

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ELECTRICA Y ELECTRONICA**



**APLICACIONES DE LOS CONTROLADORES LOGICOS  
PROGRAMABLES EN LA AUTOMATIZACION DE  
CALDERAS INDUSTRIALES**

**TITULACION POR EXAMEN PROFESIONAL**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRONICO**

**TORIBIO PERCY FLORES ESCALANTE**

**PROMOCION 1988-2**

**LIMA - PERU**

**1996**

**A mi padre, que desde el cielo , me sigue guiando  
A mi madre por guiarme con amor y ternura  
A mis hermanos por su apoyo incondicional  
A mi esposa y mi hija, que son la razón  
de mi esfuerzo permanente**

## SUMARIO

En el presente trabajo se desarrolla un programa alternativo para Automatizar el Control de Calderas Industriales usando el Controlador Lógico Programable (PLC), en reemplazo del sistema electromecánico tradicional, con el objetivo de actualizar el sistema automático de control de acuerdo a la tecnología de punta en controles industriales.

Específicamente se desarrolla un programa de control utilizando el lenguaje escalera (Ladder) para controlar el quemador LANDIS & GYR tipo LAL2 y en forma ilustrativa se hace referencia al control de los diferentes procesos presentes en el control de calderas, tales como Nivel, Flujo, Presión y Temperatura. Además se describe un sistema de seguridad para calderas incluyendo el sistema BMS (Burner Management System).

Se logra una solución alternativa evitando mayores costos en el mantenimiento o reemplazo del programador tradicional (en base a relés) del quemador LAL2 utilizando un PLC pequeño de 20 entradas digitales y 15 salidas digitales.

**APLICACIONES DE LOS CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES  
EN LA AUTOMATIZACION DE CALDERAS INDUSTRIALES**

**TITULO : APLICACIONES DE LOS CONTROLADORES  
LOGICOS PROGRAMABLES EN LA  
AUTOMATIZACION DE CALDERAS INDUSTRIALES**

**AUTOR : Toribio Percy Flores Escalante**

**GRADO QUE OPTA : Ingeniero Electrónico**

**FACULTAD : Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Universidad Nacional de Ingeniería**

**L i m a - 1 9 9 6**

## **EXTRACTO**

En el presente trabajo se desarrolla un programa para el control automático del quemador de una caldera industrial aplicando el Controlador Lógico Programable, en reemplazo del sistema tradicional electromecánico basado en relés.

Para ilustrar el control de calderas en general, se hace referencia a conceptos básicos de calderas, a diferentes procesos industriales (control de nivel, flujo, temperatura y presión) y a criterios básicos considerados en la automatización de sistemas de calderas industriales.

El primer capítulo está referido a conceptos básicos, mencionando los tipos de calderas, sus elementos constitutivos y características principales, haciendo una descripción rápida y concisa de cada tema.

El segundo capítulo se ocupa de la filosofía del control de calderas, destacando las consideraciones a tomar en el control de los procesos industriales desarrollados en todo sistema de calderas.

El tercer capítulo aborda los requerimientos básicos para un sistema de seguridad de calderas industriales describiendo, además, el sistema BMS (Burner Managemet System). También se hace referencia a elementos básicos necesarios para la seguridad de calderas, dando normas y recomendaciones para un adecuado soporte técnico.

El cuarto capítulo fundamenta el reemplazo del sistema tradicional electromecánico basado en relés por el Controlador Lógico Programable en la automatización de calderas industriales.

En el quinto capítulo, finalmente, se desarrolla un programa alternativo para el control automático del quemador LANDIS & GYR tipo LAL2. Se presenta el programa en lenguaje escalera, haciendo una descripción del funcionamiento y la declaración de variables, con ayuda de diagramas esquemáticos (diagrama eléctrico y diagrama de tiempos). Se hace uso del PLC, hardware y software, de marca Allen Bradley.

## INDICE

	Pág.
<b>Prólogo</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I</b>	
<b>FUNDAMENTOS BASICOS PARA EL CONTROL DE CALDERAS</b>	<b>4</b>
1.1. Definición básica de calderas	4
1.2. Componentes de una caldera	4
1.2.1. Quemador	4
1.2.2. Cámara de combustión	7
1.2.3. Sección de convección	7
1.2.4. Chimenea	7
1.2.5. Ventiladores de aire	7
1.2.6. Tambores	7
1.2.7. Sobrecalentador	8
1.2.8. Atemperador	9
1.2.9. Sistema de alimentación de combustible	11
1.2.10. Instrumentación y control de calderas	12
1.2.11. Precalentador de aire rotativo	12
1.2.12. Recomendaciones para el buen uso del precalentador	13
1.3. Tipos de calderas	16
1.3.1. Pirotubulares	16
1.3.2. Acuotubulares	18

**CAPITULO II**

<b>FILOSOFIA DEL CONTROL DE CALDERAS</b>	<b>24</b>
2.1. Control de nivel de agua en el colector de vapor	24
2.2. Control del sistema de agua de alimentación	25
2.3. Control de combustión	27
2.4. Control del sistema de petróleo	28
2.5. Control de encendido y operación	30
2.6. Control de equipos en servicio	30
2.7. Control de consumo de vapor	31
2.8. Seguridad contra incendios	31

**CAPITULO III**

<b>SISTEMA DE SEGURIDAD DE CALDERAS</b>	<b>33</b>
3.1. Introducción	33
3.2. Sistema de seguridad BMS	34
3.2.1.Recomendaciones para el uso del sistema BMS	35
3.2.2.Hardware del sistema BMS	37
3.2.3.Circuito auxiliar de bloqueo de seguridad	39
3.2.4.Software del sistema BMS	40
3.3. Sensores de flama de combustión	43
3.4. Amplificadores de flama	45
3.4.1.Características de los amplificadores de flama	46
3.5. Comunicación e interface con el operador	46
3.5.1.Paneles de comando local	47
3.5.2.Paneles en la sala de control	48
3.5.3.Terminales de video color	48
3.6. Interconexionado del sistema	48
3.6.1.Método convencional	48
3.6.2.Método por multiconductores	49
3.7. Simulación operativa	50
3.8. Presencia, soporte, capacitación, puesta en marcha	51



3.9. Conclusiones	51
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>FUNDAMENTOS TECNICOS PARA USAR EL PLC EN EL SISTEMA DE SEGURIDAD DE CALDERAS INDUSTRIALES</b>	<b>54</b>
4.1. Introducción	54
4.2. Sistema de seguridad con relés	55
4.2.1. Identificación y simbología	56
4.3. Estructuración del sistema de seguridad	58
4.4. Sistema automático	60
4.4.1. Diagrama escalera con relés	60
4.2.2. Descripción del diagrama escalera con relés	60
4.5. Alarmas	66
<b>CAPITULO V</b>	
<b>USO DE CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES EN SISTEMAS DE SEGURIDAD DE CALDERAS INDUSTRIALES</b>	<b>67</b>
5.1. Introducción	67
5.2. Secuencia de operación del quemador LAL2	68
5.3. Pre-requisitos para el arranque del quemador LAL2	68
5.4. Arranque del quemador LAL2	68
5.4.1. Pre-purga	68
5.4.2. Purga	69
5.4.3. Post-purga	69
5.5. Programa de control del quemador LAL2 con PLC	69
5.5.1. Declaración de variables	69
5.5.2. Explicación del programa	71
5.5.3. Selección de un controlador lógico programable	75
5.5.4. Programa de control (diagrama escalera)	77
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>94</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>96</b>

## PROLOGO

El propósito del presente trabajo es desarrollar un programa para la automatización de calderas industriales aplicando el Controlador Lógico Programable -PLC- en reemplazo del sistema electromecánico; ya que actualmente el uso de las calderas es ampliamente difundido en la industria nacional y mundial, siendo imprescindible en cualquier proceso industrial que involucra el uso de calor o presión de vapor.

El proceso de combustión en el interior de una caldera es de sumo cuidado, pudiendo desencadenar fuertes explosiones cuando no se toman las precauciones debidas, por ello se debe tener especial cuidado al elegir un sistema de control adecuado que permita condiciones seguras de operación, tanto como de ahorro de energía; éstas consideraciones permitirán al industrial obtener un producto final de alta calidad en corto tiempo y a bajo costo.

Tradicionalmente las calderas han sido gobernadas por secuenciadores para la purga, arranque y sostenimiento del quemador. Estos secuenciadores han ido variando en su tecnología, siendo los más antiguos los de levas montadas sobre un eje motorizado y los más modernos con componentes electrónicos temporizados. En lo referente al

control de nivel se utilizan reguladores de agua termostáticos, y para el control de presión se regula la combustión mediante un motorcito regulador controlado por un controlador de presión.

Se puede afirmar que en el control de una caldera existen dos sistemas principales: El sistema de comando secuencial de la caldera y el sistema de control analógico que permiten una operación estable y eficiente de la caldera.

En lo referente al comando secuencial de la caldera se tiene dos alternativas: La primera, un sistema básico a base de PLC que reemplaza al control secuencial de la caldera y la segunda, un sistema a base también de PLC; pero con adicionales denominados sistema BMS (Burner Management Systems).

El objetivo de éste trabajo está orientado a la primera alternativa, es decir al uso de PLC en el control secuencial de calderas. En general un sistema de automatización está basado en la utilización de Controladores Lógicos Programables, válvulas neumáticas controlables y válvulas solenoides, así como en la utilización de sensores de nivel, flujo, transductores de presión y termocuplas para recopilar información de campo, lo que permitirá el reemplazo de los programadores de levas, actuadores mecánicos y presostatos actualmente en uso, lo que simplificará las tareas de mantenimiento preventivo al requerir éstos componentes poco ó ningún cuidado especial.

Específicamente se desarrollará un programa alternativo para controlar el quemador LANDIS & GYR tipo LAL2 usando el PLC por la importancia que está tomando actualmente en nuestra industria nacional ya que es un sistema que ofrece alta fidelidad a los requerimiento del usuario por su robustez y una muy confiable inmunidad al ruido propio de una planta industrial.

Hoy en día son pocas las industrias que usan PLC's en la automatización de calderas industriales en reemplazo del programador electromecánico para el control de quemadores, la masificación del uso de PLC's es inminente, en estos casos, tanto por las ventajas mencionadas mas arriba como por la tendencia significativa de abaratamiento de estos sistemas en el mercado nacional; razón que motiva éste trabajo.

## **CAPITULO I FUNDAMENTOS BÁSICOS PARA EL CONTROL DE CALDERAS**

### **1.1. Definición básica de calderas:**

En su concepción más simple, las calderas son equipos diseñados para transferir calor producido por combustión o mediante electricidad, a un fluido determinado.

Se emplean para producir agua caliente, vapor saturado, vapor sobrecalentado o calentar aceite térmico.

### **1.2. Componentes de una caldera:**

Las calderas, exceptuando las eléctricas, tienen las siguientes partes básicas:

#### **1.2.1. Quemador:**

Aporta el combustible y el aire de combustión (comburente), los mezcla y produce la combustión. Son diseñados para quemar petróleo negro, cada quemador está formado por tres partes principales:

##### **A. Registrador de Aire:**

Está compuesto por una serie de "aletas" montadas al rededor de un anillo giratorio; se divide en dos partes:

**1ro.** El Aire Secundario que pasa a través de las aletas del registro y

llega hasta el quemador donde se produce la combustión del petróleo.

El paso del aire secundario a cada quemador se puede regular moviendo las aletas del registro.

**2do.** El Aire Primario entra directamente hacia el quemador y tiene por finalidad iniciar la combustión en la punta misma del quemador.

#### **B. Quemador de Combustible :**

Está formado por dos tubos concéntricos; por el tubo exterior pasa vapor de atomización y por el interior circula el combustible (Petróleo).

En la punta del quemador están los atomizadores que son dos placas con agujeros y ranuras donde se mezcla el vapor con el petróleo y ambos salen por la punta del quemador en forma de lluvia muy fina.

#### **C. Encendedor de Chispa Eléctrica:**

El encendedor es en realidad un quemador pequeño parecido al quemador de petróleo. Su misión es iniciar la combustión, encendiendo un fuego para que el quemador grande encienda con facilidad. Para encender el petróleo diesel, se cuenta con electrodos de punta que recibe, alto voltaje (10,000 voltios) y producen una chispa muy cerca a la punta del encendedor.

Asimismo recibe aire secundario del ventilador principal y aire primario de un ventilador pequeño llamado "**ventilador de encendido**". La presión de aire que llega al encendedor es controlado por una válvula ubicado en la línea que lleva aire primario al encendedor.

#### **D. Válvulas Automáticas de Control de Combustible:**

Cada quemador tiene una válvula eléctrica (automática) de seguridad ubicada en las líneas de alimentación y retorno de petróleo; ésta se abrirá si las siguientes condiciones se cumplen:

1. La presión de atomización debe ser mayor (15 libras aprox.) que la presión de petróleo negro.
2. El encendedor de chispa con petróleo diesel debe estar en servicio.
3. La presión de petróleo no debe ser muy baja.
4. La temperatura de petróleo debe ser correcta (210°F aprox.).
5. El ventilador principal debe estar en servicio.
6. El registro de aire debe estar abierto.
7. El nivel de agua en el tambor superior debe ser correcto.

Si no se cumple una de éstas condiciones, cualquiera que sea, la válvula eléctrica no abrirá; por lo tanto no se tendrá petróleo para el quemador.

Existen además detectores de fuego. Si por algún motivo el fuego se apaga, éste "ojo eléctrico" envía una señal a las válvulas para que cierren y corten el paso de petróleo al quemador que está apagado.

Normalmente existen dos calentadores de aire a la salida del ventilador. El primero usa vapor de 180 libras de presión y calienta al aire desde la temperatura ambiente (80°F) hasta 160°F. El segundo calentador usa el gas caliente que sale de la caldera para calentar el aire desde 160°F hasta 550°F aprox. (depende de la carga de la caldera).

### **1.2.2. Cámara de combustión:**

También llamado hogar, es el espacio donde se aloja la llama, es decir, se produce la combustión y se transfiere calor por radiación.

### **1.2.3. Sección de convección:**

Zona donde se transfiere el calor de los gases de combustión al fluido a través de las superficies de calefacción (tubos).

### **1.2.4. Chimenea:**

Por donde eliminan los gases de combustión después de transferir calor al fluido, permitiendo regular el tiro.

### **1.2.5. Ventiladores de aire:**

Proporcionan el aire de combustión y lo impulsan a través de la caldera.

### **1.2.6. Tambores:**

Generalmente las calderas tienen 2 tambores, uno superior y otro inferior. El tambor superior es de mayor capacidad que el inferior, éstos tambores están unidos por tubos generadores de vapor que forman la caldera propiamente dicha.

El agua de alimentación entra en el tambor superior y llena completamente los tubos generadores, el tambor inferior y todos los demás tubos que forman las paredes, el piso y el techo de la caldera.

El calor producido por la combustión de petróleo, llega a los tubos y hace que el agua contenida en su interior se caliente gradualmente hasta hervir, dando lugar a una circulación natural del agua.



Los tubos generadores que están más cerca de los quemadores reciben más calor; por lo tanto, el agua contenida en ellos se calienta y evapora más rápido y tiende a subir en forma de burbujas hacia el tambor superior.

En cambio, en los tubos más alejados de los quemadores el calor es menor y el agua está más fría; por tanto, es más pesada y tiende a bajar hacia el tambor inferior. Así se establece la circulación natural.

El tambor superior es bastante grande a fin de almacenar en él, suficiente cantidad de vapor para cubrir los cambios bruscos de carga y reducir de esa manera las variaciones del nivel de agua. Además, éste tambor, contiene en su interior una serie de paneles deflectores y filtros cuyo objeto es retener las pequeñas gotas de agua y partículas sólidas que pudieran ser arrastradas por el vapor. De éste modo a la salida del tambor superior tendremos vapor "seco" y libre de impurezas rumbo al sobrecalentador.

#### **1.2.7. Sobrecalentador:**

El sobrecalentador es un serpentín de tubos colocados directamente al frente de los quemadores. Es por tanto, la parte más caliente de la caldera, requiere mayor atención y cuidado especialmente durante los períodos de arranque, parada y carga.

El vapor que se desprende del agua (a una temperatura aproximada de 540°F) se llama vapor "saturado" y sale del tambor superior hacia el sobrecalentador, donde aumenta (aproximadamente hasta 900°F).

Normalmente el sobrecalentador está constituido por dos etapas:

1. El sobrecalentador Primario de baja temperatura.
2. El sobrecalentador Secundario de alta temperatura.

El vapor saturado sale del tambor hacia el sobrecalentador primario, luego el vapor pasa al **atemperador** (ubicado en el interior de otro tubo) para luego pasar al sobrecalentador secundario.

Mientras haya fuego en el horno de la caldera, los tubos del sobrecalentador estarán recibiendo calor. Si no hay vapor pasando por los tubos, entonces éstos se irán calentando cada vez más hasta deformarse y finalmente fundirse.

Por tanto, se debe comprender que al pasar por el sobrecalentador, el vapor recoge calor y de esa manera se evita que el metal de los tubos se caliente demasiado. Esto se debe tener presente principalmente cuando la carga es muy baja ó estamos arrancando ó parando la caldera. En estos casos, es necesario abrir la válvula de drenaje del sobrecalentador a fin de que el vapor tenga por donde salir.

En la salida del sobrecalentador secundario se debe instalar una válvula de seguridad que abre cuando la presión llega al límite (910 libras). Cuando la carga baja bruscamente, el vapor no tiene por donde pasar al sistema; ésta válvula de seguridad abrirá entonces para permitir el flujo a través del sobrecalentador soplando el vapor a la atmósfera.

#### **1.2.8. Atemperador:**

La temperatura de salida del vapor debe mantenerse siempre a una temperatura constante (Ejem. 900°F aprox.) ya sea que la caldera trabaja a

máxima carga ó con carga muy baja. El sobrecalentador se debe diseñar para dar al vapor esa temperatura constante (900°F) en condiciones de carga mínima, cuando el fuego en la caldera es muy pequeño. Así tenemos que cuando la carga sube, se debe aumentar el fuego y por tanto el sobrecalentador absorbe más calor del necesario para mantener los 900°F.

Esto daría lugar a tener vapor muy caliente a la salida de la caldera, sino fuese por la válvula atemperadora que reduce la temperatura del vapor inyectando agua finamente pulverizada, como una lluvia muy fina.

**En resumen:**

A baja carga el sobrecalentador trabaja al máximo de su capacidad, para dar al vapor sus 900°F porque el fuego en la caldera es muy pobre. En cambio; para cargas altas el sobrecalentador está operando a mínima capacidad y tiene tendencia a calentar demasiado el vapor; por eso necesitamos al atemperador, para inyectar agua al vapor y mantener así su temperatura constante.

El atemperador se debe ubicar entre el sobrecalentador primario y el sobrecalentador secundario por dos razones fundamentales:

1. En éste lugar el atemperador estará soportando temperaturas más bajas, que si lo ubicamos a la salida del sobrecalentador secundario.
2. Inyectando agua en éste lugar se evita el peligro de que ésta llegue hasta las turbinas; ya que al pasar a través del sobrecalentador secundario todo el agua de atemperación será evaporada.

El control de temperatura se realiza actuando sobre una válvula automática que regula la cantidad de agua de atemperación según la temperatura del vapor.

#### **1.2.9. Sistema de alimentación de combustible:**

El principal objetivo de este sistema es proporcionar alimentación de petróleo a los quemadores, según los requerimientos ó demanda de vapor de las turbinas. Para controlar el paso de petróleo existen normalmente tres válvulas principales:

##### **A. Válvula de Control de Presión de Combustible**

Su misión es mantener la presión de petróleo en el cabezal un valor fijo (600psig) de modo que ante un aumento de la presión, esta válvula se abra lo suficiente para restablecer la presión.

##### **B. Válvula de Control de Retorno de Combustible:**

Está encargada de regular el paso de petróleo hacia los quemadores de acuerdo con el flujo diferencial de alimentación y retorno de petróleo y el flujo de aire proveniente del ventilador principal.

La relación Petróleo/Aire debe ser mantenida dentro de los límites normales de operación, considerando que siempre ambos deben variar del mismo modo, ya sea subiendo ó bajando. De ocurrir una falla en el equipo de combustión de aire, el petróleo que está siendo quemado debe ser ajustado por la cantidad de aire de combustión útil.

