

2ej 142



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**AUTOMATIZACION DE UNA PLANTA
HIDROELECTRICA**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A:

JESUS ANTONIO TIRADO ARAMBURO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

INTRODUCCION

CAPITULO I.- Generalidades

- 1.1 Qué es la automatización
- 1.2 Grados de automatización
- 1.3 Ventajas económicas
- 1.4 Posibilidades de aplicar la automatización en los sistemas eléctricos del país

CAPITULO II.- Ubicación y Características de la Planta - Constituyente Luis M. Rojas (Intermedia)

- 2.1 Localización
- 2.2 Desarrollo hidráulico
- 2.3 Sección eléctrica
- 2.4 Algunas consideraciones sobre la operación de una planta hidroeléctrica
- 2.5 Secuencia de operación para el arranque manual de la planta.
- 2.6 Secuencia de operación para el paro manual

CAPITULO III.- Secuencia y Operación Automática en Condiciones normales y anormales de la Planta Hidroeléctrica Luis M. Rojas.

- 3.1 Preliminares
- 3.2 Secuencia del arranque automático
- 3.3 Regulación automática

- 3.4 Secuencia del paro automático
- 3.5 Operación automática del arranque
- 3.6 Operación automática del paro
- 3.7 Secuencia y operación automática en condiciones anormales
- 3.8 Secuencia de operación manual en la planta automatizada

CAPITULO IV.- Control de Generación de la Planta Inter - media.

- 4.1 Antecedentes
- 4.2 Limitaciones
- 4.3 Operación de la planta con respecto al nivel de la presa
- 4.4 Operación del distribuidor en función del nivel
- 4.5 Diseño del programador electrónico de nivel
- 4.6 Descripción del regulador del anillo distribuidor
- 4.7 Regulador automático de voltaje

CAPITULO V.- Estudio Económico.

- 5.1 Objetivo
- 5.2 Aspectos técnico-económicos a considerar para automatizar una planta de generación eléctrica
- 5.3 Análisis económico de automatización
- 5.4 Ahorro cuantitativo en el caso de la planta intermedia

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

Todos y cada uno de los aspectos de la vida moderna, manifiestan la influencia y utilidad de la energía eléctrica. La electricidad propicia el desarrollo de las industrias, eleva los niveles de vida y facilita el desarrollo económico del país.

Y así como en otros tiempos se tomaron como exponentes del grado de adelanto e industrialización de un país la cantidad de hierro, de acero o de ácido sulfúrico que producía en un año, actualmente se toma como exponente la producción eléctrica total.

De ahí que la demanda de energía crece cada día más, exigiendo por un lado, la creación de nuevas centrales generadoras y por otro, que aumenten la confiabilidad y eficiencia del equipo ya instalado, reduciendo al mínimo las fallas y los costos de operación así como el esfuerzo humano.

Afortunadamente, los avances de la tecnología han puesto a disposición del Ingeniero, herramientas y técnicas que rinden mejores resultados que sus predecesoras; sin embargo, es su responsabilidad el encontrar la mejor manera de utilizar estos avances y determinar con precisión en cada caso específico, los criterios que lo ayuden a decidir el grado de aplicación óptima de los nuevos métodos y equipos. Dentro de estos avances, se cuenta con los sistemas automáticos de control.

Hace algunos años, la introducción de estos sistemas en las centrales eléctricas era motivo para especular sobre teorías extrañas y poco realizables, pero en la actualidad algunas plantas ya han incorporado estos métodos modernos de control que permiten realizar funciones tales como

el despacho económico de carga, el telemando y la telemedición.

El objetivo del presente trabajo, es analizar la posibilidad de automatizar una planta hidroeléctrica en nuestro país.

Este trabajo fue realizado en los: 1972-1973 con un grupo de compañeros de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en el Seminario de SISTEMAS DE AUTOMATIZACION DE PLANTAS ELECTRICAS, bajo la atinada dirección del amable y distinguido maestro de nuestra Facultad Ing. Daniel Barrios Morales Frías, quien con sus atinadas sugerencias, comentarios, material bibliográfico, aportación de conocimientos nos alentó a seguir siempre adelante y haciendo con esto posible la terminación de este trabajo escrito, requisito para la sustentación de mi examen profesional de la Carrera de Ing. MECANICO ELECTRICISTA, de la Facultad de Ingeniería de la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO. Por lo que va mi agradecimiento a tan grande maestro y a mis compañeros de Seminario por la coordinación que siempre tuvimos.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Qué es la automatización.

Una planta automática es aquella que se ha diseñado para obtener una economía y seguridad máximas y tal que al incorporar - la cantidad justa de instrumentos confiables y secuencias automáticas con opción al control manual, permite la introducción - de computadoras y un control remoto completo.

Los principales objetivos que se persiguen al instalar sistemas de control en las plantas, son los siguientes:

- a) Satisfacer las demandas de carga pico con el menor costo laboral.
- b) Reducir los costos de operación.
- c) Proporcionar la mayor confiabilidad posible a las unidades generadoras.
- d) Adicionar sistemas de seguridad y reducir los probables errores de operación.
- e) Reducir el mantenimiento por medio de programas.

1.2 Grados de Automatización.

Los diferentes niveles de automatización que se pueden tener - en una planta, a partir del control manual, se pueden resumir - en la siguiente tabla:

AUTOMATIZACION

A NIVEL PLANTA

Arranque y paro automático.

Despacho de carga manual.

Operación completamente automática.

A NIVEL CENTRAL

Arranque y paro por telecontrol.

Despacho de carga a nivel de planta.

Telecontrol total (Centralización).

Se puede pensar en otros niveles de automatización que resultan de la combinación de los anteriores.

Aún cuando en los últimos años ha aumentado el interés por las plantas completamente automáticas, no parece que los criterios para decidir el mejor grado de automatización estén bien definidos, ya que el diseño de plantas para una operación totalmente automática o para un control manual, depende de la naturaleza del servicio, por lo cual es universalmente aceptado, que la automatización se obtiene siguiendo una serie de pasos lógicos en el lugar y el tiempo adecuados.

Se puede observar que existen muchas combinaciones de control y que el grado de automatización puede ser tan complicado como se desee. El gran número de alternativas nos lleva a realizar estudios cuidadosos para determinar la mejor solución al problema, sin embargo, esto no quiere decir que se tenga que hacer una evaluación de varias alternativas en forma aislada, ya que las necesidades de cada planta son muchas veces razones suficientes para fijar el grado de automatización.

1.3 Ventajas Económicas.

Entre las numerosas ventajas que se obtienen al automatizar una planta, se debe mencionar la económica:

Algunos estudios realizados por la US Bureau of Reclamations - nos demuestran que del 75% al 80% de los gastos de operación - y mantenimiento de una planta, son debidas a los servicios y - salarios del personal que interviene en ella. Por lo cual resulta obvio que al instalar servomecanismos de posición y otros sistemas de control automático, se obtendrá un ahorro bastante - considerable en los costos laborales, lo cual nos permite amortizar la inversión en un corto tiempo.

Actualmente, la Comisión Federal de Electricidad cuenta con - plantas de modesta capacidad en las que por tener demasiado - personal de operación, el costo por Kilowatt producido es más - alto que el correspondiente al sistema interconectado y tiene - también plantas cuyo rendimiento es aparentemente satisfacto - rio, pero son de poca confiabilidad, dado que cuentan con pro - tecciones mecánicas y las fallas del equipo deben ser atendi - das por los operarios, situación que en ocasiones acarrea gran - des daños. Todo esto ha hecho pensar que estas plantas deben ser dadas de baja, pero modernizándolas e incorporándoles sistemas de control automático, podrían seguir generando con costos competitivos al del sistema interconectado.

1.4 Posibilidades de aplicar la automatización en los Sistemas - Eléctricos del país.

En nuestro país, sería conveniente iniciar las etapas o grados de control automático con plantas hidroeléctricas de pequeña - o mediana capacidad, de modo que no represente ningún - -

problema grave para el sistema interconectado, la interrupción-temporal del servicio. Por otro lado, no es recomendable iniciar la automatización con plantas térmicas, dado que la complejidad de éstas implica el manejo de aproximadamente 2000 variables de entrada para automatizar tan solo el arranque y paro de ella, lo cual exige el uso de computadoras en los sistemas de control, que de esta manera se hacen demasiado complicados para una etapa inicial. Posteriormente, una vez corregidos los errores y después de analizar las experiencias obtenidas, se puede ir aumentando el grado de automatización y telemedición en plantas generadoras de mayor capacidad, tanto hidroeléctricas como termoeléctricas, hasta alcanzar un control totalmente automático.

Por todo lo anteriormente expuesto, se decidió enfocar el presente estudio hacia una planta hidroeléctrica con una capacidad no mayor de 10 MW y por esta razón se eligió la planta hidroeléctrica "Luis M. Rojas" del sistema Santiago-Chapala de la Comisión Federal de Electricidad.

CAPITULO II

UBICACION Y CARACTERISTICAS DE LA PLANTA CONSTITUYENTE LUIS M. ROJAS (INTERMEDIA).

2.1 Localización.-

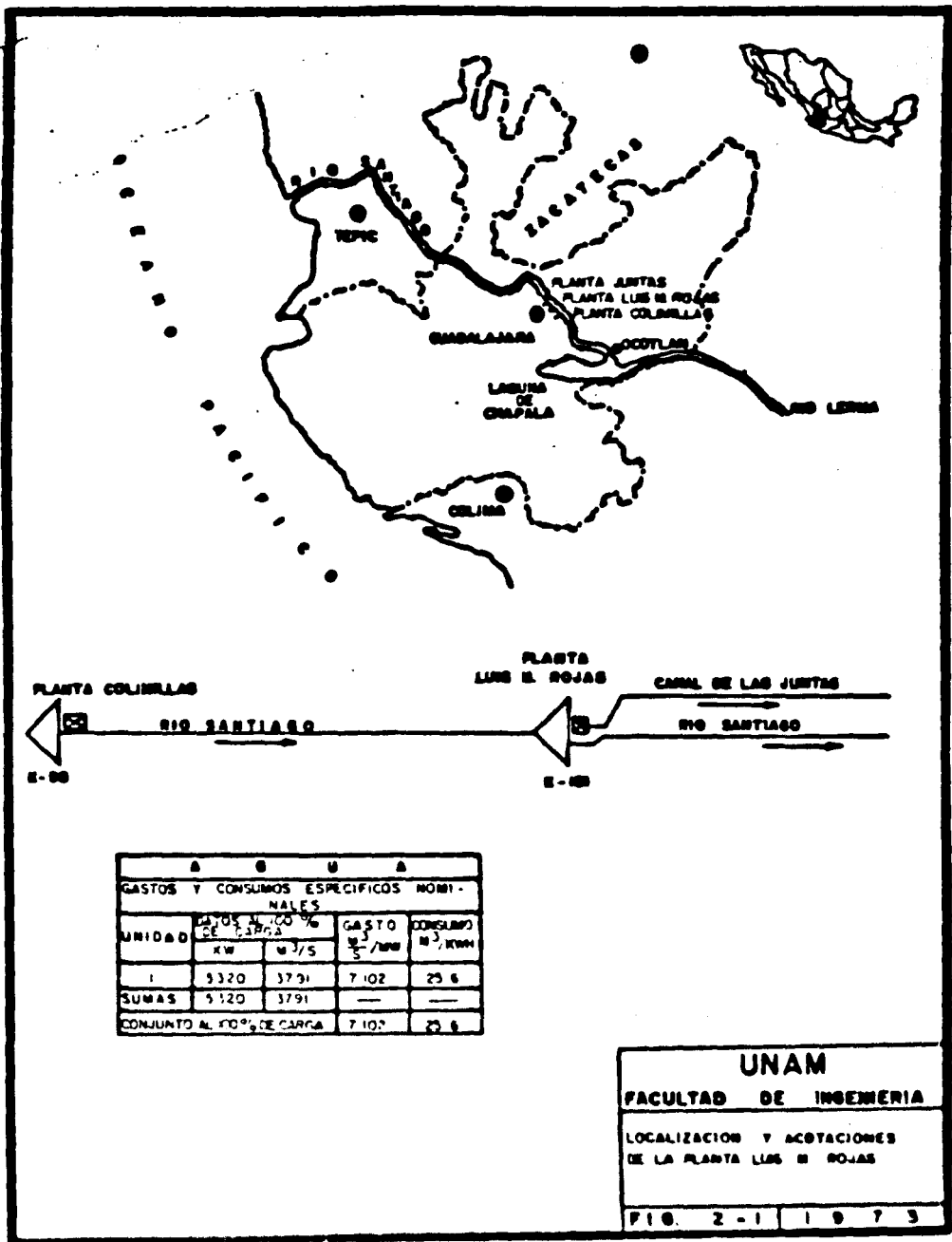
La Planta Hidroeléctrica "Constituyente Luis Manuel Rojas" conocida también con el nombre de "Planta Intermedia", se encuentra ubicada en las inmediaciones de Guadalajara y pertenece a la División Jalisco de la Comisión Federal de Electricidad.

Fue construída en los años de 1962 _ 1963, y su presa se alimenta con el desfogue de la central de Colimillas, localizada aproximadamente a 3 Km. aguas arriba de la Planta Intermedia y a su vez ésta, proporciona agua a la Planta las Juntas a través de un canal que es alimentado por el desfogue de la turbina de Intermedia o por medio de un libramiento que existe cuando ésta no esté funcionando.

Todo este sistema es alimentado por el Río Santiago que nace en la Laguna de Chapala más o menos a la altura de Ocotlán, Jal. Figs. 2.1a. y 2.1b.

2.2 Desarrollo Hidráulico.-

La Planta cuenta con una presa cuyo almacenamiento es de 1.550,000 m³. de agua, con un volumen aprovechable de 600,000 m³. y una caída bruta de 21.70 mts. Cuenta con dos vertedores, uno que está adyacente a la obra de toma con una



GASTOS Y CONSUMOS ESPECIFICOS NOMINALES			
UNIDAD	GASTOS AL 100% DE CARGA		CONSUMO M ³ /KWH
	KW	M ³ /S	
1	5320	3791	25.6
SUMAS	5320	3791	—
CONJUNTO AL 100% DE CARGA	7102		25.6

UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA
 LOCALIZACION Y ACOTACIONES
 DE LA PLANTA LUIS M. ROJAS
 FIG. 2-1 1 0 7 3

longitud de 40 mts., cresta ancha, con capacidad de - - -
550 m³/seg., el otro que está adyacente al canal que alimenta
a la Planta Juntas cuenta con una longitud de 30 mts. también
de cresta ancha y con capacidad de 35 m³/seg.

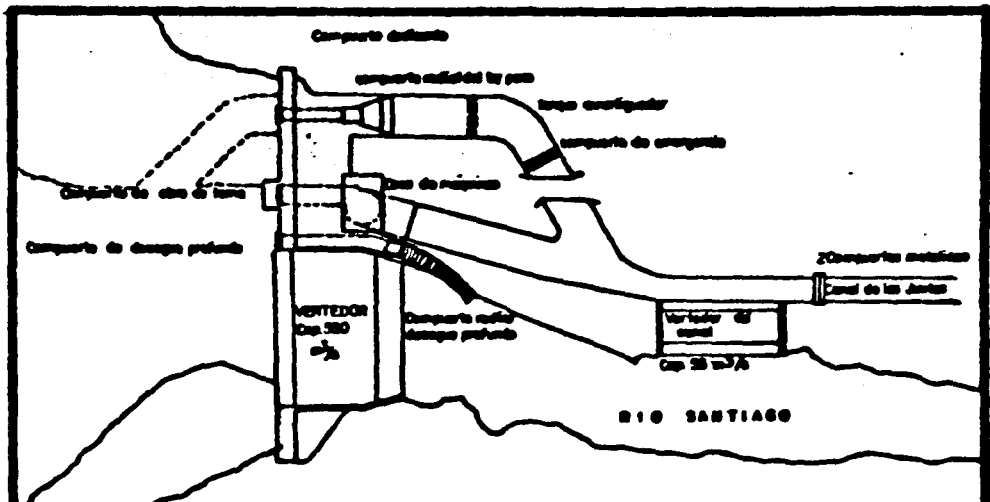
Por el lado del libramiento a Juntas hay una compuerta desliza
nte, e inmediatamente después está la compuerta radial del - -
By-Pass que es la del tanque amortiguador; siguiendo el mismo
curso se llega a otra compuerta también deslizante, que sirve -
para revisión del tanque amortiguador.

En la obra de toma aguas arriba, existe otra compuerta desli -
zante de 4 x 4 mts; junto a ésta hay otra compuerta deslizante -
que es la del desa güe profundo de 2.40 x 2.75 mts; aguas aba
jo vamos a dar a otra compuerta radial que sirve también para -
el desagüe profundo.

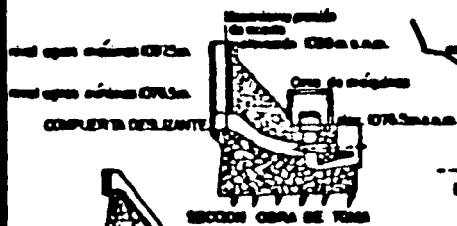
En la parte del canal que alimenta a la Planta Juntas hay 2 com
puertas metálicas con dimensiones de 3 mts. de claro y 4.50
mts. de altura. Fig. 2.2.

La Planta Intermedia está formada por una sola unidad. La tur -
bina es de reacción tipo Kaplan colocada en posición vertical, -
marca Voith con una carga estática de 21.7 mts., siendo su -
gasto de 30 m³/seg. de 7980 H.P., con velocidad nominal de -
257 r.p.m., a una frecuencia de 60 Hz.

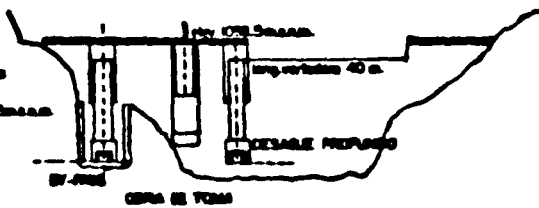
Se cuenta con una bomba centrífuga y una compresora que - -



PLANTA GENERAL



SECCION OBRERA DE TOMA



SECCION OBRERA DE LA PRESA

ELEVACION AGUAS ARRIBA

PRESA

ALMACENAMIENTO	1.350 000 m ³
VOLUMEN APROVECHABLE	600 000 m ³
CADA BRUTA	21.70 m
GASTO MAQUINA	30.00 m ³ /s
VERTEDOR DE REMANOS	280 m ³ /s



SECCION VERTEDORA

CARACTERISTICA DE LAS MAQUINAS

GENERADOR BRUNN-GERM 6650 KVA 3250 HV 4000 V
 TURBINA WATU 1000 H.P. 237 S.P.M.

