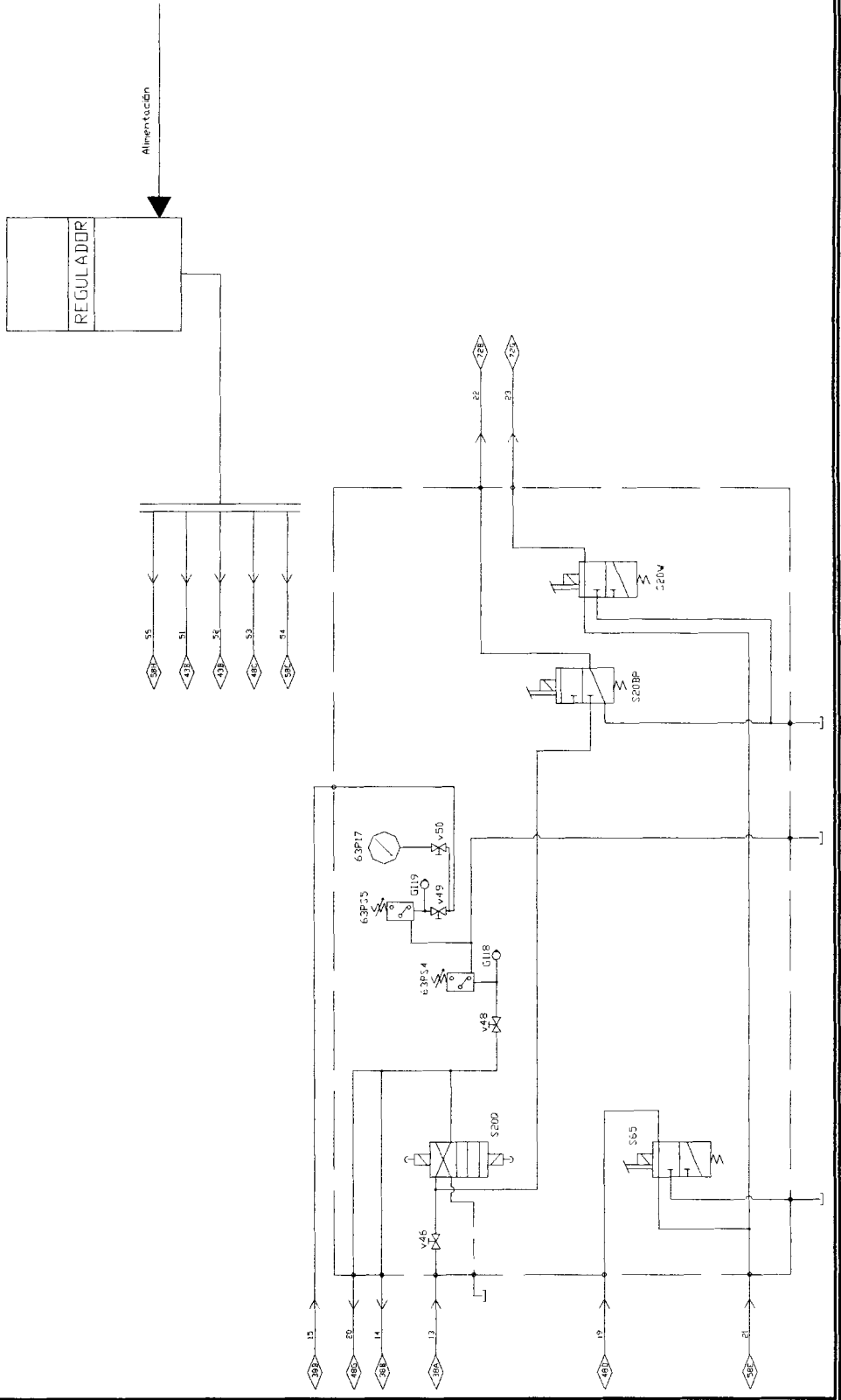
ANEXO 1.4

Grupo Control de Velocidad

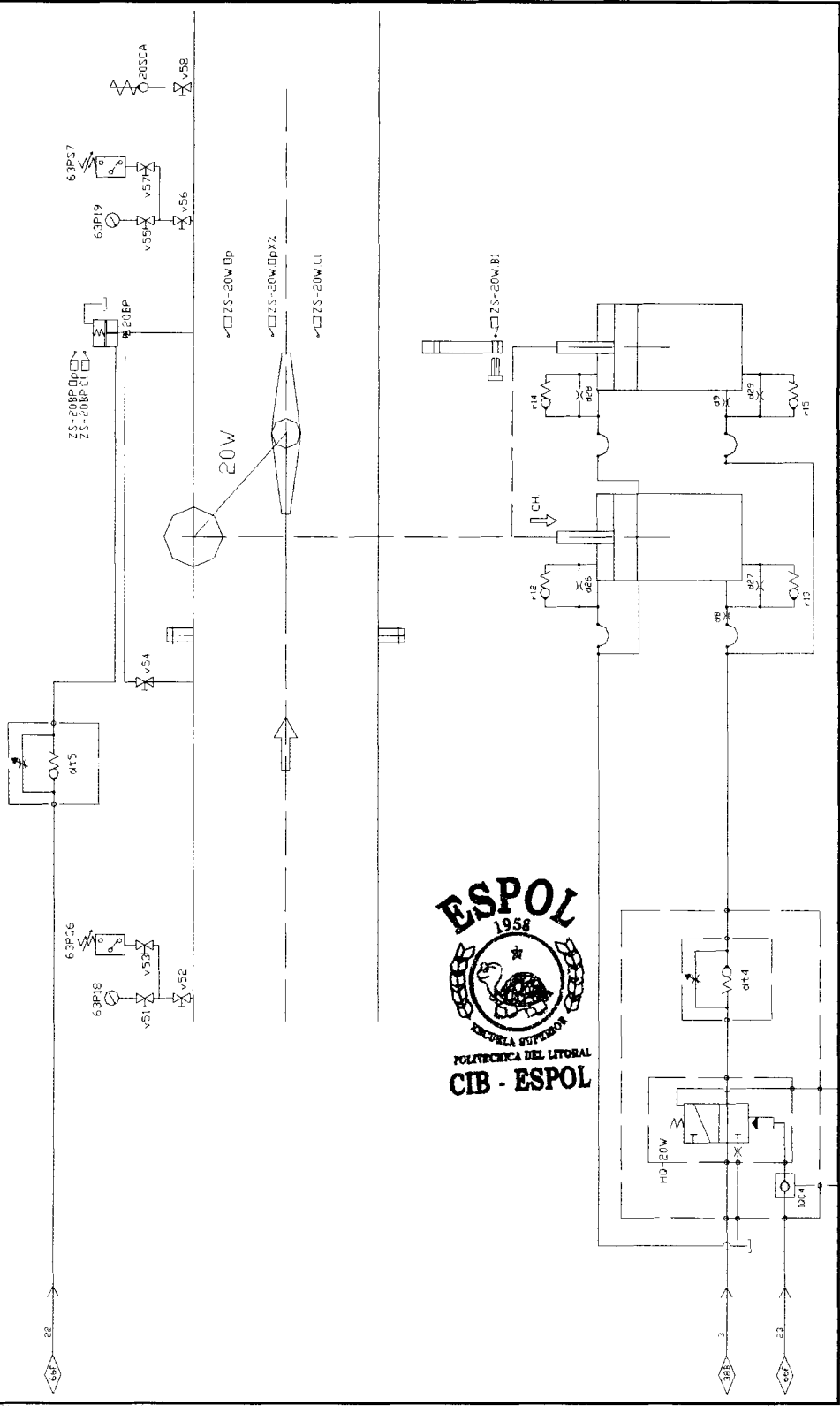


## Mando Turbina y Regulador

## ANEXO 1.5

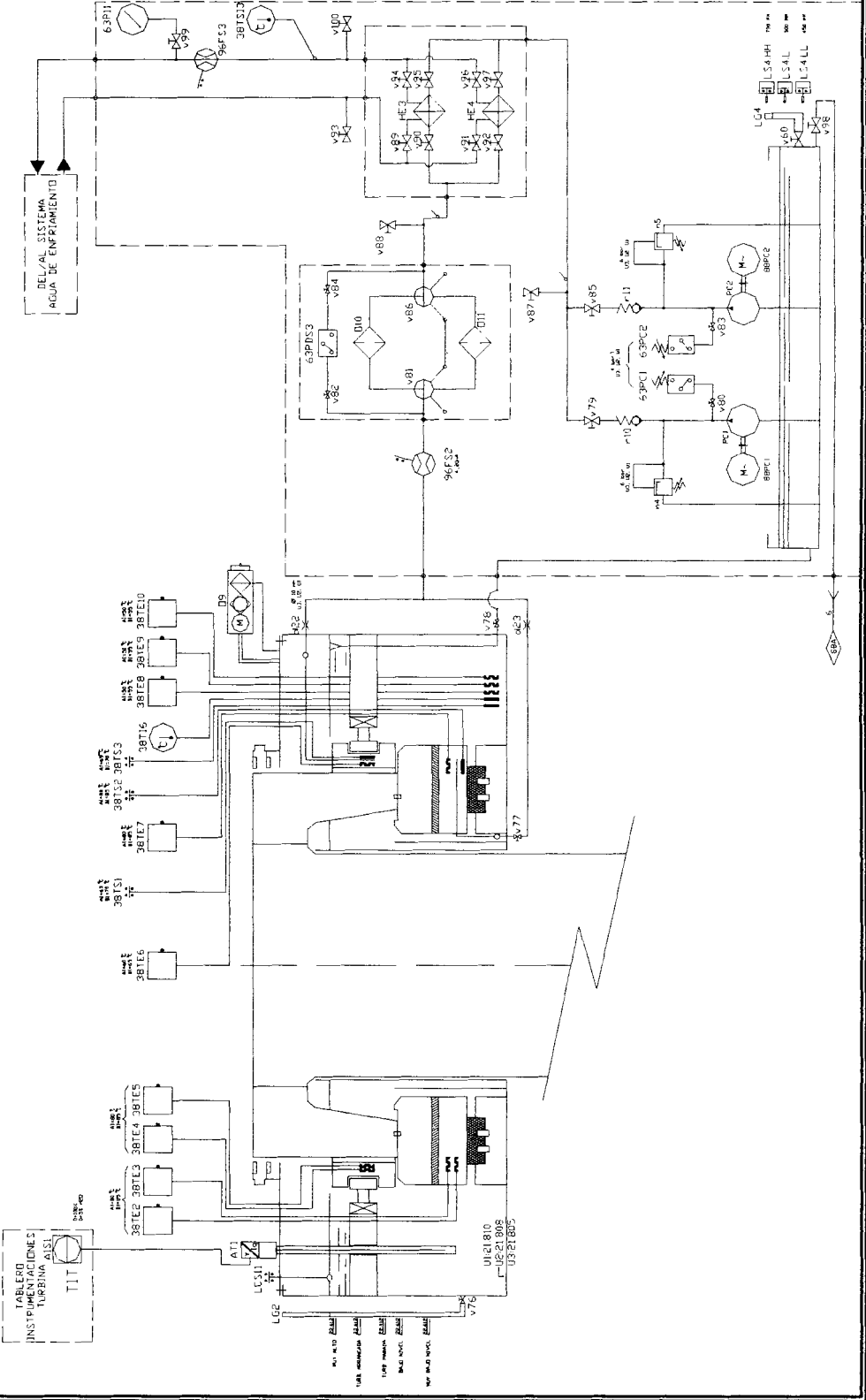


# Válvula de Guardia tipo Mariposa



# Sistema de Circulación del Cojinete