

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



**"CONTROL Y AUTOMATIZACION DE LOS
SISTEMAS DE CALDERO Y PROCESO DE
COCIMIENTO PARA PLANTA CERVECERA
USANDO CONTROLADORES LOGICOS
PROGRAMABLES**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRONICO

JAVIER AUGUSTO BARRIGA HOYLE

PROMOCION 1988-II

LIMA-PERU

.1.995

Mi profunda admiración y agradecimiento a
mis queridos padres, Carlos y Raquel, por
sus valiosos consejos brindados y a mis
hermanos por el constante aliento y
apoyo en mi formación personal
y profesional

A mi querida esposa Carmen y a mi hijito
Carlos Javier, quienes con su cariño,
bondad, adnegación y amor estimularon
mi dedicación para la culminación
del presente trabajo

SUMARIO

La Sociedad Cervecera de Trujillo S.A., es una empresa con más de 50 años de servicio, y como tal, tiene sus equipos de control antiguos (manuales), causando la pérdida de tiempo para ubicar las fallas que se producen durante el encendido de la caldera y el gasto en exceso de combustible por no tener un buen control de la relación aire/combustible. En el proceso de cocimiento las temperaturas y estados de reposo, son controlados manualmente originando que la mezcla obtenida varíe ligeramente del estándar, lo cual se debe evitar para mantener la óptima calidad de la cerveza.

Para alcanzar este objetivo, se propone la automatización de los controles en los sistemas de las calderas y parte del proceso de cocimiento como primer paso, por ser ambas consideradas como las principales dentro de la planta. En este trabajo, se desarrolla el software y la estrategia de control para realizar la automatización usando controladores lógicos programables y continuos.

Con el estudio realizado se pretende: reducir las fallas y el tiempo en ubicarlos, mejorar el proceso de combustión, y tener un control más exacto de los parámetros de temperatura y estados de reposo. A su vez dejar abierta la posibilidad de establecer en el futuro, enlaces con otros sistemas de control.

**"CONTROL Y AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS DE CALDERO Y PROCESO DE
COCIMIENTO PARA PLANTA CERVECERA USANDO CONTROLADORES LOGICOS
PROGRAMABLES"**

EXTRACTO

TITULO	CONTROL Y AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS DE CALDERO Y PROCESO DE COCIMIENTO PARA PLANTA CERVECERA USANDO CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES
AUTOR	JAVIER AUGUSTO BARRIGA HOYLE
GRADO A OPTAR	TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRONICO
FACULTAD	INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA
UNIVERSIDAD	NACIONAL DE INGENIERIA
CIUDAD	LIMA - PERU
AÑO	1995

Para el desarrollo del presente estudio de ingeniería, referente al proyecto de automatización, se ha considerado tres capítulos que a continuación se describen:

En el capítulo I, se describe el principio de funcionamiento y características de las calderas y proceso de cocimiento, necesarios para el desarrollo del software de control.

En el capítulo II, se describe en forma general las principales características y especificaciones de los controladores lógicos programables, y de manera específica al modelo 984-A120 de MODICON, empleado en el proyecto de automatización.

En el capítulo III, se presenta el desarrollo de los esquemas de control; el programa en lenguaje escalera mediante el empleo de los PLC, usándolo en los controles de: las temperaturas de combustible y

agua de alimentación, encendido de la caldera, y en las pailas de cereales y maceración para el proceso de cocimiento; la estrategia de control para el análisis del proceso de combustión, empleando un controlador continuo y analizador de gases de Bailey.

En los apéndices se muestra el plano original de encendido de la caldera (basado en un programador-temporizador mecánico eléctrico, que genera la secuencias de tiempo), y las especificaciones técnicas de los módulos del PLC y analizador de gases.