UNAM

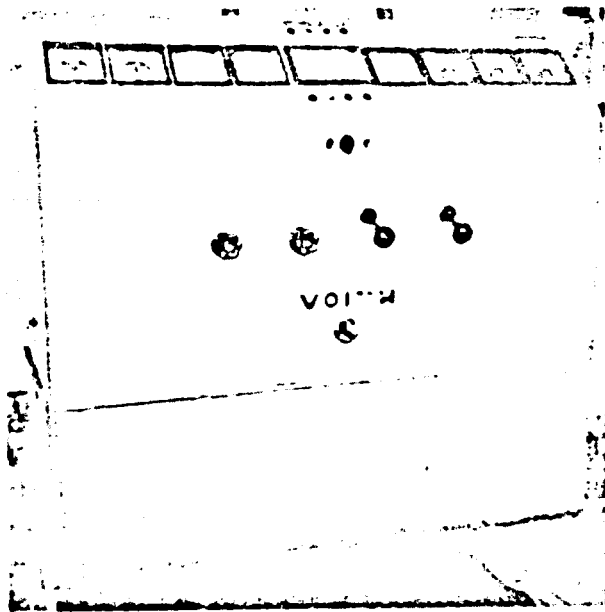
FACULTAD DE INGENIERIA

DATOS HIDRAULICOS, ACOSTACIONES
 Y CARACTERISTICAS DE LAS
 MAQUINAS.

FIG. 2-2 | 1 9 7 3

inyectan aceite y aire a presión a un tanque regulador, éste - alimenta al regulador de velocidad, que siendo del tipo hidráulico necesita aceite o determinada presión, ya que tiene que mover pistones para controlar los álabes de distribución. También el aceite a presión se necesita para todo el sistema de lubricación.

Dicha turbina está controlada por un tablero de operación que - sirve para supervisar el sistema hidráulico como se aprecia en la siguiente fotografía.



Descripción Del Tablero De Control Hidráulico.

- 1.- **Medidor de temperatura de la chumacera gufa inferior**
- 2.- **Medidor de presión de aceite del regulador de velocidad**
- 3.- **Medidor de los grados de apertura del distribuidor**
- 4.- **Medidor de las r.p.m. de la turbina**
- 5.- **Medidor de presión de agua de la tubería de presión**
- 6.- **Medidor de presión de aceite de la chumacera superior del alternador**
- 7.- **Medidor de presión de aceite de la chumacera inferior del alternador**
- 8.- **Medidor de presión de aceite de la chumacera de suspensión**
- 9.- **Diferentes pilotos indicadores**
- 10.- **Control de variador de apertura**
- 11.- **Control de variador de velocidad**
- 12.- **Palanca de preapertura**
- 13.- **Palanca que acciona el freno de la turbina.**

2.3 Sección Eléctrica.-

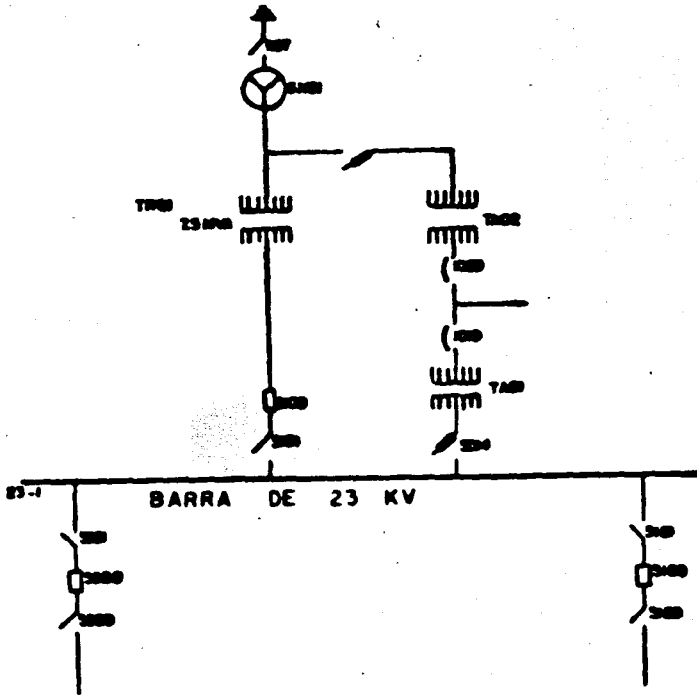
La sección eléctrica cuenta con un generador síncrono trifásico marca Brown-Boveri (Milano), con una capacidad de 6,650 KVA para un servicio continuo a 70°C y 7,350 KVA para 80°C., correspondientes a 960 amp. y 1,060 amp. respectivamente, con un factor de potencia de 0.8, 60 Hz., velocidad nominal de 257 r.p.m., con un voltaje de generación de 4 KV. Su acoplamiento eléctrico es en conexión estrella con 4 terminales, siendo una de ellas el neutro que va a conectarse sólidamente a tierra mediante una cuchilla, para poder conectar el generador a tierra.

En la parte superior de la flecha del generador se encuentra montado el excitador principal marca Brown-Boveri, con un voltaje de excitación de 220 v.c.d., 3.47 amps., con potencia de 62.5 Kw y velocidad nominal de 257 r.p.m.

También se cuenta con un excitador piloto montado en la misma flecha de excitación, de 220 v.c.d., 22.7 amps., potencia de 5 Kw y velocidad nominal de 257 r.p.m.

El generador está conectado a una subestación elevadora de tensión, lo cual cuenta con un transformador marca I.E.M., con capacidad para 7,500 KVA, relación de tensión de 4-23 KV, teniendo una impedancia de 6% a la capacidad de voltaje indicado, con una sobre-elevación de temperatura de 55°C a plena carga continua y a 1,000 nts. s.n.m., siendo sus

INTERMEDIA



LINEA PLANTA LAS JUNTAS
L-5550

LINEA SUBESTACION HUENTITAN
L-580

UNAM	
FACULTAD DE INGENIERIA	
DIAGRAMA UNIFILAR DE LA PLANTA LINEA EL ROJAS.	
FIG. 2-3	1973

conexiones estrella en el lado de baja tensión y delta por el lado del alta tensión.

La conexión delta de este transformador, se lleva a una barra de distribución de 23 KV, de donde parte una línea que va a dar a la subestación de Huentitán; se hace notar que también existe interconexión entre la planta de las Juntas y la subestación de Huentitán, en la misma barra.

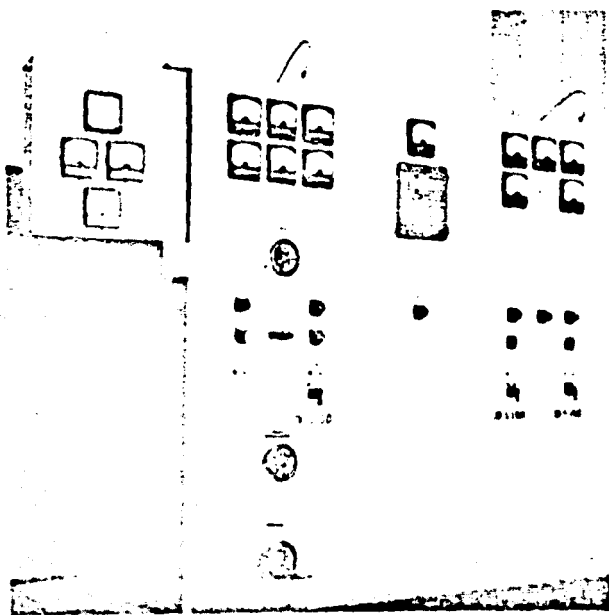
Se cuenta también con una subestación reductora formada por 2 transformadores, uno que es alimentado por el propio generador con capacidad de 112.5 KVA., trifásico, con relación de voltaje 4,000/230V y el otro transformador que se alimenta de la barra de distribución de 23 KV, con relación de voltaje 23,000/230 V, también con una capacidad para 112.5 KVA. Estos transformadores están conectados tanto al generador como a la barra de distribución, por medio de interruptores.

Esta subestación reductora es la que alimenta a todos los servicios propios de la planta como son: La bomba centrífuga de aceite, la compresora, los servomotores de las compuertas, etc.

En la figura 2.3 se presenta el diagrama unifilar simplificado de estas instalaciones y en la figura 2.4 se presenta el mismo diagrama pero con más detalle, incluyendo los instrumentos de medición y protección que se encuentran conectados en cada circuito, identificándolos de acuerdo con el código de números de dispositivos eléctricos de la American Standard Association,

actualmente denominada U.S.A.S.I. (United States American - Standard Institute).

En la sala de máquinas, hay un tablero de control eléctrico en el cual existen los equipos propios de control, equipo de medición y equipo de protección (Fotografía 2.2).



Descripción Del Tablero De Control Eléctrico

a.- Primera sección; Ménsula de sincronización

- 1.- Sincronoscopio
- 2.- Medidor de tensión del generador (Vóltmetro)
- 3.- Medidor de tensión del sistema (Vóltmetro)
- 4.- Medidor de frecuencia del generador (Frecuencímetro)

b.- Segunda sección.

- 1.- Ampérmetro de c.d. del excitador
- 2.- Vóltmetro de c.d. del excitador
- 3.- Wattmetro de c.a. del generador
- 4.- Vóltmetro de c.a. del generador
- 5.- Ampérmetro de c.a. del generador
- 6.- Factorímetro
- 7.- Control del reóstato de campo del generador
- 8.- Control para mover el anillo distribuidor
- 9.- Diferentes pilotos indicadores
- 10.- Interruptor de la quebradora de campo
- 11.- Cierre de interruptor del transformador principal en lado de -
23 KV.
- 12.- Control para variar el reóstato de campo del excitador piloto
- 13.- Control para variar el reóstato de campo del excitador principal.

c.- Tercera sección.

- 1.- Ampérmetro para la corriente total en 23 KV.

2.- **Medidor de temperatura y conmutador de los diferentes termopares colocados en el generador, en la siguiente forma:**

1, 2 y 3 termopares en las bobinas

4, 5 y 6 termopares en el núcleo

7, 8 y 9 termopares en la chumacera de suspensión y chumaceras superior e inferior

3.- **Conmutador de fase para medición de corriente en 23 KV**

d) **Cuarta sección .**

1.- **Ampérmetro de la línea de transmisión que va a la subestación de la Planta las Juntas**

2.- **Wáttmetro de la línea de la planta anterior**

3.- **Ampérmetro de la línea de transmisión que va a la subestación Huentitán**

4.- **Wáttmetro de la línea de transmisión que va a la misma subestación**

5.- **Vóltmetro en la barra de distribución de Intermedia**

6.- **Diferentes pilotos indicadores**

7.- **Conmutador de fase para la corriente en la línea de transmisión que va a Juntas**

8.- **Conmutador de fase para la corriente en la línea de transmisión que va a Huentitán**

9.- **Llave de sincronismo**

10.- **Control de interruptor de la línea de la Subestación de Juntas**

11.- **Control de interruptor de la línea de la subestación Huentitán**

2.4 Algunas consideraciones sobre la operación de una Planta Hidroeléctrica .

Los medios por los cuales una Planta Hidroeléctrica es puesta en operación, son generales para la mayor parte de este tipo de Plantas ya que antes de que se conecte el generador a la línea, se debe seguir una serie de pasos lógicos: Sin embargo, cada planta tiene sus propias características y por consiguiente una secuencia específica .

La operación de una Planta en general consta básicamente de 3 partes y se definen como:

a) Arranque.-

La secuencia de arranque es el conjunto de todos los eventos que se van realizando hasta llevar los generadores a sincronismo

b) Regulación.-

La secuencia de regulación es la que realiza el despacho de carga y mantiene la estabilidad del sistema

c) Paro.-

La secuencia de paro, es aquella que efectúa la detención de la Planta, ya sea con motivo de alguna falla (Paro de emergencia) o por necesidades de mantenimiento preventivo (Paro Normal)

2.5 Secuencia de Operación para el Arranque Manual de la Planta.

Antes de empezar las maniobras del arranque, se tiene que verificar que existan ciertas condiciones previas que son:

- 1).- Que el nivel de agua en la presa sea el adecuado para la generación considerando las condiciones críticas.**
- 2).- Que exista tensión en la subestación de servicios propios, en este caso que están alimentados por el sistema al cual está conectada la Planta, o bien por medio del banco de baterías que se encuentra en la casa de máquinas**
- 3).- Que el motor de la compresora de aire esté funcionando para mantener la presión adecuada en el tanque regulador**
- 4).- Que el motor de la bomba de aceite se encuentre funcionando para mantener la presión y el nivel de aceite en el tanque regulador, dentro del rango de seguridad para la correcta operación del equipo en general**
- 5).- Que la refrigeración y lubricación de las chumaceras se encuentre correctamente**
- 6).- Que los frenos que accionan directamente sobre la turbina se encuentren quitados**
- 7).- Que la quebradora de campo se cierre para mantener la excitación independiente del campo del generador**
- 8).- Que el limitador de apertura se encuentre en la posición de cero MW.**
- 9).- Que el anillo distribuidor se encuentre cerrado.**
- 10).- Que el regulador automático de velocidad de la unidad, se encuentre bloqueado**

ii).- Que el BY-PASS de derivación se encuentre abierto

Una vez verificadas todas y cada una de estas condiciones, es cuando se empieza realmente la operación o secuencia de arranque manual de la Planta

Se procede al arranque del servomotor, que abre la compuerta principal para la admisión de agua en la tubería principal

Una vez accionada la compuerta principal, se procede a cerrar el BY-PASS de derivación

Como el control del anillo distribuidor se hace por medio de aceite a presión, es conveniente que en el tanque de regulación contemos con un nivel y una presión dentro del rango adecuado, y haciendo los cambios necesarios en las válvulas de la tubería de aceite, se procede manualmente a la apertura del anillo distribuidor y al mismo tiempo bloqueamos la influencia del regulador automático de velocidad; una vez abierto el anillo distribuidor y que la posición del limitador de apertura (álabes) está correcta, empezará a rodar la máquina, y al llegar al 85% de la velocidad nominal, se abrirá la quebradora de campo, o sea la excitación queda directamente conectada al generador.

Variando el réostato del campo paralelo del excitador, se va aumentando su tensión hasta 220 Volts c.d., que es el voltaje nominal del excitador; se sigue aumentando la velocidad de la turbina, hasta cercana a la nominal y mediante el réostato de campo del generador, se va aumentando su tensión hasta -

alcanzar los 4 KV que vienen siendo los nominales del generador

Una vez alcanzada la tensión de 4 KV en las terminales de la máquina y siendo ésta la adecuada para la sincronización, se hace la comparación en la ménsula, que contiene un sincronoscopio y unos vóltmetros que nos indican cuando se ha igualado tanto la frecuencia como los voltajes del generador, con respecto al sistema y cuando éstos se encuentran en los rangos de sincronismo se procede a cerrar el interruptor de sincronización.

Cuando la máquina está sincronizada, se empieza a dar carga mediante las siguientes formas:

Abriendo más el anillo distribuidor, o variando la posición del limitador de apertura (álabes).

Cuando tenemos cumplidas las condiciones anteriores, se procede a modificar la posición de las válvulas de la tubería de aceite, que se habfan accionado como se dice en uno de los incisos anteriores, conectando el regulador automático de velocidad y quedando la unidad bajo el control de éste.

2.6 Secuencia de Operación Para El Paro Normal-Manual.

Cuando se desea retirar el generador del sistema, ya sea motivado por alguna causa normal o de emergencia, y esto a su vez requiere el paro de la unidad, se procederá a seguir los siguientes pasos:

- 1).- Se empieza a quitar carga al generador; y cuando la carga en el generador ha desaparecido, se abre el interruptor 52G de interconexión al sistema.
- 2).- Se accionan las válvulas que ponen fuera de servicio al regulador de velocidad.
- 3).- Se sigue cerrando el anillo de distribución y por otro lado también se baja al mínimo la corriente de excitación, cerrando más tarde, el interruptor de campo (quebradora) cuando la máquina esté girando a 218 r.p.m., aproximadamente, quedando conectada la resistencia de descarga del campo.
- 4).- Se termina de cerrar el anillo de distribución completamente
- 5).- Se arranca el servomotor que abre la compuerta de libramiento del canal que va a alimentar a la Planta Juntas.
- 6).- Una vez abierto el BY-PASS de derivación, mandamos el cierre de la compuerta principal.
- 7).- Ponemos los frenos cuando la velocidad de la turbina es aproximadamente del 30% de la nominal.
- 8).- Se para la bomba de inyección de aceite y con esto paramos los auxiliares., quedando así suprimida completamente la operación de todo el equipo existente en la Planta, para el caso de un nuevo arranque.

CAPITULO III

SECUENCIA DE OPERACION AUTOMATICA EN CONDICIONES NORMALES Y ANORMALES DE LA PLANTA HIDROELECTRICA LUIS M. ROJAS.-

3.1 Preliminares.- Las modernas Plantas Generadoras pueden ser -
diseñadas para operar con un control completamente automático -
o bien con un control simplemente manual. El control automáti -
co se refiere a la operación de la Planta sin ningún operador -
presente, el control manual se define como el tipo de operación -
de la Planta que requiere la ayuda de operadores dentro de la -
misma Planta, sin embargo, dentro del control manual también -
puede incluirse algún tipo de operación semi-automático.

Es lógico pensar que el control automático para el arranque y -
paro de las Plantas Hidroeléctricas cubrirá parte o el total de -
los equipos existentes, de acuerdo a su justificación económi -
ca, condiciones del equipo ya existente e importancia de la -
Planta con respecto al sistema interconectado o a la zona en -
que se encuentre dicha Planta.

La complejidad del problema que involucra la planeación para -
un control automático de una Planta Hidroeléctrica se reduce -
considerablemente si el diseño se enfoca directamente hacia -
dos aspectos principales:

- a).- Seguridad
- b).- Secuencia de Operación

Seguridad.- La seguridad que se debe proporcionar a una Planta debe estar dirigida esencialmente hacia el personal de operación y al equipo en alta y baja tensión instalados en la Planta, por otra parte es obvio que las normas de seguridad que se de - ben tomar en cuenta para una Planta Hidroeléctrica son las mis - mas a nivel automático o a nivel manual. La seguridad de ope- ración desde el punto de vista del generador existe, si la co - rriente, el voltaje y la frecuencia están dentro de los límites - mínimo y máximo de operación. La protección de la turbina pue - de ser considerada como un problema puramente mecánico.

Las fallas en las máquinas rotatorias son muy delicadas ya que al ocurrir éstas pueden ocasionar grandes daños y pérdidas, por esto al detectar alguna condición anormal, rápidamente hay que identificarla y aislar el área donde se esté efectuando el pro - blema; cierto es que en algunas condiciones anormales no se - requiere de la desconexión total de la máquina ya que puede - ser corregida mientras permanece en servicio y las proteccio - nes que detectan estas condiciones deberán operar alarmas; - ahora bien, en otras condiciones sí se debe desconectar inme - diatamente la máquina.