Combinado

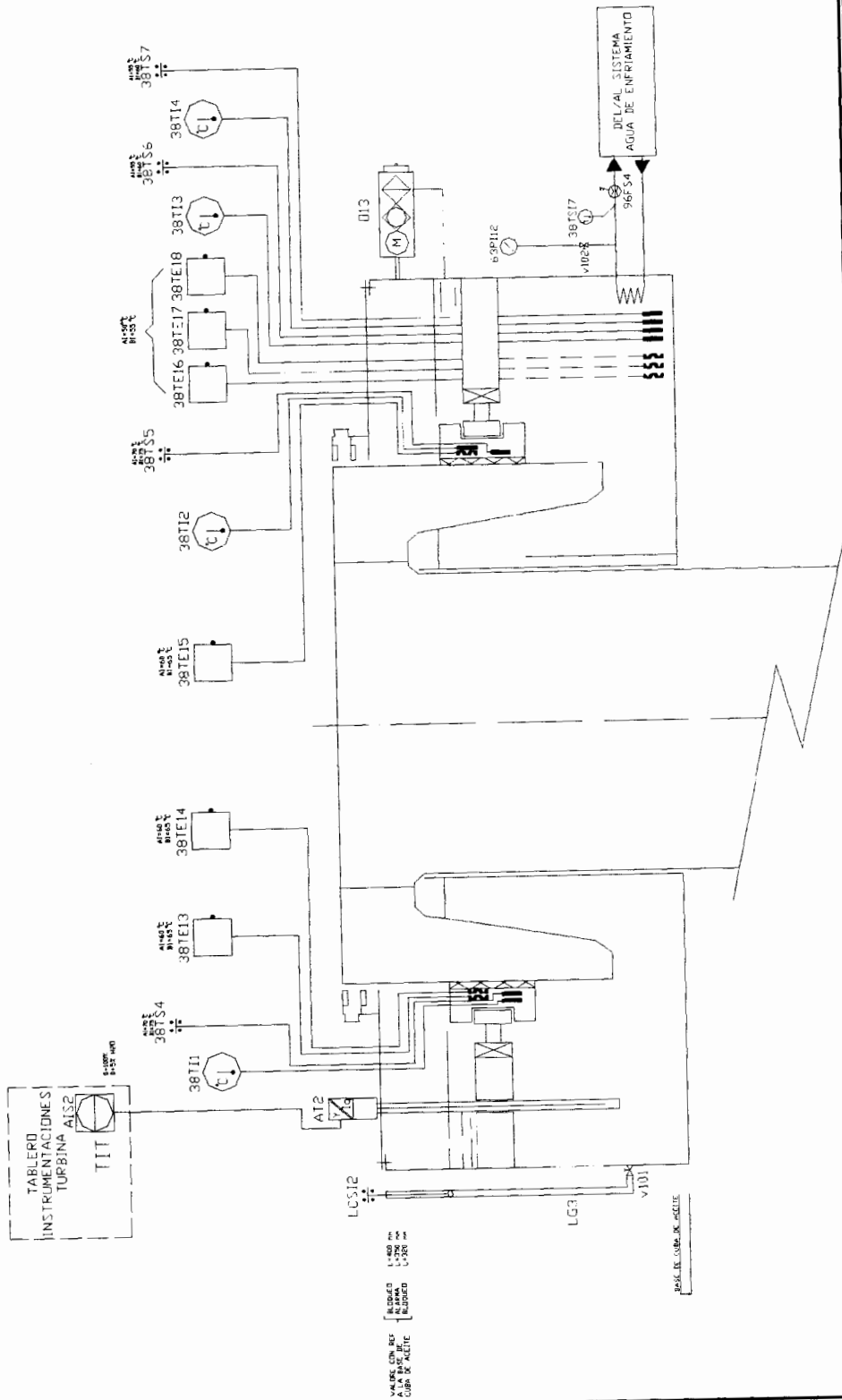
## ANEXO 1.7



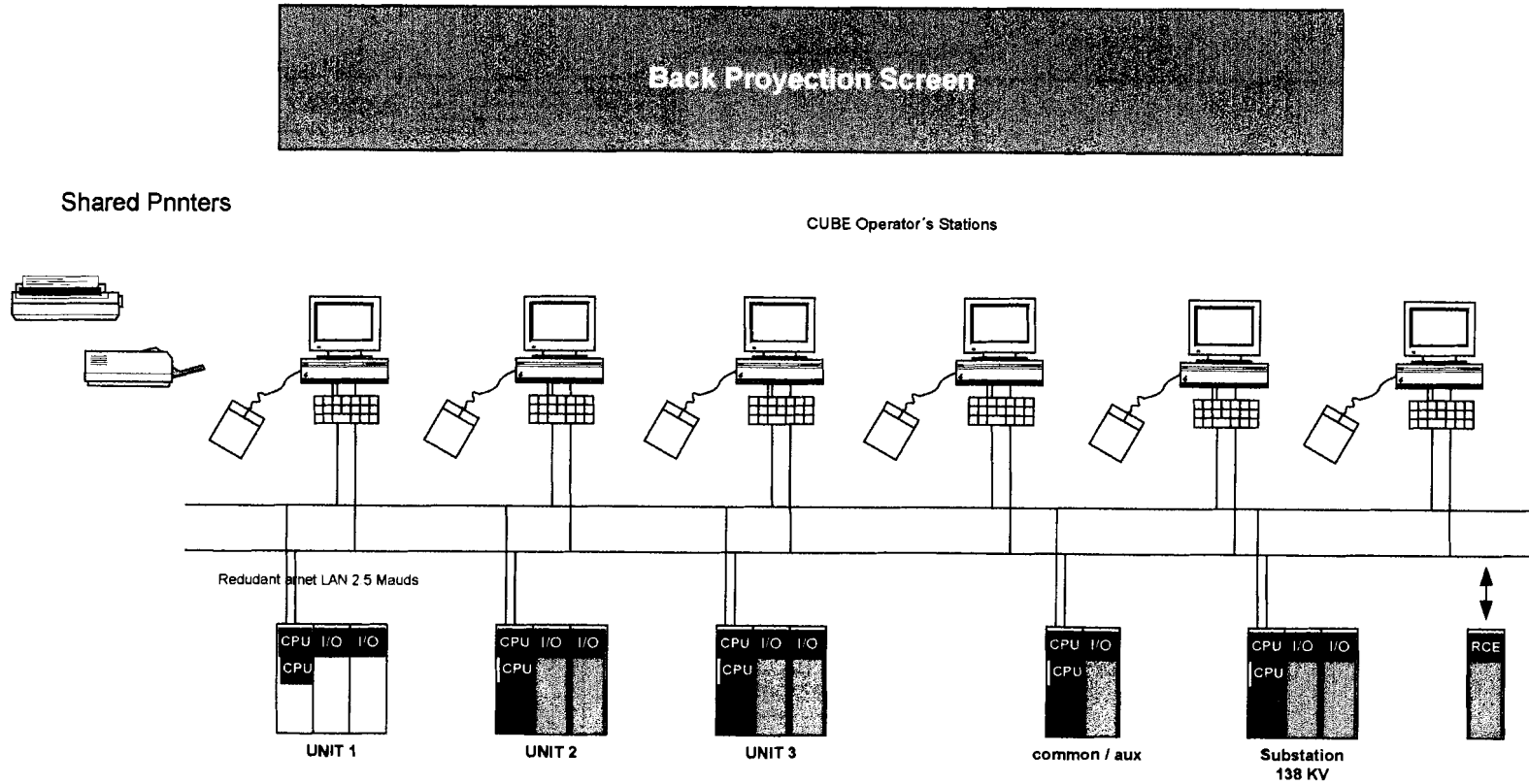




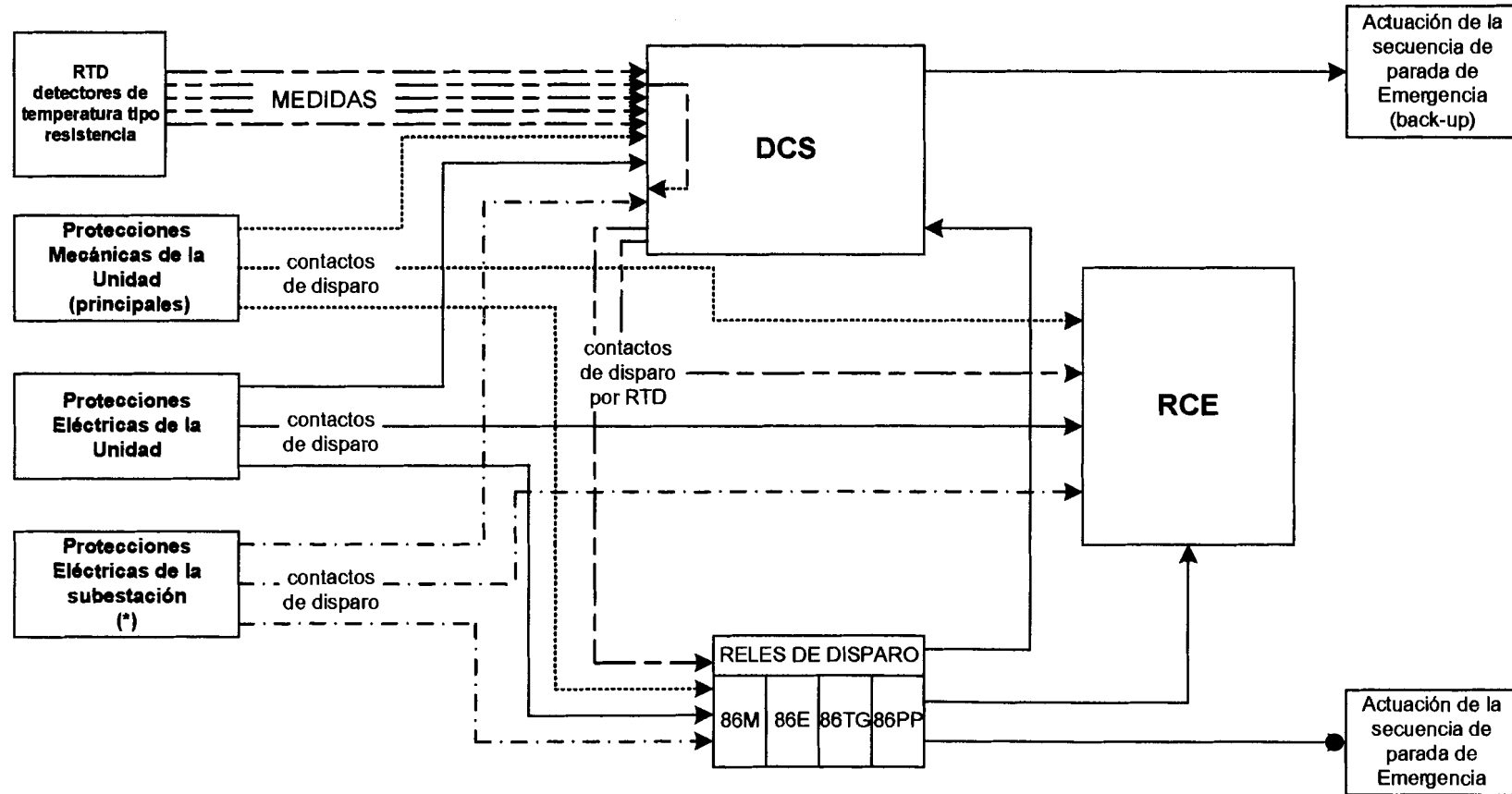
# Cojinete de Guía



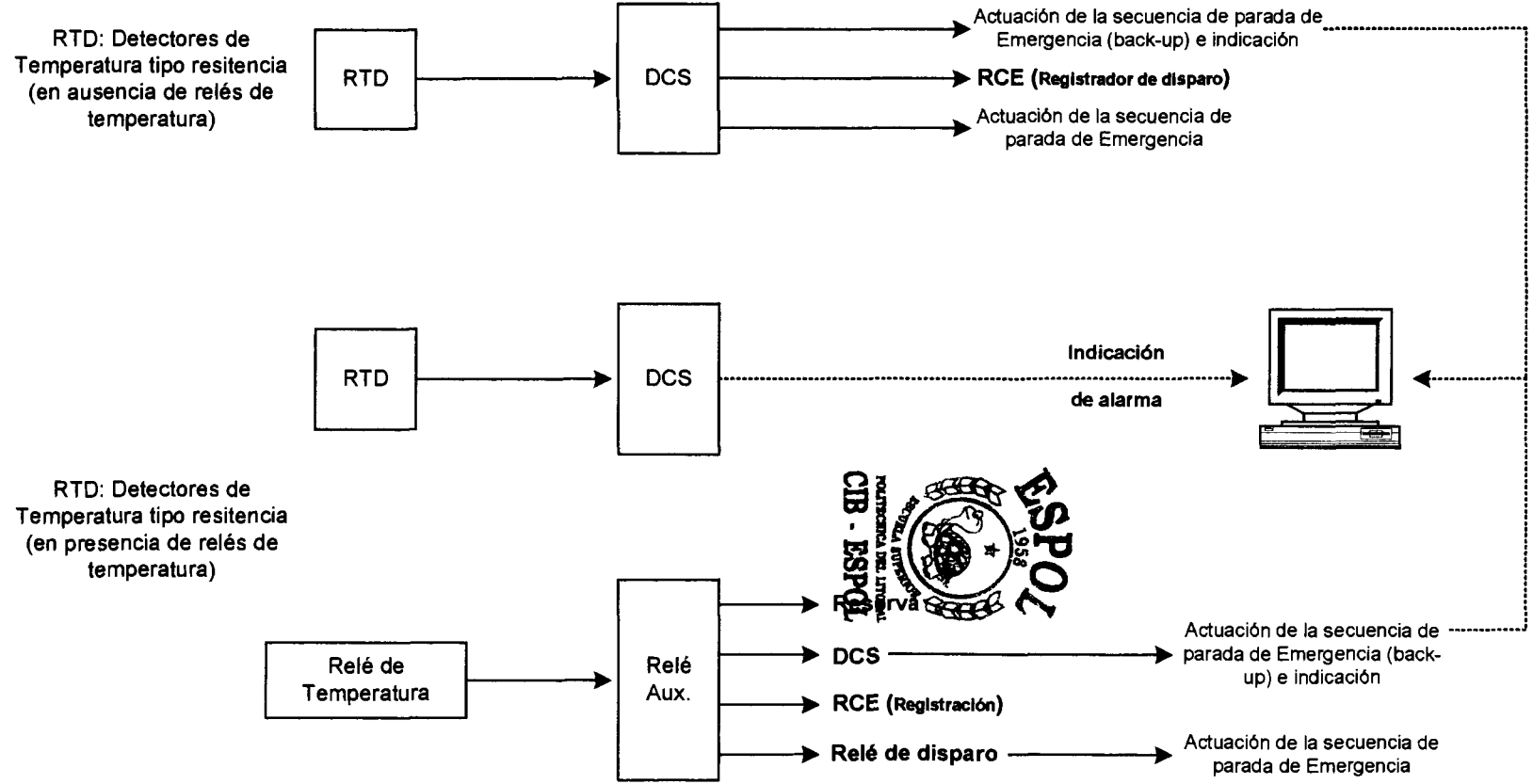
Esquema de Arquitectura del DCS



