

00569  
2ej. 1



# Universidad Nacional Autónoma de México

División de Estudios de Posgrado

## “DISEÑO DE UN SISTEMA PARA IMPEDIR LA INDUCCION DE AGUA A LAS TURBINAS”

### T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**Maestro en Ingeniería Química  
(Proyectos)**

P R E S E N T A :

**El Ing. Octavio Gómez Camargo**

DICIEMBRE, 1988.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

**DISERNO DE UN SISTEMA PARA IMPEDIR LA  
INDUCCION DE AGUA A LAS TURBINAS**

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
I. INTRODUCCION .....	3
I.1. Descripción de la planta .....	4
I.2. Planteamiento del problema .....	7
I.3. Metodología empleada .....	8
II. EVENTOS POSIBLES DE INDUCCION .....	11
II.1. Sistema de condensado .....	11
II.2. Sistema de agua de alimentación .....	15
II.3. Sistema de generador de vapor, lado agua-vapor .....	19
II.4. Sistema de vapor principal y recalentado .....	25
III. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES .....	27
III.1. Sistema de condensado .....	27
III.2. Sistema de agua de alimentación .....	30
III.3. Sistema de generador de vapor, lado agua-vapor .....	32
III.4. Sistema de vapor principal y recalentado .....	35

IV.	INGENIERIA BASICA Y BASES PARA LA INGENIERIA DE DETALLE .....	38
	IV.1. Calentadores 1 y 2 .....	38
	IV.2. Calentadores 3, 4, 5, 6 y 7 .....	43
	IV.3. Domo de vapor .....	52
	IV.4. Atemperadores .....	54
	IV.5. Drenajes especiales .....	54
V.	ESTIMADO DE INVERSION .....	57
	V.1. Ingeniería de detalle .....	57
	V.2. Procuración .....	64
	V.3. Construcción .....	65
	V.4. Puesta en operación .....	69
	V.5. Costos totales .....	69
VI.	CONCLUSIONES .....	70
	APENDICE A. DIAGRAMAS DE ANALISIS DE FALLAS .....	72
	APENDICE B. ABREVIATURAS EN DIAGRAMAS .....	85
	ANEXOS. DIAGRAMA DE BALANCE DE LA PLANTA	
	BIBLIOGRAFIA	

## R E S U M E N

Para evitar la inducción de agua a las turbinas de vapor empleadas en la generación de energía eléctrica se plantea el diseño de un sistema formado por - - instrumentación convencional, por ejemplo, interruptores de nivel, válvulas solenoides, válvulas de control, etc. Estos componentes se accionarán con un controlador lógico programable. La secuencia de operación se determina en función de las causas primarias que originan las condiciones a las cuales se presenta la inducción de agua.

El diseño del sistema consiste en proteger a la turbina de la inducción de -- agua, desde cualquier fuente posible. Cada protección tiene por lo menos tres defensas independientes para detener el agua, lo cual hace que el sistema sea altamente confiable.

La ingeniería básica se lleva a cabo considerando que el sistema se instalará en la Unidad 4 de la Central Termoeléctrica Valle de México, con lo cual se - puede evaluar la factibilidad técnica de la instalación y el costo de la inversión que se deberá hacer para la implantación de los sistemas que resultan del diseño.

## ABSTRACT

In order to prevent water induction in steam turbines used for electric power generation, this document proposes a new system applying conventional instrumentation like level switches, solenoid valves, control valves, etc. These items will be actuated by a programmable logic controller.

The operation sequence is a function of the primary causes responsible for the event of turbine water induction.

The system is designed to protect the turbine against water induction coming from any possible source; every system protection has at least three different independent ways of preventing water from entering the turbine, thus making the system highly reliable.

The basic engineering considers that the system will be installed in Valle de México's thermoelectric power plant unit no. 4 making possible the technical factibility evaluation of the facility, as well as the investment cost that will be spent on the system installation resulting from the technical design.

## I N T R O D U C C I O N

En años recientes la CFE se ha dado a la tarea de iniciar proyectos enfocados al mejoramiento de sus plantas, las cuales tienen una antigüedad promedio de veinte años. Considerando que la demanda de energía eléctrica crece exponencialmente y la capacidad instalada no ha crecido en la misma forma, se adoptó la política de alargar los períodos entre mantenimientos mayores y disminuir el tiempo destinado a realizarlos con el objeto de tener en operación el mayor tiempo posible cada una de sus plantas. Para conseguir lo anterior se requiere conjuntar varios aspectos, entre los que podemos destacar contar con la mano de obra especializada para la operación y mantenimiento preventivos; incrementar el nivel de automatización de sus plantas, con el fin de operar en condiciones óptimas; tener dispositivos de medición, transmisión y control altamente confiables los cuales garanticen que las variables de operación se mantengan dentro del rango adecuado para que exista una operación segura. Otros factores no menos importantes son: la existencia de lotes adecuados de refacciones, las cuales normalmente las recomienda el fabricante del equipo, y tener un programa de inspección, que haya surgido de la experiencia de operación de la planta.

En la época en que se diseñaron los equipos que forman la planta no existía la filosofía de protección actual, la cual surgió del desarrollo tecnológico durante los últimos años en el área de instrumentación y control especialmente. Debido a esto se han realizado estudios y actualmente se está llevando a la práctica la integración de sistemas más confiables de medición y control con los equipos mayores, tales como calderas, turbinas, condensadores, bombas y demás equipos mecánicos que representen el mayor porcentaje de inversión para una planta. La integración de estos nuevos sistemas combinados con una lógica de protección más confiable, dará como resultado un incremento sustancial de la eficiencia y un aumento en la confiabilidad y disponibilidad de la planta, lo que será un paso más encaminado a asegurar la continuidad en el suministro eléctrico para el progreso y bienestar del país.

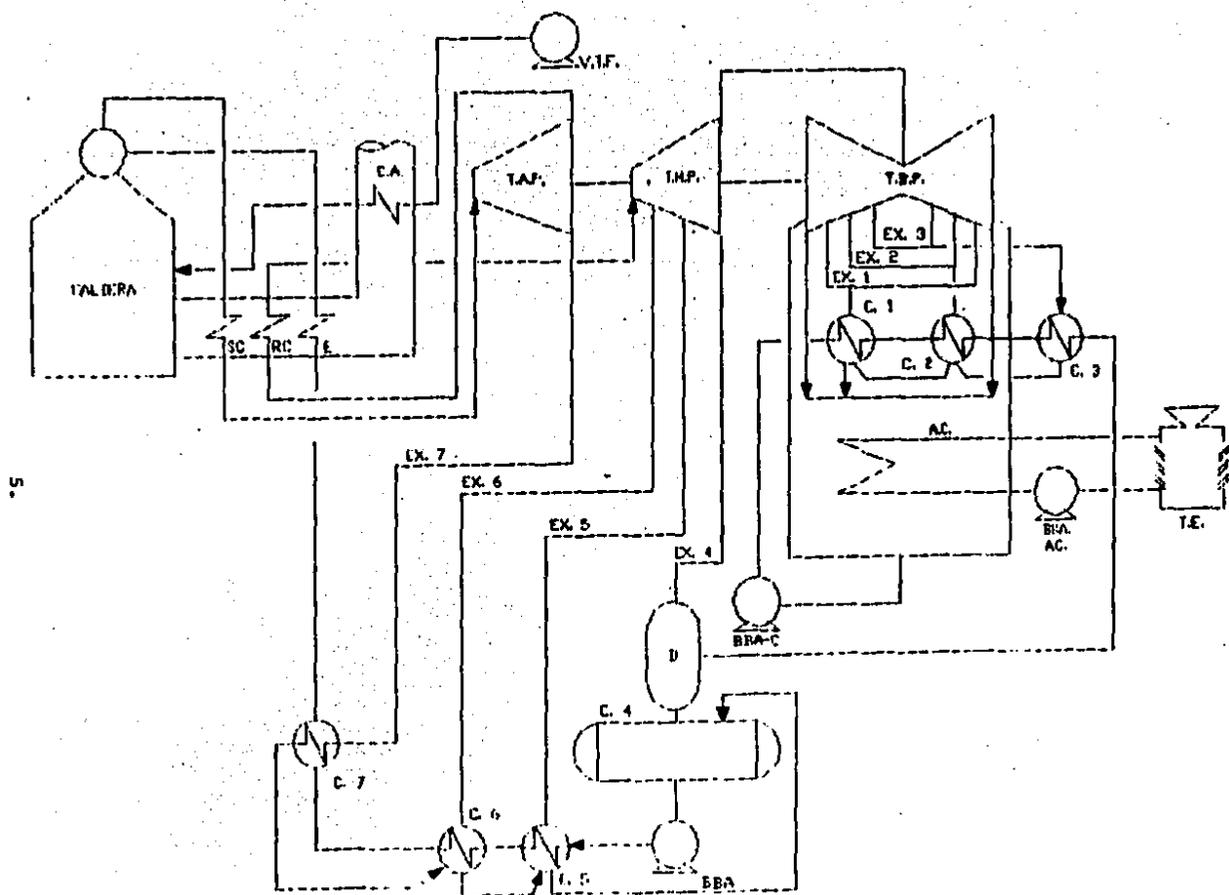
El trabajo que aquí se presenta forma parte de este plan nacional de mejoramiento de plantas termoeléctricas; en él se tomó como caso de estudio la unidad número cuatro de la central termoeléctrica Valle de México.

### I.1. DESCRIPCION DE LA PLANTA

La planta termoeléctrica Valle de México está ubicada 36 km aproximadamente al noreste de la Ciudad de México. La unidad cuatro se diseñó para generar 300 mega-watts utilizando el ciclo Rankin regenerativo. Los quemadores de la caldera se diseñaron para funcionar con gas o combustóleo, sin embargo en la actualidad solamente queman gas ya que la combustión es más completa y por tanto la contaminación es menor. Para condensar el vapor de escape de la turbina se emplea como medio un circuito cerrado de agua, la cual se hace pasar por una torre de enfriamiento atmosférico para ceder el calor que ganó previamente en el condensador.

Para el ciclo Rankin regenerativo se cuenta con cuatro equipos básicos que por su magnitud y delicada operación son los más importantes de una termoeléctrica; éstos son: generador de vapor, turbina, condensador y bombas de agua de alimentación. La caldera es del tipo de tubos de agua con domo horizontal y circulación natural, tiene una sección de sobrecalentamiento y otra de recalentamiento. Por el lado aire y gases es de tiro forzado con una sección para precalentar el aire requerido para la combustión y otra para precalentar el agua; a esta última se le llama comúnmente economizador.

La turbina consta de tres secciones las cuales están unidas por una flecha común a ellas y al generador eléctrico. La sección de alta presión recibe el vapor sobrecalentado directamente de la caldera, el cual al salir de la turbina se envía nuevamente a la caldera para ser recalentado; pero antes de llegar al recalentador un porcentaje del flujo se desvía hacia el calentador de alta presión (número siete). A esta derivación se le conoce como extracción número 7 la cual se condensa en el calentador y se drena hacia el calentador número seis -



5

FIG. 11. DIAGRAMA DE FLUIDO DE LA PLANTA

(veáse figura 1.1.).

El vapor recalentado se manda a la turbina de presión intermedia, la cual consta de dos pasos: del primero se toma la extracción número 6, la cual se condensa en el calentador número 6 y se drena al calentador número 5. Este mismo proceso se efectúa en el calentador número 5 drenando al 4, el cual es un desaerador que elimina el oxígeno y demás incondensables. Estas extracciones (la cinco y la cuatro) se toman del paso número dos de la turbina de presión intermedia (veáse el diagrama 1.1).

El vapor sigue hacia la turbina de baja presión, la cual es de flujo dividido y de aquí se toman las extracciones tres, dos y uno, las cuales efectúan el mismo proceso que se describió anteriormente para las extracciones seis y siete a excepción del condensado de la extracción uno el cual se envía totalmente al condensador. El resto del vapor se descarga directamente al condensador en donde pasa a ser líquido saturado al intercambiar calor con el agua de circulación. Ese líquido saturado lo toma la bomba de condensado y la hace circular a través de los calentadores uno, dos y tres descargando en el desaerador y entra en contacto directo con el vapor procedente de la turbina (extracción cuatro); de aquí el líquido se drena al tanque de oscilación, de donde lo toma la bomba de agua de alimentación y lo hace circular a través de los calentadores cinco, seis y siete; luego sigue hacia el economizador y finalmente llega al domo superior de la caldera, del cual bajará a través de los tubos hasta la sección de quemadores en donde pasa a la fase de vapor y así completan el ciclo termodinámico.

Para facilitar la operación y el manejo del proyecto una planta termoeléctrica se divide en sistemas; los principales son:

- Sistema de vapor principal y recalentado que comprende el vapor sobrecalentado que sale de la caldera, pasando por la turbina y regresando a la caldera; también comprende el vapor procedente del recalentador que llega a la turbina de presión intermedia y que finalmente pasa a la sección de baja presión.
- Sistema de condensado que incluye al condensador, la bomba de condensado y los calentadores de baja presión (el número 1, 2 y 3) hasta el desaerador.
- Sistema de agua de alimentación. Este sistema comprende desde el tanque de -

oscilación que recibe el líquido procedente del desaereador, las bombas de agua de alimentación y los calentadores de alta presión (el número 5, 6 y 7) hasta la caldera.

- Sistema de generación de vapor (lado agua-vapor). Este sistema abarca la caldera sin considerar el aire, quemadores, ni gases de combustión, ya que éstos son parte del sistema de generación de vapor (lado aire y gases). Como parte del lado agua-vapor están los bajantes, tubos ascendentes, domo superior y de lodos, venteos, drenajes y tanque de purga continua.
- Sistema de extracciones y venteos. Este sistema comprende las extracciones de la uno a la siete, así como la parte de vapor de los calentadores y el condensador.

## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las centrales termoeléctricas que generan 300 mega-watts son las que Comisión Federal de Electricidad considera como "plantas normalizadas". Estas plantas tienen una turbina que se diseñó para trabajar con vapor, el cual entra a una presión aproximada de  $169 \text{ kg/cm}^2$  a  $538^\circ\text{C}$  a carga máxima y sale de esta sección a  $47.5 \text{ kg/cm}^2$  a  $338^\circ\text{C}$  para ser recalentado hasta una temperatura de  $538^\circ\text{C}$ . De esta forma se dispondrá de mayor energía térmica para generar trabajo, también se tendrá mayor margen para operar en la fase de vapor. Los álabes de estas dos secciones de la turbina se manufacturaron para trabajar con vapor seco; sin embargo, por las condiciones a las que maneja el vapor y por las características del proceso se han tenido casos en que ingresa agua a la turbina, causando destrozos en los álabes, los cuales están contruidos de aleaciones especiales de metales importados, por lo que su costo es elevado. Para reparar la turbina se requiere esperar de diez a doce días a que se enfríe, y los trabajos se llevarán aproximadamente diez días de doce técnicos especialistas en el montaje de los álabes, y finalmente de tres a cuatro días para sincronizar la unidad con el sistema eléctrico nacional. En suma son aproximadamente 24 días, lo que equivale a 576 horas por 300 000 kilo-watts, que dá un total de 172'800,000 kilo-watts que se dejan de generar por un incidente de este tipo.

La inducción de agua a las turbinas es un problema que ha sucedido en varias - centrales del país y se tienen reportes de que también se ha presentado en Estados Unidos e Inglaterra, en donde se han realizado estudios para evitar este problema. En dichos países las investigaciones se han enfocado a desarrollar - dispositivos capaces de detectar la humedad en el vapor y disponer de una alarma en el cuarto de control con el fin de poder sacar de operación la turbina - antes de que pueda causar destrozos en los álabes; una vez que esto se lleve a cabo, el problema se corregirá y la unidad podrá seguir operando.

Actualmente no se ha podido construir un detector de humedad que trabaje en línea; todos los sistemas detectan el agua hasta que son inundados, y en ese momento es muy factible que el agua ya haya llegado a la turbina causando los daños descritos anteriormente. No obstante, en estos casos el problema es menor debido a que se pudo detectar antes de causar daños severos en los álabes.

En este trabajo se diseña un sistema capaz de impedir la entrada de agua a la turbina, usando la instrumentación convencional pero de alta calidad que se emplea en el control de procesos. El principio que se utiliza para lograrlo es - cerrar las posibles fuentes de agua cuando se detecten condiciones anormales de operación, y en condiciones extremas en que sea imposible evitar la entrada de agua a la turbina, ésta se deberá sacar de operación con el fin de evitar que se dañen los álabes.

### 1.3. METODOLOGIA EMPLEADA

Para realizar este trabajo se desarrollaron los siguientes pasos:

- a) Se revisó la literatura que a la fecha existe sobre el tema. Las fuentes - principales de información son reportes de conferencias, memorias de congresos, artículos en revistas especializadas, normas de asociaciones reconocidas y estándares de diseño.
- b) Se entrevistó a los operadores de las plantas, y se revisaron las bitácoras de operación de los días en que haya ocurrido la inducción de agua. Con esto

se pudo recabar experiencia y se consiguió detectar la falla inicial que propició el accidente. En esa forma se hizo posible atacar el problema desde su origen.

- c) Se consultó a los proveedores y fabricantes de los equipos involucrados con el fin de saber si ha habido algún desarrollo tecnológico nuevo para evitar la entrada de agua.
- d) Se hizo un resumen de todas las posibles soluciones por imprácticas o costosas que parecieran. A continuación se integraron las soluciones propuestas y se analizó la factibilidad física de incorporarlos al proceso termomecánico de la planta.
- e) Una vez que se seleccionaron las soluciones factibles de instalarse se hizo la ingeniería básica para integrarlas en un solo sistema capaz de impedir la inducción de agua desde cualquier fuente posible. Con esto se logró el diseño básico del sistema; el paso siguiente fue conseguir los datos de proceso y hacer los cálculos necesarios para que cualquier firma o grupo de ingenieros pueda desarrollar la ingeniería de detalle adecuada, así como la mejor selección de los dispositivos que se usarán.

La tesis está estructurada de la siguiente forma, el capítulo I lo constituye esta introducción, en el segundo capítulo se hace un análisis de cada uno de los sistemas que forman una planta termoeléctrica. A partir de este análisis se definen los eventos o condiciones de operación durante las cuales puede ocurrir la inducción de agua y se determinen los equipos o dispositivos que en estas condiciones de operación pueden provocar la entrada de agua a la turbina.

En el capítulo III se plantean las soluciones que tienen alta factibilidad de ser instaladas en la planta.

En el capítulo IV se presenta la ingeniería básica y se sientan además las bases para la ingeniería de detalle de los sistemas propuestos. La ingeniería básica comprende la instrumentación, control, tuberías y sistema eléctrico.

En el capítulo V se efectúa el estudio de inversión, incluyendo la programación de las actividades que incluyen la ingeniería de detalle, el costo y programa

de adquisición de equipos y materiales y el programa y costo de construcción y puesta en operación.

En el Apendice A con el fin de tener una visión más clara del incremento en la confiabilidad y disponibilidad de la planta con la incorporación de los sistemas y modificaciones aquí propuestos por simples que en algunos casos éstos parezcan, se presentan todos los diagramas de árboles de falla.

## EVENTOS POSIBLES DE INDUCCION

A continuación se hace un análisis de cada uno de los sistemas relacionados con la turbina y que por lo tanto son una fuente potencial de inducción de agua. Se revisó el diseño original de la planta y el estado actual, así como las condiciones de operación y se determinaron los eventos que pudieran propiciar la inducción. El sistema de condensado se trata junto con las extracciones 1 a 3 debido a que están íntimamente ligados, al grado de que se llegan a confundir en cada uno de los calentadores; de la misma forma se trata el sistema de agua de alimentación con las extracciones 4 a 7. El generador de vapor solamente se analiza por el lado agua-vapor por ser la que interesa en este trabajo.

## II.1. SISTEMA DE CONDENSADO

Este sistema propiamente se inicia en el pozo caliente del condensador; sin embargo el análisis se hace desde el escape del vapor de la turbina al condensador.

El condensador es del tipo de superficie. El agua de enfriamiento circula por los tubos los cuales están dispuestos de forma que provoca un flujo cruzado con el vapor de escape procedente de la turbina, el cual se encuentra húmedo a una presión aproximada de 2.25 inHg absolutas. Este vapor pasa a la fase líquida y se escurre hacia el pozo caliente para almacenarlo y de esa forma tener una columna hidrostática que dé el suficiente NPSH a las dos bombas de condensado, que son del tipo centrífugo. Estas se encuentran arregladas en paralelo y cada una maneja el 50% del flujo del condensado que es de 1641786 lb/h a máxima carga, lo hacen llegar hasta el calentador desaerador (el número 4) y descargan aproximadamente a 150 PSIA. El nivel del pozo caliente se controla regulando el suministro de agua de repuesto.

De la descarga de las bombas el condensado pasa a través del condensador de vapor de los eyectores y del condensador de vapor de sellos; los dos condensadores están arreglados en paralelo y sus respectivos condensados se regresan al pozo caliente. Estos equipos son horizontales del tipo de tubos y coraza; el primero de ellos recibe el vapor procedente de los eyectores encargados de retirar el aire y los incondensables que se hayan acumulado en el condensador; el vapor - motriz para los eyectores se toma del vapor principal y se descargará a la coraza del condensador. También del vapor principal se extrae una pequeña corriente que se envía al sistema de sellos de la turbina y después a la coraza del condensador para recuperar el agua.

El condensado principal sigue hacia el calentador 1, a control de flujo, aquí intercambia calor con la extracción uno, la cual se condensa y se envía al condensador; el calentador uno es en realidad un condensador subenfriador en el cual el agua circula por los tubos horizontales y el vapor por la coraza. Este equipo se encuentra instalado dentro de la carcasa del condensador, y durante la operación sólo son accesibles sus extremos. Es en éstos donde se instalan los instrumentos y dispositivos de medición, control y protección; la extracción uno está instalada totalmente dentro del condensador. El calentador cuenta con un controlador de nivel que trabaja en el rango normal de operación y regula la válvula de drenaje al condensador, y otro controlador de nivel que trabaja en el rango alto y que regula la válvula de drenaje, llamado alterno, al condensador, la cual se usa cuando la primera no tiene la capacidad necesaria para mantener el nivel en el rango seguro; si el nivel rebasa este rango, llegará al punto de disparo del interruptor LSHH por muy alto nivel, el cual ordenará abrir la válvula rompedora de vacío y parar la turbina para evitar que se siga operando en condiciones inseguras. Véase el diagrama 11.1.