En todos los casos es muy importante determinar el tipo y gra - do de protección en relación con la importancia del equipo y - riesgo de ocurrir una falla no prevista.

Las chumaceras del generador y la turbina se protegen por -

medio de detectores térmicos y además por relevadores de sobrelvelocidad, proporcionando protección adicional a la turbina. Todos estos detectores se conectan de varias formas en los circuitos definiendo en cada caso su justificación e importancia.

Secuencia de Operación.- Los medios por los cuales una Planta Hidroeléctrica es puesta en operación son comunes para la mayor parte de este tipo de centrales ya que hay características fundamentales que se encuentran en diversos tipos de Plantas, esto no es sorprendente puesto que una secuencia estricta de eventos deben cumplirse antes de que el generador pueda ser conectado al sistema, sin embargo, cada Planta tiene sus problemas inherentes y/o su secuencia específica.

La primera aproximación a la solución del problema, es proporcionar una lista de las operaciones que se han de realizar en forma secuencial para lograr el completo funcionamiento de la Planta. Es aquí donde se presentan y estudian las diferentes alternativas de automatización para la Planta específica en cuestión.

La secuencia de operación automática también consta básicamente de tres partes principales que son:

- 1.- Arranque
- 2.- Regulación
- 3.- Paro

Estas secuencias las analizaremos brevemente para un mejor entendimiento del presente estudio.

3.2 Secuencia de Arranque Automático.- Definimos Secuencia de arranque como el conjunto de todos los pasos lógicos que deben cumplirse para llevar a sincronismo al generador.

Para la secuencia de arranque se tendrán dos posibilidades de iniciarla, una por mando local que puede ser manual o automática y la otra por mando remoto que será exclusivamente automática.

Aunque el motivo del presente estudio es una operación automática a nivel de Planta, se tomará en cuenta la posibilidad de que dicha operación automática sea a nivel central, efectuándose la puesta en marcha de la Planta a control remoto.

El control remoto podría elegirse tomando en cuenta las siguientes posibilidades: Considerando que la Planta se encuentra en las inmediaciones de Guadalajara, Jal., pudiera emplearse el sistema de control con señal directa por medio de cables. Se podrá considerar que se requiere tender una línea aprovechando las estructuras de la actual línea de transmisión de 23 KV., ahora bien esto tiene como desventaja los disturbios que se presentan en el cable para control, debido a las fallas que pudieran tenerse en la línea de transmisión, ya que es muy probable que el aislamiento del cable de control falle debido a las tensiones inducidas en forma permanente o por sobrecorrientes de ciertas-

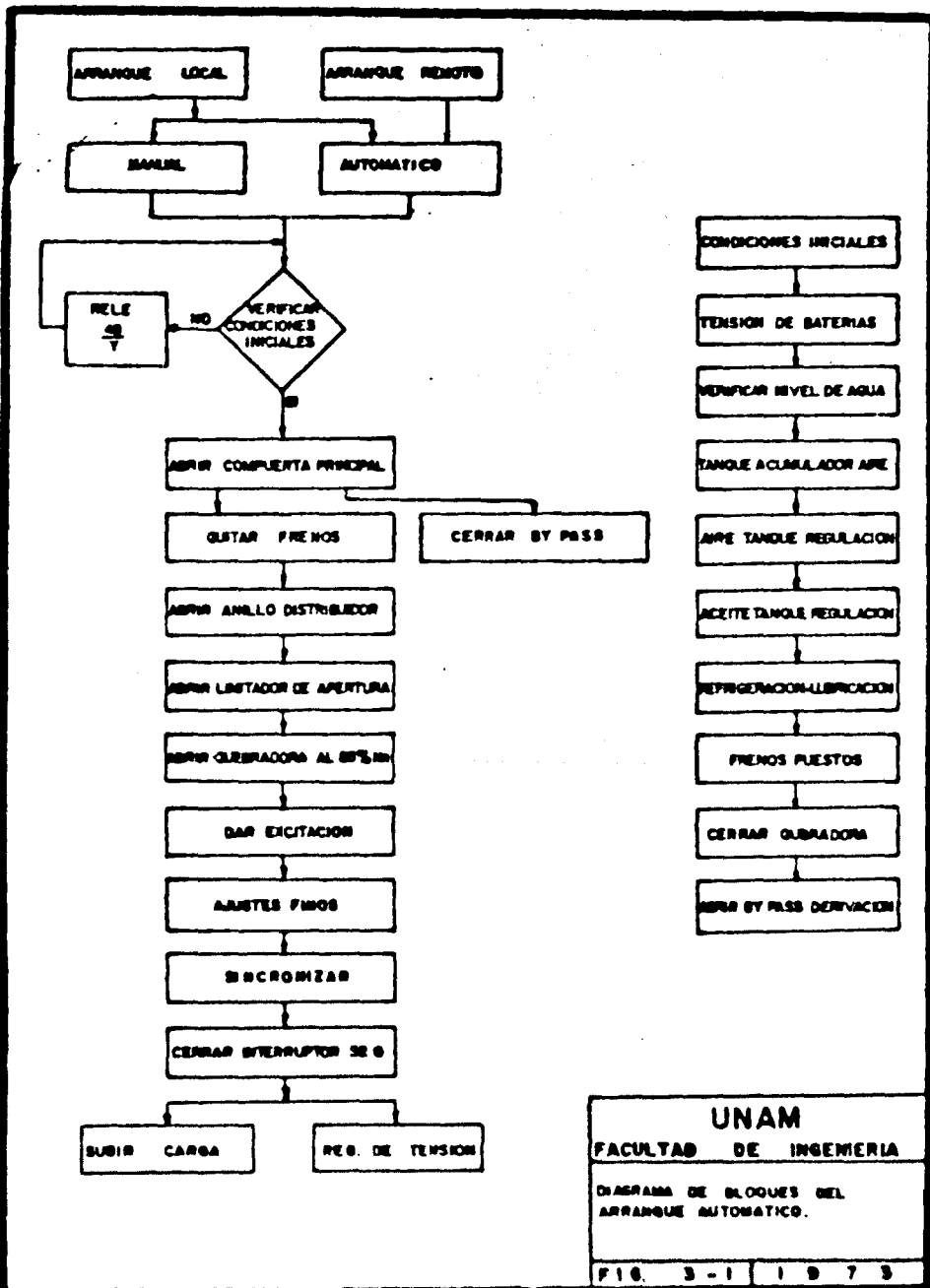
fallas en el circuito de potencia.

La segunda posibilidad para el mando por control remoto, es por medio de equipos de radio, ya sea en frecuencia modulada, - UHF o microondas; con esto no será necesario tender ninguna - línea de cables ya que las señales se envían y se reciben en antenas localizadas en el centro de mando y en la Planta, sólo que daría por determinarse si las señales de control por medio de - este sistema serían satisfactoriamente enviadas y recibidas en - ambos extremos.

Como tercera posibilidad está el usar equipo de onda portadora "carrier", su ventaja es enviar de un extremo a otro señales de alta frecuencia aprovechando las líneas de transmisión que las unen, aunque generalmente se requerirá adquirir equipo - adicional para la comunicación.

Ahora bien, dada la orden de arranque ya sea a nivel Planta o a nivel central, la condición para iniciar el arranque, es que no exista alguna señal de paro. Teniendo la seguridad de que existe la condición anterior, se tendrá que verificar que todas las condiciones iniciales estén en posición de poder realmente empezar la secuencia de arranque de la Planta.

La secuencia que se requiere para el arranque automático de la Planta se presenta por medio del diagrama de bloque ilustrado en la figura No. (3-1).



UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA
 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL
 ARRANQUE AUTOMATICO.
 FIG. 3-1 1 9 7 3

3.3. Regulación Automática.- Ahora bien, una vez que se ha logrado el sincronismo y accionado el cierre del interruptor del generador (82G), se requiere de lo siguiente :

- 1º. El Relevador de sincronismo automático, debe ser puesto fuera de servicio.
- 2º. El Regulador de tensión puede ser desconectado si el generador es relativamente pequeño en comparación con el costo del sistema, para estas condiciones el generador se podrá operar con una excitación fija predeterminada, después de que se ha establecido la sincronización.

Para el caso del presente estudio, el regulador de tensión lo mantendremos en el sistema, ya que dependiendo de la secuencia de regulación, mantendremos la estabilidad del sistema y realizaremos el despacho de carga.

3.4. Secuencia del Paro Automático.- Esta secuencia es aquella que efectúa la detención de la Planta, ya sea con motivo de alguna falla o por acción manual o automática.

Es conveniente hacer notar la diferencia que existe entre el paro local o remoto y por protecciones, ya que en cada uno de estos casos las operaciones que se han de efectuar para llevar a un paro a la unidad son diferentes.

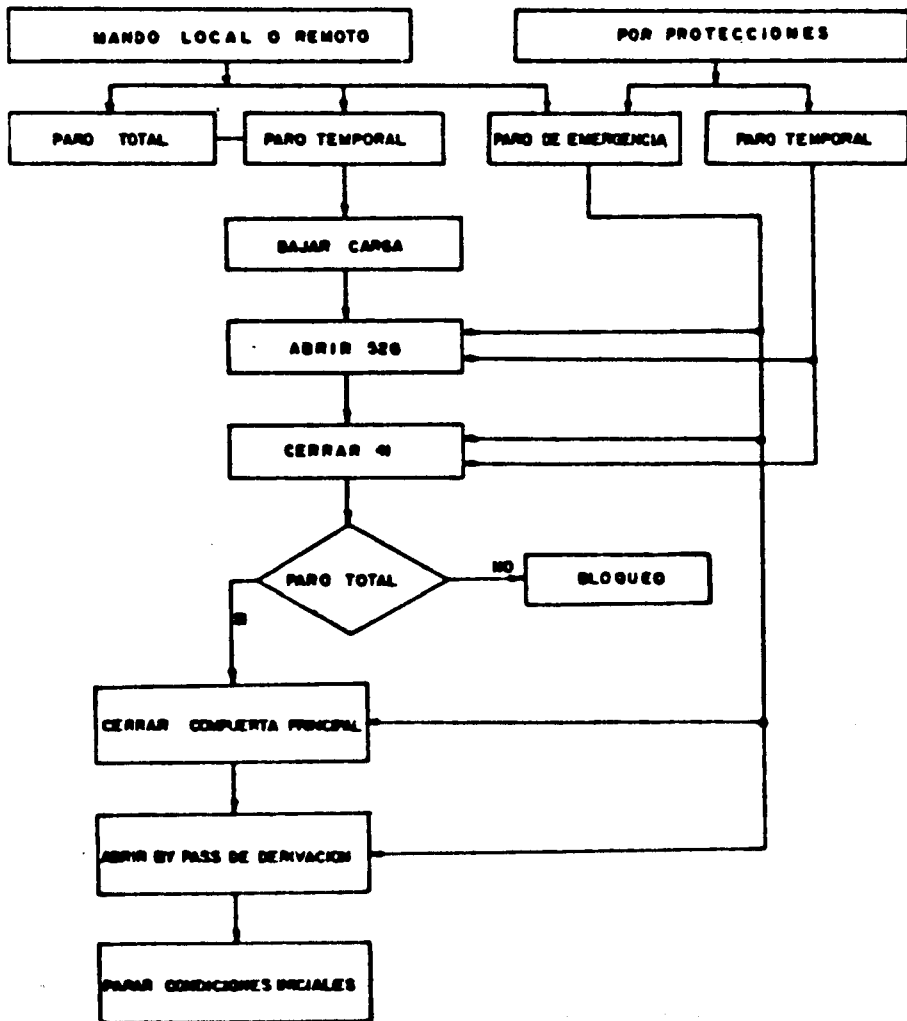
Existen tres alternativas de paro que son: paro total, paro temporal y paro de emergencia, éstos pueden recibir la orden de

paro local o remoto. Otra alternativa es el paro por protecciones, pero éste únicamente puede tener la opción de un paro de emergencia o temporal, según se ilustra en la figura (3 - 2).

Primeramente Analizaremos el Paro Temporal; la primera maniobra para este tipo de paro será la de bajar carga, después abrir el interruptor del generador (52G), luego cerrar la quebradora de campo (41G), y por último la señal manda bloquear dicho paro, reponiendo el relé 5/TEM, y dejando el sistema preparado para un rearranque. En caso que sea la operación por protecciones, se aplicarán simultáneamente la orden de abrir el interruptor del generador, cerrar la quebradora de campo, y finalmente llegará a un punto en el que se bloquea el paro.

El Paro Total consiste en que una vez cumplida la secuencia del paro temporal por orden local o remota, continúa con el cierre de la compuerta principal e inmediatamente abre el BY-PASS de derivación. Después de que la compuerta principal ha cerrado más del 70% y cuando ha transcurrido el tiempo ajustado al relevador temporizador, se suprime la operación de las condiciones iniciales quedando en reposo toda la planta.

Por último el Paro de Emergencia, que puede ser accionado en forma local o remota o bien por protecciones; en este caso se aplican órdenes simultáneas para abrir el interruptor del generador (52G), cerrar quebradora de campo 41G, cerrar compuerta



UNAM
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL
 PARO AUTOMATICO
 FIG 3-2 | 1973

principal, y por último abrir el BY-PASS de derivación, ahora -
bien cuando la compuerta principal ha cerrado un 70% o más, -
trabaja un relevador auxiliar (48/Aux), como en el caso del -
paro total, suspendiendo la operación de las condiciones ini -
ciales (Aux).

3.5 Operación Automática del Arranque.

Primeramente se considerará el caso en que la unidad y las -
condiciones iniciales (Aux), se encuentran sin funcionar, se
dispone de las fuentes de C.D y C.A. y el dispositivo de trans
ferencia o selector 43/AR, está en posición de automático.

Los elementos y dispositivos que se mencionan en los diagra
mas de arranque y paro, están identificados de acuerdo con el
código del Comité Consultivo Nacional de Normalización de la
Industria Eléctrica (CCONNIE).

Haciendo referencia al diagrama (3-3), la señal de arranque es
tá dada por el elemento maestro 1, de contacto momentáneo, -
normalmente abierto, o por una señal remota de un centro de -
control; primeramente se energiza el relevador de secuencia in -
completa 48/Y que a la vez se sella con su propio contacto -
48/Y, empezando a contar el tiempo dado para que se preparen
las condiciones iniciales (Aux) de la planta, simultáneamente
se energiza el relevador 42 contactor maestro, auxiliar de arran
que que se sella con su contacto 42, y con el selector 43-1/AR
cerrado, completan el circuito que ponen a funcionar parte de-

las condiciones iniciales (Aux).

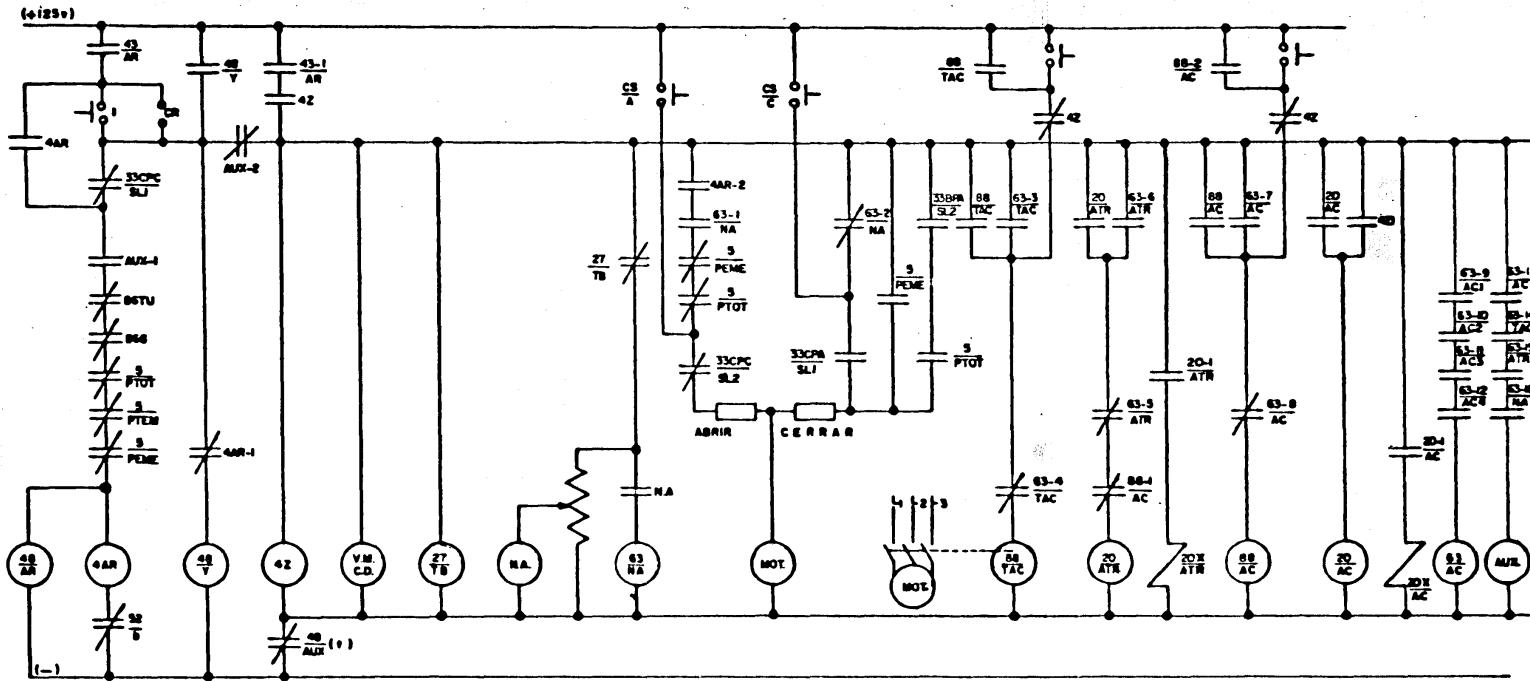
Analizaremos una secuencia completa de las condiciones iniciales empezando por:

Tensión de Baterías.- Debemos disponer como medida de seguridad, de más de una fuente de alimentación para los servicios propios; para el caso de esta Planta se tiene una subestación reductora para estos servicios, la cual está conectada por un lado al Bus de 23KV, y por otro lado al generador para el caso de que éste esté funcionando.

Los servicios propios se pueden alimentar mediante otro transformador reductor, tal como se puede apreciar en los diagramas unifilares (2 - 3) y (2 - 4).

Además disponemos de un banco de baterías, que está provisto de un cargador automático y protegido debidamente, ya que de esa forma aumentamos la confiabilidad de la Planta.