INDICE

Prólogo

CAPITULO I

GENERALIDADES DE LAS CALDERAS Y PROCESO DE COCIMIENTO	3
1.1 Generalidades de las calderas	3
1.1.1 Caldera de vapor	4
1.1.2 Tipos de calderas	4
1.1.3 Estructura básica de una caldera de vapor	9
1.1.4 Proceso de combustión	13
1.2 Generalidades del proceso de cocimiento	18
1.2.1 Paila de cereales	19
1.2.2 Paila de maceración	19
1.2.3 Paila de filtración	19
1.2.4 Paila de ebullición	20

CAPITULO II

CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES	22
2.1 Definición	22
2.2 Características generales	22
2.3 Funciones	24
2.4 Componentes básicos de un sistema de PLC	25
2.4.1 El procesador	26
2.4.2 Sistema de entrada/salida (I/O)	28
2.4.3 La memoria central	35
2.4.4 Aparatos de programación	38

2.4.5	Fuente de alimentación (power supply)	41
2.5	Lenguajes de programación	42
2.5.1	Diagrama en escalera (esquema de contactos)	43
2.5.2	Identificación de variables	45
2.6	Los PLC multiprocesadores	46
2.6.1	Evolución de su arquitectura	47
2.7	Los aportes de los PLC	49
2.8	Controladores lógico programables de la familia MODICON 984	53
2.8.1	Arquitectura de control de la familia 984	54
2.8.2	Estructura de la memoria RAM estática	55
2.8.3	Sistema de referencia para entradas y salidas	56
2.8.4	Estructura de la lógica en escalera	57
2.8.5	Conjunto de instrucciones de la familia 984	59
2.8.6	Descripción de las instrucciones ADD, SUB, MUL, UCTR, DCTR, y TIMERS T1.0, T0.1, T.01	61
2.8.7	Instrucción PID2	65
2.8.8	Escalamiento de las señales de entrada y salida	78
CAPITULO III		
DESARROLLO Y PROGRAMACION DEL SISTEMA DE CONTROL		84
3.1	Sistema de calderas	84
3.1.1	Selección del sistema de control	87
3.1.2	Control de la temperatura del agua de alimentación	88
3.1.3	Control de la temperatura de petroleo	92
3.1.4	Presión de agua	98
3.1.5	Encendido de la caldera	99
3.1.6	Control de combustión	115
3.1.7	Interconexión de las calderas	128

3.2	Proceso de cocimiento	138
3.2.1	Control de la paila de cereales	140
3.2.2	Control de la paila de maceración	158
3.3	Interfase sistema con operador	175
3.3.1	Software para el control de procesos	179
3.4	Dimensionado del software y equipo de control	179
	OBSERVACIONES	184
	CONCLUSIONES	185
	BIBLIOGRAFIA	187
	APENDICE	188

PROLOGO

Con el desarrollo de la Microelectrónica, aumentó la capacidad de integración, dando origen a la creación del Microprocesador, y con éste aparecen los Microcomputadores personales, Controladores Lógicos Programables (PLCs), y los Sistemas de Control Distribuido (DCS). Paralelamente al progreso de la electrónica, se establece una revolución en todos los campos, y con más énfasis en el industrial, donde la automatización de procesos, los PLCs y los DCS tienen un rol muy importante, porque han impuesto a las industrias nacionales la necesidad de modernizarse para producir en calidad, cantidad y al menor costo posible, respondiendo de esta manera a la demanda en un entorno muy competitivo.

Este proyecto de automatización, se basa en la modernización de los sistemas de control, de las calderas y proceso de cocimiento, porque los actuales (mayormente manuales) pueden considerarse como obsoletos. Con este cambio, se lograría tener un control más preciso en todas las variables que intervienen en el proceso, y por ende la disminución de los costos de producción en la generación de vapor, elemento principal dentro del proceso de elaboración de la cerveza. Para ello se requiere: reemplazar el sistema de control de encendido de la caldera, aumentar su eficiencia en 5 a 6% aprox. (actual 78%); y reducir el porcentaje de CO_2 contenido en los gases de escape productos de la combustión, a un valor óptimo (13%).

