

Universidad Nacional de Ingeniería
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



**Selección del Sistema de Control para la
Automatización del Proceso de Arranque
y Parada de un Grupo de una
Central Hidroeléctrica**

Para optar el Título Profesional de :
INGENIERO ELECTRICISTA

ADOLFO OVIDIO BARDALES MIRANDA

Lima - Perú
1996

SUMARIO

Los Grupos generadores de las Centrales Hidroeléctricas del país, especialmente los de EDEGEL S.A., para arrancarlos y llevarlos hasta la sincronización, así como para descargarlos y pararlos, se requiere de la presencia humana, la cuál realiza una serie de pasos o un procedimiento adecuado, los que van accionando una serie de equipos electromecánicos, logrando así estos fines.

Es necesario entender la operación del equipamiento actual, es decir comprender la serie de secuencias una a una de los procedimientos de arranque y parada de los grupos de las diferentes Centrales Hidroeléctricas de EDEGEL S.A.; para lo cual es necesario la información y la experiencia en cada una de estas Centrales Hidroeléctricas para tener una idea completa de la operación.

Del resultado de la implementación de equipos digitales en la secuencia de los procesos de operación, se logrará el comando a distancia o local de la unidad Turbina-Generador.

"SELECCION DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LA AUTOMATIZACION
DEL PROCESO DE ARRANQUE Y PARADA DE UN GRUPO DE UNA
CENTRAL HIDROELECTRICA "

TITULO · " SELECCION DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LA
AUTOMATIZACION DEL PROCESO DE ARRANQUE
Y PARADA DE UN GRUPO DE UNA CENTRAL
HIDROELECTRICA "

AUTOR : ADOLFO OVIDIO BARDALES MIRANDA

GRADO : INGENIERO ELECTRICISTA

UNIVERSIDAD : UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD : FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y
ELECTRONICA

AÑO : 1995

EXTRACTO

Capítulo uno, las Centrales Hidroeléctricas pertenecientes a EDEGEL S.A., captan el recurso hídrico desde tres cuencas importantes como son la del río Rimac, que recientemente se a adicionado la Represa Yuracmayo; por el lado del valle Santa Eulalia, recibe las lluvias del mismo valle y complementa su caudal con las lagunas de la vertiente del Atlantico que a través de un tunel llamado

trasandino, desemboca en la cuenca Santa Eulalia.

Luego existen tomas, cámaras de carga, chimeneas de equilibrio, conductos forzados, tuneles a pelo libre; con sus elementos respectivos que conducen el agua hasta la salida de los inyectores de cada turbina, para producir la energía mecánica y el generador la transforma en energía eléctrica.

Producida ésta energía, normalmente en todas las centrales presentan transformadores de potencia, para conducirla a 220 KV a través de líneas de transmisión hacia los centros de transformación cercanos a los grandes distribuidores de carga.

Capítulo dos, para ésta transformación de energía, desde la potencial o geodésica hasta la eléctrica, se cuenta con dispositivos importantes que intervienen en la operación de las unidades de una central hidroeléctrica. Entre éstos tenemos el dispositivo de seguridad o válvula mariposa de los conductos forzados que normalmente se encuentra abierta para la operación; las principales o válvulas esféricas a la entrada de las turbinas, las que se maniobran al arrancar o parar la unidad respectiva.

El Regulador de velocidad, el que permite tener la velocidad nominal y la regulación de carga activa (MW), a través de un circuito amplificador de fuerza accionado directamente sobre el distribuidor principal que comanda en forma simultánea al sistema aguja-deflector de la turbina.

El regulador de tensión, el que permite contar con la tensión nominal y la regulación de la potencia reactiva

(MVAR) a través de la corriente de excitación, al variar el reóstato respectivo, accionado por una bomba a presión de aceite.

El Sincronizador que actúa cuando se tiene los parámetros de velocidad y tensión nominales, permitiéndolo conectar la unidad con la red, cuando se han cumplido las condiciones de sincronización.

Capítulo tres, el proceso de arranque - paralelo de un grupo de una central hidroeléctrica empieza con una serie de datos, entre ellos que el conducto forzado tenga la presión nominal, dejar pasar ésta presión a los inyectores aperturando las válvulas principales o esféricas, luego accionar el circuito oleodinámico de la turbina, para inmediatamente a través del panel eléctrico lanzar la máquina hasta la velocidad nominal; en éstas condiciones el grupo es excitado cerrando el interruptor de campo, para finalmente utilizando el sincronoscopio realizar la conexión con la red o paralelo.

El proceso de parada de un grupo de una central hidroeléctrica, se inicia con la descarga de potencia reduciéndola a cero (0 MW), para luego aperturar el interruptor principal y posteriormente los seccionadores, continuando con la desexcitación, finalmente se reduce la velocidad y se cierran las válvulas principales.

Capítulo cuatro, para seleccionar la configuración básica del hardware y software del sistema de control a utilizarse para comandar el proceso de arranque - paralelo y parada de un grupo de una central hidroeléctrica, se tendrá en cuenta

las variables encontradas en los diagramas de flujo de arranque y parada, las cuales serán adquiridas y controladas y/o procesadas por las unidades de control programable.

Se contempla la cantidad de órdenes a ejecutar, así como la cantidad de señales análogas y digitales, apreciadas en los diagramas de flujo respectivos.

Esta selección es para modernizar, por lo que es necesario desarrollar una planificación adecuada que permita la operación de la planta, para lograr la rentabilidad adecuada, es decir, ésta se realiza grupo por grupo y teniendo en cuenta la financiación óptima.

Una alternativa para la automatización del proceso de arranque y parada, utilizando los equipos existentes se tendría fallas frecuentes, empleando muchas horas-hombre en mantenimiento correctivo, originando en el tiempo una baja confiabilidad. Tecnología de décadas pasadas que está descontinuada y ya no existen repuestos en el mercado. Los dispositivos principales no dan respuestas adecuadas y rápidas como lo requiere la red interconectada.

La desición de modernizar los dispositivos de regulación y sincronización para obtener el arranque-paralelo y parada desde un sistema de control, permiten que la cantidad de contactores se reduzcan al mínimo, la instrumentación tienda a desaparecer, el costo de mantenimiento se reduzca; se ingresaría a la tecnología de punta que con una comunicación de redes adecuada, permitiría comandar el grupo desde una estación remota.

Capítulo cinco, trata de la implementación de la

configuración básica para poder arrancar y parar la unidad generatriz mediante un sólo comando y asimismo el análisis económico, mostrando que es un proyecto rentable.

INDICE

PROLOGO	1
CAPITULO I	2
DESCRIPCION DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA EN CONCORDANCIA CON SU OPERACION	2
1.1 Captación de recursos hídricos	2
1.1.1 Embalse para galería a presión	3
1.1.2 Toma de captación	5
1.2 Tuneles de aducción	5
1.2.1 Galería a pelo libre	5
1.2.2 Galería a presión	7
1.3 Cámara de carga	7
1.4 Chimenea de equilibrio	9
1.5 Tubería forzada	10
1.6 Dispositivos de apertura, cierre y de seguridad	11
1.6.1 Compuerta de admisión	11
1.6.2 Dispositivo de sobrevelocidad	12
1.6.3 Válvula mariposa	12
1.6.4 Tubo de aireación	14
1.6.5 Válvula principal	14
1.7 Turbina	15
1.7.1 Turbina pelton	15
1.7.2 Turbina francis	18
1.8 Regulador de velocidad	18

1.8.1	Tipos de reguladores de velocidad	20
1.9	Alternador	27
1.10	Sistema de excitación	28
1.10.1	Máquinas rotativas de corriente continua	28
1.10.2	Máquinas rotativas de corriente alterna y rectificadores	29
1.10.3	Excitatriz de estado sólido	30
1.11	Regulador de tensión	31
1.11.1	Regulador de tensión tipo AB4/1	31
1.11.2	Regulador de tensión tipo Kc	32
1.11.3	Regulador de tensión electrónico	34
1.11.4	Regulador de tensión digital	36
1.12	Sincronizador	36
1.12.1	Sincronización manual	36
1.12.2	Sincronización automática	37
1.13	Transformadores de potencia	38
1.14	Elementos de maniobra	39
1.14.1	Seccionador	39
1.14.2	Interruptor principal	39
1.14.3	Interruptor de campo	41
CAPITULO II		42
SENSORES Y DISPOSITIVOS PARA LA OPERACION DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA		42
2.1	Generalidades	42
2.2	Sensores	43
2.2.1	Sensores de nivel de la cámara de carga	44
2.2.2	Sensor de posición de la compuerta de admisión	44

2.2.3	Sensor de posición del dispositivo de seguridad en la tubería forzada	45
2.2.4	Sensor de sobrevelocidad de la tubería forzada	46
2.2.5	Sensor de presión de la tubería forzada	46
2.2.6	Electroválvula de mando de la válvula principal	47
2.3	Dispositivos de control	47
2.3.1	Regulador de velocidad	48
2.3.2	Regulador de tensión	54
2.3.3	Sincronizador	56
CAPITULO III		62
ARRANQUE Y PARADA DE UN GRUPO DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA		62
3.1	Consideraciones	62
3.2	Proceso de arranque	63
3.2.1	Condiciones previas	63
3.2.2	Apertura de válvula principal	65
3.2.3	En servicio planta de agua de refrigeración	65
3.2.4	Actuación del regulador de velocidad	65
3.2.5	Verificar aceite en el carter del cojinete	66
3.2.6	Desbloqueo mecánico de la turbina	66
3.2.7	Lanzamiento de la turbina	66
3.2.8	Refriferación de aceite del transformador de potencia	67
3.2.9	Excitación de la máquina	67

3.2.10	Proceso de sincronización	68
3.3	Proceso de parada	69
3.3.1	Actuación sobre los componentes eléctricos	69
3.3.2	Actuaciones sobre los componentes mecánicos	70
3.3.3	Verificar cierre sistema de agua de refrigeración de cojinetes	71
3.4	Ampliaciones futuras	71
3.5	Diagrama de bloques de la secuencia de maniobras del proceso de arranque y parada de una central	71
CAPITULO IV		77
SELECCION DEL HARDWARE Y SOFTWARE DEL SISTEMA A UTILIZAR PARA LA AUTOMATIZACION DEL ARRANQUE Y PARADA DE UN GRUPO DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA . . .		77
4.1	Modernización de centrales hidroeléc- tricas	78
4.2	Automatización del proceso de arranque y parada considerando los equipamientos existentes	80
4.2.1	Procesos importantes a controlar	80
4.2.2	Configuración básica del sistema	83
4.2.3	Desventajas de la configuración propuesta	85
4.3	Automatización del proceso de arranque y parada modernizando los dispositivos de regulación y sincronización	86

4.3.1	Modernización de los Dispositivos de Regulación y Sincronización	86
4.3.2	Diagrama de bloque de arranque y parada	106
4.3.3	Variables a controlar	110
4.3.4	Configuración básica	111
4.3.5	Ventajas de la alternativa propuesta	112
4.4	Análisis de la alternativa propuesta	112
4.4.1	Consideraciones para el Pedido de los Equipos a Modernizar	112
4.4.2	Configuración principal del sistema de automatización de toda la central	113
4.5	Requerimiento funcional del sistema de control de la configuración básica	115
4.5.1	Del sistema de control	115
4.5.2	Requerimiento de hardware	116
4.5.3	Requerimientos del software	117
CAPITULO V		121
IMPLEMENTACION Y COSTO DEL SISTEMA SELECCIONADO		121
5.1	Equipamiento base	121
5.1.1	Adquisición de datos	121
5.1.2	Equipos de regulación	122
5.1.3	Equipos para los mandos	122
5.1.4	Del Sistema de procesamiento	122
5.2	Costo del equipamiento actual	123
5.2.1	Del mantenimiento	123
5.2.2	De la operación	124
5.2.3	De la indisponibilidad	124
5.3	Implementación	126

5.3.1 Cronograma de actividades del equipamiento base	126
5.3.2 Alternativa a implementar	126
CONCLUSIONES	128
BIBLIOGRAFIA	130

PROLOGO

La meta que se persigue, es lograr la automatización de los procesos de operación de los Grupos generadores de las Centrales Hidroeléctricas, especialmente las de EDEGEL S.A.

Después de entender y comprender el procedimiento manual de operación, los cuales son realizados por la acción humana; lograr utilizar o implementar la ingeniería aplicada existente en el mercado, que actualmente es usada como tecnología de punta en las unidades Turbina-Generador de las Centrales Hidroeléctricas del Mundo; siendo necesario sólo un mando local (un sólo pulso) o a distancia desde una estación remota.

Se ha recopilado la información de la operación de cada planta Hidroeléctrica, la cual sumada a la experiencia por cada una de ellas; lográndose preparar diagramas de flujos de las secuencias de arranque - paralelo y parada de cada Grupo generador de la Central Hidroeléctrica y en parte de éstos diagramas introducir la tecnología de punta existente en el mercado.

CAPITULO I
DESCRIPCION DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA EN
CONCORDANCIA CON SU OPERACION

El objetivo del presente trabajo, es la automatización del arranque y parada de un Grupo (Turbina más Generador) de una Central Hidroeléctrica, mediante el uso de un computador.

En éste capítulo planteamos las características de operación de cada uno de los componentes de una Central Hidroeléctrica.

En una Central Hidroelectrica, la potencia responde a la ecuación:

$$P = KQH$$

Donde:

K = factor de eficiencia

Q = caudal

H - altura

Para una adecuada programación de carga, es necesario desarrollar mediciones y controles de caudal, debido a que la variable "H" es una constante determinada por la geografía del terreno.

1.1 Captación de recursos hídricos

Los recursos hidrológicos presentan dos formas de captación de agua que, garantizan una adecuada programación de carga, así tenemos:

Acumulación de las lluvias y los deshielos en lagunas naturales, regulándose con infraestructura adecuada, mediante compuertas y acueductos, el caudal en función de la carga a despachar.

Caudales naturales de los ríos, captados en tomas ubicadas en los cauces de los mismos ríos.

Para la operación de una Central Hidroeléctrica y por consiguiente un despacho adecuado de la carga es necesario represar el agua. En la figura 1.1 se muestra esquemáticamente la disposición de los recursos hidráulicos de la Central Hidroeléctrica (C.H.) de Callahuanca perteneciente a EDEGEL S.A.

1.1.1 Embalse para galería a presión

Este embalse represa un caudal resultante compuesto por el cauce natural del río y los caudales derivados de las lagunas.

Este tipo de embalse opera en función de su volumen y es controlado para mantener una cota o nivel mínimo en todo instante puesto que representa la cota de la columna de agua de diseño de la Central.

Estas centrales se adaptan perfectamente al servicio de cargas punta, pudiendo variar en cualquier momento la potencia entre el valor máximo y la carga nula sin desperdiciar agua.

Así, tenemos en EDEGEL S.A. el Embalse de Sheque que abastece a la Central Hidroeléctrica de Huinco, cuyas

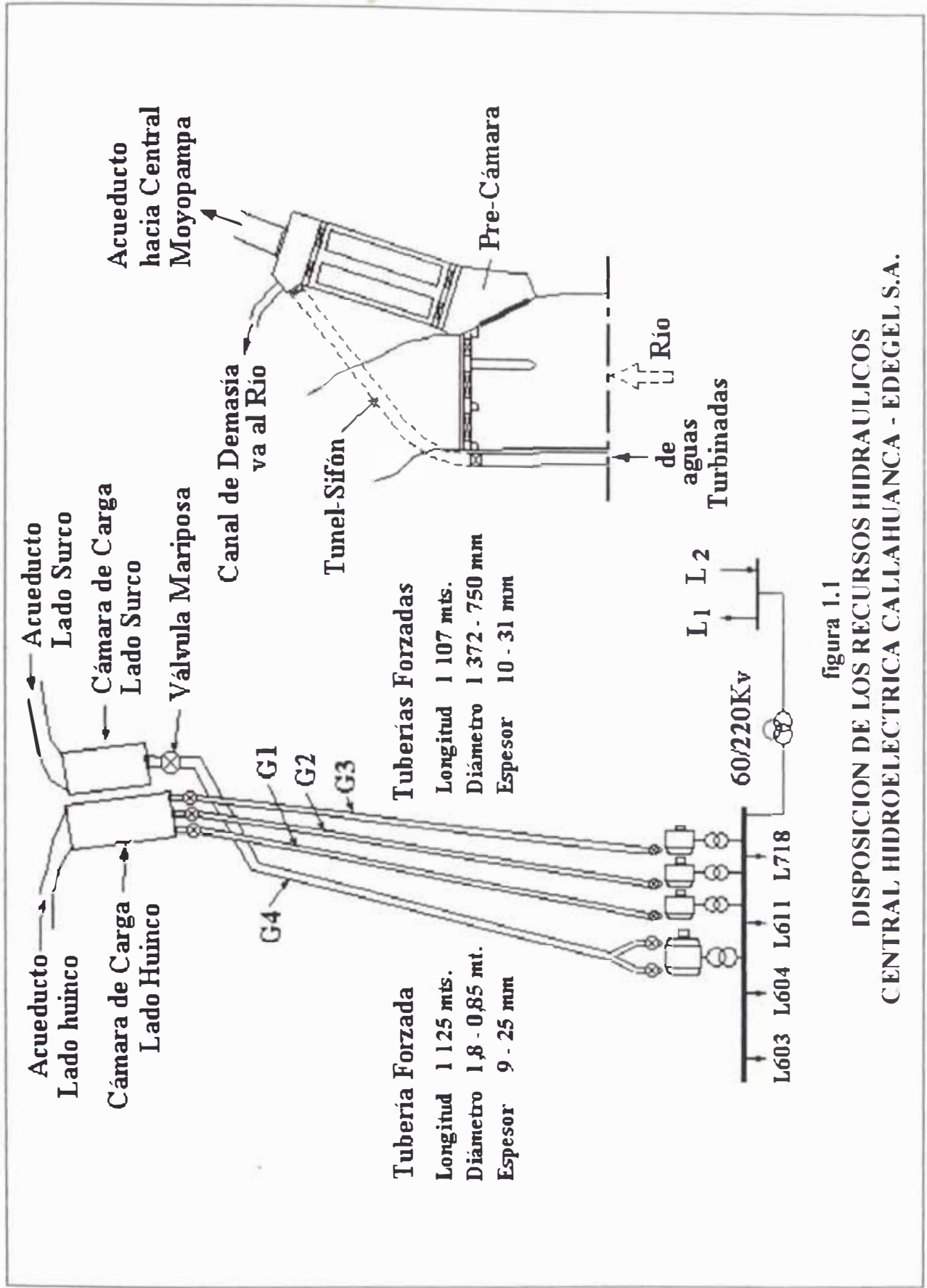


figura 1.1

**DISPOSICION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS
CENTRAL HIDROELECTRICA CALLAHUANCA - EDEGEL S.A.**

características son:

Volumen útil	430,000 m ³
Cota Máxima	3,170 m.s.n.m.
Potencia Activa	252 MW

En la figura 1.2 se puede ver el esquema de éste tipo de embalse.

1.1.2 Toma de captación

Ubicada en el mismo cauce de un río, represa el caudal natural del río y/o agua turbinada de otra Central Hidroeléctrica ubicada aguas arriba.

La toma alimenta un acueducto a pelo libre y el despacho de carga de la central esta en función directa del caudal captado que ingresa al acueducto.

Esta toma comprende compuertas de represamiento, de purga para limpieza, cámaras desarenadoras, las que a su vez tienen compuertas de entrada con sus respectivas rejillas y compuertas de salida además un equipo de medición de caudal al ingreso al acueducto. Ver las figuras 1.1 y 1.2.

1.2 Tuneles de aducción

1.2.1 Galería a pelo libre

Este acueducto se encuentra ubicado entre la toma de captación y la cámara de carga, recibiendo el agua turbinada de una Central aguas arriba y/o el caudal natural del río.

En figura 1.1 se muestra las galerías a Pelo Libre que abastecen la Cámara de carga de la C.H. de Callahuanca.

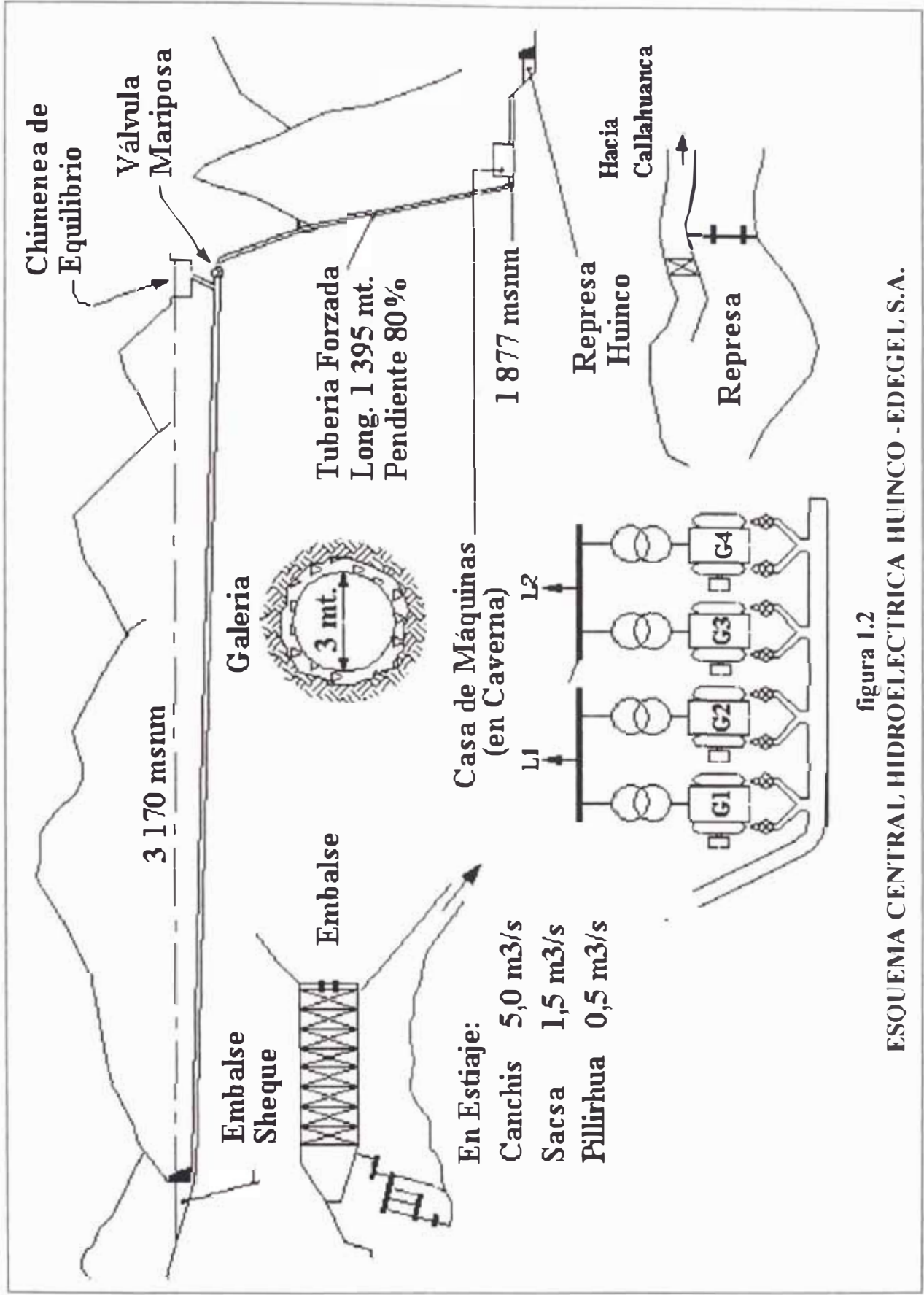


figura 1.2
 ESQUEMA CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO - EDEGEL S.A.

1.2.2 Galería a presión

Este tipo de galería se inician, generalmente, en un embalse, y su longitud depende de la ubicación del embalse y de la chimenea de equilibrio que se deriva de la tubería forzada.

Las Centrales Hidroeléctricas que cuentan con una Galería a presión no poseen cámara de carga, en su lugar tienen una Chimenea de Equilibrio.

En la figura 1.2 se puede apreciar la Galería a Presión y su respectiva Chimenea de equilibrio que corresponden a la Central Hidroeléctrica de Huínco - EDEGEL S.A.

1.3 Cámara de carga

La Cámara de Carga es importante para el mantenimiento y la operación de una central hidroeléctrica. Además de acumular un gran volumen de agua necesario para los programas de despacho de carga en hora punta (regulación horaria) de la Central, también permite que la velocidad del agua al pasar por la cámara disminuya a un valor tal que facilita que los sólidos en suspensión se sedimenten, minimizándose la erosión de la turbina..

La Cámara de Carga almacena un volumen de agua controlado en función del nivel, comprendido entre el rebose (Cota máxima) y un nivel mínimo para que en la tubería forzada esté presente la columna de agua de diseño de la central.

Durante la operación, se trata que la Cámara de

Carga mantenga un nivel adecuado de agua, el cual depende de la oferta de carga que se presente; generalmente al comenzar las horas punta la Cámara de Carga se encuentra en el nivel Máximo (Reboze) y se termina, normalmente al llegar al nivel mínimo.

Presentan compuertas de entrada, de purga en la pre-cámara, de presión o admisión a la tubería forzada y antes de estas últimas se tienen rejillas en donde se acumulan los desechos que trae el agua los cuales se limpian periódicamente, además se tiene un equipo de medida de nivel de agua en la Cámara.

El cuadro 1.1 muestra las Cámaras de Carga de la Empresa EDEGEL S.A.

CUADRO Nº 1.1

CAMARAS DE CARGA DE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS DE EDEGEL S.A.

CENTRAL HIDROELECTRICA	VOLUMEN UTIL m ³	POTENCIAS MW	CAUDAL m ³ /seg
CALLAHUANCA I	6 000	36,0	3x3,4
CALLAHUANCA II	25 000	35,0	8,5
MOYOPAMPA	37 500	63,0	3x5,25
HUAMPANI	9 000	31,5	2x10,5
PABLO BONER	54 000	120,0	15.5

La Central de Huinco no figura en el Cuadro anterior

porque no tiene Cámara de Carga, pero posee un Embalse cuyas características son las siguientes

CENTRAL HIDROELECTRICA	VOLUMEN UTIL m ³	POTENCIAS MW	CAUDAL m ³ /seg
HUINCO	430,000	252	25

1.4 Chimenea de equilibrio

Se tiene en Centrales Hidroeléctricas que operan con galería a presión, ubicado en la unión de ésta con la tubería forzada, cumple con las siguientes funciones:

Como limitador o regulador de presión, porque al disminuir en forma brusca la carga de la central, la energía cinética contenida en la galería de presión que se transforma en energía de presión haría peligrar la estabilidad de la galería.

Como reservorio instantáneo, porque al aumentar rápidamente la carga de la central no se lograría acelerar de inmediato toda la masa de agua existente entre la captación y la máquina, de este modo disminuiría la presión nominal de la tubería forzada y por consiguiente la potencia entregada por la máquina no podría corresponder a la potencia requerida por la carga.

En la figura 1.2 se puede apreciar el esquema de principio de la ubicación de la Chimenea de Equilibrio de la Central Hidroeléctrica de Huinco.

1.5 Tubería forzada

Permite transformar la energía potencial acumulada en la Cámara de Carga en Energía Cinética y de Presión direccionando el flujo de agua hacia las turbinas.

En la tubería forzada se presenta un fenómeno transitorio que se llama GOLPE DE ARIETE, que se produce al cerrar o abrir los dispositivos de control de caudal, al arrancar o parar una máquina o al variar bruscamente el caudal durante la marcha.

Las variaciones de carga producen una reacción en el Regulador de Velocidad que se traduce en variaciones de apertura del distribuidor modificando el caudal en la Tubería Forzada, el cual origina sobrepresiones o depresiones sobre la Tubería.

Cuando se reduce la carga del generador, el Regulador de Velocidad cierra la entrada del agua, adaptando el caudal necesario para equilibrar los pares motor y resistente, la energía cinética de la masa del agua al quedar reducida en parte, se transforma en energía de presión y en calor originando un golpe de ariete positivo en la tubería, que dará lugar a una onda, decreciente, de sobrepresión que se desplaza entre el distribuidor y la cámara de carga. Esta Sobrepresión es tanto mayor cuanto más rápido es el cierre del distribuidor.

En el cuadro 1.2 se puede apreciar los tiempos de apertura y cierre de los Introdutores y Distribuidor

de las Centrales Hidroeléctricas de EDEGEL S.A.; y en la figura 1.1 se muestran las dimensiones de las Tuberías Forzadas de la Central Hidroeléctrica de Callahuanca - Edegel S.A.