La tensión de baterías se verificará mediante un voltmetro de C.D., donde se leerá de inmediato el valor de la tensión existente; en caso de que la tensión descienda de un valor estipulado, se energizará el relevador 27/TB (Relé de bajo voltaje) abriendo su propio contacto 27/TB y suprimiendo el proceso de verificación de las condiciones iniciales mientras se restablece de nuevo la tensión estipulada. Si por el contrario la tensión es la pedida, el relevador 27/TB no acciona y su sello sigue



RELEVADOR MAESTRO DE ARRANQUE RELEVADOR TEMPORALIZADOR DE CONDICIONES INICIALES TENSION DE BATERIAS NIVEL DE AGUA COMPUERTA PRINCIPAL TANQUE ACUMULADOR DE AIRE DE LA COMPRESORA AIRE TANQUE DE REGULACION REFRIGERACION Y LUBRICACION POR ACEITE VERIFICACION DE COND. INICIALES

UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA
 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE RELEVADORES DE ARRANQUE Y CONDICIONES INICIALES.
 FIG. 3-3 1 9 7 3

cerrado. A continuación pasamos a la verificación del nivel de agua.

Nivel de Agua..- Básicamente antes de iniciar la secuencia de arranque debemos estar seguros de tener agua en suficiente cantidad en la presa, esto se puede verificar mediante un detector de nivel de agua. Una vez verificada la tensión de baterías y comprobado que el nivel de agua sea el adecuado para generar, se cerrará el contacto (N.A), interruptor límite ajustado para el mínimo nivel, y se energizará el relevador 63/NA que manda cerrar los contactos 63-1/NA, 63-17/NA, simultáneamente abre el contacto 63-2/NA, dejando preparada la compuerta principal, la cual accionará cuando se energice el relevador 4AR de arranque; cumplida esta condición se iniciará la apertura de la compuerta y al llegar a dicha posición se abrirá el contacto SW límite 33CPC/SL2 manteniendo abierta la compuerta principal de alimentación (obra de toma).

Cuando la compuerta se encuentra en dicha posición, simultáneamente se cierra el contacto SW. límite 33CPA/SL1, dejando preparado el servomotor para el cierre de la compuerta principal, ya sea por bajo nivel de agua o por causa de alguna señal de paro.

Tanque Acumulador de Aire de la Compresora (TAC).

Este dispositivo arrancará por el contacto 63-3/TAC que cierra si la presión en el tanque es menor de 12 kg/cm^2

si éste es el caso energizará el arrancador 88/TAC, del compresor, éste se sella con su propio contacto 88/TAC., y cuando alcanza la presión superior de 15 kg/cm^2 separa ya que en ese momento se abre el contacto de presión 63 - 4/TAC, con lo que suelta el sello del arrancador. Esta operación se repite constantemente y en esta forma se mantiene el aire en un rango adecuado de presiones para su utilización.

Aire en el Tanque de Regulación (ATR).- El proceso es el siguiente: del tanque acumulador, el aire pasa al tanque de regulación con la operación de la electroválvula 20X/ATR, o sea cuando la presión en el tanque de regulación es menor de 17 kg/cm^2 se cierra el contacto 63 - 6/ATR y se energiza el relevador 20/ATR, sellándose con su contacto 20/ATR y energizando la electroválvula 20X/ATR por medio del contacto 20 - 1/ATR con lo que se repone la presión en el tanque. Cuando la presión es mayor de 8.5 kg/cm^2 , se abre el contacto 63 - 5/ATR desenergizando el relevador 20/ATR y soltando su sello 20/ATR, volviendo a operar el contacto 88 - 1/AC, cuando la presión baja de (7 kg/cm^2), bloqueando así la operación del relevador 20/ATR, si es que en ese momento se está reponiendo el nivel de aceite en el tanque de regulación.

Nivel de Aceite en el Tanque de Regulación (AC).- El nivel del aceite en el tanque de regulación, se mantiene con la operación de la bomba que opera por medio del arrancador 88/AC;

éste a su vez es operado por el contacto 63 - 7/AC que se cierra cuando el nivel baja al mínimo sellando con su contacto 88/AC para parar la bomba, se abre el contacto 63 - 8/AC, cuando el nivel en el tanque es máximo; este ciclo se está repitiendo en la operación normal de la Planta. La bomba también puede ser operada manualmente cuando no se tiene control automático y se hace mediante los botones que se encuentran indicados en el diagrama.

Refrigeración y Lubricación por medio de Aceite.- Cuando se energizó el relevador 4Z, mandó mediante un contacto 4Z-energizar el relevador 20/AC, sellándose con su propio contacto 20/AC y cerrando otro contacto 20 - 1/AC, que opera la electroválvula 20X/AC. Una vez abierta ésta y cuando las chumaceras tienen la circulación de aceite adecuada, entonces se cierran los contactos de flujo 63 - 9/AC1, 63 - 10/AC2, 63 - 11/AC3, 63 - 12/AC4, que a su vez energizan el relevador 63/AC; esta operación indica que la refrigeración y lubricación están completas.

Frenos.- Para accionar los frenos, o sea para energizar el relevador (FRE), se deben tener las siguientes condiciones:

El contacto de arranque 4AR3 cerrado, el 52/b cerrado ya que el interruptor del generador 52G está abierto, y por último cuando se inició el tiempo de verificar las condiciones iniciales se cerró el 48/Y; cumplidas estas condiciones -

mencionadas anteriormente, el relevador (FRE) cierra el contacto F - 1 y abre el F - 2 y en esa forma pone los frenos.

Una vez cumplidas las condiciones iniciales, se energiza el relevador 4AR de arranque abriendo por un lado el contacto 4AR - 1 en el circuito del temporizador de condiciones iniciales, que a su vez repone el relevador 48/Y abriéndose el contacto 48/Y en el circuito de frenado, desenergizando el relevador (FRE) y mandando quitar frenos, quedando de esta manera preparado el sistema para accionar los frenos (poner) en caso de algún tipo de paro.

Ahora bien si se tiene presión de aire en el tanque acumulador y éste es mayor de 12 kg/cm^2 , estará cerrado el contacto 63 - 14/TAC; igualmente si la presión en el tanque de regulación es mayor de su valor máximo, el contacto 63 - 15ATR estará cerrado. Con las verificaciones anteriores de buen nivel de agua y correcta lubricación y refrigeración, estarán cerrados los contactos 63 - 16/NA, 63 - 13/AC respectivamente estas 4 condiciones hacen operar al relevador Aux., que cierra su contacto Aux - 1 en el Relé maestro de arranque y abre el Aux - 2 ocasionando que la orden de arranque se aplique ahora al relevador 4AR, pasando por los siguientes contactos: por el selloe del 48/Y, el 33CPS/SLI, cerrado ya que la compuerta principal se encuentra cerrada, el Aux - 1, 86TU y 86G, cerrados, y por no haber -

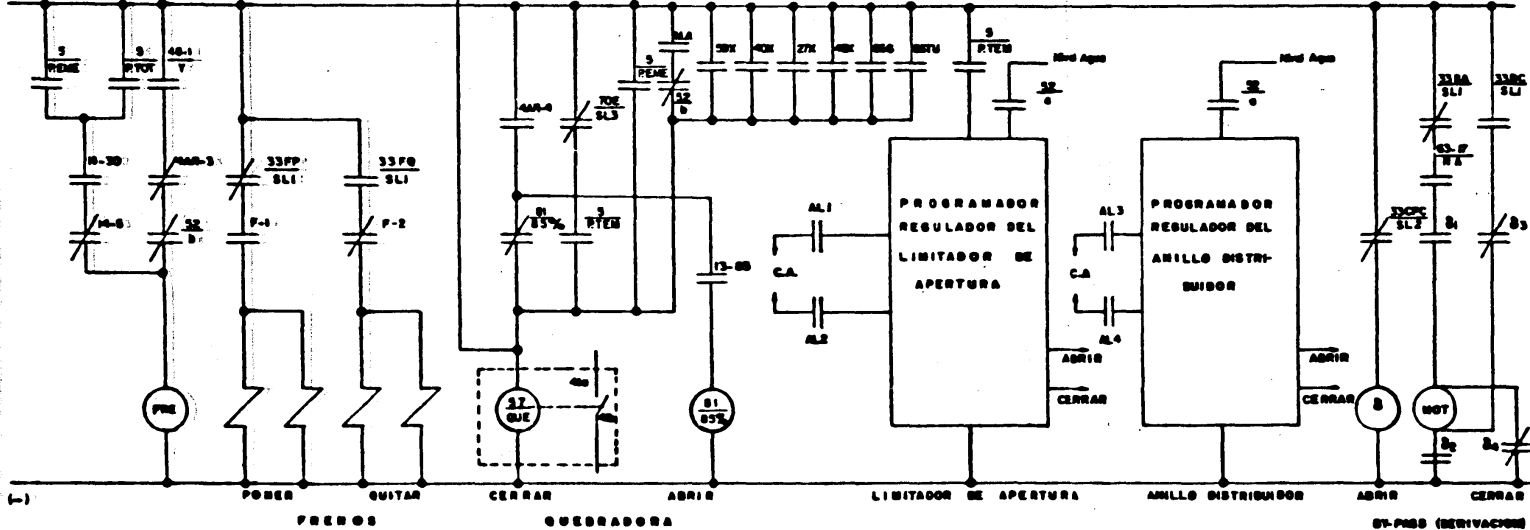
orden de paro de la planta, cerrados el 5/PTOT, 5/PTEM - y 5/PEME; el 52/b también cerrado ya que el interruptor del generador está abierto.

Esto ocasiona que se energice el relevador principal de arranque 4AR y a la vez se energiza el 48/AR, temporizador que supervisa el tiempo que duran las maniobras de arranque; cuando operó el relevador Aux, abrió el contacto Aux - 2 que separa eléctricamente el circuito del relevador de arranque 4AR, y de los circuitos de condiciones iniciales; en ese momento se desenergiza el relevador 48/Y que suelta su propio sello, por lo que por un lado se tiene al relevador 4AR energizado y sellado para continuar con la secuencia de arranque, y por otro lado se tienen las condiciones iniciales operando con el relevador 4Z que se encuentra sellado, permaneciendo en esas condiciones mientras la unidad esté trabajando.

Quebradora de Campo.- Para las condiciones iniciales de arranque, la quebradora de campo se lleva a la posición de cierre, es decir, el campo del generador se pone en corto circuito y esto se logra a través de los contactos 4AR - 4 y 81/85%, que energizan el relevador 57/QUE (ver diagrama 3 - 4). Ahora bien, cuando la velocidad de la turbina adquiere un 85% de su velocidad nominal, se cierra el contacto 13 - 85 energizando el relevador 81/85% y mandando abrir el contacto 81/85%, suprimiendo así la orden al relevador

(4125v)

(4125v)



UNAM
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DIAGRAMA DE ALEVADORES
 DEL CONTROL HIDRAULICO.

57/QUE, el cual acciona la quebradora abriéndola, o sea que conecta la excitación al campo del generador, que dando exclusivamente la orden de cerrar la quebradora del campo mediante la señal de un paro, ya sea de emergencia o temporal, o bien por alguna protección eléctrica como se puede apreciar en los diagramas (3 - 9) y (3 - 4). Las manobras descritas anteriormente también se podrán realizar manualmente como analizaremos más adelante.

Anillo Distribuidos.- Las maniobras del anillo distribuidor serán efectuadas por el programador regulador, aparato que operará exclusivamente en función del nivel de agua; dicho aparato lo analizaremos con mayor detalle posteriormente.

Limitador de Apertura.- Como el limitador de apertura actúa también en función del nivel de agua y de la potencia requerida; su estudio lo atacaremos simultáneamente cuando analicemos el funcionamiento del anillo distribuidor.

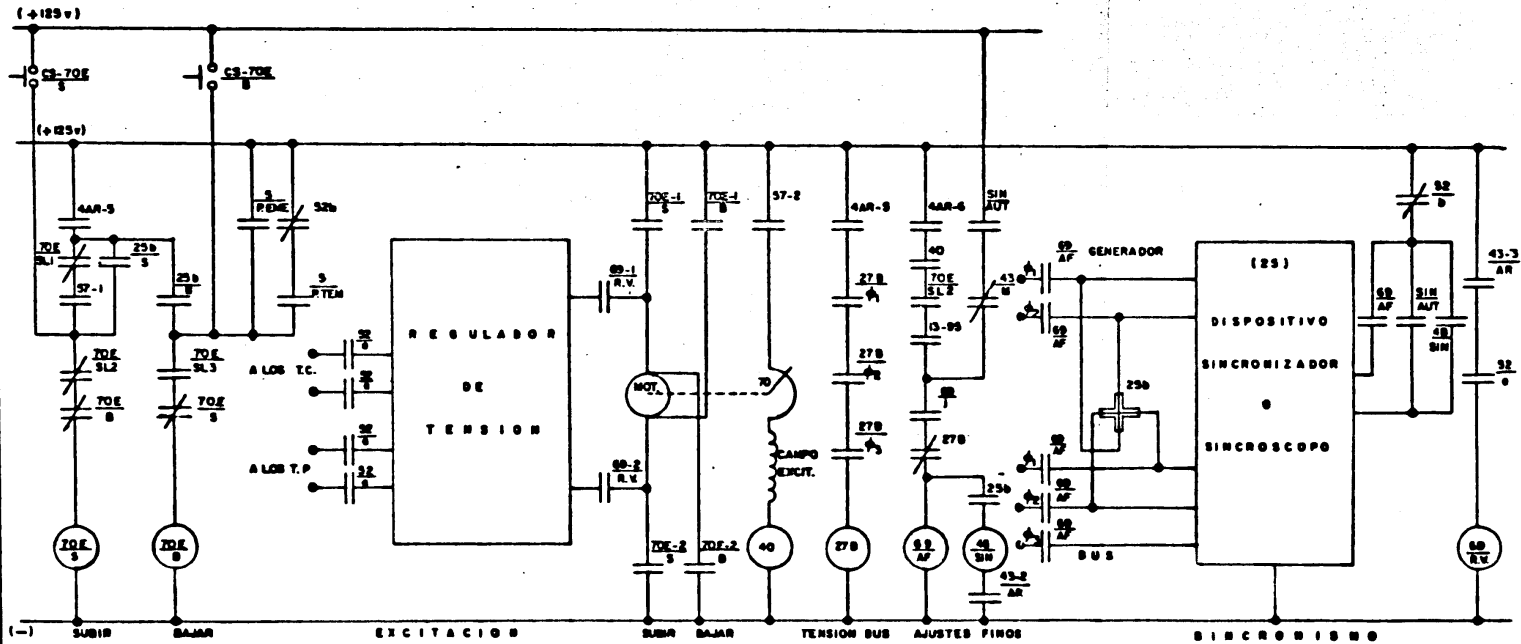
BY-PASS De Derivación.- Igualmente verificaremos en las condiciones iniciales, que el BY-PASS de derivación se encuentre abierto ya que la alimentación a Juntas se logra mediante dicho BY-PASS y como la compuerta principal se encuentra cerrada, el SW límite 33CPC/SL2

estará cerrado ocasionando que el relevador (8) esté energizado y mantenga cerrados los contactos (δ_1) y (δ_2) el contacto 63 - 17/NA se encuentra cerrado cuando el nivel de agua sea el adecuado para generar, en caso contrario el contacto 63 - 17/NA se abre y no podremos accionar el BY-PASS de derivación.

El cierre se efectuará mediante la apertura de la compuerta principal a travez del SW límite 3CPC/SL2 que desenergizará el relevador (8), efectuándose las maniobras de cierre.

Excitación.- Cuando la quebradora de campo se abre, manda cerrar un contacto 57 - 1, que cierra el circuito energizando el relevador 70E/S, éste a su vez cierra los contactos 70E1/S y 70E -2/S, accionando el motor que varía el réstato de campo del excitador y cuando la tensión en las terminales de la máquina es la nominal se abre el contacto 70E/SL1 suprimiendo la orden de subir excitación, al abrirse este contacto se cierra el 70E/SL3 quedando preparado el circuito de excitación para ajustes finos, según se puede apreciar en el diagrama (3 - 5).

Ajustes Finos.- Cumplidas las condiciones anteriores entra en acción el relevador de sincronización para efectuar los ajustes finos de velocidad y tensión como se puede



UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA
 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE
 EXCITACION, AJUSTES FINOS
 Y SINCRONIZACION.
 FIG. 3-5 1 0 7 3

apreciar en el diagrama (3 - 5). Primeramente tendremos cerrado el contacto 4AR - 6 de arranque y cuando la excitación es la adecuada, acciona el relevador de campo 40 que cierra su contacto 40; cuando la velocidad y el voltaje son cercanos al 95% del nominal se cierran los contactos 13 - 95 y 70E/SL2, si el Bus está energizado por el lado de la Planta Juntas el contacto 69/J estará cerrado; cuando no se tiene tensión en el Bus de 23 KV se cierran los contactos $27/\phi_1$, $27/\phi_2$, y $27/\phi_3$, energizando el relevador 27B, el cual abrirá el contacto 27B en el circuito de ajustes finos, impidiendo que se efectúen éstos, por otro lado se suprime la secuencia de arranque por medio de una orden de paro temporal.

Teniendo las condiciones que se mencionaron anteriormente, se energiza el relevador 69/AF cuya función es conectar las señales del generador al relevador 25B, teniendo como referencia las señales del Bus.

Sincronización.- Una vez que se tienen cerrados todos los contactos 69/AF tendremos las señales de tensión del generador y del Bus de 23 KV en los relevadores 25b y 25. El relevador 25b compara las magnitudes de las respectivas señales entre las fases 1 y 2 ya que si es necesario bajar o subir tensión en el generador para igualar la tensión del bus, entonces se cierra el contacto 25b/b (bajar) o el 25b/s (subir) que accionan

directamente en el circuito de excitación; cuando los valores de tensión están dentro de la tolerancia ajustada se cierra el contacto 25b que energiza el temporizador 48/SIN.

Después de analizar los circuitos de corriente alterna del sincronizador, vamos a ver como se debe completar el circuito de corriente directa para que la señal de cierre pueda ser aplicada al interruptor (52G): primero se debe tener el interruptor abierto para que esté cerrado el contacto 52/b, por otro lado ya energizado el relevador 48/SIN, se cierra momentáneamente el contacto 48/SIN que se tiene en el circuito de sincronización, mandando energizar una serie de relevadores que accionarán el cierre del interruptor (52G).