Referente al proceso de cocimiento, automatizarlo nos llevaría

a que la regulación de los parámetros, de temperatura y estados de reposo sean más exactos, consiguiéndose la máxima extracción de las sustancias deseables por acción de las enzimas. El Mosto producido, será el adecuado para que en la etapa de fermentación se obtenga una cerveza de buena calidad.

Para alcanzar estos objetivos, se emplea los controladores lógicos programables (o autómatas programables), desarrollando para ello la programación en lenguaje escalera; y en forma complementaria se usa para el proceso de combustión, un controlador continuo con su analizador de gases y la estrategia de control respectiva.

Aprovecho la presente, para agradecer a la Sociedad Cervecera de Trujillo S.A. por las facilidades brindadas para realizar este proyecto, de manera especial por su valiosa ayuda y asesoramiento a los señores Ing. Ricardo Shimokawa, jefe del área de instrumentación y al Ing. Juan Céspedes supervisor del proceso de elaboración de la cerveza. Así mismo, al Gerente de la empresa CIMEC Ingenieros S.A., Ing. Andrés del Carpio, representante de los PLC MODICON y productos Bailey, por los manuales y papers proporcionados referentes al PLC y control de combustión, y al Ing. Luis Garrido por su asesoramiento en el desarrollo de las estrategias de control para el proceso de combustión, empleando los controladores de Bailey. Finalmente mi agradecimiento muy especial a mi asesor Ing. Juan Tisza Contreras por su constante apoyo para que este proyecto sea culminado.

CAPITULO I GENERALIDADES DE LA CALDERA Y PROCESO DE COCIMIENTO

1.1 Generalidades de las calderas

Existe un área destinada para los servicios auxiliares de la planta (casa de fuerza), la cual suministra vapor, aire comprimido, agua de refrigeración, dióxido de carbono, y energía eléctrica.

Dentro de esta área de fuerza se dispone de tres calderas para la generación de vapor, con capacidades y características nominales según se detallan en el cuadro 1.1. Este vapor se distribuye a toda la planta a través de un manifold principal, una línea va hacia el área de elaboración (pailas, tanques de agua, etc.), de donde, luego de ser utilizado, una parte vuelve como condensado a un tanque de recolección de condensados y la otra regresa por líneas paralelas a las de vapor al tanque general de condensados. Otra lleva vapor al área de embotellado, donde mediante un manifold, se les asigna a los distintos usuarios del área, como son la lavadora, pasteurizadores N01 y N02 de la línea de embotellado, y al deareador de agua de mezcla. El vapor de condensado creado en el pasteurizador H&K vuelve directamente al tanque general de condensados.

El vapor también se distribuye hacia el deareador del agua de alimentación de calderas y otros usuarios menores tal como: sistema de calentamiento de combustible, vaporización de CO₂ y otros.

Las calderas instaladas son tres, de las cuales dos son del tipo acuotubular (APIN1 y APIN2) y una pirotubular (CLEAVER BROOKS). Las que trabajan casi permanentemente es la caldera Apin1, y para suplir

los picos la caldera Cleaver. La Apin2 trabajando sola abastece a la planta (ésta opera cuando las otras están en mantenimiento).

CARACTERISTICAS	CALDERA No		
	1	2	3
MARCA	APIN	APIN	CLEAVER BROOKS
TIPO	ACUOTUBULAR	ACUOTUBULAR	PIROTUBULAR
AÑO DE FABRICACION	1971	1977	1962
PRODUCCION DE VAPOR (Lb/hr)	25000	35000	12000
PRESION DE DISEÑO (PSI)	250	200	150
PRESION DE TRABAJO (PSI)	120	120	120

Tabla 1.1 Características de las calderas.