El condensado principal sigue hacia el calentador dos; este equipo es idéntico en su arreglo y funcionamiento al calentador uno excepto que el drenaje normal va hacia la carcasa del propio calentador uno en vez de ir hacia el condensador. Al igual que la extracción dos, también está instalado dentro de la carcasa del condensador.

Después de pasar por el calentador dos el condensado principal sigue hacia el -

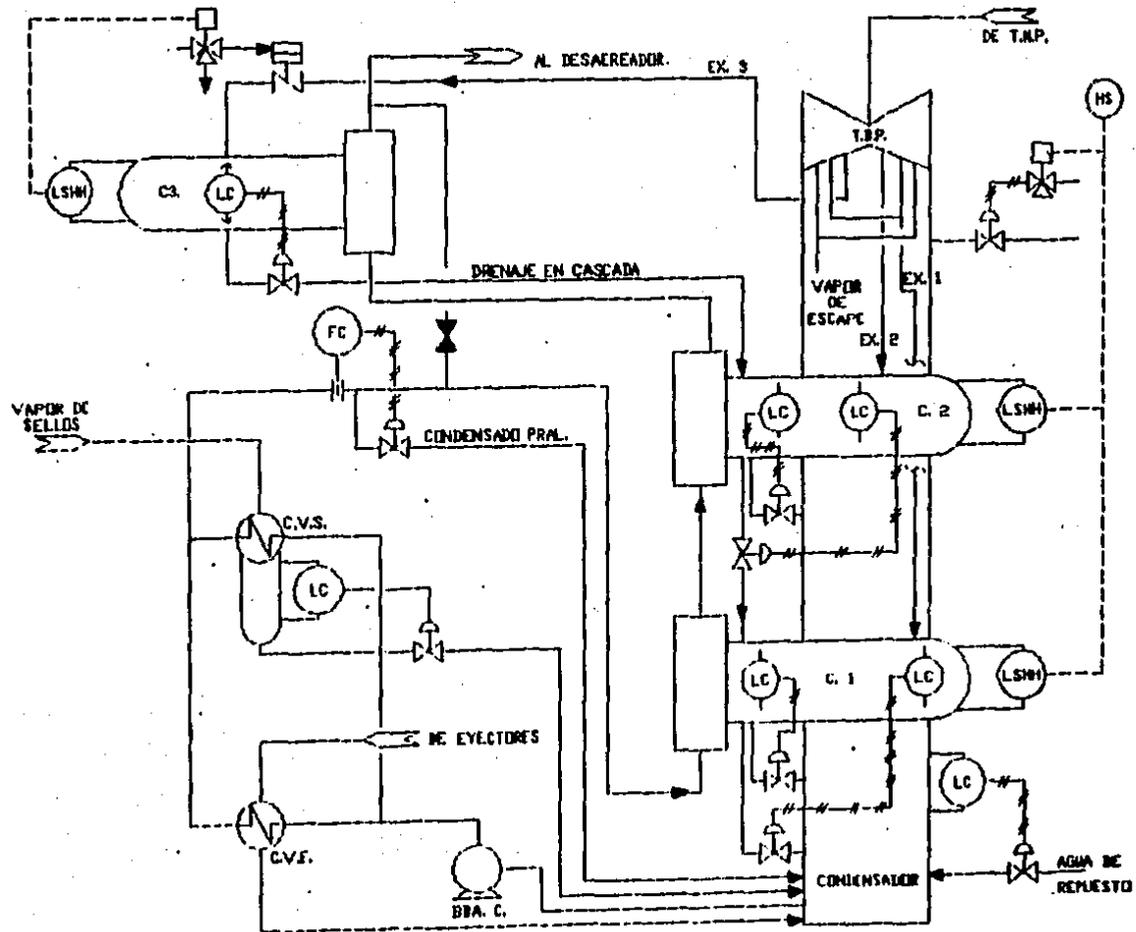


FIG. 13.1.- SISTEMA DE CONDENSADO

tres en donde intercambia calor con la extracción tres. Este calentador es del mismo tipo que los anteriores y se encuentra localizado al mismo nivel pero fuera del condensador; cuenta con un solo control de nivel que regula la válvula de drenaje que descarga a la coraza del calentador dos y no tiene drenaje alterno al condensador. En el caso de que el nivel se incremente hasta un nivel peligroso de operación, el interruptor LSHH se activará para desenergizar una válvula solenoide y hacer que cierre la válvula de no retorno instalada en la extracción tres. Esta válvula es de un diseño especial para evitar flujo inverso ya que cuenta con un mecanismo que funciona como válvula check, que al detectar baja presión corriente arriba cerrará evitando así un flujo a la turbina. La otra parte de la válvula trabaja con un cilindro neumático que impulsa un resorte para cerrar la válvula en forma automática cuando se retire la presión en el cilindro.

Las fuentes posibles de entrada de agua son: el condensador, los calentadores a través de las extracciones respectivas y el sistema de sellos.

El condensador recibe los drenajes de toda la planta, los cuales entran en líneas separadas a diferentes presiones y con flujos muy variados, también recibe venteos; todas estas entradas incrementarán su volumen específico dado que el condensador se mantiene a una presión de 2.25 inHg absolutas y por lo tanto provoca desbalanceos en el interior del condensador, lo que puede inducir a la turbina un flujo inverso que contenga altas cantidades de agua. En las plantas que se ha dado esta situación se ha detectado que el flujo inverso ocasiona daños a la carcasa de la turbina y en grado menor a las partes móviles de la misma.

El hecho de introducir flujos con cierta presión ocasiona que se pierda el vacío y en un momento dado sea mayor la presión en el condensador que en la turbina, provocando un flujo en dirección contraria a la normal.

Los calentadores 1 y 2 que se encuentran dentro del condensador ocasionan más problemas por inducción de agua ya que cuando ocurre el evento es prácticamente imposible detenerla porque las líneas de las extracciones son inaccesibles y no se puede instalar ningún dispositivo. Aunado a lo anterior está el diámetro de las líneas que son de 16 y 18 pulgadas respectivamente, lo que haría muy lento

el cierre de las válvulas. Debido a esto, cuando el nivel se incrementa en cualquiera de los dos calentadores, la turbina se dispara y se procede a desviar el condensado hasta el desaereador, ya que la línea de "bypass" comprende a los 3 calentadores y la operación es manual, ocasionando un paro de planta demasiado prolongado. Debido a problemas en un calentador se deben de sacar de operación las tres, mientras se repara el daño, lo que provoca una disminución considerable en el rendimiento de la planta.

El calentador tres no tiene un controlador de nivel en el rango alto por lo que si el nivel se incrementa la línea de drenaje normal no será suficiente para retirar todo el condensado, y el nivel seguirá incrementándose hasta alcanzar el punto de disparo del interruptor LSHH, que ordenará cerrar la válvula de no retorno. Esta válvula cerrará inmediatamente ya que es de acción rápida; sin embargo, por esta característica, la válvula no puede tener un sello hermético, y después de un tiempo se presentarán fugas, lo que ocasionará la inducción cuando el sistema se ponga nuevamente en operación.

Otro problema que presenta el sistema es que el interruptor de nivel se puede quedar atorado en su estado normal y no dar la orden de cierre a la válvula. El mismo problema puede suceder en la válvula de no retorno. También puede ocurrir que el fluido que permanece entrampado en la tubería no se drene y cuando se abre la válvula se provoque la entrada de agua a la turbina; esto se debe a que los drenajes tienen una válvula manual que no es posible verificar si se encuentra abierta o no.

Se ha detectado que cuando la planta opera a bajas cargas el vapor se condensa en las líneas de drenaje y no existe forma de detectar dicha acumulación; por lo que las tuberías de drenaje pueden ser una fuente potencial de agua.

## II.2. SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION

Este sistema se inicia en el tanque de oscilación del desaereador y termina en la entrada de agua al economizador pasando por los calentadores 5, 6 y 7. En este

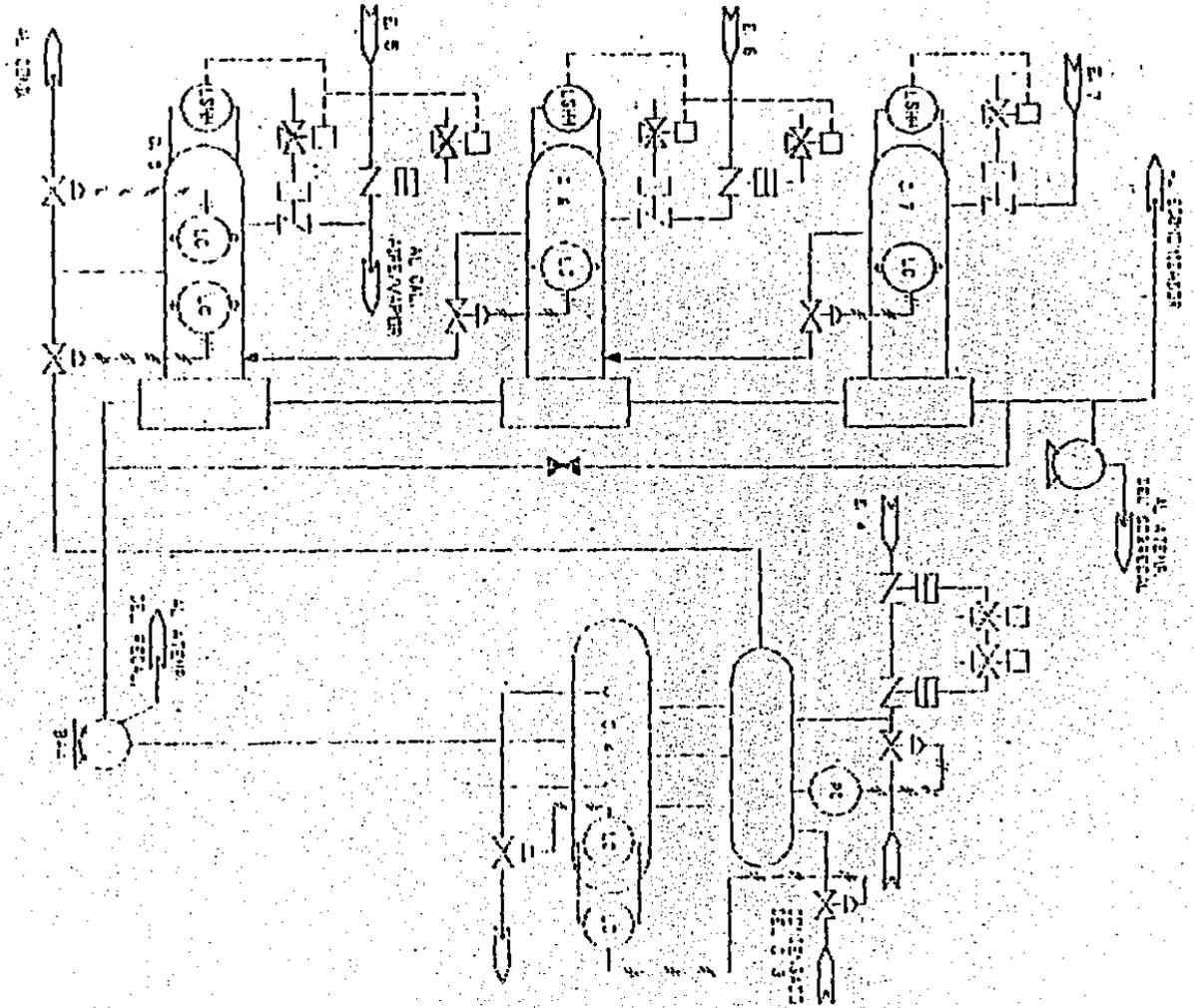


FIG. 112 - SYSTEM AS IN FIG. 111

capítulo también se incluyen las extracciones 4, 5, 6 y 7 de la turbina ya que se encuentran íntimamente relacionadas con la operación de este sistema.

El condensado procedente del calentador tres llega al desaereador pasando por una válvula regulada por el controlador de nivel instalado en el tanque oscilador; el vapor requerido para efectuar la desaeración del condensado llega procedente de la turbina de presión intermedia y del excedente de vapor auxiliar con el cual se controla la presión; el líquido formado del intercambio térmico se escurre a través de tres ductos hacia el tanque de oscilación, y los incondensables se retiran por medio de la fuga controlada. El tanque de oscilación cuenta con un solo drenaje que va directamente al condensador y con el cual se controla el nivel en el rango alto por medio de una válvula. Esta es una protección para evitar que el tanque se quede sin nivel, lo que provocaría problemas de cavitación en las bombas; la toma del drenaje se encuentra instalada a la mitad del tanque. Cuando se rebasa el rango alto del controlador se alcanza el punto de disparo del LSHH, el cual dará la orden para desenergizar las válvulas solenoides que permitirán que las válvulas de no retorno cierren, impidiendo de esa forma un flujo hacia la tubería.

Las bombas de agua de alimentación toman el agua del tanque de oscilación para incrementar su presión a 300 PSIA aproximadamente, ya que es la presión necesaria para entrar al domo de vapor. La planta cuenta con bombas centrífugas que operan en condiciones normales, las bombas están arregladas en paralelo y cada una maneja el 50% del flujo total que es de 2,070,012 lb/h para carga máxima. Del tercer paso de las bombas se extrae un flujo que se emplea para atemperar el vapor recalentado (procedente de la turbina de alta presión) antes de entrar al recalentador. El agua se envía al calentador cinco que es horizontal y circula por los tubos, y el vapor de la extracción entra por la coraza y se condensa para ser drenado al desaereador. En esta línea de drenaje se cuenta con una válvula de control que recibe la señal del controlador normal de nivel; cuando este nivel se rebasa opera el controlador de alto rango y ordena abrir la válvula para desviar el drenaje al condensador. También se tiene un interruptor que dispara por muy alto nivel para ordenar el cierre de las válvulas de no retorno.

El calentador seis recibe el agua de alimentación procedente del calentador cinco

el arreglo es muy similar entre estos calentadores, la diferencia radica en que el seis sólo cuenta con un controlador de rango normal para regular la válvula de drenaje al cinco, y el interruptor por alto nivel para cerrar la válvula de no retorno de la extracción. El calentador siete presenta el mismo arreglo que el seis.

Una vez que el agua de alimentación ha pasado por todos los calentadores, ésta se envía al economizador, pero antes se toma una línea por medio de las bombas - "booster" para enviarla como agua de atemperación al sobrecalentador. Estas bombas son centrífugas arregladas en paralelo para manejar cada una el 50% del flujo total que se requiere para atemperar el vapor principal.

Las fuentes posibles de inducción en este sistema son el desaereador y los calentadores de alta presión, todos ellos a través de las líneas de extracción de vapor.

El desaereador es un calentador de contacto directo entre el condensado y el vapor procedente de la extracción cuatro, por lo que es una fuente potencial - muy peligrosa de inducción de agua o vapor de baja calidad a la turbina. Este evento tiene más factibilidad de ocurrir durante un arranque de planta o en la operación a bajas cargas; además el desaereador recibe un flujo de vapor del sistema de vapor auxiliar, el cual también es factible de dirigirse a la turbina en un cambio de carga. Sólo se cuenta con un drenaje, por lo que si esta línea se llena y el nivel sigue incrementándose, no existe otra forma de detener el agua.

La línea de extracción presenta los mismos problemas que los descritos para la extracción tres.

El calentador cinco posee las mismas características del tres; además de esto, el agua que circula por los tubos se encuentra a una presión de 3000 PSIA, por lo que una ruptura de tubos implicaría una rápida presurización y la inminente inundación del mismo; por lo que el problema es más grave en estas condiciones debido a la alta velocidad del evento. Si el nivel sube lo suficiente para rebasar el rango normal de operación, la válvula de drenaje en cascada al desae-

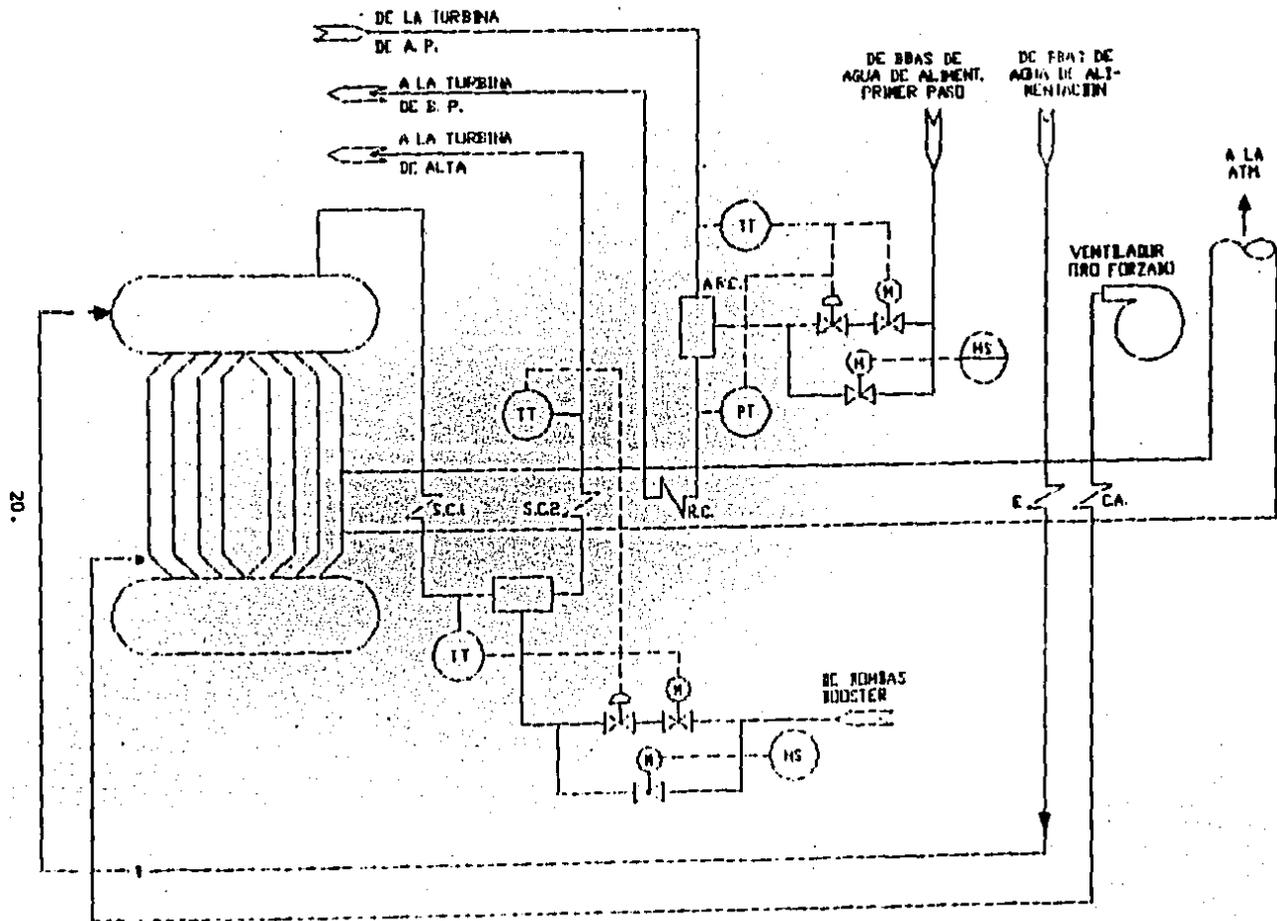
reador se abrirá al 100%, y si el nivel sigue aumentando empezará a abrir la - válvula de drenaje al condensador; sin embargo esto no solucionará el problema ya que ambos drenajes tienen una toma común, por lo que el flujo quedará limitado a la capacidad de la boquilla del calentador.

Los calentadores seis y siete tienen las mismas condiciones del calentador cinco. En caso de que alguno de estos tuviera un problema, se deberán sacar de operación los tres ya que la línea de "bypass" los abarca a todos; lo anterior implica que la carga se deberá bajar hasta un 60% aproximadamente, lo que provocará bajos rendimientos.

### II.3. SISTEMA GENERADOR DE VAPOR, LADO AGUA-VAPOR

Después de pasar por los calentadores, el agua de alimentación llega al economizador en donde intercambia calor con los gases de chimenea; esta es la última etapa de calentamiento para el agua que llega finalmente al domo superior de la caldera; de allí se escurre hasta la sección de quemadores en donde se evapora para regresar al domo de vapor y ser separado del líquido (véase figura II.3.). El control de nivel se efectúa tomando como referencia el nivel normal y comparándolo con la señal modificada procedente de la medición de flujo que llega a la turbina (véase el diagrama II.4.); a esta diferencia se le aplica la función de control y la resultante es la señal que llega a mover la válvula de control de agua de alimentación, la cual se encuentra cerca de la descarga de las bombas de agua de alimentación. Esta forma de control se usa cuando la planta se encuentra operando a bajas cargas. La señal de nivel se corrige con la presión que existe en el domo de vapor.

Cuando la carga se incrementa hasta un 30% el control se transfiere hacia otro módulo el cual compara la diferencia que se había obtenido previamente con la señal de flujo de agua de alimentación y a la resultante se le aplica la función de control que es proporcional más integral. Esta señal finalmente se envía a las bombas de agua de alimentación para manipular la velocidad y de esa forma -



20.