CUADRO Nº 1.2

TIEMPOS DE APERTURA Y CIERRE DE INTRODUCTORES Y DISTRIBUIDOR DE LAS TURBINAS PELTON Y FRANCIS DE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS DE EDEGEL S.A.

CENTRAL HIDROELECTRICA	INTRODUCTORES	
	TIEMPO APERTURA segundos	TIEMPO CIERRE segundos
HUINCO	35	90
PABLO BONER	15	30
CALLAHUANCA I	13	26
CALLAHUANCA II	13	26
MOYOPAMPA	30	50
	DISTRIBUIDOR	
HUAMPANI	13	15

1.6 Dispositivos de apertura, cierre y de seguridad

1.6.1 Compuerta de admisión

La compuerta de admisión permite el paso del agua entre la cámara de carga y la tubería forzada.

Esta compuerta es cerrada totalmente cuando se efectúa el vaciado de la tubería forzada para realizar

trabajos de mantenimiento cuando estos no requieren la presencia de la columna de agua.

1.6.2 Dispositivo de sobrevelocidad

Es un dispositivo mecánico compuesto de un disco plano circular o rectangular, colocada en el interior de la tubería forzada opuesto al flujo del agua.

Este dispositivo se comunica con el sistema de la válvula mariposa, mecánicamente o por una señal eléctrica para ordenar el cierre de la misma. El sistema se mantiene en equilibrio mientras no se produzca la sobreelevación de velocidad del agua dentro de la Tubería Forzada para la cual ha sido calibrado.

Generalmente se recomienda ajustar la actuación de la protección contra sobrevelocidad al 120% del caudal nominal.

1.6.3 Válvula mariposa

La Válvula Mariposa se encuentra ubicada en la parte superior de la tubería forzada y aguas abajo de la cámara de carga.

Esta compuesta por un disco obturador cuyo eje de giro es diametral, y se encuentra colocada en forma transversal al flujo de agua en la tubería.

Su giro para el cierre es dado por un contrapeso acoplado rigidamente al eje del disco y para la apertura cuenta con un servomotor.

La figura 1.3 muestra una Válvula Mariposa correspondiente a la Central Hidroeléctrica de Huinco-EDEGEL S.A..

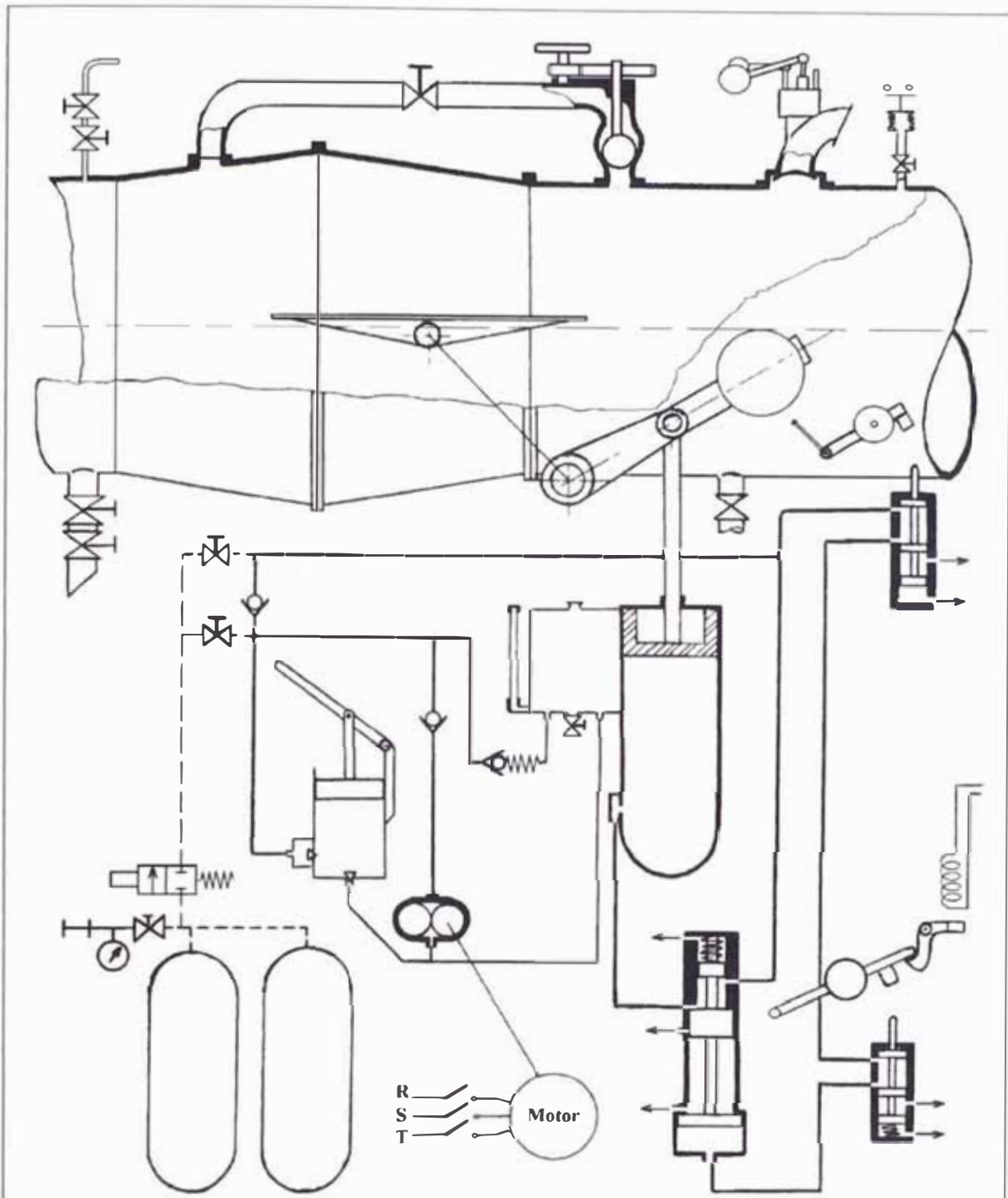


figura 1.3
ESQUEMA GENERAL DE LA
VALVULA MARIPOSA
CENTRAL HUINCO - EDEGEL S.A.

1.6.4 Tubo de aireación

El tubo de aireación permite la entrada de aire del medio ambiente en el proceso de vaciado y salida de aire en el proceso de llenado de la tubería forzada. Al concluir el llenado de la tubería forzada, por el tubo de aireación se oye un ruido característico acompañado de burbujas de agua indicando que la tubería se encuentra a la presión de diseño, cumpliéndose una de las condiciones previas para el lanzamiento del grupo; por ello están instaladas junto a la Válvula Mariposa lado aguas abajo.

1.6.5 Válvula principal

1.6.5.1 Válvula esférica

Esta válvula es de tipo rotativo con hermeticidad normal aguas abajo y hermeticidad de emergencia o para mantenimiento aguas arriba. Está conformada por un obturador rotativo, que gira por acción del servomotor de rotación; la acción de acercamiento y alejamiento del obturador hacia o desde su asiento de hermeticidad esta dado por el servomotor de pegue y despegue respectivamente.

1.6.5.2 Válvula compuerta

Es una válvula principal de tipo compuerta, accionada por un Servomotor que tiene un desplazamiento rectilíneo, el obturador, conocido como "lenteja", es de simple hermeticidad y tiene su asiento de forma cónica.

1.6.5.3 Válvula rectilínea

El cierre y la apertura de éste tipo de Válvulas, se realizan mediante un desplazamiento rectilíneo, y su funcionamiento se basa en la diferencia de presiones entre la inyección de aceite a presión y la presión del agua derivada de la Tubería Forzada.

Para el cierre se dispone de la fuerza que ejerce el agua derivada de la tubería forzada y la apertura se genera debido a la acción de la presión de aceite que supera a la presión del agua, produciendo un movimiento con velocidad controlada en la Válvula.

1.7 Turbina

Es el motor primo y su giro se debe a la energía cinética del chorro de agua, transformando la energía hidráulica en energía mecánica o energía útil en el eje.

1.7.1 Turbina pelton

Rodete

Es la rueda propiamente dicha de la turbina, compuesta de cucharas (cazoletas) radiales para recibir el impacto del agua. Para la puesta en funcionamiento se da el giro inicial abriendo lentamente el paso de agua mediante la aguja para que el aumento de velocidad sea gradual hasta que alcance la velocidad nominal.

Un arranque brusco o una descarga total intempestiva puede producir el embalamiento del rodete, el cual es controlado por el dispositivo de sobrevelocidad de la

turbina.

Tobera

En ella se acopla un “anillo” que es el asiento de la aguja, esta aguja se desplaza en forma longitudinal controlando el flujo de agua y en consecuencia la carga del grupo.

Servomotor principal

El Servomotor Principal es el encargado de dar la fuerza necesaria para comandar la aguja de acuerdo a la carga.

Si el Grupo esta en servicio y actúa un “paro de emergencia” de la turbina, la presión de aceite del sistema es enviada a la descarga (Cárter), cerrándose rápidamente el sistema aguja-deflector, cortándose el flujo de agua y por consiguiente disminuye la velocidad de la turbina.

Deflector

Mecanismo que se desplaza coordinadamente con la aguja de tal forma que siempre esta muy cerca al chorro, para intervenir ante una disminución brusca de la carga, en forma instantánea. Cuando se produce una desconexión del grupo en forma automática por actuación de alguna protección el deflector desvía el chorro de tal forma que impide el embalamiento de la máquina.

La fig. 1.4 muestra el esquema básico de una Turbina Peltón.

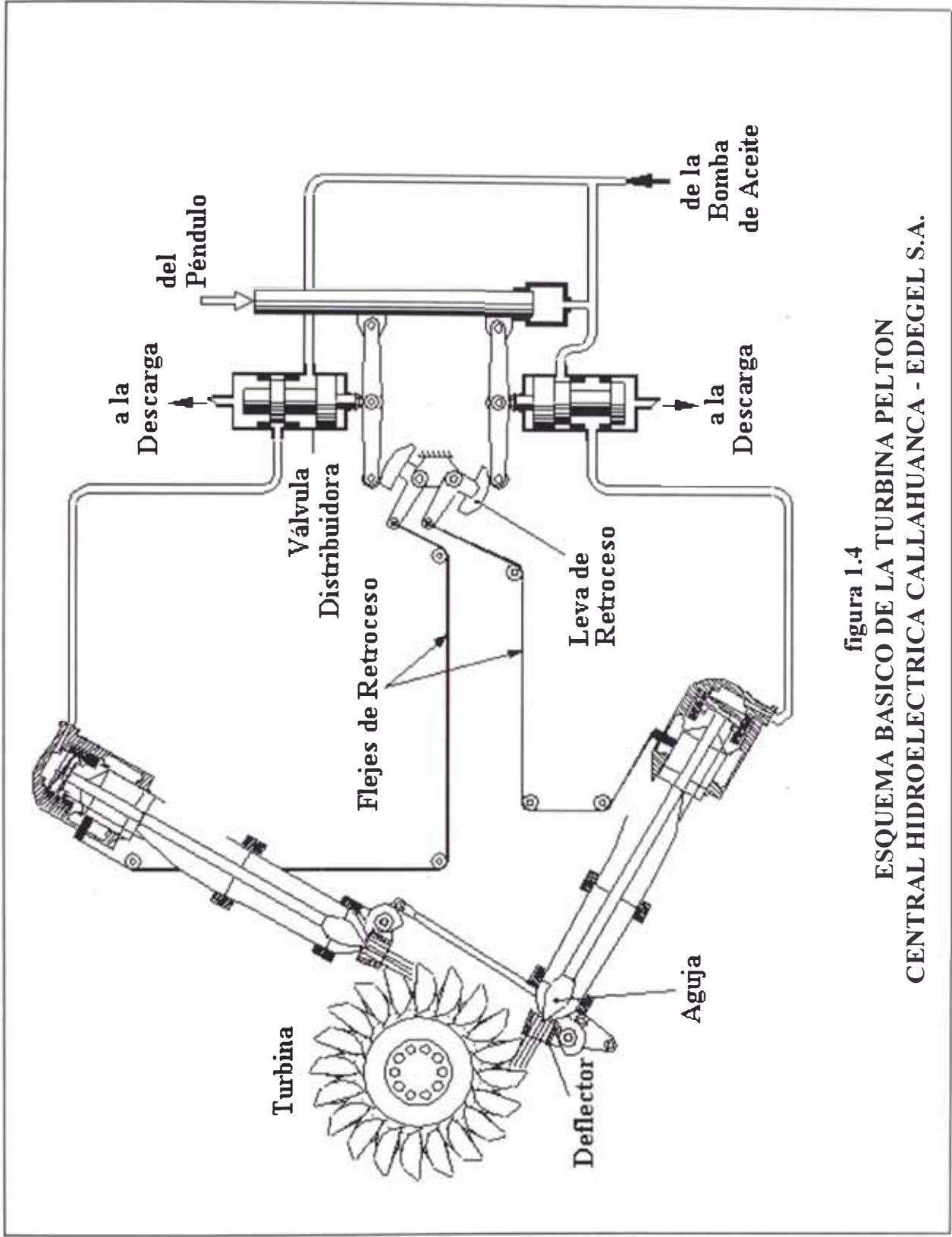


figura 1.4
 ESQUEMA BASICO DE LA TURBINA PELTON
 CENTRAL HIDROELECTRICA CALLAHUANCA - EDEGEL S.A.

1.7.2 Turbina francis

Rodete

Tiene el aspecto de una hélice, con paletas directrices fijas que direccionan el flujo de agua.

Distribuidor

Esta conformado por paletas móviles que se mueven simultaneamente sobre ejes paralelos al del rodete para regular el ingreso del caudal de agua al rodete.

Descargador Síncrono

Es un dispositivo elemento compensador para amortiguar el fenómeno de GOLPE DE ARIETE durante las variaciones bruscas de carga y se instala en la parte terminal de la Tuberia forzada.

Codos de Descarga

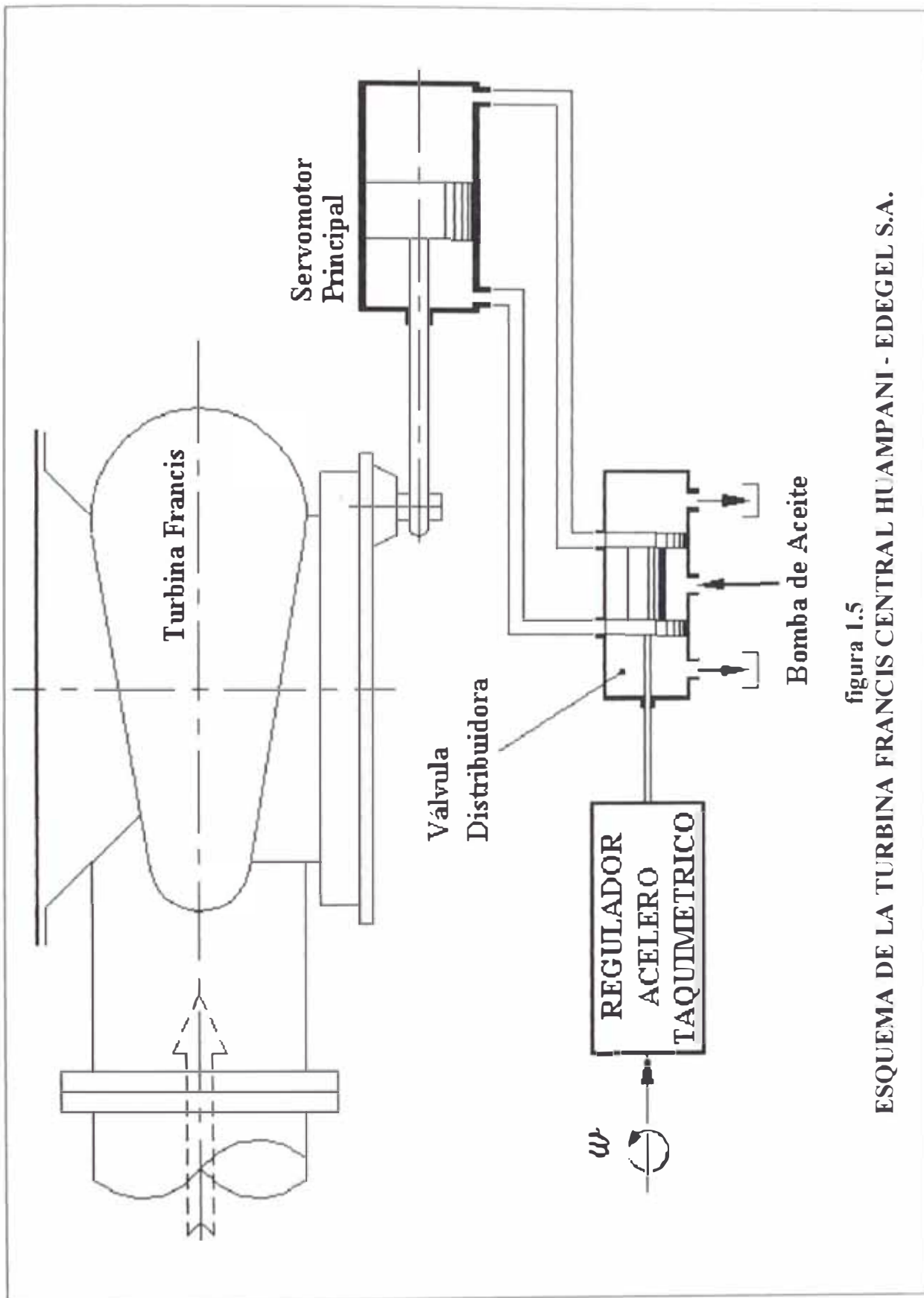
Es una tubería ubicada en la descarga que direcciona la salida del agua turbinada y esta dimensionada y dispuesta de modo tal que elimina los problemas de cavitación en la turbina.

La fig. 1.5 muestra el esquema de una Turbina Francis.

1.8 Regulador de velocidad

Es el sistema que mantiene la velocidad constante de la turbina, con el fin de no variar la frecuencia de la red, regulando la Potencia activa (MW) de un grupo.

La regulación de la velocidad se efectúa por medio del variador de velocidad, desplazando la aguja en caso



ESQUEMA DE LA TURBINA FRANCIS CENTRAL HUAMPANI - EDEGEL S.A.
 figura 1.5

de una turbina peltón, que gradúa el chorro del agua, ésta avanza o retrocede en la tobera (anillo) y reduce o aumenta el caudal que actúa en las cucharas del rodete, del mismo modo ocurre con la potencia activa.

En turbinas pelton, la regulación se hace en 2 etapas, una de "cierre largo" hecha por la aguja para evitar sobrepresiones en la tubería y otra de acción instantánea realizada por el deflector que desvía parte o la totalidad del chorro, mientras que la aguja se cierra lentamente hasta ajustarse al caudal requerido por la nueva carga.

El regulador de velocidad tiene un mecanismo de retroceso o de compensación, que permite estabilizar la velocidad luego de una regulación.

1.8.1 Tipos de reguladores de velocidad

1.8.1.1 Regulador taquimétrico

Su actuación está basada en la variación de la señal de la velocidad sensada. Actualmente utilizado en los grupos Voith de la Central Hidroeléctrica Callahuanca -EDEGEL S.A., por su antigüedad es netamente mecánico y la variación de velocidad se detecta mediante un péndulo centrífugo, y por medio de unos Sistemas de Pre-gobierno y Gobierno efectúa el ajuste del flujo de agua, ver figura 1.6.

1.8.1.2 Regulador aceleró-taquimétrico

Su funcionamiento se basa en la variación de las señales sensadas de aceleración y velocidad, los cuales

se detectan por un mecanismo tipo péndulo acelerotaquimétrico movido por un motor síncrono alimentado por el alternador piloto (Generador de Imanes Permanentes).

En este regulador la respuesta a ambas señales presentan acciones concordantes, es decir, al iniciarse una oscilación, la acción acelerométrica es instantánea y de valor máximo y la taquimétrica es nula; ver la figura 1.7.

1.8.1.3 Regulador electromagnético

Este tipo de reguladores utilizados en los grupos de las Centrales Hidroeléctricas de Huinco y Matucana de EDEGEL S.A., sensa la velocidad mediante un alternador piloto acoplado al eje del grupo, tiene acción acelerotaquimétrica y la diferencia fundamental de este regulador respecto al anterior es que, las señales sensadas son eléctricas y se procesan por una serie de etapas electromagnéticas para finalmente dar una señal resultante que, mediante un transductor es amplificada para actuar sobre los mecanismos de transmisión de fuerza que controlan de este modo el caudal de agua.

Sus principales elementos son:

- a. Dispositivo sensible a la Frecuencia Δf , es el elemento que controla y mide la frecuencia o velocidad del Grupo, emitiendo una señal eléctrica ante la menor variación de la frecuencia de la Red o del Grupo respecto de la programada (60Hz), ésta señal es proporcional a la magnitud de la diferencia.

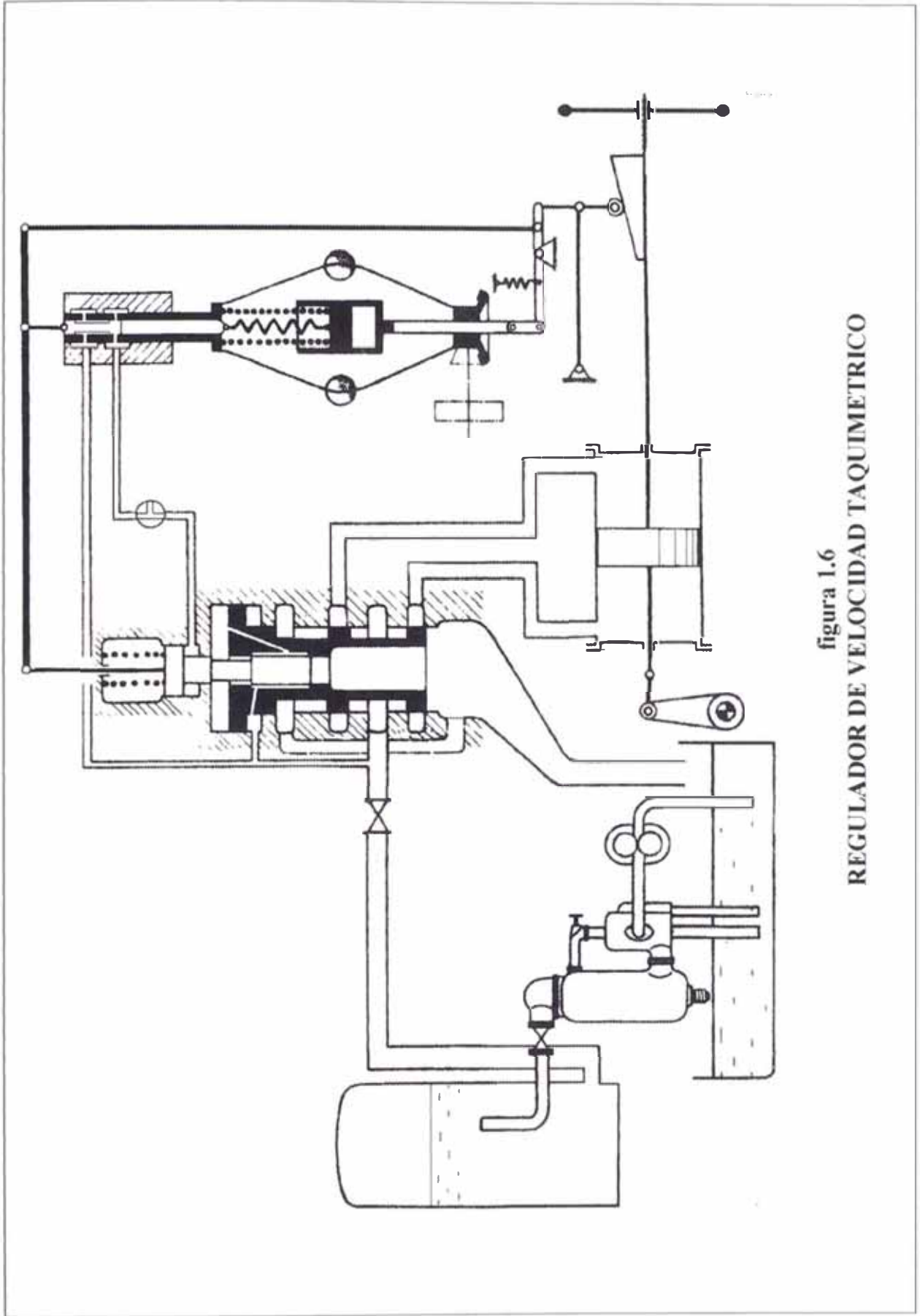


figura 1.6
REGULADOR DE VELOCIDAD TAQUIMETRICO

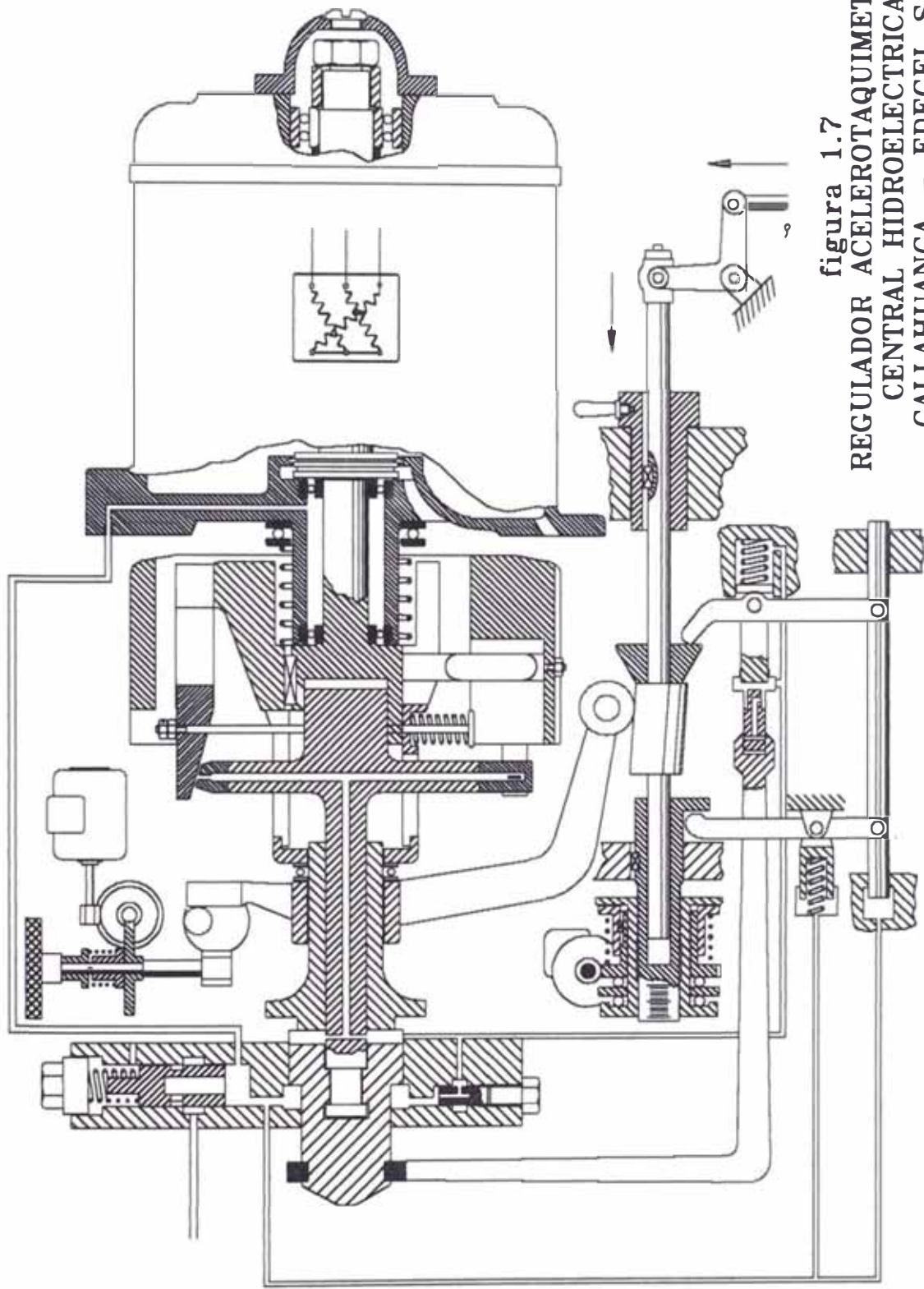


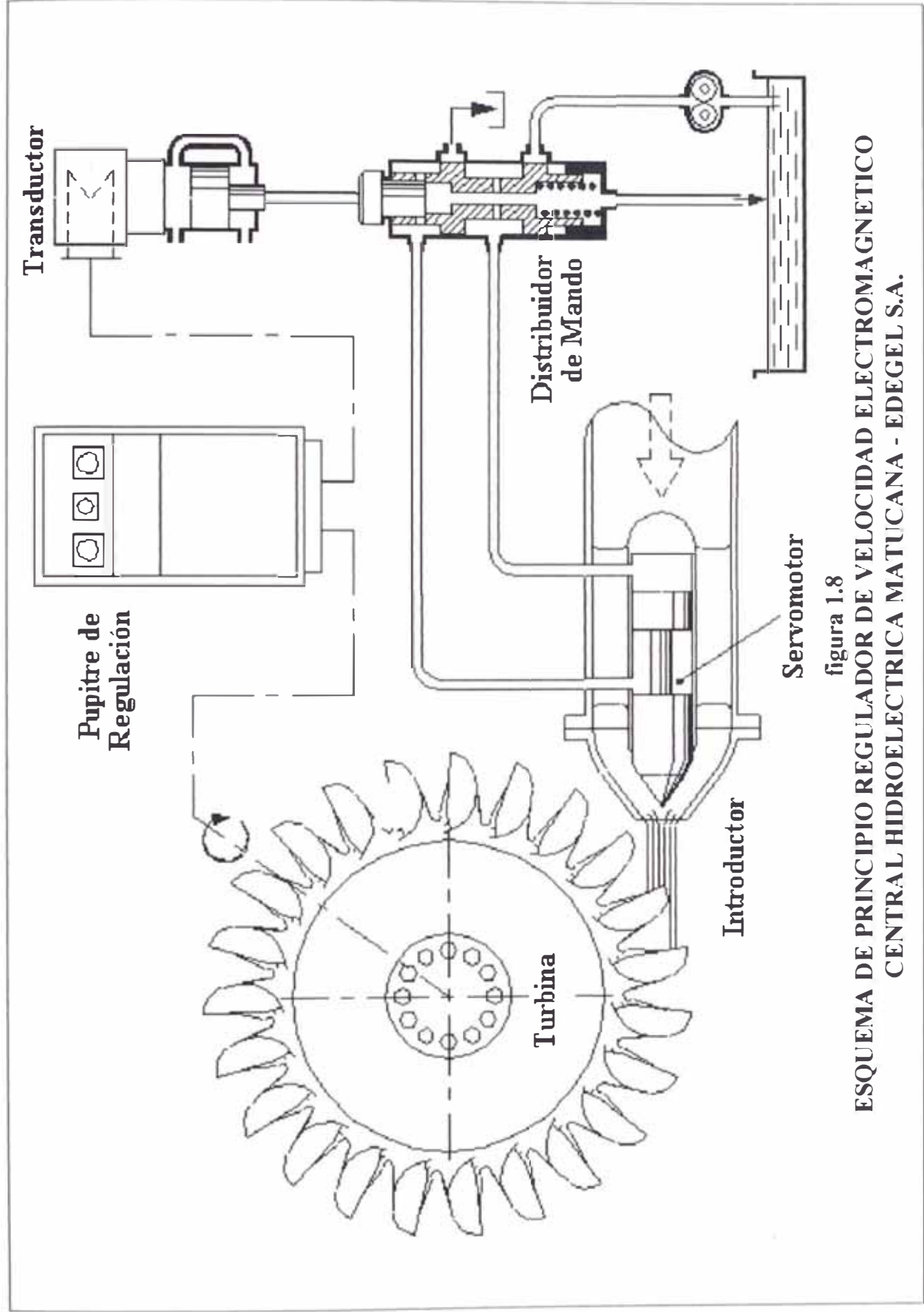
figura 1.7
REGULADOR ACELEROTAQUIMETRICO
CENTRAL HIDROELECTRICA
CALLAHUANCA - EDEGEL S.A.