A continuación se citará algunas definiciones básicas sobre las calderas:

1.1.1 Caldera de vapor

Es todo aparato a presión, en donde el calor que se deriva de cualquier fuente de energía se transforma en utilizable a manera de calorías, a través de un medio de transporte que en este caso es vapor de agua. El vapor generado se emplea en procesos industriales y en transmisión de fuerza.

1.1.2 Tipos de calderas

a. Caldera acuotubular (Tubos de agua)

Características

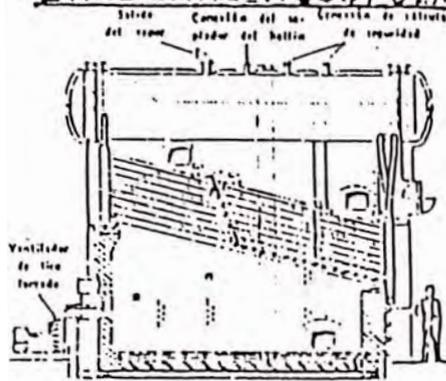
El agua circula por el interior de los tubos y los gases de combustión por la parte exterior de los mismos (figura 1.1).

Su aplicación abarca los rangos de altas presiones y capacidades

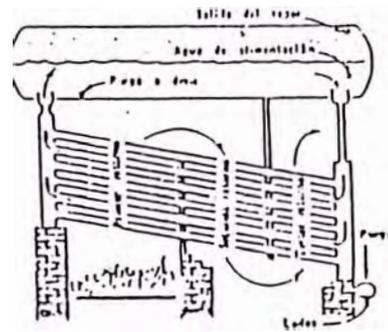
Rango de presión desde 150 psi (10,55 kg/cm²).

Rango de capacidad desde 15,000 lbs/h (6804 kg/h).