FIG. 11.2- SISTEMA CALERA  
CIRCUITO DE AGUA VAPOR

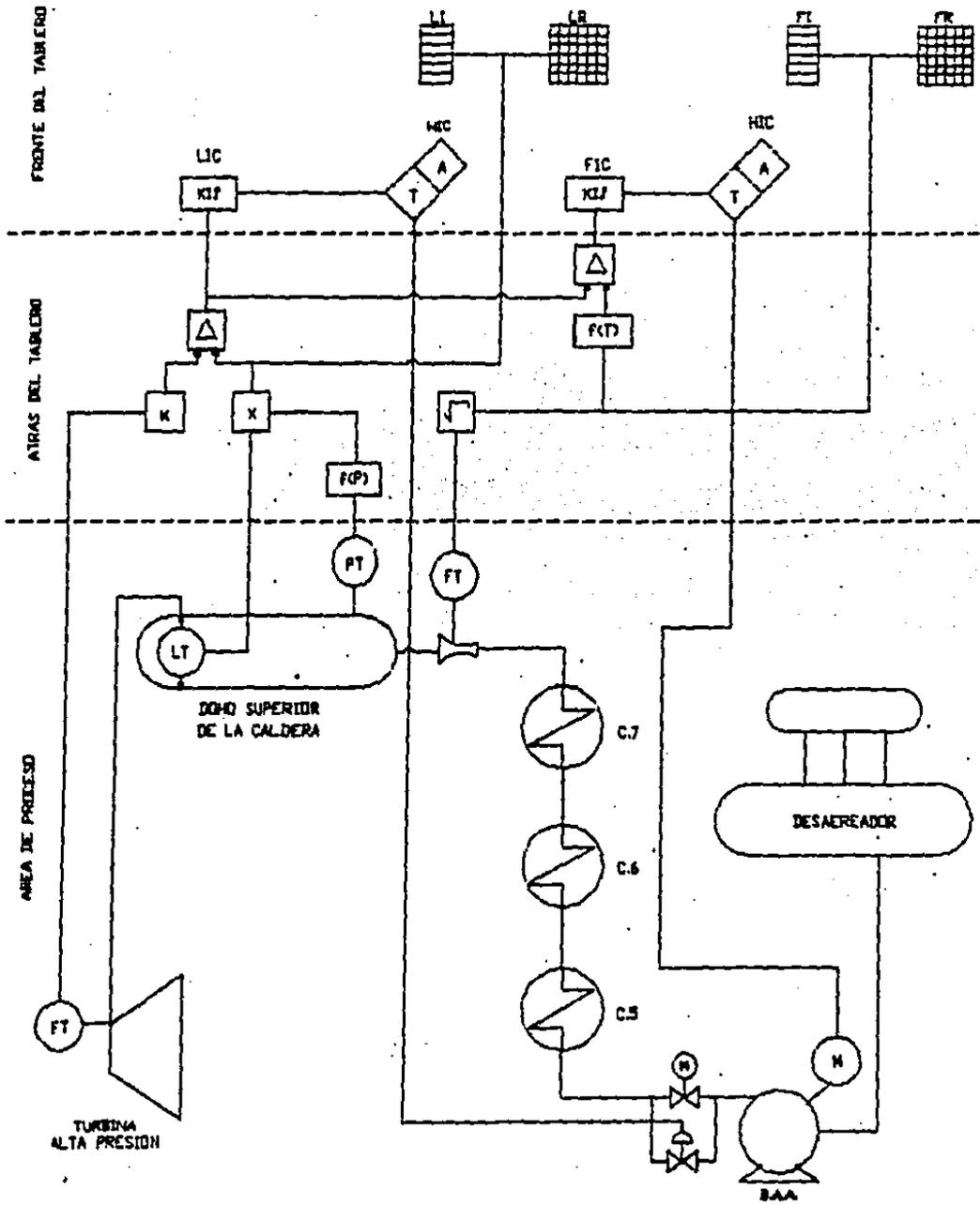


FIG 11.4 CIRCUITO DE CONTROL DE NIVEL DEL DOMO

corregir el flujo al valor deseado.

El vapor que sale del domo se dirige hacia el sobrecalentador para intercambiar calor con los gases procedentes de los quemadores; aquí el vapor incrementa su temperatura hasta 1000°F aproximadamente y 2400 PSIG, para dirigirse en estas condiciones a la turbina. El sobrecalentador se divide en dos secciones llamadas primario y secundario. Entre éstas se encuentra el atemperador, que recibe por un lado el vapor y por otro el agua procedente de las bombas de refuerzo; el control de temperatura se efectúa regulando el flujo de agua, tomando como base las temperaturas de entrada y salida del vapor. Para regular el flujo de agua se cuenta con una válvula de control y como protección una válvula motorizada, instalada en serie; adicional a estas dos se encuentra una tercera colocada en paralelo.

De la descarga de la turbina de alta presión, el vapor sale a 615 PSIA y 614°F y se dirige al sistema del generador de vapor para incrementar su temperatura en el recalentador hasta 1000°F; antes de entrar a éste se atempera con agua procedente de las bombas de agua de alimentación (primer paso). El control de temperatura se realiza de forma similar a la del vapor sobrecalentado y el arreglo de válvulas es idéntico.

Del fondo del domo de vapor se extrae la purga continua, la cual se descarga al tanque de evaporación instantánea para recuperar el vapor; éste se envía al des-aereador y el líquido se manda al tanque de purgas que está a la presión atmosférica.

Las fuentes posibles de inducción de agua a la turbina son el domo de vapor y los atemperadores a través de las líneas de vapor principal y de recalentado.

El domo de vapor tiene dos transmisores de nivel, uno de cada lado, éstos dan la señal para ejercer la función de control; sin embargo, dentro del domo se presentan fenómenos de oleaje que causan desajustes y señales de nivel equivocadas. También se presenta el fenómeno de burbujeo, que ocurre a bajas cargas; en estas condiciones, la fase de vapor forma burbujas dentro de la fase líquida, haciendo que el nivel se incremente. La señal del transmisor tendrá como -

fin reducir el flujo de agua, lo que provocará una súbita disminución del contenido de agua en el domo y en los tubos, por lo que su temperatura se incrementará y estos últimos sufrirán daños irreversibles. El fenómeno contrario se presenta cuando existen altas presiones y la interfase líquido-vapor disminuye, haciendo que el nivel sea menor que cuando se tengan grandes cantidades de líquido. En estas condiciones el transmisor de nivel pedirá más flujo de agua, lo que implica que ésta ingrese a las tuberías de vapor y de allí a la turbina. Para compensar este efecto se tiene la señal de presión que afecta a la de nivel; aun así se han tenido inundaciones del domo.

Se encuentran instalados otros interruptores por alto y bajo nivel, cuyo principio de operación es detectar la presión diferencial entre el nivel cero y su punto de disparo. Para hacer la comparación adecuada, estos interruptores deben tener las tomas de presión llenas de agua; debido a súbitos cambios de presión y temperatura, el agua de las tomas se evapora ocasionando falsas alarmas y lecturas de nivel erróneas, lo que no sólo puede provocar graves problemas en la operación, sino también la entrada de agua a la turbina.

El atemperador se usa para controlar la temperatura del vapor a fin de que éste llegue a una temperatura constante a la turbina evitando así disturbios en la misma. Cuando la planta se arranca o está operando a bajas cargas este sistema de control no trabaja adecuadamente y el agua que se acumula dentro del sobrecalentador es arrastrado hasta la turbina.

Al arrancar la planta la turbina puede estar rodando sin estar generando; en estas condiciones no se requiere controlar la temperatura del vapor y por tanto la válvula deberá estar completamente cerrada. Sin embargo, ha ocurrido que se queda abierta aun cuando el control automático ordene cerrar. Aparentemente se tiene otra línea de defensa que es la válvula motorizada; el sistema que se utiliza para cerrar esta válvula se muestra en el diagrama II.5., en el cual se puede apreciar que existe un interruptor de presión que detectará el punto en que la válvula neumática deberá cerrar y dará la señal para arrancar el motor y cerrar la válvula motorizada. Este sistema tiene la característica de depender de la misma señal para evitar el suministro de agua al vapor, y cualquier disturbio o mal funcionamiento de alguno de los componentes propiciará que se pierda

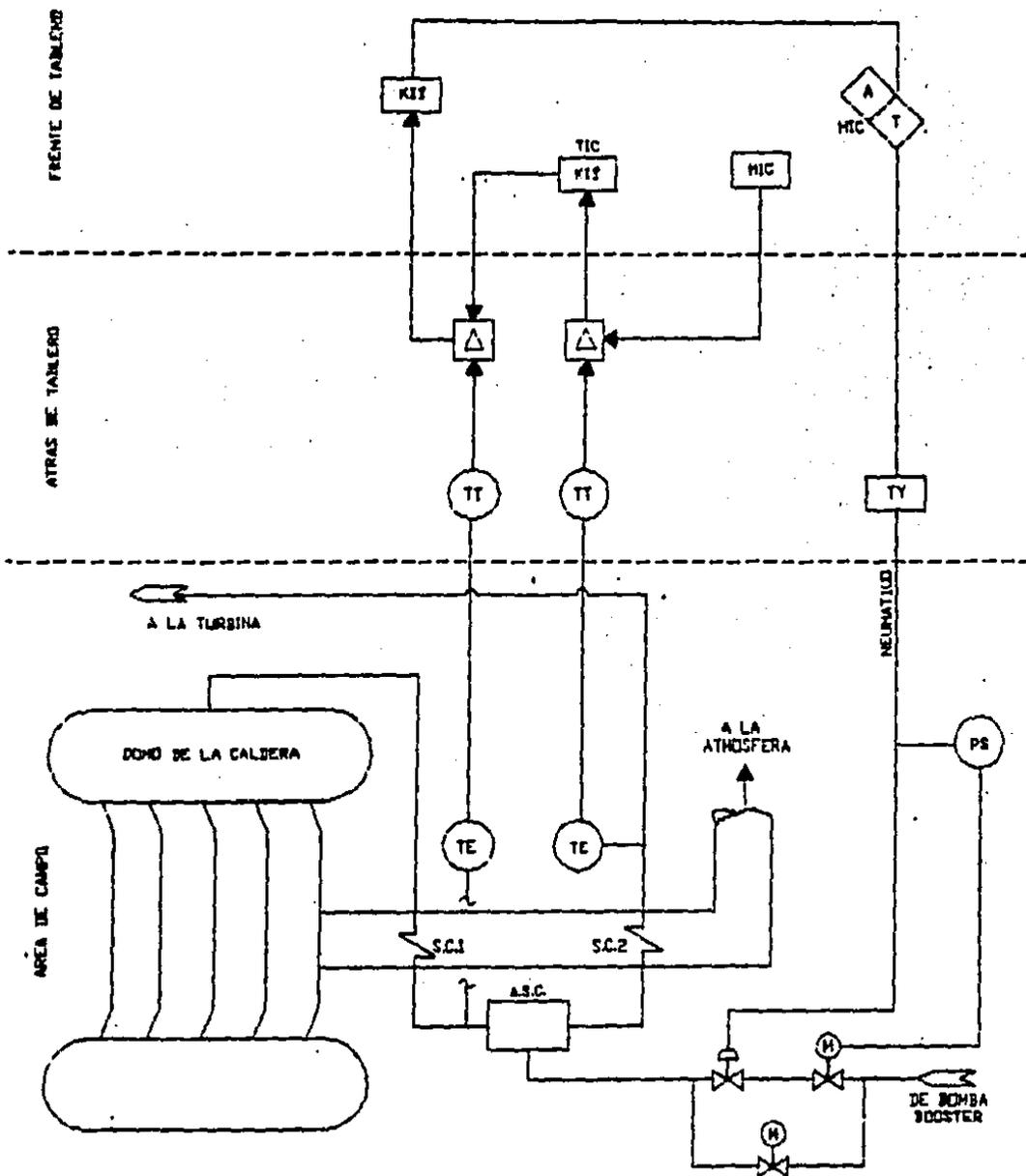


FIG. 11.5.- CIRCUITO DE CONTROL DE TEMPERATURA  
 VAPOR PRINCIPAL  
 24.

la protección.

Existe una válvula de "bypass" motorizada que puede permitir el paso de agua aun cuando estén cerradas tanto la válvula de control (neumática), como la de bloqueo (motorizada); esto implica que en un descuido, el operador podrá abrir la válvula en condiciones que no lo requieran, lo que permitirá la entrada de agua al sistema.

El atemperador del recalentador presenta las mismas características que el sobrecalentador además de que las tuberías de llegada y de salida del vapor terminan en la turbina. Esto hace que existan más posibilidades de inducción de agua, ya sea por arrastre o por flujo inverso, por lo que en este caso se deberán tener más precauciones en el diseño del sistema de protección, incrementando las líneas de defensa.

#### II.4. SISTEMA DE VAPOR PRINCIPAL Y RECALENTADO

Este sistema comprende las tuberías que llegan a la turbina para suministrar el vapor generado en la caldera, las que salen de la turbina para enviar el vapor a recalentarse y las que llegan procedentes del recalentador.

El vapor principal que sale del sobrecalentador se conduce a través de dos tuberías paralelas de 14 pulgadas cada una hasta la turbina de alta presión; antes de llegar a éste pasa por las válvulas de control (dos) y las de paso (dos). Este conjunto de válvulas las opera el gobernador de carga y el limitador de velocidad de la turbina. Cada línea de vapor principal cuenta con dos drenajes, uno de ellos se abre y cierra desde el cuarto de control; el otro se opera automáticamente por medio de un interruptor que a bajas presiones mantendrá abierto el drenaje, y cuando la presión se incremente más allá de un 25% lo cerrará. Para este último drenaje también se dispone de un interruptor manual ubicado en el cuarto de control que lo podrá manejar el operador.

El vapor sale de la turbina por medio de dos líneas paralelas de 20 pulgadas cada una y se envía hacia el recalentador; a estas tuberías se les llama de recalentado frío y cuentan con un drenaje automático como el descrito para el vapor principal. Después de pasar por el recalentador, el vapor regresa a la turbina a través de las líneas de recalentado caliente; antes de entrar a la turbina se regula el flujo de vapor con las válvulas interceptoras, las cuales son operadas por el gobernador de carga. El arreglo de drenajes es idéntico al del vapor principal.

Se han tenido bastantes casos de inducción de agua a través de este sistema debido a que cuando no se tiene una pendiente adecuada o bien cuando los drenajes se encuentran mal localizados se puede quedar agua acumulada a lo largo de las tuberías.

Otra posibilidad es que los drenajes se queden cerrados durante el arranque; esto provocará que el vapor se condense dentro de esas tuberías y causará la inducción. El ingeniero de operación no tiene forma de verificar que estos drenajes efectivamente se encuentran abiertos.

### III.

#### PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES

##### III.1. SISTEMA DE CONDENSADO

Para los calentadores uno y dos se propone hacer una desviación del flujo de condensado, la cual evitará que el agua siga entrando al calentador. Este sistema operará en forma automática, al detectarse alto nivel en el calentador respectivo se dará la señal para cerrar las válvulas de bloqueo y abrir la de "bypass" (véase el diagrama III.1.). También este sensor dará la orden para cerrar la válvula que controla el drenaje del calentador dos al uno, o del tres al dos según se aplique. El sensor de nivel debe ser de alta calidad y el periodo medio entre fallas debe ser largo dado que la confiabilidad del sistema dependerá de que este sensor haga las mediciones adecuadas. El objetivo del sistema será evitar que el nivel del calentador se siga incrementando hasta valores peligrosos en los cuales se pueda propiciar la inducción de agua a la turbina; el sistema deberá ser lo suficientemente rápido de tal forma que evite se alcance el punto de disparo del LSHH-1, el cual ordenará abrir a la rompedora de vacío y provocar un paro de planta. Una vez aislado el calentador del proceso, se le podrá dar mantenimiento y ponerlo en operación nuevamente; mientras tanto se perderá la carga térmica de un sólo calentador y no de tres como sucede actualmente.

Para el calentador tres (véase la figura III.2.) se propone un sistema de protección más completo dado que está instalado en un lugar más accesible. El sistema tendrá la función básica de bloquear la línea de extracción en cuanto se detecte alto nivel en el calentador; también se instalará un controlador de nivel que trabaje en el rango alto y que regule una válvula de drenaje de emergencia, el cual podrá enviarse al condensador o bien al tanque de purgas de la caldera, con objeto de no causar disturbios en el condensador.

En la línea de la extracción se instalarán sensores de humedad los cuales acti-

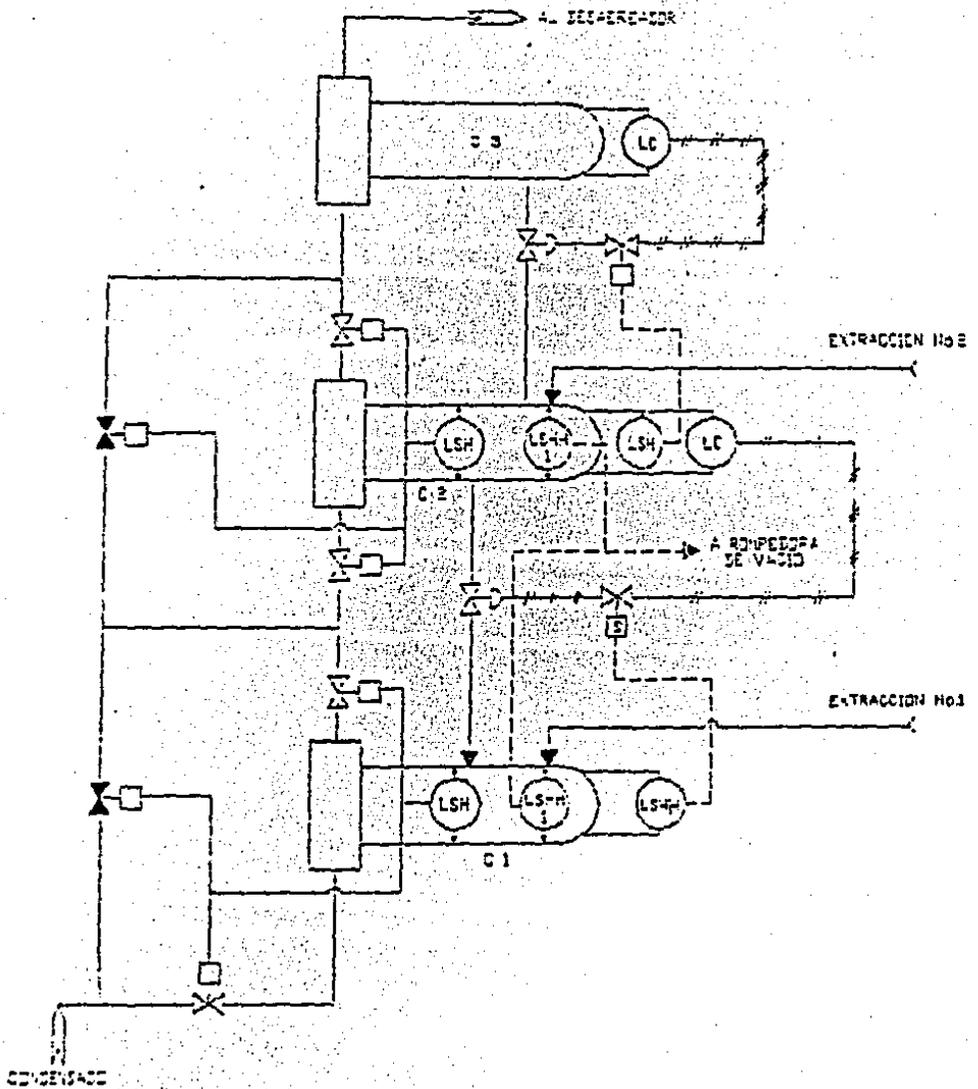


FIG 1001 REPRESENTACION DE LOS CALENTADORES 1 Y 2

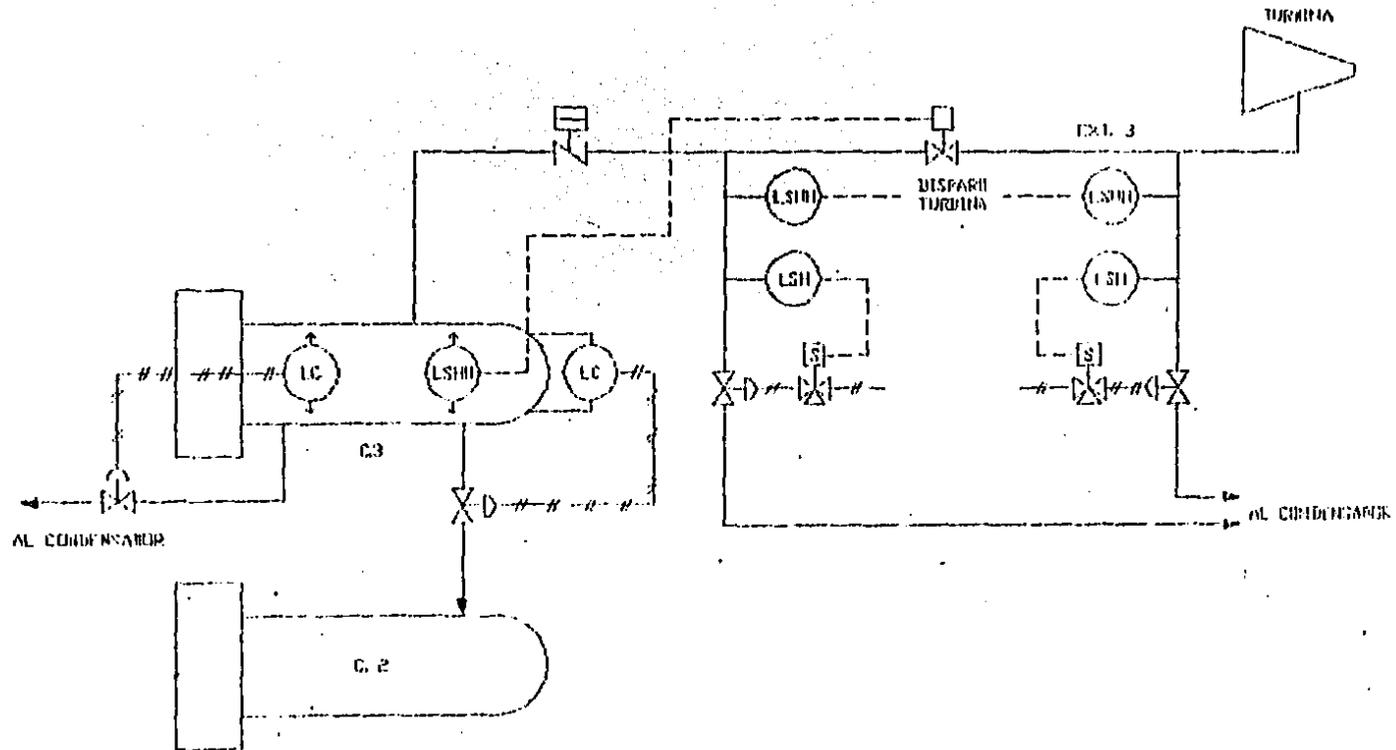


FIG. III.2.- PROTECCIONES DEL CALENTADOR 3

varán una alarma ubicada en el cuarto de control y a la vez darán la señal para que un circuito lógico cierre la válvula de bloqueo de la extracción y abra los drenajes de esa línea.