### **C Válvula de Control de Flujo de Alimentación de Combustible:**

Su objetivo es mantener constante (200psig) la presión diferencial entre las líneas de alimentación y retorno de petróleo. Cuando la válvula de retorno cierra para permitir que pase más petróleo a la caldera, éste origina un aumento en la presión de retorno, obligando a la válvula de alimentación a abrir para mantener una presión diferencial constante. En caso de apagado de la caldera, esta válvula debe cerrarse completamente.

#### **1.2.10. Instrumentación y control de calderas:**

Permiten efectuar la operación con mayor seguridad y alcanzar mayores niveles de eficiencia.

#### **1.2.11. Precalentador de aire rotativo:**

Es un cilindro dividido en varios sectores en cada uno de los cuales se acomodan unas placas de metal corrugado llamadas "**elementos**" las cuales observen calor del gas caliente que sale de la caldera y atraviesa el pre-calentador pasando por la parte superior.

En el precalentador existe un motor conectado a un reductor de velocidad, el cual a su vez por medio de un engranaje, transmite su movimiento al rotor del pre-calentador. Existe una alarma que indica que el motor eléctrico se ha parado y por consiguiente el rotor del pre-calentador está inmóvil.

Además, existe un motor auxiliar de aire, cuyo objetivo es mover el rotor del pre-calentador cuando el motor eléctrico no trabaja ó no tenemos

energía eléctrica para ello. Su función es pues, de "emergencia" ya que como se sabe, mientras la caldera está en servicio, el precalentador tiene que girar a fin de que los elementos se calienten y enfríen sucesivamente.

El precalentador es equipado con un **soplador de polvo** . Este soplador es accionado por dos motores eléctricos. Un motor chico que tiene por objeto abrir la válvula de aire para el soplador.y otro motor más grande se encarga de hacer girar el brazo que dirige al aire describiendo un arco sobre los elementos del precalentador.El giro mencionado y el movimiento de rotación del rotor,hacen que todos los elementos del precalentador sean barridos por el chorro de aire a presión, desprendiendo así las partículas de polvo y hollín que se pegan a los elementos.

#### **1.2.12. Recomendaciones para el buen uso del precalentador:**

**A.** Antes de poner fuego en la caldera se debe arrancar el precalentador de aire y el ventilador principal. Abrir las válvulas de agua de enfriamiento y chequear que la válvula de aire de instrumentos para el motor auxiliar esté abierto.

**B.** Cuando se arranca la caldera, es muy posible que se acumulen restos de petróleo en los elementos del pre-calentador de aire, debido a que el control de combustión es difícil de arrancar. Como consecuencia resultará una película muy fina de petróleo, cenizas y hollín; los cuales forman una mezcla que es muy inflamable.

Por ésta razón después de encender fuego en la caldera es necesario verificar que el precalentador se mantiene limpio y libre de depósitos

combustibles, ya que si éstos depósitos llegaran a encenderse, el resultado sería la destrucción del precalentador. Se debe tomar las siguientes precauciones:

1. Mantener el rotor girando todo el tiempo mientras haya fuego en la caldera.
2. Limpiar el precalentador por medio de un soplador a intervalos frecuentes durante las primeras 24 horas, al menos cada 4 horas para evitar la acumulación de depósitos.
3. Antes de parar el precalentador se debe limpiar con el soplador, manteniendo el ventilador principal en servicio.
4. Mantener el rotor girando hasta que la temperatura de gas caliente sea menor de 350°F.

C. Si el precalentador se mantiene limpio no hay motivo para incendiarse. Sin embargo hay ciertas condiciones bajo las cuales se producen depósitos de combustibles en el precalentador; tales casos ocurren durante el arranque ó parada de la caldera y en ocasiones transitorias cuando los diferentes flujos y temperaturas están por debajo de las condiciones normales de carga. Es recomendable observar las temperaturas de aire y gas del precalentador, sobre todo en condiciones de carga muy baja ó fuego inestable.

Cualquier aumento brusco que se note en éstas temperaturas debe investigarse inmediatamente. Por experiencias se sabe que éstas temperaturas advierten la posibilidad de un incendio en el

precalentador hasta una hora antes de que ocurra. Ante la evidencia de fuego en el precalentador, debe cortarse el petróleo apagando todos los quemadores, parar el ventilador y abrir las válvulas de agua de lavado a fin de extinguir las llamas lo antes posible.

Si el fuego se observa en un área determinada del precalentador se hace girar el rotor lo suficiente para que ésta área quede directamente bajo el chorro de agua.

#### **D. Control de Corrosión en el Precalentador de Aire:**

El lado frío del pre-calentador es más vulnerable a la corrosión debido a la temperatura muy baja en esa zona.

El petróleo contiene azufre e hidrógeno. El aire contiene oxígeno y arrastra humedad del ambiente. El oxígeno del aire con el hidrógeno del petróleo forman vapor de agua dentro de la caldera. Si el vapor de agua se condensa, se mezcla con el azufre y forma ácido sulfúrico el cual es altamente corrosivo.

El vapor de agua tiende a condensar cuando la temperatura es muy baja, es decir, en el extremo frío del precalentador y su conducto de salida hasta la chimenea. Entonces, para evitar la formación de ácido se debe tratar de impedir que el vapor de agua se condense, y esto se consigue controlando la temperatura final del gas a la salida del precalentador (gas out) de modo que no sea inferior a 350°F, así el vapor de agua conserva su estado y saldrá por la chimenea sin condensarse.



E. Si se observa que la temperatura del gas es inferior a 350°F, entonces se tiene que aumentar la presión de vapor en el calentador de aire a vapor a fin de elevar la temperatura del aire frío que llega al precalentador y de éste modo aumentar también la temperatura del gas frío.

Existe una gran variedad de calderas, desde los más simples como el hervidor de agua casero, hasta los mas modernos sistemas de generación de vapor a presiones críticas y supercríticas para generación eléctrica (centrales termoelectricas).

### **1.3. Tipos de calderas:**

Básicamente existen dos tipos de calderas: Calderas Pirotubulares y Calderas Acuotubulares.

#### **1.3.1.Pirotubulares:**

En éste tipo de calderas los gases calientes de la combustión fluyen por el interior de tubos sumergidos en agua dentro de un casco. El vapor es generado por el calor transferido de los gases calientes de la combustión, a través de las paredes metálicas de los tubos.

A medida que los gases de combustión fluyen a través de los tubos, ellos son enfriados por la transferencia de calor al agua, por lo tanto, a mayor enfriamiento de los gases, mayor es la cantidad de calor transferido.

El enfriamiento de los gases de combustión es función de la conductividad de los tubos, de la diferencia de temperatura entre los gases y el agua de la caldera, del área de transferencia de calor, del tiempo de

contacto entre los gases y la superficie de los tubos de la caldera y de otros factores. La Fig.1; muestra el esquema básico de funcionamiento de una caldera pirotubular. Estas calderas ofrecen las siguientes ventajas:

1. Requieren bajo costo de inversión y son menos costosas que los acuotubulares.
2. Alcanzan elevadas eficiencias (Mayor de 80%).
3. Pueden absorber grandes y súbitas fluctuaciones de carga con ligeras variaciones de presión debido al gran volumen de agua contenido en el casco.
4. Pueden operar inmediatamente después de ser instalados en planta.

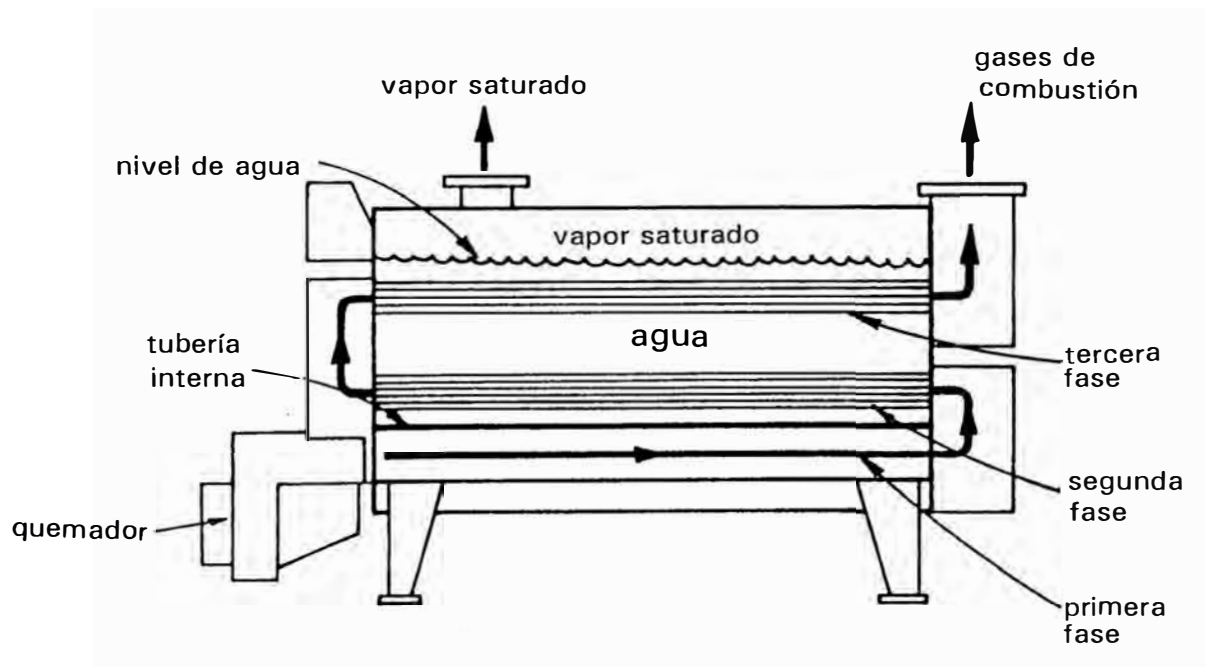


Fig.1. Esquema Básico de una Caldera Pirotubular

### **1.3.2. Acuotubulares:**

En este tipo de caldera, el agua fluye a través de tubos que son rodeados por gases calientes de combustión en el interior de un casco. El cilindro superior (tubo de vapor) tiene su nivel de agua controlado en cerca del 50% y el inferior trabaja totalmente lleno de agua. Todo el conjunto (lado de fuego mas lado de agua) es aislado por una pared de refractarios (cámara de combustión) para evitar pérdidas de calor en el ambiente.

Conforme se aprecia en la **Fig. 2**, el calentamiento de los tubos y del agua existente dentro de estos tubos es hecho con el calor generado por la quema de combustible con el aire de combustión en el quemador; éste calor es transferido por los gases de combustión existentes fuera de los tubos.

La **Fig. 3**; muestra la circulación en caldera acuotubular, observándose que cuando el sistema se calienta el agua circula enfriando los tubos, calentándose y liberando vapor en el tubo superior. A medida que ocurre la liberación de vapor se adiciona agua en el tambor superior a través de la válvula LV, localizada en la entrada del tubo distribuidor. El agua fría adicionada en el tubo superior desciende (a través de los tubos de descenso-down-comers) hacia el tambor inferior y el caliente sube (a través de los tubos de subida) hacia el tambor superior, debido a la diferencia de densidad.

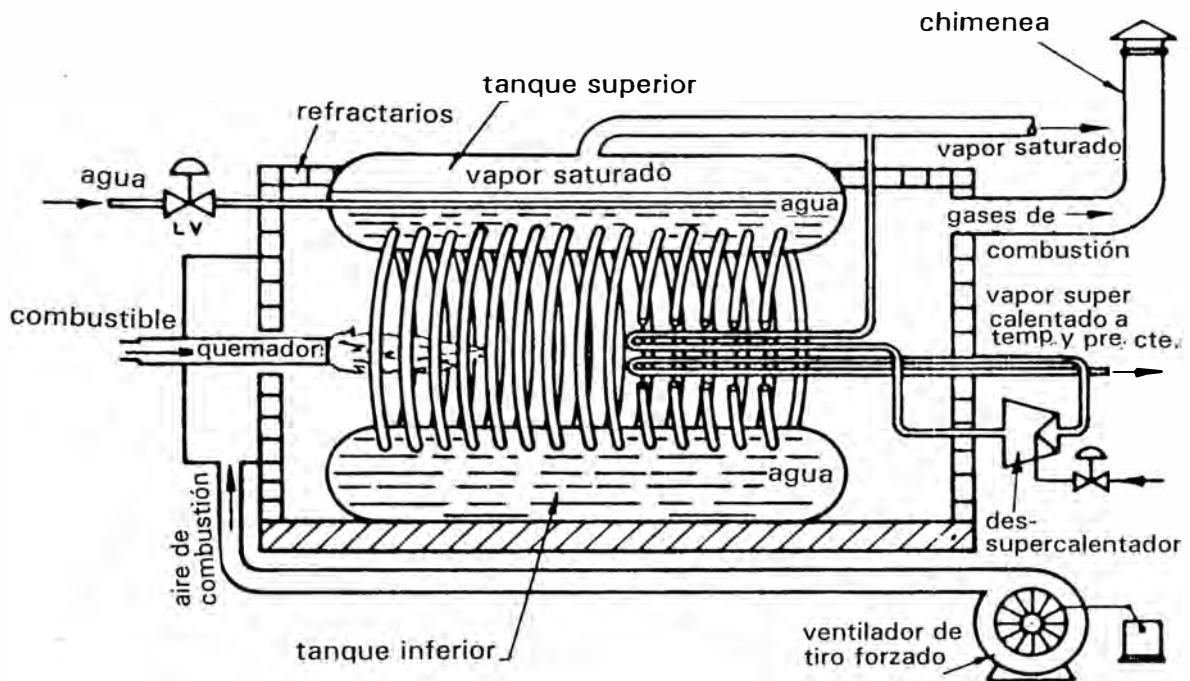


Fig.2. Esquema Básico de una Caldera Acuotubular

Usualmente su capacidad se expresa en libras de vapor hora y varía en un rango entre 2,000 lbs/hr. a 10,000 lbs/hr. de producción de vapor.

- Se emplean para producir vapor de mayores niveles de presión que las calderas pirotubulares.

- Requieren más instrumentación y mayores controles que las calderas pirotubulares.
- Son construidos y clasificados normalmente de acuerdo a sus arreglos de tubos y domos (el domo de vapor está en la parte superior y el domo de agua cerca del fondo).

El vapor generado en el domo superior es saturado, en caso de que se quiera vapor con temperatura encima de su temperatura de saturación, se debe generar vapor supercalentado. El vapor supercalentado es obtenido mediante la instalación de supercalentadores. Los supercalentadores están constituidos por tubos en forma de serpentín, siendo clasificados (en cuanto a la transferencia de calor) como de radiación o de convección.

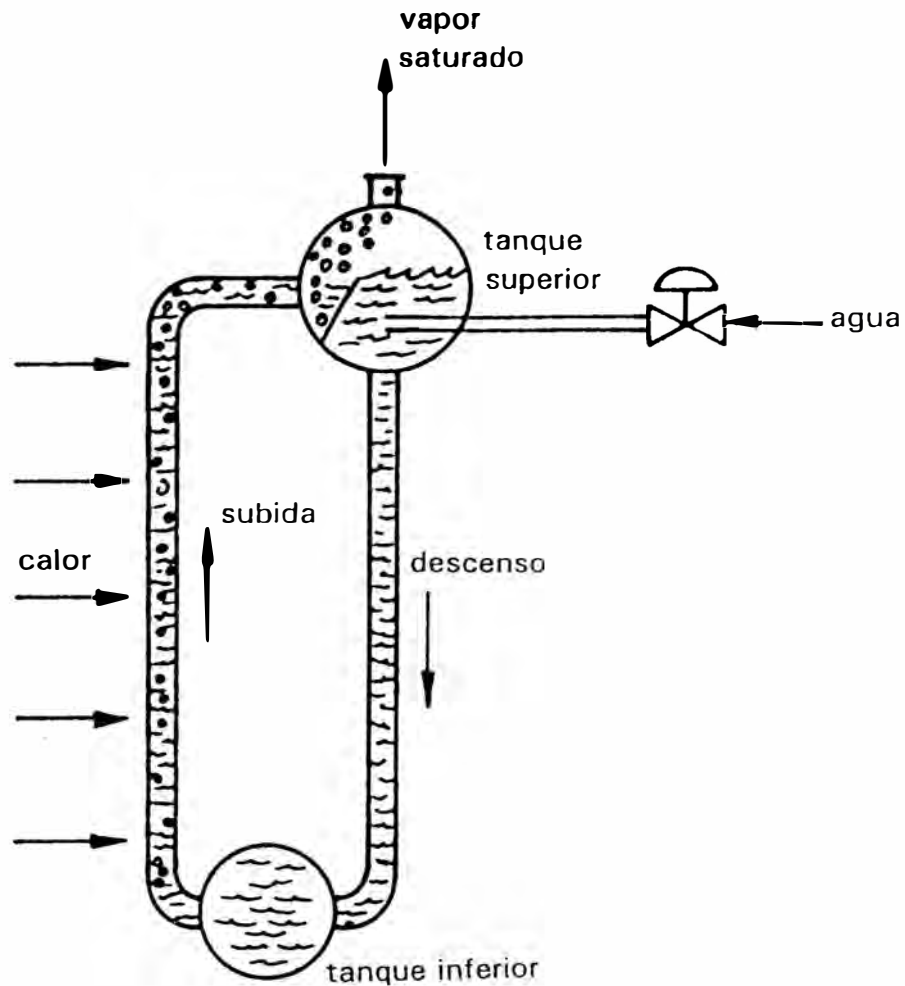
La utilización de vapor supercalentado aumenta la disponibilidad de energía y también permite aumentar el rendimiento de las turbinas.

En caso de que la caldera genere vapor supercalentado, deberá ser instalado un sistema de des-supercalentamiento, pues la relación presión x temperatura sólo vale para vapor saturado. En el caso de vapor sobrecalentado, la temperatura final del vapor será función de la presión del vapor, del exceso de aire, de la temperatura y del volumen de los gases a los cuales está sometido el supercalentador. La mayoría de los des-supercalentadores industriales operan a través de la adición de agua atomizada en el vapor supercalentado (**Fig.2**); la adición del agua atomizada enfría el vapor supercalentado.

Como la transferencia de calor del lado de fuego al lado de agua de la caldera depende de la diferencia de temperatura entre estos dos sistemas, en una caldera simple los gases de generación de combustión solamente podrán ser enfriados para una temperatura poco encima de la temperatura del sistema vapor-agua de la caldera. Si se desea reducir las pérdidas de calor en los gases de combustión se debe adicionar accesorios conservadores de calor. El economizador y el precalentador de aire son las formas usuales de conservación de calor de la caldera.

En el economizador los gases de la combustión tienen contacto con la superficie de transferencia de calor en forma de tubos de agua a través de los cuales fluye el agua de alimentación. Como los gases de combustión están en temperatura mas alta que la del agua, el gas es enfriado y el agua es calentado.

Los gases de la combustión que después pasarán por el economizador, pasan por el precalentador de aire, debiendo precalentar el aire de combustión. En éste caso como los gases están en temperatura mas alta que el aire de combustión, el calor es transferido a través de la superficie de transferencia de calor del precalentador, calentando el aire y enfriando los gases de combustión.



**Fig.3. Esquema de Circulación en Caldera Acuotubular**

El precalentador de aire puede ser de tipo recuperativo ó regenerativo (dependiendo de su principio de funcionamiento). En el precalentador recuperativo el calor proveniente de los gases de combustión es transferido para el aire de combustión a través de una superficie metálica (precalentador tubular).

En el precalentador regenerativo, el calor proveniente de los gases de combustión es transferido indirectamente para el aire de combustión a través de un elemento de **almacenaje**, por donde pasan el aire y los gases alternadamente.



## **CAPITULO II FILOSOFÍA DEL CONTROL DE CALDERAS**

### **2.1. Control de nivel de agua en el colector de vapor :**

El Nivel de Agua en la Caldera, es uno de los más importantes parámetros a controlar durante su operación, por tal razón se propone la instalación de transductores de presión en la parte superior e inferior del domo de vapor.

El primero de ellos (parte superior), proporcionará información constante de la Presión en el colector de la caldera, mientras el segundo transductor (instalado en la parte inferior del domo) proporcionará información sobre la presión en el colector más la presión por efecto de la altura de columna de agua presente. La diferencia de estas dos señales indicará en forma constante el nivel de agua presente en la caldera.