- b. Sistema Acelero-taquimétrico, es un circuito eléctrico tipo RC que recibe la señal de variación de la frecuencia actuando en dos etapas definidas, una etapa inicial transitoria en la que la acción acelerométrica es predominante y otra etapa en régimen permanente, de la señal, en que la acción taquimétrica es efectiva.
- c. Estatismo, Circuito eléctrico, que recepciona las señales del sistema acelero-taquimétrico ordenando actuar al Grupo de acuerdo al parámetro de Estatismo definido.
- d. Los mecanismos de retroceso o realimentación transitoria y permanente dan el efecto de retroceso al pistón del distribuidor de mando para conseguir la estabilidad de las oscilaciones de velocidad y el control de la variación de la velocidad requerida en el funcionamiento de la turbina entre plena carga y vacío respectivamente.

En la fig. 1.8 se muestra el esquema de principio de un Regulador de Velocidad Electromagnético.

1.8.1.4 Regulador digital

Es un dispositivo cuya finalidad es sensar y controlar las variaciones de velocidad por medio de un transductor acoplado en el eje, o sensando el flujo remanente del alternador. Este dispositivo reemplazaría al péndulo centrífugo, al acelerotaquimétrico y a las etapas de señales electromagnéticas, además algunos periféricos de los reguladores mencionados anterior-



ESQUEMA DE PRINCIPIO REGULADOR DE VELOCIDAD ELECTROMAGNETICO
 figura 1.8
 CENTRAL HIDROELECTRICA MATUCANA - EDEGEL S.A.

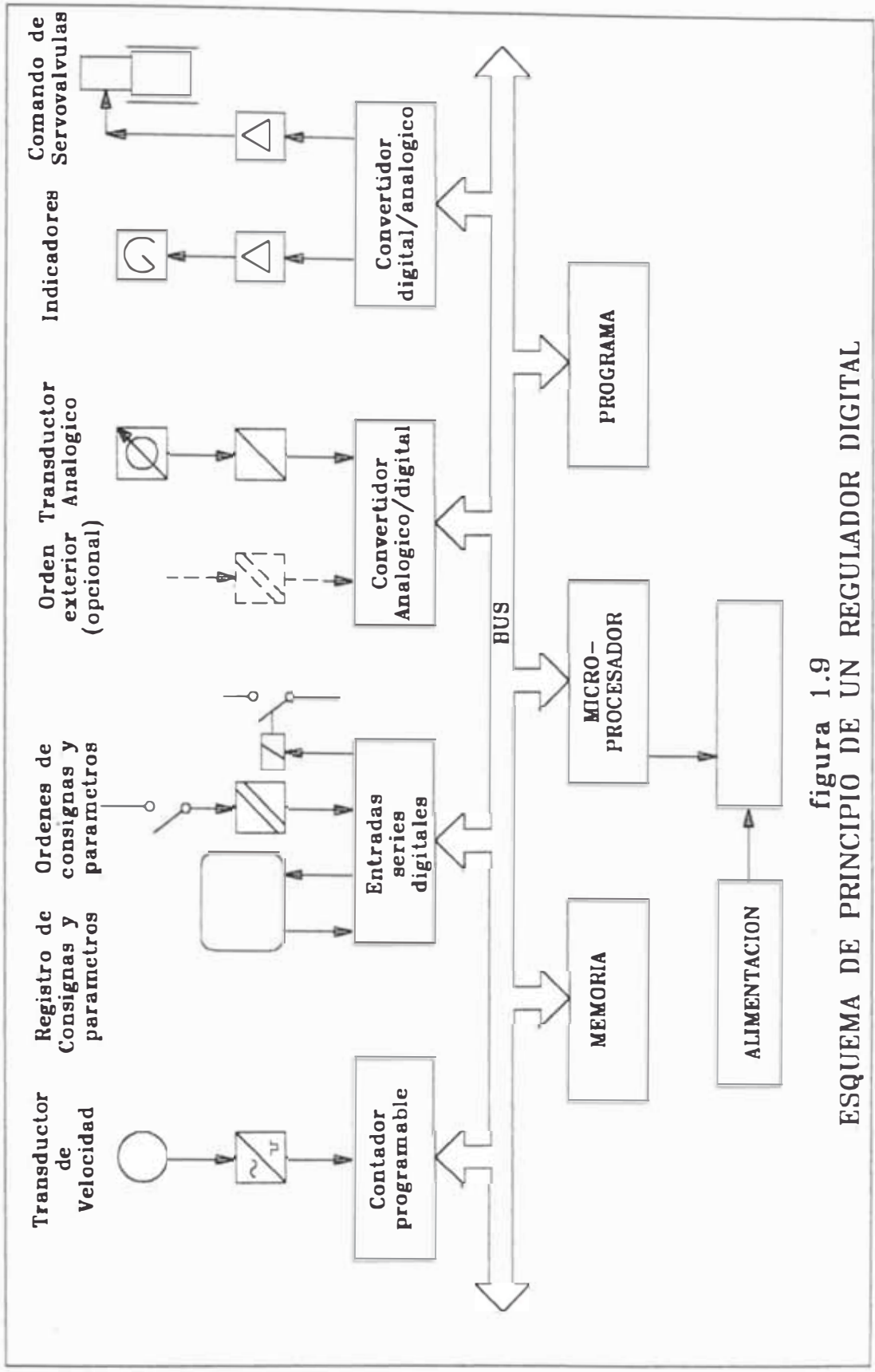


figura 1.9
ESQUEMA DE PRINCIPIO DE UN REGULADOR DIGITAL

mente; los otros elementos de fuerza y transmisión siguen siendo los mismos. Se muestra en la fig. 1.9.

1.9 Alternador

El alternador esta acoplado directamente al eje de la Turbina, para grandes potencias es una máquina de tipo síncrona, la cual necesita de una velocidad y una corriente continua para excitar el devanado rotórico e inducir en el estator un flujo magnético giratorio para generar en bornes de salida de la máquina tensión alterna.

En los cuadros 1.3 y 1.4 se indican las características técnicas de los generadores síncronos y de sus respectivos motores primos pertenecientes a la Empresa EDEGEL S.A.

CUADRO Nro. 1.3

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS GENERADORES DE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS DE EDEGEL S.A.

CENTRAL	GENERADOR			
	KV	Amp	f.p	MVA
HUINCO	12,5	3,930	0,76	85.0
PABLO BONER	12,5	3,695	0,75	80.0
CALLAHUANCA I	6,5	1,560	0,70	17,5
CALLAHUANCA II	8,0	3,180	0,70	44.0
MOYOPAMPA	10,0	1,735	0,70	30.0
HUAMPANI	10,0	1,300	0,70	22,4

CUADRO Nro. 1.4

CARACTERISTICAS MECANICAS Y RECURSOS HIDRAULICOS DE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS DE EDEGEL S.A.

CENTRAL	GRUPOS	ALTURA UTIL	CAUDAL m ³ /seg.	RPM	TURBINA
HUINCO	04	1,300	25	514	Pelton
PABLO BONER	02	990	15	450	Pelton
CALLAHUANCA I	03	436	3x3,4	514	Pelton
CALLAHUANCA II	01	436	8,5	450	Pelton
MOYOPAMPA	03	476	3x5,25	514	Pelton
HUAMPANI	02	178	2x10,5	720	Francis

1.10 Sistema de excitación

El generador síncrono necesita además de la velocidad, de corriente continua de excitación en su devanado, para lo cual existen diferentes tipos de fuentes.

1.10.1 Máquinas rotativas de corriente continua

Con aquellas máquinas acopladas directamente al sistema generador - turbina, pueden ser de excitación independiente o autoexcitados, los más utilizados son los de conexión shunt, compuesto, independiente o la combinación de los mencionados, en la figura 1.10 se muestra el esquema de principio de una excitatriz en cascada (Shunt más Independiente). Para conectarlo al devanado de campo del rotor del generador se requiere que tengan anillos

deslizantes y portaescobillas y la corriente de excitación se varía mediante una resistencia variable.

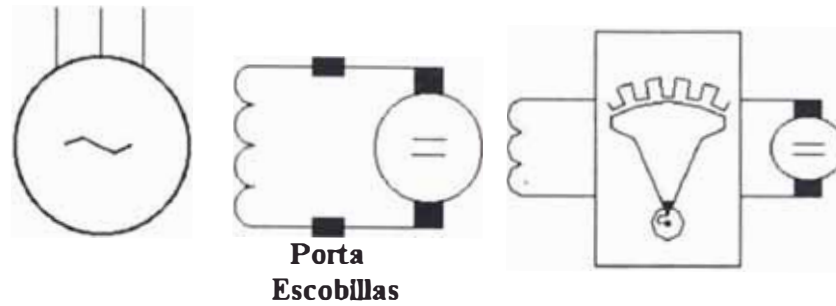


figura 1.10
SISTEMA DE EXCITACION CON MAQUINA
ROTATIVA EN CORRIENTE CONTINUA
TIPO CASCADA (SHUNT+INDEPENDIENTE)

1.10.2 Máquinas rotativas de corriente alterna y rectificadores

Las máquinas utilizan el mismo principio de un generador síncrono, con la diferencia de que la excitación se efectúa en devanado ubicado en parte estática, en el rotor se genera corriente alterna trifásica que es rectificadora y el conjunto gira solidariamente con eje, no se requieren anillos deslizante ni portaescobillas, ver esquema de la figura 1.11.

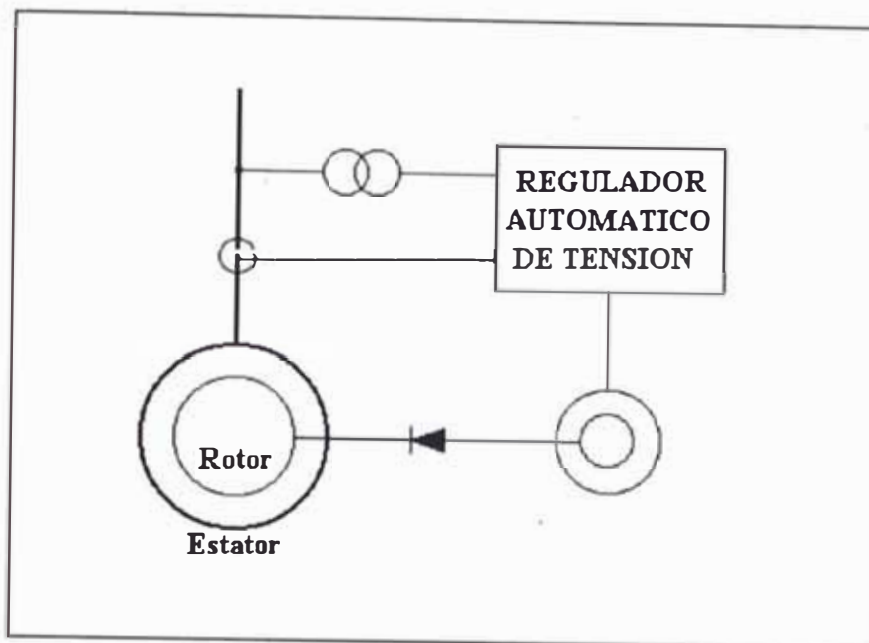


figura 1.11

**SISTEMA DE EXCITACION CON MAQUINAS ROTATIVAS EN
CORRIENTE ALTERNA Y SIN ESCOBILLAS CON
RECTIFICADOR GIRATORIO**

1.10.3 Excitatriz de estado sólido

La corriente alterna en bornes de la máquina, iniciando con su tensión remanente, es rectificada mediante tiristores y diodos de potencia; actualmente de acuerdo al avance de la electrónica de potencia, las magnitudes de corriente continua superan los 1000 amperios.

La fig. 1.12 muestra una conexión típica de éste tipo de Excitación.

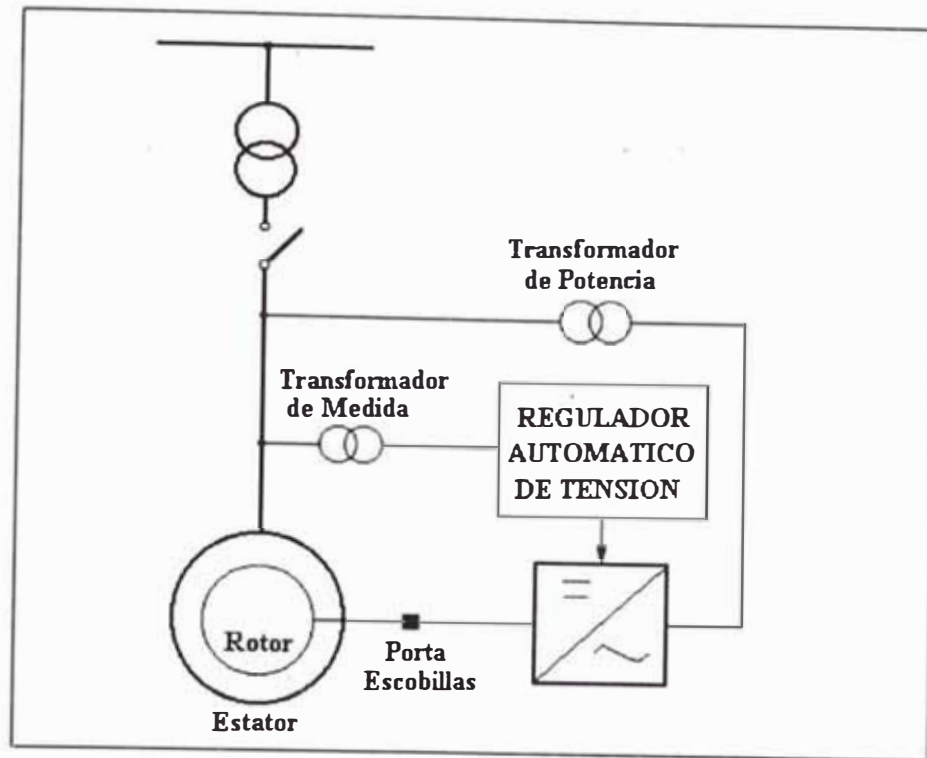


figura 1.12

ESQUEMA TIPICO DE UN SISTEMA DE EXCITACION DE ESTADO SOLIDO

1.11 Regulador de tensión

Es el encargado de controlar la corriente de excitación que recibe el devanado de campo del generador para que, la tensión en bornes de la máquina sea constante. Cuando entra en sincronismo con el sistema, el regulador de tensión controla la potencia reactiva que entrega el generador en base a una tensión constante prefijada.

1.11.1 Regulador de tensión tipo AB4/1

Formado por un sistema motor, de regulación y por un sistema de amortiguación, como órgano de regulación tiene a los sectores de contactos cortocircuitando a

las resistencias de campo.

Este regulador es de acción directa, el sistema regulador es accionado directamente por el dispositivo de medida que representa al sistema motor.

El principio esta basado en la actuación sobre la corriente de excitación, es decir insertando o desinsertando resistencias pertenecientes al sistema de regulación, en serie con el circuito de campo de la excitatriz.

Su característica de regulación es su prontitud y falta de insensibilidad, debido a la inercia mínima del sistema motor y al sector con contactos rozantes pertenecientes al sistema de regulación. En la figura 1.13 se muestra el esquema de principio de este tipo de reguladores perteneciente a la Central Hidroeléctrica de Moyopampa de EDEGEL S.A.

1.11.2 Regulador de tensión tipo Kc

Usado en generadores de marcha lenta y gran corriente de excitación, o sea que la resistencia de campo no es accionada por el regulador de sectores rozantes, sino por medio de un servomotor capaz de desarrollar mayores fuerzas; el cual puede trabajar eléctrica o hidráulicamente.

Es un regulador a presión de aceite, a la variación de la tensión prefijada, actua una bobina y rompe el equilibrio del distribuidor de presión de aceite, dejando pasar esta presión de aceite al servomotor, entonces se intercalan las resistencias por medio de

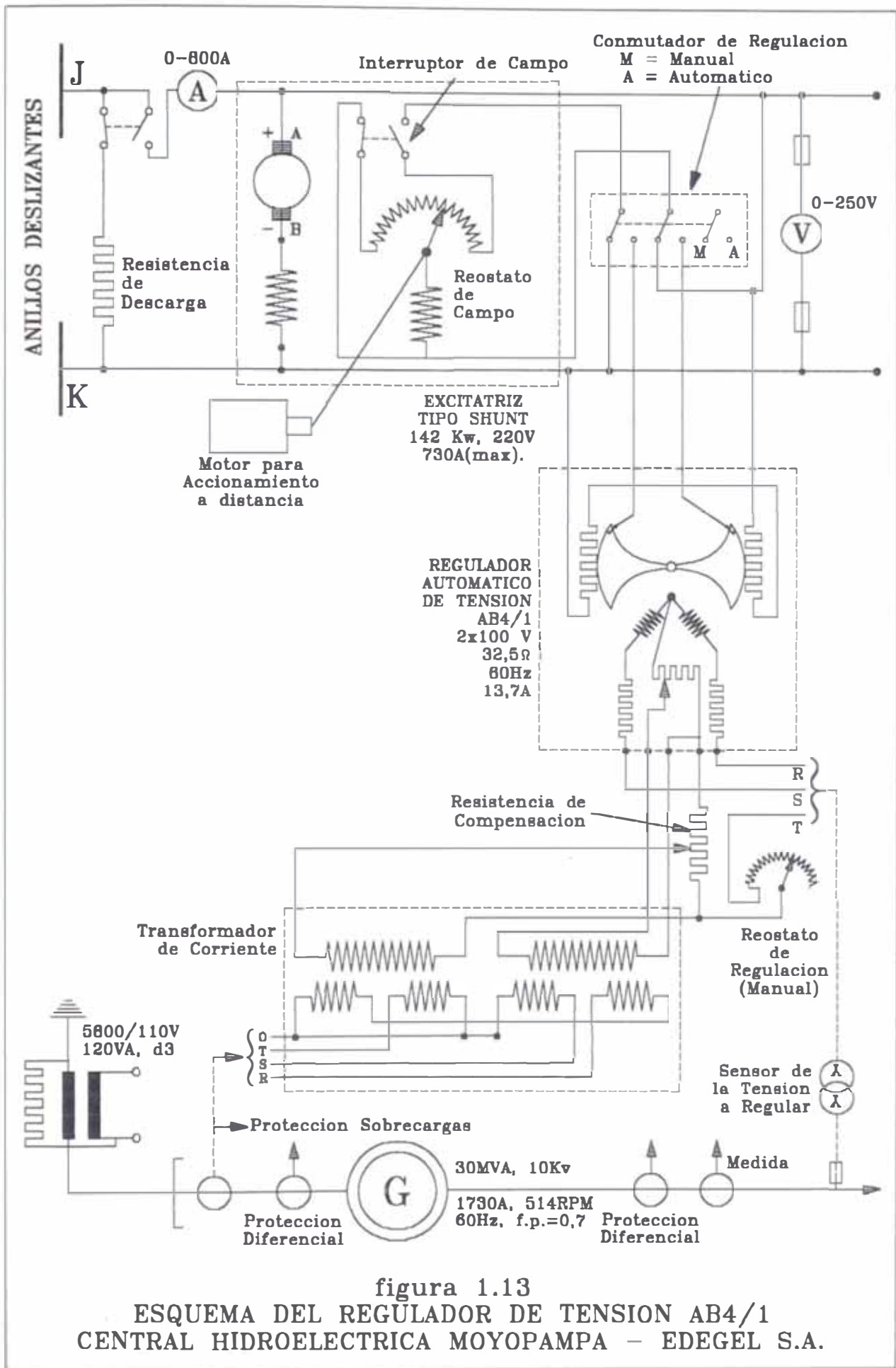


figura 1.13
 ESQUEMA DEL REGULADOR DE TENSION AB4/1
 CENTRAL HIDROELECTRICA MOYOPAMPA - EDEGEL S.A.

los contactos rozantes hasta alcanzar la tensión requerida.

Este dispositivo diseñado para la regulación automática, tiene su sistema de control o sea la parte sensible a la variación de tensión, el cual acciona mediante el servomotor a las partes móviles de los contactos del reóstato de campo.

Este regulador consta del sistema de control con amortiguamiento de aceite, mecanismo elástico antagónico, sistema de fuerza representado por el servomotor de aceite y el vibrador, y al sistema de regulación conformado por el mecanismo móvil de contactos y la resistencia de regulación.

En la figura 1.14 se aprecia el principio básico de funcionamiento.

1.11.3 Regulador de tensión electrónico

Este tipo de regulador incorpora grandes ventajas en la regulación de tensión y operación de un generador.

Entre estas ventajas tenemos:

Buena disponibilidad y eleva confiabilidad

Reducido tiempo de mantenimiento

Reducido costo de operación

Tiempo de vida elevado

Mínimo consumo de energía (menos de 3 VA)

Mejor contribución a la estabilidad de la máquina, debido a que el tiempo de respuesta ~~es rápido~~. Ver

figura 1.12.

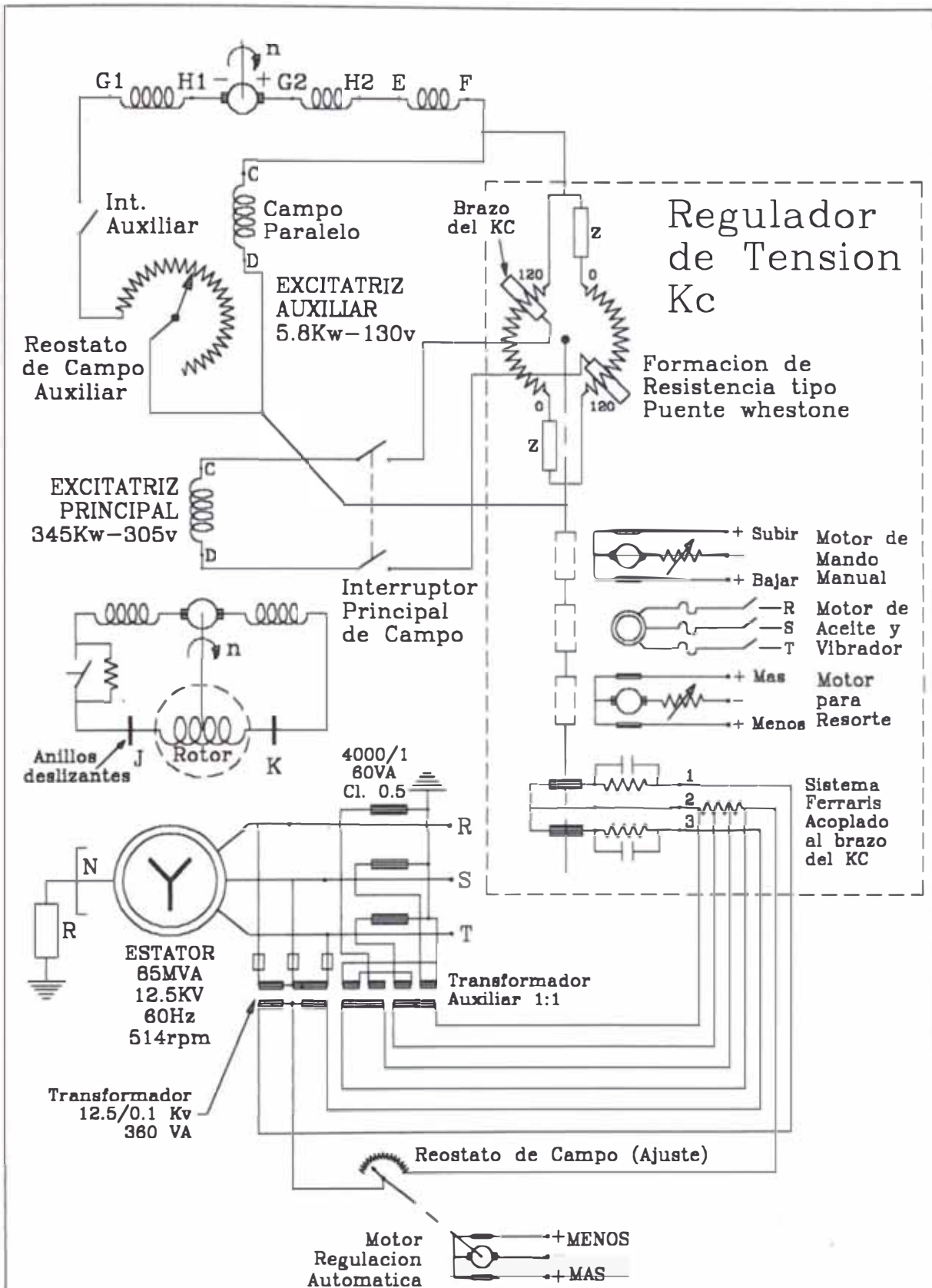


figura 1.14
 ESQUEMA DE PRINCIPIO DEL REGULADOR DE TENSION TIPO KC
 DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA HUINCO - EDEGEL S.A.

1.11.4 Regulador de tensión digital

Vienen a ser los Reguladores de Tensión que usan la tecnología de los microprocesadores rápidos, llamado también Reguladores de Tensión Numéricos.