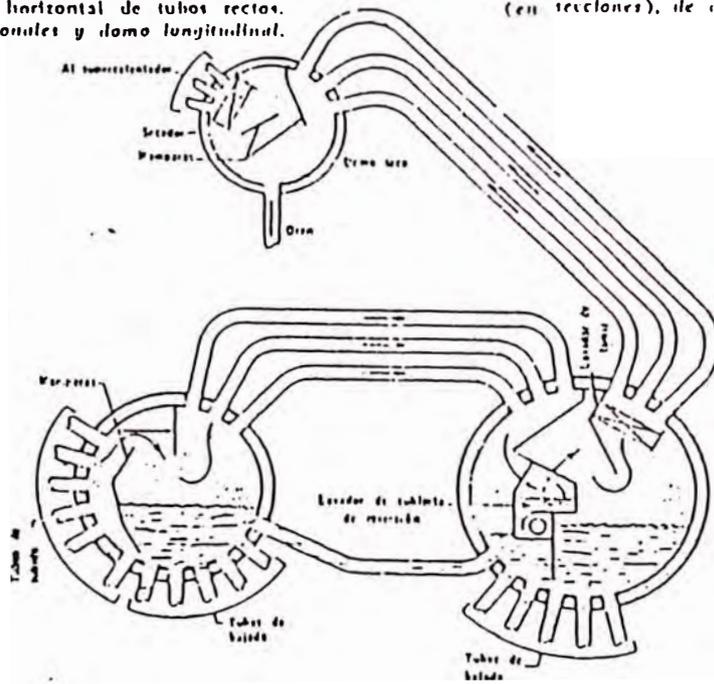
CALDERAS ACUOTUBULARES



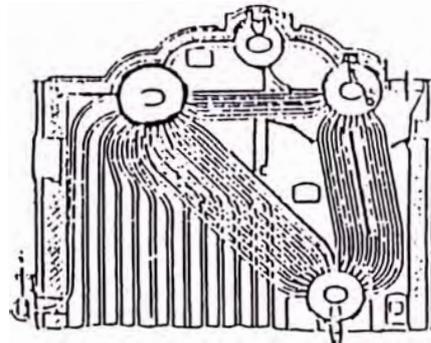
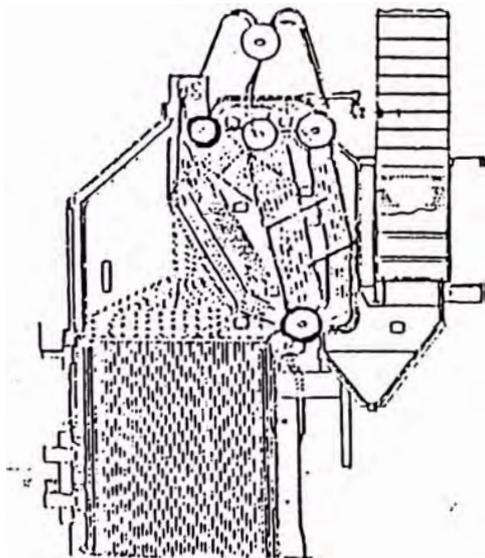
Caldera horizontal de tubos rectos. De cabezales seccionales y domo longitudinal.



Circulación del agua en la caldera horizontal de tubos rectos. Cabezales sinuosos (en secciones), de domo longitudinal



Dispositivo de domo seco



Caldera de cuatro domos, con un domo seco. (Cortesía de Power)

Caldera de cinco domos, de gran altura, con domo seco. (Cortesía de Power)

Figura 1.1 Modelos de calderas acuotubulares.

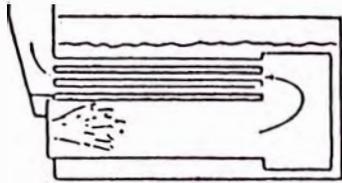
- Los valores máximos de presión y capacidad están limitadas por el costo y calidad de los materiales empleados, hallándose en la actualidad calderas diseñadas para presiones de hasta 5000 psi (351 kg/cm²) y con capacidades hasta 900000 lbs/h (409000 kg/h) en las grandes centrales termoeléctricas.
- De mayor costo inicial que las de tubo de fuego (pirotubular), pero su eficiencia es mayor.
- El contenido de agua es relativamente pequeño comparado con su gran superficie de calentamiento, que sumado a la circulación de agua eficiente le permite llegar a sus condiciones de operación en corto tiempo.
- Pueden soportar variaciones de carga y con el aumento de ella, la temperatura de los gases no se eleva excesivamente.
- La probabilidad de que explote es menor, debido a que los colectores de agua y vapor (domos) no son de gran tamaño, pero como los tubos trabajan con presión interna hace que el espesor de las paredes sea relativamente pequeño, donde la relación de peso/capacidad es menor que en la caldera pirotubular.
- La superficie de calefacción queda circunscrita a los tubos.
- Las calderas tienen tubos rectos o curvados, mostrando mejores características de presión y temperatura las de tubos curvados.

b. Caldera pirotubular (Tubos de fuego)

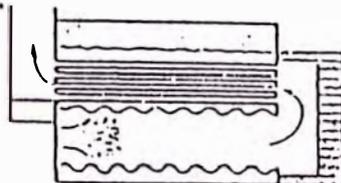
Características

- Son aquellas donde los gases de combustión circulan por la parte interior de los tubos, éstos se instalan en la parte inferior de un casco ó tambor sencillo (figura 1.2).
- En este tipo de caldera se define como paso, al recorrido de los gases de combustión a lo largo de la caldera.

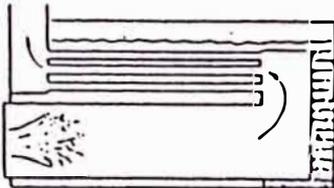
CALDERAS PIROTUBULARES



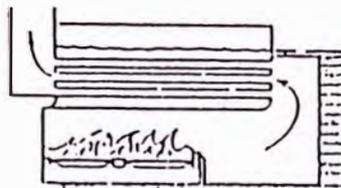
Caldera posterior saliente por atrás, de dos cilindros, con combustión de aceite o gas