Luego de procesar la información antes obtenida, el sistema ordenará la apertura o cierre de la válvula controladora de la cantidad de Agua de Alimentación que ingresa a la Caldera, con lo que se asegurará en todo momento, que no pueda existir un nivel inadecuado (sea Alto o Bajo) de agua en el domo. Adicionalmente, en caso de notar un nivel inadecuado dentro de la Caldera, ordenará el corte inmediato de Combustible al quemador, con lo que se evitarán daños a la Caldera.

Asimismo, ésta configuración permite al Operador tener el control exacto de la Presión de Vapor en la Caldera, la misma que podrá ser registrada en forma automática. De presentarse una Alta Presión de Vapor en el Colector, apaga el quemador de la Caldera activando la Alarma respectiva.

Todo Sistema de Control de Nivel de Agua en el Colector, debe ser instalado en forma paralela a otro Sistema de Control de Nivel, en uso, lo que permitirá, debido a la redundancia de sistemas, sacar uno de ellos fuera de servicio para efectuar mantenimiento o reparaciones, y poder seguir operando la Caldera controlándola con el otro Sistema.

Todas las válvulas controladas, tanto neumáticas como solenoides, deben ser instaladas de manera tal, que en caso de presentarse una falla en el sistema, el corte de energía eléctrica o una mala operación del mismo, quedarán en la posición más segura para la caldera, esto se logrará mediante la utilización de válvulas normalmente abiertas o normalmente cerradas.

## **2.2. Control del sistema de agua de alimentación:**

Para el presente estudio, se considera como Sistema de Agua de Alimentación a todas las válvulas, bombas, tuberías y tanques de agua; los que por su importancia para la operación de las Calderas, deben ser controlados en forma automática.

Se tienen Controladores de Nivel en el Reservorio de Agua, así como el Control (en remoto o telecomando) de las respectivas Electro Bombas de

estos tanques. Adicionalmente se obtiene información del estado del Sistema de Agua de Alimentación por medio de la instalación de micro switches que indican la posición de las principales válvulas manuales (no controladas).

Se debe tener cuidado, también en el Control de Nivel en los Tanques de Condensado así como en el Control de las Electro Bombas de Condensado y Electro Bombas de Alimentación además del control de las principales válvulas, para obtener el arranque y/o parada automática de las Electro Bombas antes indicadas. Se debe tener un óptimo control de la temperatura del agua de alimentación después del precalentador.

Es de mucha importancia la presencia de alarmas en caso de una caída en la Presión de Agua de Alimentación, lo que permite apagar las Calderas que estuvieran en servicio en caso de continuar la caída de Presión de Agua de Alimentación, evitando así la posibilidad de presentarse un Bajo Nivel de Agua en el Colector de Vapor.

El Sistema Automático y de Control de Agua de Alimentación permite además presentar al operador en todo momento el estado, configuración o forma como se encuentra operando el mismo (Electro Bombas prendidas, Bombas de reten en stand-by y posición de las principales válvulas). Asimismo, esta información es registrada en forma automática, contabilizando incluso las horas de servicio de los equipos y electro bombas, lo que facilita la tarea de optimizar el mantenimiento programado.

### **2.3. Control de combustión**

Al ser el Control de la Combustión de una Caldera, el que requiere de mayores precauciones de seguridad, se considera las siguientes acciones:

1. La instalación en la hornilla de cada Caldera, de los Sensores de Llama piloto para el encendido de gas propano, y otro del tipo infrarrojo para la llama del quemador de petróleo, así como sus respectivos amplificadores. La forma de control se basa en que la presencia de llama en el quemador (o en el piloto) garantiza que todo el combustible que está ingresando al hogar a través de ese quemador, está siendo quemado.
2. Al contar los detectores de llama y sus amplificadores con un sistema interno de autoverificación, el mismo que en caso de detectar una falla ordenará el cierre inmediato de la válvula de combustible, con lo que se asegurará la Caldera. Asimismo, la totalidad de válvulas de control de combustible son del tipo normalmente cerradas.
3. La reposición de las válvulas solenoides de control de ingreso de combustible (tanto gas propano como petróleo) por válvulas controlables neumocomandadas, las que recibirán orden de abrirse o cerrarse de acuerdo a requerimiento. Estos requerimientos serán básicamente del PLC que actuará como programador del nivel de control de agua en el colector de vapor y de las fotoceldas o sensores de llama.
4. El sistema presenta además información constante sobre quemadores en servicio (encendidos) y la forma como están operando.

5. Por seguridad, el Sistema presenta una Alarma en caso de sensar cualquier anormalidad, procediendo luego de un pequeño retardo a apagar la Caldera. El retardo no será considerado si la Alarma que se presenta es por llama apagada en cuyo caso ordenará el inmediato cierre de las válvulas de combustible a fin de evitar la acumulación de gases y por ende una retroflama o una explosión dentro del hogar de la caldera.
6. La purga de gases del hogar cada vez que se encienda la caldera o luego que ésta haya sido apagada será ordenada por el PLC que actúa como programador.
7. Instalación de sensores de humo (blanco-negro) en las chimeneas o ductos de escape de gases de cada Caldera.

#### **2.4. Control del sistema de petróleo :**

Se considera

1. El Control de Nivel en los Tanques de Almacenamiento, así como el Control (en remoto o telecomando) de las Electro Bombas de Transvase de Combustible de estos tanques. Adicionalmente se obtiene información del estado del Sistema de Petróleo por medio de la instalación de micro switches que indican la posición de las principales válvulas manuales (no controladas).
2. Control de Nivel del Deposito de Combustible (ó Tanque de Servicio).
3. Control Automático de las Electro Bombas de Petróleo así como información sobre la disposición de las principales válvulas del sistema; lo que permitirá el arranque automático de Bombas.

4. Reemplazo de las válvulas solenoides de retorno de petróleo por Válvulas Neumocontroladas, las que deberán quedar abiertas en caso de apagarse la Caldera. Su apertura o cierre estará hermanada con la válvula controlable de vapor de atomización.
5. Instalación de medidores de Flujo independientes en las líneas de petróleo a cada caldera, así como en las líneas de retorno a fin de tener el control exacto de los consumos de combustible por caldera.
6. Control del Calentador de Petróleo por medio de una válvula neumática controlable en el ingreso de vapor al calentador, la misma que además de la temperatura del petróleo, también considerará la señal del detector de humo de las chimeneas de las Calderas, lo que asegurará una combustión casi perfecta con el consiguiente alargamiento de la frecuencia de limpiezas mecánicas por año de fuego de las Calderas. Asimismo, la instalación de un Calentador Eléctrico de Petróleo para encendido cuando no se dispone de vapor para el calentador.
7. Instalación de manómetros diferenciales en los filtros de petróleo a fin de facilitar los mantenimientos programados.
8. Instalación de Alarma/Indicación cuando se efectúe recarga de combustible en los Tanques de Almacenamiento.
9. El Sistema Automático y de Control de Petróleo permitirá además presentar al operador en todo momento el estado, configuración o forma como se encuentra operando el mismo (Electro Bombas encendidas, Bombas de retén en stand-by y posición de las principales válvulas).

Asimismo, ésta información será registrada en forma automática, contabilizado incluso las horas de servicio de los equipos y electro bombas, lo que facilitará la tarea de optimizar el mantenimiento programado.

## **2.5. Control de encendido y operación**

Se efectuará mediante un PLC que reemplazará al Programador de levas actualmente en uso. El PLC será programado como un temporizador electrónico de control, el mismo que ordenará las secuencias de arranque y encendido, además de las purgas o venteos del hogar cada vez que sea necesario. Permitirá la operación en Alta o Baja Generación, para lo cual actuará sobre la Válvula de Control de Retorno de Combustible, así como sobre la Válvula Reguladora de Vapor de Atomización.

Control de la Admisión de Aire para la Combustión, reemplazando el actual método mecánico con un damper de restricción, por un actuador y por ende tener el control del ingreso de aire para la combustión, el mismo que será regulado para las diferentes condiciones tanto de encendido, operación como purga o venteo.

## **2.6. Control de equipos en servicio :**

Tanto el Operador de Guardia en la Sala de Caldera, como los Operadores de otros procesos y el Jefe de Mantenimiento tendrán información precisa sobre los principales equipos en servicio, así como el estado o configuración general de los diversos sistemas (incluye Calderas, Bombas, Tanques y principales Válvulas).

### **2.7. Control de consumo de vapor :**

Permitirá tener un control exacto del consumo de vapor, estará compuesto por medidores de flujo en las líneas de vapor. Esto optimizará el tener el mínimo de Calderas en servicio, basándose en que es más económico operar una Caldera en Alta Generación, que dos Calderas en Baja Generación. Asimismo, dará indicación cuando se requiera una Caldera más en la línea a fin de satisfacer el requerimiento de Vapor. En caso que alguna de las Calderas esté predispuesta para su encendido, podrá efectuarlo en forma automática previa Alarma.

### **2.8. Seguridad contra incendios**

El presente trabajo, recomienda la instalación de Sensores Inteligentes para detección de incendios en la Sala de Caldera, los mismos que actuarán Alarmas Sonoras y asegurarán el sistema de petróleo y gas propano. También podrán ser conectados a un sistema de rociado si así fuera solicitado.

### **NOTA :**

Se plantea la automatización por medio de aire al ofrecer una mayor seguridad por contar con aire almacenado en la compresora.

El Sistema de Automatización y Control, propuesto permitirá además tener la posibilidad de obtener información en remoto desde terminales de PC instalados en red con el sistema, así como llevar un registro de parámetros de operación, horas de trabajo de los equipos y alarmas que se presenten.



Todo el Sistema cuenta con by-passes que permitirán la operación manual previa confirmación de acceso con un password, en caso contrario, el Sistema de Automatización no aceptará la orden por considerarla como falla y apagará la Caldera.

## CAPITULO III SISTEMA DE SEGURIDAD DE CALDERAS

### 3.1. Introducción :

En éste capítulo se describe un sistema de seguridad alternativo BMS haciendo referencia a los requerimientos básicos y generales para el sistema de seguridad de calderas industriales, prevención contra explosión, monitoreo de flama y comando secuencial seguro de quemadores; teniendo en consideración que todo proceso de combustión está expuesto al riesgo de una explosión.

Obviamente el grado de riesgo, como también sus consecuencias, crece drásticamente al pasarse de un combustible líquido pesado a uno más liviano, a gas o a carbón pulverizado.

El costo de una explosión es impredecible, pero es esencialmente **"enorme"** frente al costo de un **"apropiado"** sistema de protección.

La pérdida de vidas humanas, la destrucción de bienes, la paralización de la producción, otros daños que pueden llegar a desencadenar (tales como inducir otras explosiones en plantas con áreas peligrosas, o provocar destrozos internos en una turbina, etc.) la necesidad de reparar la caldera

(o el horno) o bien reemplazarla por una nueva, y finalmente el tener, ahora sí, que incorporar el "**apropiado**" sistema de seguridad con el que debió habérsela provisto originalmente, son **razones mas que suficientes** para invertir, desde un principio, en el más adecuado equipamiento.

En cuestiones de seguridad, todos -absolutamente todos- los elementos concatenados del sistema son esenciales. La falla de un único eslabón puede dar paso a una catástrofe. La obvia necesidad de que este sistema de seguridad contra explosiones cumpla con su específico propósito de brindar la máxima protección (safety and reliability), la máxima continuidad operativa (availability) y a la vez permitir al operador acciones sencillas y rápidas, en particular frente a situaciones de emergencia, ha conducido a la necesidad de contar con sistema de **Emergency Shut Down (ESD)** de específico y dedicado diseño para la combustión denominado BMS (burner Management System).

### **3.2. Sistema de seguridad BMS**

Un BMS de apropiado diseño ofrece, además de su función específica de protección contra explosión, otros beneficios adicionales tales como:

1. Un menor costo operativo de la caldera en razón de arranques paradas más eficientes, con su consecuente ahorro de combustible y mayor vida útil de los componentes mecánicos de la caldera.
2. Mantenimiento sectorizado (con la caldera en operación) más eficiente y seguro.

3. Una mayor disponibilidad operativa de la caldera (availability), minimizando paradas indeseables y/o de mayor magnitud para reparaciones acumuladas.
4. Sustancial reducción de los "pequeños" accidentes del personal de operación.
- 5..Importante reducción en el costo de los seguros.

El propósito del BMS es el de actuar como "**Jaula o Marco de Protección Segura**" del proceso de combustión, apto para desencadenar una rápida y correcta acción inhibitoria o de bloqueos (sectorizados o general) frente a situaciones operativas no autorizadas o inseguras, y para permitir una rápida y eficiente intervención del operador mediante una interacción "**hombre-sistema**", directa y despejada de trabas.

### **3.2.1. Recomendaciones para el uso del sistema BMS**

De acuerdo con la práctica internacional, las recomendaciones esenciales para el uso del sistema BMS, son:

1. Un sistema BMS exclusivo por caldera.
2. Totalmente separado y desvinculado de cualquier otro sistema de control, enclavamiento, regulación y/o comando.
3. Independiente y autónomo.
4. De diseño específico y dedicado.
5. Absolutamente FAILSAFE, basado en una concepción complementada de Hardware y Software para llevar el proceso hacia condición segura, desencadenando las acciones inhibitorias o de bloqueos

correspondientes a todo y cualquiera de sus partes y/o componentes, incluidos los elementos de campo (sensores y actuadores finales).

6. Inviolable frente a todo intento de puenteado, by-passeado y forzado electrónico o mecánico, incluso sobre los elementos primarios (sensores) y finales de campo (actuadores).
7. Inaccesible a reprogramaciones no ejecutadas por el nivel técnico específicamente autorizado.
8. Con interfaces sistema-operador que permitan contar con un medio de información permanentemente actualizado y de acceso rápido y directo a fin de permitir al operador una toma, urgente y precisa de decisiones que contribuyan a evitar paradas innecesarias del servicio por motivos previsibles o reparables a tiempo, y/o faciliten su más rápida reposición.

Dado el carácter no cambiante del proceso de combustión, un programa correctamente diseñado no requiere cambio posterior alguno, de ahí la conveniencia de un programa empaquetado no accesible, usando PLC's.

El acceso a reprogramaciones tiene que quedar absolutamente reservado al especialista autorizado, ya que cualquier modificación que se haga sin el debido conocimiento del software puede tener seria repercusión en otros pasos de la lógica, provocando errores que pueden quedar enmascarados con grave riesgo para el proceso.

### **3.2.2. Hardware del sistema BMS :**

Los módulos de Entrada-Salida (I/O) contarán con aislación galvánica por optoaisladores. El rack conteniendo los módulos de I/O, las CPU (Central Process Unit), la fuente de alimentación propia y los módulos de comunicaciones, recibirán un refuerzo de ventilación forzada mediante un juego de miniventiladores montados en la parte inferior de dicho rack y con espacio suficiente como para no interferir el flujo de ventilación natural.

Todas las salidas de potencia para el comando de los elementos actuadores de campo tales como válvulas solenoides, bobinas de válvulas de acción eléctrica, transformadores de ignición, etc., se canalizarán a través de relés electromecánicos comandados por la electrónica del BMS.

Estos relés electromecánicos, son seleccionados con una capacidad de rating significativamente superior a los consumos máximos típicos requeridos en éste tipo de sistemas, a los efectos de que su operación en condiciones de trabajo liviano garanticen una larga vida útil.

Los relés generalmente provistos son de 10 Amp-110 VAC que cubren holgadamente las demandas de corrientes IN-RUSH y las sobrecargas operativas, las que regularmente no superan los 250 mA.

Esto asegura que no se dañen ni se suelden los contactos del relé por switching de cargas. Para la protección de los contactos contra cortocircuito, cada salida a campo tiene su propio fusible con un rating de calibración a la fusión no superior a los 2 Amp.

El uso de relés electromecánicos tiene además una doble función de complementación con la condición FAILSAFE requerida al sistema BMS :

**1ra.** La primera es que, dada sus característica inherentemente FAILSAFE, en caso de falla de un relé por rotura de bobina o corte de tensión, caerá desenergizando el circuito. (Incluso su montaje se prevé de modo tal que ante una eventual falla mecánica el relé abra por gravedad).

**2da.** La segunda es que proveen una eficaz protección de los módulos electrónicos de salida al actuar como una completa aislación eléctrica entre electrónica y campo, proveyendo inmunidad contra condiciones eléctricas agresivas provenientes de afuera de la lógica, tales como picos de corrientes inducidas, ruidos eléctricos, cortocircuitos y la eventualidad de golpes de tensión por conexiones externas erróneas en operaciones de mantenimiento general de planta.

Los relés incorporados son encapsulados para su mejor protección ambiental y para evitar acciones de forzado sobre su puente de contactos.

Toda la estructura electrónica del BMS, como condición esencial de todo sistema de ESD (**Emergency Shut Down**) en base a Controladores Programables PLC o DCS, debe perfeccionarse con un watch-dog externo e independiente que monitoree ininterrunpidamente la correcta operación y performance del procesador y de los canales de comunicaciones de I/O.

Como práctica standard, para calderas de múltiples quemadores y combustibles duales se proveen wath-dogs externos redundantes para supervisar la correcta operación del procesador, módulos de

comunicaciones, módulos de I/O y la secuencia lógica completa del sistema.

Cuando una condición de falla crítica se produce en campo y la misma no se soluciona mediante los cortes normales del sistema (relé de salida, relé de seguridad del quemador asociado, etc) el sistema lógico interrumpirá la secuencia de pulsos a los watch-dogs y desencadenará el bloqueo de los componentes de seguridad de la caldera.

Esta configuración de watch-dogs redundantes permite contar con la seguridad exigida y garantiza una mayor disponibilidad operativa de la caldera.

Cada canal de entrada de cada módulo está periódicamente verificado por el PLC.

Se exige un cuidadoso y muy experimentado diseño que incluye una adecuada configuración del hardware complementado por un cuidadoso desarrollo del software, una correcta programación y una apropiada selección de los elementos complementarios de campo.

La ejecución física del sistema debe ser también cuidadosamente concebida para una máxima protección del sistema. Uno de los recursos más útiles para éste propósito es el uso de cables multiconductores con conectores blindados a enchufe y rosca.

### **3.2.3. Circuito auxiliar de bloqueo de seguridad :**

Para garantizar la condición FAILSAFE del BMS ante toda circunstancia de inseguridad por parte de la estructura electrónica del mismo, es de rigor



-en todo sistema electrónico de seguridad- reforzar la acción de bloqueo hacia condición segura mediante la inclusión de un circuito Hardwired con capacidad de disparo y corte directo, totalmente independiente del hardware electrónico y activado por los sensores del proceso, por los "watch dogs" y/o por los pulsadores de parada de emergencia.

Este canal independiente de bloqueo actúa en paralelo con la lógica electrónica garantizando el corte de energía de las válvulas de shut down de combustibles ante disparos de fallas de cualquiera de las siguientes variables mínimas:

- Parada del ventilador de Tiro Forzado o de Tiro Inducido.
- Bajo caudal de aire de combustión.
- Muy bajo nivel de Domo.
- Alta o Baja Presión de Gas en el colector.
- Baja Presión de combustible en el colector.
- Baja Presión de atomización de vapor.
- Accionamiento del pulsador de parada de emergencia.
- Disparo de Watch-dogs.

Este circuito de seguridad Hardwired actúa sobre los elementos de control correspondientes a cada combustible.

#### **3.2.4. Software del sistema BMS**

La elaboración del software es de esencial importancia. Puede el usuario contar con la más completa y costosa configuración de hardware; pero con un software deficiente, todos esos niveles paralelos de protección

perderán toda garantía de seguridad al darse las condiciones de proceso no previstas ó mal consideradas- en el desarrollo del software.

Y puesto que los errores de software, salvo que sean muy graves y obvios, no son visibles ni fácilmente detectables, adquiere enorme importancia el conocimiento y la experiencia del equipo de ingeniería que lo diseña, tanto en lo que respecta al proceso como en lo que respecta al profundo conocimiento de los equipos utilizados, de sus comportamientos individuales y de su más apropiada programación. Cuando el programa tiene fallas, en el momento en que se presenten condiciones no previstas o no detectadas, se producirán paros injustificados e indeseados del proceso y se estará conviviendo con alguna insospechada situación de alto riesgo.

Cada BMS tiene incluido en su software, numerosas rutinas de autochequeo e interlocks que verifican permanentemente el estado de correcta operación del sistema.