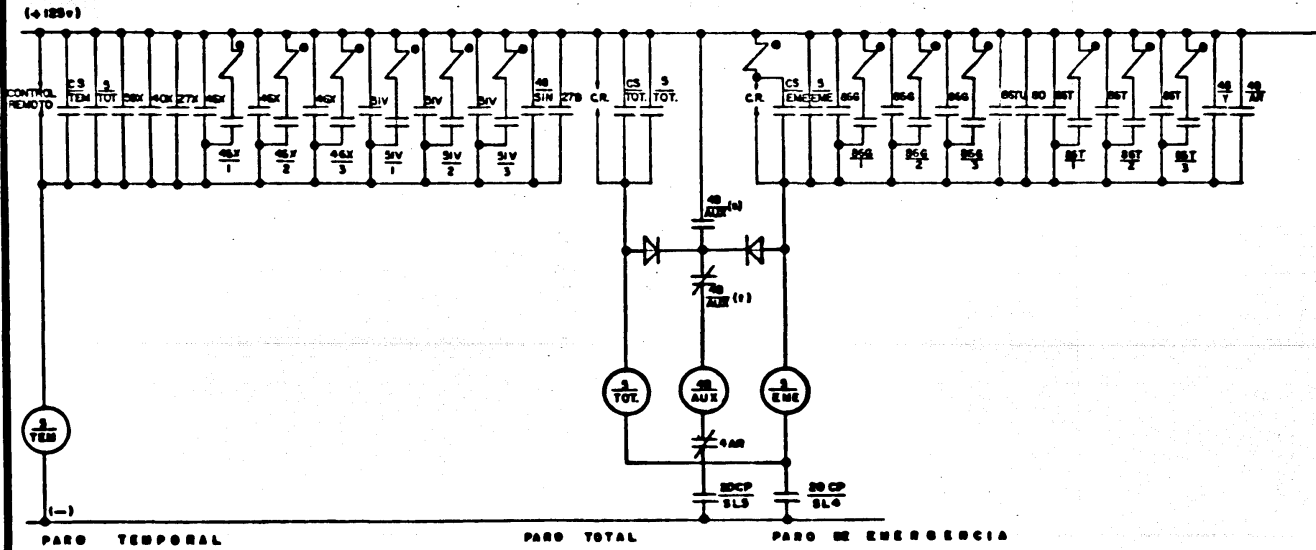
En el caso de una apertura inmediata del interruptor en el momento de ser sincronizado, no puede quedar duplicada la orden de sincronización porque el relevador 48/SIN sólo cierra el contacto para sincronización un instante y luego se abre.

Cuando el interruptor del generador se cierra, es decir que el sincronizador automático ya actuó, suceden varias situaciones en el control de arranque según se puede apreciar en el diagrama (3 - 3).

- 1).- El relevador 4AR de arranque se desenergiza al abrirse el 52/b.

perdiendo a la vez su sello, con esto también el relevador -
48/AR temporizador del arranque, deja de operar.

- 2).- En base a lo mencionado anteriormente, se puede apreciar en -
el diagrama (3 - 4) que en el control de la quebradora de camp
o se abrirá el contacto 4AR - 3, reponiéndose el relevador -
81/85% y de este modo la quebradora o sea el relevador 57/QUE,
quedará listo para recibir la señal de actuar en caso de algún -
tipo de paro.
- 3).- Al desenergizarse el relevador 4AR por cierre del interruptor -
(52G), abrirá el contacto 4AR - 5 en el circuito de excitación-
del diagrama (3 - 5), suprimiendo alguna posible señal de su
bir o bajar excitación; simultáneamente por otro lado, se energ
iza el relevador 69/RV que pone en servicio el regulador autom
ático de tensión; igualmente se observa en el mismo diagrama
que cesa la orden de operación en el equipo de sincronización
por la apertura del contacto 4AR - 6 reponiendo los relevador -
res 69/AF y 48/SIN. Al cerrarse el interruptor (52G) se comp
leta la secuencia de arranque de la Planta, desenergizándose-
todos los relevadores de los circuitos de control, quedando en-
operación sólo las condiciones iniciales debido al relevad
or 4Z que permanece sellado por su propio contacto, así que -
cada vez que se requiera reponer aire o aceite en el tanque reg
ulador, se operan automáticamente por acción de los contact -
os SW límites.



UNAM
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DIAGRAMA ESQUEMATICO
 DE RELEVADORES DE LOS
 DIFERENTES TIPOS DE PARO
 FIG. 3-6 | 1 8 7 3

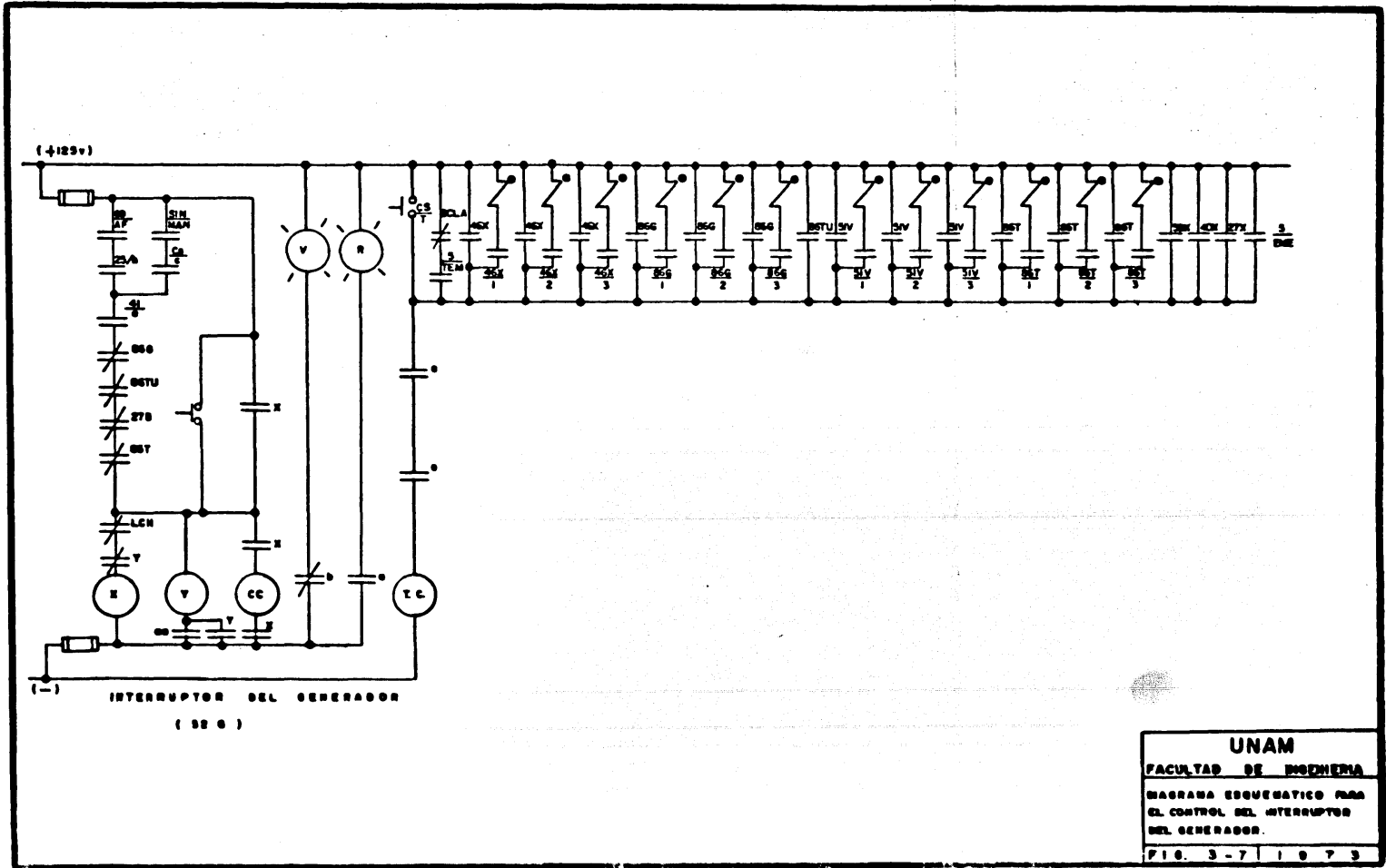
3.6

Operación Automática del Paro.-

Los posibles paros que se realicen ya sea mecánicos o eléctricos, se ilustran en los diagramas (3 - 8) y (3 - 9) respectivamente. Por otro lado el diagrama (3 - 6) nos muestra la operación de los relevadores de paro y nos indica el tipo de paro que se realizará, pudiendo ser estos: De emergencia, temporal o total. Cada una de las condiciones de paro mencionadas anteriormente, las analizaremos siguiendo paso a paso la secuencia necesaria para llevar a la unidad a las condiciones requeridas; para mejor ilustración ver diagrama (3 - 2).

Paro de Emergencia.- La orden del paro de emergencia queda señalada con un relevador auxiliar de bandera que indica la procedencia de la orden, energizando el relevador 5/EME por medio del contacto 20CP/SL4 que se encuentra cerrado ya que la compuerta principal está abierta y sellándose con su contacto 5/EME. El paro de emergencia tiene la característica de que simultáneamente se realizan las siguientes maniobras (ver diagrama 3 - 2):

a).- Apertura del interruptor (52G) con un contacto 5/EME - (ver diagrama 3 - 7). Al quedar el (52G) abierto, uno de sus contactos auxiliares tipo b, opera el limitador de apertura de bajar carga al mínimo; aunque ya esté el interruptor abierto, tiene la función de regresar el control de carga a la posición inicial.



UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA
DIAGRAMA ESQUEMATICO PARA
EL CONTROL DEL INTERRUPTOR
DEL GENERADOR.
FIG. 3-7 1 0 7 3

- b).- Se cierra la quebradora de campo (41G), o sea, se pone en corto circuito el campo del generador por acción del contacto 5/EME (ver diagrama esquemático 3 - 4).
- c).- Una vez abierto el interruptor (52G), el regulador de tensión queda desconectado por la acción de los contactos - 52/A y 69/RV y en seguida se procede a bajar la excitación al mínimo ya que el contacto 5/EME, energiza directamente al relevador 70E/B.
- d).- Se procede a cerrar la compuerta principal por medio del contacto 5/EME, que se encuentra en el circuito del diagrama (3 - 3).
- e).- Una vez cerrada la compuerta principal, se energizará el relevador (8) que accionará el motor del BY-PASS de derivación, mandando la orden de apertura; cuando ésta queda totalmente abierta se cancela la orden de paro de emergencia por medio de la apertura del contacto 20CP/SL4 según diagrama de relevadores de paro (3 - 6). Como se verá también en el caso de paro total, el relevador temporizador 48/aux se energiza cuando se tenga más del 70% del cierre de la compuerta principal, empezando a contar el tiempo de ajuste desde ese momento para cortar la alimentación de las condiciones iniciales de la planta.

Quando se trata de un paro de emergencia operado por alguna protección; la descripción es la misma que en el -

caso anterior, únicamente que en este caso operan los disparos en el interruptor del generador (52G), y en la quebradora de campo (41G), con los mismos relevadores de protección.

Paro Temporal.- Si por alguna razón se desea sacar la planta de operación, lo podemos hacer por la alternativa de una orden local o remota, indicando la señal de un paro temporal.

Cuando la señal ha sido dada, se energiza el relevador 5/TEM y empieza la orden de bajar carga al generador por medio del limitador de apertura; una vez cumplida la condición anterior, completamos el circuito de apertura del interruptor del generador (52G), por medio del contacto (BCLA). Al abrirse el interruptor, se manda bajar excitación por medio de los contactos 52/b y el 5/TEM que energiza el relevador 70E/B; cuando tenemos la excitación mínima, se abre el contacto 70E/SL3 y cierra el 70E/SL3 en el circuito del interruptor, completando el circuito con el 5/TEM y mandando el cierre de la quebradora de campo (41G).

Una vez cerrada la quebradora de campo, se habrá completado la secuencia de paro temporal, pero mientras no se corrija la falla permanecerá energizado el relevador 5/TEM lo cual nos anulará cualquier orden de re arranque. Cuando la falla desaparezca, se desenergiza el relevador 5/TEM al abrirse el contacto correspondiente a la falla que hubo y en estas condiciones podrá darse una señal de re arranque .

El relevador 4Z continúa energizado con su propio sello y las condiciones iniciales se mantienen en operación todo el tiempo que dure la unidad parada. Así que en la siguiente orden de arranque, la fase de preparación de las condiciones iniciales se eliminan, entrando la orden de arranque directamente al relevador 4AR, que inicia las maniobras como ya se explicó en la secuencia de arranque. La orden de paro temporal también puede ser aplicada por protecciones.

Ahora bien, las causas de un paro temporal pueden ser: dada la señal de arranque y si la orden de sincronización no se efectúa en el tiempo predeterminado por el relevador 48/SIN, entonces un contacto del mismo 48/SIN se cierra y opera el relevador de paro temporal 5/TEM, efectuándose la secuencia de paro ya descrita; puede también mandarse el paro temporal por las protecciones 59, 40, 27, 46, 51V, y entonces las maniobras del paro temporal que se han descrito son aplicadas en forma secuencial (ver diagrama de bloque 3 - 2), se energiza el relevador 5/TEM y se repite la secuencia de bajar carga, abrir interruptor (52G) y cerrar quebradora de campo (41G), con esto también se completa la orden de bajar excitación y por último se bloquea la señal dando por terminado el paro.

Paro Total.- El paro total únicamente puede ser ordenado por el control local o remoto (ver diagrama 3 - 2).

Quando la orden es dada, se energiza el relevador 5/TOT, ya que el contacto 20CP/SLA se encuentra cerrado por que la compuerta principal está abierta, dicho relevador se sella con su

propio contacto y cierra otro S/TOT en el paro temporal, por lo tanto para completar un paro total se inicia una secuencia de paro temporal normal.

Una vez cumplida esta secuencia, se procede al cierre de la compuerta principal por medio de los contactos 33BPA/SL2 y S/TOT y una vez accionada la compuerta principal, se energiza el relevador (8) por el contacto SW límite 33CPC/SL2 que se cerrará cuando la compuerta principal complete su cierre, mandando abrir el BY-PASS de derivación. Ahora bien, cuando se tenga el 70% o más de cierre de la compuerta principal, se cierra el switch límite 20CP/SL5 que energiza el relevador temporizador 48/Aux, ya que la orden de paro total no se había cancelado el relevador se sella con su propio contacto 48s/Aux y a partir de ese momento empieza a contar el tiempo ajustado que para el caso de esta planta será de 30 min., al cabo de los cuales se abrirá el contacto 48/Aux del diagrama de relevadores de paro diagrama 3 - 6 cortando su sello y dejando el relevador 48/Aux en reposo; por otro lado se abrirá el contacto 48/Aux que permita operar las condiciones iniciales de la planta (ver diagrama 3 - 3), en consecuencia se desenergiza el relevador 42 y los relevadores para mantener las condiciones iniciales; ya que le faltará completar su circuito de alimentación (negativo abierto).

Pasando al circuito de frenado, cuando no hay una orden de re arranque y la velocidad de la turbina es del 30% de la nominal o menos, se energiza el relevador FRE que aplica los frenos

mantiéndolos hasta que la velocidad es menor del 5% de la nominal, en ese momento se abre el contacto 14 - 5 anulándose la acción del frenado y dejando preparada la máquina para un posible re arranque.

Para este entonces la secuencia de paro total había terminado encontrándose el relevador 5/TOT desenergizado.

Por lo tanto todo el equipo que completa el conjunto de la unidad queda en reposo, listo para recibir una orden de arranque, que se iniciaría como ya se explicó en el arranque automático de la planta.

Con las descripciones anteriores se completa la operación de arranque y paro automático, sólomente nos falta mencionar que se agregan alarmas locales y remotas para cada operación incorrecta, de tal manera que si la planta está siendo controlada en forma remota las señales de alarma aparecen en el centro de control.

3.7 Secuencia y Operación Automática en Condiciones Anormales.-

Cuando se tiene dada la orden de arranque, lo primero que se prepara son las condiciones iniciales; como ya se explicó tenemos sellado el temporizador 48/Y y mantenidas en operación las condiciones iniciales con el relevador 4Z, por lo cual si no llegaran a quedar preparadas las condiciones iniciales en el tiempo ajustado, el relevador (Aux) no se energiza, con -

lo que el relevador 48/Y completa su tiempo cerrando un contacto 48/Y en el circuito de relevadores de paro (ver diagrama 3 - 6) energizando el paro de emergencia 5/EME. Lo que se logra con ésto es energizar el 48/Aux, sellándose con su contacto 48a/Aux ya que el relevador 5/EME no tiene conectada ninguna polaridad negativa a su bobina y una vez cumplido el tiempo de ajuste se abrirán los contactos 48/Aux, uno que corta el sello del temporizador del diagrama de relevadores de paro y otro que retira el negativo del relevador 4Z, con lo que también pierde su sello quedando anulada la orden de arranque.

La situación antes descrita indica que no se cumplió alguna o algunas de las posibles condiciones.

- a).- Buen nivel de agua
- b).- Presión adecuada en el tanque acumulador de aire de la compresora
- c).- Presión adecuada de aire en el tanque de regulación
- d).- Correcto nivel de aceite en el tanque de regulación
- e).- Correcta lubricación y refrigeración de chumaceras

Por otro lado si se cumplen las condiciones iniciales, se energiza el relevador (Aux) (ver diagrama 3 - 3) y la orden de arranque pasa al relevador 4AR y al temporizador 48/AR simultáneamente, permitiendo continuar con la secuencia de arranque y también para poder detectar las fallas posibles.

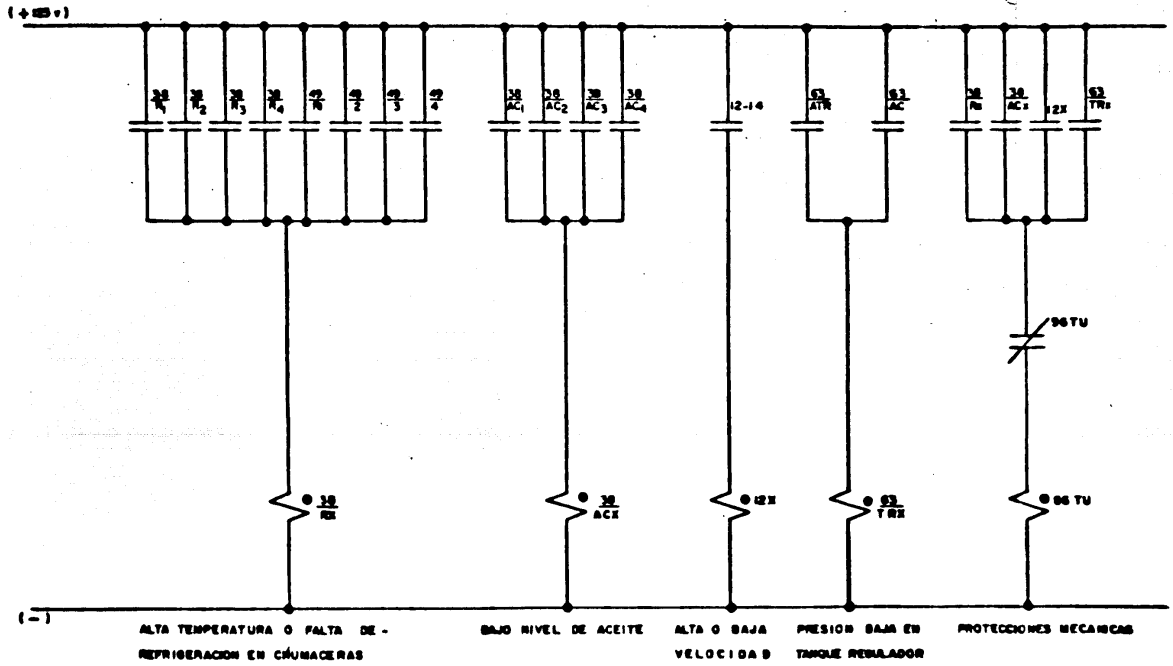
- 1).- Por ejemplo si al abrir la compuerta principal por alguna-

causa no llegara a rodar la turbina al 85% de su velocidad nominal o más, entonces no continuará el arranque, operando el relevador 48/AR y mandando un paro de emergencia después de transcurrido el tiempo ajustado.