Tiene ventajas adicionales respecto al Regulador Electrónico, como:

- Posibilidad de integración al despacho de carga, control remoto de la potencia reactiva y limitación de rango de operación.
- Incluyen la protección TIERRA ROTOR del campo, con concepción nueva de medida (Impedancia del rotor con respecto a tierra).

1.12 Sincronizador

Dispositivo encargado de la puesta en paralelo de un grupo, en base al cumplimiento de las siguientes condiciones:

- Iguales frecuencias
- Iguales tensiones
- Desfasaje entre tensiones igual a CERO
- La condición de igual secuencia de fase, no lo considera, pero en el montaje de las barras se verifica su cumplimiento.

1.12.1 Sincronización manual

Para realizar esta puesta en paralelo se requiere de un frecuencímetro doble para leer las frecuencias del grupo a sincronizar y de la red, un voltímetro doble para leer las tensiones del grupo a sincronizar y la del sistema, un sincronoscopio que verifica el

desfasaje de las señales, sí esta se presenta en adelanto o retraso.

El operador controla la frecuencia y la tensión y cerrará el interruptor cuando la velocidad de giro de la aguja del sincronoscopio sea cero o este en el punto de equilibrio (12 en punto). Si ocurre un "falso paralelo", se produce una falla tipo cortocircuito y los daños en el generador y los generadores del sistema dependerá de grado de desfasaje entre las señales, debido a que aparece una corriente circulante entre el generador a sincronizar y los demás generadores del sistema.

En la practica para la sincronización, la referencia de los parámetros puede tomarse de una línea o de otro grupo, los que son medidos por el sincronoscopio al cerrar el seccionador de sistema del grupo o de la línea.

1.12.2 Sincronización automática

a. Sincronizador electromagnético

En este caso el operador interviene en la igualación de tensiones, el sincronizador se encarga de igualar la frecuencia en forma automática, verifica que las tensiones sean iguales y cierra el interruptor en forma automática. Con el tiempo el deslizamiento entre los motores que utiliza el sincronizador aumenta y pueden ocasionar pequeños falsos paralelos que disminuiría el tiempo de vida del generador a sincronizar.

b. Sincronizador electrónico

El sincronizador se encarga de igualar las tensiones

y frecuencias en forma automática, previamente el operador debe efectuar una regulación gruesa de dichos parámetros, presentan una buena confiabilidad pero son lentos comparados con los de tipo digital.

c. Sincronizador digital

Utilizan microprocesadores para el control y verificación de los parámetros eléctricos para una correcta puesta en paralelo, considerando principalmente:

- La aceleración, relacionado con el monitoreo de la frecuencia.
- El deslizamiento o la variación del ángulo entre las barras de un sistema que se va a sincronizar.
- Controla la diferencia de voltaje, relacionado con el monitoreo del regulador de tensión.

Estos sincronizadores presentan una configuración de dos canales, con posibilidad de efectuar un control remoto y puede informar del estado de trabajo de la red en el momento de la sincronización.

1.13 Transformadores de potencia

Es una máquina eléctrica estática que convierte un sistema de corriente alterna en uno o más sistemas de corriente alterna de la misma frecuencia y de tensiones e intensidades diferentes, se utiliza para elevar la tensión y bajar los niveles de corriente a transmitir a los centros de consumo, debido a que las centrales hidroeléctricas normalmente se encuentran alejadas de ellos.

En los bornes de salida del alternador, se conecta el transformador de potencia para alimentar a un sistema de barras y luego a las líneas de transmisión.

El sistema de refrigeración del aceite de estos transformadores es mediante un intercambiador de calor agua-aceite o aire-aceite. Cuando trabaja el transformador es necesario conectar el motor-bomba del aceite para la circulación de éste y abrir la válvula de ingreso de agua hacia el intercambiador de calor, el proceso señalado puede efectuarse en forma automática.

En la figura 1.15 se presenta el esquema unifilar de la Central Hidroeléctrica de HUINCO de EDEGEL S.A., con sus características principales.

1.14 Elementos de maniobra

Vienen a ser los elementos encargados de conectar o desconectar los circuitos dependiendo de la necesidad de potencia de la red.

1.14.1 Seccionador

Trabaja unicamente en vacío, su sistema de mando puede ser a motor o por aire, en caso de emergencia se puede maniobrar en forma manual.

1.14.2 Interruptor principal

Es un elemento que trabaja bajo carga o en condiciones de falla, la extinción del arco de corriente se puede efectuar por medio de Aire comprimido, de aceite o Gas inerte hexafluoruro de azufre (SF₆).

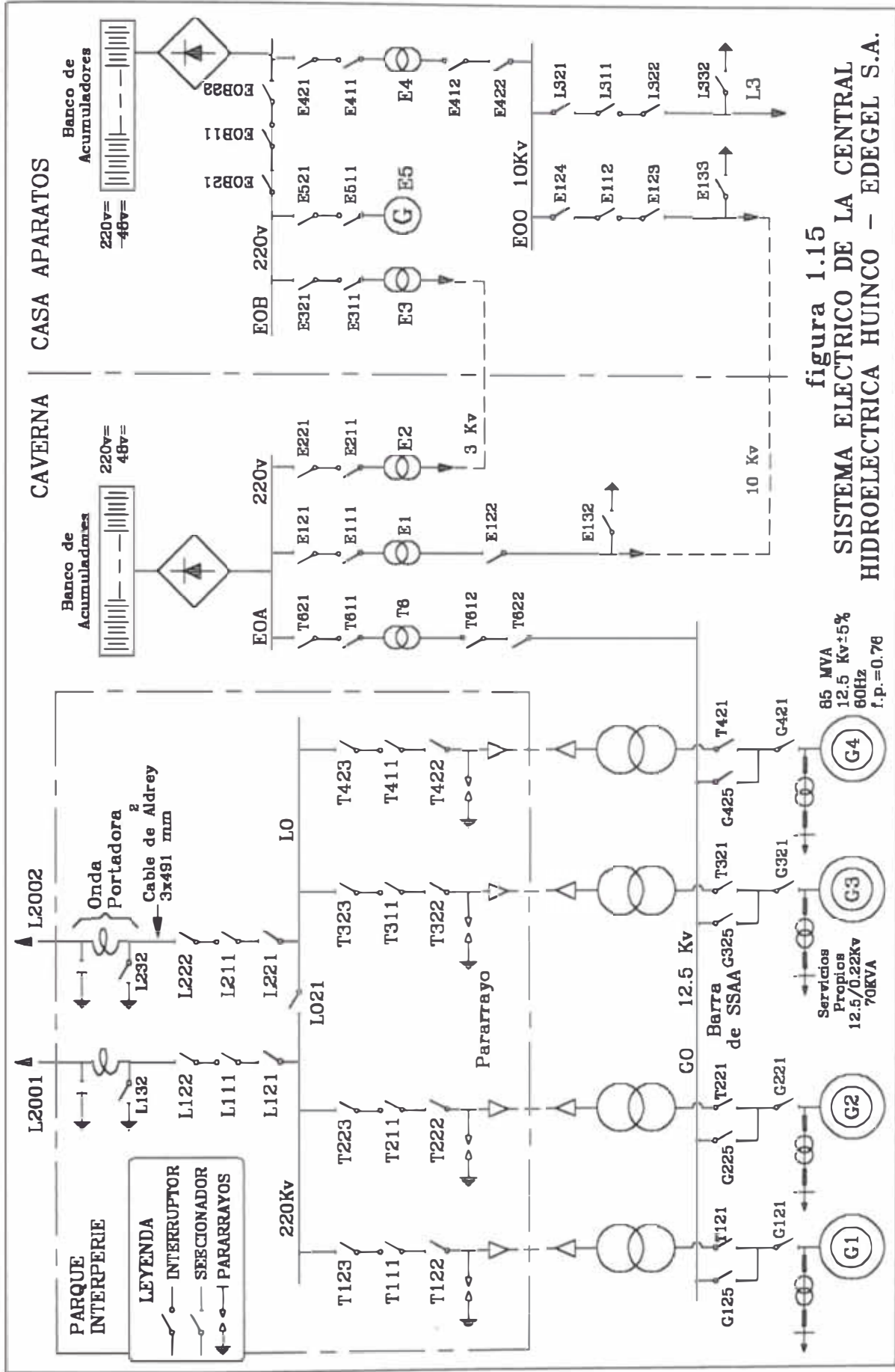


figura 1.15
**SISTEMA ELECTRICO DE LA CENTRAL
 HIDROELECTRICA HUINCO - EDEGEL S.A.**

El sistema de mando puede ser mediante aire comprimido o un sistema oleodinámico que son accionados a distancia o localmente.

1.14.3 Interruptor de campo

Este elemento conecta o desconecta el circuito de excitación del grupo, para excitar a la unidad hasta su tensión nominal.

Este elemento para el proceso de sincronización se opera después de haber actuado sobre el seccionador del sistema.

Por lo general este interruptor es accionado mediante aire comprimido, el cual mueve a un servomotor desplazando el contacto en posición de cierre o de apertura.

CAPITULO II SENSORES Y DISPOSITIVOS PARA LA OPERACION DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA

Los transductores para controlar las diferentes variables para la operación de una Central, se encuentran ubicados en cada uno de los componentes descritos en el Capítulo I. De acuerdo al avance de la tecnología, los transductores electromagnéticos o electromecánicos han sido reemplazados por elementos de estado sólido normalizados a salidas de señales estandares a nivel internacional, en cuanto a la transmisión de datos de cables telefónicos ú onda portadora han sido desplazados por señales de micro-onda, fibra óptica y frecuencia de radio de mejor calidad para la comunicación de datos.

2.1 Generalidades

Las Centrales tomadas como base para el estudio del presente trabajo, presentan sensores electromagnéticos ó electromecánicos, el cual responde a la tecnología que se tenía en la puesta en servicio de dichas Centrales. Los enclavamientos para la acción y respuesta de cada sensor es a través de contactores, que del mismo modo se debe a la tecnología existente en el momento del montaje de la central hidroeléctrica

Los principales dispositivos para la operación y control de una Central Eléctrica comprenden lo siguiente:

El Regulador de Velocidad

El Regulador de Tensión

El Sincronizador

Las Centrales Eléctricas de nuestro país, especialmente de la Empresa EDEGEL S.A., sus componentes tienen la tecnología de la década del 60, así tenemos reguladores de velocidad tipo EM-58 de fabricación RIVA, reguladores de tensión y sincronizadores rápidos de fabricación Asea Brown Boveri (ABB), cuyos elementos se basan en la teoría del electromagnetismo. Los cuales a la fecha han respondido convenientemente, pero debido al avance de la electrónica en el control de procesos a base de microprocesadores, los conceptos de operación de una Central han cambiado rotundamente. Presentando las siguientes ventajas:

Menor indisponibilidad de máquina

Menor costo de mantenimiento

Menor costo de operación y más confiable

- Mayores datos de análisis y mejor control de los componentes de una Central.

La modernización de una Central Eléctrica, representa un reto para los profesionales de nuestro país y las Empresas se orientan hacia ese camino, por lo tanto es importante su planificación.

2.2 Sensores

Vienen a ser los elementos que permiten transformar variables físicas, mecánicas ó eléctricas a señales de

corriente y/o tensión normalizados. En el presente trabajo consideraremos para la automatización propuesta un buen porcentaje de los sensores existentes y en algunos casos plantearemos la necesidad de su reemplazo.

2.2.1 Sensores de nivel de la cámara de carga

Es importante controlar el nivel de la cámara de carga para el despacho de carga de la Central, se mide el volumen útil de agua de la cámara a través de variaciones del nivel de columna de agua, se utiliza un equipo de telemedida con balanza rittmeyer, el que detecta el nivel de la columna de agua al variar las presiones que se registran por el cambio de dicha columna.

Además de medir el nivel del agua, el equipo de telemedida presenta contactos de niveles preajustados entre el nivel máximo y mínimo, definiendo normalmente lo siguiente:

Contacto de nivel máximo, reboze o nivel cero.

Contacto de alarma por nivel mínimo, permite inmediatamente disminuir la carga.

Contacto para disparo por nivel mínimo, desenganchando las máquinas de la Central.

2.2.2 Sensor de posición de la compuerta de admisión

La compuerta de admisión comunica el caudal de agua entre la cámara de carga y la tubería forzada. Estas compuertas se abren con aceite a presión manteniéndose en esta posición, el cierre se da cuando la presión de

aceite se va a la descarga por efecto de su propio peso.

Para sensar la posición presenta los siguientes contactos:

Contacto de compuerta abierta

Contacto que, en forma automática, arranca la bomba de aceite para dar la presión necesaria al sistema y levantar nuevamente la compuerta.

Contacto posición intermedia 1, indica que el automatismo no ha funcionado.

Contacto posición intermedia 2, significa que la compuerta sigue cerrándose, por lo tanto se produce el disparo de la Central.

Contacto para compuerta cerrada.

2.2.3 Sensor de posición del dispositivo de seguridad en la tubería forzada

Conocido como válvula mariposa, cuando esta abierta, se mantiene en esta posición por medio de una presión de aceite. Al producirse la orden de cierre se libera el mecanismo de transmisión el que hace girar el obturador de la válvula mariposa ocasionando que se cierre la válvula.

La válvula mariposa, presenta los siguientes contactos, para indicar la posición del Disco Obturador:

Contacto de válvula mariposa abierta.

Contacto para posición 3 grados, en forma automática arranca la bomba de aceite y abre totalmente la

válvula mariposa.

Contacto para válvula mariposa cerrándose.

Contacto para posición 5 grados, significa que no ha funcionado el automatismo y arranca el sistema de reserva, para intentar llevar a la válvula a su posición de totalmente abierta.

Contacto para posición 10 grados, indica que el cierre es inevitable, por lo que origina el bloqueo de la central, esto es las unidades generatrices salen del paralelo.

Contacto para válvula mariposa cerrada.

2.2.4 Sensor de sobrevelocidad de la tubería forzada

Es de tipo mecánico ubicado dentro de la tubería, colocado en sentido opuesto al flujo, trabaja por una sobrevelocidad debido a rotura de la tubería.

Al actuar el sensor de sobrevelocidad se cierra un contacto, ocasionando la salida del paralelo de las máquinas y el cierre respectivo de la compuerta de admisión y válvula mariposa.

2.2.5 Sensor de presión de la tubería forzada

En la turbina se instala un transductor de presión que registra las variaciones de la columna de agua existente en la tubería forzada.

Si en la tubería forzada comienza a descender la presión de la columna de agua hasta el límite de presencia del golpe de ariete negativo, es decir se origina una depresión, el sensor de presión envía una señal eléctrica ordenando el bloqueo de la turbina y

por consiguiente la salida del grupo.

2.2.6 Electroválvula de mando de la válvula principal

La electroválvula de mando se encarga de comandar el cierre ó la apertura de la válvula principal (Esféricas, Rectilíneas, tipo Compuerta, etc) de ingreso de caudal de agua a la turbina.

Cuando se ordena abrir a la Válvula Principal, cualquiera que sea el tipo, se sigue un secuencia lógica de maniobras y movimientos, que para el caso de una Válvula tipo esférica son las siguientes:

- 1ro. Accionamiento de apertura de la válvula by pass, la cual permite el paso de la columna de agua, de aguas arriba hacia aguas abajo de la Válvula Principal, nivelando presiones.
- 2da. Maniobra de despegue de su asiento de hermeticidad de la Válvula, mediante servomotores de desplazamiento.
- 3ro. Cumplidas las dos secuencias anteriores se acciona el servomotor del mecanismo de rotación abriendo así la válvula esférica.

El procedimiento inverso, es para el cierre de la válvula esférica.

2.3 Dispositivos de control

Son aquellos elementos que se encargan del manejo de carga de la Central, es decir, controlan la frecuencia y tensión en base a la variación de la potencia activa y reactiva respectivamente, además se encargan de arrancar, parar y sincronizar a los grupos con el

Sistema Eléctrico de Potencia de acuerdo a la necesidad de carga.

2.3.1 Regulador de velocidad

Es el encargado de llevar a la velocidad nominal a la turbina y controlar la potencia activa del generador, variando el caudal de agua que recibe la turbina, manteniendo constante la frecuencia de la red de acuerdo a ajustes previamente definidos.

El Regulador requiere de un sistema de fuerza para poder desplazar el introductor o distribuidor de una turbina, debido a la altura de agua que debe vencer, el cual viene a ser un SISTEMA OLEODINAMICO. Un par de electro-bombas generan la presión de aceite requerida por el sistema, accionando los servomotores necesarios para efectuar la regulación.

Debido a que las Centrales tomadas como base de estudio son de la Empresa EDEGEL S.A., consideraremos para el análisis de funcionamiento de los Reguladores de Velocidad tipo EM-58 de fabricación RIVA, entonces para energizar las etapas de señales electromagnéticas del regulador, se actúa sobre el Limitador de Apertura obteniendo el chorro de agua necesario para romper la inercia de reposo de la Turbina y lograr las condiciones adecuadas que permitan que el grupo adquiera su velocidad nominal.

Conforme aumenta la velocidad del Grupo Hidroeléctrico, el Alternador de Imanes Permanentes genera una tensión alterna proporcional a la velocidad

del eje, que es sensada por las etapas de señales del Regulador de Velocidad, originando que el regulador controle la variación de frecuencia, llevándola al valor prefijado, de 60 Hz.

Al presentarse una frecuencia diferente a la programada, las señales eléctricas que anteriormente estaban compensadas se desequilibran produciendo una señal resultante proporcional a la magnitud de la desviación, el transitorio de éste fenómeno es controlado por la etapa acelerométrica y termina su acción cuando la señal entra en el régimen permanente controlada por la etapa taquimétrica, produciendo la respuesta del regulador.

Entonces en las intervenciones del regulador de velocidad, se definen dos períodos, el primero corresponde al régimen transitorio empezando en el momento que se presenta la variación o cambio de frecuencia, y termina cuando llega a un valor casi constante denominado régimen permanente. En la fig.2.3 podemos ver el diagrama de bloques del funcionamiento del Regulador de Velocidad electromagnético tipo EM-58.

El VARIADOR DE VELOCIDAD se controla de acuerdo al estatismo ajustado en el Regulador de Velocidad, el cual esta definido asi:

$$S = \frac{V_o - V_n}{V_o} * 100\%$$

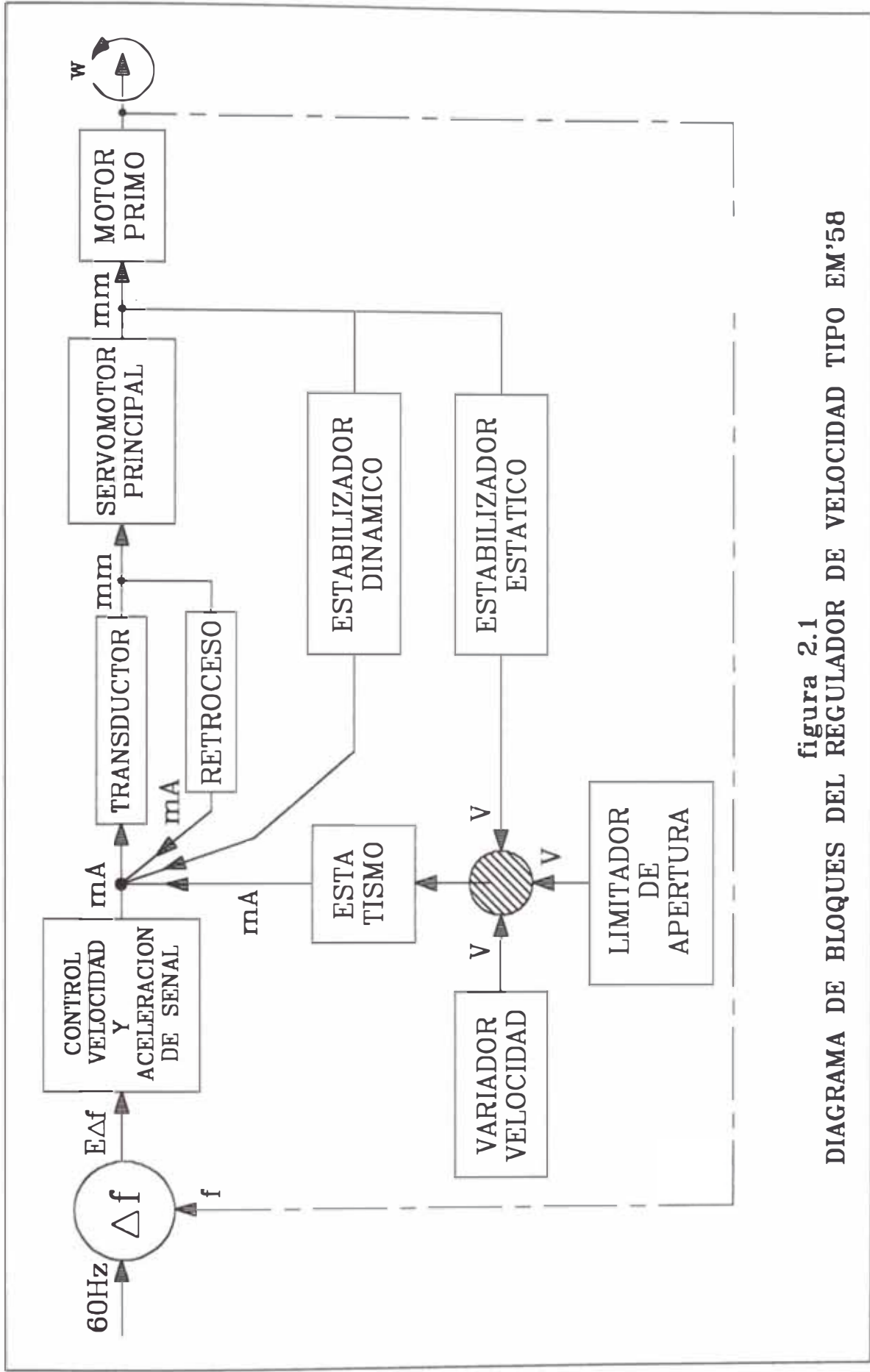


figura 2.1
 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL REGULADOR DE VELOCIDAD TIPO EM'58

Donde: V_0 Velocidad en vacio de la turbina.
 V_n Velocidad de la turbina a plena carga.

La función básica del estatismo, es permitir la repartición proporcional de la carga total de la red entre los Grupos que la sirven, esta se efectúa según la ley bien determinada, que define en todo momento la relación entre la velocidad ó frecuencia y la potencia activa de la máquina.

$$f = f_n - \frac{S \cdot f_0}{P_n} * P$$

Donde: S = Estatismo

f = Frecuencia para una determinada potencia

P_n = Potencia nominal

P = Cualquier potencia

f_0 - Frecuencia a una potencia igual a cero (en vacio).

Cuando una máquina esta fuera del paralelo, es decir sin carga o desconectado de la Red, mediante el variador de velocidad de acuerdo al estatismo, se varia la velocidad entre la frecuencias f_0 y f_n . Ello se observa en la fig.2.2 , donde se muestra las posiciones del Variador de Velocidad, entre 0 a 10, y la Velocidad de la frecuencia del Grupo.

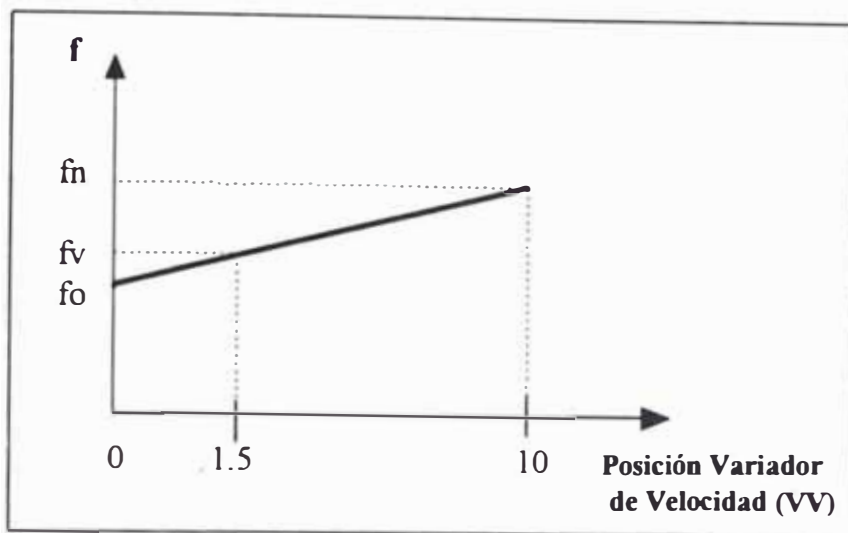


figura 2.2

RELACION ENTRE FRECUENCIA (VELOCIDAD) Y POSICION DEL VARIADOR DE VELOCIDAD (V.V.)

Donde:

fo = Frecuencia en vacio con el cambio de velocidad en posición cero, mínima velocidad.

fn = Frecuencia en vacio con el cambio de velocidad en posición 10, máxima velocidad.

fv = Frecuencia en vacio a 60 hz.

Luego de cualquier variación de velocidad el regulador debe retornar a la posición de equilibrio, es decir, la señal de desviación debe ser cero.

Si se tiene que "f" < 60 hz., existirá una señal de

respuesta en el sentido de aumentar el chorro de agua, para mantener esta velocidad de 60Hz. Ante una variación de velocidad, en el caso de un estatismo bajo, la variación de carga es grande y si es un estatismo alto la carga varía poco.

Sí subimos lentamente la posición del variador de velocidad, la velocidad del grupo también subirá, así se llega a un punto de equilibrio único, éste se encuentra en una posición intermedia entre el valor 1.0 y 2.0 del variador de velocidad y es la denominada marcha en vacío, condición necesaria para la puesta en paralelo. Se puede notar que la ubicación de éste punto es fijo e independiente para cualquier valor del estatismo, pero es condición indispensable que el ajuste en la etapa de control de frecuencia sea exactamente los 60 hz.

Al poner el grupo en paralelo con el sistema, el cual normalmente representa una potencia grande respecto al grupo, de modo tal que la variación de la carga del grupo no altera la frecuencia de la red. En este caso la variación de la carga desde la marcha en vacío hasta la plena carga, se efectúa maniobrando el conmutador variador de velocidad, como la frecuencia se mantiene constante la curva de estatismo se desplaza paralelamente. Debido a que la frecuencia es de 60 hz. significa que al ir incrementando la posición del variador de velocidad se presentará una señal en el sentido de apertura, como las agujas para el caso de

turbinas peltón se abrirán, de este modo se puede apreciar la correspondencia unívoca que hay entre la posición del variador de velocidad y la potencia que suministra el grupo.

Ante una variación de carga se produce una variación de frecuencia; esto es, que a una descarga brusca la frecuencia aumentará de valor, por ser el torque motor mayor que el torque resistente, en la etapa de control de la variación de la señal se originará una señal en el sentido de cierre moviéndose el servomotor de mando en igual sentido y aparecerán las señales antagonistas de la realimentación transitoria y permanente, conforme se va estabilizando la frecuencia de la red, todas estas señales tienden a desaparecer hasta llegar al nuevo punto de equilibrio. Debido a la variación de carga del estado anterior al actual, la correspondencia entre el cambio de velocidad y el estatismo se ha roto, para obtener nuevamente los 60 Hz es necesario actuar manualmente sobre el conmutador de variador de velocidad en el sentido de llevar la frecuencia al valor nominal logrando que la señal de desviación sea cero.

2.3.2 Regulador de tensión

Las condiciones planteadas para el caso del Regulador de Velocidad son similares al del Regulador de Tensión, con la diferencia de que éste último controla la POTENCIA REACTIVA en base a la mantención de la TENSION en bornes de la máquina constante,

variando ya no el caudal de agua sino la corriente de excitación continua.

Considerando el principio de funcionamiento del Regulador de Tensión tipo Kc marca BBC, después de cerrar el interruptor de campo del circuito de excitación, se predispone al Regulador en posición manual y se comienza a excitar al alternador mediante un reostato motorizado de mando manual hasta obtener una tensión cercana a la nominal (+10% de la tensión nominal) en bornes del alternador; a continuación es predispuesto a la posición automática, conectándose el sistema de fuerza y el control del Regulador de Tensión, controlándose la tensión en bornes de acuerdo a los ajustes predispuestos aumentando o disminuyendo la corriente de excitación.

Los reguladores de tensión controlan la tensión en bornes del generador, modificando automáticamente la corriente de excitación, mediante la variación del número de elementos de resistencias en el circuito de excitación. En marcha en vacío o a baja carga, el sistema amortiguador, mantiene en equilibrio al sistema de regulación, y en esta posición casi todos los elementos de resistencias están insertadas, siéndo en este momento la tensión de excitación muy reducida. Tan pronto aumente la potencia reactiva del alternador, la tensión en los bornes disminuye ligeramente por lo tanto el equilibrio o la posición que mantenía el sistema de la amortiguación desaparece, y el sistema de

la regulación cortocircuita un cierto número de elementos de resistencias y la tensión sube, esta acción continua, hasta que debido al aumento de la excitación la tensión del alternador se eleva nuevamente al valor deseado. La fig.2.3 muestra el diagrama de bloques de funcionamiento de los Reguladores de Tensión tipo Kc marca BBC.