Algunos de ellos son

**1. "watch-dog" interno del procesador:**

Chequea el estado operativo y las memorias del procesador, fallas en los racks de I/O, fallas en archivos de programa, errores de programación, fallas en la configuración del sistema, fallas en rutinas, fallas en la ejecución del programa, etc.

**2. Chequeo de "timers" y contadores programados:**

El sistema no permitirá ninguna alteración de los valores de timers y contadores programados en fábrica (por ejemplo no permitirá cambiar

el ajuste del timer de barrido, lo cual provocaría una situación no segura debido a un barrido insuficiente del hogar).

### 3. "Interlock" por tentativa del forzado de I/O:

El sistema no permitirá el forzado de ningún punto de entrada/salida.

### 4. Detección de falla :

Si se detecta una falla o discrepancia en alguno de estos chequeos (por ejemplo cuando una salida de estado sólido falla en corto), el BMS procede a ordenar un corte del quemador asociado (o de toda la caldera, según corresponda) mediante el "**Relé de Seguridad**" de cada quemador; cuyos contactos se cablean en serie con los del relé que energiza las válvulas de combustible.

Si no se satisfacen apropiadamente los chequeos de seguridad o si existe una situación potencialmente peligrosa o insegura, la lógica desenergiza el **Relé de Seguridad** correspondiente y se cierran todas las válvulas de combustible del quemador asociado, llevando dicho quemador (o a toda la caldera) a condición segura.

### 5. Chequeo dinámico de detección de flama

El sistema también incluye un chequeo dinámico de cada entrada asociada a detección de flama, que funciona de la siguiente manera: Cuando la señal de Flama Detectada es verdadera (on), el sistema chequea periódicamente que las dos entradas asociadas puedan pasar al estado off (es decir, que puedan detectar la condición de ausencia de flama) confirmando permanentemente la habilidad del sistema de iniciar

un corte de seguridad del quemador (o la caldera según corresponda) por falta de flama. Esto se lleva a cabo abriendo un relé de chequeo en los cables de señal y verificando que ambas entradas puedan cambiar al estado de off.

Una especial consideración debe hacerse con referencia a los elementos de campo (sensores y actuadores). Partiéndose del supuesto de que el BMS ha sido bien concebido, diseñado y cuidadosamente fabricado con los más confiables componentes electrónicos y las técnicas más apropiadas, la experiencia enseña que del total de fallas que provocan paradas indeseadas o intempestivas, entre el 80 y el 90% se debe a fallas en los elementos de campo, sensores y actuadores.

Estos componentes de campo, permanentemente sujetos a agresiones de todo tipo tales como altas temperaturas, polvo, humedad, lluvia, ambientes corrosivos, agresiones mecánicas, etc, deben ser adecuadamente seleccionados y de óptima calidad (el mayor precio de elementos de campo de superior calidad tiene poca incidencia económica en el precio total del sistema, en particular frente al costo que representa una paralización intempestiva del servicio).

### **3.3. Sensores de flama de combustión**

La detección precisa de presencia de flama en cada quemador, es uno de los eslabones de seguridad más importantes en la prevención contra explosión en toda caldera. La presencia de flama en cada quemador

específico garantiza que todo combustible que ingresa al hogar a través de ese quemador específico, es quemado.

Todo combustible que ingresa al hogar y no se quema en el quemador que le corresponde puede formar -en cualquier parte del hogar de la caldera- bossones sujetos a explosión; por esta razón, el scanner de flama ha de cumplir con los siguientes requisitos básicos:

1. Ser de diseño Failsafe tanto el detector como el amplificador de flama asociado.
2. Tener incorporado un sistema de autochequeo permanente contra fallas del sensor por fatiga, envejecimiento o cortocircuito que pudieran provocar una falsa condición de detección permanente aún a pesar de haberse extinguido la flama. lo que implicaría confundir al sistema, haciendo que mantenga abierto el ingreso de combustible a un quemador sin flama, y en consecuencia, acumulando en el interior de la caldera, combustible sin quemar sujeto a inevitable explosión.

Dado que la habilidad para distinguir entre la presencia o ausencia de flama en un quemador bajo cualquier circunstancia es crítica para asegurar la correcta operación de un BMS, estos sistemas emplean equipos de detección de flama con autoverificación permanente y probadamente compatibles con el resto del sistema.

Para la mayor parte de las aplicaciones con gas combustible se emplean detectores del tipo ultravioleta, mientras que para aplicaciones que emplean carbón, petróleo u otros combustibles líquidos pesados, o

combinación de Gas/Petróleo se emplean detectores del tipo infrarrojo modulado. Ambos tipos de detectores están diseñados para operar correctamente en el ambiente de alta temperatura propio de un frente de quemadores y cuentan con carcasa a prueba de intemperie.

Se puede instalar amplificadores de flama en la sala de control, directamente sobre los gabinetes de lógica con los cuales están asociados en la protección de la caldera para evitar los riesgos propios de los que requieren montaje en campo. La distancia entre amplificadores y detectores pueden superar los 300 metros.

Se recomienda scanners específicos para diferentes tipos de flama, tales como UV (ultraviolet) para flama de gas y IR (infrared) para llamas radiantes o combustibles duales en el mismo quemador. La cantidad y ubicación de los diferentes detectores deberá ser analizada y acordada con el usuario, y con los fabricantes de los quemadores y/o de la caldera.

#### **3.4. Amplificadores de flama :**

Los amplificadores cuentan con autoverificación permanente, reciben y procesan la señal proveniente de los detectores UV e IR, convirtiendo dicha señal en una medida de "**intensidad de flama detectada**", que acciona los contactos que se comunican al BMS.

El amplificador de Flama incluye un display que indica continuamente la señal de intensidad de flama y que permite repetirla en forma remota por medio de una salida analógica. También cuenta con una "**alarma marginal**" que ante una caída en la detección permite activar una alarma previa al

corte, indicativa de problemas en la combustión permitiendo al operador de la caldera actuar para superar el problema antes de que se llegue a nivel de disparo y cierre del quemador respectivo.

#### **3.4.1. Características de los amplificadores de flama:**

Las características más importantes de estos amplificadores son:

1. Autoverificación permanente tanto del detector de flama como del propio amplificador, mediante un mecanismo que provoca sucesivos chequeos por minuto sobre el sensor de flama, confirmando el correspondiente flame-out.
2. Capacidad para conectar uno o dos detectores de flama UV y/o IR en cualquier combinación.
3. Doble ajuste de sensibilidad conmutable exteriormente (por ejemplo mediante la señal de selección de combustible) para adaptar la señal a distintos tipos de combustibles.
4. .Display de intensidad de flama detectada.
5. Alarma marginal ajustable.
6. Tiempo de corte seleccionable entre 1 y 4 seg.
7. Salida analógica para indicación remota de intensidad de flama.
8. Señal analógica detectada por medio de contactos de relés normalmente abiertos (criterio failsafe.)

#### **3.5. Comunicación e interface con el operador :**

El BMS deberá contar con la capacidad física y electrónica de incorporar módulos de comunicaciones que permitan ampliar el margen de

información del operador a través de terminales de video color capaces de desplegar gráficos dinámicos del proceso, listado de eventos, anuncio y listado de alarmas en secuencia de primera falla, e indicaciones varias que transmitan al operador una imagen global del estado instantáneo del proceso.

También en éste aspecto la importancia de que el operador tenga información directa respecto del sistema de seguridad y del proceso, para poder actuar rápida y eficazmente, hace recomendable una video terminal exclusiva del BMS.

Tendrá además la posibilidad de acumular información, de enviarla a una impresora y/o de interconectarse con la red de comunicaciones de otros sistemas para intercambiar información.

El sistema de seguridad de flama admite distintos dispositivos de interfaces con el operador. Para la generalidad de las aplicaciones se proveen las siguiente interfaces:

### **3.5.1. Paneles de comando local**

Para una interfaz convencional con el operador y con capacidad de operación en el campo, se emplean paneles de comando local para arranque/parada de quemadores con elementos de señalización y comando agrupados por funciones de manera tal que permita una rápida toma de acción del operador tanto en condiciones normales como de emergencia.



### **3.5.2. Paneles en la sala de control :**

Para la operación del BMS desde sala de control, normalmente se provee un panel, en el que se agrupan - por funciones y sectores- los elementos de comando y señalización necesarios para la operación remota de los quemadores.

### **3.5.3. Terminales de video color :**

Permite monitorear el estado de todas las variables, tanto de la sección común de la caldera como de cada quemador individual, por medio de gráficos dinámicos a color. Provee también información de diagnóstico importante para el operador incluyendo indicación de primera alarma, identificación de fallas en dispositivos y mensajes de operación que guían al operador durante el arranque, la parada y/o toda situación prevista de mantenimiento, operación y/o emergencia.

Los terminales de video color empleados pueden ir desde el tipo de computadora personal para uso en sala de control hasta robustas terminales industriales aptas para soportar ambientes más agresivos.

## **3.6. Interconexión del sistema :**

Básicamente se conocen dos modalidades de interconexión:

### **3.6.1. Método convencional :**

Con gabinetes, paneles etc, terminando en tiras de borneras para su intercableado en obra, por parte de la empresa instaladora.

### **3.6.2. Método por multiconductores**

Para éste método son necesarios cables multiconductores con Conectores Multipin tipo Militar con Rosca de sujeción, en largos establecidos por el usuario.

Este método tiene numerosas ventajas respecto del método convencional:

1. El tiempo de montaje del sistema se reduce de varias semanas a una fracción de semana.
2. Además de este significativo menor tiempo de interconexionado, el personal requerido para el montaje de estos multicables no necesita ni el número ni el grado de especialización que exige el método convencional.
3. El costo instalado de los multicables con las necesarias bandejas de montaje resulta también inferior al costo de la suma de cables, cañerías, accesorios y costo de instalación que demanda el sistema convencional.
4. Con los multicables ya verificados durante la simulación en fábrica, el interconexionado del sistema es así absolutamente libre de errores y no requiere chequeo posterior alguno; en tanto que con el método convencional de cableado en campo, los errores son casi inevitables y, por pequeños que sean, obligan a una rigurosa revisión del cableado punto a punto por parte de personal de mayor nivel de calificación. Además con el método de cableado convencional, los gabinetes quedan mucho tiempo abiertos y expuestos a las torpezas y los accidentes de los cableadores, sus ayudantes, y toda ocasional presencia en el área.

Todo problema acumulado implicaría, a posteriori, retrasos en la puesta en marcha, revisiones y reparaciones, con sus correspondientes costos directos e indirectos.

5. El uso de multicables implicaría además una protección adicional del sistema, al dificultar acciones de puenteado adicional del sistema, al dificultar acciones de puenteado y bypasseado de componentes, o los inconvenientes por cables "mal movidos" entre borneras.

### **3.7. Simulación operativa :**

Previo a su envío a obra, todo sistema BMS es enteramente interconectado en fábrica entre sí y a paneles de simulación especialmente diseñados para reproducir todas las diferentes formas y situaciones operativas de la caldera, realizándose un test operativo global con la simulación de todas las posibles condiciones de falla del proceso y elementos de campo.

Esta verificación y depuración del sistema previo a su instalación en obra redundará en una puesta en marcha inicial rápida y de bajo costo (toda vez que la identificación y corrección de problemas, en obra, demandará gastos mayores y una puesta en marcha más dificultosa), y evitará los riesgos de una incorrecta rectificación de la documentación técnica con sus efectos sobre el mantenimiento futuro y la garantía de seguridad del sistema.

### **3.8. Presencia, soporte, capacitación, puesta en marcha :**

La alta tecnología de hardware y la complejidad del software aconsejan adoptar un sistema cuyo proveedor tenga una fuerte y equitativa presencia activa en el área, garantizando un soporte global que incluya un calificado y experimentado nivel de servicio y asistencia, tanto en lo referente a hardware como a software.

Este proveedor deberá contar con un equipo de ingenieros calificados y conocedores del sistema y del proceso, capaces de responder rápida y eficazmente frente a todo requerimiento técnico de planta.

### **3.9. Conclusiones :**

El empleo de Controladores Programables ofrece una enorme plataforma de prestaciones que constituyen la más poderosa herramienta existente de control y manejo de información. Pero esa plataforma sólo está sostenida por dos pilares básicos esenciales, el hardware y el software.

Si cualquiera de esos pilares falla, aquella maravillosa plataforma se desploma. Y los efectos del derrumbe son diferentes según ceda uno u otro de los pilares.

Se puede disponer de un excelente software pero poco se podrá hacer con un hardware escaso y/o de mala calidad. Las paradas indeseadas y una prestación ineficiente serán la consecuencia forzosa.

Por el contrario, se puede disponer del más avanzado, excelente y experimentado hardware que un software mal diseñado le impedirá aprovecharlo, creándole numerosos problemas operativos.

Pero lo más grave de las circunstancias que puede darse en esta situación es aquella en la que un software, concebido con insuficiente experiencia, pueda anidar una situación enmascarada de grave riesgo. En esta circunstancia la planta estará siendo operada con la creencia de sentirse protegidos por un adecuado sistema, cuando en verdad se está operando montados sobre un paquete de dinamita con un percutor codificado listo para estallar en cuanto se dé la combinación de circunstancias no previstas en el software.

Cada sistema BMS es asignado a un equipo de personas experimentadas, que asumen la responsabilidad global del proyecto, integrando un equipo de especialistas dedicados al desarrollo de la totalidad del trabajo. Este equipo de trabajo desarrolla un esquema de proyecto mediante un intercambio activo con los operadores (usuario) definiendo las variables a ser incorporadas al sistema, la información disponible para el operador y las secuencias en función del tipo de diseño de la caldera, de las necesidades expresadas por el usuario, de las normas y prácticas recomendadas (NFPA, National Fire Protection Association, y otras).

Es sumamente importante que el equipo de ingeniería disponga de modernos programas de elaboración de la documentación técnica que permitan, a partir del diseño lógico, generar automáticamente y libre de

errores, las planillas de cableados, tiras de borneras, identificación de cables y terminales, planos de interconexionado, y listado de componentes.

Esto garantizará instalaciones más precisas y una drástica disminución de los tiempos de pruebas y puesta en marcha. Tienen además la valiosa virtud de corregir automáticamente, y sin errores en toda la documentación, cualquier corrección necesaria durante la elaboración del proyecto

## **CAPITULO IV FUNDAMENTOS TÉCNICOS PARA USAR EL PLC EN EL SISTEMA DE SEGURIDAD DE CALDERAS INDUSTRIALES**

### **4.1. Introducción :**

El sistema de calderas es operado por controladores generalmente neumáticos y eléctricos, haciendo uso de una gran cantidad de equipos hardware como: integradores, linealizadores de flujos (extractores de raíz cuadrada), controladores proporcional-integral-derivativo y estaciones de control de válvulas entre otros. Los datos de operación y el monitoreo de señales se obtienen de paneles analógicos y cartas (charts), de donde los operadores toman nota de los valores que marcan los instrumentos indicadores.

Debido al tiempo de operación de estos equipos (en muchos casos mas de 20 años) y su consiguiente deterioro, las operaciones de control pierden exactitud y confiabilidad, entorpeciendo en muchas ocasiones el correcto funcionamiento del proceso y haciendo más difíciles las labores de mantenimiento. Además debido a su obsolescencia ya no existen en el mercado repuestos para su rehabilitación.

Tales razones han permitido fundamentar la necesidad de cambiar éste sistema de control de procesos por un sistema automático moderno, confiable, seguro y versátil en su funcionamiento y operación, considerando que hoy en día cualquier complejo industrial está equipado con un sistema de control de procesos distribuido computarizado, cuya importancia es extraordinaria para la utilización y máximo aprovechamiento del resto de componentes.

Este trabajo se orienta específicamente al uso de los Controladores Lógicos Programables en el control del quemador LAL2.

#### **4.2. Sistema de seguridad con relés :**

El sistema de seguridad de una caldera tiene como finalidad proteger al sistema por las causas que originen las fallas de operación en su sistema de control. Involucra, también, la protección de todo aquello que se sitúa en el entorno de la caldera, ya que estos equipos pueden causar daños considerables en caso de explosión; éste problema se torna más crítico en las calderas de gran tamaño que operan con altas presiones.

El sistema de seguridad debe permitir el arranque de la caldera, solamente, después que todas las variables y condiciones consideradas críticas estén dentro de los límites establecidos y, en caso de ocurrir cualquier anomalía en éstas variables, la caldera sea desconectada (apagada) automáticamente.

Antes de estructurar el sistema de seguridad de una caldera debe definirse cuidadosamente las variables y condiciones realmente críticas que



deberán integrar el sistema de seguridad de la misma, la dependencia entre éstas variables y la secuencia de acciones de corrección a ser efectuadas en caso de ocurrir anomalías, los valores límites (punto de actuación) de las variables que integran el sistema de seguridad, la posición que las válvulas de control y solenoides deberán asumir en caso de falta de energía eléctrica, falta de aire, ruptura de cables, tubos de aire, etc., en el sistema de seguridad, la integración de la caldera al proceso industrial, etc. Estas definiciones deberán atender siempre a las condiciones de máxima seguridad y en caso de anomalía sólo deberán ser desconectadas las partes del equipo realmente afectadas. Una caldera deberá ser desconectada totalmente si ésta acción fuera absolutamente indispensable.

#### **4.2.1. Identificación y simbología:**

Los dispositivos normalmente utilizados para detectar si las variables y las condiciones consideradas críticas están dentro de los límites establecidos son los detectores de flama, presostatos, llaves de nivel, termostatos, flujostatos, llaves límite, etc.

Los elementos finales normalmente utilizados en sistemas de seguridad son las válvulas solenoides.

A continuación se muestra un resumen de los símbolos normalmente utilizados en sistemas de seguridad (**Fig.4**):.

			Contacto eléctrico N.A.
			Contacto eléctrico N.C.
			Llave de caudal N.A.
			Llave de caudal N.C.
			Llave de nivel N.A.
			Llave de nivel N.C.
			Llave de presión N.A.
			Llave de presión N.C.
			Llave de Temperatura N.A.
			Llave de Temperatura N.C.
			Llave límite N.A.
			Llave límite N.C.
			Lámpara de señalización
			Bocina
			Relé
			Válvula solenoide de dos vias
			Válvula solenoide de tres vias

**Nota :** N.A. Contacto Normalmente Abierto  
 N.C. Contacto Normalmente Cerrado

Fig.4. Símbolos Normalmente Utilizados en Sistemas de Seguridad de Calderas

En los sistemas de seguridad los dispositivos detectores pueden ser representados indicando la posición asumida por sus contactos cuando el sistema está en operación normal (las variables y condiciones críticas están dentro de los límites establecidos), o indicando la posición de éstos contactos cuando el sistema está parado (sin presión, nivel, temperatura, caudal, etc.).

Deberá indicarse explícitamente en los diseños, el tipo de representación adoptada. En los sistemas de seguridad, los contactos de los relés siempre serán representados en la condición de "**shelf position**" o sea indicando la posición asumida por estos contactos cuando la bobina del relé está desenergizada.

Estos contactos podrán ser colocados en paralelo ó en serie. En paralelo, si los eventos fueran excluyentes, o sea cuando la ocurrencia de una de las condiciones es suficiente. En serie, si los eventos fueran no excluyentes, o sea cuando la ocurrencia de una de las condiciones no es suficiente.

#### **4.3. Estructuración del sistema de seguridad:**

Una vez definido todos los factores y variables a ser considerados críticos, se inicia la estructuración del sistema de seguridad.

La estructuración del sistema de seguridad, la secuencia de acciones, la forma de actuación y todos los demás detalles relativos al sistema de seguridad estarán involucrados en estas definiciones. La complejidad del

sistema de seguridad dependerá de la filosofía adoptada y variará de caldera a caldera.

En las Fig.5 y 6; se muestran diagramas escalera para sistemas de seguridad automático, tanto en posición sistema parado como en posición sistema en operación normal, respectivamente. Se consideran variables y condiciones críticas normalmente adoptadas en calderas medianas, que trabajan con tiro forzado y queman combustible líquido o gaseoso. En este caso, los parámetros usualmente considerados críticos son: Nivel y Presión del tubo de vapor, falla de flama, caudal de aire de combustión presión del combustible, presión del vapor de atomización (si es utilizado) etc., también se representan las llaves-límite de la válvula de combustible y del damper del ventilador de tiro forzado.

En un sistema de seguridad los solenoides pueden operar normalmente energizados o normalmente desenergizados.

A pesar de los defectos, problemas y dificultades que se puedan encontrar (advertir), es recomendable que estos solenoides trabajen normalmente energizados, de ésta manera se tendrá mayor confiabilidad del sistema de seguridad de calderas en forma global.