Debido a la magnitud del condensador y a que debe hacerse un diseño integrado con la turbina, no se pueden efectuar grandes modificaciones en la estructura de éste; tampoco hay acceso para instalar sensores de humedad que detecten el mal funcionamiento del condensador por lo que la instalación de algún sistema de protección no es factible.

### III.2. SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION

Para evitar la inducción de agua a través del calentador desaereador se propone el sistema que se muestra en la figura III.3., el cual consiste en lo siguiente: primero se sustituye el controlador que trabaja en el rango alto por un interruptor que dispara por alto nivel, el cual ordenará abrir totalmente la válvula de drenaje al condensador; de esta forma el nivel se restablecerá más rápido, con lo que la condición de peligro desaparecerá. En caso de que el drenaje no tenga la capacidad suficiente para restablecer el nivel, el siguiente interruptor entrará en operación y dará la orden para cerrar simultáneamente el drenaje en cascada que se recibe procedente del calentador cinco y una válvula de bloqueo que se instalará en la línea de la extracción de vapor número cuatro. Esta válvula tendrá la función de proporcionar un cierre hermético, dado que las válvulas de no retorno no tienen un alto sello debido a que su característica es cerrar rápidamente.

En la extracción se instalarán sensores de humedad, los cuales al detectar la presencia de humedad en la línea ordenarán abrir automáticamente los drenajes de la misma. Estos drenajes se deberán localizar uno entre la válvula de no retorno y la de bloqueo, y el otro entre la turbina y la válvula de bloqueo; esto con el fin de drenar el condensado que pudiera entrar procedente del desaereador y a través de las válvulas de no retorno dada su característica de bajo -

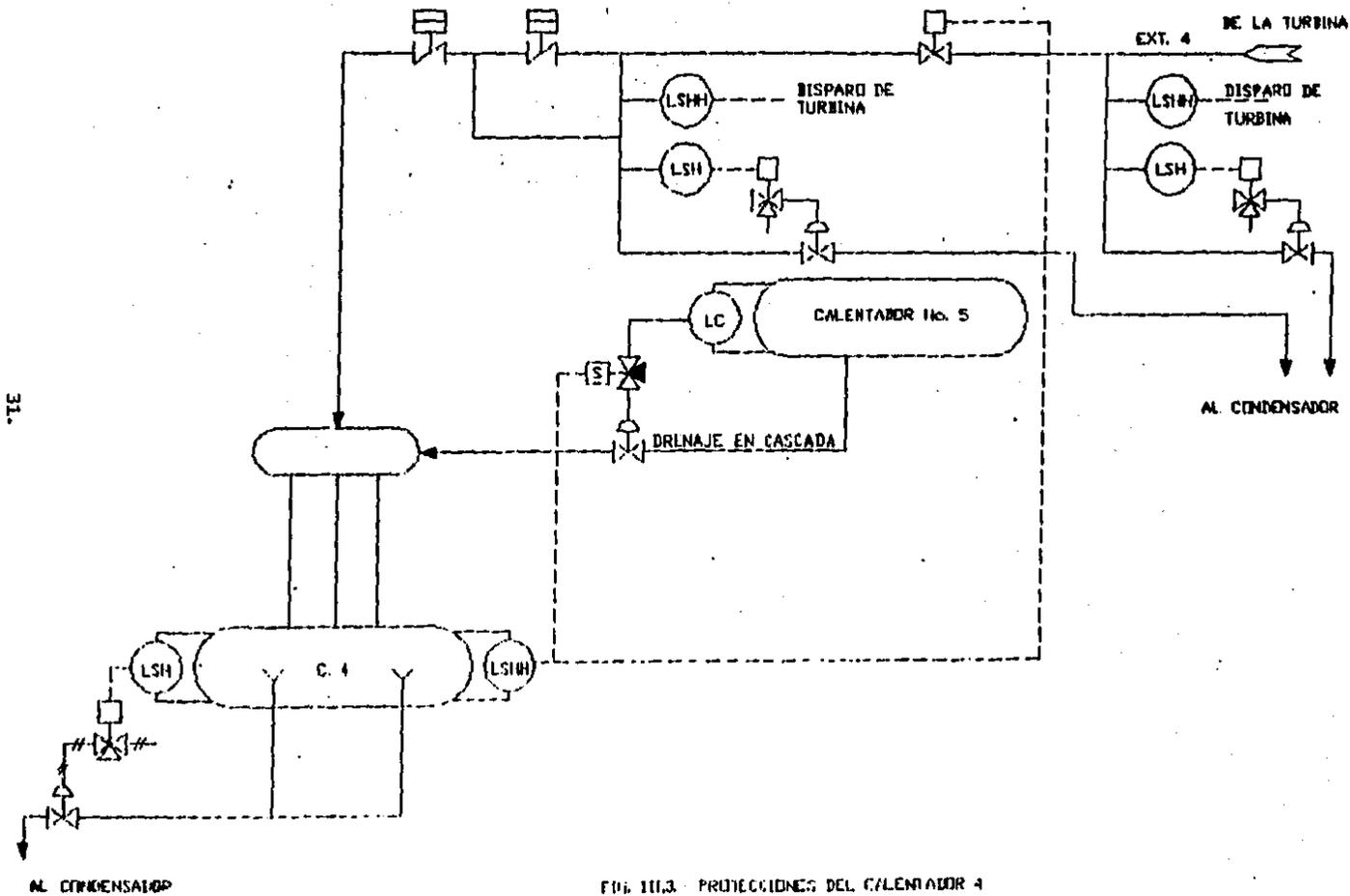


FIG. III.3. PROTECCIONES DEL CALENTADOR 4

sello, y por otro lado, drenar el condensado que se forma por el vapor acumulado entre la turbina y la válvula de bloqueo. De esta forma se deberá eliminar toda posibilidad de que el agua llegue hasta la turbina.

El sistema propuesto para el calentador tres es el mismo que se aplicará para cada uno de los calentadores cinco, seis y siete (veáse la figura III.2.).

### III.3. SISTEMA GENERADOR DE VAPOR, LADO AGUA-VAPOR

La medición correcta del nivel de agua en el domo de vapor es un problema que aún no se tiene solución. A la fecha se han probado varias clases de medidores con poco éxito, llegándose a tener incluso sistemas tan sofisticados como circuitos cerrados de televisión; sin embargo se siguen presentando complicaciones cuya repercusión es importante debido a que esta señal se emplea para control y afecta a toda la planta. En este trabajo se propone el siguiente sistema, (veáse la figura III.4.).

La presión que sensa cualquiera de los PT-1 será:

$$P_1 = P_d + LC_1 + (D - L) C_v + hC_1$$

$$= P_d + LC_1 + DC_v + hC_1 - LC_v$$

$$= P_d + L (C_1 - C_v) + DC_v + hC_1$$

$$L = \frac{P_1 - P_d - DC_v - hC_1}{C_1 - C_v}$$

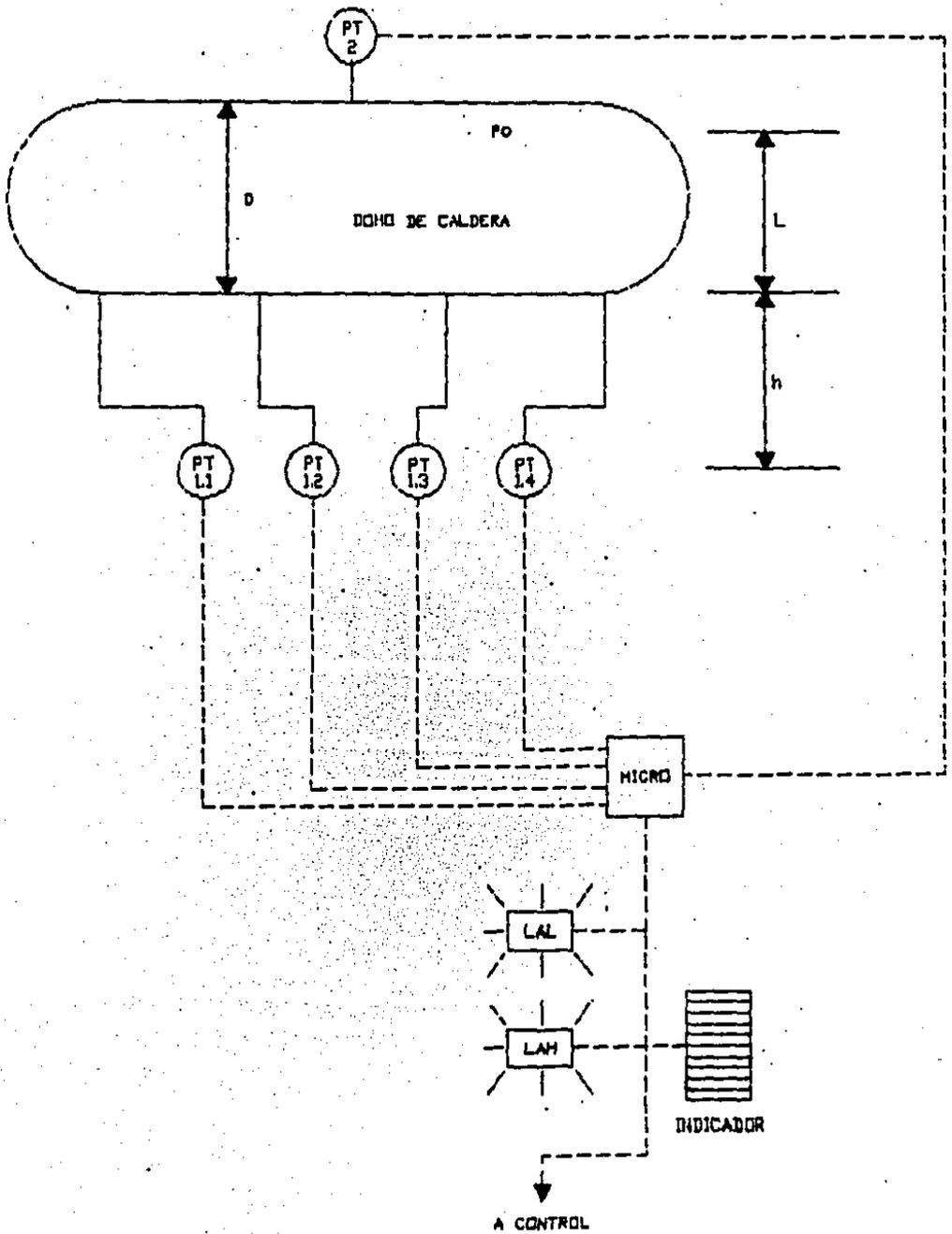


FIG III.4 DOMO DE LA CALDERA

SIENDO:

$P_d$  = presión estática del domo, la cual la mide el PT-2

$D$  = diámetro interno del domo

$h$  = altura tomada desde el fondo del domo hasta la ubicación de los transmisores (PT-1)

$C_l$  = densidad del líquido a las condiciones del domo.  
La toma de presión deberá tener aislantes térmico para evitar que la temperatura cambie

$C_v$  = densidad del vapor a las condiciones del domo

$L$  = nivel del líquido en el domo

HACIENDO:

$$C_l - C_v = K_1$$

$$Y \quad DC_v + hC_l = K_2$$

SE TIENE:

$$L = \frac{P_1}{K_1} - \frac{P_d + K_2}{K_1}$$

Para resolver la ecuación anterior se requiere un microprocesador al cual se le alimete como dato  $P_d$  y localice en su base de datos  $C_l$  y  $C_v$ , o bien que resuelva las ecuaciones siguientes  $C_l = f(P)$  y  $C_v = f(P)$  considerando condiciones de saturación. Con esos valores calculados se puede obtener  $K_1$  y  $K_2$  ya que  $D$  y  $h$  son constantes; también recibirá como dato  $P_1$  y podrá calcular el nivel.

El nivel lo podrá leer el operador en la sala de control y podrá usar el más representativo tanto para ejercer la función de control como para generar alarmas e iniciar paros de planta.

Para el atemperador del sobrecalentador se propone cerrar la válvula de bloqueo por un canal independiente al de la válvula de control, de tal forma que realmente sea una segunda línea de defensa; el esquema básico se presenta en la figura III.5.

También se corregirá el "bypass" ya que actualmente rodea tanto a la válvula de control como a la de bloqueo. El "bypass" debe ser únicamente para la válvula de control.

El arreglo que se propone para el atemperador del recalentador es el mismo que se usará para el sobrecalentador.

#### III.4. SISTEMA DE VAPOR PRINCIPAL Y RECALENTADO

En este sistema el problema principal es la acumulación de condensado en las tuberías por lo que se instalará un arreglo de drenaje automático, el cual se muestra en la figura III.6. Este operará de la siguiente forma: los drenajes abrirán automáticamente cuando los sensores correspondientes detecten la presencia de agua, o bien que haya baja carga.

La válvula contará con un indicador de la posición en la cual se encuentre y un interruptor manual ubicados en el cuarto de control con el fin de que el operador pueda conocer el estado de la válvula (abierta o cerrada) y la pueda operar.

Los drenajes deberán localizarse cuidadosamente, de tal forma que los condensados se puedan drenar rápidamente; además se instalará un sistema de sensores de humedad colocados en puntos estratégicos de la tubería con el fin de localizar la acumulación de condensados, o algún frente frío que pudiera llegar hasta la turbina.

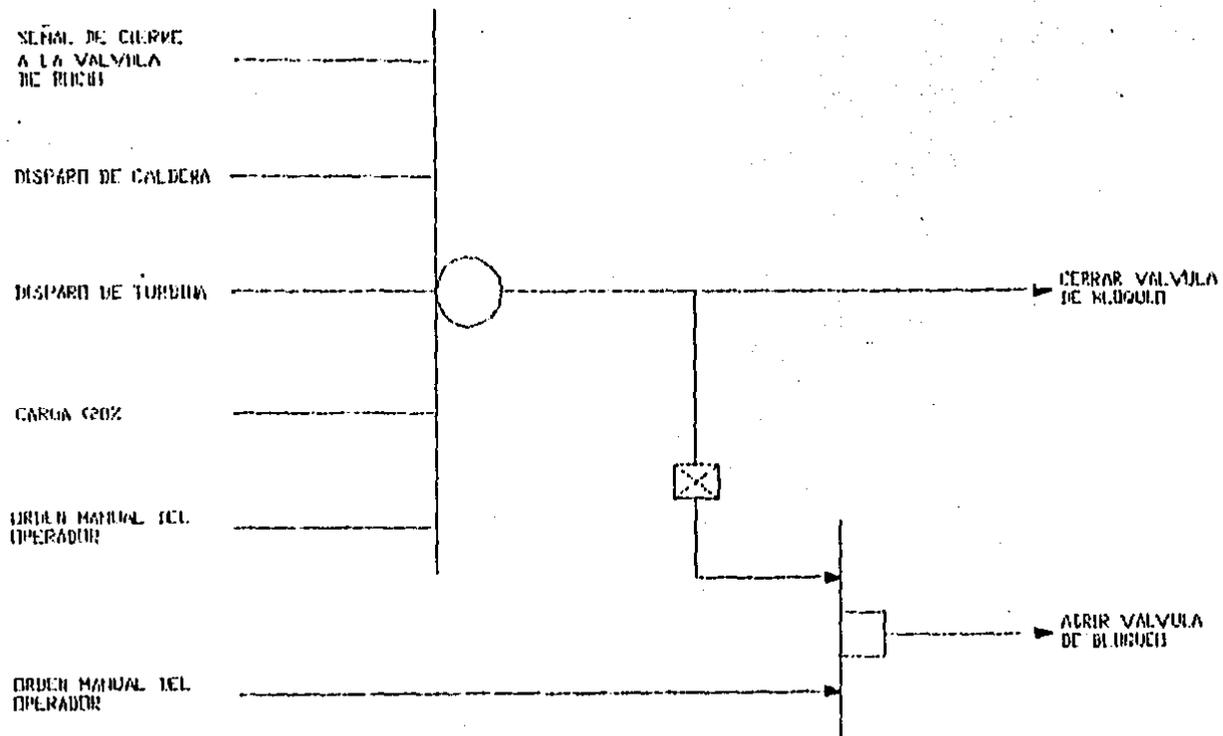


FIG III-5 OPERACION DE VALVULAS DE BLOQUEO

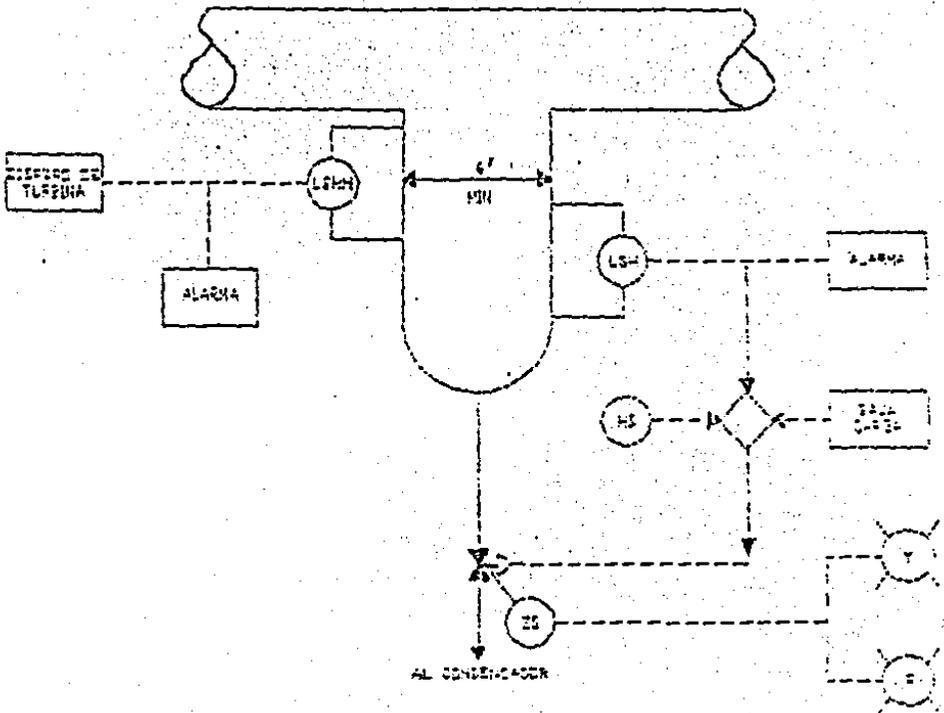


FIG. 116. SPEN-101 ESPECIALES

## IV

### INGENIERIA BASICA Y BASES PARA LA INGENIERIA DE DETALLE

A continuación se hará la ingeniería básica de cada uno de los sistemas propuestos en el capítulo anterior; también se sentarán las bases para desarrollar la ingeniería de detalle con el objeto de que en el momento que se requiera especificar los equipos se tengan todos los criterios y normas que se deben observar para que el sistema alcance su objetivo. A fin de realmente evitar la inducción de agua a la turbina, es muy importante que todos los equipos cumplan con el diseño básico que se propone ya que si uno solo faltara, el sistema quedaría incompleto y por tanto no estaría en condiciones de alcanzar su objetivo. De lo anterior se desprende la necesidad de efectuar una ingeniería básica muy completa; cuando se trate de equipos especiales se hará también la ingeniería de detalle, con el fin de que no haya alguna equivocación que provoque la falla del sistema.

Para la ejecución de la ingeniería básica el trabajo se dividirá en cada uno de los equipos en los cuales se instalarán los sistemas de protección.