Cuando el alternador funciona a plena carga el sistema de la regulación, cortocircuita a las resistencias y la tensión alcanza su valor más elevado. Ante variaciones bruscas el sistema amortiguador evita las oscilaciones durante la regulación.

2.3.3 Sincronizador

Tomando como referencia los Sincronizadores Rápidos tipo F marca BBC, los sincronizadores son aquellos dispositivos que permiten la puesta en paralelo de un grupo con la red en forma automática y rápida. Para ello utiliza la velocidad diferencial de motores síncronos que trabajan a las frecuencias del alternador y red, acoplados a un mismo eje y con sentidos opuestos, la velocidad diferencial llamado "deslizamiento" mueve a un sistema mecánico que permite controlar automáticamente al Regulador de velocidad del alternador, además controla la igualdad de frecuencias entre alternador y red.

Presentan relés que controlan la tensión, su desfase respecto de la red. Se puede adicionar un bloque de control de tensión, el cual manipula automá-

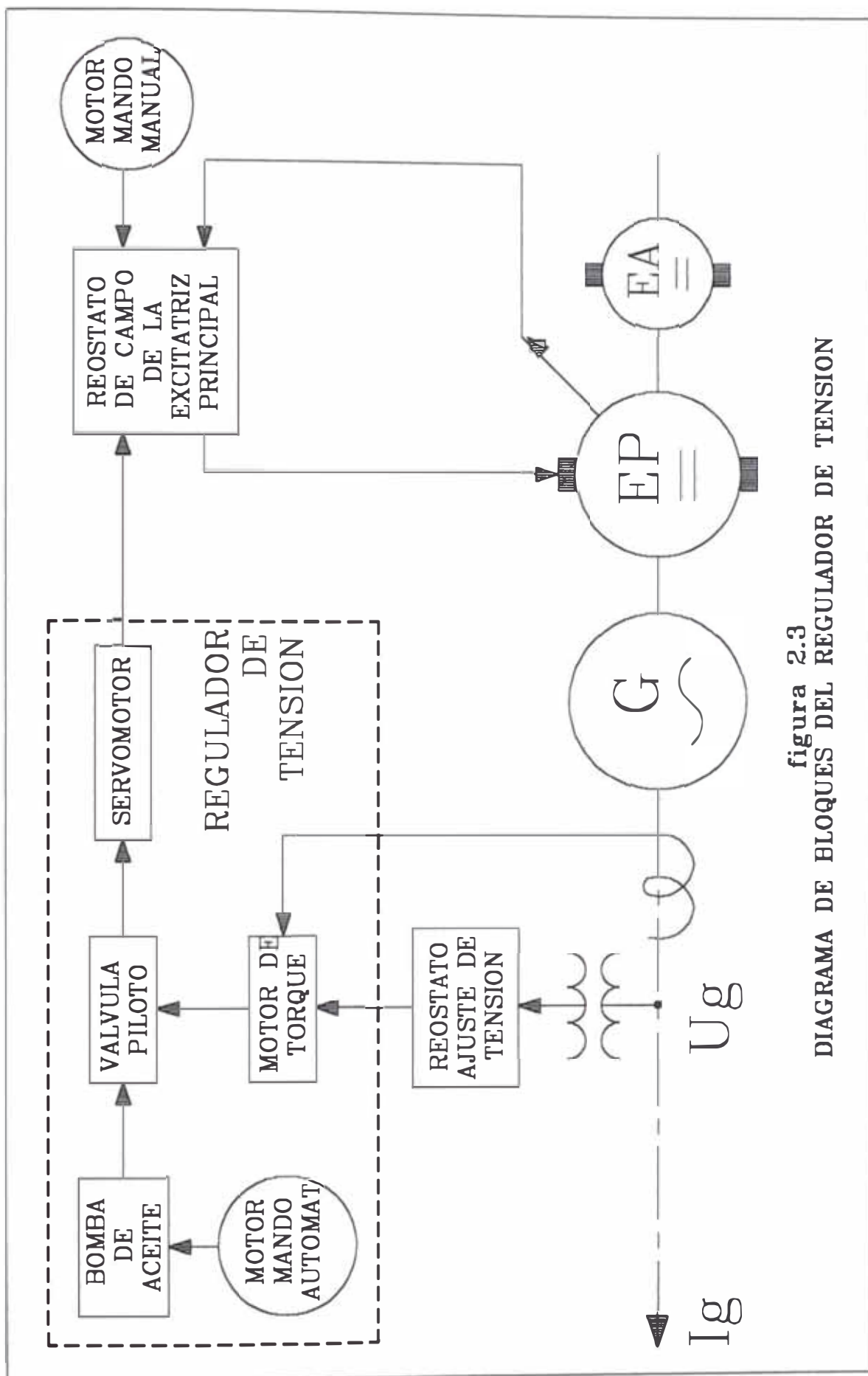


figura 2.3
 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL REGULADOR DE TENSION

ticamente el Regulador de tensión. De esta manera se controla el proceso de puesta en paralelo en forma confiable y segura. El rango de trabajo de éste sincronizador es de +1% de la frecuencia nominal (59.4, 60.6 Hz). La fig. 2.4 muestra un esquema general del Sincronizador Rápido tipo F.

En el equipo sincronizador marca Brown Boveri tipo F, el proceso automático de la sincronización se efectúa colocando la ficha de sincronización en la posición "ENGANCHE" de tal manera que se activa un contactor auxiliar de la sincronización, accionando un relay supervisor de las tensiones del elemento que se quiere sincronizar y una fase de la referencia.

Las tensiones a sincronizar alimentan al sistema motor del sincronoscopio, alimentando a los relay de paralelo y bloqueo. Luego se energiza un temporizado, dejando pasar los parámetros al diferencial mecánico, cuando éste se encuentra en una posición dentro del rango límite de la diferencia de frecuencia, error mínimo, cierra el interruptor principal.

El error mínimo de frecuencia se consigue accionando el diferencial mecánico, permitiéndolo controlar la velocidad de la unidad a sincronizar, al cerrar o abrir los contactos de control de la velocidad respectiva.

El avance para la coincidencia de fases es gobernado por la diferencia de tensiones de referencia y a sincronizar, siéndo éste ángulo exactamente proporcional a la diferencia de frecuencia.

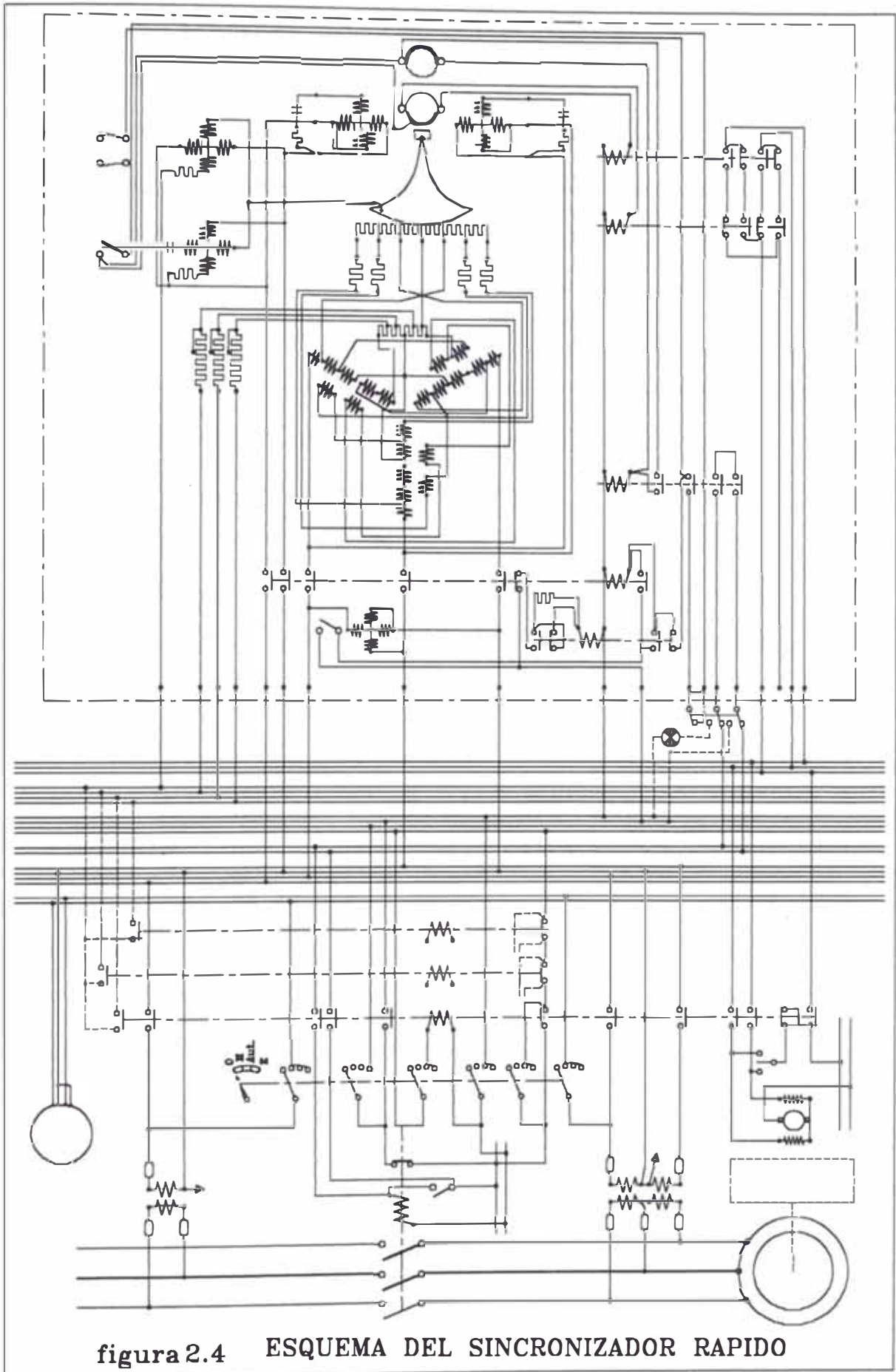


figura 2.4 ESQUEMA DEL SINCRONIZADOR RAPIDO

Para realizar la sincronización es necesario la presencia de los parámetros tensión y frecuencia del elemento a sincronizar y de la red para finalmente ordenar el cierre del interruptor principal del alternador, para esto se sigue el siguiente procedimiento:

Sincronizador posición "O"

En esta posición el sincronizador esta desconectado, sólo se puede gobernar manualmente el variador de velocidad desde la sala de mando o localmente en el regulador de velocidad.

Sincronizador posición "M" y posición "T"

La posición manual "M" y posición de referencia "T" permiten que en el sincronoscopio, tanto en el instrumento como en el aparato mismo se lean y se sensen las tensiones y frecuencias del sistema a sincronizar y de la red, ésta posición permite gobernar manualmente al variador de velocidad con el conmutador respectivo.

En esta posición la diferencia de tensión debe ser equilibrada, esto se consigue actuando a mano en el regulador de tensión del elemento a sincronizar; la diferencia de frecuencias también debe ser equilibrada, obteniéndose al actuar manualmente sobre el variador de velocidad en el sentido de aumentar o disminuir la velocidad del grupo.

Es conveniente en esta posición manual conseguir la posición de equilibrio de los parámetros, si se

requiere cerrar manualmente el interruptor del alternador, puede realizarse.

Sincronizador posición "A"

Esta posición realiza una serie de enclavamientos y bloqueos para iniciar el proceso de sincronización, es decir, dejar pasar las señales eléctricas de tensiones y frecuencias del elemento a sincronizar y del sistema interconectado.

Sincronizador en posición "ENGANCHE"

Permite poner en servicio la etapa del control de fase y la etapa de bloqueo de la sincronización, y así gobernar la velocidad del alternador por medio del sistema de regulación de la velocidad, aumentándola y disminuyéndola según sea el caso.

A ésta posición debe pasarse cuando la aguja del sincronoscopio se encuentra a las 6:00 en punto y cuando se cumple todas las condiciones de paralelismo en forma automática el sincronizador cerrará el interruptor principal.

CAPITULO III
ARRANQUE Y PARADA DE UN GRUPO DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA

3.1 Consideraciones

El proceso de arranque y parada de un grupo generador deben ser rigurosamente analizados, tomando como base el funcionamiento tradicional que es el sistema de control con órdenes manuales, con accionamientos de sistemas electromagnéticos.

El presente capítulo es el resultado de una amplia investigación y experiencia en Centrales Hidroeléctricas existentes en nuestro medio, cuyo resultado son los procedimientos de arranque y parada, que luego son reflejadas en unos diagramas de flujo. Se ha contemplado los mínimos detalles a fin de optimizar dichos procesos con lo cual se pretende obtener las siguientes ventajas :

- a. Sí se inicia el arranque, con válvula mariposa cerrada, se provocaría una depresión en la tubería forzada ocurriéndose el fenómeno de golpe de ariete, con una posible rotura del conducto forzado.
- b. Sí se arranca la turbina, sin aceite en el cojinete, se desgarraría el material antifricción "Babbit" y por consiguiente la unidad quedaría indisponible.
- c. Sí se determina realizar el sincronismo manual, por desbalance de frecuencias tanto de la red como

de la unidad, entonces la orden de cierre al interruptor principal no puede ser oportuna, ocasionando un falso paralelo y por consiguiente la indisponibilidad de la máquina.

- d. La apertura con carga de un seccionador, genera una descarga provocando un cortocircuito en éste y en los elementos cercanos, con deterioro de toda y celdas adyacentes.

Estos casos representan algunas de las fallas que se pueden presentar en la operación de los grupos generadores, las que deben ser evitadas, por lo que, mediante el presente planteamiento secuencial del proceso de arranque y parada, analizadas mediante diagramas de flujo y partir de éstos obtener el algoritmo conveniente para la secuencia de la operación propuesta, cuyas funciones deben ser realizadas por un software y ejecutado mediante un sistema de control automatizado, incrementar la fiabilidad, flexibilidad y eficiencia de la operación de una Central Eléctrica.

3.2 Proceso de arranque

3.2.1 Condiciones previas

- a. Verificar el Nivel de agua en la Cámara de Carga.
Tener el nivel normal de agua, de tal forma que permita operar la central sin ningún problema y obtener la potencia de programación.
- b. Verificar la Posición Abierta de la Compuerta de Admisión.

Esto permite que en la tubería de presión no se

presenten cargas dinámicas cuando el grupo arranca o toma la carga programada.

- c. Verificar la Posición Abierta del Dispositivo de Seguridad.

Permite también que no se presente el fenómeno del golpe de ariete en la tubería forzada.

- d. Verificar la Presión en la Tubería Forzada.
- e. Verificar que en la Turbina no exista ningún bloqueo.

Esto significa que no exista la actuación de ninguna protección (dispositivo de sobrevelocidad, bloqueo de las válvulas esféricas, etc.), los cuales no permiten el lanzamiento de la turbina.

- f. Verificar que en el Alternador no exista ningún bloqueo.

Esto es, no debe haber acción de ninguna protección (diferencial, sobrecorriente, tierra estator, etc.).

- g. Verificar Tensión Continua para la Señalización de Alarmas.

Permite durante el proceso de arranque y parada, contar con todas las señalizaciones de alarmas posibles que se pueden presentar.

- h. Verificar Tensión Continua para Mandos.

Permite operar todos los elementos que intervienen en el proceso.

- 1. Verificar Tensión Alterna para Fuerza.

Permite operar los sistemas de fuerza que

intervienen en el proceso.

3.2.2 Apertura de válvula principal

Permite disponer en la tobera la presión de la columna de agua existente.

3.2.3 En servicio planta de agua de refrigeración

- a. Verificar Agua de Refrigeración en el Alternador.

Permite tener la presión de agua en los refrigerantes, los cuales enfrían el aire caliente que pasa a través de ellos.

- b. Verificar Agua de Refrigeración en el Regulador de Velocidad.

Permite enfriar el aceite del sistema oleodinámico, utilizado como sistema de fuerza del regulador de velocidad.

3.2.4 Actuación del regulador de velocidad

- a. En Servicio Grupo de Bombeo del Regulador de Velocidad.

Permite que los elementos actuantes del sistema de fuerza del regulador entren en funcionamiento.

- b. En Servicio Regulador de Velocidad.

Permite accionar una electroválvula que deja pasar el aceite del sistema oleodinámico a todos los puntos del regulador de velocidad.

- c. Desbloqueo del Regulador de Velocidad.

Se acciona una electroválvula que deja pasar el aceite del sistema oleodinámico hacia el transductor, quién acciona la válvula de distribución que comanda a los inyectores de la

turbina.

- d. En Servicio Eléctricamente el Panel del Regulador de Velocidad.

Se tensiona el panel eléctrico del regulador de velocidad donde se encuentran los parámetros como el variador de frecuencia, limitador de apertura, estabilizador, etc.

3.2.5 Verificar aceite en el carter del cojinete

Permite al lanzar la turbina que el eje arrastre el aceite de lubricación y forme la película entre el cojinete y el eje.

- a. En Servicio Bomba de Lubricación Cojinete.

Esto permite que cuando se lance la turbina, ya exista la película de aceite de lubricación necesaria entre el eje y el cojinete.

3.2.6 Desbloqueo mecánico de la turbina

Permite que el introductor se desplace libremente.

3.2.7 Lanzamiento de la turbina

- a. Accionamiento del Limitador de Apertura del Regulador de Velocidad.

Permite desplazar la aguja del introductor hasta una posición determinada, lo cual hace que la turbina alcance la velocidad nominal.

- b. Verificar Agua de Refrigeración en Cojinete.

A un determinado porcentaje de la velocidad nominal, se abre una electroválvula que permite el paso del agua.

- c. Fuera de Servicio Bomba Lubricación Cojinete.

El eje esta girando, por lo tanto arrastra al aceite para la lubricación.

d. Verificación de la Velocidad Nominal.

Es necesaria la velocidad nominal, para luego desplazar al máximo la aguja sin ningún problema, de lo contrario la unidad se embala.

e. Accionamiento Máximo del Limitador de Apertura del Regulador de Velocidad.

Cuando se ha alcanzado la velocidad nominal de la turbina, se libera la carrera máxima de la aguja del inductor.

3.2.8 Refrigeración de aceite del transformador de potencia

a. En Servicio Bomba de Aceite del Transformador de Potencia.

Permite circular el aceite dieléctrico através de los refrigerantes.

b. En Servicio Agua de Refrigeración del Transformador de Potencia.

El agua de refrigeración circula por los refrigerantes de tal manera que se enfría el aceite dieléctrico.

3.2.9 Excitación de la máquina

a. Cerrar el Seccionador del Sistema.

Permite obtener los parámetros de frecuencia y tensión como referencia.

b. Verificar Posición Mínima de los Reóstatos de Ajuste.

- c. Cerrar el Interruptor de Campo.

Permite cerrar el circuito de excitación del alternador.

- d. Colocar el Regulador de Tensión en Posición "0".
Punto de inicio, para la excitación.

- e. Colocar el Regulador de Tensión en Posición "M".

Permite excitar manualmente el sistema de excitación.

- f. Excitar hasta Tensión Nominal.

Excitamos manualmente hasta obtener la tensión nominal en bornes del alternador, de acuerdo al ajuste del regulador de tensión.

- g. Colocar el Regulador de Tensión en Posición "A".

En esta posición entra en funcionamiento los elementos de fuerza del sistema motor del regulador de tensión.

- h. Verificación de la Tensión Nominal.

Es necesario verificar la tensión nominal para realizar la sincronización.

3.2.10 Proceso de sincronización

- a. Sincronizador en Posición "R".

Permite tener los parámetros de tensión y frecuencia de la red como referencia.

- b. Sincronizador Posición "0".

No se tiene ninguna lectura de la unidad a sincronizar.

- c. Sincronizador en Posición "M".

Permite leer los parámetros de la unidad a

sincronizar.

- d. Aumentar y/o Disminuír la Velocidad.

Se actúa sobre el variador de velocidad.

- e. Sincronizador en Posición "A".

La igualación de parámetros se realiza en forma automática.

- f. Sincronizador en Posición "C".

Predispone el cierre del interruptor principal.

- g. Cerrar el Interruptor Principal.

La unidad queda conectada a la red.

- h. Tomar la Carga Programada.

3.3 Proceso de parada

3.3.1 Actuación sobre los componentes eléctricos

- a. Descargar el Generador.

Actuar sobre el variador de carga del regulador de velocidad, para disminuir la potencia hasta 0 MW.

- b. Apertura del Interruptor Principal.

Permite aislar al generador de la red.

- c. Colocar el Regulador de Tensión en Posición "M".

Esta posición predispone la desexcitación alternador.

- d. Desexcitar el Generador.

Mediante el motor de comando manual, desexcitamos hasta la tensión proporcional al flujo remanente.

- e. Regulador de Tensión en Posición "0".

Punto de inicio, para excitar a la unidad en el

próximo arranque.

- f. Apertura del Interruptor de Campo.
Se abre el circuito de excitación.
- g. Apertura del Seccionador del Sistema.
Nos asegura aislar el grupo de la red.

3.3.2 Actuaciones sobre los componentes mecánicos

- a. Cierre del Limitador de Apertura del Regulador de Velocidad.

Se logra que la aguja del inyector se desplace hasta su carrera inicial de posición cerrada.

- b. Bloqueo del Regulador de Velocidad.

Cierra el paso del aceite del sistema oleodinámico hacia el transductor, el cual acciona la válvula de distribución que comanda a las agujas.

- c. Fuera de Servicio el Regulador de Velocidad.

Cierre del paso del aceite del sistema oleodinámico hacia todos los puntos del regulador de velocidad.

- d. Grupo de Bombeo del Regulador de Velocidad Fuera de Servicio.

Parada de los elementos del sistema de fuerza del regulador de velocidad.

- e. Cierre de la Válvula Principal.

Permite no tener presión de la columna de agua en la tobera.

- f. Bloqueo Mecánico de la Turbina.

Permite que la aguja no sea desplazada.

3.3.3 Verificar cierre sistema de agua de refrigeración de cojinetes

A determinado porcentaje de velocidad nominal se bloquea el paso del agua.

a. **En Servicio Bomba de Lubricación de Cojinetes.**

Permite que a baja velocidad, la bomba impulse el aceite para la película de aceite necesaria.

b. **Fuera de Servicio Planta de Agua de Refrigeración.**

Se bloquea el paso del agua hacia los refrigerantes del alternador y al serpentín del regulador de velocidad.

c. **Fuera de Servicio la Bomba de Lubricación de Cojinetes.**

Cuando la velocidad de la turbina es nula, esta bomba de lubricación sale fuera de servicio.

3.4 Ampliaciones futuras

Sobre las ampliaciones futuras, que se presenten en el proceso de arranque y de parada, tanto en el proceso secuencial actual de la unidad, como en la ampliación de la planta en una unidad más; el sistema controlado por un computador y sus periféricos serán capaces de adecuarse a la nueva estructura de la instalación.

3.5 Diagrama de bloques de la secuencia de maniobras del proceso de arranque y parada de una central

De acuerdo al análisis desarrollado anteriormente, los procedimientos de arranque y parada han sido trasladadas a diagramas de flujo, importante para la selección del hardware y del software, como también la

definición de las variables a considerar; de ésta manera en el cuadro N° 1 se pueden observar las variables que se presentan en el proceso de arranque considerando los equipamientos existentes, cuyo diagrama de flujo está en la figura 3.1.

	NUMERO DE SEÑALES		NUMERO DE MANDOS
	ANALOGICOS	DIGITALES	
	25	29	30
TOTAL	54		30

VARIABLES ANALOGICAS	
NIVEL	01
TENSION	07
PRESION	05
VELOCIDAD	01
RPM	04
CAUDAL	04
CORRIENTE	01
FRECUENCIA	02
TOTAL	25

Cuadro No. 3.1 Variables a controlar para proceso de Arranque considerando los equipamientos existentes.

Caso Arranque y Paralelo

(Diagrama de Flujo figura 3.1)

figura 3.1
DIAGRAMA DE FLUJO ACTUAL DE ARRANQUE Y PARADA

LEYENDA :

MN.	=	Mínimo Nivel	$\exists Q$	=	Existe Caudal
PcoA.	=	Posición Compuerta Admisión	$\exists Pr''$	=	Predispone Cierre del Interruptor Principal
PDCVM	=	Posición Dispositivo de Cierre (Válvula Mariposa)	MnCaCoj	=	Mínimo Nivel Aceite Carter de Cojinetes
VTf	=	Velocidad Tubería Forzada	PBMT	=	Posición Bloqueo Mecánico en Turbina
PrTf	=	Presión Tubería Forzada	RPM	=	Revoluciones por Minuto
BG	=	Bloqueo del Generador	$\exists Q_{coj}$	=	Existe Caudal en Cojinetes
BT	=	Bloqueo de la Turbina	P_{minPes}	=	Posición Mínima del Portaescobillas
V=S	=	Tensión DC para Señalización	MnCaRv	=	Mínimo Nivel Aceite Carter de Regulador de Velocidad
V=M	=	Tensión DC para Mandos	$\exists I_{ma}$	=	Existe Corriente Mínima
$V \sim$	=	Tensión AC para Fuerza	$\exists V_{rst}$	=	Existe Tensión del elemento que se va a sincronizar
$\exists P$	=	Existe Posición			
$\exists Pr$	=	Existe Presión			
$\exists Pq$	=	Control Velocidad			
		Existe Bloqueo Sincronización			

En el cuadro N° 2 se pueden observar las variables que se presentan en el proceso de parada considerando los equipamientos existentes, cuyo diagrama de flujo está en la figura 3.2.

	NUMERO DE SEÑALES		NUMERO DE MANDOS
	ANALOGICOS	DIGITALES	
		08	13
TOTAL	21		20

VARIABLES ANALOGICAS	
POTENCIA	01
CORRIENTE	01
PRESION	04
RPM	02
TOTAL	08

Cuadro No. 4.2 Variables a controlar para e proceso de Parada considerando los equipamientos existentes.

Caso : Parada

(Diagrama de Flujo figura 3.2)

CAPITULO IV

SELECCION DEL HARDWARE Y SOFTWARE DEL SISTEMA A UTILIZAR PARA LA AUTOMATIZACION DEL ARRANQUE Y PARADA DE UN GRUPO DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA

En el presente capítulo, se selecciona la configuración básica del Hardware y Software del Sistema a utilizar para el control del Proceso de Arranque y Parada de un Grupo de una Central Hidroeléctrica.

Cabe señalar que el control de los diversos parámetros analizados en detalle en el capítulo III; representan las variables que tomaremos en consideración para que sean controladas por una Unidad de Control Programable con un subsistema de soporte con capacidad de sensar, procesar y ejecutar los señales obtenidas de los sensores, asimismo generar las señales de mando para la óptima operación del proceso secuencial de Arranque y Parada de un grupo de una Central Hidroeléctrica.

Se contempla la cantidad de órdenes a ejecutar por la Unidad de Control Programable y la información complementaria representada por las Señales de Estado del Sistema; las cuales nos permitirán en todo momento indicar las condiciones óptimas para el inicio del proceso de arranque ó en casos que no existen éstas condiciones de arranque; el sistema debe emitir un mensaje denegando el proceso, incluyendo las señales para los casos de parada de emergencia.

No es idea de este trabajo diseñar el Hardware y Software

del proceso a automatizar, sino plantear los criterios técnicos para seleccionarlos de acuerdo a la experiencia adquirida en la operación y modernización de una Central Hidroeléctrica.

4.1 Modernización de centrales hidroeléctricas

En los países en vías de desarrollo, el proceso de automatización mediante el uso de la tecnología digital, puede resultar costoso, es necesario desarrollar una planificación a largo plazo de la modernización de las Centrales Hidroeléctricas de más de 30 años de vida que, permita avanzar en este proceso en varias etapas y lógicamente los costos sean financiados en dichas etapas.

Modernizar una Central Hidroeléctrica significa renovar sus componentes que, a la fecha son obsoletos, no se tiene repuestos, alto costo de mantenimiento y tienen baja confiabilidad. Este proceso de modernización trae consigo definitivamente la automatización de sus componentes y de toda la central. Cambiando la metodología de trabajo en el aspecto de mantenimiento y operación.