El sistema de seguridad puede ser estructurado basado en sistemas electromecánicos (relés) o en sistemas digitales.

#### **4.4. Sistema automático :**

En un sistema de seguridad automático, el operador inicia el procedimiento de partida de la caldera, accionando manualmente la llave de partida. Después de esto, toda la secuencia de purga y encendido es comandada automáticamente.

Se pueden utilizar sistemas electromecánicos (relés) o sistemas digitales (PLC, Microcontrolador).

##### **4.4.1. Diagrama escalera con relés**

Se muestran en las Figs. 5 y 6.

##### **4.4.2. Descripción del diagrama escalera con relés :**

La Fig. 5 muestra un circuito referencia de un sistema de seguridad automático utilizando relés. En éste circuito, el operador inicia el programa de purga cerrando manualmente la llave de partida HS-1. Al ser cerrada la llave de partida HS-1 si las llaves de parada de emergencia HS-2, HS-3 estuvieran cerradas, la lámpara de partida SL será energizado al mismo tiempo que el relé RL. Al ser energizado el relé R1, los contactos 1R1, 2R1, 3R1, 4R1, 5R1, 6R1 y 7R1 son cerrados.

En el caso del caudal de aire de combustion (FSL), la presión (PSH) y el nivel (LSL) del tubo estén normales, el relé R2 será energizado. Con la energización del relé R2, el contacto 1R2 es cerrado.

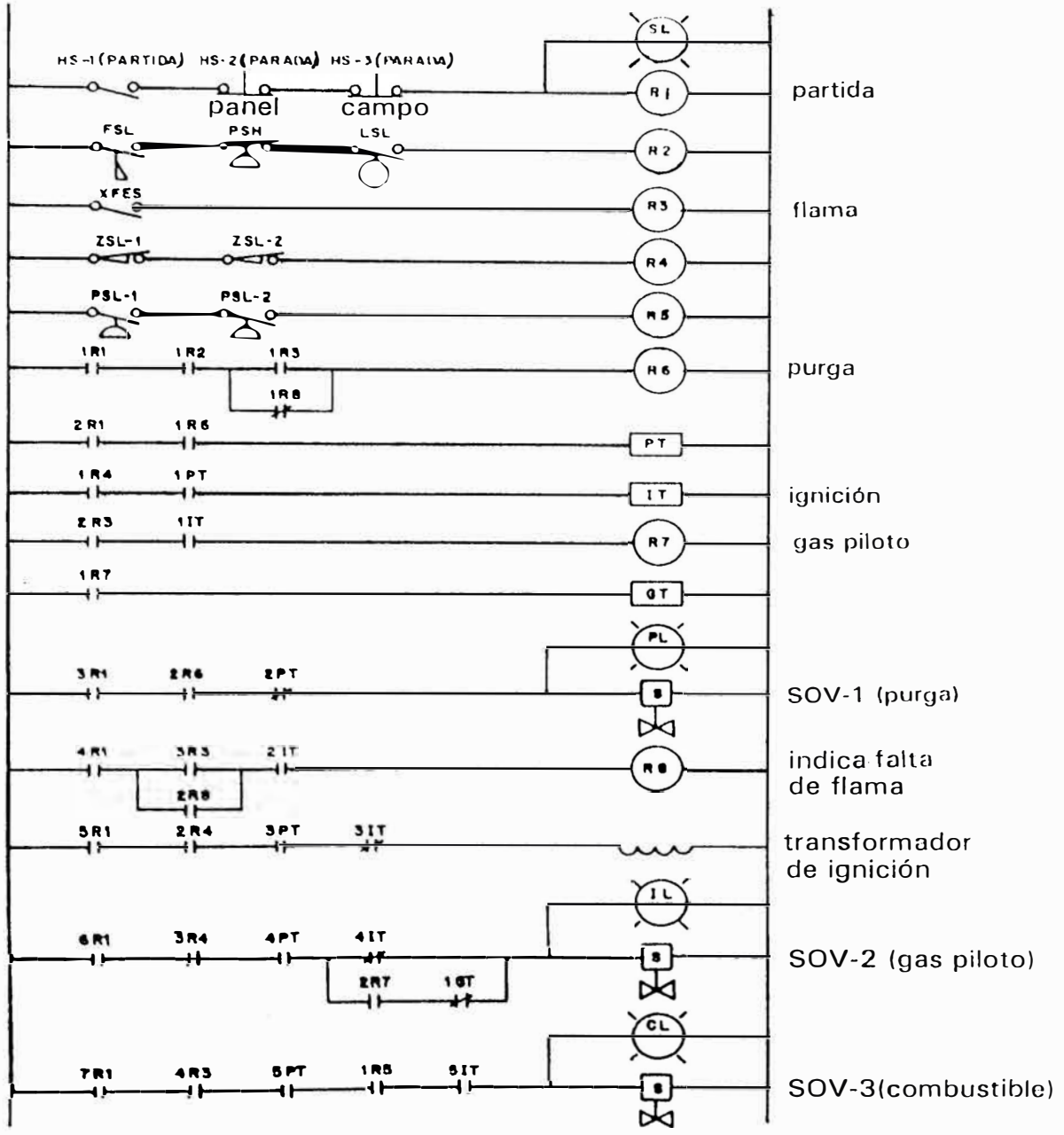


Fig.5. Sistema de Seguridad Automático - Circuito con Relés  
(Contactos en Posición Sistema Parado)

Manteniendo cerrado el contacto 1R8 (contacto 1 del relé de alarma de falta de flama) y cerrando los contactos 1R1 y 1R2 se energiza el relé de purga (R6). Con la energización del relé R6 los contactos 1R6 y 2R7 son cerrados.

Al cerrarse 1R6, el temporizador PT será energizado y comenzará a contar el tiempo de purga. Al mismo tiempo, al cerrarse 2R6, si se mantienen cerrados los contactos 3R1 y 2PT, se enciende la lámpara de purga PL y la válvula SOV-1 queda energizada, abriendo totalmente el damper e inyectando aire para la purga de la caldera.

Después del tiempo de purga (temporizador PT, tipo retardo en la energización), los contactos 1PT, 3PT Y 4PT se cerraran y el contacto 2PT será abierto.

Con la apertura del contacto 2PT, la SOV-1 será desenergizada, el damper de aire será cerrado y la purga será interrumpida, reduciéndose el caudal de aire a las condiciones de encendido de la caldera.

Después del tiempo de purga, osea, después de la apertura del contacto 2PT y el cierre de los contactos 1PT, 3PT y 4PT, puede iniciarse el procedimiento de encendido de la caldera. El programa de encendido es iniciado con el accionamiento de la llave de ignición, (automáticamente) HS-4. Cerrando la llave HS-4, estando cerrado el contacto 1PT, el temporizador de ignición (IP) será energizado.

En caso de que el damper de aire y la válvula de combustible estuvieran cerrados las llaves límite ZSL-1 y ZSL-2 estarán cerrados y el relé R4 será energizado, con lo que se consigue cerrar el contacto 1R4.

En el momento de la energización del relé R6, los contactos 1R6 y 2R6 serán cerrados. Al cerrarse el contacto 1R6, el temporizador IT (ignición) será energizado y comenzará a contar el tiempo de ignición. Al mismo tiempo cerrando el contacto 2R6 si los contactos 5R1, 1R4, 3PT y 2IT estuvieran cerrados, se encenderá la lámpara de ignición IL, el transformador de ignición será energizado, la SOV-2 será energizada admitiendo gas piloto en la caldera, encendiendo la flama piloto.

Con el encendido de la flama piloto, la fotocelda detecta la flama (el contacto del detector de flama XFES será cerrado) y el relé R3 será energizado. Con la energización del relé R3, los contactos 1R3, 2R3, 3R3 y 4R3 serán cerrados.

Para el caso de la presión del combustible (PSL-1) y del vapor de atomización (PSL-2) estén normales, el relé R5 será energizado para cerrar el contacto 1R5.

Así, si los contactos 7R1, 4R3, 1R5, 5PT y 5IT estuvieran cerrados, la lámpara de combustible (CL) se encenderá, la SOV-3 será energizada, para dejar pasar combustible a la caldera.



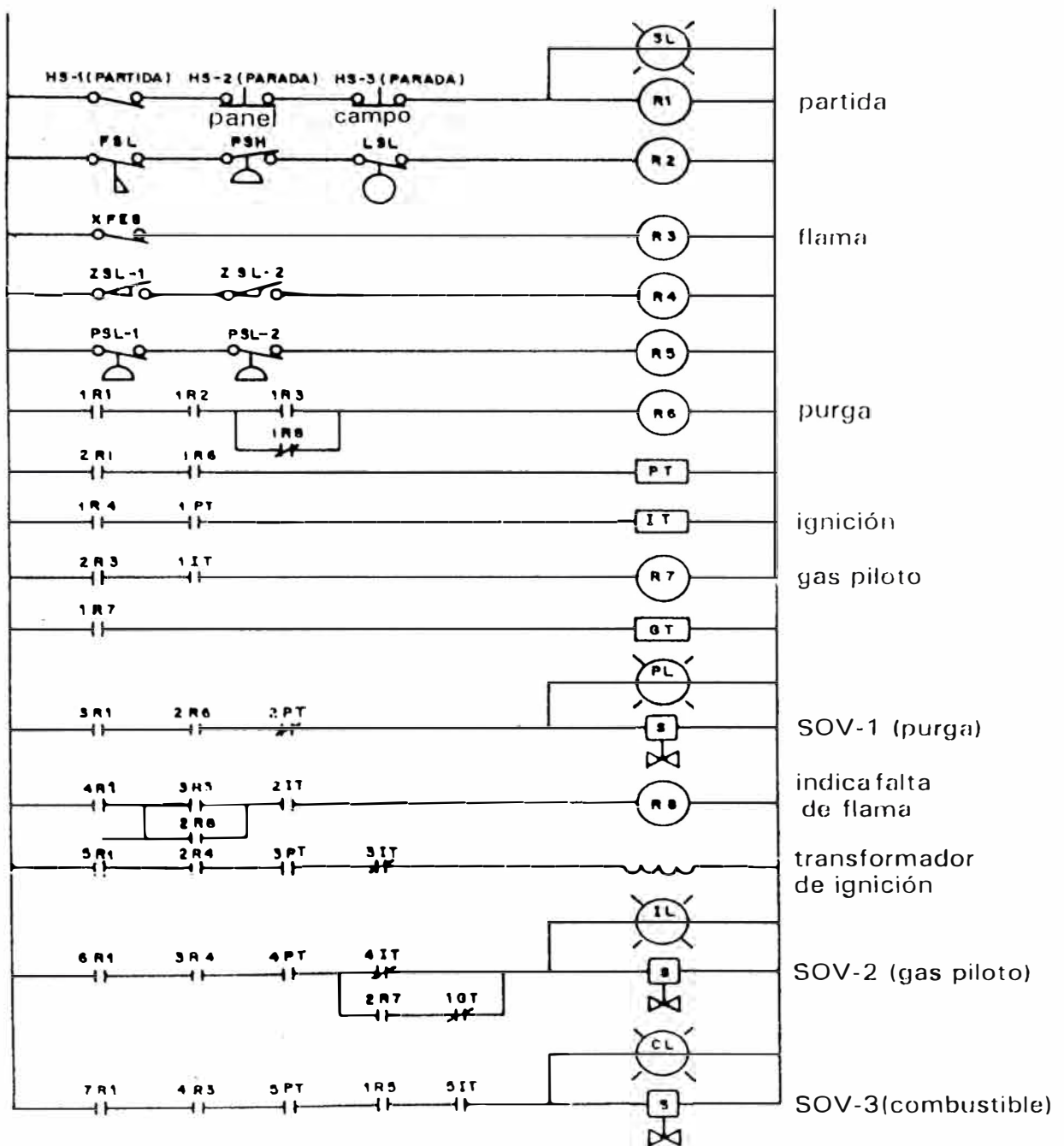


Fig.6. Sistema de Seguridad Automático - Circuito con Relés  
(Contactos en Posición Sistema en Operación Normal)

Después de haber recorrido el tiempo de ignición (temporizador IT, tipo retardo en la energización) el contacto 1IT será cerrado y el contacto 2IT, el transformador de ignición y la SOV-2 serán desenergizados, apagando la flama piloto.

Al mismo tiempo, al cerrarse el contacto 1IT, el relé de alarma de falta de flama (R8) será energizado, abriendo el contacto 1R8 y cerrando el contacto 2R8.

La utilización del contacto 2R8 como contacto de retención (ó autotravamiento) del relé R8 (alarma de falta de flama), el relé R8 no será energizado y el contacto 1R8 no será cerrado. Así, sólo habrá nueva partida después de la ocurrencia de falla de flama si se reinicia el procedimiento de purga de la caldera. La función principal del contacto 1R8 del relé de desvío de falta de flama es permitir que se inicie la operación del sistema (partida de la caldera) con el contacto de detector de flama XFES abierto. Así en caso haya falta de flama, el combustible será cortado y será adicionado nuevamente a la caldera, sólo, si se reinicia el procedimiento de partida.

El circuito referencia de la **Fig.6** es equivalente al de la **Fig.5**; la diferencia es que, en éste caso los contactos de los dispositivos detectores son representados en la posición "**sistema en operación normal**". El funcionamiento de éste circuito es idéntico al de la **Fig.5**.

#### **4.5. Alarmas**

Para variables y condiciones críticas, son instalados dispositivos detectores que accionan señalizadores sonoros y visuales (alarmas), cuando la variable se aproxima a los valores críticos, procurando así, alertar al operador para tomar las prevenciones, antes que el sistema de seguridad actúe.

Es recomendable que los dispositivos detectores utilizados por el sistema de alarma sean instalados y operen independientemente de los dispositivos del sistema de seguridad, ésta prevención aumenta la seguridad y la confiabilidad operacional del equipo.

Los elementos de alarma deben ubicarse en lugares estratégicos utilizando colores de señalización que orienten y faciliten la intervención del operador cuando ocurra alguna anomalía. Mayores detalles pueden ser obtenidos consultando la Norma ISA S.18.1 (Anunciator sequences and specifications).

## **CAPITULO V**

### **USO DE CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES EN SISTEMAS DE SEGURIDAD DE CALDERAS INDUSTRIALES.**

#### **5.1. Introducción :**

Actualmente la industria nacional está en proceso de optimización de sus procesos productivos y de la calidad de sus productos; utilizando sistemas y equipos con tecnología de punta en la automatización de los diversos procesos industriales.

El controlador lógico programable (PLC) se ha convertido en un dispositivo de empleo masivo en la industria contemporánea con la flexibilidad y la innovación que se requiere para el futuro. Una de las tantas aplicaciones del PLC es su uso en sistemas de seguridad de calderas industriales; por tal razón, en éste trabajo se desarrolla un programa con PLC en el control del quemador de una caldera industrial.

Específicamente, se usa como modelo, el quemador LANDIS AND GEAR modelo LAL2. Antes de ir directamente al desarrollo del programa, se hace una breve referencia de la secuencia de operación.

## **5.2. Secuencia de operación del quemador LAL2 :**

El programador del quemador LAL2 es diseñado para proveer control y supervisión a una caldera. ver **Fig.7** y **Fig.8** ;diagrama eléctrico de cableado y diagrama de tiempos,respectivamente.

## **5.3. Pre-requisitos para el arranque del quemador LAL2 :**

1. Resetear la unidad de control.
2. Cerrar el damper de aire (Regulador de tiro). El limit switch para la posición cerrada debe abastecer voltaje del terminal 11 a terminal 8.
3. Los contactos para la posición cerrada de las válvulas de petróleo (bv), otros contactos entre el terminal 12 con similares funciones de prueba deben estar cerradas.
4. La regulación del damper de aire se hace de acuerdo a una secuencia para regular la salida de petróleo.

## **5.4. Arranque del quemador LAL2 :**

En el encendido de calderas se observan normalmente tres etapas bien definidas: pre-purga, purga y post-purga.

### **5.4.1. Pre-purga :**

Etapa de encendido del sistema de seguridad para hacer un reconocimiento total de la caldera. Por ejm. barrido de retorno del damper de aire a la posición inicial de operación (mínima abertura). Una vez verificado, que todo está en orden y sobre todo si no hay flama (en piloto) se prende el ventilador ( ó ventiladores) de aire, para dar inicio a la limpieza de residuos e impurezas.

#### **5.4.2. Purga**

Etapa en la que se realiza la limpieza del caldero (barrido de gases). El damper de aire opera en la posición de máxima abertura.

#### **5.4.3. Post-purga :**

Es la etapa de encendido, propiamente dicho, de la caldera, para tal efecto el programador del quemador envía una señal para producir una chispa eléctrica (arco eléctrico) en la bujía por medio de un transformador de voltaje (10 a 15 KV.AC). Al mismo tiempo envía una señal para abrir una electroválvula que permite el paso de combustible, generándose así una flama (arco eléctrico + combustible = flama).

Finalmente, el programador permite el ingreso de más combustible y más aire abriendo más las válvulas y el damper de aire respectivamente. El aire, hará expandir la flama.

#### **5.5. Programa de control del quemador LAL2 con PLC :**

En el Programa de control con PLC se muestra:

1. Declaración de variables usados en el programa.
2. Breve explicación del programa (secuencia de operación en tiempos).
3. Selección del PLC (Tipo y características del PLC usado).
4. Programa en Lenguaje Escalera (Ladder).

##### **5.5.1. Declaración de variables**

**A** :Limit swich para la posición. DAMPER ABIERTO.

**AL** :Recurso de advertencia de cierre remoto (alarma).

- AR** :Relé principal con contacto "ar" (relé de carga).
- AS** :Unidad de fusible.
- B** :Cable de enlace (en el control).
- BR** :Relé de cierre en contacto "br".
- BV** :Válvula de combustible.
- d** :Contactor ó relé.
- F** :Circuito de supervisión de flama.
- EK** :Botón de cierre (reset).
- FR** :Relé de flama con contactor "fr".
- G** :Motor del quemador ó ventilador.
- bv** :Contactos límites de las válvulas de combustible para examinar la posición cerrada.
- H** :Aisladores principales.
- L** :Lampara de advertencia de cierre.
- L3** :Indicador de quemador listo (preparado).
- LK** :Damper de aire.
- LP** :Monitor de presión de aire.
- M** :Switch auxiliar de posición mínima del DAMPER DE AIRE.
- P** :Sección de la Unidad de Control (Control Section of central Unit).
- QRB** :Detector de foto-resistividad.
- R** :Termostato ó control de presión.
- RAR** :Fotocelda de seleniun, detector de flama.

- RV** :Modulador de la válvula de combustible.
- S** :Fusible.
- SA** :Motor del damper de aire.
- SM** :Switch secuenciador del motor (sequence switch motor).
- V** :Amplificador de señal de flama.
- V** :En el motor del damper: switch auxiliar para la liberación de combustible de acuerdo a la posición del damper de aire.
- W** :Termostato limitador ó control de presión.
- Z** :Transformador de ignición (encendido).
- Z** :En el motor del damper: Limit Switch para la posición de cerrado.
- ZBV** :Válvula de combustible de ignición (encendido).