#### IV.1. CALENTADORES 1 Y 2

El sistema de protecciones que se recomienda en el inciso III.1. para los calentadores 1 y 2 deberá de funcionar de acuerdo con el diagrama lógico IV.1. Este diagrama representa la operación del calentador uno, la cual es idéntica a la del calentador dos, por lo que no se llevará a cabo para este último. La descripción del diagrama es la siguiente: la primer defensa la constituye el bloqueo del drenaje en cascada procedente del calentador dos; esto ocurre cuando el nivel de agua llega al punto de disparo del LSH-1 (interruptor de alto nivel) el cual manda una señal que genera una alarma en el cuarto de control y continúa

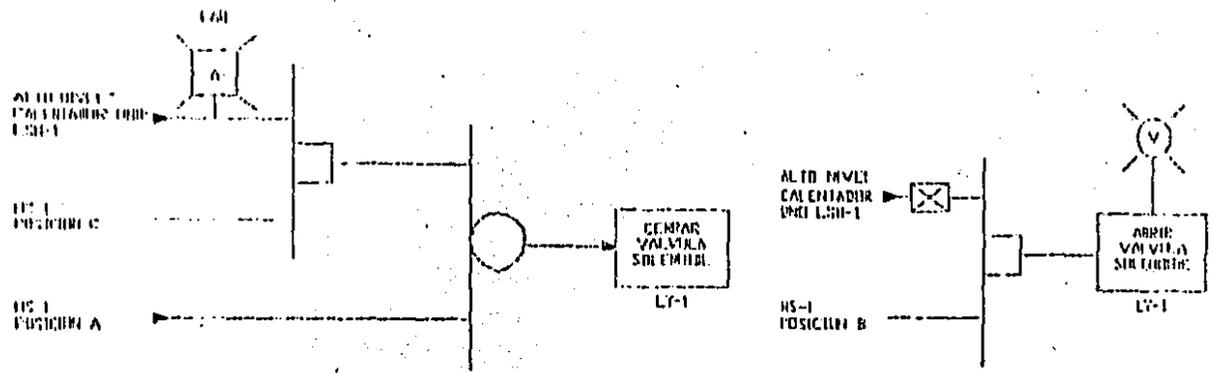


FIG. IV-1) OPERACION PRENTE EN CASCAIDA

39

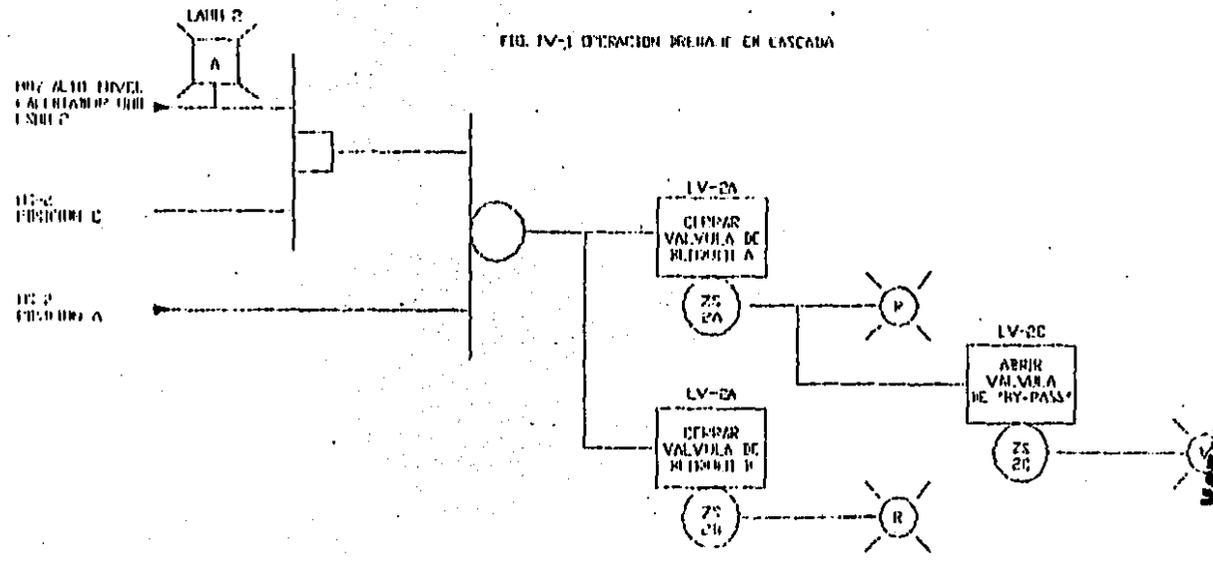


FIG. IV-1B) OPERACION DE "BY-PASS" CALENTADOR (HE)

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

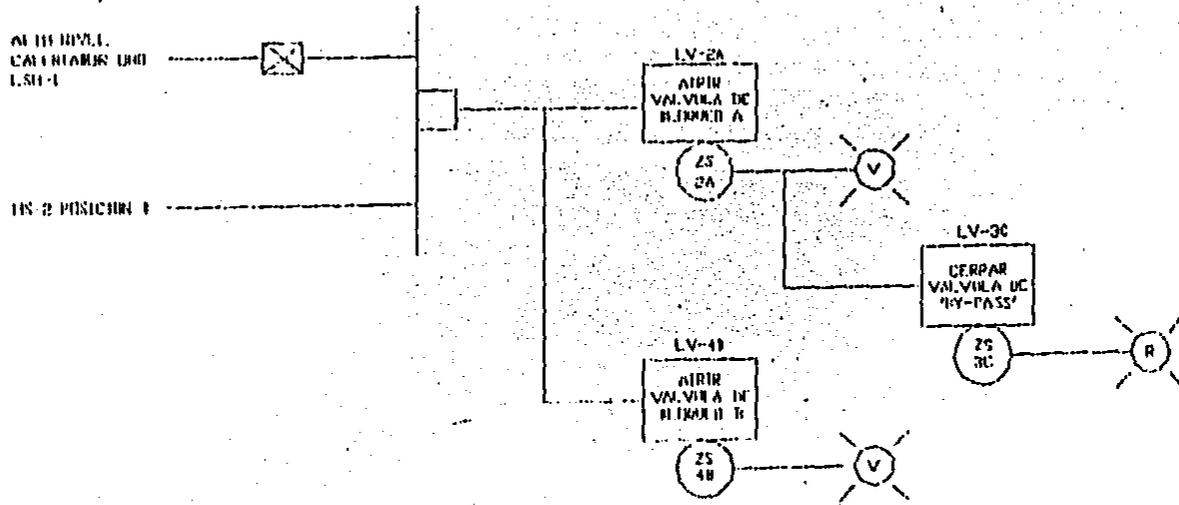
hasta una compuerta "and" la cual permitirá el paso de la señal sólo cuando el HS-1 se encuentre en la posición C. Si esta condición se da, la señal continuará hasta una compuerta "or", la cual permitirá el paso de la señal, lo que también sucederá si el HS-1 (interruptor manual) se encuentra en la posición A; de esta forma llegará la señal que desenergizará la válvula solenoide, la cual interrumpe la señal del controlador de nivel ubicado en el calentador dos. Con esta secuencia se cerrará la válvula que controla el drenaje en cascada.

Para regresar a la condición normal de operación será menester que no exista señal de alto nivel generada por el LSH-1 por lo que la compuerta "not" ordenará energizar la válvula solenoide y por tanto abrir la válvula del drenaje; esto ocurrirá si y sólo si el operador pone en la posición B al HS-1.

Si la operación de la primer defensa no es suficiente, el nivel se seguirá incrementando y alcanzará el punto de disparo del LSHH-2 (interruptor de muy alto nivel). Este generará una señal que dará una alarma en el cuarto de control; la señal continuará hacia una compuerta "and", la cual permitirá el paso de la señal si el HS-2 se encuentra en la posición C, entonces la señal continuará hacia una compuerta "or" en la que converge con la señal generada por el HS-2 - cuando se encuentra en la posición A. Cualquiera de las dos señales que esté presente podrá continuar para cerrar la válvula de bloqueo de condensado que llega al calentador uno y la de bloqueo de salida.

La válvula de bloqueo de entrada posee un interruptor de posición (ZS-2A) el cual al detectar que ésta se ha cerrado generará una señal para encender una luz roja en el cuarto de control y a la vez iniciar la abertura de la válvula de "bypass"; con lo cual el calentador quedará aislado y ya no será una fuente potencial de agua.

Para restablecer las condiciones de operación normales será necesario que el nivel del calentador sea normal y que el operador cambie el interruptor (HS-2) a la posición B; ambas señales deberán coincidir en la compuerta "and" para que la señal continúe hasta las válvulas de bloqueo A y B. Una vez que ha abierto la válvula A, el interruptor de posición (ZS-2A) enviará una señal para cerrar la válvula de "bypass" (LV-3C); de esta forma el calentador quedará en operación.



41

FIG. 1V.1C. RESTABILICION DE CONDICIONES INICIALES

## IV.1.1. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS EQUIPOS

### A. INSTRUMENTACION

#### - ELEMENTOS SENSORES

Los interruptores de nivel deberán estar contruïdos sin partes móviles con el fin de evitar una falsa alarma; el principio de medición deberá ser la resistividad ya que los valores de resistividad del agua son de  $10 \text{ EXP } 6 \Omega/\text{cm}$  y del vapor son de  $10 \text{ EXP } 8 \Omega/\text{cm}$  por lo que se tiene un rango muy amplio para evitar falsas mediciones. El elemento de transmisión será electrónico y autovalïdable, lo que significa que deberá ser capaz de detectar cuando algùn componente esté funcionando mal, esté en mal estado o bien que haya hecho una lectura errónea del proceso. Finalmente deberá ser capaz de transmitir la seña hasta el cuarto de control.

#### - VALVULAS

Las válvulas para aislar los calentadores deberán ser de abertura rápida, con cierre hermético; deberán contener interruptores que detecten la posición de abertura total y cierre total y que generen una seña eléctrica para encender luces indicadoras (verde y roja respectivamente) en el cuarto de control y además que den la orden para abrir y cerrar las válvulas de "bypass".

Deberán contar con una válvula solenoide para recibir la seña eléctrica y proceder al suministro o bloqueo del aire de instrumentos según se aplique.

El cuerpo de la válvula será del tamaño de la línea, en este caso de 10", por lo que podrá ser tipo bola o compuerta; el actuador será neumático - tipo pistón o cilindro con resorte.

#### - INTERRUPTORES MANUALES

Los interruptores manuales deberán ser para instalarse en tablero, de tipo pistola o de botón; en ambos casos deberán tener retorno automático a

la posición "C" para no bloquear la acción de los interruptores de campo.

- CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE

Las compuertas lógicas usadas para hacer posible la secuencia que se muestra en los diagramas se harán en un "Controlador Lógico Programable" el cual comprenderá todos los diagramas que surjan en el desarrollo de esta ingeniería.

B. TUBERIAS

La única tubería que se emplea en esta sección es la del "bypass"; en este caso se usará la que existe actualmente, y sobre ella se instalarán las válvulas correspondientes.

C. REQUERIMIENTOS DE POTENCIA

Los equipos que requieren suministro eléctrico son:

Los interruptores de nivel      10 watts    120 VCA

Las válvulas solenoides        33 watts    110 VCD

Las válvulas solenoides deberán estar conectadas a la fuente ininterrumpible de potencia que es clave en el desarrollo lógico de la protección.

IV.2. CALENTADORES 3, 4, 5, 6 Y 7

Para los calentadores 3, 4, 5, 6 y 7 el esquema básico de protección propuesto es el mismo, y se muestra en la figura IV.2.; para los calentadores 3 y 7 no aplica el bloqueo del drenaje anterior, dado que éste no existe.

La primer defensa la constituye el drenaje alterno al condensador accionado por el control de nivel de rango alto; ésta se complementa con el bloqueo del drenaje

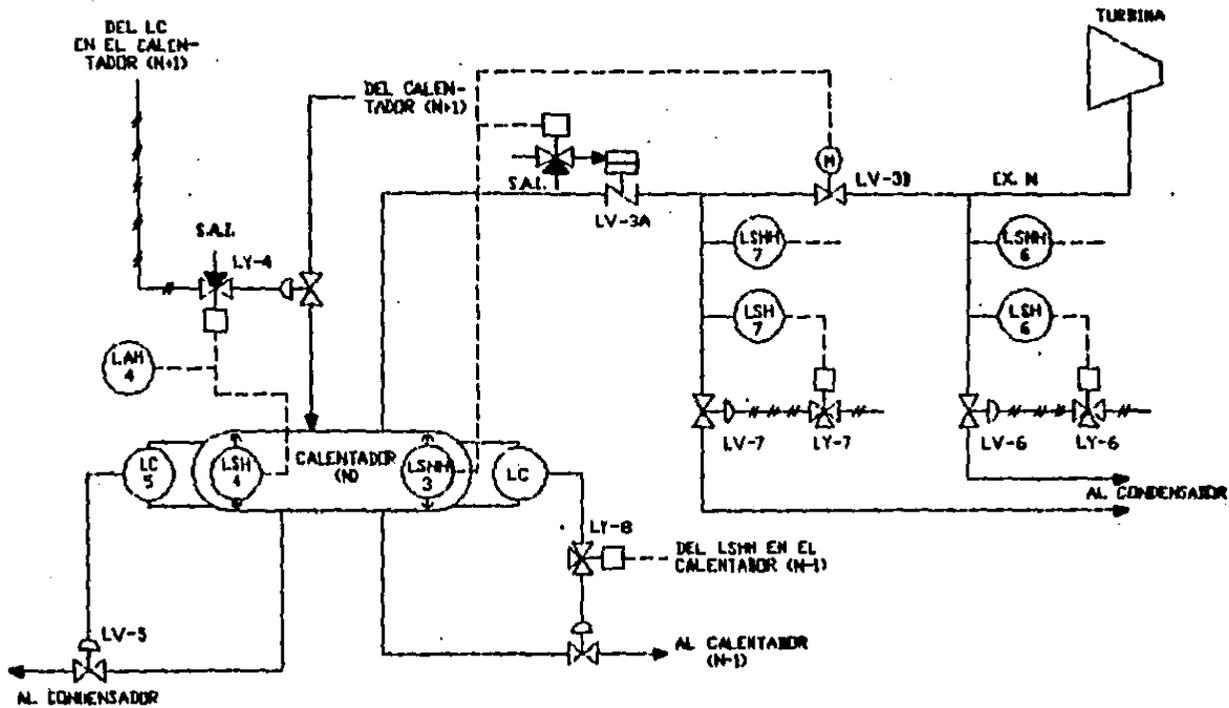


FIG. IV.2.- PROTECCIONES PARA EXTRACCIONES Y CALENTADORES

procedente del calentador anterior para los calentadores 4, 5 y 6; el 3 y el 7 no reciben este drenaje.

La operación de esta protección es idéntica a la que se describió para los calentadores 1 y 2, la cual se representa en la figura IV.1A.

La segunda defensa consiste en bloquear la línea de extracción y drenar el condensado que pudiera acumularse a lo largo de esta línea; para esto se instalará una válvula de bloqueo y dos drenajes, uno de éstos localizado entre la turbina y la válvula de bloqueo y el otro entre las válvulas de no retorno y la de bloqueo.

El sistema deberá funcionar tal como se muestra en el diagrama lógico IV.3. que se describe a continuación:

Para que la válvula de bloqueo cierre deberá ocurrir cualquiera de los siguientes eventos, los cuales se muestran en la figura IV.3A. La existencia de muy alto nivel en el calentador, detectado por un interruptor (LSHH-3); que la válvula de no retorno se encuentre cerrada; para lo cual se requiere un interruptor de posición que genere la señal correspondiente, y/o que exista muy alto nivel en cualquiera de los dos drenajes ubicados en la línea de extracción. Al existir una o varias de estas señales en la compuerta "or" la lógica continúa hacia una compuerta "and" en la cual se requiere que el interruptor manual (HS-3) esté en la posición C para cerrar la válvula de bloqueo; independientemente de lo anterior también se podrá cerrar con el HS-3 en la posición A.

El ZS-3B detecta la posición de cierre de la válvula y envía una señal para abrir la válvula de drenaje, la que también abrirá automáticamente cuando existe alto nivel en el propio drenaje o cuando la carga de la unidad se encuentre por abajo del 20%. Así mismo puede abrir por una acción manual del operador al accionar el HS-6 colocándolo en la posición A.

La otra válvula de drenaje abrirá automáticamente cuando exista alto nivel en el propio drenaje (LSH-7), cuando la carga de la unidad sea menor al 20% o bien cuando la válvula de no retorno esté cerrada. También podrá abrir por orden del operador (HS-7).

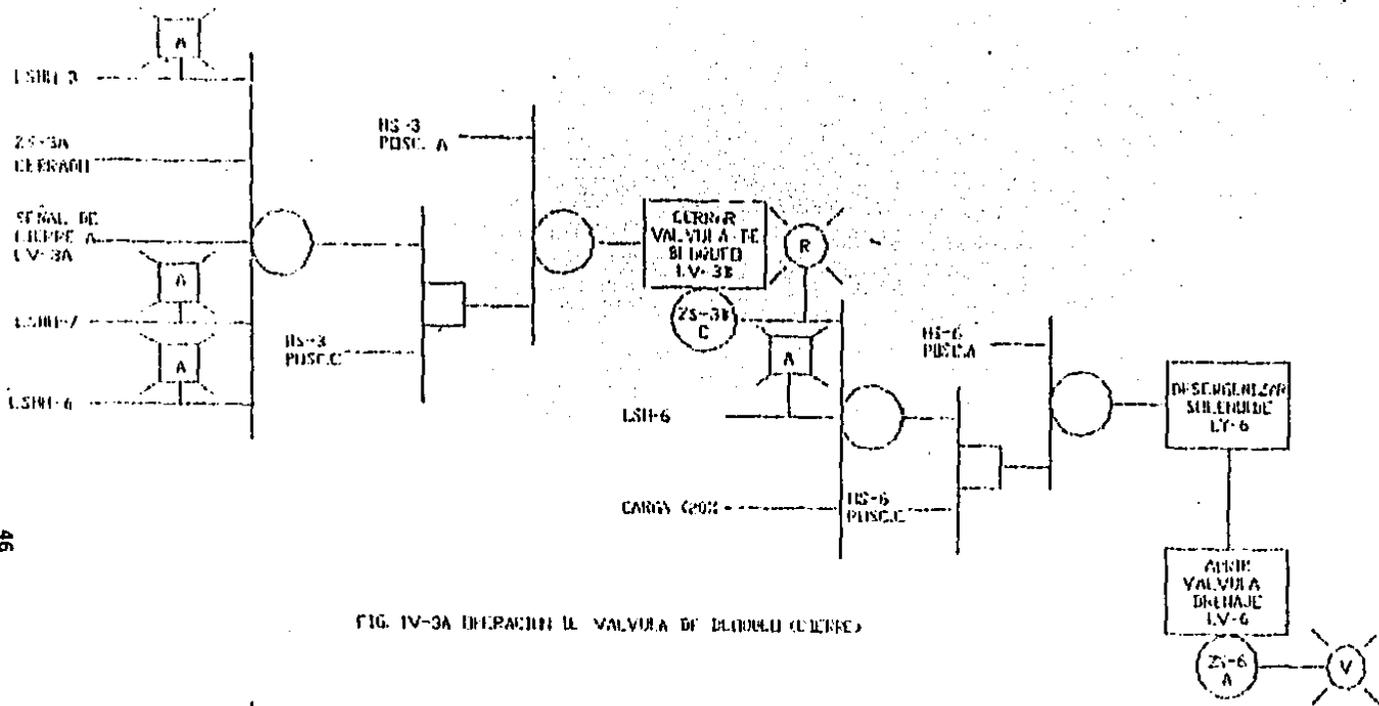


FIG. IV-3A OPERAZIONE DELLA VALVOLA DI DOPPIO AZIONE

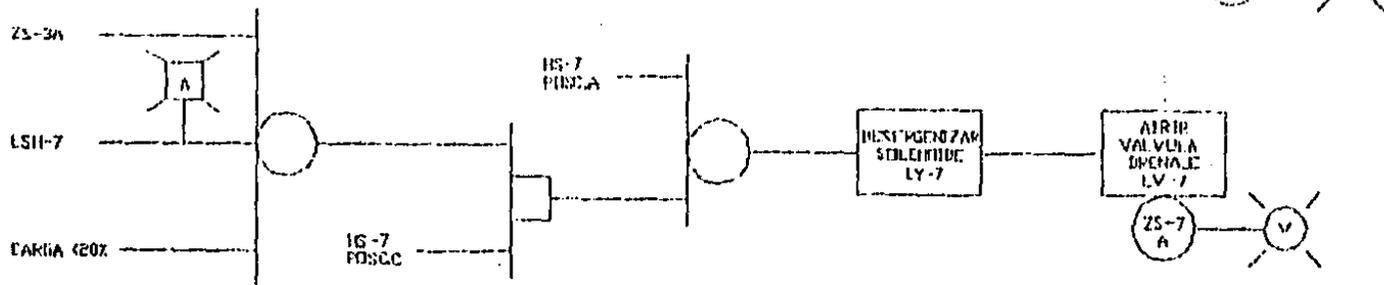


FIG. IV-3B ABRIR DECHAJE

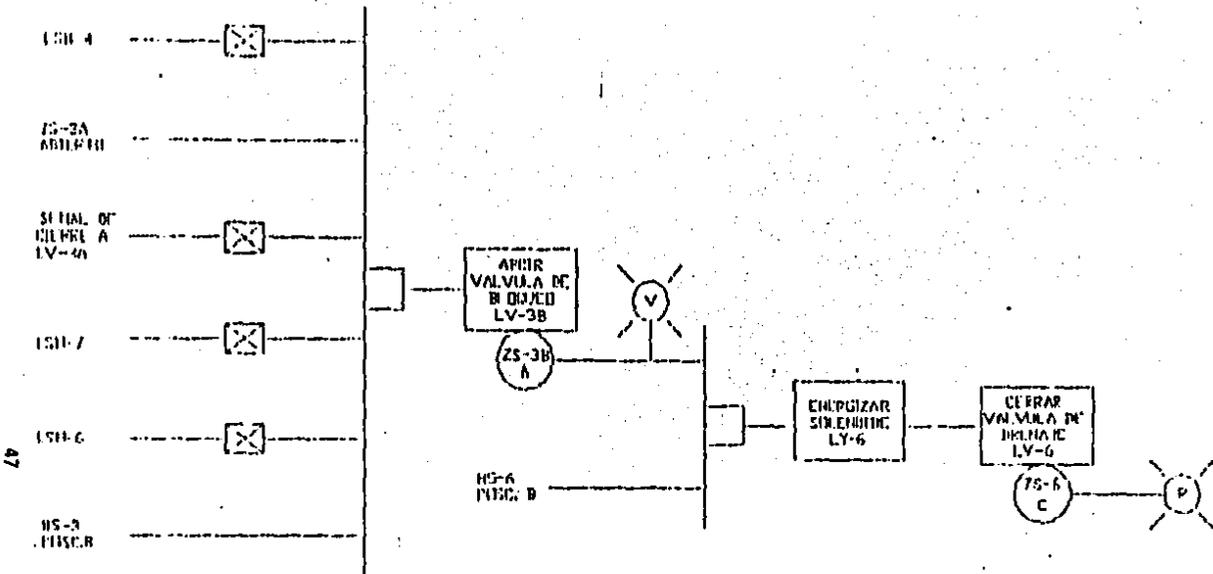


FIG. IV.30.- ABRIL VALVULA DE BLOQUEO

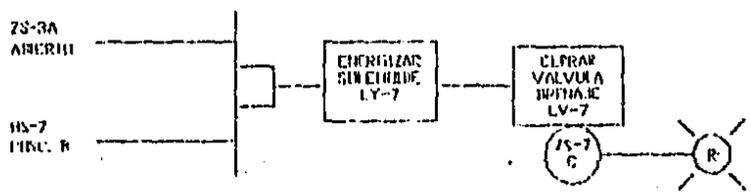


FIG. IV.31.- CERRAR DERRAMAJES

Para regresar a las condiciones normales de operación es menester que se cumplan las siguientes características: que el nivel en el calentador sea normal, es decir que el LSH-4 esté abierto; que la válvula de no retorno esté abierta (abierto ZS-3A); que la lógica de las válvulas de no retorno no ordene el cierre de la misma (LV-3A); que no exista nivel en ninguno de los dos drenajes, o sea que estén abiertos los interruptores LSH-6 y LSH-7 y que el operador ordene, por medio del interruptor manual HS-3, la abertura de la válvula de bloqueo. Una vez abierta la válvula, el interruptor de posición enviará un señal a la compuerta "and", a la cual deberá llegar también la orden procedente del interruptor manual para que se proceda a abrir la válvula de drenaje.