Las empresas generadoras de energía eléctrica, deben definir la tecnología a utilizar en la renovación de sus componentes y de acuerdo al diagrama de fig. 4.1, se puede concluir que la tecnología de los microprocesadores o digital es la que actualmente se encuentra en la etapa de apogeo y desarrollo; y que dentro de un tiempo cercano no definido se tendrá otra

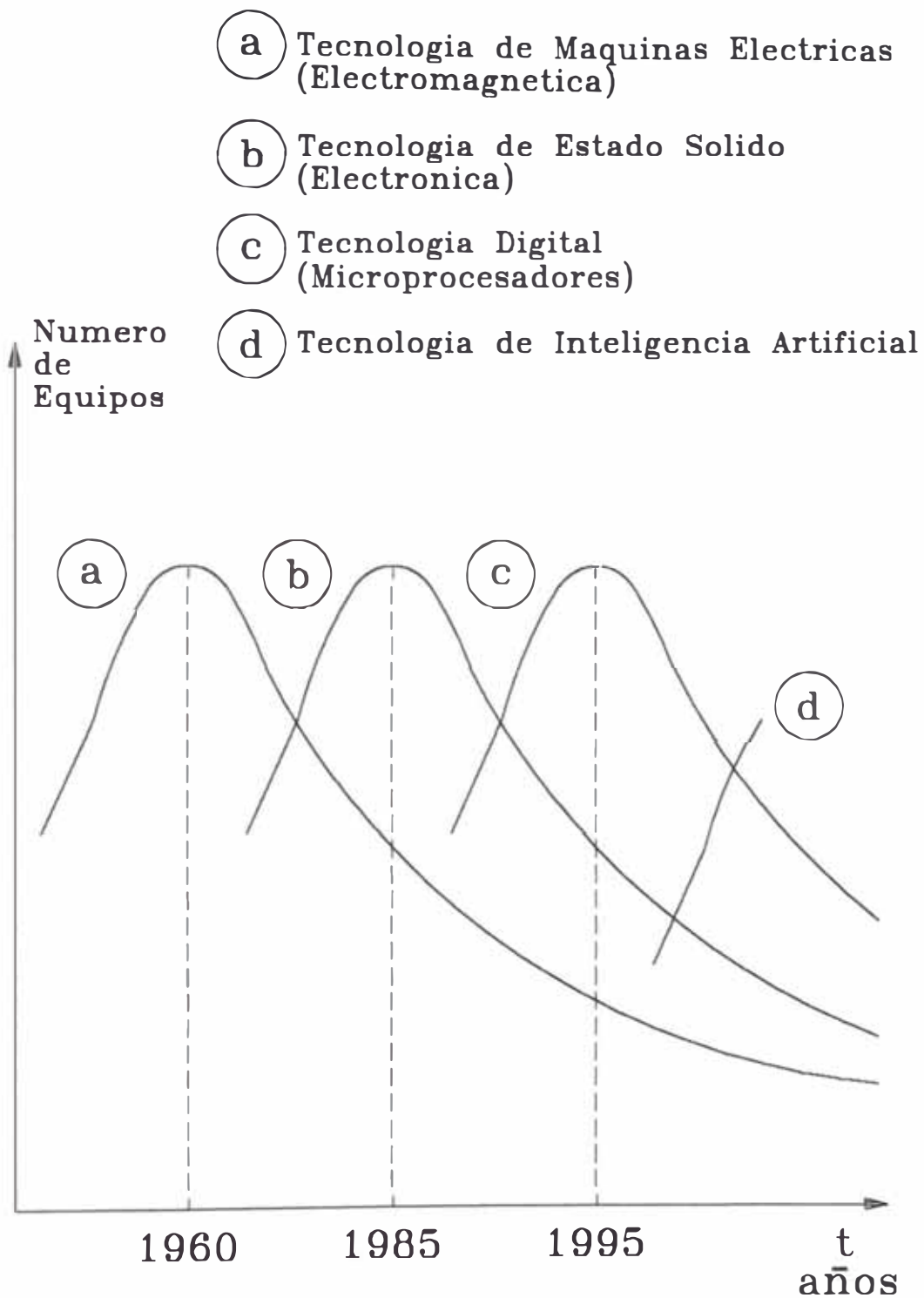


figura 4.1
 AVANCE DE LAS TECNOLOGIAS EN EL MERCADO MUNDIAL
 IMPORTANTE CONOCER PARA MODERNIZAR Y AUTOMATIZAR
 UNA CENTRAL HIDROELECTRICA U OTRA INSTALACION

tecnología superior. Por todo ello, es importante escoger la tecnología de punta y asegurarse con el fabricante de un período de vigencia que puede ser de diez (10) años, así en éste período se tendría asegurado los repuestos y asesoría técnica de calidad y bajo costo.

4.2 Automatización del proceso de arranque y parada considerando los equipamientos existentes

La gran mayoría de las Centrales Hidroeléctricas existentes en nuestro país utilizan en sus componentes la tecnología de las máquinas eléctricas en base a la teoría del electromagnetismo, la Empresa de Generación Eléctrica de Lima S. A. (EDEGEL) también escapa a ésta realidad, en los capítulos I, II y III se han tomado como base de trabajo a las Centrales Hidroeléctricas de dicha empresa, continuando con esta premisa, ahora analizaremos la automatización del arranque y parada de un grupo, mediante el uso de equipamiento de control de tecnología de punta, es decir, de tecnología digital o numérica, tomando en cuenta el equipamiento existente.

4.2.1 Procesos importantes a controlar

Consideraremos los siguientes dispositivos para los procesos fundamentales:

Regulador de velocidad tipo EM 58, marca RIVA

Regulador de tensión tipo Kc, marca BBC

Sincronizador rápido tipo F, marca BBC

Para controlar a los dispositivos mencionados

mediante una Unidad de Control Programable ó un microprocesador (Sistema de control), es necesario ubicar señales tipo ON/OFF y analógicas y en algunos casos será necesario adaptar alguna de ellas a una señal digital o analógica.

Se tienen los mismos tipos de señales para los diversos controles necesarios para la operación del grupo en estudio. Los detalles de la secuencia del proceso de las señales y ordenes para el Arranque y Parada de un grupo de una Central Hidroeléctrica, han sido analizadas en el Capitulo III.

Los Cuadros 4.1 y 4.2 muestran las señales sensadas en el proceso de Arranque y Parada de un grupo, así como las órdenes necesarias para tales operaciones.

Para lograr la automatización del proceso de arranque y parada utilizando lo existente, se necesita efectuar las siguientes variaciones:

Convertir las variables analógicas a valores normalizados internacionalmente, igual a 4 a 20 mA.

Motorizar el desbloqueo mecánico de la turbina.

Motorizar el Limitador de apertura.

	NUMERO DE SEÑALES		NUMERO DE MANDOS
	ANALOGICOS	DIGITALES	
	25	29	30
TOTAL	54		30

VARIABLES ANALOGICAS	
NIVEL	01
TENSION	07
PRESION	05
VELOCIDAD	01
RPM	04
CAUDAL	04
CORRIENTE	01
FRECUENCIA	02
TOTAL	25

Cuadro No. 4.1 Variables a controlar para proceso de Arranque considerando los equipamientos existentes.

Caso Arranque y Paralelo (Diagrama de Flujo figura 4.11)

	NUMERO DE SEÑALES		NUMERO DE MANDOS
	ANALOGICOS	DIGITALES	
	08	13	20
TOTAL	21		20

VARIABLES ANALOGICAS	
POTENCIA	01
CORRIENTE	01
PRESION	04
RPM	02
TOTAL	08

Cuadro No. 4.2 Variables a controlar para el proceso de Parada considerando los **equipamientos** existentes.

Caso: Parada (Diagrama de Flujo figura 4.12)

Motorizar con sus enclavamientos posición Manual y Automático del Regulador de Tensión.

Motorizar con sus respectivos enclavamientos el conmutador de mando del Sincronizador.

4.2.2 Configuración básica del sistema

En la fig. 4.2 se aprecia la configuración básica del sistema que permitiría la automatización del arranque y parada, se puede notar una Unidad de Control Programable con sus respectivas señales de entrada y salida tipos digital (OFF) y analógico y un computador con su respectiva impresora, cuya capacidad del Hardware depende del número de señales y el Software de un lenguaje estructural bajo una arquitectura abierta

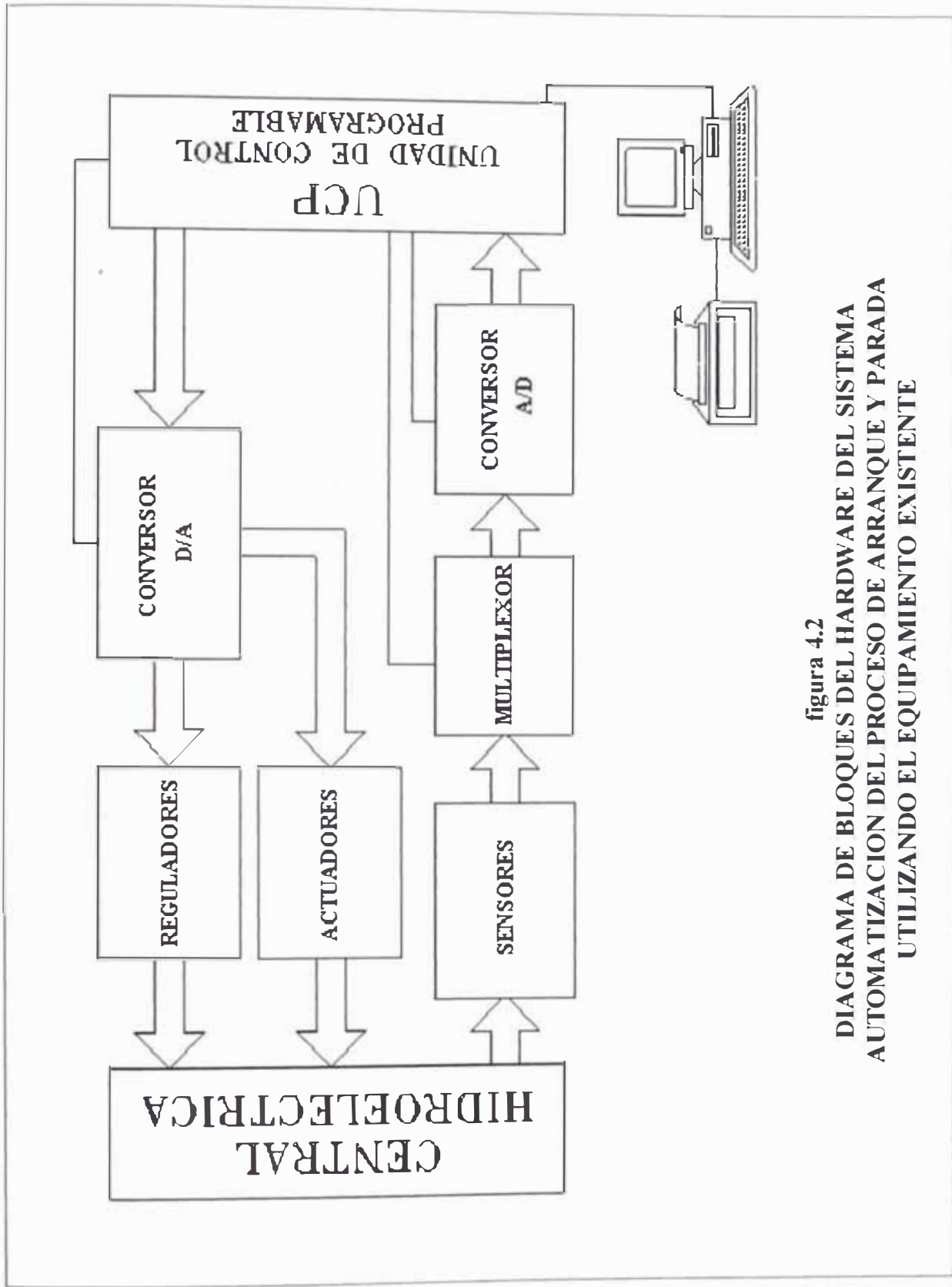


figura 4.2
**DIAGRAMA DE BLOQUES DEL HARDWARE DEL SISTEMA
AUTOMATIZACION DEL PROCESO DE ARRANQUE Y PARADA
UTILIZANDO EL EQUIPAMIENTO EXISTENTE**

que, permita su integración a un sistema de supervisión de toda Central.

4.2.3 Desventajas de la configuración propuesta

Automatizar mediante esta filosofía, permite utilizar:

Los mismos sensores

Los mismos Reguladores de Velocidad y Tensión.

El mismo Sincronizador Electromecánico.

Los mismos contactores electromecánicos para mandos, enclavamientos y alarmas.

La misma instrumentación para visualizar las variables de los Reguladores de Velocidad, Tensión y sincronización.

Ocasionaría en el sistema planteado lo siguiente:

Aparecen frecuentes fallas en equipos obsoletos, empleando muchas horas-hombre en mantenimiento y baja confiabilidad.

Tecnología que hoy no existe en el mercado, debido a su antigüedad, originando que ya no se fabriquen repuestos.

Los dispositivos principales para los procesos fundamentales que vienen a ser: Reguladores de Velocidad, Tensión y Sincronizador, con la tecnología del electromagnetismo no dan respuestas adecuadas y rápidas, siendo desplazadas por la tecnología de los microprocesadores.

La operación de un grupo bajo esta filosofía es de baja confiabilidad, generando costos adicionales. La

tecnología empleada ya cumplió con su ciclo y se esta operando en la zona de declive de la curva del ciclo de vida que representa un riesgo continuo y cada vez mayor a medida que pasa el tiempo.

Si se adoptara la configuración propuesta, solo se renovaría el "CEREBRO" y NO sus componentes principales, lo que originaría tener una "Central de mente joven y cuerpo anciano".

4.3 Automatización del proceso de arranque y parada modernizando los dispositivos de regulación y sincronización

Como ya se mencionó, la tecnología de punta es la tecnología digital o de los microprocesadores, es recomendable modernizar previamente los dispositivos principales de control de la Central, para automatizar no solo el proceso de arranque y parada sino supervizar toda la central.

En éste caso consideraremos la renovación de los Reguladores de Velocidad, el Regulador de Tensión; y el Sincronizador.

4.3.1 Modernización de los Dispositivos de Regulación y Sincronización

Es conveniente la renovación de los componentes mencionados, básicamente por sus piezas de recambio no disponibles y caras debido a que son fabricadas por unidad y por que su obsolescencia ocasionan baja confiabilidad y alto costo en su operación y mantenimiento. Por lo que será necesario hacer el

estudio del requerimiento, para que el fabricante de éstos dispositivos tenga en cuenta para el diseño y fabricación.

4.3.1.1 Regulador de Velocidad Digital de Fabricante X

Se debe tomar en cuenta como mínimo lo siguiente:

Compatibilidad del servomecanismo que sustituya las siguientes funciones:

- . Transductor
- . Válvula de distribución principal
- . Válvula auxiliar de seguridad para descarga rápida

Componentes:

Deben permitir llegar a la velocidad nominal de la turbina en forma instantánea, evitando fricciones en los cojinetes.

Cabezal digital

- . Con microprocesador, que asegure una regulación de calidad y numerosas posibilidades de adaptación (Automatismo, interconexión, medidas, registro, etc), excelente confiabilidad, facilidad de ajuste de los parámetros, control interno con pruebas de rutina que garanticen su funcionamiento.
- . No tenga limitación de opciones y una arquitectura abierta para su integración con un sistema de control mayor.
- . Con concentración de elementos en circuitos impresos, simplificando su instalación.
- . Visualice valores de referencia y parámetros en un solo display.

- . Con puerto serial para una Laptop.
- . Con software capaz para comunicación protocolar para enlazarse con micro scadas.
- . Los circuitos de control y regulación deben usar la tecnología de los circuitos integrados y microprocesadores.
- . Las funciones deben utilizar técnica digital.

Amplificador electrohidráulico

- . Controlado por el cabezal digital.
- . Comanda la dirección de los árboles de regulación, para el caso de una turbina peltón, el control de las agujas y deflector.
- . La bobina que recibe las órdenes del cabezal digital, no debe mezclarse con el aceite.
- . No necesite del motor vibrador para la sensibilidad de los inductores, el cabezal digital suministrará a la bobina señal continua y alterna.
- . El sistema oleodinámico este fuera del carter, originando menos suciedad y fácil limpieza del carter
- . No se realice ajuste de puesta a cero (equilibrio entre la fuerza eléctrica y mecánica), debido a que es calibrado desde fábrica.
- . Se sense fácilmente la posición de distribución principal.
- . La retroalimentación de la regulación de la velocidad, la tome directamente del vástago de

comando de los deflectores y no del árbol de regulación de las agujas.

Características:

Unidad central

Bus	Comunicación Protocolar
Microprocesador	mC 68000
Frecuencia Clock	8 MHZ
Capacidad de memoria	64 kBytes RAM 16 kBytes EEPROM 196 kBytes EPROM (32 MBytes ADRESABLE)
Conversor A/D and D/A	12 Bits
Entradas digitales	
Número	16 a 56 (extensión posible)
Comando tensión	24, 48, 110 y 220 V AC ó DC
Aislamiento galvánico	2 kV AC/3 kV DC
Entradas analógicas	
Número	16 a 48 (extensión posible)
Corriente entrada	0-5, 0-10, 0-20 y 4-20mA
Precisión	< 1%
Resolución	12 Bits
Salidas digitales (Relés)	
Número	16 a 64 (extensión posible)
Relé	220 V AC, 300 mA

Capacidad de contactos	en DC 70 W
Aislamiento Galvánico	2 AC/3 DC
Salidas analógicas	
Resolución	12 Bits
Máxima carga	0-5 mA, 2 Kohms
	0-10 mA, 1 Kohms
	0-20 mA, 0,5 Kohms
	4-20 mA, 0,5 Kohms
Salidas para Servo-válvulas	
Número	1 a 7 (Pelton 6 inyectores)
Salida voltaje	+ - 10
Salida corriente	+ - 350 mA
Precisión	< 1%
Resolución	12 Bits
Comunicación externa	
Comunicación protocolar	Standard o Master
Línea Protocolar	ASYNCH 110-9600 bd (RS232, RS 422, RS485)
COMANDO SET	Dado por fabricante
Galvanic Insulation	1 kV DC

Diagrama de bloque

- . En la fig.4.3 se muestra el diagrama de bloques de un regulador de velocidad digital, en vacío y con velocidad nominal.
- . Puede comenzar con órdenes locales (CYL+) o a distancia (CYD).
- . Suponemos la condición $CYL < CYD$, para arranque

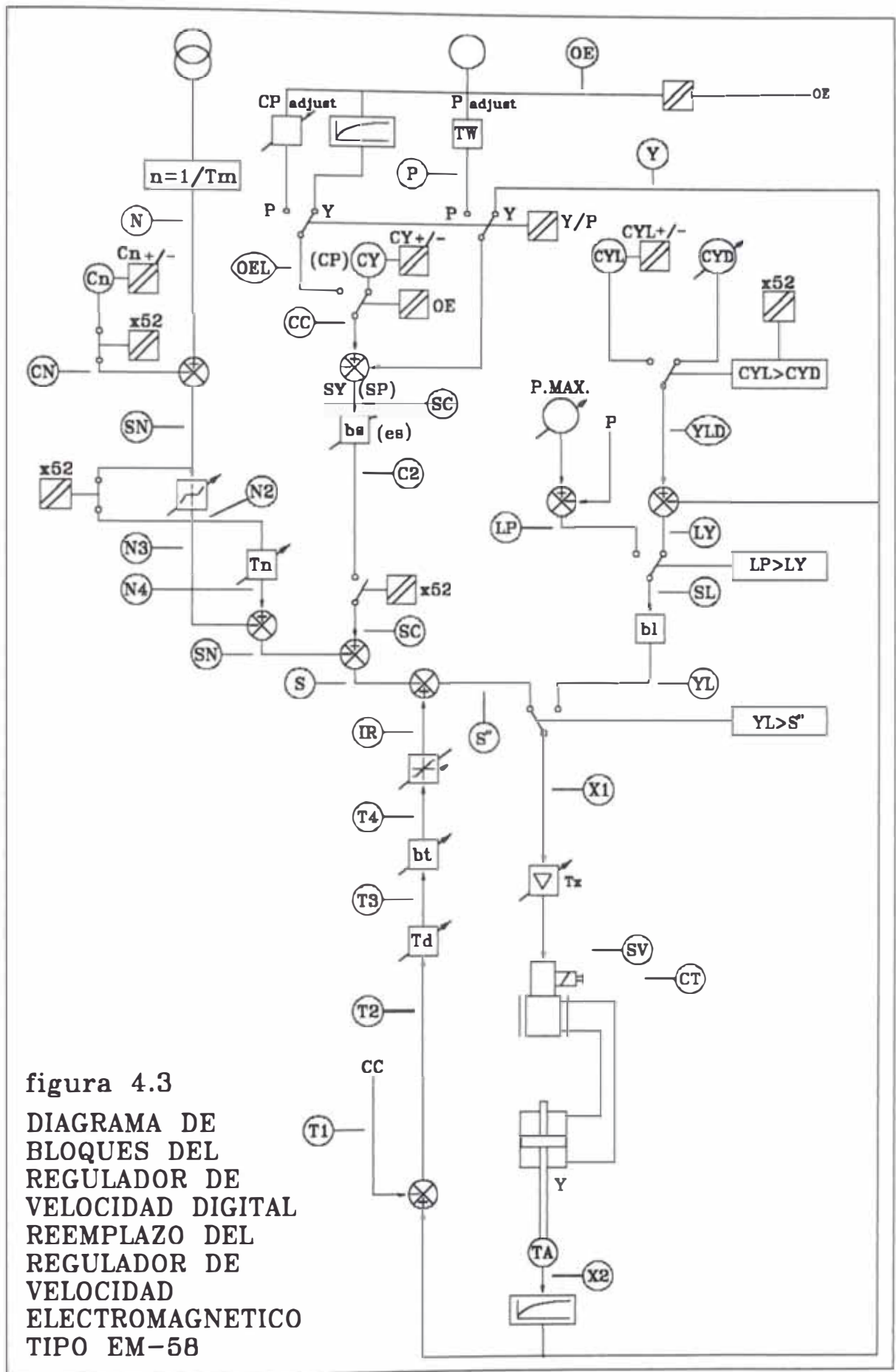


figura 4.3
 DIAGRAMA DE
 BLOQUES DEL
 REGULADOR DE
 VELOCIDAD DIGITAL
 REEMPLAZO DEL
 REGULADOR DE
 VELOCIDAD
 ELECTROMAGNETICO
 TIPO EM-58

- local, es decir $CYL = - 4\%$
- . Se da la orden de arranque, la señal encuentra camino libre, pasando por la condición $YL < S'$, llega a la bobina del amplificador electrohidráulico (Actuador Servoválvula), y actúa la válvula de distribución accionando el árbol de regulación abriéndose las agujas lentamente por retroalimentación zona de arranque
 - . La velocidad aumenta, aumentando la tensión remanente del alternador ($V > 300$ mV), tomada del reductor de tensión, de ésta señal se mide la frecuencia; la que es comparada por la de referencia $Cn = 60$ Hz.
 - . Esta diferencia de señal o variaciones de la onda son controladas por etapas taquimétricas y acelerométricas
 - . La condición $YL < S'$ cambia a $YL > S'$, por aumento de velocidad.
 - . Esta señal es amplificada por el elemento Tx y la bobina del actuador recibe estas señales conforme ordene el cabezal digital.
 - . El cabezal digital toma el control, sensando y retroalimentando la señal por los estatismos Td y bT , logrando la velocidad nominal de la turbina.
 - . Realizando la sincronización se cierra el contacto XS2, entonces se toma carga local o a distancia

con CY (CP), esta orden exterior es comparada por el retroalimentador (Y) y pasa por el estatismo bs y así hacia la bobina del actuador.

Conexiones principales

En figuras 4.4a y 4.4b se puede apreciar la fuente auxiliar que necesita el Regulador de Velocidad y la medida de la variable a regular.

En fig. 4.5 se indica la interconexión del regulador de velocidad con la servo - válvula de apertura y la conexión con una Laptop.

4.3.1.2 Regulador de tensión digital de fabricante Y

Al renovar éste dispositivo debe constatarse el estado satisfactorio del:

- . Sistema de excitación
- . Interruptor de campo
- . Resistencia de descarga de campo.

En importante la integración del Regulador con el elemento a controlar, en éste caso con la excitatriz para una mejor respuesta de regulación, desde un punto de vista económico, es conveniente la modernización parcial de la excitatriz, es decir, renovar la excitatriz auxiliar por uno estático o puente de tiritores. En la fig. 4.6 se muestra el esquema planteado.