### **5.5.2. Explicación del programa :**

#### **A. Secuencia de Operación en Tiempos :**

- t1** :Tiempo de pre-purga.
- t2** :Tiempo de seguridad.
- t2'** :1er. tiempo de seguridad.
- t3** :Tiempo de pre-ignición (encendido).
- t3'** :Tiempo de pre-ignición corto (Z en terminal 16).
- t3''** :Tiempo de Pre-ignición largo (Z en terminal 15)



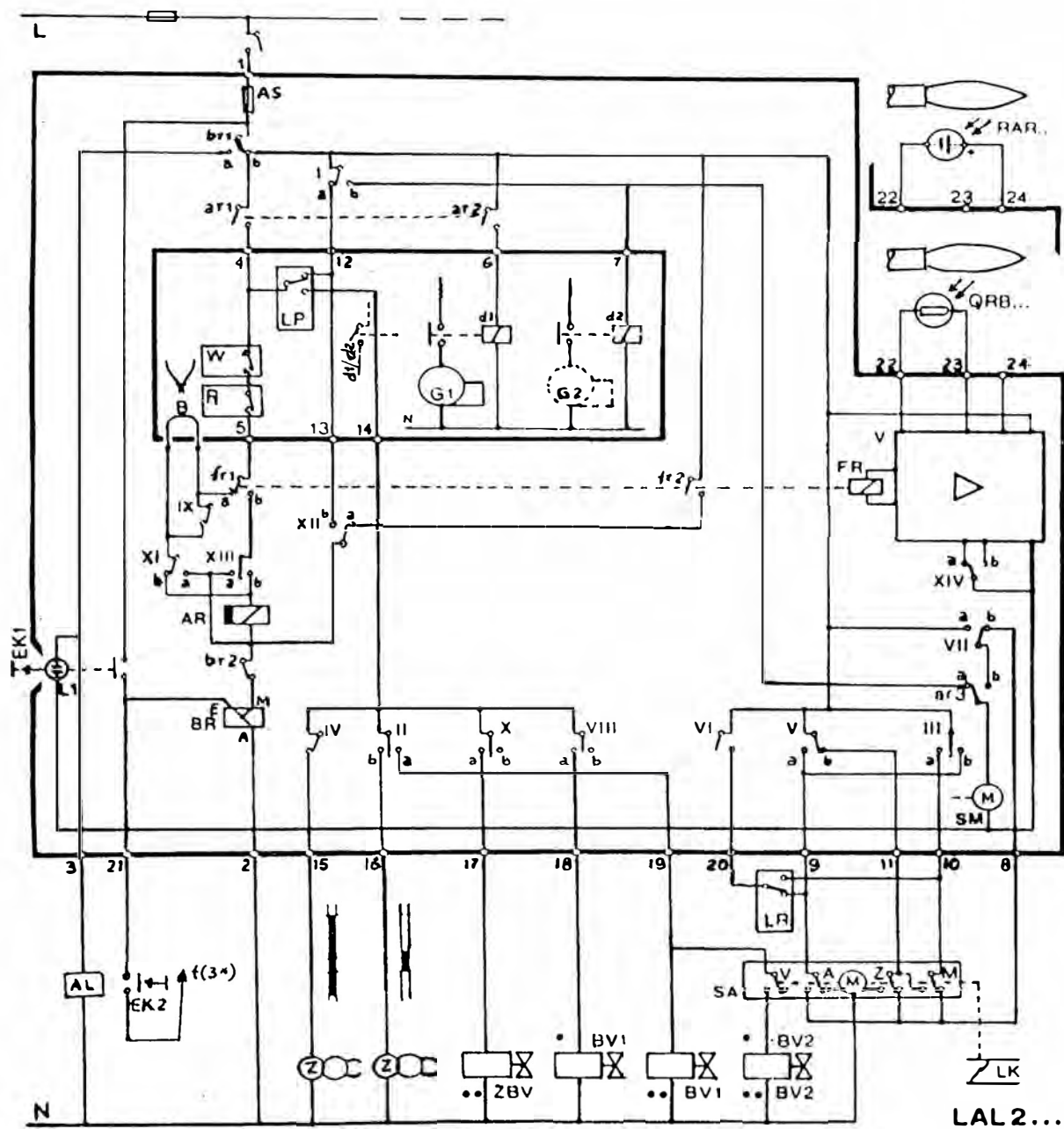


Fig.7. Diagrama de cableado del Quemador LAL2

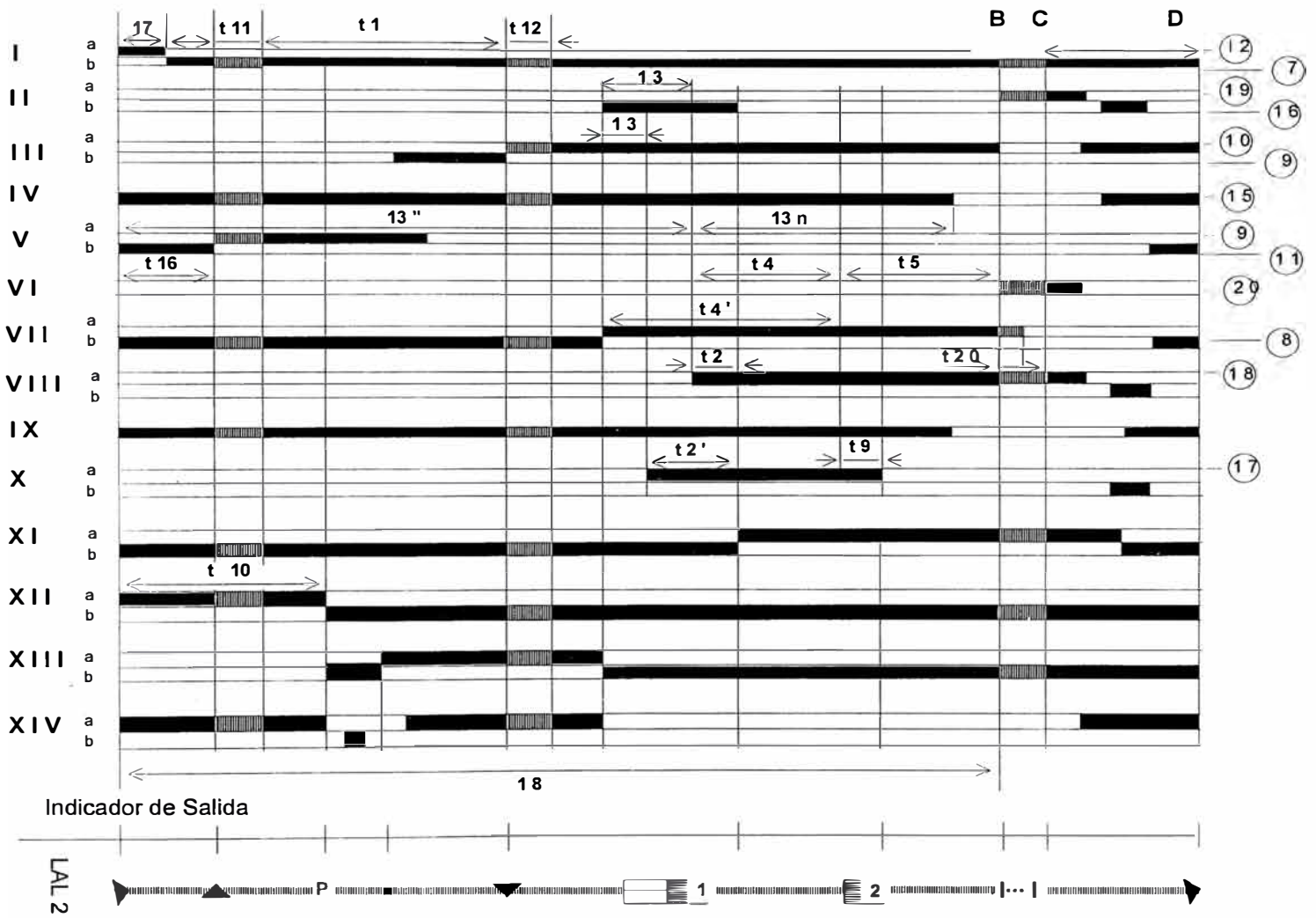


Fig.8. Diagrama de Tiempos del Quemador LAL2

- t3n** :Tiempo de post-ignición (Z en terminal 15).
- t4** :Intervalo de tiempo para el votaje entre los terminales 18 y 19.
- t4'** :Intervalo de tiempo entre el inicio de **t2** y la liberación de la válvula en el terminal 19.
- t5** :Intervalo de tiempo para el voltaje entre los terminales 19 y 20, que permite el inicio de **t4**. y la liberación del controlador de carga (ó válvula en el terminal 20).
- t6** :Tiempo de post-purga.
- t7** :Intervalo de tiempo de inicio de voltaje en el terminal 7. Encendido del motor G2 (del quemador).
- t8** :Duración de la secuencia de inicio.
- t9** :2do. tiempo de seguridad. (para flama de quemadores).
- t10** :Intervalo de tiempo de inicio del control de presión de aire.
- t11** :Intervalo de tiempo de arranque del motor del damper de aire en la posición abierta.
- t12** :Intervalo de tiempo para posicionar el damper de aire en la posición mínima.
- t13** :Tiempo permisible despues del quemador.
- t16** :Intervalo de orden de apertura del damper de aire.
- t20** :Intervalo de cierre automático de los switch de secuenciador (no en todos los controles), después del encendido del quemador.

### **5.5.3. Selección de un controlador lógico programable:**

#### **A. Pasos a seguir para la selección de un PLC:**

En general se recomienda seguir los siguientes pasos:

1. Conocer el proceso a ser controlado.
2. Determinar el tipo de conexión ó instalación.
  - a. Control distribuido.
  - b. Control centralizado.
  - c. Control individual del proceso.
3. Determinar las necesidades de interfase I/O.
  - a. Estimar las entradas y salidas digitales y analógicas.
  - b. Chequear las especificaciones de entrada/salida.
  - c. Determinar si la transmisión I/O remota es necesaria.
  - d. Necesidades de I/O especiales.
  - e. Permitir expansión futura.
4. Determinar software, lenguaje y funciones.
  - a. Escalera, Booleano y/o alto nivel.
  - b. Instrucciones básicas (bits, temporizadores, contadores, etc.).
  - c. Instrucciones/Funciones enriquecidas (matemáticas, PID, etc.).
5. Considerar el tipo de memoria.
  - a. Volatil (RAM).
  - b. No volatil (EEPROM, UVEPROM, etc).
  - c. Combinación de volatil y no volatil.

- 6. Considerar capacidad de memoria.**
  - a. Estimar la memoria básica.
  - b. Permitir memoria extra para programación compleja y expansión futura.
- 7. Evaluar las necesidades del tiempo de ejecución del programador.**
- 8. Definir las necesidades del dispositivo de programación y almacenamiento.**
  - a. Computador.
  - b. Almacenamiento en diskettes.
  - c. Mini programador.
  - d. Considerar las capacidades funcionales de los dispositivos de Programación.
- 9. Definir las necesidades periféricas.**
  - a. Pantalla gráfica.
  - b. Interfase con el operador.
  - c. Impresoras en línea.
  - d. Sistemas de documentación.
- 10. Determinar algunas restricciones físicas y ambientales.**
  - a. Espacio disponible para el sistema.
  - b. Condiciones ambientales.
- 11. Evaluar otros factores que pueden afectar la selección.**
  - a. Soporte técnico y mantenimiento.

- b. Fiabilidad del producto.
- c. Objetivos de la planta para el futuro (estandarización).
- d. Posibilidad de integración con otros elementos de control para monitoreo y supervisión en sistema SCADA.
- e. Adaptabilidad en nuevas tecnologías (fieldbus).

#### **B. Características del PLC utilizado.**

Considerando los pasos de selección recomendados, se escogió, un PLC de las siguientes características:

- a. Un módulo procesador de 4K.
- b. Dos módulos digitales de 16 contactos cada uno.
- c. Dos módulos digitales de salida tipo relé de 16 contactos cada uno.
- d. Una fuente de poder de 24 VDC y 5 A.

Un PLC modular pequeño marca Allen Bradley cumple con los requisitos indicados arriba; por lo tanto el modelo escogido es el SLC 5/02 de 5 tarjetas (módulos).

#### **5.5.4. Programa de control (diagrama escalera):**

Para desarrollar el programa de control se usa el software **APS** (Advanced Programming Software) versión 4.02 de Allen Bradley.

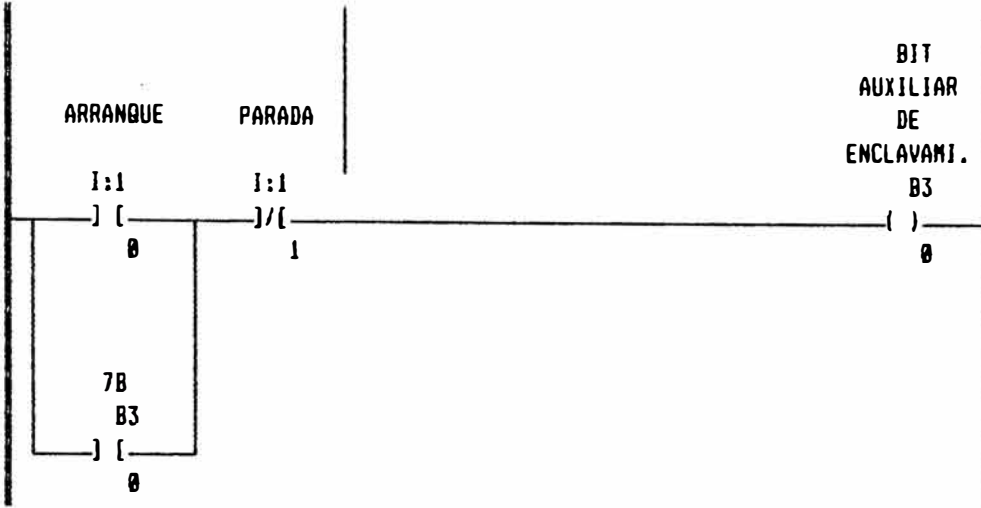
El programa se muestra en las siguientes páginas :

Allen-Bradley Co.  
1747 Series Software  
APS Release 4.02  
Documentation Utility  
Program Listing