- 2).- Si no se abriera la quebradora de campo o no se le diera excitación al generador, se tendría de nuevo la operación del temporizador 48/AR mandando paro de emergencia.
- 3).- Cuando se llega a la intervención del sincronizador y no cierra el interruptor (51G), opera el temporizador 48/SIN antes del 48/AR, con lo que se tiene ahora el paro temporal que sólo llega hasta el bloqueo reponiendo el relevador 5/TEM, con lo que se puede repetir la orden de arranque para tener un nuevo intento de sincronización.

Una vez cerrado el interruptor (52G) y el generador en operación, pueden presentarse varias fallas que requieren la apertura del interruptor (52G), consideraremos estas fallas en dos tipos: mecánicas y eléctricas, cada una podrá ser independiente de las otras por lo que tenemos que analizarlas por separado.

Fallas Mecánicas. - Las fallas de tipo mecánico se tienen indicadas en el diagrama esquemático de relevadores auxiliares de protección (diagrama 3 - 8), haciendo referencia a



UNAM
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE
 RELEVADORES AUXILIARES DE
 PROTECCIONES MECANICAS.
 FIG. 3-8 | 1 9 7 5

dicho diagrama se tendrá:

Falta de circulación de aceite de enfriamiento o alta temperatura del aceite en alguna chumacera, se cerrará uno o todos los contactos 38/W1, 38/W2, 38/W3, 38/W4 y/o 49/1, 49/2, 49/3, 49/4, respectivamente, energizando al relevador auxiliar 38/RX que acusa bandera de operación, cerrando también un contacto en el circuito del relevador 86/TU que manda un paro de emergencia.

Bajo Nivel en el Aceite de Lubricación.- Este operará algunos de los contactos 38/AC1, 38/AC2, 38/AC3 ó 38/AC4, encontrándose uno en cada chumacera. Se energiza el relevador 38/ACX que a su vez acusa una bandera de reposición manual, este relevador cierra un contacto 38/ACX en el relevador 86TU que ordena un paro de emergencia.

Si se presenta una sobre o baja velocidad, la detecta el contacto 12 - 14 energizando el relevador de bandera 12X y a la vez cierra un contacto en el circuito del relevador 86TU, mandando una orden de paro de emergencia.

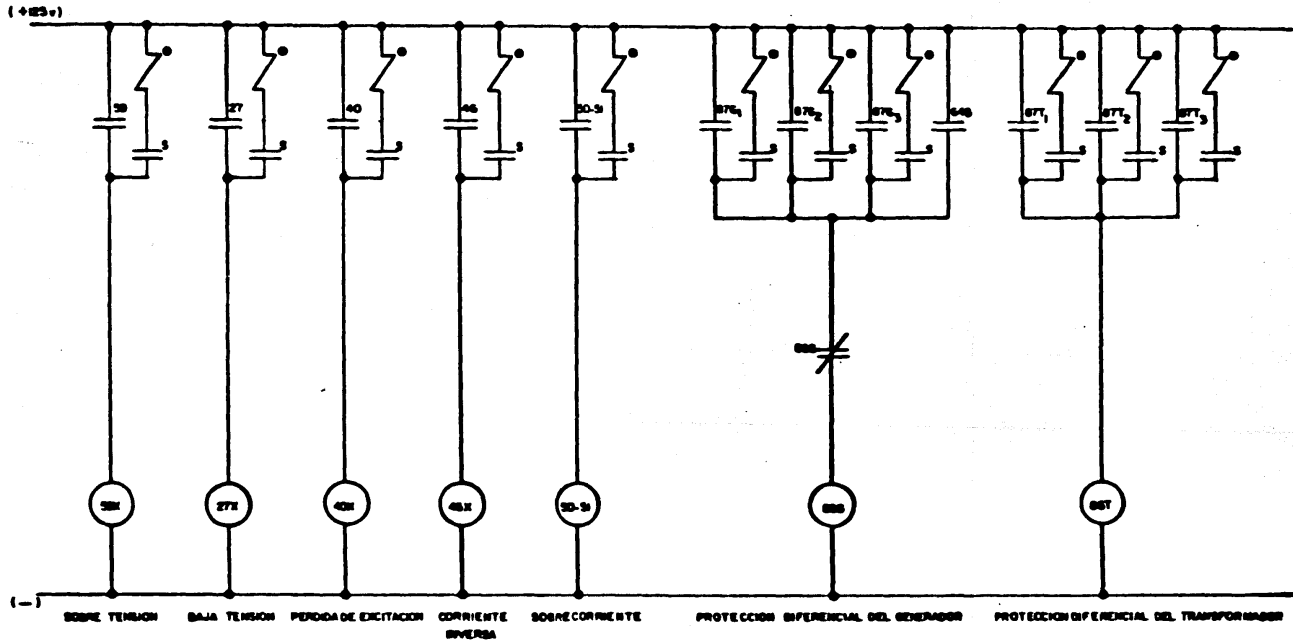
Baja Presión en el Tanque de Regulación o Bajo Nivel de Aceite en Dicho Tanque.- Cuando no se tienen las condiciones adecuadas de presión y nivel de aceite se cerrarán los contactos 63/ATR ó 63/AC respectivamente, los cuales energizan el relevador Aux 63/TRX y éste a su vez cierra un contacto en el circuito del relevador 86TU.

El relevador 86TU es del tipo de reposición manual y cuando opera manda abrir el interruptor (52G), la quebradora de campo (41G) y opera el paro de emergencia bloqueando el arranque automático de la planta simultáneamente.

Fallas Eléctricas.- Cuando operan los relevadores de sobre corriente 51V, únicamente se abre el interruptor (52G), ver diagrama 3 - 7 , por lo que bastará mandar una orden de arranque para reiniciar éste y como el generador se encuentra girando a velocidad nominal con tensión en sus terminales, se entra a la fase de sincronización reponiendo el generador al servicio.

Si los relevadores que operan son los de sobretensión 59, baja tensión 27/TB, pérdida de excitación 40, o corriente inversa 46, cada uno energiza un relevador auxiliar desde el 59X hasta el 46X respectivamente (ver diagrama 3 - 9), y éstos a su vez envían la orden de abrir el interruptor del generador (52G), abren la quebradora de campo (41G) según diagrama 3 - 7, y operan el paro temporal.

Cuando se trate de una falla entre devanados o en los cables del generador y queda dentro de la zona de la protección diferencial, opera el relevador diferencial 87 de la fase que tenga la falla; si se trata de una falla a tierra en el generador y que no sea detectada por la protección diferencial, entonces corresponde al 64G operar, pero cualquiera que halla operado cierra un contacto para energizar el relevador 86G de reposición manual que abre el interruptor del generador (52G), cierra



UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA
DIAGRAMA ESQUEMATICO DE RELEVADORES AUXILIARES DE PROTECCIONES ELECTRICAS.
FIG. 3-9 1973

la quebradora de campo (41G) y opera el paro de emergencia .

La protección diferencial del transformador (87T) , opera un relevador auxiliar 86T que abre el interruptor (52G) y manda paro de emergencia a la planta.

Por último cuando se tiene bajo voltaje en el banco de baterías, opera el relevador 80 que a su vez opera directamente el relevador de paro de emergencia.

3.8 Secuencia De Operación Manual.-

La operación de la unidad sin el control automático puede ser llevada a cabo como actualmente se hace, contando con la ventaja de hacer desde el tablero de control algunas maniobras: El tanque acumulador de aire de la compresora y el motor de la bomba de aceite que alimentan al tanque de regulación pueden ser operados por medio de botones y en caso de llegar a los valores máximos de presión, se interrumpe automáticamente su operación al abrirse los contactos límites en su circuito de control. Las maniobras del anillo distribuidor y el limitador de apertura (álabes) se efectuarán a nivel planta y su posición estará en función del nivel de agua que tenga la presa. Cuando se acciona el botón que abre la compuerta principal y dado que el BY-PASS depende exclusivamente de ésta, mandará cerrarlo. El control de la excitación y el cierre del interruptor de campo se pueden hacer desde el control del tablero como se puede apreciar en los diagramas (3 - 5) y (3 - 7) respectivamente,-

con lo cual la excitación se puede bajar o subir mediante los - contactos CS - 70E/B y CS - 70E/S, y el cierre de la quebradora de campo se operará por el contacto CS - 41E/C.

Cuando la tensión y velocidad de la turbina están cercanos a - los nominales, se puede pasar a la sincronización, que puede hacerse manual o automática, como se verá a continuación:

Sincronización Manual.- Para esta condición se pone el selector de sincronización en posición manual, quedando conectadas las señales de tensión y frecuencia del generador y el bus a la ménsula de sincronización, a la vez se cierra el permissivo SIN/MAN en el circuito de cierre del interruptor (52G) según diagrama (3 - 7) y cuando sea conveniente cerrar el interruptor se hará mediante el control que se encuentra en el tablero.

Sincronización Automática.- Con operación manual de la unidad, también se puede sincronizar automáticamente según se puede apreciar en el diagrama 3 - 5. Las condiciones son, tener el selector de operación en manual con lo que estará cerrado el contacto 43/M y pasar el selector de sincronización a la posición de automático, en esta forma se energiza el relevador 69/AF conectando las señales de tensión a los relevadores 25b y 25, según se explicó cuando se trató la sincronización en el arranque automático. Ahora bien, en este caso no se puede energizar el relevador temporizador 48/SIN ya que el contacto 43 - 2/AR está abierto por lo que en el mismo selector de

sincronización se tiene una posición más que está adelante - de la de automático, cuya característica es que si se llega a - ella se cierra el contacto SIN/AUT que se encuentra en el cir - cuito del sincronizador automático; cuando se suelta la manija - del selector, regresa a la posición automático dejando abierto - el contacto mencionado. Por esta señal que se mantiene mien - tras se sostenga la manija en esa posición extrema, entra en - servicio el circuito del sincronizador y realiza la comparación - y las posibles ordenes de corrección de frecuencia son atendi - das automáticamente en la turbina por medio del anillo distribu - dor o el limitador de apertura.

Por lo tanto en este caso el relevador de sincronización sólo - estará comparando y pasará la orden de cierre cuando se cum - pla con los ajustes de tolerancia y deslizamiento de frecuencias que tenga.

CAPITULO IV

CONTROL DE GENERACION DE LA PLANTA INTERMEDIA.

4.1 Antecedentes.-

Como la Planta Intermedia genera en base a las aportaciones de agua que recibe del desfogue de la Planta "Colimilla" y en base al gasto de agua que permite escurrir hacia la Planta "Las Juntas", se hacen necesarios los siguientes cálculos para poder determinar o programar la generación, optimizando los diferentes gastos para poder obtener una máxima generación.

Los cálculos estarán basados principalmente en la concesión mínima de agua ($11 \text{ m}^3/\text{s}$) y el gasto máximo que puede ser aprovechado ($31 \text{ m}^3/\text{s}$) por las Plantas de "Intermedia" y "Las Juntas".

De la Planta "Colimilla" se cuenta con los siguientes datos considerados de importancia ya que como se dijo anteriormente el desfogue de ésta es la que alimenta el embalse de la Planta Intermedia: durante la demanda máxima que tiene una duración de 4 horas aproximadamente, se tiene un gasto de $52.6 \text{ m}^3/\text{s}$ y durante las 20 horas restantes se tiene un gasto de $11 \text{ m}^3/\text{s}$.

Respecto a la Planta Intermedia, se cuenta con una generación promedio (año 1971) de $5,600 \text{ KWh/h}$ durante la demanda máxima con un gasto de $30 \text{ m}^3/\text{s}$ ya que las aportaciones de agua recibidas son iguales a las descargas de la Planta Colimilla.

Como durante la demanda máxima se recibieron $52.6 \text{ m}^3/\text{s}$. -
y se usará para generación un gasto de $30.0 \text{ m}^3/\text{s}$., la presa-
almacenará durante estas cuatro horas un gasto de $22.6 \text{ m}^3/\text{s}$.
por lo que el volumen aportado al embalse será:

$$V_{\text{embalse}} = 3600 \times 4 \times 22.6 = 325.440 \text{ m}^3$$

El volumen recibido durante el resto del día será igual al volú-
men útil para generación en 20 horas de Colimilla, o sea: -
 $192,960 \text{ m}^3$ (Dato) siendo entonces el volumen útil para ge-
neración la suma de las dos anteriores:

$$V_{\text{UG}} = 325440 + 192960 = 518\ 400 \text{ m}^3$$

La energía producida durante las 4 horas de demanda máxima se
rá:

$$E_p = 5\ 600 \times 4 = 22,400 \text{ KWh}$$

La energía producida el resto del día utilizando una altura bruta
de 20 m. y una eficiencia del 83.4% es:

$$E = 2\ 725 \times 10^{-6} \times 518\ 400 \times 20 \times 0.834 = 23,600 \text{ KWh}$$

De donde la energía total producida durante todo el día será la-
suma de las 2 cantidades anteriores.

$$E_T = 22\ 400 + 23,600 = 46\ 000 \text{ KWh}$$

La generación promedio fuera del pico será la siguiente:

$$N = \frac{23\ 600}{20} = 1180 \text{ KWh/h.}$$

A partir de la generación promedio calcularemos el gasto de generación fuera de la demanda máxima, para lo cual se obtiene - la eficiencia de esta planta de los datos de placa y se consideró constante por ser turbina Kaplan.

$$W = 9.8133 \text{ QH}\eta \quad \text{-----} \quad (A)$$

Despejando de esta ecuación la eficiencia:

$$\eta = \frac{W}{9.8133 \text{ QH}}$$

Substituyendo términos quedaría:

$$\eta = \frac{5320}{9.8133 \times 30 \times 21.7} = 0.834$$

Despejando ahora el gasto de la ecuación (A) y substituyendo términos:

$$Q = \frac{1180}{9.8133 \times 20 \times 0.834} = 7.21 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.2 Limitaciones.-

Estos cálculos están basados en la suposición de que no existe limitación de potencia en la Planta.

El límite del nivel de la presa de Intermedia para que pueda generar, debe ser fijado por seguridad a -6m . ya que a niveles inferiores aparecen remolinos en la obra de toma. De acuerdo con las curvas de elevación de la presa contra capacidad de la misma, para el volumen de $325\ 440\ \text{m}^3$ que debe ser retenido durante la demanda máxima, el nivel de la presa deberá estar 2 metros abajo del nivel del vertedor.

Todo este estudio teórico nos sirve para conocer el volumen de agua que manejará la Planta y de acuerdo con los resultados se obtendrá el criterio de operación durante las 24 horas.

De acuerdo con todos estos resultados se propone que la operación de la Planta se haga con relación a los niveles de la presa, fijándose para esto el nivel cero correspondiendo con la cresta del vertedor ($1093.84\ \text{m.s.n.m.}$).

4.3 Operación de la Planta con Respecto al Nivel de la Presa.-

Si la unidad de Intermedia está generando con una potencia de $3\ \text{MW}$ en el momento que la Planta Colimilla aporta su máximo gasto, con el gasto de extracción de la Planta Intermedia se llega a un nivel de -2.00 metros y a la potencia plena en 1 hora 47 minutos si continúa con esta generación hasta la terminación de la demanda máxima, transcurren 2 hrs - 12 minutos y alcanza un nivel de $-1.14\ \text{m}$. Continúa su generación a plena potencia hasta bajar el nivel a $-2.00\ \text{m}$. en 2 hrs 50 minutos, y suponiendo un gasto de la Planta Colimilla

de $7.45 \text{ m}^3/\text{s}$., con flujos promedios se llega a una potencia y nivel de 3 MW y -3.00 mts. en 2 horas 20 minutos, manteniendo una potencia mínima de 2 MW hasta que la unidad sale fuera del sistema en paro temporal al llegar a un nivel de -5.00 m., volviendo a interconectarse al sistema al recobrar la presa un nivel de -3.00 mts.

En base a todo esto, a continuación expondremos el criterio que se debe seguir para controlar la apertura o cierre del distribuidor en función del nivel en la presa.

4.4 Operación del Distribuidor en Función del Nivel.-

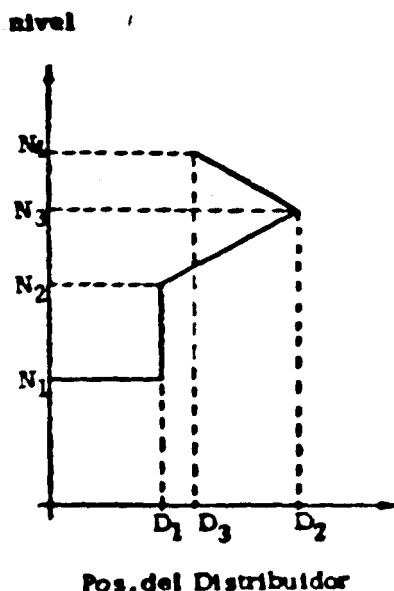


Fig. 4.1a

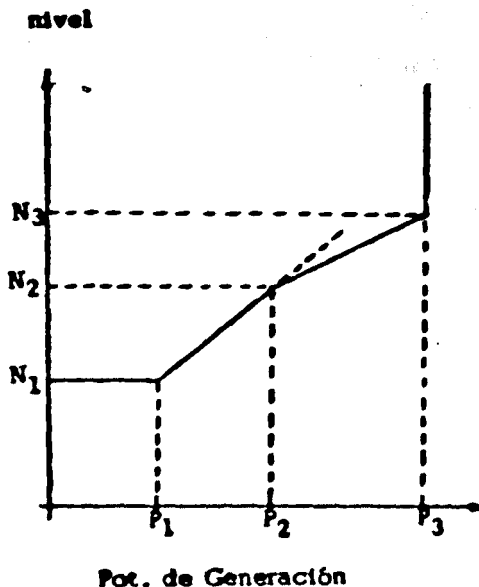


Fig. 4.1b

De la figura 4.1 a vemos que mientras no se tenga el nivel N_1 mínimo requerido para arrancar la planta, el distribuidor permanecerá cerrado; alcanzando ese nivel mínimo, el distribuidor se abrirá quedando en la posición D_1 hasta que el nivel de la presa llegue a N_2 ; cuando el nivel se encuentra entre N_2 y N_3 , el distribuidor se abrirá proporcionalmente entre D_1 y D_2 .