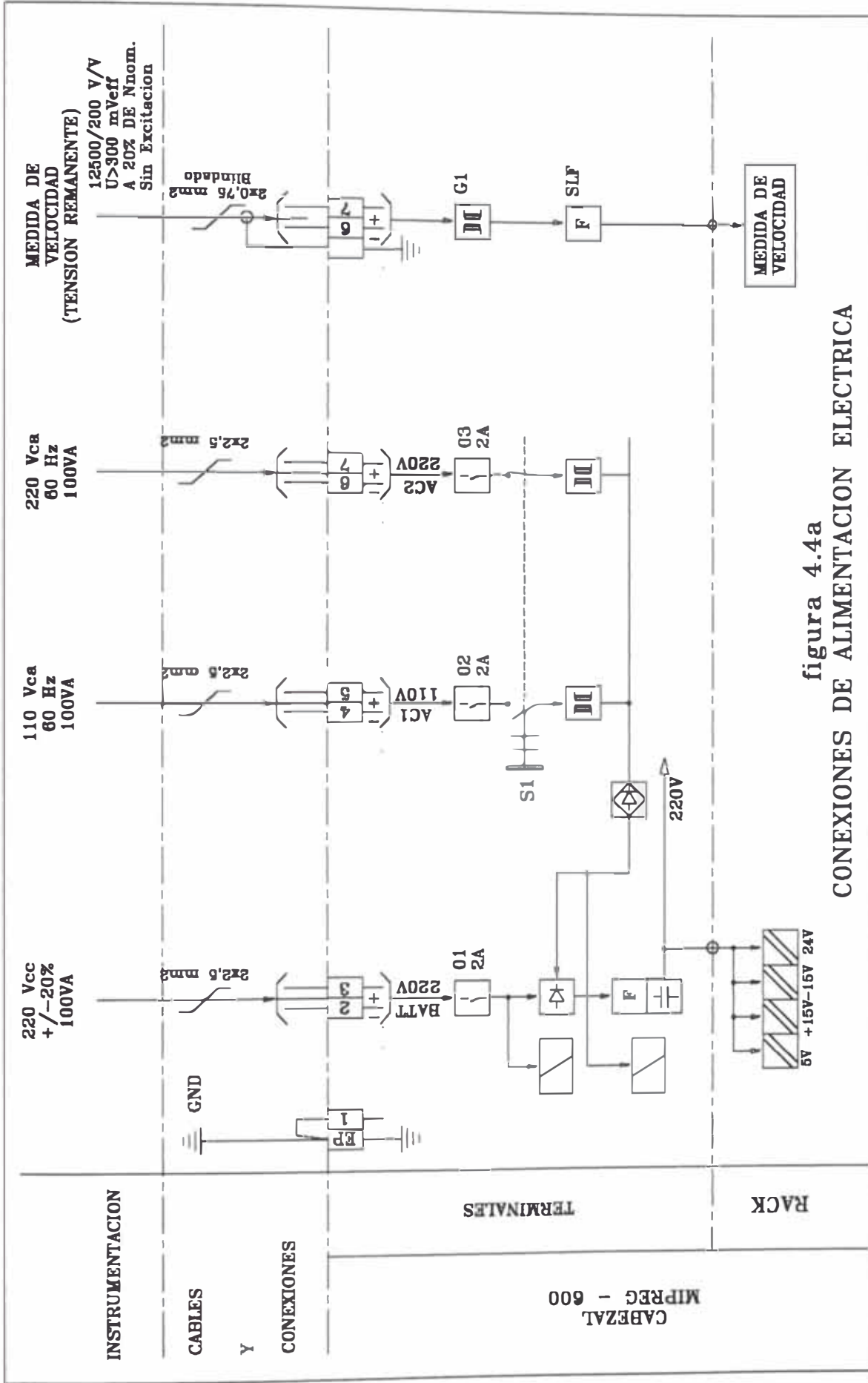


figura 4.4a
 CONEXIONES DE ALIMENTACION ELECTRICA

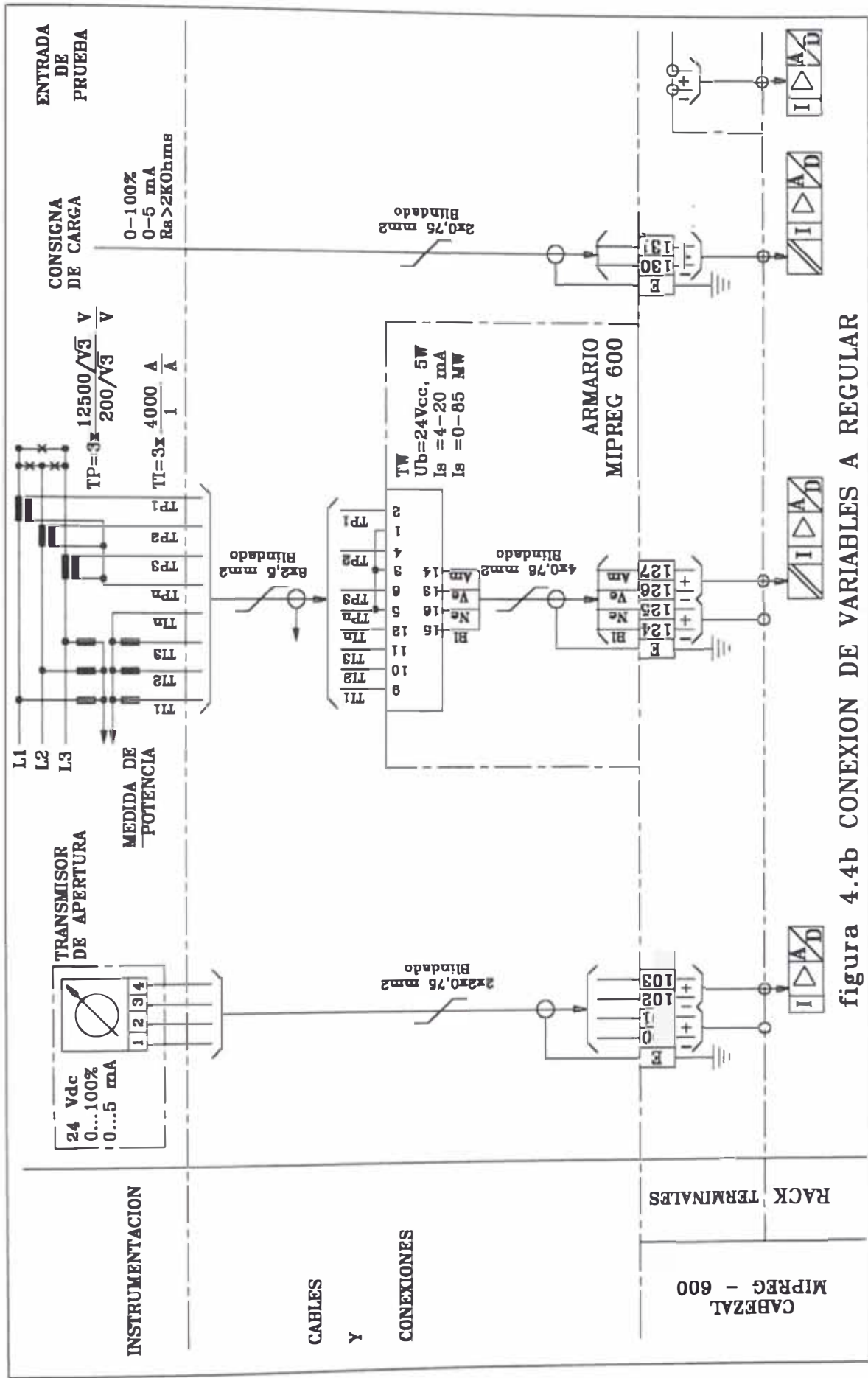


figura 4.4b CONEXION DE VARIABLES A REGULAR

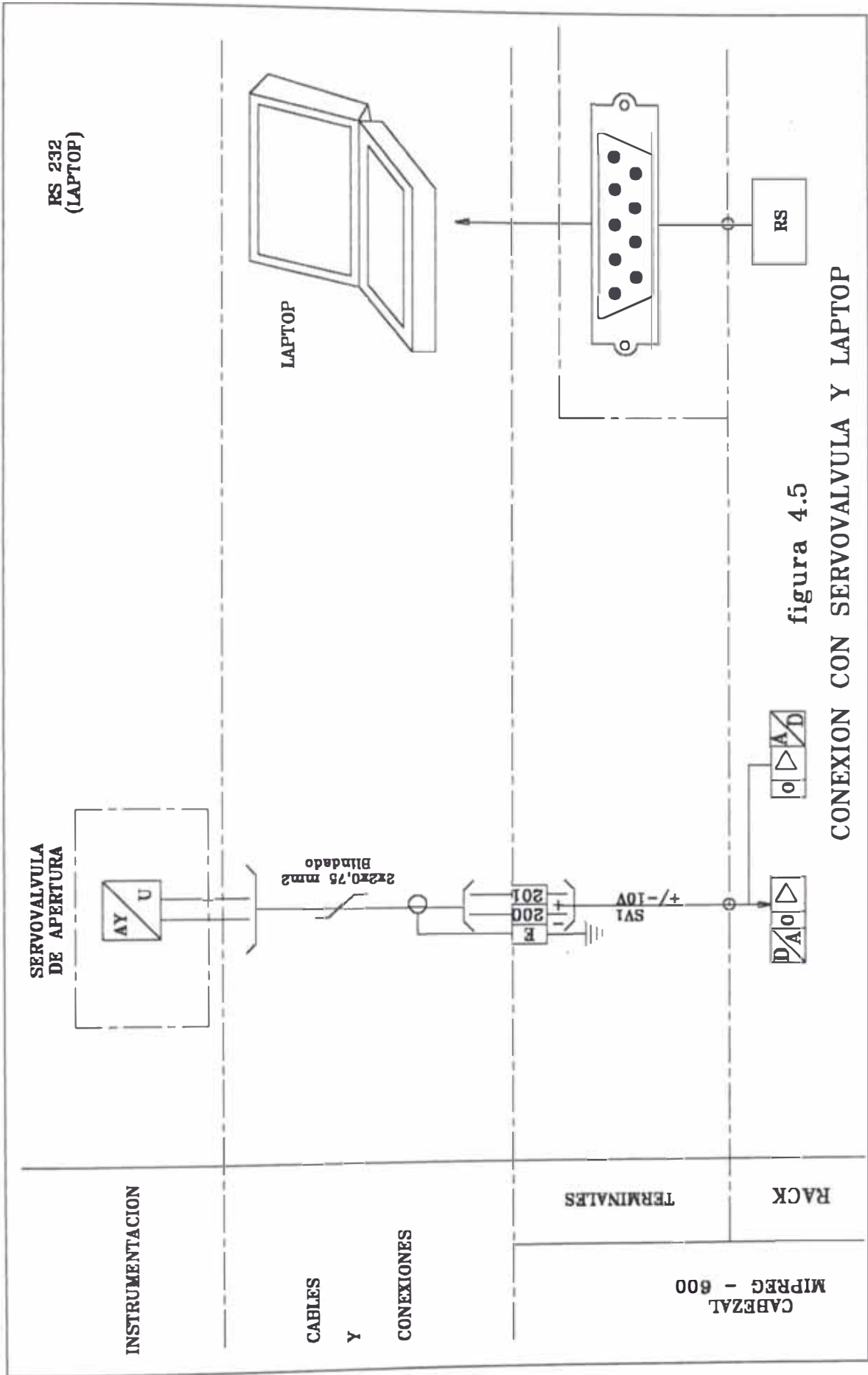
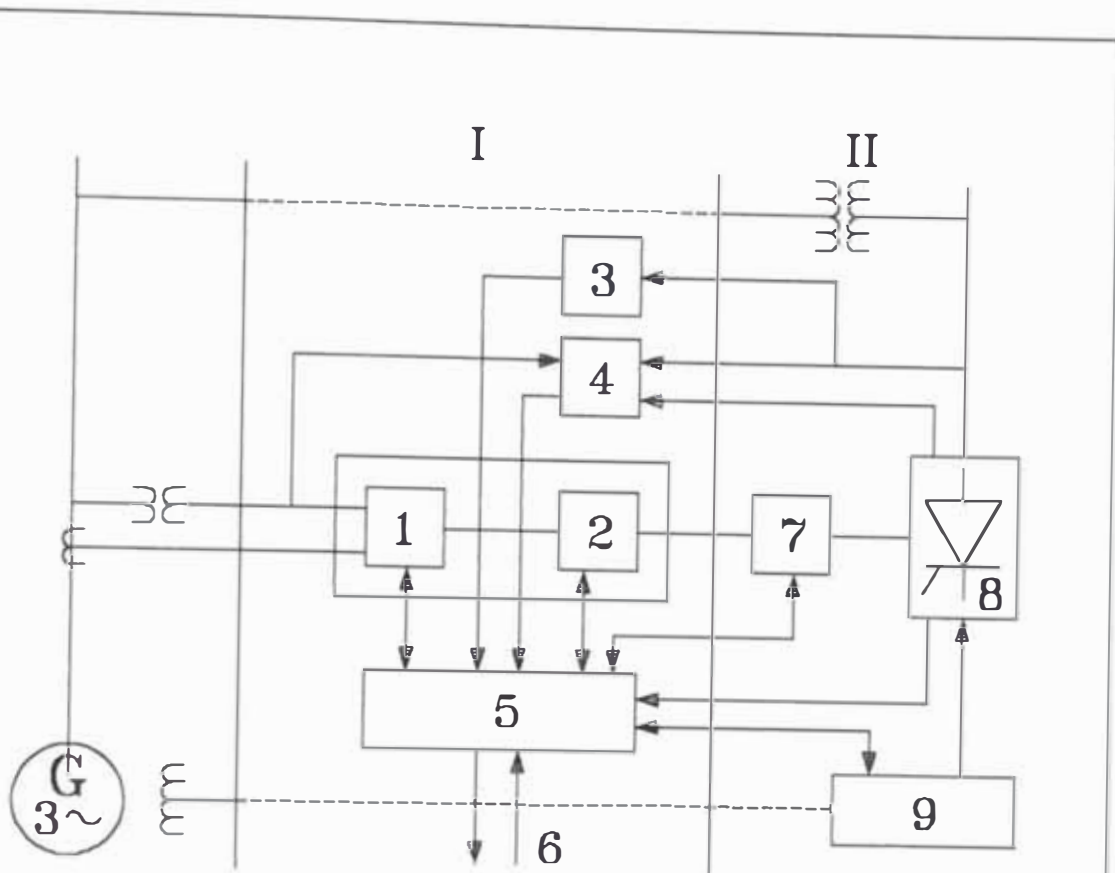


figura 4.5

CONEXION CON SERVOVALVULA Y LAPTOP



I Sistema de Control de Excitacion

II Parte de Potencia

- 1 Regulador
- 2 Creacion de Impulsos
- 3 Proteccion
- 4 Vigilancia
- 5 Mando de Excitacion
- 6 Interfaz con el Sistema de Control-Mando de la Central
- 7 Amplificador de Impulsos
- 8 Convertidor de Tiristores
- 9 Desexcitacion

LAS LINEAS DISCONTINUAS EN LA ENTRADA Y SALIDA SENALAN QUE EL EMPLEO DE MICROPROCESADORES NO ESTA LIGADO CON EL TIPO DE SISTEMA (CON O SIN EXCITATRIZ) NI CON SU ALIMENTACION.

figura 4.6
ESQUEMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE EXCITACION

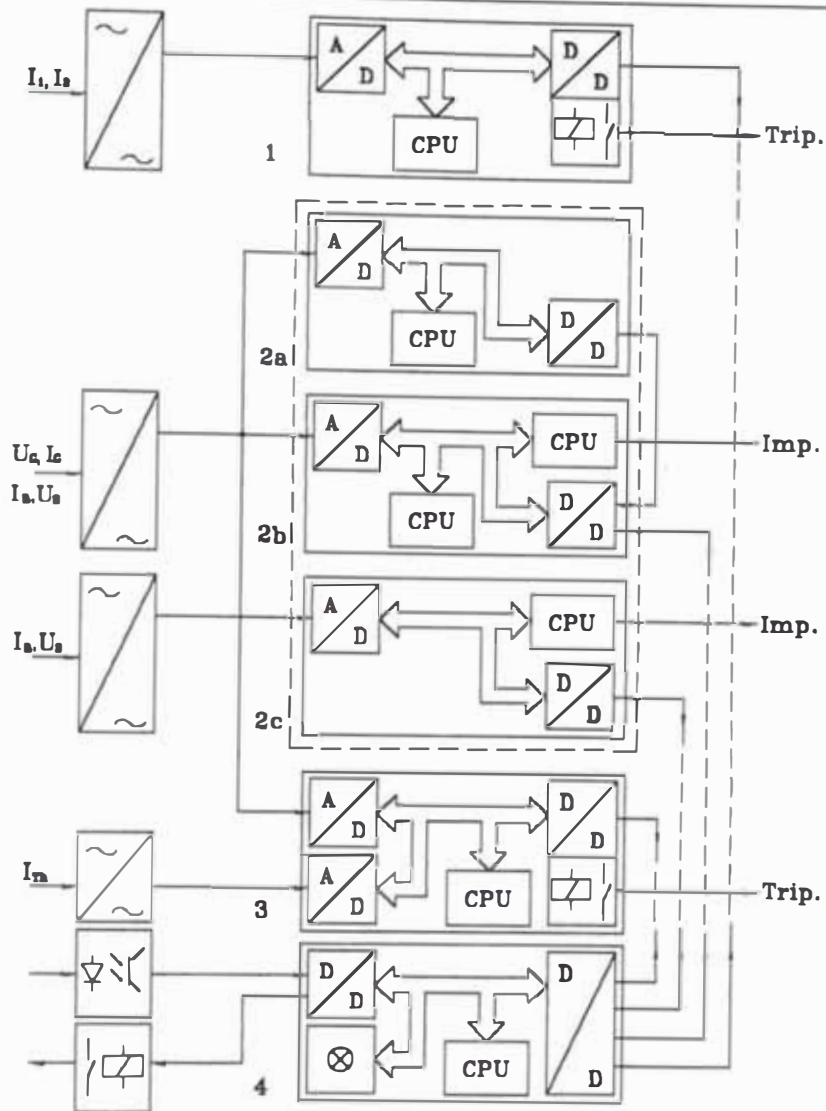
Dentro de un sistema de excitación, el regulador de tensión solo cumple una función, existiendo otras funciones como; creación de impulsos, vigilancia y protección de la excitatriz, así también el mando del sistema de excitación, mediante la tecnología de los microprocesadores rápidos todas estas funciones pueden ser efectuadas óptimamente.

Número de microprocesadores (CPU)

Por razones de confiabilidad es mejor utilizar varios microprocesadores para:

- . Regulación de dos CPUs mando manual y automático.
- . Vigilancia
- . Mando
- . Protección
- . Estabilización adaptativa del deslizamiento, se utiliza cuando se tiene una red crítica y muy inestable.

En la figura 4.7 se puede apreciar dicha configuración.



- 1 Proteccion
- 2a Estabilizacion adaptativa del deslizamiento
- 2b Regulador de tension y creacion de impulsos:
canal automatico
- 2c Regulador de corriente y creacion de impulsos:
canal manual
- 3 Vigilancia
- 4 Mando
- 5 Interfaz con el sistema de control-mando de la central

- I_1 Corriente primaria del transformador de excitacion
- I_2 Corriente secundaria del transformador de excitacion
- U_2 Tension secundaria del transformador de excitacion
- I_{TB} Corriente de tiristor
- U_G Tension de Alternador
- I_G Corriente de Alternador
- Trip Apertura del Interruptor de corriente continua
- Imp Impulsos de cebado de tiristores
- A/D Convertidor analogico/digital
- D/D Convertidor digital/digital
- CPU Ordenador

figura 4.7

SISTEMA DE EXCITACION COMO SOLUCION DESCENTRALIZADA
CON VARIOS ORDENADORES

Division de CPU para Regulación

Esta subdividida en bloques de acuerdo a la fig. 4.8.

Bloque 1: Contiene los programas de base para la Regulación de Tensión.

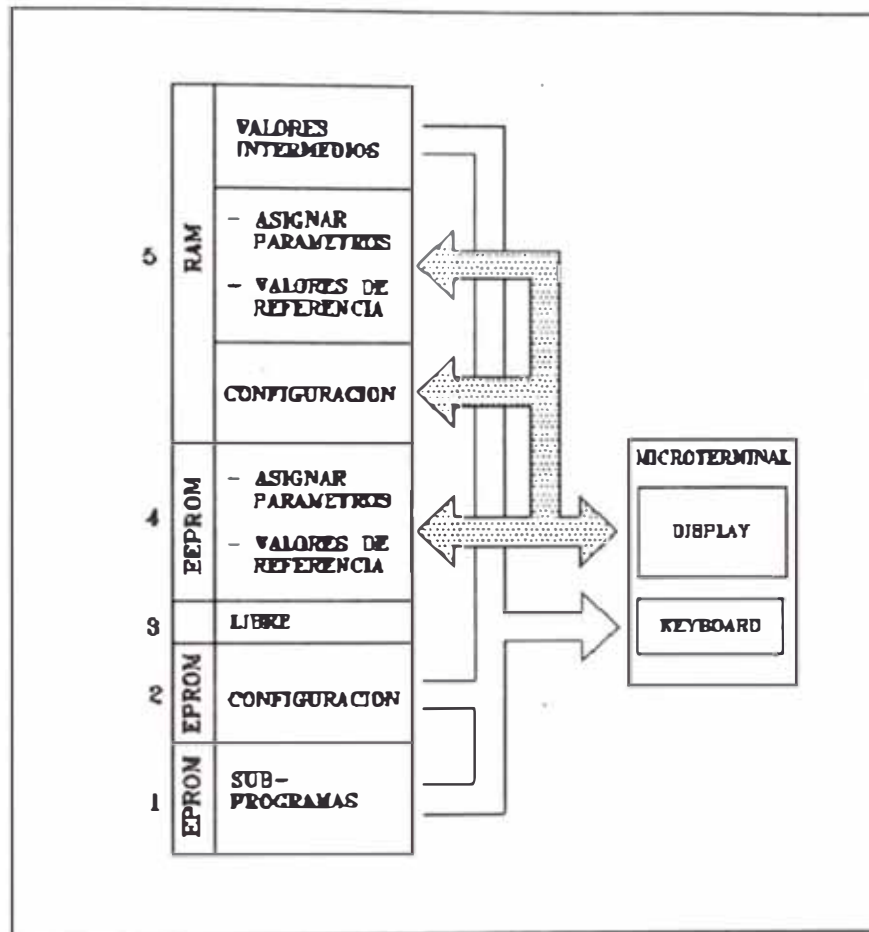


figura 4.8

ESTRUCTURA DE MEMORIA

Bloque 2: Es programado en fábrica de acuerdo a especificación y los datos se pueden leer en la sala de mando.

Bloque 3: Contiene datos específicos de la instalación, como: valor de consigna,

factor de amplificación y constantes de tiempo, que se pueden modificar desde la sala de mando.

Bloque 4: Se encuentra la memoria de trabajo, con la ayuda de un programa de inicialización se puede leer los datos de los bloques 1, 2 y 3 durante la puesta en servicio.

Funciones principales del Regulador de Tensión Dígital:

- . Regulación de Tensión del Generador
- . Limitación de la corriente de excitación
- . Limitación del ángulo de la rueda polar
- . Limitación de la corriente del estator
- . Amortiguamiento de las oscilaciones de potencia activa.

Cada 2.7 mS en una red de 60 Hz, se solicita los siguientes subprogramas:

- . Valor real de la tensión del alternador
- . Diferencia entre valor de consigna y valor real
- . Algoritmo de regulación

Software y protocolo de comunicación

- . intercambio de información mediante conexiones directas.
- . Arquitectura abierta.

Vigilancia del sistema de excitación

- . Vigilancia de los impulsos de referencia.
- . Verificación periódica de los convertidores.

- Verificación periódica de las señales de entrada y salida.
- Vigilancia de impulsos de salida de desenganche de tiristores de potencia.
- Protección de convertidores contra sobrecargas.
- Vigilancia de valores reales de tensión del generador y corriente de excitación

Mando

- Ofrece una gran comodidad para el manejo del grupo.

Comparación de Respuestas : Modernización parcial y total

- En la fig.4.9 se muestra la gráfica de las respuestas que se tiene en la regulación de tensión de un grupo en vacío, se nota que el desempeño de la modernización parcial es bastante parecida a lo que se conseguiría con la modernización total.

4.3.1.3 Sincronizador automático digital de fabricación Z

Unidad para la puesta en paralelo basado en microprocesadores, el diseño puede ser para canal simple o doble, éste último con una redundancia de 100% y monitoreo mutuo.

Condiciones de puesta en paralelo

- El deslizamiento debe ser lo suficientemente lento, deslizamientos bruscos ocasionan oscilaciones en la salida de la potencia activa.
- La diferencia en los ángulos de fase debe estar ajustado en CERO, la diferencia de éstos

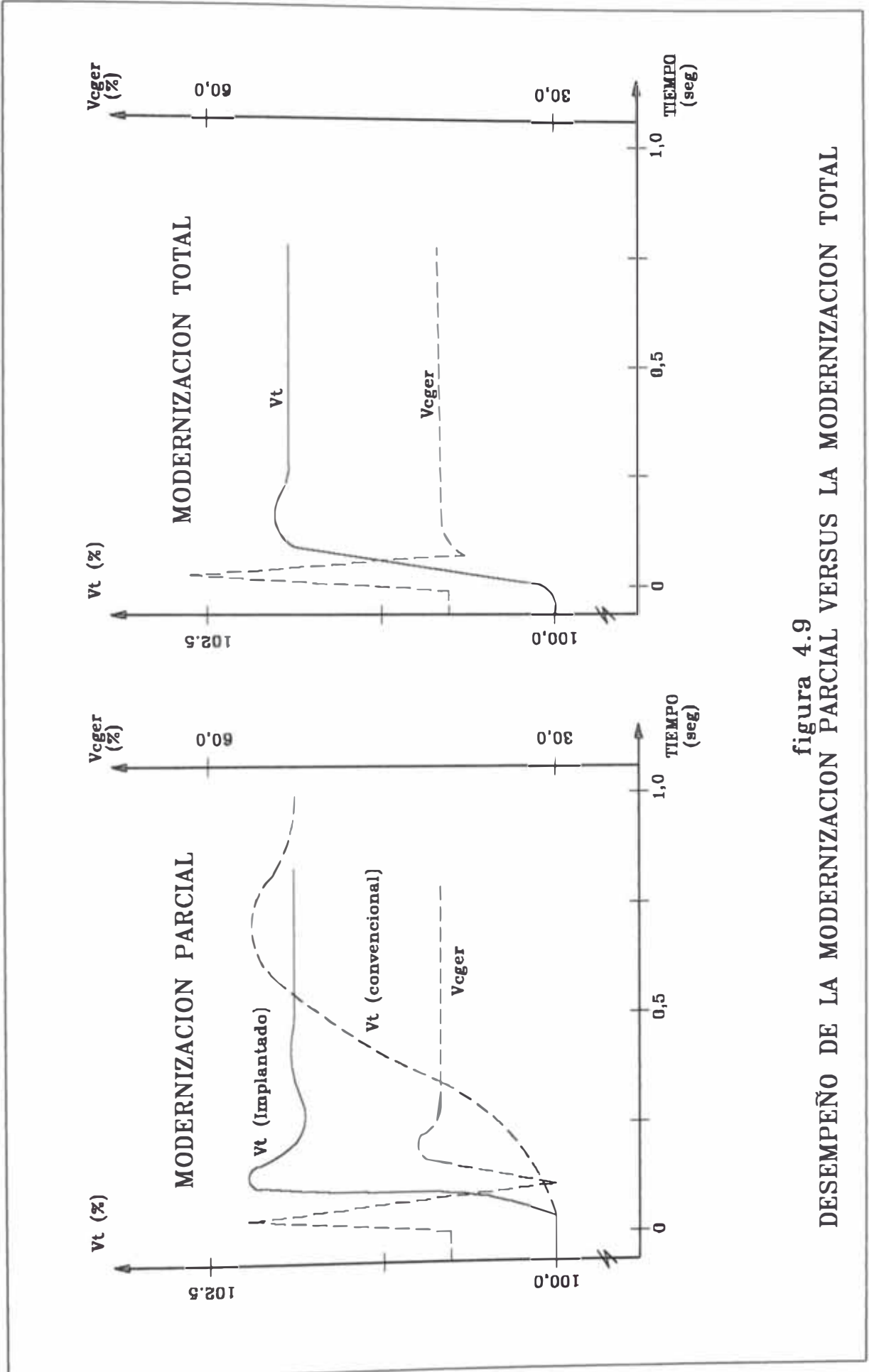


figura 4.9 DESEMPEÑO DE LA MODERNIZACION PARCIAL VERSUS LA MODERNIZACION TOTAL

ángulos ocasionan grandes cantidades de potencia activa.

- . Los voltajes en ambos lados del interruptor deben ser iguales, la diferencia de dichos voltajes ocasionan un incremento de la potencia reactiva.

Los parámetros de frecuencia y voltaje son regulados manualmente por el sincronizador, tan pronto estas desviaciones estén dentro de los límites permisibles, la siguiente coincidencia de fase permitirá cerrar el interruptor.

Modos de operación

- . Opción Manual, usado como función de verificación de sincronismo.
- . Opción Automático, con regulación de voltaje y frecuencia.
- . Presenta una verificación de sincronización para evitar errores en la conmutación, con la opción manual de equipo de puesta en paralelo automático.
- . Operación en prueba

Datos medidos

- . Diferencia de voltaje
- . Diferencia de fase
- . Diferencia de ángulo
- . Diferencial de aceleración

Para la sincronización los valores medidos se comparan con los valores máximos pre-establecidos.

Funciones

- . Detección de condiciones asíncronas y síncronas.
- . Ausencia de tensión en ambos lados del interruptor.
- . Precisión de puesta en paralelo considerando el tiempo de conmutación del interruptor.

Canal de comunicación y Software

- . Arquitectura abierta.
- . Los valores pueden transferirse a un sistema externo de supervisión.
- . Compatible.
- . Software de lenguaje estructurado.

Monitoreo

- . Verificación de la secuencia del programa.
- . Verificación periódica de los convertidores A/D.
- . Verificación de la memoria.
- . Verificación de conformidad de los parámetros.
- . Monitoreo de la alimentación.
- . Monitoreo de contacto de salida.

Esquemas y conexiones

En figuras 4.10a y 4.10b se aprecia el esquema básico del sincronizador digital y las conexiones exteriores que deben ejecutarse para adaptarlo al sistema de trabajo de un grupo de una Central Hidroeléctrica.

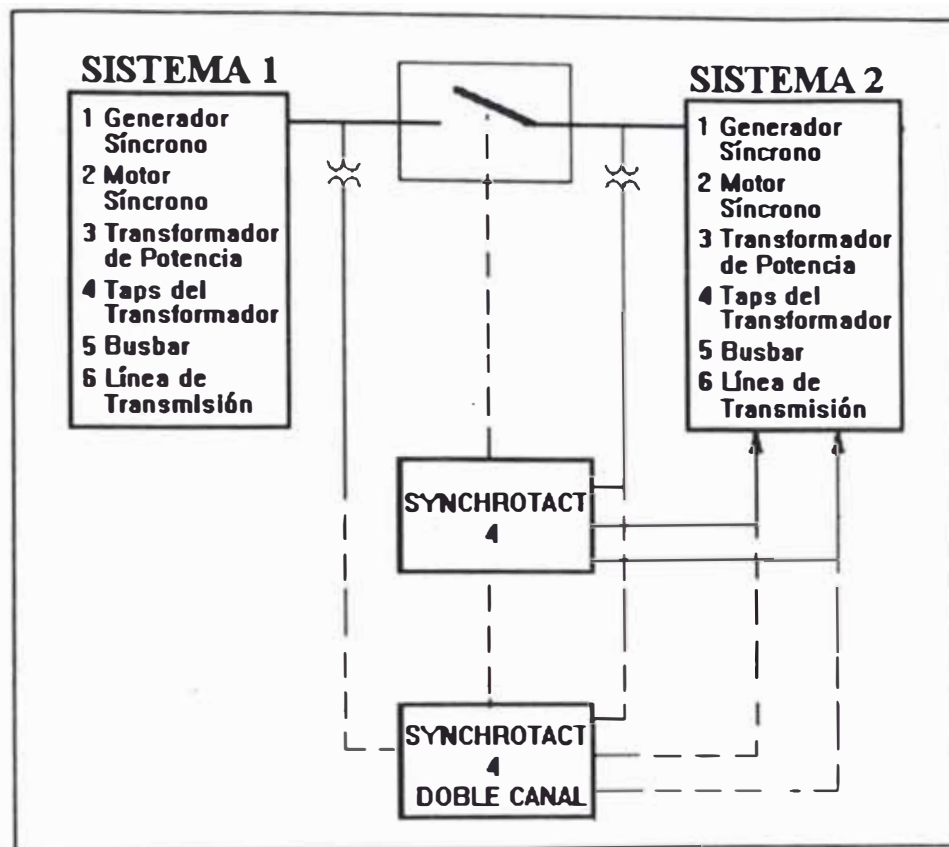


figura 4.10a

ESQUEMA BASICO DEL SINCRONIZADOR DIGITAL

4.3.2 Diagrama de bloque de arranque y parada

En los diagramas de flujo de las figuras 4.11 y 4.12 se aprecian la secuencia de maniobras del arranque y parada de un grupo de una Central Hidroeléctrica, teniendo en cuenta la modernización de sus dispositivos principales de control, es decir:

- Regulador de Velocidad Dígital de fabricante X.
- Regulador de Tensión Dígital de fabricante Y.
- Sincronizador automático de fabricante Z.