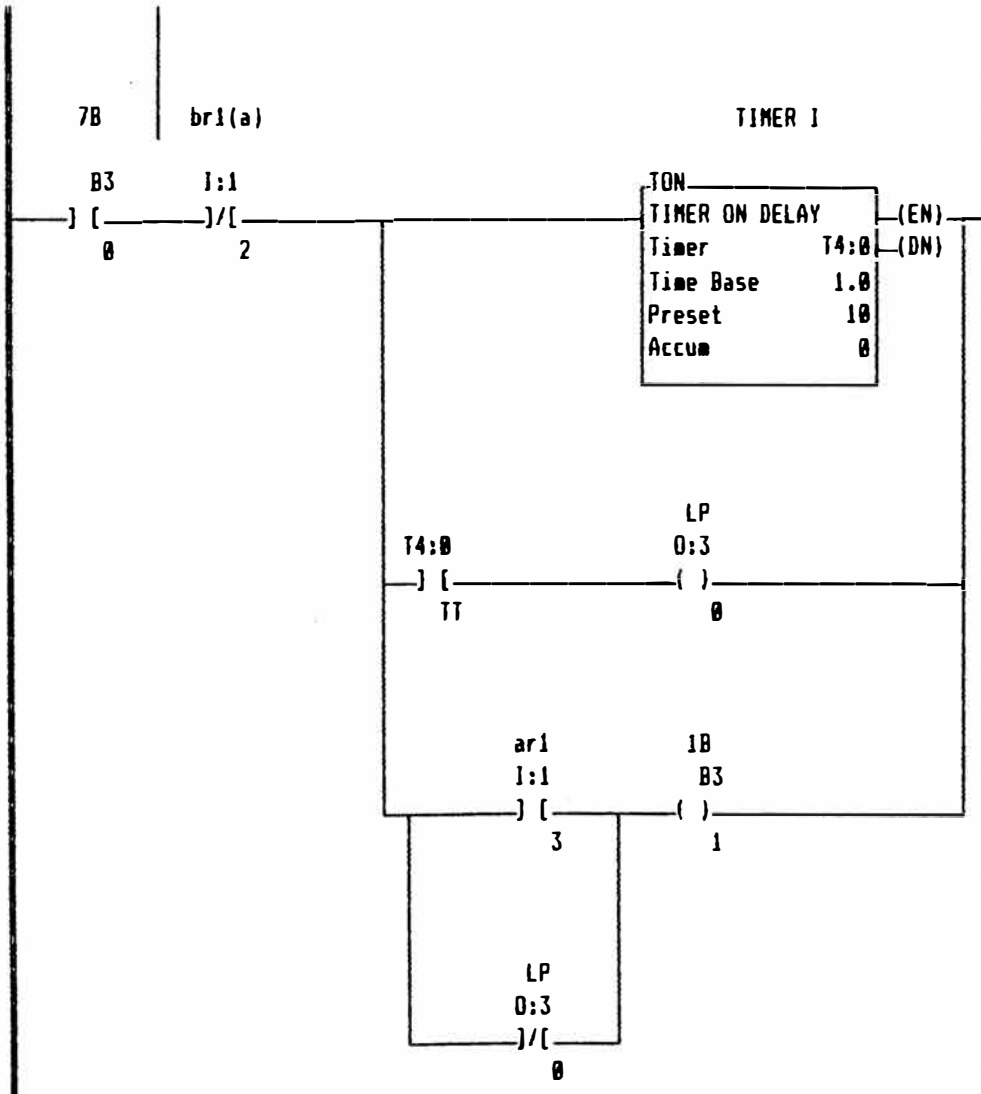
CONTROL DEL QUEMADOR LAL2

Processor File: QUEMA.ACH  
October 18, 1996 - 14:01

Rung 2:0



Rung 2:1

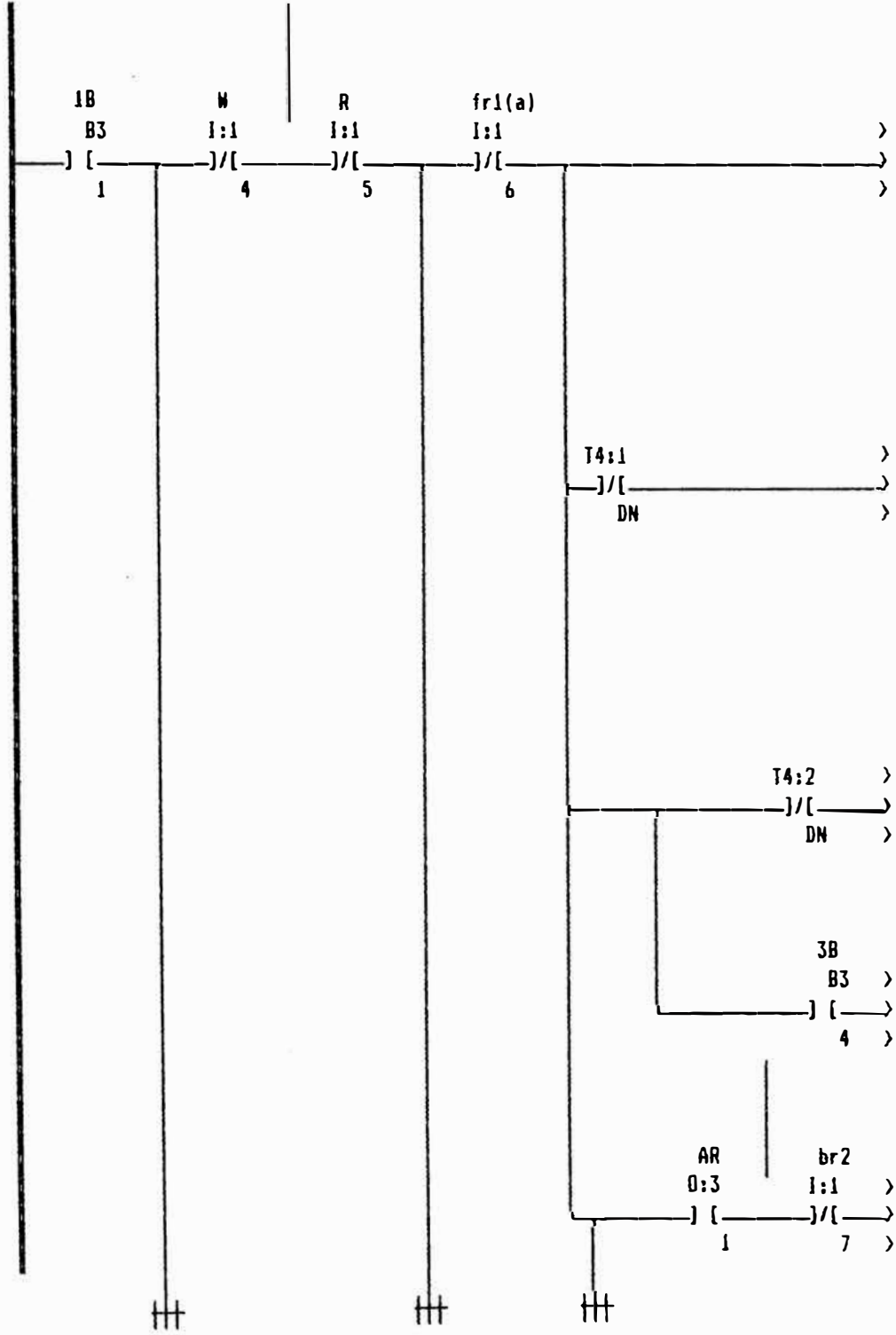


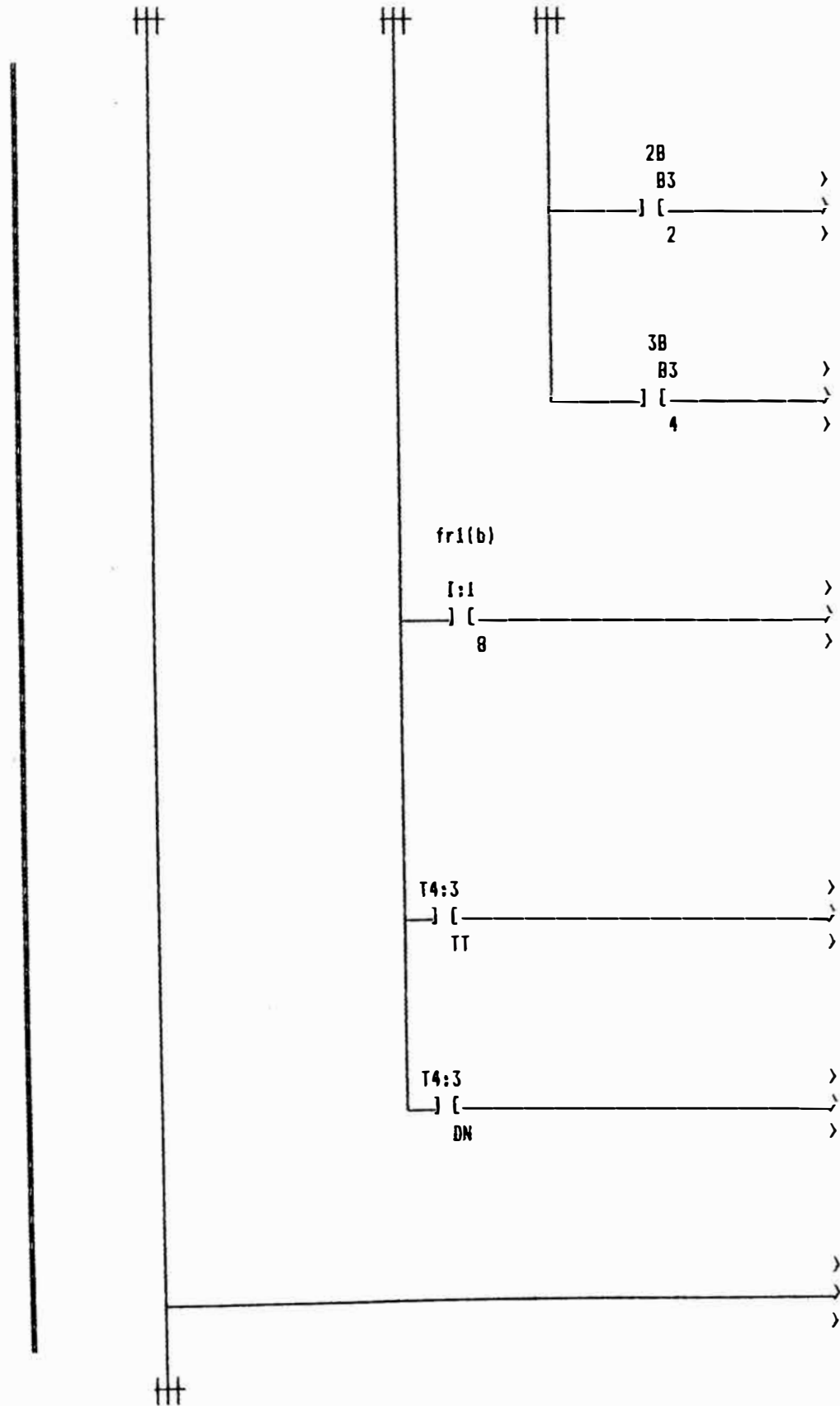


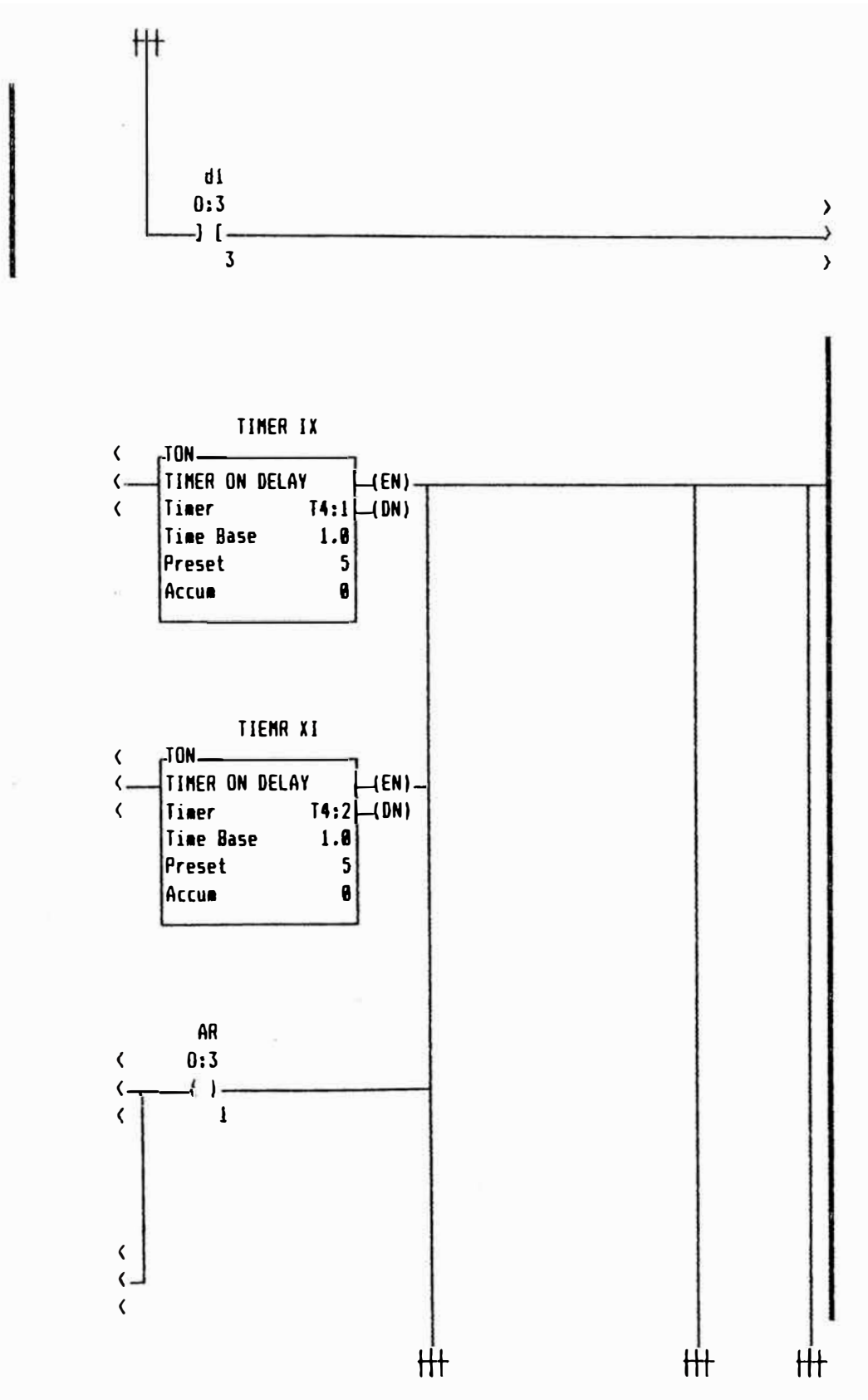
CONTROL DEL QUEMADOR LAL2  
Program Listing

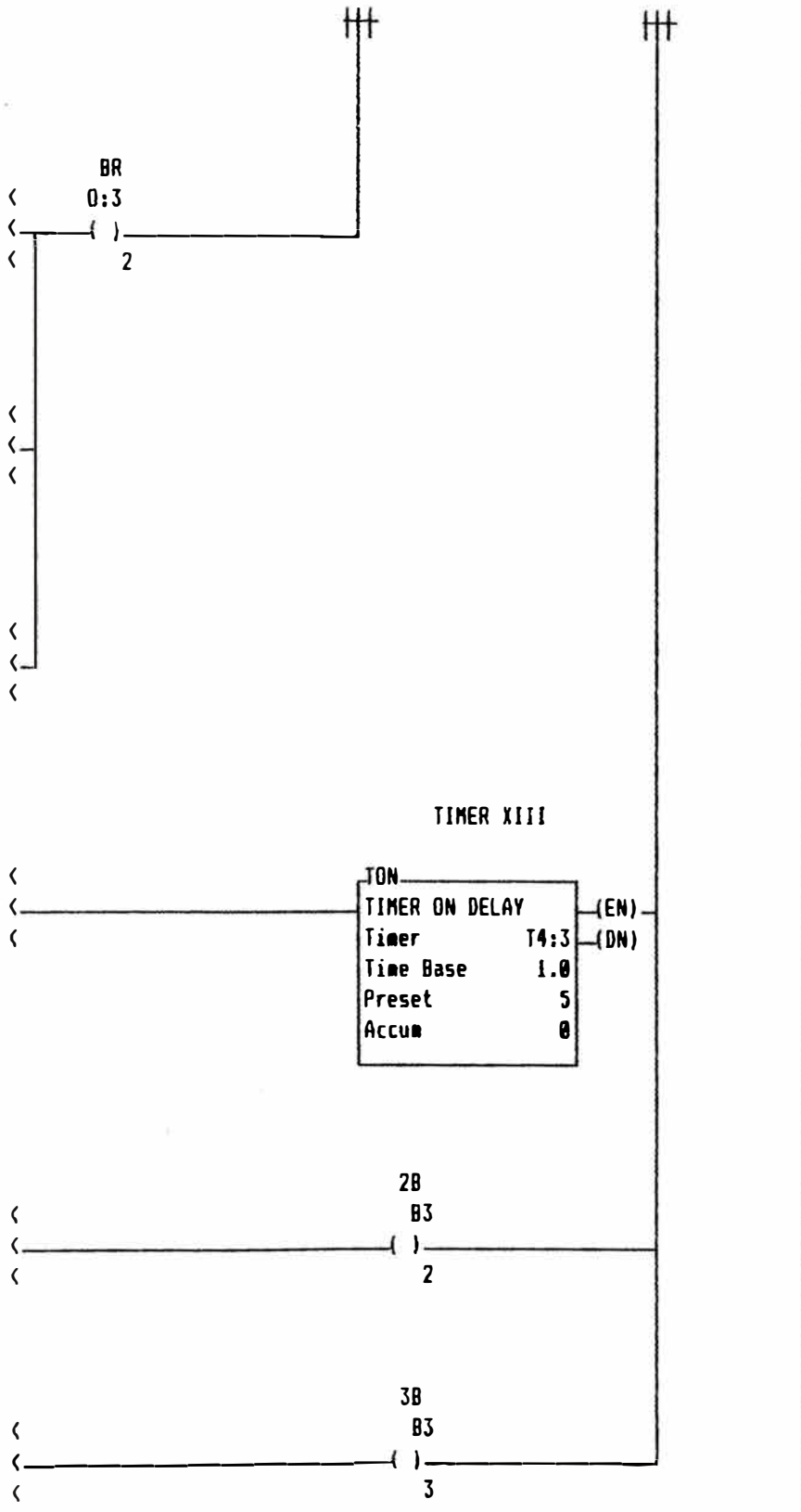
October 18, 1996 Page 2  
Processor File: QUEMA.ACH Rung 2:2

Rung 2:2





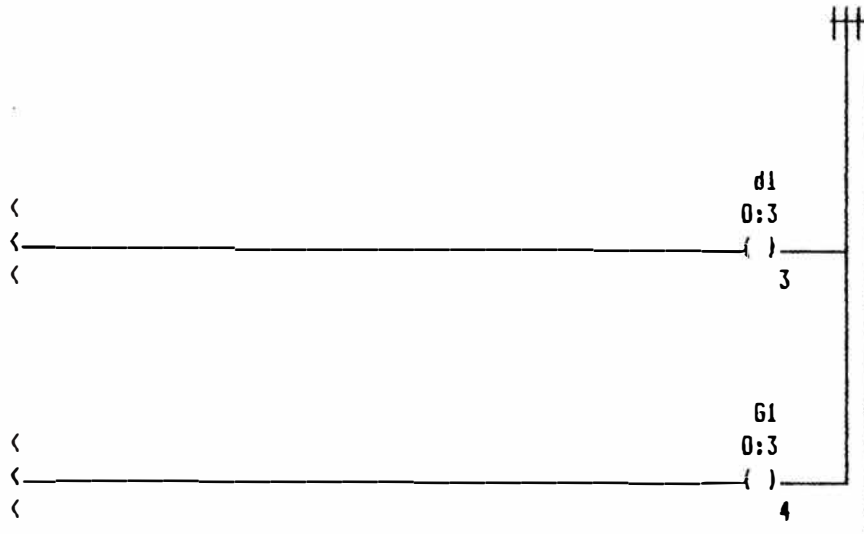




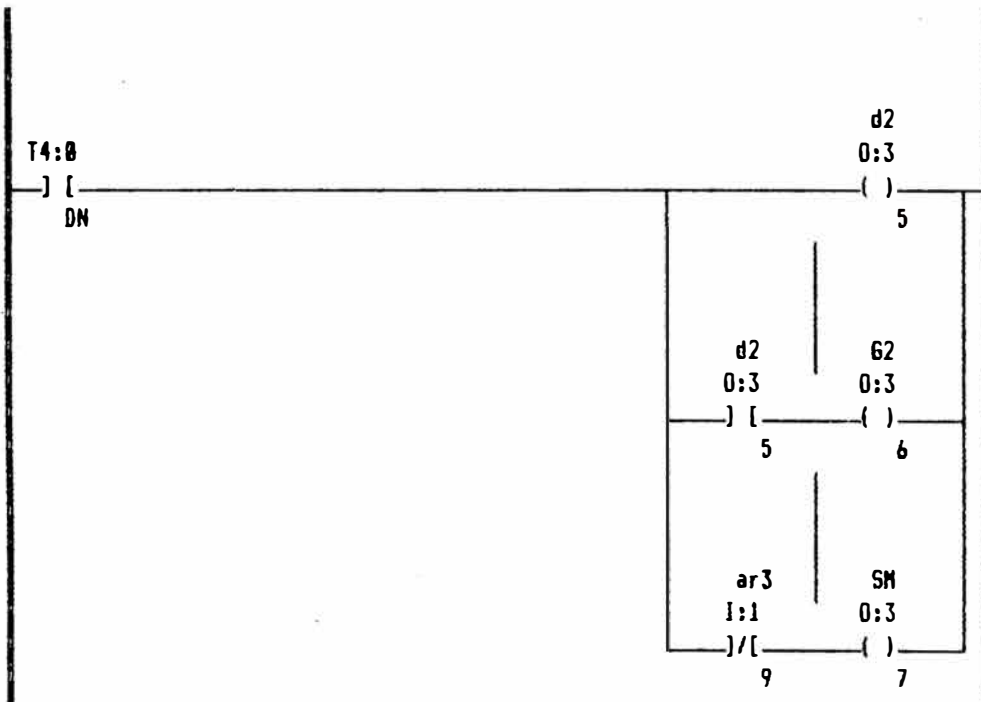
CONTROL DEL QUEMADOR LAL2  
 Program Listing

Processor File: QUEMA.ACH

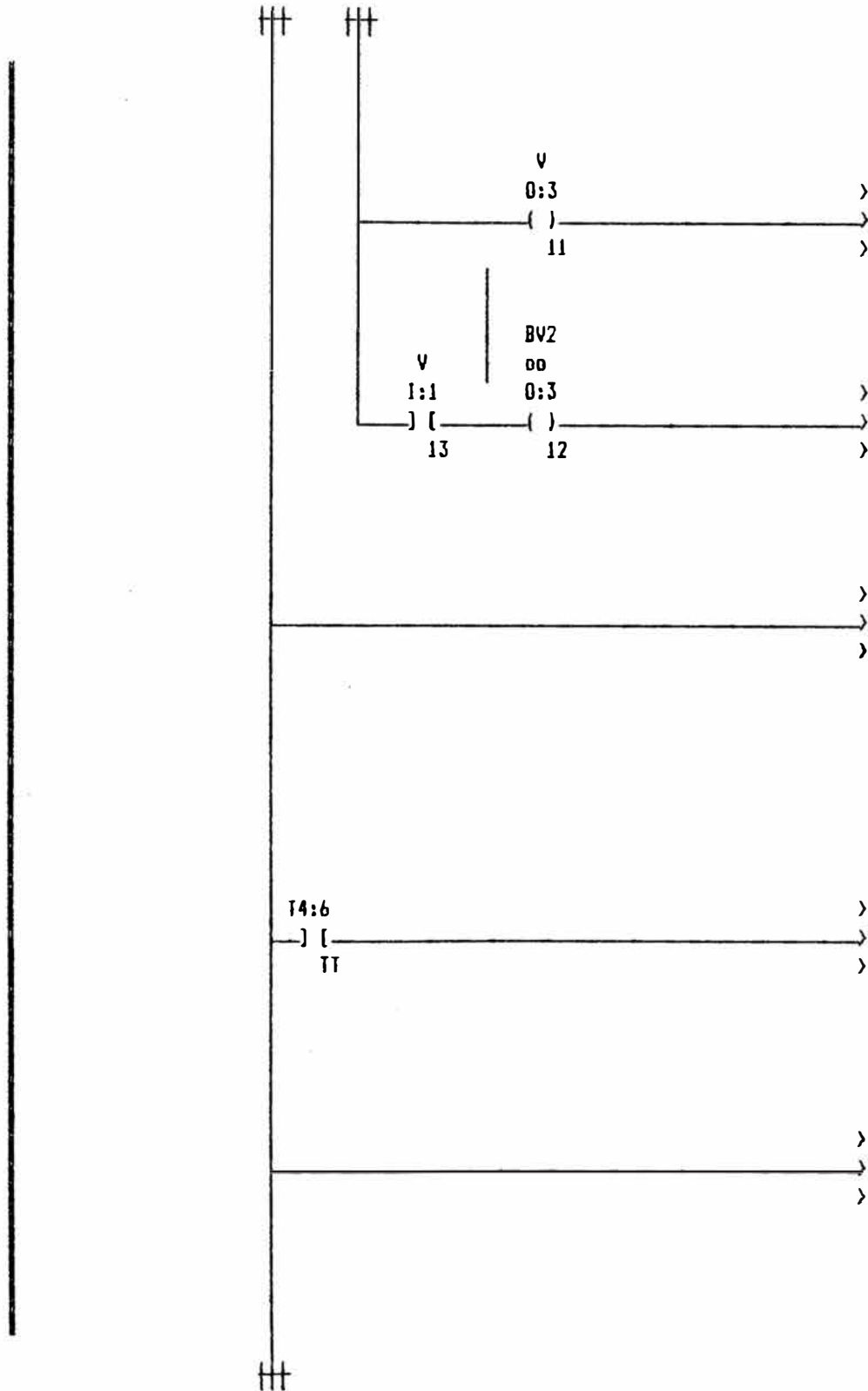
October 18, 1996 Page 6  
 Rung 2:2

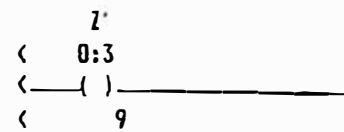
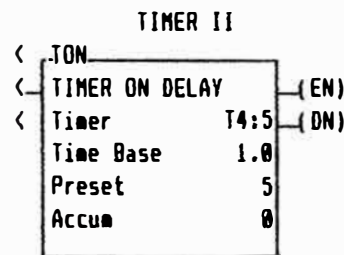
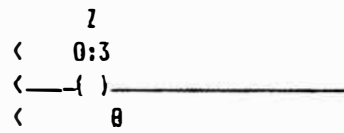
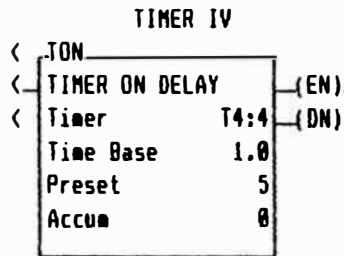