A fin de cerrar la otra válvula de drenaje será necesario que la de no retorno esté abierta y que el operador ordene el cierre por medio del HS-7.

#### IV.2.1. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS EQUIPOS

##### A. INSTRUMENTACION

###### - ELEMENTOS SENSORES, INTERRUPTORES MANUALES Y CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE

Deberán cumplir con las características que se describen en punto IV.1.1.

###### - VALVULAS

Las válvulas de bloqueo que se instalarán en las líneas de extracción deberán tener sello hermético debido al diámetro y las condiciones de presión; podrán ser de compuerta y accionadas por un motor eléctrico.

Las válvulas para los drenajes de las líneas de extracción deberán ser globo, con actuador neumático y válvula solenoide; la característica será de abertura rápida.

Para los drenajes de emergencia de los calentadores se deberán usar vál-

vulas de globo con actuador neumático tipo diafragma y válvula solenoide; la característica deberá ser lineal.

- CONTROLADOR DE NIVEL

Deberá ser tipo desplazador con un modo de control proporcional.

B. TUBERIAS

- DRENAJE DEL CALENTADOR 3

El gasto que se desaloje del calentador deberá ser el que resulte mayor de los siguientes:

- a) El flujo que ingresa al calentador por medio de la extracción.
- b) El 10% del flujo de condensado. Esto es considerando el caso de que se rompan los tubos dentro del calentador.

Para este caso el mayor es el inciso b y por tanto el gasto será:  
164178.6 lb/h

La velocidad para que este gasto ingrese al condensador está limitada a:

$$V = (500 \times v)^{0.5} \quad (\text{referencia ASME})$$

v : volumen específico a la presión del condensador:  
280.9 ft<sup>3</sup>/lb

$$V = \sqrt{500(280.9)} = 374.8 \text{ ft/s}$$

Area de flujo que se requiere:

$$\frac{164178.6 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \left( \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) 280.9 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}}{374.8 \frac{\text{ft}}{\text{s}}} = 34.18 \text{ ft}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4(34.18)}{3.1416}} = 6.6 \text{ ft}$$

Resulta imposible conectar una boquilla de estas dimensiones al condensador por lo que será preferible enviar este drenaje al tanque de purga continua.

El diámetro de la línea hasta antes de la válvula será de 6" con una velocidad de 4 ft/s. El material será ASTM A53GrA, aislada con silicato de calcio con un espesor de 38 mm, y lámina de aluminio para proteger el aislamiento. (referencia ESPEC TUBERIAS)

Dimensionamiento de la válvula de control.

Coefficiente de flujo

$$C_v = Q \sqrt{\frac{G}{\Delta P}} \quad (\text{referencia FISHER})$$

$$\Delta P \text{ máxima permitida } \Delta P = K_m (P_1 - r_c P_v)$$

$K_m$  = coeficiente de recuperación de la válvula

$r_c$  = relación de presión crítica

$P_1$  = presión de entrada a la válvula

$G$  = gravedad específica

$Q$  = gasto

$P_v$  = presión de vapor

$$L_n P_v = A - \frac{B}{T+C}$$

$$A = 18.3036, \quad B = 3816.44, \quad C = 46.13$$

$$P_v = 942.26 \text{ mmHg} = 18.19 \text{ PSIA}$$

$$r_c = 0.93$$

$$K_m = 0.78$$

$$\Delta P = 0.78 [33.36 - (0.93) 18.19] = 12.83$$

$$Q = 164178.6 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \cdot 0.017069 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}} \left( \frac{1}{60} \frac{\text{h}}{\text{min}} \right) 7.48052 \frac{\text{gal}}{\text{ft}^3} = 349.4 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$C_v = 349.4 \sqrt{\frac{0.9}{12}} = 95.7$$

Con lo cual se tendría una válvula de 4" de diámetro.

- DRENAJE DE LOS CALENTADORES 4 Y 5

Para este drenaje se usará la misma tubería y equipo de control; únicamente se deberá tomar directamente de la coraza del calentador.

- DRENAJE DEL CALENTADOR 6

Para determinar el flujo que se drenará, se aplican los criterios mencionados para el calentador 3.

$$Q = 232507 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} (0.01908 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}) 0.1247 = 553.09 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\phi = 8''$$

Material ASTM A 53 Gr B

Aislante silicato de calcio de 51 mm de espesor con protección de aluminio

Dimensionamiento de la válvula de control

$$P_v = 215$$

$$r_c = 0.91$$

$$K_m = 0.71$$

$$\Delta P_{\text{disp}} = 0.71 [339.3 - (0.91) 215] = 102 \text{ PSIA}$$

$$C_v = 553.09 \sqrt{\frac{0.9}{100}} = 52.5$$

La válvula deberá ser de ángulo para que pueda dar una caída de presión tan grande, con un diámetro de 4".

#### - DRENAJE DEL CALENTADOR 7

$$Q = 207001.2 \frac{lb}{h} 0.02006 \frac{ft^3}{lb} 0.1247 = 517.81 \frac{gal}{min}$$

$$\phi = 6''$$

Materia:l ASTM A 53 Gr B

Aislante silicato de calcio, espesor de 51 mm y cubierta protectora de aluminio

Dimensionamiento de la válvula de control

$$P_v = 380$$

$$K_m = 0.91$$

$$r_c = 0.83$$

$$\Delta P = 0.91 [584 - (0.83) 380] = 244.4$$

$$C_v = 517.81 \sqrt{\frac{0.96}{240}} = 32.8$$

La válvula deberá ser de ángulo de 4" de diámetro.

#### - REQUERIMIENTOS DE POTENCIA

Interruptor de nivel	10 watts @	120 V CD
Válvulas solenoides	33 watts @	110 V CD
Motores de válvulas	745.7 watts @	110 V CD

#### IV.3. DOMO DE VAPOR

Para el domo de vapor el principal problema reside en la medición de nivel; esta es la variable primaria que controla el flujo de agua de alimentación y otras variables muy importantes en la operación de la planta, por lo que será en este aspecto donde se centre la protección. El método de medición propuesto en -

el punto III.3. deberá probarse en planta para hacer los ajustes necesarios. La instalación del transmisor PT-2 (ver figura III.4.) deberá ser por arriba - del domo, y la tubería al proceso será lo más corta posible; la instalación de los transmisores PT-1.1 al 1.4 será por abajo del domo. La tubería al proceso será lo más recta posible y debidamente aislada.

#### IV.3.1. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS EQUIPOS

##### A. INSTRUMENTACION

###### - TRANSMISORES DE PRESION

Deberán trabajar en todo el rango de operación de la caldera y serán del tipo electrónico.

###### - CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE

Se usará el mismo controlador que se mencionó en el punto IV.1.1., programando la ecuación

$$L = \frac{P_1 - P_d - DC_v - hC_1}{C_1 - C_v}$$

$P_1$  y  $P_d$  son las señales provenientes de los transmisores de presión uno y dos respectivamente.

D: Diámetro interno del domo (constante).

h: Altura desde el transmisor hasta la parte inferior del domo.

$C_1$  se puede ajustar con un polinomio de Lagrange, pero la densidad del vapor no se puede ajustar con ningún polinomio por lo que se deberá programar en la base de datos del controlador en forma tabular en función de la presión.

##### B. REQUERIMIENTOS DE POTENCIA

Transmisores de presión      0.5 watts @ 24 VCD

#### IV.4. ATEMPERADORES

Para los atemperadores del sobrecalentador y el recalentador se propuso el esquema de la figura III.5., el cual no requiere nueva instrumentación ni equipos mecánicos adicionales. Todas las señales que entrarán al controlador lógico programable se generan actualmente en la planta.

La ventaja de usar este esquema se puede apreciar en el desarrollo de un árbol de fallas que se muestra en el apéndice A.

#### IV.5. DRENAJES ESPECIALES

Las tuberías de vapor principal, recalentado frío y recalentado caliente requieren drenajes especiales debido a la imposibilidad de instalar algún equipo que impida el paso de agua a la turbina. El sistema deberá ser tal como se muestra en la figura III.6. y funcionará según se indica en el diagrama lógico IV.4.

Esta lógica permitirá abrir la válvula de control cuando la señal de alto nivel esté presente o la carga de la planta esté por abajo del 20% y que el interruptor manual se encuentre en automático (posición C); también abrirá por orden del operador, por medio del HS-8 en posición A.

Para cerrar no deberá existir la señal de alto nivel ni la de baja carga y el operador deberá ordenar el cierre.

##### IV.5.1. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS EQUIPOS

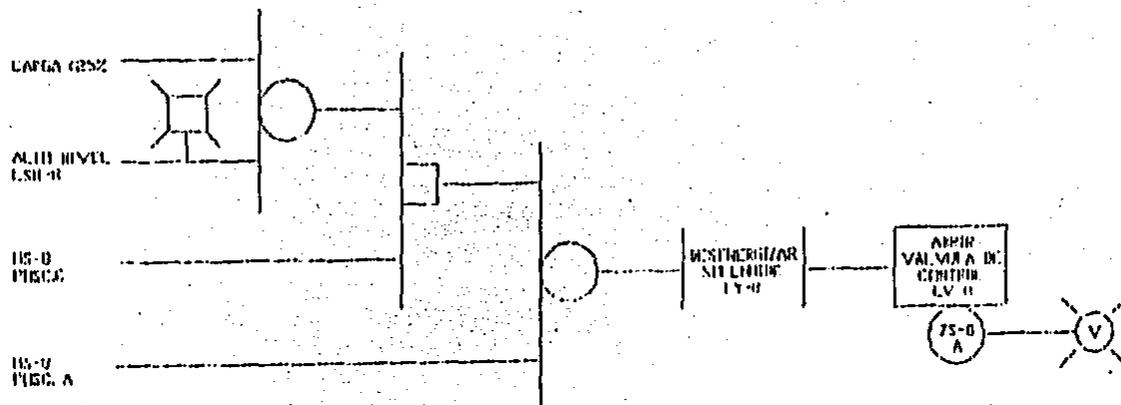


FIG. IV-4A VALVULA DE CONTROL (ABRIR)

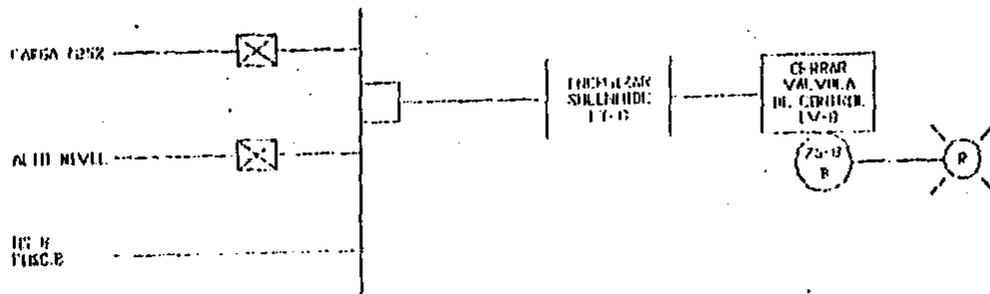


FIG. IV-4B CERRA DE VALVULAS DE CONTROL

## A. INSTRUMENTACION

### - ELEMENTOS SENSORES E INTERRUPTORES MANUALES

Deberán tener las características mencionadas en el punto IV.1.1. para los interruptores de nivel y manuales respectivamente.

### - VALVULAS DE CONTROL

Deberán ser de globo, con actuador neumático, válvula solenoide e interruptores de posición abierta y cerrada.

La característica es de abertura rápida.

## B: REQUERIMIENTOS DE POTENCIA

Interruptores de nivel

10 watts @ 120 V CA

Válvulas solenoides

33 watts @ 110 V CD

V

ESTIMADO DE INVERSION

A continuación se hace un estimado de la inversión que deberá hacer la CFE con el fin de implantar los sistemas de protecciones que se han presentado en los capítulos anteriores. También se incluye el programa maestro que se deberá seguir, ya que algunos equipos requieren para su instalación que la planta esté fuera de operación, por lo que éstos deberán estar listos antes de que ocurra un paro programado de la planta.

Estos paros regularmente son de quince días cada seis meses para mantenimientos menores y de un mes cada año para mantenimientos mayores.

PROGRAMA GENERAL

ACTIVIDADES / MESES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
INGENIERIA DE DETALLE																
PROCURACION																
CONSTRUCCION																
PUESTA EN OPERACION																

V.1. INGENIERIA DE DETALLE

Para hacer el programa de ingeniería de detalle primero se hará una lista de actividades con la cantidad de documentos que generará la firma de ingeniería.

## A. INSTRUMENTACION

1. CRITERIOS DE DISEÑO. Un solo documento que contenga las normas aplicables las cuales deberán ser congruentes con los equipos instalados.
2. DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION. Se instalarán los sistemas propuestos en los diagramas existentes que deberá proporcionar la CFE; éstos son:
  - D.T.I. Turbina y vapor principal
  - D.T.I. Vapor de extracción y venteos
  - D.T.I. Condensado y drenajes de baja presión
  - D.T.I. Agua de alimentación y drenajes de alta presión
  - D.T.I. Caldera circuito de agua
3. INDICE DE INSTRUMENTOS. Incluye todos los instrumentos necesarios para el sistema de protecciones, los cuales se anexan a los DTI's existentes (217 instrumentos aproximadamente).
4. MEMORIAS DE CALCULO. Se calcularán tres válvulas de control.
5. ESPECIFICACION. Cada instrumento deberá tener su hoja de datos, la cual puede ser común para varios instrumentos.
6. DIAGRAMA LOGICO DE CONTROL. Se hará un diagrama por cada interconexión de instrumentos; cuando sean repetitivos se podrá hacer una tabla (8 diagramas).
7. DIAGRAMAS DE CIRCUITO DE INSTRUMENTOS. Idéntico al punto anterior (8 diagramas).
8. DIAGRAMAS TIPICOS DE INSTALACION. Será necesario hacer uno por cada instrumento dado que se van a instalar a equipos ya existentes (79 diagramas).
9. DIAGRAMAS DE AJUSTE DE NIVEL. Se hará uno por cada equipo en que se vaya a instalar un sensor de nivel (14 diagramas).
10. LISTA DE PUNTOS DE AJUSTE. Se indicará el punto de disparo de cada uno de los interruptores (110 aproximadamente).
11. DIAGRAMA ESQUEMATICO ELECTRICO. Deberá incluir todos los instrumentos que estén interconectados eléctricamente (3 diagramas).
12. DIAGRAMAS DE ARREGLO DE TABLERO. El tablero de control será un anexo del existente, por lo que deberá ajustarse a las dimensiones de éste; deberán mostrar todos los instrumentos que se instalarán al frente del tablero -

13. LISTA DE MATERIALES. Se hará un condensado de los materiales que se requieren para la instalación de los instrumentos.

PROGRAMA DE INSTRUMENTACION

ACTIVIDAD / MES	1	2	3	4	5	H-H
CRITERIOS DE DISEÑO						50
DIAGRAMAS DE T. E I.						150
INDICE DE INSTRUMENTOS						60
MEMORIAS DE CALCULO						30
HOJAS DATOS						240
D. LOGICOS DE CONTROL						240
D. CIRCUITO DE INST.						120
D. AJUSTE DE NIVEL						40
LISTA DE PUNTOS DE AJUSTE						40
D. RUTAS Y SEÑALES						150
D. ARREGLO DE TABLERO						40
D. ESQUEMATICOS ELEC.						150
LISTAS DE MATERIALES						40
H - H	194	486	278	398		
H - H ACUMULADAS	194	680	958	1350		1350
No. PERSONAS	1.0	3.0	2.0	2		
% AVANCE	14.37	36.0	20.59	29.04		
ACUMULADO	14.37	50.37	70.96	100		

Costo de H-H promedio \$ 15,000  
 indirectos 80%  
 total \$ 27,000

Costo de ingeniería de detalle de instrumentación \$ 36'450,000.00

## B. TUBERIAS

### Lista de actividades

1. ESPECIFICACION Y NORMAS GENERALES. Se adicionarán a las especificaciones de tuberías existentes en la planta.
2. INDICE DE LINEAS. Se incluirán los drenajes especiales y los de emergencia de cada calentador.
3. ARREGLO DE TUBERIAS. Se incorporarán a los planos de tuberías.
4. ISOMETRICOS. Se hará un diagrama isométrico para cada uno de los drenajes en los calentadores.
5. ANALISIS DE ESFUERZOS. Idéntico al punto anterior.
6. ESPECIFICACION DE SOPORTES. Idéntico al punto 4.
7. LOCALIZACION DE SOPORTES. Idéntico al punto 4.

### PROGRAMA DE TUBERIAS

ACTIVIDAD / MES	1	2	3	H - H
NORMAS GENERALES	—			40
INDICE DE LINEAS	—			20
ARREGLOS DE TUBERIAS		—		100
ISOMETRICOS		—		200
ANALISIS DE ESFUERZOS		—		200
ESPECIFICACION DE SOPORTES			—	40
LOCALIZACION DE SOPORTES			—	20
LISTA DE MATERIALES			—	40
ESPECIFICACION DE AISLANTES			—	20
H - H	110	350	220	
H - H ACUMULADAS	110	460	680	680
No. PERSONAS	0.5	2.0	1.5	
% AVANCE	16.18	51.47	32.35	
ACUMULADO	16.18	67.65	100.00	

Costo de ingeniería de detalle de tuberías

$$\text{\$ } 27,000 \times 680 = \text{\$ } 18'360,000.00$$

### C. INGENIERIA ELECTRICA

#### Lista de actividades

1. ESPECIFICACIONES ELECTRICAS. Deberán ser congruentes con las existentes en la planta.
2. DIAGRAMAS UNIFILARES. Deberán comprender las válvulas motorizadas y solenoides.
3. ESPECIFICACION DE EQUIPO. Comprenderá el centro de control de motores e interruptores.
4. DIAGRAMAS DE INTERCONEXIONES. Comprenderá todas las conexiones que existen (cuatro planos).
5. DIAGRAMAS DE RUTAS. Se hará un plano por cada nivel en el que se han de instalar los instrumentos (cuatro planos).
6. LISTA DE CABLES Y CONDUIT. Se cuantificará la longitud de cables, conduits y charolas para las señales de control y suministro de fuerza.

#### PROGRAMA ELECTRICO

ACTIVIDAD / MES	3	4	5	H - H
ESPECIFICACIONES ELECTRICAS	—			40
DIAGRAMAS UNIFILARES	—	—		100
ESPECIFICACION DE EQUIPO		—		100
DIAGRAMAS DE INTERCONEXIONES		—		200
DIAGRAMAS DE RUTAS		—	—	200
LISTAS DE MATERIALES			—	40
H - H	90	450	140	680
H - H ACUMULADAS	90	540	680	
No. PERSONAS	0.5	3	1	
% AVANCE	13.23	66.18	20.59	
ACUMULADO	13.23	79.41	100	

Costo de ingeniería eléctrica  $\$27,000 \times 680 = \$ 18'360,000.00$

Costo total de la ingeniería de detalle  $\$ 73'170,000.00$

LISTA DE MATERIALES CONDENSADA

INSTRUMENTACION

PARTIDA	INSTRUMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO MILL.\$	COSTO TOTAL MILL.\$	TIEMPO DE ENTREGA
1	Sensores de nivel	36	0.46	16.56	6 M
2	Controladores de nivel	3	4.600	13.8	3 M
3	Alarmas (6 x 8)	48	0.33	11.04	2 M
4	Luces indicadoras	64	0.069	4.416	1 M
5	Interruptores manuales	28	0.23	6.44	1 M
6	Transmisores de presión	5	2.3	11.5	6 M
7	Válvulas solenoides	5	0.2	1.0	1 M
8	Válvulas de compuerta 10" Ø, actuador de pistón y solenoide	6	50.0	300.0	6 M
9	Válvulas de globo 2" Ø, actuador diafragma y solenoide	16	2.0	32.0	6 M
10	Válvulas motorizadas 16" Ø, compuerta	2	130.0	260.0	6 M
11	Válvulas motorizadas 12" Ø, compuerta	1	90.0	90.0	6 M
12	Válvulas motorizadas 8" Ø, compuerta	2	60.0	120.0	6 M
13	Válvula de globo 4" Ø, actuador diafragma	1	18.0	18.0	6 M
14	Válvulas de ángulo 4" Ø, actuador diafragma	2	32.0	64.0	6 M
15	Controlador programable	1	25.0	25.0	6 M
16	Ampliación del tablero	1		20.0	

TUBERIAS

PARTIDA	C O N C E P T O	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL MILL.\$	TIEMPO DE ENTREGA
1	Tuberfa 6" Ø C.STD ASTM A 53 Gr.A	35 m	160,775	5.6	1 M
2	Tuberfa 8" Ø C.STD ASTM A 53 Gr.B	60 m	22,400	13.44	1 M
3	Tuberfa 6" Ø C.STD ASTM A 53 Gr.B	60 m	160,000	9.6	1 M
4	Aislamiento de silicato de calcio 1 1/2" para tuberfa 6"	38.5 pza. (91 cm)	32,473	1.249	1 M
5	Aislamiento de silicato de calcio 2" para tuberfa 8"	66 pza. (91 cm)	54,427	3.589	1 M
6	Aislamiento de silicato de calcio 2" para tuberfa 6"	66 pza. (91 cm)	49,448	3.26	1 M
7	Válvulas de compuerta 2"Ø	32	724,000	23.168	1 M
8	Válvulas de globo 2" Ø	16	1'250,000	2.5	1 M
9	Válvulas de compuerta 6" Ø	4	14'671,000	58.684	1 M
10	Válvulas de compuerta 8" Ø	2	29'483,000	58.966	1 M
11	Válvulas de globo 6" Ø	2	17'695,000	35.39	1 M
12	Válvula de globo 8"	1	52'398,000	52.398	1 M

INGENIERIA ELECTRICA

PARTIDA	C O N C E P T O	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL MILL.\$	TIEMPO DE ENTREGA
1	Centro de control de motores 480 VCD, 3 Ø, 60 H <sub>2</sub>	1	50'000,000	50.0	1 M

## COSTO DE MATERIALES

---

INSTRUMENTACION	972'285,000	
ACCESORIOS DE INSTALACION	48'614,000	
SUBTOTAL		1,020'899,000
TUBERIAS	267'844,000	
ACCESORIOS DE INSTALACION	26'784,000	
SUBTOTAL		294'628,000
SUMINISTRO ELECTRICO	50'000,000	
ACCESORIOS DE INSTALACION	6'000,000	
SUBTOTAL		56'000,000
T O T A L		1,371'527,000

### V.2. PROCURACION

#### LISTA DE ACTIVIDADES

- a) Solicitud de cotización. Una vez que se han editado las hojas de datos, la especificación y diagramas isométricos, durante el tercer mes se podrán elaborar las solicitudes de cotización para instrumentos y tuberías. Para equipo eléctrico se deberá hacer durante el quinto mes.
- b) Recepción de cotización. Se dará un plazo máximo de dos semanas para que los concursantes envíen sus cotizaciones.
- c) Tabla comparativa. Se hará la tabla técnico-económica de cada una de las partidas que se incluyen en la lista de materiales.
- d) Orden de compra. Se hará una para cada partida.
- e) Inspección. Deberá inspeccionarse la fabricación de todos los instrumentos.
- f) Expedición.