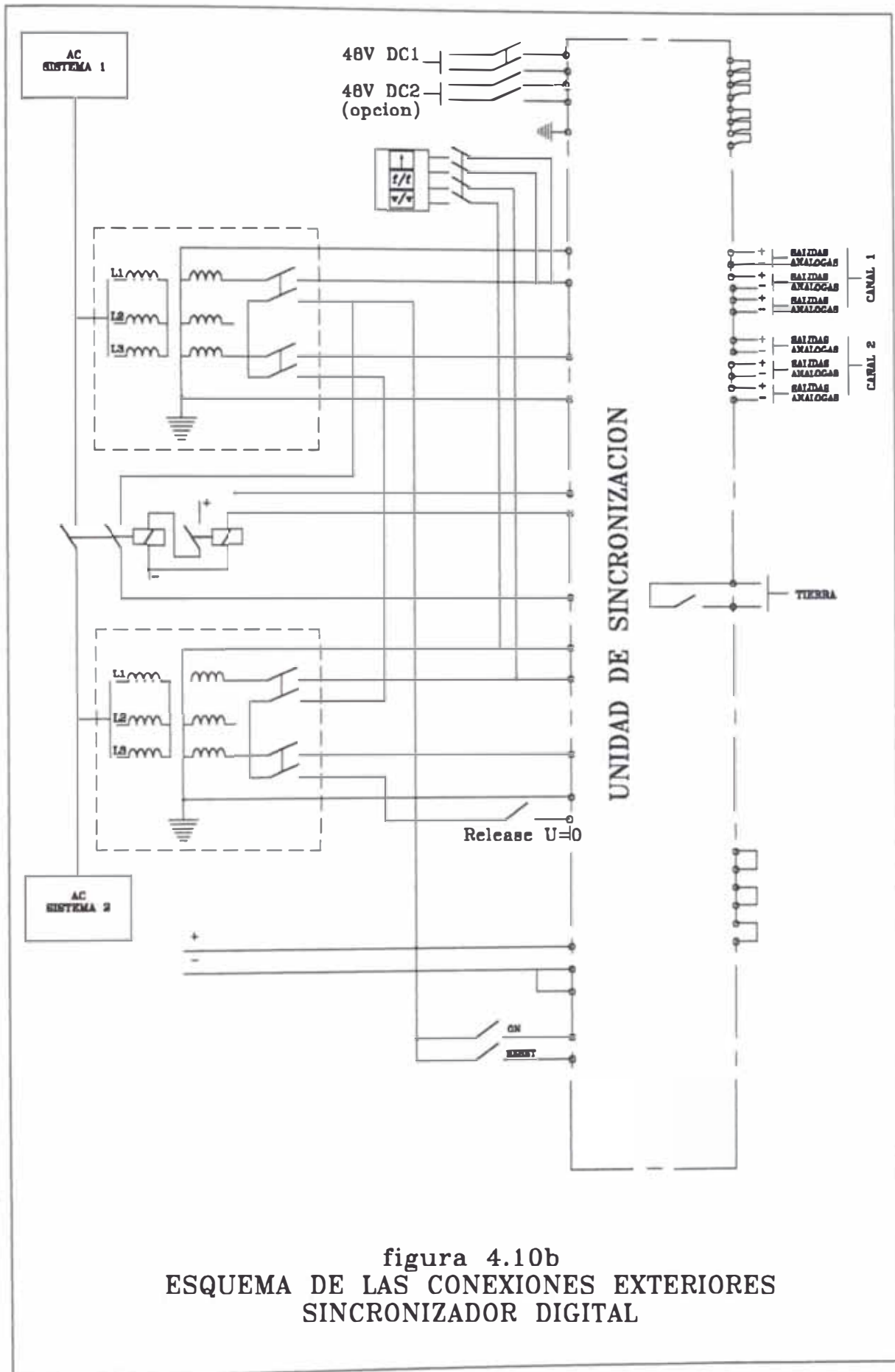


figura 4.10b
 ESQUEMA DE LAS CONEXIONES EXTERIORES
 SINCRONIZADOR DIGITAL

4.3.3 Variables a controlar

De acuerdo a diagramas de bloque propuestos en acápite 4.3.2 se obtiene las señales digitales y analógicas que se muestran a continuación :

	NUMERO DE SEÑALES		NUMERO DE MANDOS
	ANALOGICOS	DIGITALES	
	22	17	23
TOTAL	39		23

VARIABLES ANALOGICAS	
NIVEL	03
VELOCIDAD	01
PRESION	03
TENSION	07
LONGITUD	01
CAUDAL	03
RPM	04
TOTAL	22

Cuadros No. 4.3 Número de Variables, señales y mandos que intervienen en el arranque y paralelo de un Grupo Hidráulico con UPS (Velocidad,

Tensión y Sincronización).

	NUMERO DE SEÑALES		NUMERO DE MANDOS
	ANALOGICOS	DIGITALES	
	11	12	20
TOTAL	23		20

VARIABLES ANALOGICAS	
POTENCIA	02
TENSION	03
PRESION	04
RPM	02
TOTAL	11

Cuadros No. 4.4 Número de Variables, señales y mandos que intervienen en la parada de un Grupo Hidráulico con UPS (Tensión y Velocidad).

4.3.4 Configuración básica

De los diagramas de bloques de las figuras 4.11 y 4.12 se desprende la configuración básica del sistema que permitiría automatizar el arranque y parada de un grupo de una Central Hidroeléctrica, considerando la modernización de sus dispositivos principales, mediante la tecnología digital.

4.3.5 Ventajas de la alternativa propuesta

Podemos mencionar los siguiente:

- a. Los contactores electromecánicos se reducirían al mínimo con tendencia a desaparecer, debido a que los reguladores de tensión, velocidad y sincronizador como microprocesadores, incluyen varias funciones en la operación del grupo.
- b. La instrumentación paulatinamente tiende a desaparecer.
- c. El costo de mantenimiento preventivo y correctivo disminuiría excesivamente.
- d. Se estaría ingresando a la tecnología de punta.
- e. La operación es más confiable tanto local como a distancia.
- f. El costo de operación disminuye.

4.4 Análisis de la alternativa propuesta

La automatización del proceso de arranque y parada de un grupo de una Central Hidroeléctrica, es conveniente desarrollarla en base a la modernización de sus componentes principales, debido a que la tecnología predominante actual es mediante microprocesadores, el Hardware y Software de cada uno de estos componentes deben ser compatibles para un control de los elementos principales de todos los grupos de una Central.

4.4.1 Consideraciones para el Pedido de los Equipos a Modernizar

Tener en cuenta lo siguiente:

Ser de tecnología de punta.

Especificar la configuración principal del sistema.
Tener un protocolo de comunicación abierto y standard.

Repuestos para un período mínimo de 7 años.

Entrenamiento de personal idóneo en el proceso de diseño, fabricación, montaje y puesta en servicio.

Cumpla con la Norma ISO 9001.

Visita técnica del personal del fabricante antes de su propuesta.

4.4.2 Configuración principal del sistema de automatización de toda la central

Para el caso de una Central Hidroeléctrica la configuración más conveniente sería el que se muestra en la figura 4.13, en ella se indica con líneas punteadas la configuración básica del presente trabajo.

La política para la automatización de una Central de una Empresa Generadora de energía eléctrica, debe enmarcarse en una configuración principal, en el cual todas las dependencias deben converger de acuerdo a sus funciones, es decir, la modernización debe darse pero en etapas de acuerdo a la posibilidad económica de la empresa. En cada etapa, no se debe desligar del esquema principal. Por ello es necesario hacer un estudio detallado del estado en el cual se encuentran los componentes existentes y conocer con gran amplitud, criterio y experiencia en la tecnología actual o de punta.

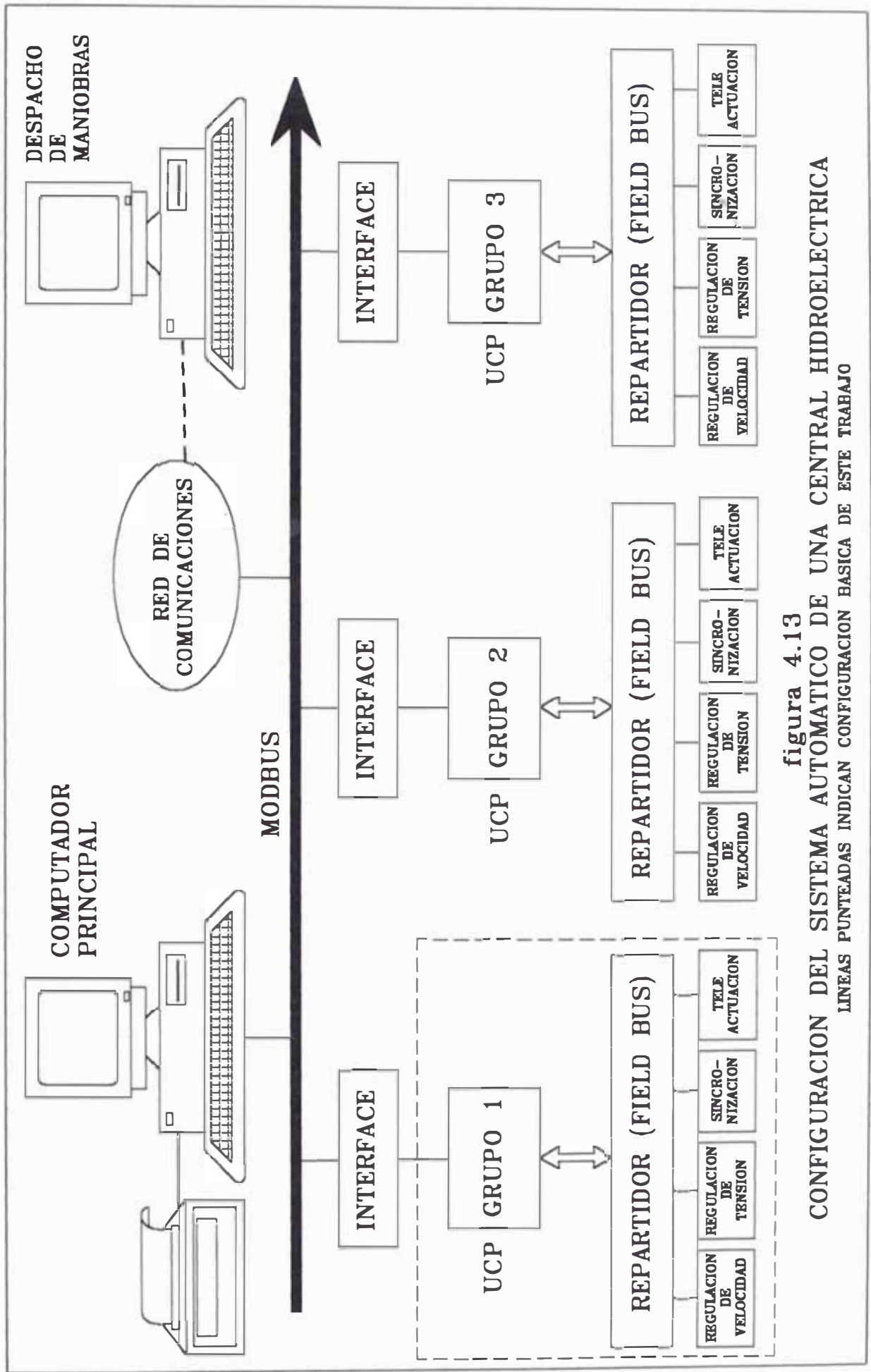


figura 4.13
CONFIGURACION DEL SISTEMA AUTOMATICO DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA
 LINEAS PUNTEADAS INDICAN CONFIGURACION BASICA DE ESTE TRABAJO

4.5 Requerimiento funcional del sistema de control de la configuración básica

Plantearemos en forma general los equipos a considerar para la implementación del sistema, que permitirá modernizar y automatizar el arranque y parada de un Grupo de una Central Hidroeléctrica.

Se describen los requerimientos funcionales mínimos del software y hardware para la modernización del sistema actual, por un sistema computarizado de tiempo real de supervisión, control, adquisición de datos de telecomando, con capacidad de crecimiento futuro.

4.5.1 Del sistema de control

Sus principales funciones están relacionadas a:

Administración y mantenimiento de una base de datos, que contenga la información sobre las características de todos los puntos de estado medición y mando.

Adquisición y validación de la información colectada por los micro procesadores.

Implementar a nivel de Software las funciones de protección requeridas y de acuerdo a los requisitos de performance establecidos.

Procesar las señales de alarmas y apertura (disparo), llamando la atención al operador de manera conveniente cuando estas ocurren.

Efectuar calculos con la informacion colectada como por ejemplo chequeo de límites, actualización de puntos ficticios, etc.

Generación de reportes periódicos de valores de estado, análogos y de secuencia de eventos.

Permitir una adecuada interface hombre-máquina, que permita al operador mostrar la información de la situación del grupo.

La adquisición de la información (puntos de estado, análogos y acumuladores).

La correcta ejecución de las ordenes de mando recibidas ya sea por una estación maestra o por un mando local.

Implementar las funciones necesarias para el registro de la secuencia de eventos.

4.5.2 Requerimiento de hardware

Debe proveer una arquitectura flexible y confiable de acuerdo a los lineamientos actuales. Las siguientes características serán tomadas en cuenta:

Uso extendido de microprocesadores de 32 Bits de reciente Tecnología.

Empleo de circuitos integrados LSI (Large Scale Integration) y de baja disipación de potencia.

Uso de memorias tipo UV - EPROM o EEPROM para el programa almacenado, con la posibilidad de cambiar el protocolo en un futuro a fin de evitar una rápida obsolescencia.

Empleo de un mínimo de tarjetas de I/O diferentes, a fin de facilitar el mantenimiento y el stock de repuestos.

Posibilidad de recibir comandos de diagnóstico y

pruebas de RAM y ROM, etc.

Fácil expansión o reconfiguración del Sistema de Control (RTU) en el campo, por parte del usuario, esto implica que los parámetros del sistema de control (RTU) (dirección lógica, número de puntos de cada tipo) sean fácilmente modificables (almacenados en EEPROM o similar).

Características de fabricación

Tipo modular con empleo de tarjetas intercambiables y de fácil reemplazo.

Empleo de tarjetas de circuito impreso

Facilidades para el mantenimiento, diagnóstico, con provisión de puntos de prueba apropiados.

Concentración de todas las interfaces, mediante la disposición de borneras adecuadas.

Alimentación duales, la continua sera principal.

4.5.3 Requerimientos del software

Deberá permitir la operación de los equipos y programas en conjunto, y servirá de soporte a los programas de supervisión.

4.5.3.1 Sistema operativo

Especialmente diseñado para aplicaciones en tiempo real y soportará la arquitectura abierta.

Será interoperable con sistemas operativos existentes.

Facilidades de conexión en redes mediante protocolo TCP/IP y el X/OPEN TRANSPORT INTERFACE

Deberá cumplir con los standares Internacionales

IEEE Posix 1003.1

IEEE Posix 1003.2

ISO/IEC 9945-1 :1990

FIPS PUB 151-1

X/OPEN Portability Guide III (XP 63)

OSF Application Environment Specification

Compatibilidad con BSO 4.3

4.5.3.2 Software de soporte

Facilidades para la administración de archivos

Programas de diagnóstico y manejo de errores

Programas de Administración del sistema

Lenguajes de Programación, compiladores, debuggers, enlazadores y/o integradores.

Programas de recuperación de fallas y de arranque.

Programas de generación, mantenimiento y acceso a la base de datos.

4.5.3.2.1 Programas de diagnóstico y manejo de errores

El sistema incluirá facilidades de detección y registro de errores para su análisis y para mantener la información de los errores que ocupan en el sistema.

4.5.3.2.2 Lenguajes de programación, compiladores y debuggers

El sistema deberá incluir lenguajes de programación de alto nivel tales como Lenguaje C orientado a objetos, Fortran 77 Estructurado, etc.

4.5.3.2.3 Software de debug y dump del sistema

El Sistema debe disponer de herramientas (DEBUG) que

permitan detener el proceso de los programas en prueba, en puntos predefinidos durante su ejecución con la finalidad de mostrar los valores intermedios, memoria, variables, etc.

Cuando ocurra un error fatal en la operación del sistema de computo, el sistema deberá almacenar en un archivo una copia del estado del sistema (DUMP).

4.5.3.2.4 Programas de recuperación de fallas y re arranque

El sistema dispondrá de Software con capacidad de monitorear el funcionamiento de los subsistemas y hardware, a fin de transferir automáticamente las funciones a un respaldo.

4.5.3.3 Software de diagnóstico

Se proveerán Programas de diagnóstico en línea y fuera de línea para el diagnóstico y pruebas de los subsistemas de Hardware y Software, los cuales incluirán como mínimo

Reportes del uso y contenido de la memoria en sus procesadores.

Diagnóstico en línea y fuera de línea de los microprocesadores.

Diagnóstico del sistema de comunicación.

4.5.3.4 Software de control de operación del sistema

Permitirá controlar la correcta operación del sistema, detectar fallas de Software y/o Hardware y reasignar todas las funciones involucradas del sistema en operación al ocurrir fallas.

Las principales tareas son :

Inicialización de los distintos subsistemas y arranque del sistema.

Supervision de los microprocesadores.

Cambios manuales en la configuración.

La inicialización del sistema será manual o automático:

En el arranque manual el operador tiene un control en la secuencia de reinicialización del sistema que puede ser mediante la introducción de parámetros de control, parámetros predefinidos o valores pertenecientes a la última configuración almacenada en el disco duro.

El arranque automático será originado por el mismo sistema bajo las siguientes circunstancias : cuando se detecte una condición de indisponibilidad de componentes principales en el sistema de computo.

CAPITULO V IMPLEMENTACION Y COSTO DEL SISTEMA SELECCIONADO

Para realizar la configuración básica es necesario cambiar o comprar los equipos o microprocesadores que realicen los sub-procesos fundamentales, como son de Regulacion de Velocidad, Tensión y Sincronización; para luego ir adaptando las señales analógicas respectivas.

Los mandos se procesarán en el microprocesador de teleactuación, éstos montajes culminarán con la puesta en servicio del Sistema de Control.

Los componentes y equipos para la implementación de la configuración básica seleccionada son extraídos de las figuras 4.11, 4.12 y 4.13.

5.1 Equipamiento base

A continuación se especifican los equipos con su costo respectivo, tomando como base para Grupos Hidroeléctricos de 60 Mw.

5.1.1 Adquisición de datos

DESCRIPCION	CANT	\$
a1. Equipo para velocidad en		
Tubería Forzada	01	4 000
a2. Equipo de Telemedición de		
nivel con transmisor/receptor	01	3 500
a3. Transductor piezométrico para		
presión en Tubería Forzada	02	800
a4. Convertidor para señales		

analógicas de Tensión	07	2 800
a5. Convertidor de señal analógica de nivel en los cojinetes	02	800
a6. Convertidor de señal analógica de presión de aceite	02	800
a7. Convertidor de señal analógica de caudal	03	4 000
a8. Convertidor de señal de Potencia	02	1 000
	SUB - TOTAL	17 700

5.1.2 Equipos de regulación

a1. Regulador de Velocidad Digital	01	120 000
a2. Regulador de Tensión Digital	01	130 000
a3. Sincronizador Digital	01	40 000
a4. Microprocesador para Tele- actuación	01	20 000
	SUB - TOTAL	310 000

5.1.3 Equipos para los mandos

DESCRIPCION	CANT	\$
a1. Motorizar desbloqueo mecánico de la Turbina	02	10 000
	SUB - TOTAL	10 000

5.1.4 Del Sistema de procesamiento

a1. Repartidor	01	5 000
a2. U.C.P.	01	150 000
	SUB - TOTAL	155 000

En el siguiente cuadro se presenta el resumen del

costo del equipamiento base a implementar en un grupo de 60 Mw.

	COSTO
Adquisición de Datos	17 700
Equipos de regulación	310 000
Equipos para Mandos	10 000
Sistema de Procesamiento	155 000
COSTO TOTAL	\$ 492 700

5.2 Costo del equipamiento actual

5.2.1. Del mantenimiento

MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	HORAS HOMBRE ANUALES	NUMERO PARADAS MAQUINA ANUAL
a1. Regulador de Velocidad			
Puesta a Cero	3 veces/año	72,0	03
Vibrador	3 veces/año	9,0	03
Contadores y elementos	3 veces/año	72,0	03
a2. Regulador de Tensión			
Reóstatos	3 veces/año	72,0	03
Contadores y elementos	3 veces/año	72,0	03

a3. Sincronizador

Contactores y

elementos	3 veces/año	72,0	03
	TOTAL	369,0	18

5.2.2 De la operación

	Hora	Anual
	Hombre	\$
a1. Personal de Turno		
Reducción Mínima de		
un trabajador		18 000
a2. Personal de relevo		
Reducción de horas de relevo	1 248	7 200
a3. Reducción de horas extras	576	5 184
	TOTAL	30 384

5.2.3 De la indisponibilidad

De las 18 veces de parada de la unidad, tratando de buscar la simultaneidad de los trabajos, éste número se reduce a 15.

Cada Indisponibilidad de máquina es solicitado por 8 horas, lo que resulta $15 \times 8 = 120$ Horas de Indisponibilidad Anual.

Considerando la mínima tarifa de energía en horas fuera de punta:

$$(\$ / \text{KWH}) \times (\text{HORAS}) \times (\text{KWH})$$

Donde: S.//KWH Costo del KWH fuera de Horas Punta

S/. 0,0638 = \$ 0,0252 (en Santa Rosa-220KV)

HORAS Número de Horas = 120 Horas

KWH Energía Mínima en Horas fuera de punta - K

Entonces :

$$(0,02552) \times (120) \times (K) = 3,0624K$$

Esta fórmula está en función de la cantidad de energía que se genera en promedio en horas fuera de punta. Si se toma como ejemplo a las Centrales de Huinco y Matucana (Pablo Boner), de la empresa EDEGEL S.A., la Potencia que generan en horas fuera de punta en promedio es 30 000 KWH; luego se tiene:

$$3,0624 \times (30\ 000) = \$ 91\ 872$$

En el siguiente cuadro se presenta el resumen de los costos anuales que demanda el equipo actual de un Grupo Hidráulico de 60 MW:

	COSTO ANUAL
MANTENIMIENTO	2 285
OPERACION	30 384
INDISPONIBILIDAD	91 872
COSTO TOTAL	\$ 124 541

El costo del Equipamiento base del Sistema propuesto por Grupo Hidráulico de 60 MW en éste trabajo es de \$ 492 700, comparando éstos costos se puede concluir que la inversión se recupera en aproximadamente cuatro (04) años de operación de la Unidad.

5.3 **Implementación**

La modernización de las Centrales Hidroeléctricas se realizará unidad por unidad, debido a los motivos siguientes:

La demanda en el momento actual crecerá a una tasa del 6% anual y durante un periodo comprendido de 7 a 10 años.

Es decir, las centrales hidroeléctricas en esos años no pueden indisponer totalmente sus unidades.

Es mas económico parar una unidad durante intervalos de tiempo cortos, en el cual realizar una serie de trabajos; con la finalidad de continuar con la operación del proceso productivo con las unidades restantes.

El modelo que han aplicado las centrales hidroeléctricas en Europa, es Grupo por Grupo.

5.3.1 **Cronograma de actividades del equipamiento base**

Se presentan dos alternativas:

Indisponer la Unidad durante 4 meses para montar todo.

Indisponer la Unidad durante 1 mes para cada proceso importante.

5.3.2 **Alternativa a implementar**

En la situación actual de crecimiento de la demanda, la alternativa mas rentable es indisponer máquina en intervalos cortos, esto es 3 ó 4 semanas ; en el momento que lo permita el diagrama de carga del sistema interconectado.

La implementación será según el cuadro siguiente:

	T I E M P O			
EQUIPO	4 SEMANAS	4 SEMANAS	4 SEMANAS	4 SEMANAS
SENSORES				
REGULADOR DE VELOCIDAD				
REGULADOR DE TENSION				
SINCRONIZACION				
SISTEMA DE PROCESAMIENTO				

CONCLUSIONES

Al estudiar la situación actual de los equipamientos existentes en las centrales hidroeléctricas de EDEGEL S.A. y en varias de ELECTROPERU, se encuentra que éstos equipamientos son de tecnologías de décadas pasadas y que están operando o funcionando debido al buen mantenimiento preventivo y/o correctivo que se les aplica. Los sub-procesos de arranque - paralelo y parada de los grupos de las centrales hidroeléctricas, están controlados por equipos, los cuales son actuados por la mano de los operadores, realizando varios pasos secuenciales en cada uno de ellos.

Los párrafos anteriores demuestran por lo tanto que el proceso de arranque-paralelo y parada de un grupo de una central hidroeléctrica es en forma manual.

Desde la puesta en operación de la central hasta hoy día, EDEGEL S.A., no ha modernizado sus equipos principales.

Esta modernización no llevada a cabo responde a dos razones principales, que son: EDEGEL S.A. no ha realizado ninguna inversión en nuevas centrales hidroeléctricas y porque no tiene un plan maestro referente a la modernización de todas sus centrales hidroeléctricas.

Al no contar con un plan maestro que integre la

operación automática de sus grupos hidráulicos, no ha aprovechado las tecnologías de punta existente en las centrales de éste tipo en el mundo.

No se ha aprovechado el entorno tecnológico de punta para ganar confiabilidad, operación óptima y mantenimiento mínimo que ofrecen los microprocesadores que se utilizan en los sub-procesos fundamentales de la operación de los grupos de las centrales hidroeléctricas.

No se tiene presente los costos de operación a que están sometidos los grupos hidráulicos.

No se han comparado índices o mapeos internacionales de grupos similares, para evaluar a que costo se está operando las unidades.

Los microprocesadores de velocidad, tensión, sincronización y para la tele-actuación, son unidades de control que se están usando en los procesos industriales con óptimos resultados.

Los sistemas de control aplicados en Micro y Mini Scadas, son usados en diferentes procesos y manejan datos, así como controlan las unidades de control, con gran performance de operación y muy buenos resultados, optimizando los procesos y el costo respectivo.

Los sistemas de control de tecnología de punta son sistemas modulares de arquitectura abierta, los cuales son fáciles de acceder en hardware y software cuando se tiene la posibilidad de expansiones futuras en las centrales hidroeléctricas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Configuración básica del Sistema de Control del Centro de Explotación de Energía Hidráulica de la Cuenca.
- 2.- Información Técnica del Regulador de Velocidad Electromagnético EM-58.
Fábrica RIVA CALZONI - MILANO - ITALIA.
- 3.- Información Técnica del Regulador de Velocidad Acelerotaquímetro.
Fábrica CHARMILLES.
- 4.- Información Técnica del Sincronizador rápido tipo FB.
Fábrica ABB.
- 5.- Información Técnica del Regulador de Tensión tipo KC.
Fábrica ABB.
- 6.- Información Técnica "Sistema Básico de Control de la Central Hauterive Ap65 - Suiza".
Telemecanique.
- 7.- Información Técnica del Gobernador Electrónico Mipreg - 600.
Fábrica HIDROVEVEY S.A. - SUIZA.
- 8.- Información Técnica sobre la renovación de equipos hidroeléctricos.
HIDROVEVEY - SUIZA.

- 9.-Informacion Técnica de la Descripción, operación y mantenimiento de las Centrales Hidroeléctricas de Huinco, Matucana y Callahuanca.
- 10.- Información Técnica del Sistema de Supervisión de datos de la Central Hidroeléctrica de Matucana.
SAINCO - ESPAÑA.
- 11.- Hidroelectric Control Upgrade Plant Rehabilitation and New Plant Design Services for Black y Veatch.