Rung 2:3

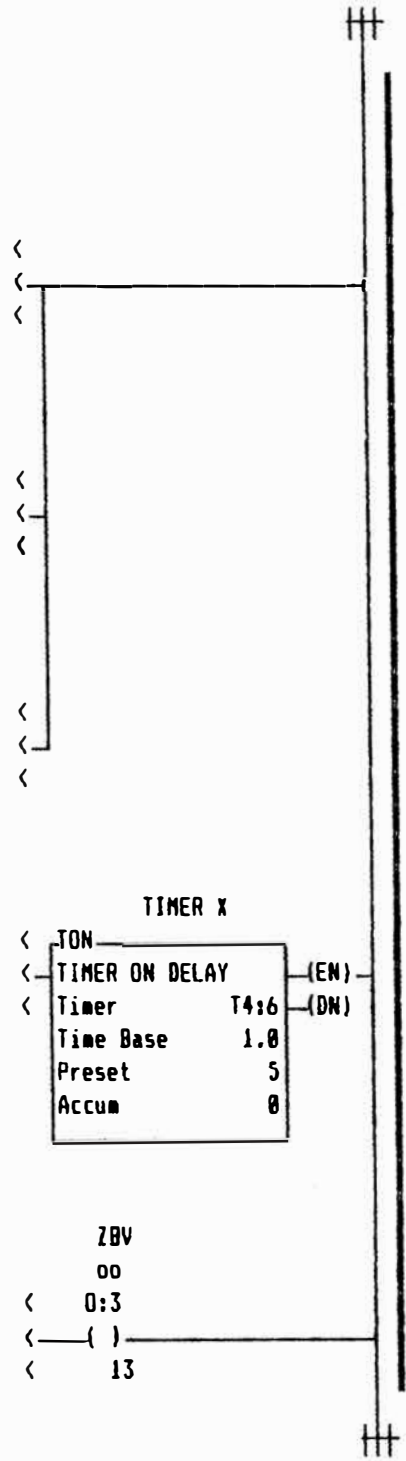


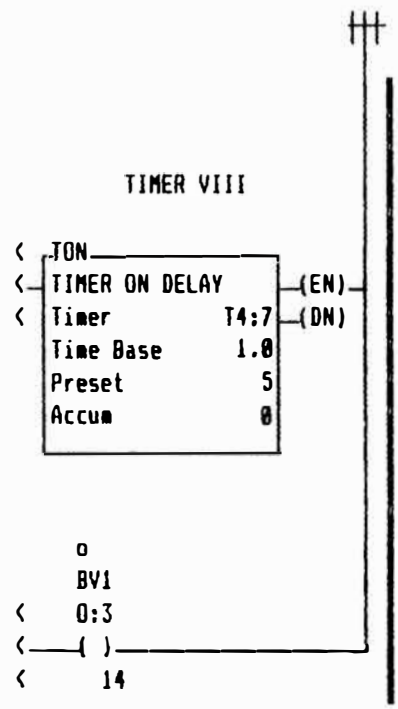




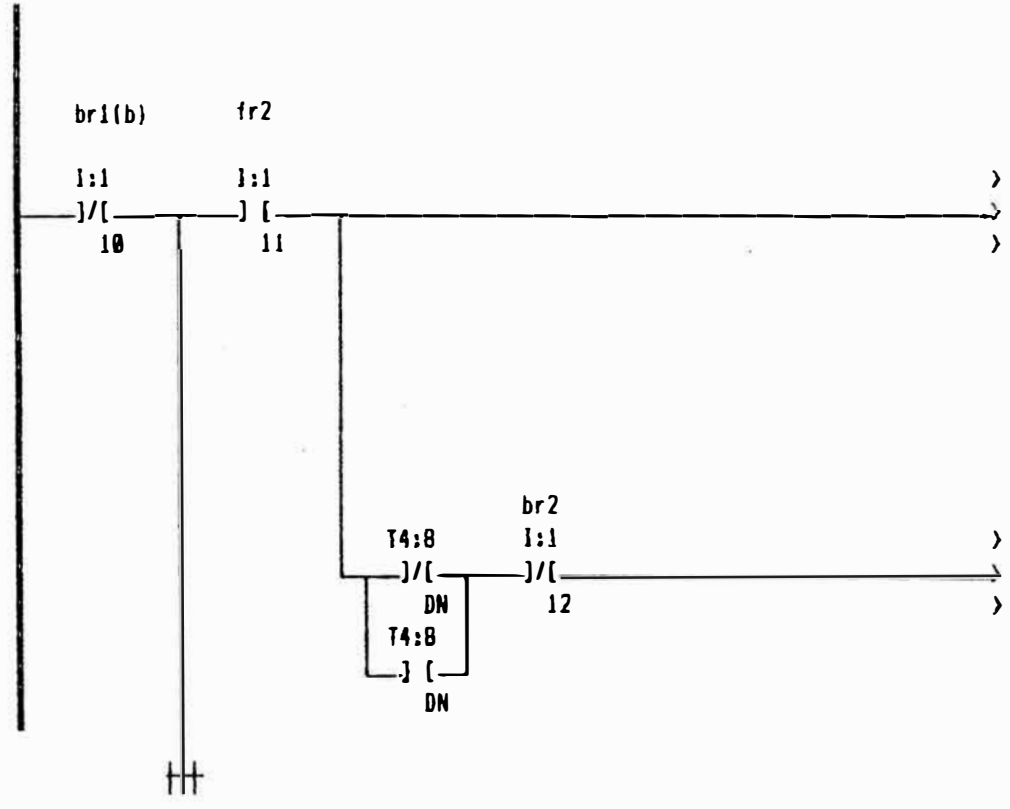


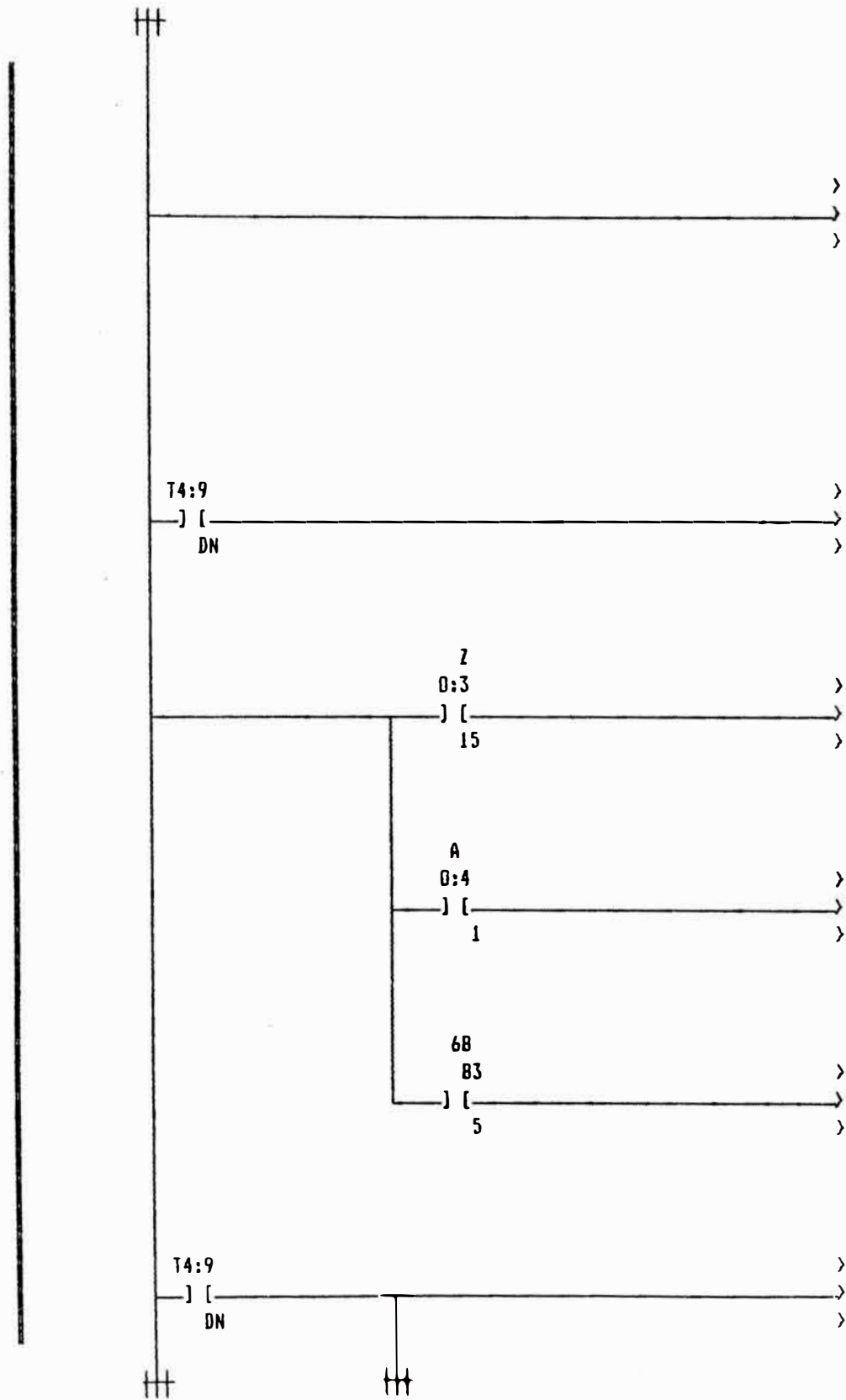


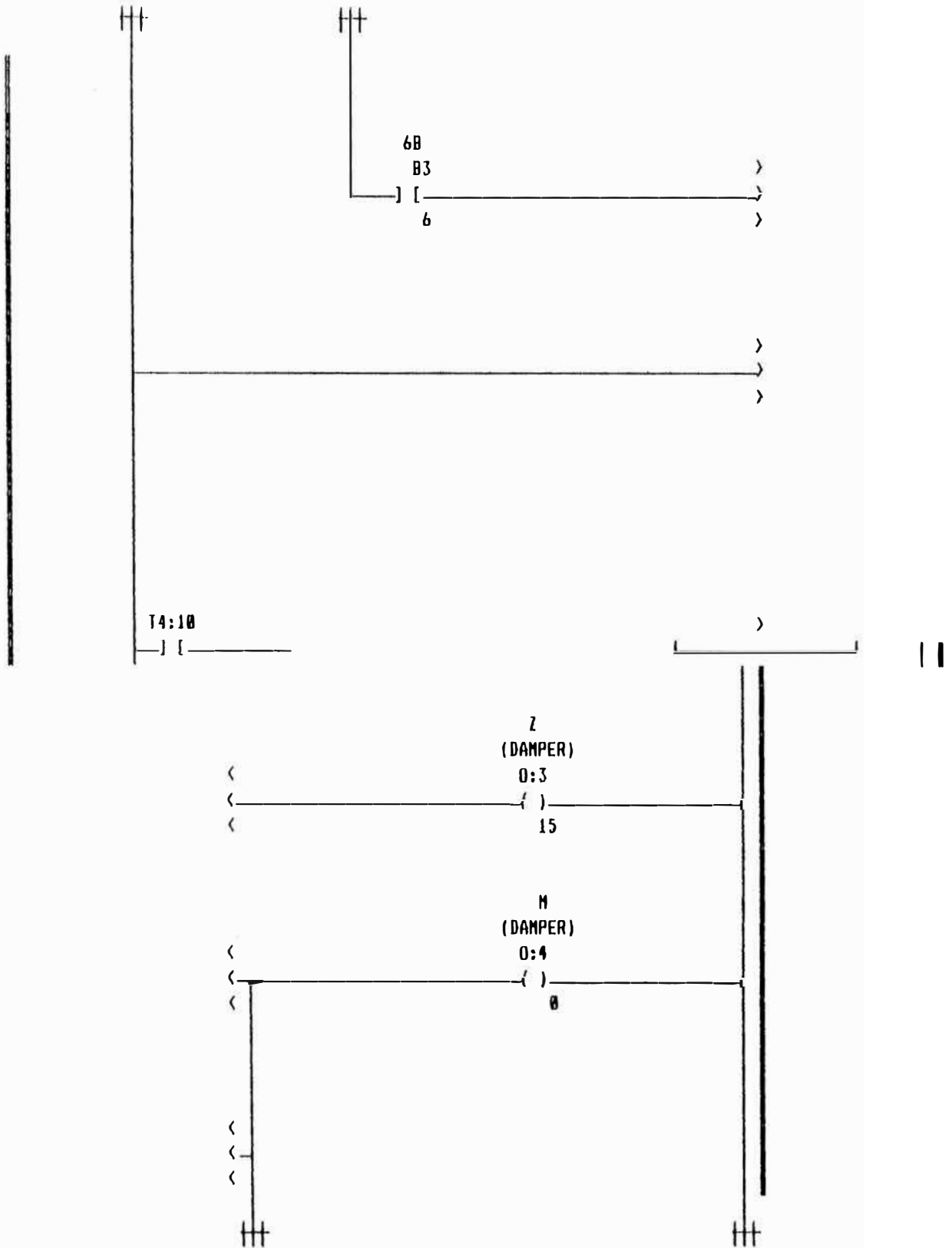


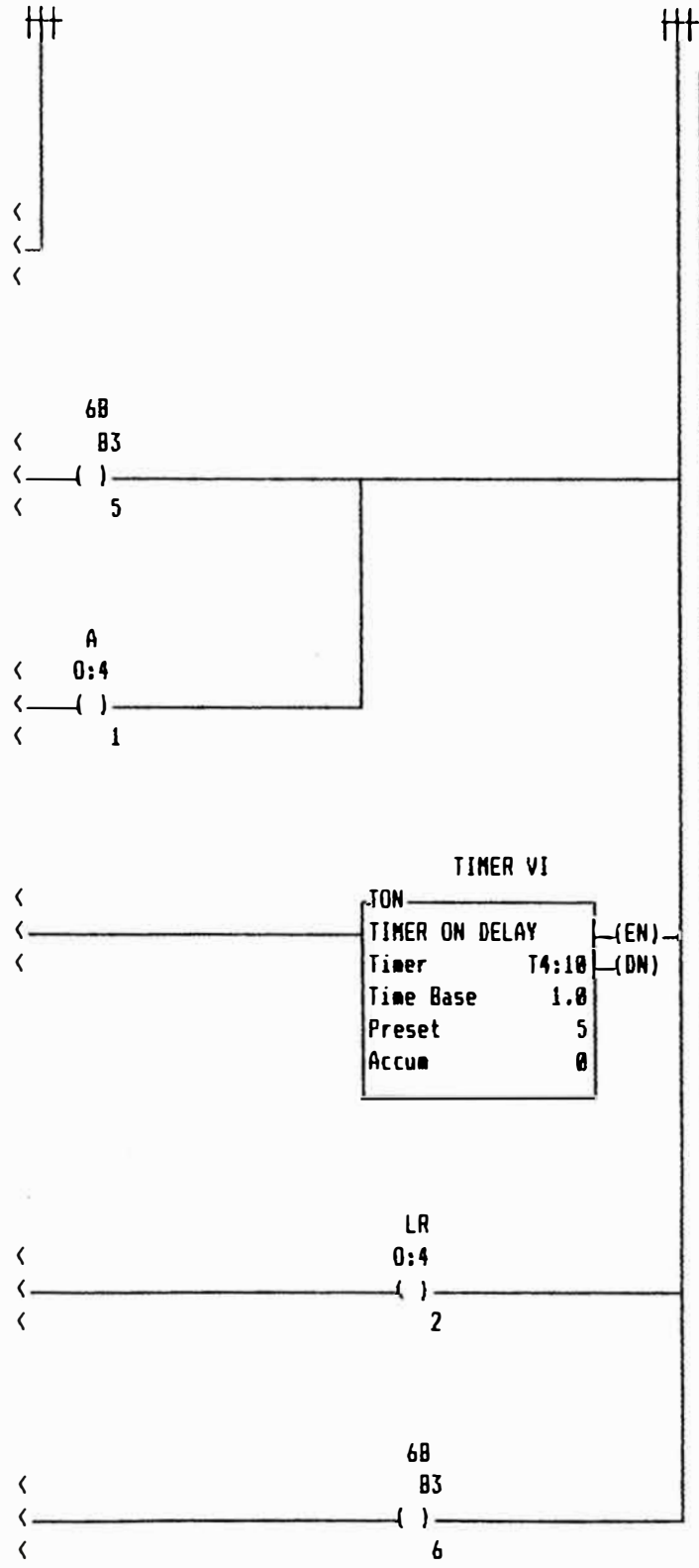


Rung 2:5









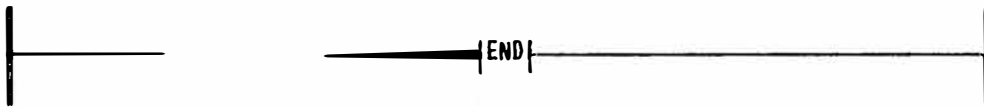
CONTROL DEL QUEMADOR LAL2  
 Program Listing

October 18, 1996 Page 16  
 Processor File: QUEMA.ACH Rung 2:6

Rung 2:6



Rung 2:7



CONTROL DEL QUEMADOR LAL2  
 Processor Config

October 18, 1996 Page 1  
 Processor File: QUEMA.ACH

I/O CONFIGURATION FOR: QUEMA

Rack 1 = 1746-A7 7-slot Backplane

SLOT	CATALOG #	CARD DESCRIPTION	CONFIG. - SIZE
0	1747-L524	5/Ø2 CPU - 4K USER MEMORY	
1	1746-IB16	16-Input (SINK) 24 VDC	
2	1746-IM16	16-Input 2ØØ/24Ø VAC	
3	1746-OB16	16-Output [TRANS](SOURCE)1Ø/5Ø VDC	
4	1746-OM16	16-Output [RELAY] VAC/VDC	
5	####	NOT CONFIGURED ####	
6	####	NOT CONFIGURED ####	

CONTROL DEL QUEMADOR LAL2  
 Processor Config

October 18, 1996 Page 2  
 Processor File: QUEMA.ACH Summary

REPORT OPTIONS SUMMARY

## CONCLUSIONES

1. Para realizar un control automático integral de una caldera industrial se requiere de controladores digitales y controladores analógicos, una de las alternativas es el uso de PLC's por la capacidad de realizar un control integral (control digital y analógico) pero la falta de información profesional basada en la experiencia sigue siendo un problema para el usuario.
2. Con el presente trabajo se pretende apoyar al profesional y/o usuario en la toma de decisiones del uso de un sistema de control automático de calderas industriales basado en PLC's.
3. Se comprueba que es posible usar un PLC para controlar automáticamente una caldera industrial en reemplazo del programador basado en relés.
4. Las ventajas que ofrece el uso del PLC son muy relativas frente a los programadores (con relés) de los quemadores, dependiendo del objetivo; por ejemplo, si se busca modernizar el sistema, si se quiere optimizar el tiempo de reposición frente a una falla del programador, etc. se puede elegir un PLC pero si por ejemplo se busca sólo robustez, se puede

seguir pensando en el programador con relés. Es cuestión de hacer evaluaciones básicamente económicas.

5. El uso de PLC permitirá el reemplazo de programadores de levas, actuadores mecánicos y presostátos actualmente en uso, lo que significará las tareas de mantenimiento preventivo.
6. Se recomienda el chequeo permanente de los elementos del campo tanto sensores como actuadores por personal altamente capacitado y experimentado a fin de garantizar el buen funcionamiento del programa de control con PLC.
7. El comportamiento del PLC, es tan confiable como el del programador con relés, notándose una diferencia en la funcionalidad dentro del sistema de automatización de calderas industriales, sobre todo en la integración de distintos tipos de controladores para control, supervisión y monitoreo de toda la planta industrial desde una central de control, supervisión y monitoreo en sistema SCADA.



## BIBLIOGRAFIA

1. Advanced programming software - APS versión 4.02.  
Catálogo No.1747 - PA2E.  
A. Rocwell International Company - Allen Bradley.
2. Ahorro de energía en la operación de calderas industriales.  
Percy Castillo N.
3. Industrial boiler manual.  
Foxboro Company.
4. Instalation & operation manual (PLC 500 - Programmable controllers).  
A. Rocwell International Company - Allen Bradley.
5. Instrumentation symbols and identification.  
Instrument Society of America.
6. Recomendated graphical symbols.  
International Electrotechnical Commision.
7. The control of boilers - 2<sup>nd</sup> edition.  
Sam G. Dukelow - Instrument Society of America.
8. Installation and operating instructions Weishaupt oil burner Monarch  
and R ( LAL2 ).  
Max Weishaupt GmbH - W. Germany.