## Esquema de Actuación de las Protecciones, Conexión y Transmisión de los Contactos de Disparo



### Esquema de Conexión de los Medidores de Temperatura Tipo Resistencia, Contactos de Disparo e Indicación



## **ANEXO 2**



## **BIBLIOGRAFIA**

1. Diseños y planos "As Built" de la Central Hidroeléctrica "Marcel Laniado de Wind".
2. CEDEGE – CONSORCIO CHDP, Manual de Operación y Mantenimiento de la Central Hidroeléctrica "Marcel Laniado de Wind" - Equipos de Protección y Medición, Volumen 19A, 1999
3. CEDEGE – CONSORCIO CHDP, Manual de Operación y Mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind - Equipos de Protección y Medición, Volumen 19C, 1999
4. CEDEGE – CONSORCIO CHDP, Manual de Operación y Mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind - Volumen 19D, 1999



5. CEDEGE - CAF, "Supervisión y Fiscalización de la Construcción de la Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind" (Informe Final, 2000)
6. FINK DONALD / BEATY H. WAYNE, Manual de Ingeniería Eléctrica, Decimotercera Edición, Tomo II, Editorial Mc. Graw Hill, 1995
7. MASON C. RUSELL, El Arte y la Ciencia de las Protecciones Eléctricas, Novena Edición, Compañía Editorial Continental S.A., 1982
8. SAAVEDRA JUAN, "Central Hidroeléctrica Marcel Laniado de Wind" (Seminario, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2000)
9. SANTO POTESSE E., Centrales Eléctricas, Editorial Gustavo Gili S. A., Barcelona – España, 1971