De la figura 4.1 b se ve que mientras el distribuidor permanece cerrado la potencia generada lógicamente es nula, pero una vez abierto en D_1 , la potencia generada será P_1 manteniéndose constante si el nivel es constante, sin embargo si el nivel aumenta, aunque el distribuidor permanezca en D_1 la potencia tendrá que aumentar proporcionalmente. Ahora bien si el nivel se encuentra entre N_2 y N_3 , la potencia generada no seguirá con la misma pendiente que tenía hasta N_2 ya que en este momento el distribuidor se abrirá proporcionalmente al nivel, dando como resultado que la potencia generada tendrá una potencia con pendiente menor, aumentando según la trayectoria del segmento con coordenadas (P_2, N_2) y (P_3, N_3) , siendo P_3 la potencia de generación máxima; si el nivel sigue aumentando arriba de N_3 aunque se mantenga el distribuidor en D_2 la potencia aumentará y la máquina se sobrecargará peligrosamente, siendo este hecho tan importante que el distribuidor se deberá cerrar en forma proporcional cuando el nivel aumente de N_3 a N_4 . Es ésta una forma de mantener la potencia máxima y constante.

4.5 Diseño del Programador Electrónico del Nivel.-

Mediante la ayuda de una computadora analógica se llegó a la realización de un circuito electrónico mostrado en la figura 4.3, cuyo funcionamiento es el siguiente:

Primera parte: Haciendo mención a la siguiente figura se tiene que:

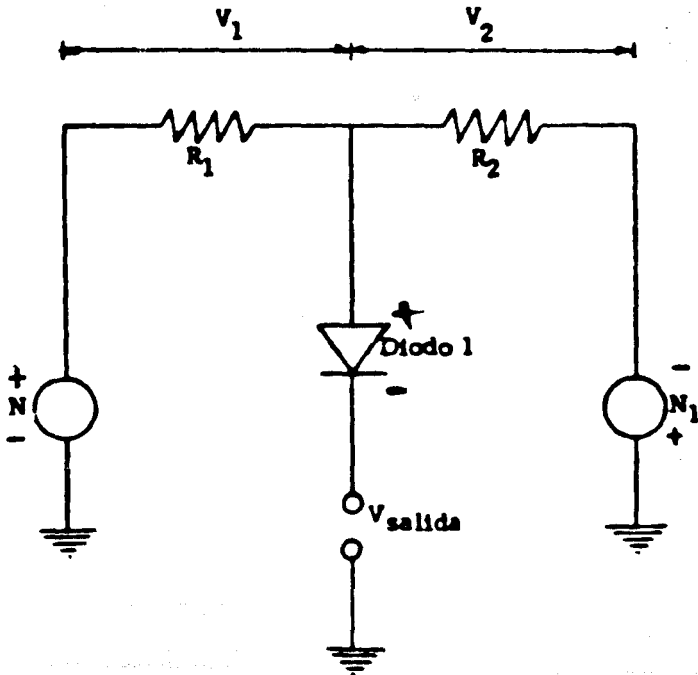


Fig. 4.2

Como las resistencias R_1 y R_2 son del mismo valor se obtiene que $V_1 = V_2$ con valor de:

$$V_1 = V_2 = \frac{N - N_1}{2}$$

Variando los valores de N y N_1 se tendrá lo siguiente:

a) Cuando $N < N_1$

Para este caso como el diodo₁ está polarizado en sentido inverso no conduce, por lo tanto el voltaje entre la salida del diodo y tierra es igual a cero.

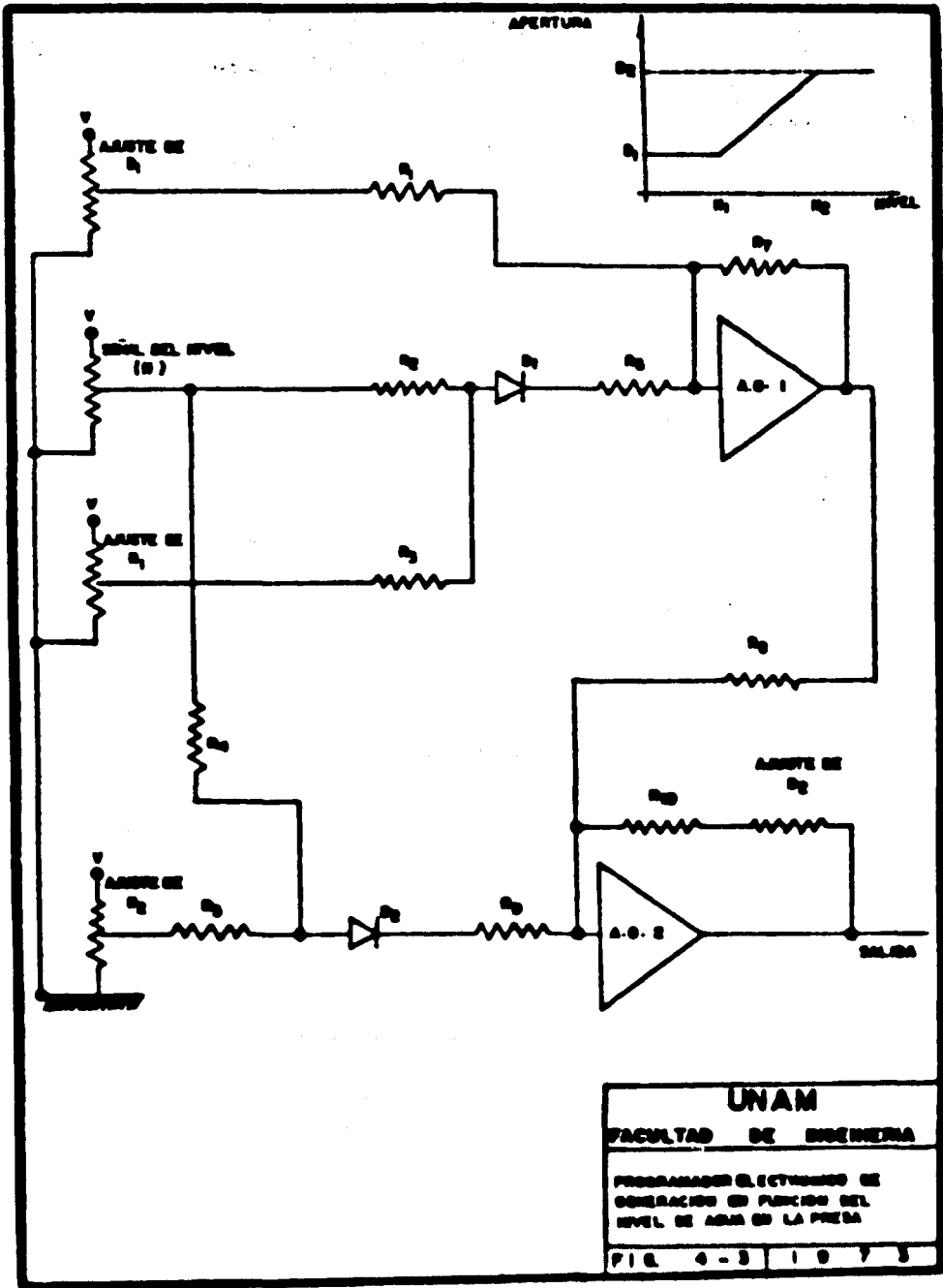
b) Cuando $N > N_1$

Para este caso el diodo₁ se encuentra conduciendo, siendo el voltaje igual a:

$$V = \frac{N - N_1}{2}$$

Segunda parte: De la figura 4.3 veremos que para el inciso (a) es decir cuando $N < N_1 < N_2$ ninguno de los dos diodos conduce, ya que como se dijo están polarizados en sentido inverso, por consiguiente no contribuyen al valor de la salida - siendo este valor únicamente el del ajuste de D_1 y obteniéndose así el primer segmento de la gráfica de la figura D.

Del inciso b, cuando $N_1 < N < N_2$:



Para este caso se tendrá que sólo el Diodo 1 se encuentra -
 conduciendo, luego a la entrada del primer amplificador opera-
 cional se tendrán dos señales que son el ajuste D_1 y $\frac{N - N_1}{2}$

Para obtener la señal a la salida de este amplificador conecta-
 do en forma de sumador, se aplica la siguiente fórmula:

$$e_o = -R_f \left(\frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} \right)$$

Substituyendo estos valores por:

$$e_o = D_1 \quad , \quad R_1 = 10 \text{ K}$$

$$e_2 = \frac{N - N_1}{2}, \quad R_2 = R_o, \quad R_f = 10 \text{ K}$$

Se obtiene:

$$D_1 = -10 \text{ K} \left(\frac{D_1}{10 \text{ K}} + \frac{N - N_1}{2 R_o} \right)$$

$$= -D_1 - K_o (N - N_1)$$

Esta salida D_1 se introduce a un inversor, por consiguiente a la
 salida se obtiene:

$$10 \text{ K} \left(\frac{D_1}{10 \text{ K}} - \frac{N - N_1}{2 R_o} \right)$$

Manipulando algebraicamente la ecuación anterior, tendremos:

$$e_s = e_o = D_1 - K_o \left(\frac{N - N_1}{1} \right) \quad D_1 + K_o \cdot (N - N_1)$$

Donde $K_0 = \frac{10K}{2R_0}$

Es ésta la ecuación de una recta con pendiente K_0 y ordenada D_1 al punto $N=N_1$, obteniéndose así el segundo segmento de la gráfica.

El tercer segmento de la gráfica, se obtiene cuando los dos diodos conducen, entonces a la entrada del último amplificador operacional tendremos las tres señales que son:

$$D_1; -K_0 (N-N_1) \text{ y } K_0 (N-N_2)$$

y obtendremos la siguiente expresión:

$$e_s = D_1 + K_0 \left[(N-N_1) - (N-N_2) \right] =$$

$$= D_1 - K_0 (N_2-N_1) = \text{Constante}$$

Esto nos da el tercer segmento de la gráfica.

La ecuación de la curva será la siguiente:

$$\text{Para } N \leq N_1; e_s = D_1$$

$$|N_1| < N < N_2; D_1 - K_0 (N-N_1)$$

$$N = N_2; e_s = D_1 - K_0[|N_2| - N_1] = D_2$$

$$N > N_2; e_s = D_2 + K_0 (N_2 - N_1) = D_2 = \text{cte.}$$

Hasta aquí hemos obtenido únicamente la señal programada del nivel de agua en la presa, ahora esta señal se tendrá que - -

introducir en un comparador, quedando de la siguiente manera:

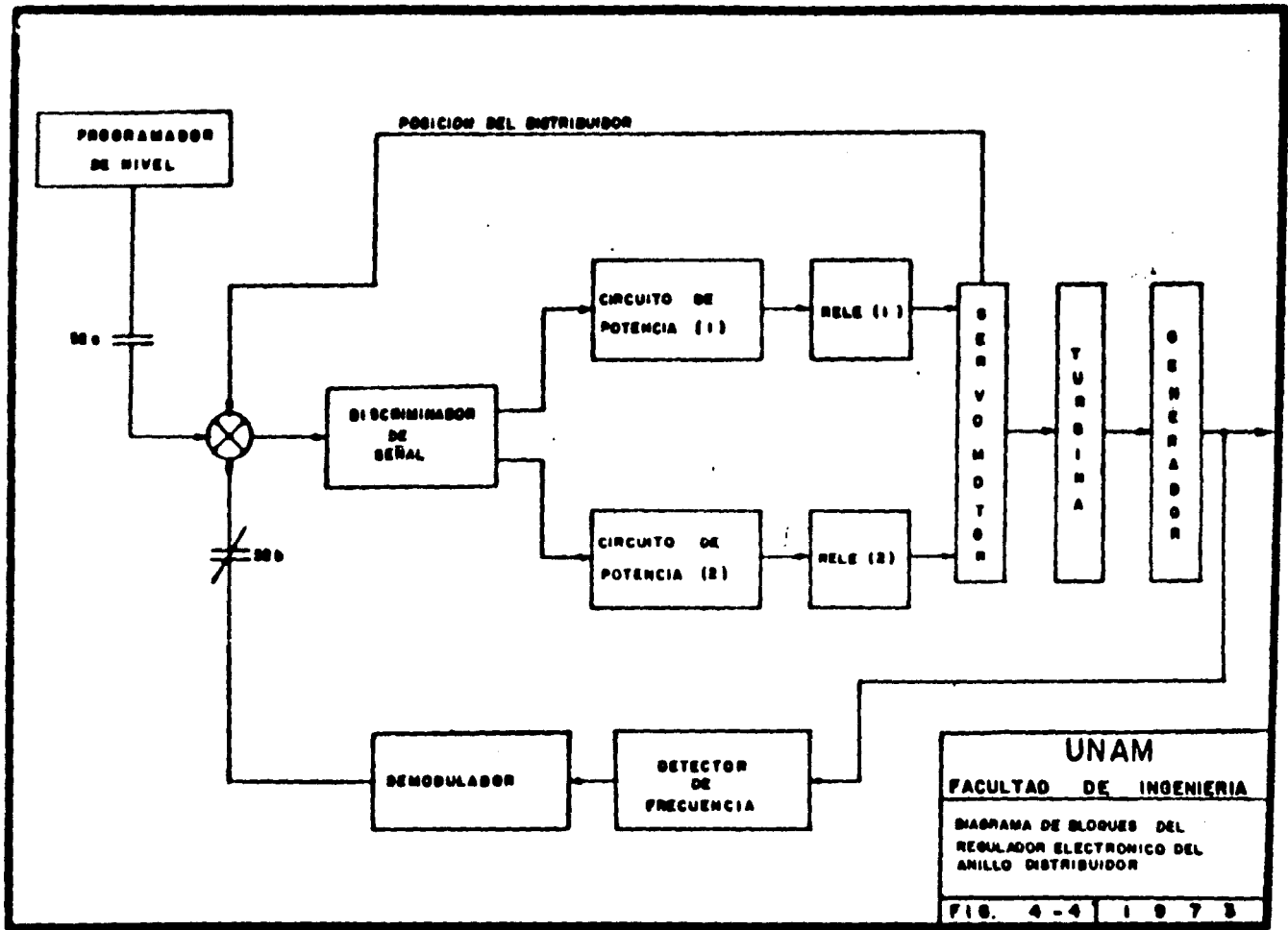
En la primera figura se presenta el diagrama de bloques y en la segunda la realización del circuito electrónico cuyo funcionamiento es el siguiente:

Cuando se requiera que la turbina empiece a rodar, se cerrarán los contactos A1-3 y A1-4, con los cuales estaremos alimentando 125 V.C.A al circuito electrónico del variador de velocidad mostrado en el diagrama 3-4 de la secuencia de arranque, empezando de esta manera a funcionar dicho circuito.

Refiriéndonos a las figuras Nos. 4.4 y 4.5, se ve que por ahora el circuito estará supeditado al detector y demodulador de frecuencia, que será la señal de retroalimentación a través del contacto 52/b normalmente cerrado, hasta el momento de llevar la máquina a la frecuencia nominal para poder empezar las maniobras de sincronización; una vez efectuada ésta, al cerrarse el interruptor principal que conectará el generador al sistema, se abrirá el contacto 52/b y al mismo tiempo se cerrará el contacto 52/a, quedando el circuito en función de la señal del programador de nivel, debiendo en este momento empezar a tomar carga, el generador de acuerdo al nivel de agua que se tenga en la presa.