### PROGRAMA DE COMPRAS

ACTIVIDAD / MES	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SOLICITUD DE COTIZACION		—		—					
RECEPCION DE COTIZACION		—		—					
TABLA COMPARATIVA			—		—				
ORDEN DE COMPRA			—		—				
INSPECCION				—	—	—	—	—	—
EXPEDITACION									
VALVULAS Y TUBERIAS					—				
ALARMAS						—			
CONTROLADORES DE NIVEL							—		
INSTRUMENTACION									—

### V.3. CONSTRUCCION

Para evaluar el costo de la construcción y los recursos de mano de obra que se emplean en la implantación de los sistemas de protección propuestos en el capítulo de ingeniería básica, será necesario hacer primeramente una lista de las actividades a realizar, separando las que se pueden hacer con la planta en operación y las que requieren que se encuentre parada la planta.

#### A. INSTRUMENTACION

1. INTERRUPTORES DE NIVEL. Para los interruptores que se instalarán en cada uno de los calentadores se pueden usar las tomas existentes, las cuales poseen válvulas de corte y no será necesario esperar a que la planta esté parada, ya que se hace la preparación en el taller y se pide "libranza" por seis horas para la conexión al proceso.

En estas condiciones se encuentran catorce interruptores; cada uno re-

quiere un día de labor de dos instrumentistas. Para los interruptores que se instalarán en los drenajes se requerirá un "tubero" para hacer la pierna de drenaje y dos instrumentistas para la instalación de los instrumentos con la planta parada.

H - H instrumentistas 576

H - H tuberos 176

2. VALVULAS SOLENOIDE. Se requiere cortar el "tubing" que conduce la señal neumática procedente del controlador a la válvula de control y allí insertar la válvula; se puede hacer con la planta en operación, pidiendo la "libranza" para el calentador correspondiente. Se requiere cuatro - horas de dos instrumentistas.

H - H instrumentistas 40

3. CONTROLADORES DE NIVEL. La operación es idéntica a la descrita para interruptores.

H - H instrumentistas 48

4. TRANSMISORES DE PRESION. Se puede hacer la instalación del instrumento y dejar lista la tubería para conectarse al proceso durante un mantenimiento mayor de la planta.

Cada toma al proceso requiere seis horas de dos técnicos, y la instalación ocho horas de dos técnicos.

H - H instrumentistas 140

5. VALVULAS DE CONTROL. Para la instalación del "tubing" para señal neumática se estiman doce H-H por válvula.

H - H instrumentista 360

TOTAL

H - H INSTRUMENTISTAS 1,164

H - H TUBEROS 176 durante el paro de la planta

## B. TUBERIAS

1. DRENAJES DE LOS CALENTADORES. Son tres rutas de tuberías, dos de 6" Ø y una de 8" Ø; el tendido de las líneas se puede hacer con la planta en operación y esperar el paro de mantenimiento mayor para conectarse al proceso.

Para cada ruta se estima una cuadrilla de seis tuberos durante 6 días. Para la conexión al proceso se requerirán cuatro tuberos, cuatro días - por línea.

H - H tuberías	288	
y	128	durante el paro de la planta

### 2. VALVULAS.

- a) Válvulas de compuerta motorizadas. Se requiere que la planta esté fuera de operación. Se consideran dos tuberos, un día por válvula.
- b) Válvulas de drenajes. Se ensamblan y se instalan antes de conectar la línea al proceso. Se consideran dos tuberos por ensamble, incluyendo el "bypass" en un día.

H - H tuberías	80	durante el paro de la planta
y	256	

### TOTAL

H - H TUBERIAS	544	
Y	208	durante el paro de planta

## C. ELECTRICO

1. CHAROLAS Y CONDUITS. Las charolas se instalarán por zona, agrupando instrumentos de campo hasta el cuarto de relevadores y de allí al cuarto de control. El conduit se colocará por cada instrumento de campo.

Se considera 8 H-H por instrumentos para conduit y la misma cantidad para charolas.

H - H	1,216	
-------	-------	--

2. CABLEADO Y CONEXIONES. Se calcula en función del número de señales que se tengan.

H - H 2,700

3. INSTALACION DE ARRANCADORES E INTERRUPTORES MANUALES. Se consideran 5 H-H por instrumento.

H - H 165

TOTAL

H - H ELECTRICOS 4,081

PROGRAMA DE CONSTRUCCION

ACTIVIDAD / MES	7	8	9	10	11	TECNICOS
CHAROLAS Y CONDUIT						6
CABLEADO Y CONEXIONES						7
ARRANCADORES Y HS						1
TUBERIAS						2
VALVULAS						2
TRANSMISORES DE PRESION						2
CONTROLES DE NIVEL						2
VALVULAS DE CONTROL						3
PERSONAL	6	6	12	14	15	

H - H TOTALES DE CONSTRUCCION 8,480

COSTO 12,000/H-H

T O T A L \$ 101'760,000

#### V.4. PUESTA EN OPERACION

Cada uno de los sistemas aquí propuestos deberá probarse antes del arranque de la planta. Inicialmente se probará que se cumplan las secuencias, simulando un incidente y verificando que operen los sistemas tal como se describió en la fase de ingeniería básica; en seguida se simularán las condiciones normales de operación y el sistema se restablecerá nuevamente. Por último se probarán en conjunto, verificando que todos los dispositivos adopten la posición segura para la planta.

Estas actividades deberán realizarse durante el periodo de mantenimiento mayor y estarán listos para cuando arranque la planta.

#### V.5. COSTOS TOTALES

##### INGENIERIA DE DETALLE

INSTRUMENTACION	\$	36'450,000.00	
TUBERIAS	\$	18'360,000.00	
ING. ELECTRICA	\$	18'360,000.00	
		TOTAL	\$ 73'170,000.00

##### MATERIALES

INSTRUMENTOS	\$1,020'899,000.00	
TUBERIAS	\$ 294'628,000.00	
ELECTRICO	\$ 56'000,000.00	
	TOTAL	\$1,371'527,000.00

CONSTRUCCION	\$ 101'760,000.00	\$ 101'760,000.00
	GRAN TOTAL	\$1,546'457,000.00

## CONCLUSIONES

De un análisis cualitativo y cuantitativo del estudio presentado en esta tesis se desprenden las siguientes conclusiones:

1. Después de haber investigado en el mercado internacional no se encontró ningún instrumento o dispositivo que detectara la humedad en el vapor, por lo que se debe recurrir a detectar las fuentes primarias que pueden originar la inducción de agua y determinar las condiciones en que esta se presenta a fin de evitar que el agua cause los problemas descritos. Por lo anterior se puede asegurar que la implantación de los sistemas diseñados en este trabajo evitarán la inducción de agua a las turbinas; cabe hacer notar que los sistemas están integrados por instrumentos y dispositivos probados ampliamente en la industria de generación eléctrica y que cumplen con las normas aplicables a ésta. El desarrollo tecnológico reside en la integración de dispositivos existentes en el mercado para la solución de un problema específico de la generación de energía eléctrica.

La misma metodología podría aplicarse a la solución de otros problemas que han surgido en plantas termoeléctricas y que integradas todas las soluciones harían que se incrementara en gran medida la eficiencia; contribuirían a hacer más confiable la operación de la planta y aumentarían la disponibilidad de ésta.

2. La implantación de los sistemas de protección ayudarán a mantener la continuidad en el suministro eléctrico a todo el país, lo cual es invaluable tanto para la industria como para el sistema de transporte, los sistemas de emergencia, y en fin, para la vida cotidiana en las ciudades.
3. La implantación de estos sistemas requiere un año aproximadamente a partir de que se inicie la ingeniería de detalle y podrán ponerse en operación -

durante un paro para mantenimiento mayor. La inversión que deberá hacer la CFE será de \$1,600 millones de pesos a precios actuales, que comparados con el beneficio esperado, se pagarán al evitar un paro por inducción de agua a la turbina.

Este estudio fué presentado al Ing. Manuel Macías, Superintendente de Operación de la Región Central de la CFE y actualmente está en la etapa de asignación de presupuesto para su implantación en la Unidad 4 de la Central Termoeléctrica Valle de México.

4. Al terminar la ingeniería básica se tiene un panorama completo del proyecto, con el cual se pueden evaluar los beneficios obtenidos al implantar los dispositivos diseñados, además de que se conocerá la factibilidad física y económica de la instalación.
5. El sistema aquí propuesto se podrá aplicar a todas las plantas cuya capacidad de generación sea de 300 megawatts; únicamente habrá que hacer cálculos con los datos de la planta en particular. El funcionamiento del sistema deberá ser el mismo, por lo que la filosofía de protección se podrá considerar para las plantas que estén en proyecto actualmente y podrá hacerse la ingeniería de detalle para las plantas que estén en operación, con el fin de que queden debidamente protegidas contra inducción de agua a las turbinas.

Para las plantas con características diferentes a las de la planta que se tomó de ejemplo para este trabajo, también se podrán aplicar los sistemas de protección aquí diseñados, efectuando los ajustes necesarios para que funcionen como se han descrito.

## APENDICE A

### DIAGRAMAS DE ANALISIS DE FALLAS

En tiempos pasados se han desarrollado técnicas para tratar de evitar fallas - en operación de plantas nucleares, aeronáutica y otras operaciones que no admiten errores en sus partes más delicadas, por ejemplo en una planta nuclear eléctrica puede haber errores en los sistemas secundarios, pero no debe haber en el control del reactor por los daños que puede causar. En este caso se extreman las precauciones y se aplican las teorías de análisis de riesgos, análisis probabilístico de seguridad, análisis de árboles de falla, etc. lo que ha dado como resultado tener el mínimo de errores y fallas en la operación de este tipo de plantas.

Sin llegar a contar con una teoría tan depurada como las mencionadas, se pueden hacer diagramas de análisis de fallas con el objeto de tener una medida de la seguridad que nos reporta implantar un sistema de protecciones en plantas industriales, sean químicas, petroquímicas, de generación eléctrica y similares.

A fin de elaborar los diagramas de análisis de fallas se requiere conocer todos y cada uno de los dispositivos que pueden propiciar el evento indeseado, en este caso, la inducción de agua a la turbina; a partir de éstos se hacen las combinaciones posibles que pudieran presentarse para que ocurra el evento.

La simbología que se emplea es muy sencilla, con el objeto de que sea fácilmente entendible y consta de lo siguiente

 indica la falla, dentro del rectángulo se puede escribir el nombre de la falla ocurrida o la clave del dispositivo que falló

 evento o condición peligrosa

compuerta l6gica "or" la cual requiere la presencia de por lo menos una de las entradas para que el proceso continúe

compuerta l6gica "and" la cual requiere la presencia de todas las entradas para que el proceso continúe



evento indeseado

Con el objeto de tener una indicaci6n cuantitativa del incremento de confiabilidad que se obtendría con la implantaci6n de las protecciones en cada uno de los sistemas, a cada instrumento se le asignar4 una probabilidad de falla de 0.1. Esta probabilidad se puede calcular a partir de los datos de tiempo medio entre fallas, suministrados por el fabricante de cada equipo.

En la figura A.1. se presenta el diagrama de an4lisis de falla en el cual se puede ver que para que ocurra la inducci6n debe existir muy alto nivel en el calentador correspondiente y a la vez que falle el sistema rompedor de vacío constituido por un interruptor y la v4lvula rompedora de vacío. Para que falle este sistema ser4 suficiente que falle uno solo de los dispositivos que lo constituyen, por lo que éstos se encuentran conectados a una compuerta "or" y por lo tanto se suman las probabilidades de los dos dispositivos.

Para que exista alto nivel en el calentador deben de fallar a la vez los dos controles de nivel, por lo que est4n conectados por una compuerta "and" y sus probabilidades se multiplican; para que falle uno de los controles ser4 suficiente con que falle uno de los dos componentes.

El nivel muy alto tambi4n se puede presentar debido a una ruptura de tubos. La probabilidad de este evento sumada a la falla de los controladores nos da un total de 0.14, que unida por una compuerta "and" a la falla del sistema rompedor de vacío, cuya probabilidad es de 0.2 nos da un total de 0.028 de probabilidad de ocurrencia del evento indeseado.

En la figura A.1a se muestra el diagrama de análisis de fallas para el calentador uno con la incorporación de las protecciones propuestas; en este diagrama se pueden apreciar las etapas de defensa para evitar la inducción después de que se ha presentado el nivel muy alto en el calentador. La primera defensa será cerrar el drenaje del calentador anterior, si uno de los tres componentes de esta primera defensa falla, se pasa al siguiente nivel, el cual considero que se detectó el alto nivel y falló la válvula. En esta condición el operador podrá ordenar el bloqueo del calentador por medio del interruptor manual; esta acción será la siguiente defensa. Si continúa la falla entrará la siguiente defensa, la cual consiste en detectar el nivel alto con otro interruptor (LSH H-1D); éste dará la señal para bloquear el calentador automáticamente. Si se detectó el nivel muy alto pero fallaron las válvulas, el operador podrá abrir manualmente la válvula rompedora de vacío. En caso de que no se detecte el nivel muy alto, entrará en acción la última defensa que consiste en abrir la rompedora de vacío automáticamente con el interruptor LSHH-1B.

El diagrama de análisis de fallas con las protecciones incluidas para el calentador dos se muestran en la figura A.1b; éste es muy parecido al del calentador uno, ya que el drenaje se cerrará, y esta contribuirá al incremento del nivel. Por lo anterior la probabilidad de que se presente el alto nivel, será mayor en este calentador que en el uno; lo demás es exactamente igual.

Para los calentadores 3 y 7 los diagramas de análisis de fallas son idénticos y se presentan en las figuras A.2. y A.2a; en el segundo se incluyen las protecciones. La probabilidad de que ocurra el evento indeseado en estos calentadores es mayor debido a que únicamente tienen un control de nivel y la válvula de no retorno; el diagrama incluyendo las protecciones también es más sencillo que los anteriores, debido a que estos calentadores no reciben drenaje del calentador anterior.

Los diagramas de análisis de fallas para los calentadores 4, 5 y 6 se muestran en las figuras A.3., A.4. y A.5.; y sus correspondientes con protecciones incluidas. Los atemperadores están en el diagrama A.6., en el cual se puede observar que la válvula de "bypass" aumenta en gran medida la probabilidad de -

falla; el hecho de quitarla disminuirá en un cien por ciento esta probabilidad.

A continuación se listan los valores calculados para que ocurra la inducción a partir de las probabilidades asignadas a los instrumentos.

EQUIPO	ACTUAL	CON PROTECCIONES	RELACION
CALENTADOR 1	0.028	0.000378	74.07
CALENTADOR 2	0.028	0.0005292	52.91
CALENTADOR 3	0.03	0.00393	10.24
CALENTADOR 4	0.0024	0.00128	2.00
CALENTADOR 5	0.005	0.0005896	8.48
CALENTADOR 6	0.003	0.0005896	5.09
CALENTADOR 7	0.03	0.00393	7.6
ATEMPERADORES	0.04	0.00002	2000

Al analizar las relaciones entre las probabilidades de falla de los sistemas, en el estado actual y con las protecciones ya instaladas, podemos notar que la disminución en la probabilidad de fallas es enorme, lo cual garantizará un incremento en la confiabilidad y disponibilidad de la planta. Estos resultados se obtendrán si se emplean instrumentos de la misma calidad que tienen los instalados actualmente, ya que se asignó la misma probabilidad para hacer la comparación en el diseño del sistema exclusivamente.