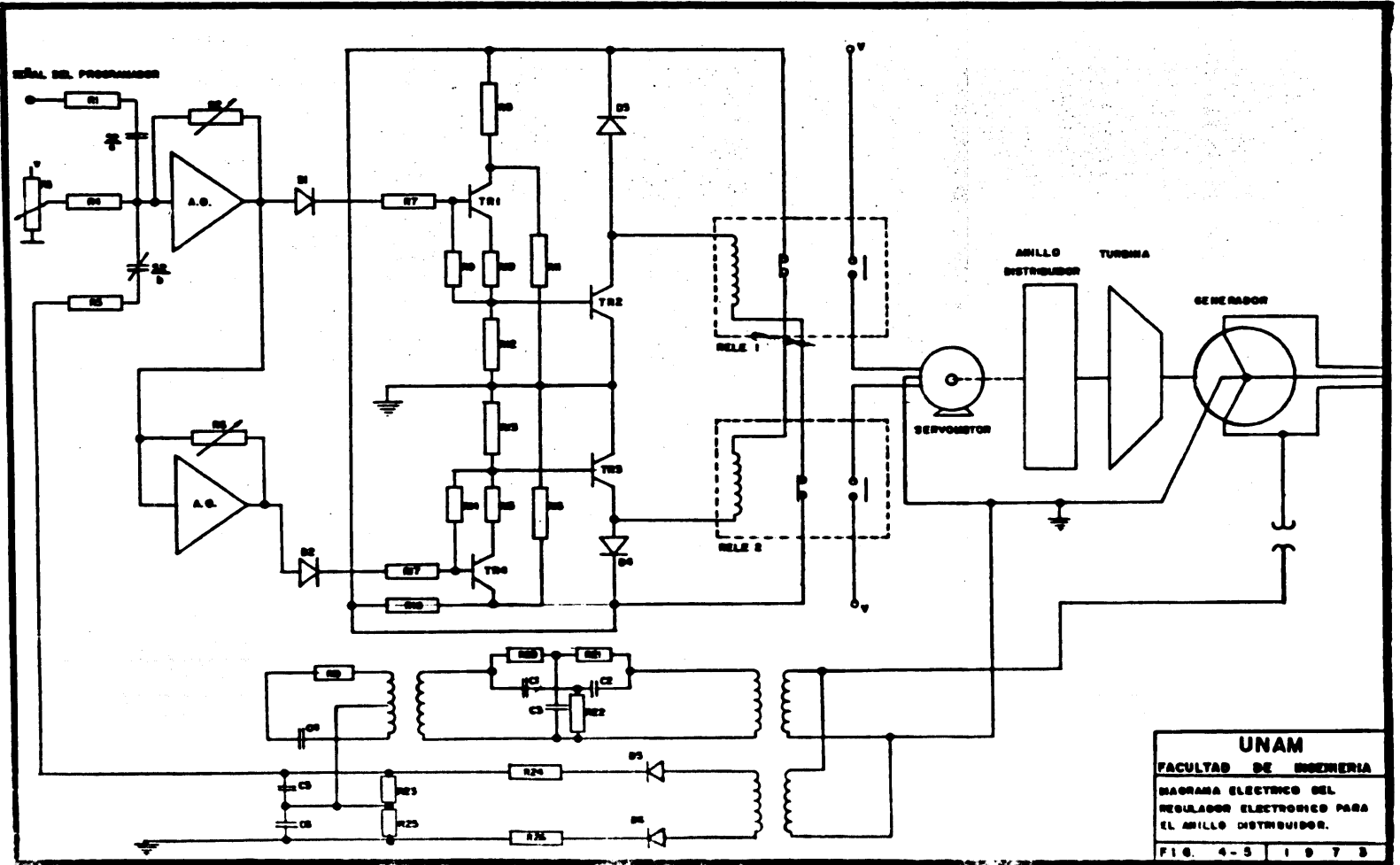
4.6 Descripción del Regulador del Anillo Distribuidor.-

Una vez que la turbina empieza a girar, la frecuencia del generador está lógicamente muy por abajo de la nominal, - -



detectándola entonces el filtro de frecuencia que a través del demodulador (frecuencia - voltaje) nos dará un voltaje negativo sumándose al voltaje también negativo del potenciómetro de referencia; al pasar éste por el primer amplificador operacional en forma inversora nos dará un voltaje positivo, el cual por un lado pasará nuevamente por el segundo amplificador operacional resultándonos un voltaje negativo que no podrá pasar a través del diodo D_2 ya que está polarizado en forma inversa; como a la salida del primer amplificador operacional se tiene voltaje positivo, el diodo D_1 conducirá haciendo que el circuito de potencia 1 se active para que llegue a operar el Relé 1 por el cual, al cerrarse su contacto N.A., pasará la corriente al campo del servomotor para que gire en la dirección de abrir el anillo distribuidor. Si la frecuencia se llegara a pasar de la nominal, entonces a la salida del demodulador tendremos un voltaje positivo mayor al negativo de referencia que al sumarse resultará positivo y al pasar a través del primer amplificador operacional será negativo, lléndose al otro amplificador ya que el diodo D_1 no conducirá a la salida del segundo amplificador, así el voltaje será nuevamente positivo conduciendo entonces el diodo D_2 , por lo cual será activado el circuito de potencia 2 energizando la bobina del Relé 2, y cerrando su contacto N.A a través del cual se activará el otro campo del servomotor, haciéndolo girar en sentido contrario que hará cerrar el anillo distribuidor.

Una vez que el generador se ha estabilizado a la frecuencia nominal a la salida del demodulador, se tendrá un voltaje igual -



UNAM
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DIAGRAMA ELECTRONICO DEL
 REGULADOR ELECTRONICO PARA
 EL ANILLO DISTRIBUIDOR.
 FIG. 4-5 1 9 7 3

pero de signo contrario al voltaje de referencia, dándonos -
como resultado un voltaje igual a cero y obteniéndose así que -
el circuito del regulador no opere en ningún sentido.

En estas condiciones se estará en posibilidad de efectuar las -
maniobras de sincronización de acuerdo a lo que se mencionó -
en la secuencia de arranque automático.

Efectuada la sincronización, el contacto 52/b estará abierto y
el 52/a se cerrará y en ese momento el regulador empieza a -
recibir información del programador de nivel, el cual nos propor
cionará ahora los voltajes de comparación, funcionando el re -
gulador de la misma forma mencionada anteriormente.

Las resistencias variables de los amplificadores operacionales
nos servirán para ajustar la ganancia del circuito, para que con
esto se obtenga un mínimo de oscilaciones antes de poder -
estabilizar la máquina.

De igual forma se puede pensar en la realización de un progra
mador de nivel y un regulador para el limitador de apertura, y -
una vez instalados en la planta, se podrán hacer diferentes -
ajustes a los diversos parámetros para poder llegar así a opti
mizar, para que con un gasto mínimo se obtenga una mayor poten
cia de la máquina en función de la posición del anillo distribui
dor de apertura.

4.7 Regulador Automático de Voltaje.-

Básicamente el funcionamiento del alternador depende de la máquina motriz (turbina), del sistema de excitación y por último de los reguladores utilizados en la Planta.

Si consideramos una mayor o menor demanda de energía eléctrica en los centros de consumo, la máquina motriz se ve afectada por dichos cambios teniendo que variar de acuerdo a las condiciones, la posición del anillo distribuidor, o bien la del limitador de apertura, ya que son éstos los que proporcionan la energía necesaria para compensar la variación requerida de carga.

Bajo estas condiciones de alta y baja que sufre la demanda de energía, el alternador no es capaz de mantenerse estable, por lo cual es necesaria la intervención de los reguladores de velocidad y voltaje, obteniéndose con ello mejorar la estabilidad del sistema y simultáneamente mantener a dicho sistema en los rangos de seguridad.

Ahora bien, la regulación de la planta generadora se hace en función de las siguientes acciones:

- 1.- Variación sobre la máquina motriz (turbina)
- 2.- Variación sobre el alternador.

En el primer punto analizaremos la regulación de la máquina motriz; si consideramos por ejemplo una planta hidroeléctrica, vemos en términos generales que con carga la velocidad baja -

mientras que sin carga la velocidad tiende a subir, para evitar estas anomalías se requiere del regulador de velocidad que controla la admisión de agua a la turbina, manteniendo al generador a una frecuencia o velocidad establecida.

Como segundo punto analizaremos la variación de tensión en las terminales del generador; para sustituir esta variación utilizaremos el regulador automático de voltaje y en particular mencionaremos el de tipo reostático.

Existe una gran variedad de ellos, pero únicamente hablaremos sobre el construido por Brown-Boveri que es el que actualmente se encuentra instalado en la Planta en estudio (Intermedia): básicamente está compuesto del sistema motor, regulación y amortiguamiento, es de acción rápida o directa, es decir, el sistema de regulación está mandado directamente por el sistema motor (órgano de medida), su funcionamiento en términos generales se reduce a que por algún medio mecánico, que es reflejo de la variación de tensión del alternador, se haga variar la resistencia del reóstato de campo, de la excitatriz principal, o de la excitatriz piloto, o bien en el campo del generador, considerando para cada caso los cálculos necesarios del reóstato, ya que serán diferentes condiciones de resistencia y disipación.

Para mejor ilustración mostramos el diagrama de conexiones del regulador automático de voltaje en el plano número (4-6).

CAPITULO V

ESTUDIO ECONOMICO

5.1 Objetivo.-

En este capítulo se desarrollará el estudio económico correspondiente a la realización del proyecto anteriormente descrito.

Primero se establecerán algunas consideraciones generales sobre las conveniencias económicas de la automatización, para justificar plenamente en términos económicos la elección que se hizo de una planta hidroeléctrica de 10 MW., posteriormente pasaremos al análisis del caso específico de la Planta Intermedia.

5.2 Aspectos Técnicos-Económicos a considerar para automatizar una Planta de Generación Eléctrica:

- 1) Se debe considerar que en términos generales una planta hidroeléctrica tiene poco personal y es bastante más adaptable a la automatización, pues como ya se indicó en el capítulo de Generalidades, las Plantas Termoeléctricas manejan un número tan grande de variables que necesitan de una computadora para su control y esta solución no es deseable para una etapa inicial en la cual no se cuenta aún con experiencia en las plantas del país y que implica una erogación inicial mayor.
- 2) Dado que el personal necesario para manejar una Planta -

no aumenta en la misma proporción que el número de unidades que tiene y que sin embargo, la telemetría y el control si aumentan casi en proporción directa al número de unidades, se concluye que en términos económicos las plantas más adecuadas para automatizar son las que cuentan con una sola unidad.

- 3) Aún cuando la automatización también depende de otros factores además del económico, no parece muy atractivo automatizar una Planta con unidades grandes, debido a que el ahorro por concepto de personal es pequeño comparado con el costo de la energía generada.
- 4) Por otro lado, debemos considerar que al sacar de operación una planta pequeña, su ausencia en la línea de transmisión no representará ningún problema grave para el Sistema Interconectado al cual pertenece, dado que la planta elegida es demasiado pequeña en comparación con éste y podemos considerar también que la pérdida de ingresos (\$) debida a la energía que se deja de vender, es poco cuantiosa.
- 5) Tomando en cuenta los puntos anteriores, se concluye que las plantas hidráulicas de una sola unidad y menores de 20 Mw. son las más convenientes para automatizar, mediando siempre la justificación económica correspondiente a cada caso particular.

- 6) Un momento muy oportuno para iniciar la automatización, es cuando una planta está en su etapa de diseño o cuando está por renovar su equipo, ya que de este modo se ahorran las pérdidas correspondientes a una interrupción especial para instalar el equipo de automatización, o sea, se simplifica el diseño y se reduce el costo.
- 7) Finalmente, deberá tomarse muy en cuenta la posibilidad de emplear técnica y equipo fabricado en México, para evitar hasta donde sea posible la importación y por ende la fuga de divisas del país, con esto logramos además un servicio más oportuno y eficiente en los trabajos de mantenimiento.

5.3 Análisis Económico de Automatización.-

Dada la generación promedio anual "Gp" de una planta y el costo promedio de un Kwh "Cp", podemos calcular la utilidad bruta "Ub" de la central, mediante la relación: $Ub = Gp + Cp$

Por otro lado, tenemos gastos por concepto de salarios y prestaciones anuales que denominaremos "S" y una serie de gastos de operación "Op" que agrupan gastos por materiales, trabajos de reparación y mantenimiento y gastos administrativos.

La utilidad anual neta "Un" de la planta, es entonces la diferencia: $Un = Ub - (Op + S)$

Cuando se automatiza una planta se tienen gastos de obra civil, obra mecánica y obra eléctrica y gastos para adquirir el equipo necesario de modernización, todos estos conceptos los agruparemos bajo la denominación de inversiones "Ie". Se tiene además el sueldo mensual que percibe el personal que trabaja en la automatización, que denominaremos "Sa"; este sueldo asciende a NSa durante los N meses que duren los trabajos de automatización.

Deberá considerarse también que durante el tiempo que dura la planta parada, se están perdiendo ingresos por la energía que se deja de vender, este concepto será igual a $\frac{NUb}{12}$.

La inversión total en automatización "It" será entonces igual a:

$$It = Ie + NSa + \frac{NUb}{12}$$

$$It = Ie + N \left(Sa + \frac{Ub}{12} \right)$$

.

Una vez que la planta ya esté automatizada, podemos considerar que los gastos por concepto de salarios y prestaciones "S" se eliminan y los gastos de operación se reducen, consideraremos conservadoramente, a la mitad. Por tanto, el ahorro anual "A" que se lograría después de efectuada la automatización sería:

$$A = S + \frac{1}{2} Op$$

Esta cantidad es la que amortizará la inversión total de la automatización.

5.4 Ahorro Cuantitativo en el Caso de la Planta Intermedia.-

Para calcular el ahorro cuantitativo que se obtiene al implantar una operación automática en lugar de la operación manual, partiremos de las siguientes consideraciones:

- a) Los gastos de operación manual, incluyendo sueldos, salarios y prestaciones de 7 empleados de la planta, asciende actualmente a \$400,000.00 anuales. Estos datos fueron obtenidos de la Oficina de Plantas Hidráulicas perteneciente a la Gerencia General de Operación de la Comisión Federal de Electricidad.
- b) La erogación total "Ie" para equipo e instalación necesaria para la automatización de esta Planta Hidroeléctrica, se calcula de \$255,400.00, cantidad estimada por el Ing. Lechevallier del Laboratorio del Instituto de Investigaciones de la Industria Eléctrica de la CFE.
- c) El salario correspondiente al personal que efectúa la automatización está considerado dentro del concepto Ie y la pérdida de ingresos por la energía que se deja de vender para instalar el equipo de automatización, se considera despreciable ya que la interrupción del servicio es mínima en este caso particular.

- d) Se consideran \$24,000.00 anuales de mantenimiento "M", considerando que un Ingeniero con sueldo de \$8,000.00 - mensuales, emplea la cuarta parte de su tiempo en los trabajos de mantenimiento.
- e) El gasto por concepto de refacciones "F" que se usarán - en los trabajos de reparación del equipo de automatización, se considerará de \$10,000.00 anuales.
- f) El gasto por concepto de mantenimiento del equipo propio de la planta no se incluye en este estudio comparativo, - ya que se considera el mismo para la operación automática que para la operación manual.
- g) El capital de inversión se presta al 10% sobre saldos insolutos, ajustado a pagos iguales, con un plazo de amortización de 10 años.
- h) El equipo se deprecia totalmente a los 5 años y no consideraremos valor de rescate, además la reserva anual por depreciación se invertirá al 10% anual.

Ahora obtendremos la renta anual "R" correspondiente a cubrir - el préstamo más los intereses, basándonos en el método del interés compuesto:

I	R	R	R	tiempo .
0	1	2	3	----- 10

$$Ie = R \left[(1 - i)^{-1} + (1 - i)^{-2} + \dots + (1 - i)^{-10} \right]$$

$$Ie = R \cdot Ani$$

donde: R = la renta anual

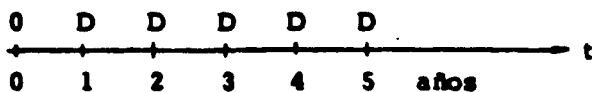
Ani = el valor presente de una anualidad.

$$R = \frac{Ie}{Ani} = \frac{255,400}{6,144.57} = 41,565.1$$

TABLA DE AMORTIZACION

PERIODO	SALDO	PAGO	AMORTIZA- CION	INTERES
0				
1	255,400.00	41,565.19	16,025.19	25,540.00
2	239,374.81	41,565.19	17,627.71	23,937.48
3	221,747.10	41,565.19	19,390.48	22,174.71
4	202,365.62	41,565.19	21,329.53	20,235.66
5	181,027.09	41,565.19	23,462.49	18,102.70
6	157,564.60	41,565.19	25,808.73	15,756.46
7	131,755.87	41,565.19	28,389.61	13,175.58
8	103,366.26	41,565.19	31,228.57	10,336.62
9	72,137.69	41,565.19	34,351.43	7,213.76
10	37,786.26	41,564.88	37,786.26	3,778.62
TOTALES		415,651.59	255,400.00	160,251.59

Para calcular la cantidad "D" que cubrirá la depreciación en - 5 años, hacemos:



$$Ie = D \left[(1+i)^4 + (1+i)^3 + (1+i)^2 + (1+i) + 1 \right]$$

$$D = \frac{Ie}{6,1051} = \frac{255,400}{6,1051} = 41,833.9$$

Calcularemos ahora el gasto anual para operación automática - "Y", sumando los conceptos:

$$Y = M + F + R + D$$

$$Y = 24,000 + 10,000 + 41,565.1 + 41,833.9$$

$$Y = 117,399.0$$

La relación entre el gasto anual automatizado y el gasto manual existente es:

$$\frac{400,000}{117,398.8} = 3.407$$

De estos cálculos concluimos que el gasto anual de la planta - ya automatizada, asciende a \$117,399.00 que comparados con los \$400,000.00 anuales de gasto actual, resulta el automatiza do 3.4 veces más barato.

Dado que el gasto en operación automática es 3.4 veces más barato, podríamos tener una R hasta de:

$$R = 41,565.1 \times 3.4 = 141,321.34$$

y ya que: $A = R \cdot Anl$

$$A = 141,321.34 \times 6.14457$$

$$A = 868,359$$

Por lo que se concluye también que la inversión total por automatización puede ascender hasta \$868,359.00 antes de llegar a igualar los gastos anuales por operación manual.

De todo esto vemos claramente que en términos económicos la automatización no sólo es justificable, sino también muy conveniente.

CONCLUSIONES

Del presente trabajo se concluye que en pequeñas plantas hidroeléctricas en las cuales el costo por KW producido es más caro que en las plantas de mayor capacidad, aunque todas ellas tienen un mismo propósito, producir energía eléctrica en la forma más eficaz y económica que sea posible, es urgente que a estas plantas generadoras se le incorporen dispositivos automáticos de control que las permitan seguir operando satisfactoriamente y con costos competitivos.

Se demostró además que con una pequeña inversión que se justifica ampliamente ya es posible en nuestro país efectuar estos diseños de automatización sin importar tecnología del extranjero ni recurrir a sistemas muy sofisticados.

Se enmarca además la necesidad de adquirir experiencia en este tipo de plantas, para que estemos capacitados y atacar el mismo problema en plantas de cualquier tipo y lograr así un control óptimo en los sistemas eléctricos.

Así mismo, se ha incursionado con dispositivos de control estático en el área de la generación eléctrica, quedando establecido un nuevo criterio que deberá desarrollarse ampliamente en un futuro inmediato, ya que las ventajas de estos dispositivos resaltan incomparables con las de los sistemas electromagnéticos.

Entre las principales ventajas del control estático debemos subrayar las siguientes:

- Menor costo en la inversión inicial
- Menor tiempo de respuesta
- Mayor seguridad para el equipo y el personal
- Menor volumen por las dimensiones de sus componentes
- Menor mantenimiento.

Estas ventajas señaladas, son por si solas suficientes para justificar el desarrollo de este tipo de control.

Es conveniente hacer notar también que en caso del presente trabajo, se tomo como base para la automatización el equipo ya existente en la planta, pero en el futuro deberá pensarse en los dispositivos automáticos al diseñar cualquier tipo de planta.

Se concluye finalmente que no se trata de automatizar por el simple hecho de automatizar sino por las enormes ventajas técnicas y económicas que se obtienen con ella.

BIBLIOGRAFIA

- **Stating an Electric Generation Automatically William A. Sumners**
Control Engineering
- **Automation Helps Reclamation Bureau**
A.M. Expenses
Electrical World
- **How to Design Basic Control for Hydrostatics J. Baude**
Allis-Chalmers Electrical Review
- **Control of Hydro-Power**
John Baude and T.F. Finley
Allis-Chalmers Electrical Review
- **Reguladores Voith por circulación para turbinas hidráulicas**
J.M. Voith
G.M. b. A.
- **The ABC of Engine - Driven Generators and their Control**
Electric Machinery. MFG. Company
- **Norma de Nomenclatura**
Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Industria Eléctrica (CCONNIE).
- **Plantas Generadoras**
Carlos Luca
- **Interés Compuesto y Anualidades**
D. Fernando Díez Barroso C.P.T.
- **Reporte técnico relacionado con la automatización de la Planta**
Luis M. Rojas
Ing. Gilberto Rojas Gobea CFE.