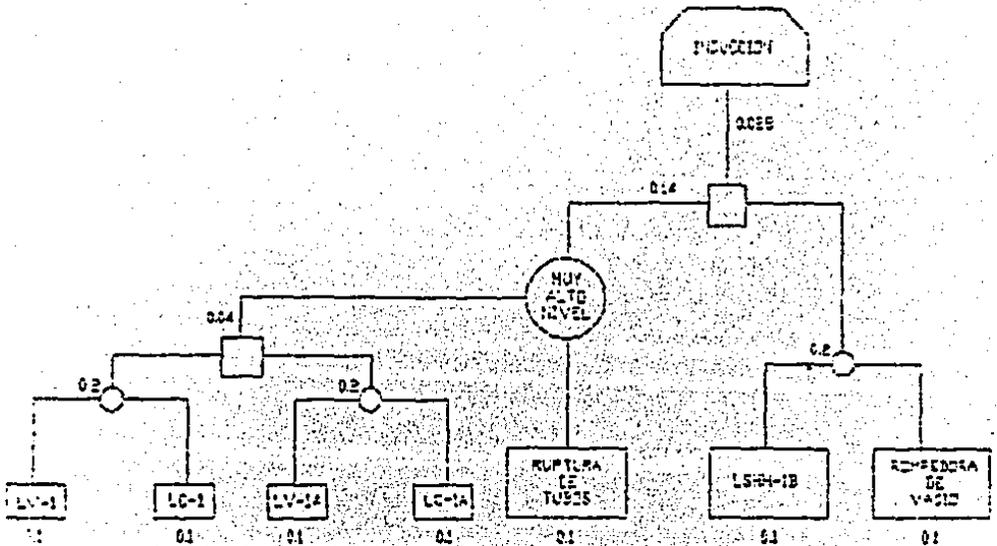


FIG. 41 CALENTADORES 1 Y 2

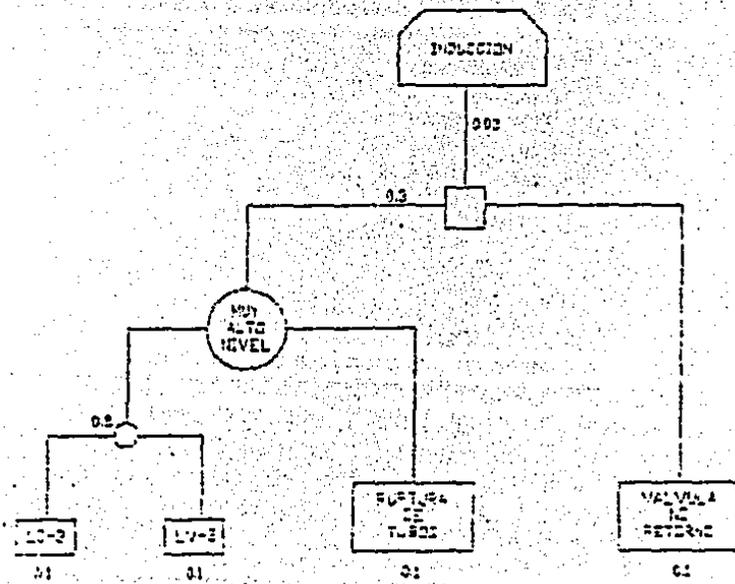


FIG. 42 CALENTADORES 3 Y 7

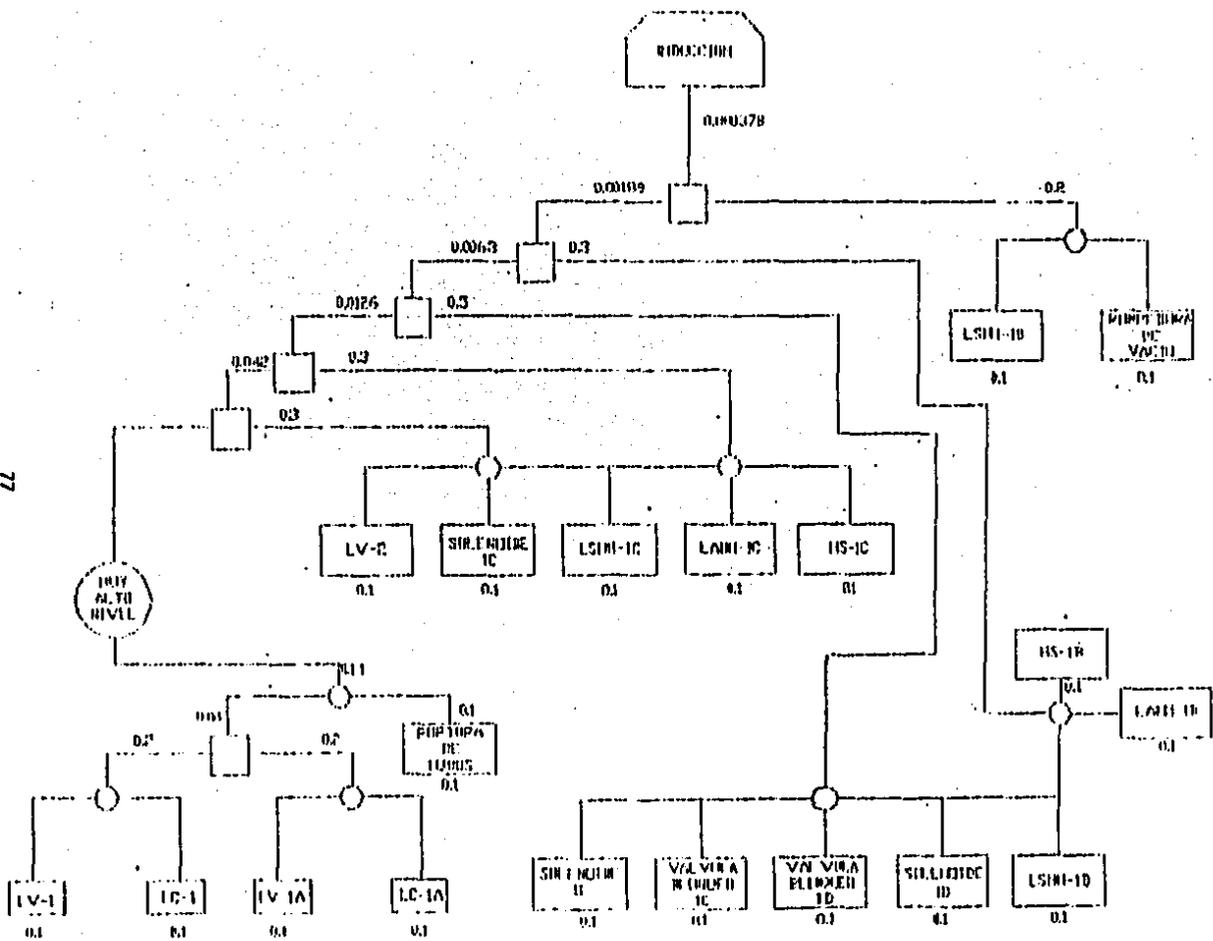


FIG. A.10. CONTROL 1





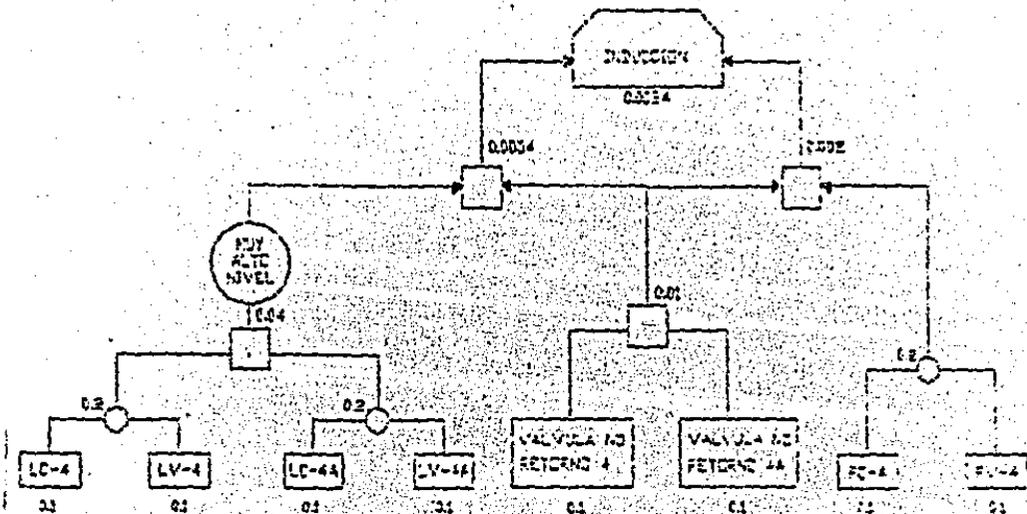


FIG. 43 CALENTADOR 4

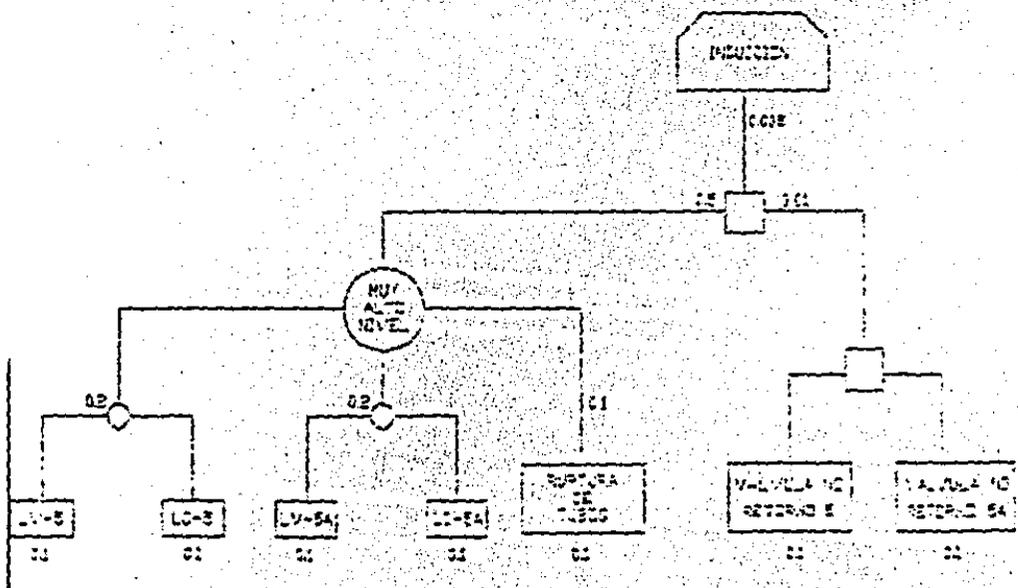


FIG. 44 CALENTADOR 5

18

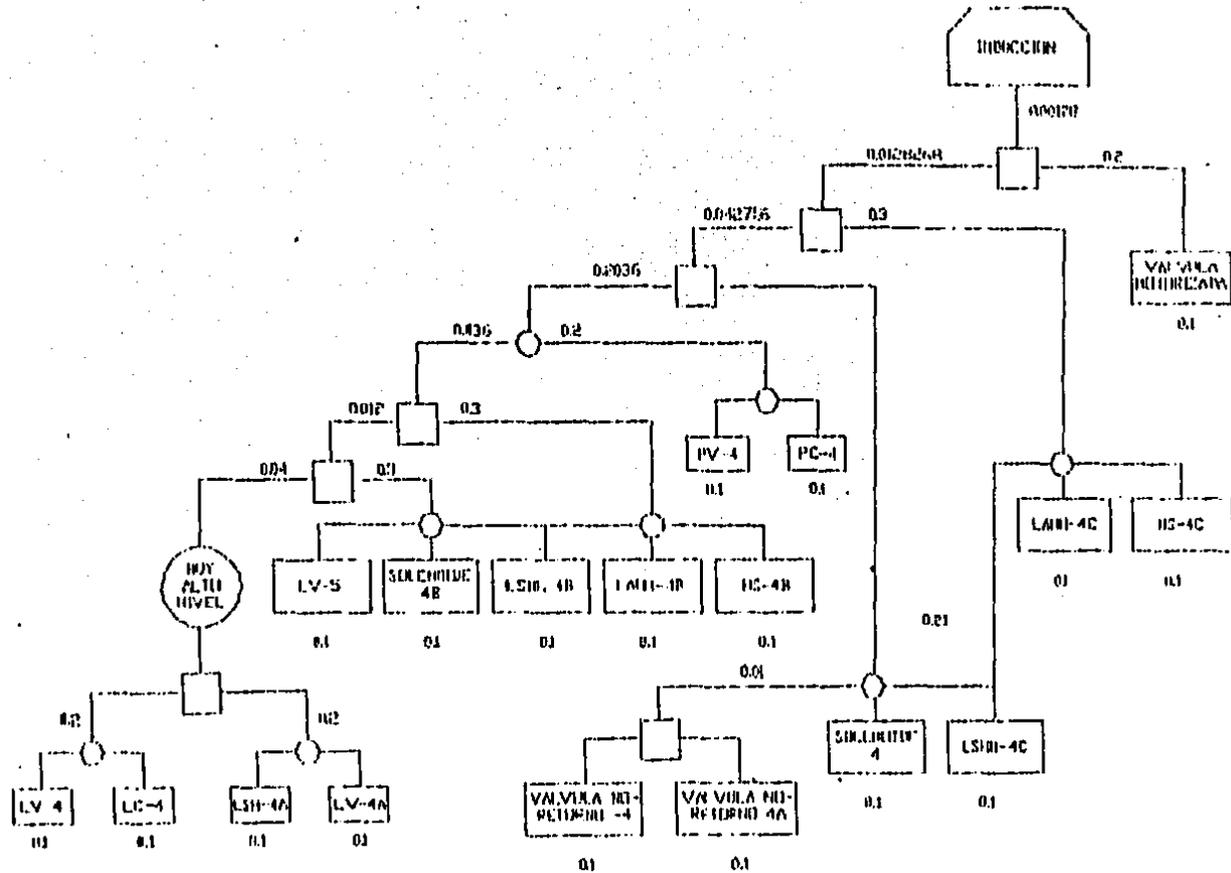


FIG. 33a.- CEMENTADOR 4



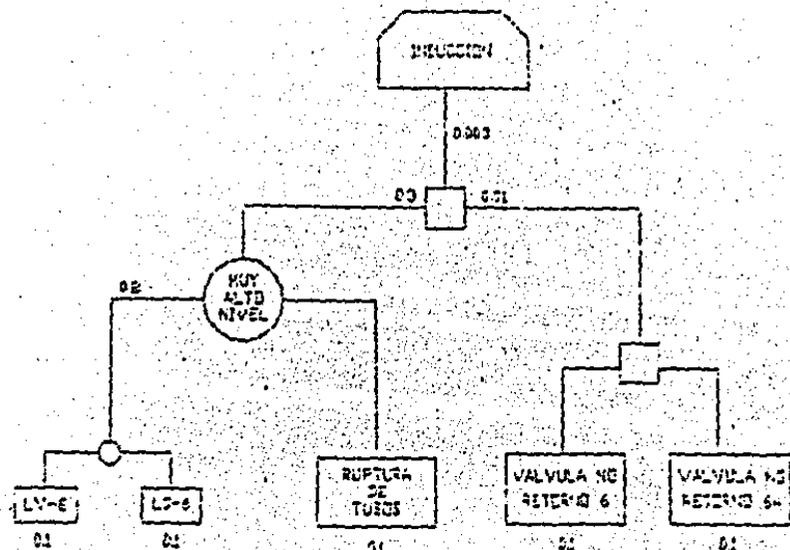


FIG. A5 CALENTADOR 6

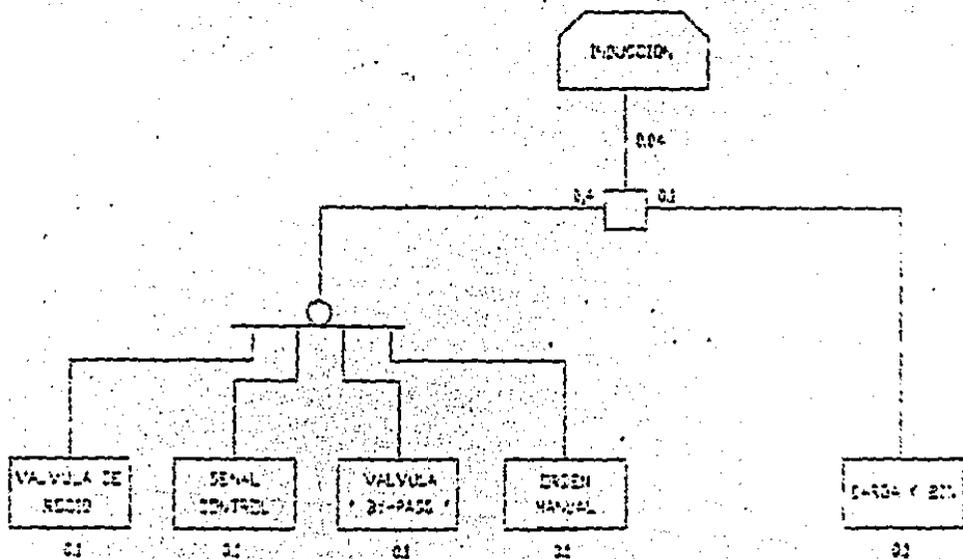


FIG. A6 -TEMPERADOREE

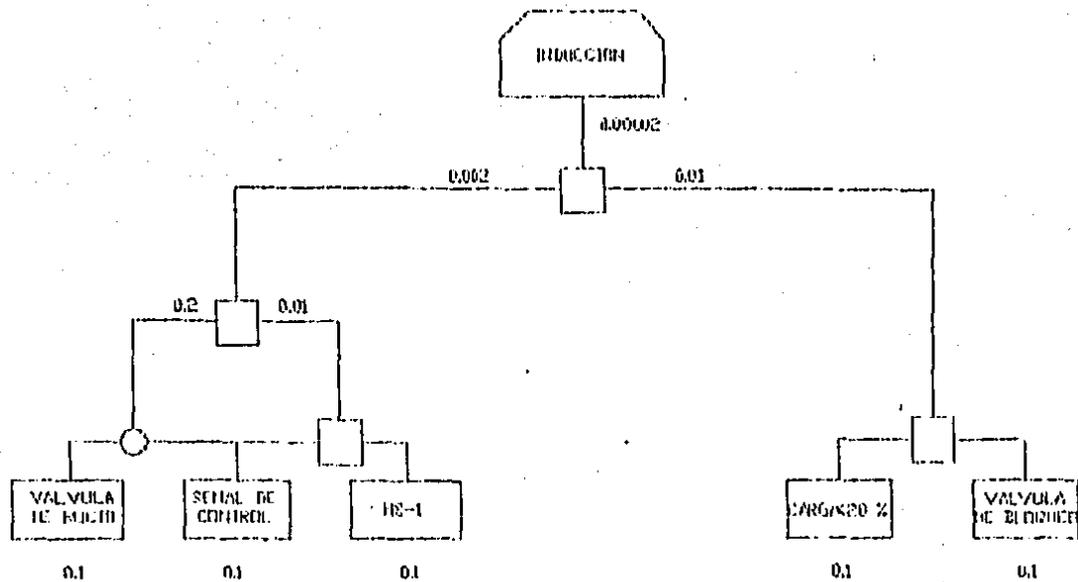
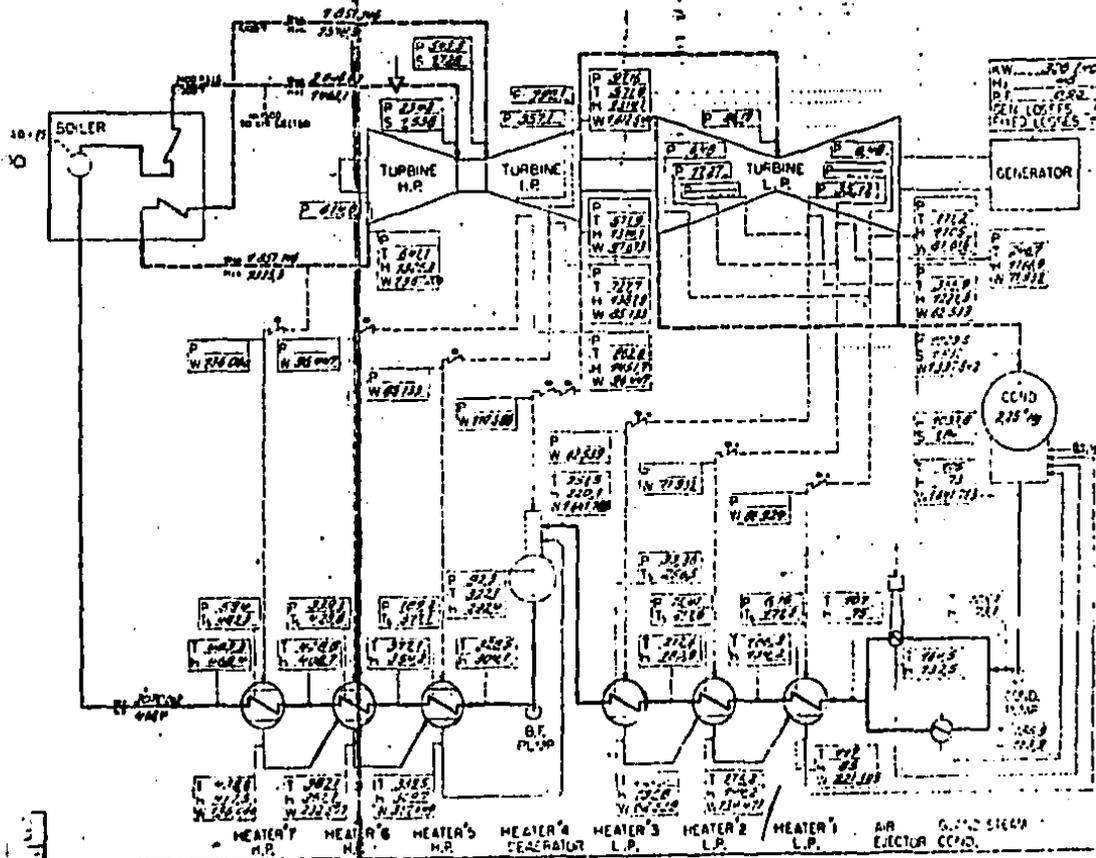


FIG. A.60.- TEMPERATURAS

## APENDICE B

### ABREVIATURAS EN DIAGRAMAS

AC	agua de circulación
ARC	atemperador del recalentador
ASC	atemperador del sobrecalentador
BBA	bomba
BBA c	bomba de condensado
C.n	calentador n
CA	calentador de aire
CVE	condensador de vapor de eyectores
CVS	condensador de vapor de sellos
D	desaerador
E	economizador
Ex.n	extracción n
Rc	recalentador
Sc	sobrecalentador
TAP	turbina de alta presión
TBP	turbina de baja presión
TE	torre de enfriamiento
TMP	turbina de media presión
VTF	ventilador tiro forzado



P = Pressure  
 T = Temperature  
 H = Enthalpy  
 h = Enthalpy  
 u = Flow  
 S = Entropy

- NOTES:
1. Pressure Drop 1% For Each Steam System; 2% For Extraction Steam Lines (From Stage to Heater)
  2. Water Internal Temperature Difference: Desuperheating Section: 6°F For H.P. Section, 1°F For L.P. Section; Drain Cooling Section: 10°F For all Sections
  3. Water Feed Pump Discharge Pipe Lead: Discharge Pipe (100/100) 11.7 10.8 11
  4. Slotted Trip Valves With 2000 psi Working Pressure Should Be Installed by the Buyer of Slotted Valves Indicated by Him On This Drawing.
  5. Generator Location and Extraction Points on I.P. & L.P. Sections May Be Interchanged by the Buyer Based on the Required Internal Performance.
  6. The Buyer Should Institute a Drain Sealing System Used for This Cycle or This Drawing.
  7. Other Data for the Buyer Calculation See Part 11-4.
  8. Heat Rate =  $\frac{3412 \text{ Btu}}{\text{Kwh}} \times \frac{100}{\text{Efficiency}}$

FIGURE 13  
 CONDENSING CYCLE EXPANSION  
 WITHOUT SEALED OFF AIR EJECTOR  
 (WATER = 20 MILES DISTANCE)

## BIBLIOGRAFIA

1. Timothy J. Koska  
Brian M. Redmond  
Foxboro Massachusetts  
NONLINEAR MEASUREMENT OF WATER AND STEAM IN A PRESSURIZED VESSEL  
Report of Instrument Society of America, 1981
2. John Reason  
POWER PLANT CONTROL: SAME PRINCIPLES, NEW TECHNIQUES  
CONTROL SYSTEMS  
Plant design report, 1980
3. Steam Station Protection Working Group  
MINIMUM RECOMMENDED PROTECTION INTERLOCKING AND CONTROL FOR FOSSIL  
FUEL UNIT-CONNECTED STEAM STATION  
V. Turbine Generator System  
Power Plant Control, Protection and Automation Subcommittee  
Power Generation Committee  
ASME
4. R.L.Browning  
ANALYZING INDUSTRIAL RISKS  
Chemical Engineering  
Octubre 20, 1969  
Monsanto Co.
5. H.Morris Mano  
DIGITAL LOGIC AND COMPUTER DESIGN  
Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 1979

6. John B. Peatman  
DIGITAL HARDWARE DESIGN  
McGraw-Hill Book Co. 1980
7. Béla G. Lipták; Kriszt Venczel  
INSTRUMENT ENGINEERS' HANDBOOK  
Chilton Book Co. Radnor, Pennsylvania
8. W.G. Andrew  
APPLIED INSTRUMENTATION IN THE PROCESS INDUSTRIES  
Gulf Publishing Co.
9. Jorge León Gutiérrez  
APUNTES DE DINAMICA Y CONTROL DE PROCESOS  
Facultad de Química, UNAM  
División de Estudios de Posgrado  
Maestría en Ingeniería Química, Proyectos
10. Guillermo Domínguez Palafox  
APUNTES DE INGENIERIA DE PROYECTOS I  
Facultad de Química, UNAM  
División de Estudios de Posgrado  
Maestría en Ingeniería Química, Proyectos
11. Leticia Lozano Ríos  
ADMINISTRACION DE PROYECTOS  
Facultad de Química, UNAM  
Cuadernos de Posgrado No. 16
12. ANSI/ASME TDP-1, 1985  
RECOMMENDED PRACTICES FOR THE PREVENTION OF WATER DAMAGE TO  
STEAM TURBINES USED FOR ELECTRIC POWER GENERATION  
Fossil Fueled Plants  
ASME, New York, 1985

13. CFE Gerencia General de Operación  
PROBLEMATICA DE LA GENERACION TERMoeLECTRICA  
Subgerencia de Operación, México D.F. 1985
14. CFE Gerencia General de Operación  
PRUEBAS Y AJUSTES AL SISTEMA DE CONTROL  
TURBINA MARCA BROWN BOVERI DE 300 MW  
Región de Generación Termoeléctrica Central  
Central Termoeléctrica Valle de México
15. CFE - HITACHI Works  
CONTROL DE LAS VALVULAS DE EXTRACCION  
Central Termoeléctrica Valle de México
16. Brown Boveri  
DESCRIPTION OF THE TURBINE CONTROL  
Central Termoeléctrica Valle de México
17. Systems Group  
PROTECTIVE SYSTEMS  
Solartron, Schlumberger  
Farbrorough Hampshire, England
18. The auto CAD drafting package  
REFERENCE MANUAL  
Autodesk, Inc. Publication TD106-009  
Julio 11, 1986