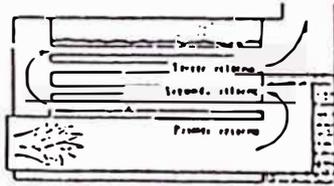
Caldera posterior saliente, de dos cilindros, frente corrugado, combustión de aceite o gas



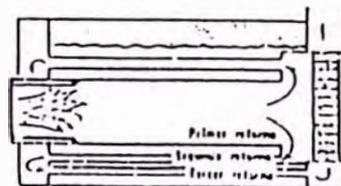
De lazo saliente por atrás, dos cilindros, combustión de aceite o gas



Caldera posterior saliente, de dos cilindros, combustión de carbón

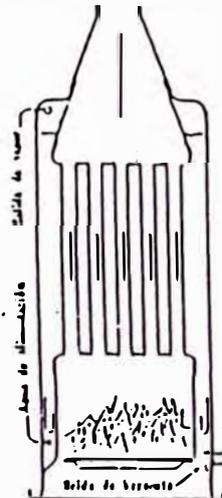
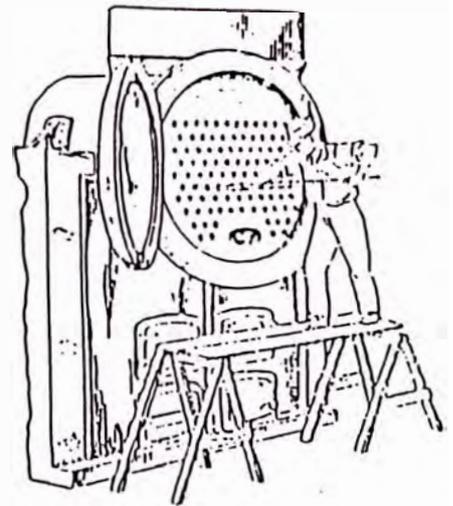
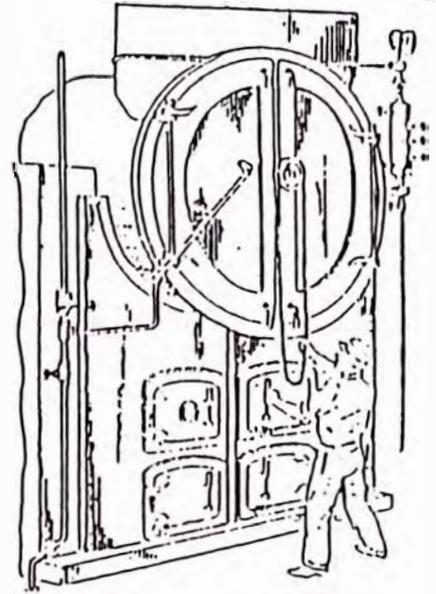


Caldera posterior saliente, de tres cilindros, combustión de aceite o gas

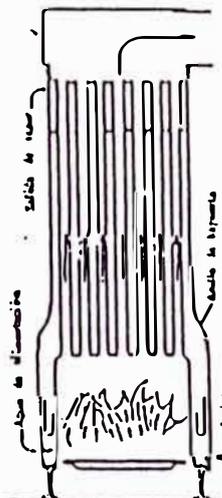


Caldera posterior saliente, tres cilindros, combustión de aceite o gas

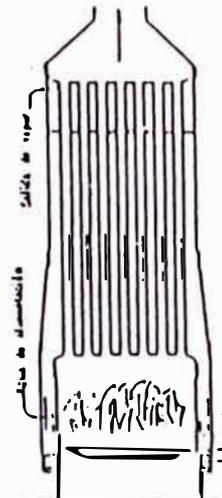
Flujo de los gases de combustión en los tipos de calderas escocesas



Caldera de tipo vertical con la placa del nivel de agua horizontal



Caldera tipo Manning, con cámara de combustión aislada



Caldera con hazo tubos cilíndricos, con cámara de combustión aislada

Tipos de calderas verticales

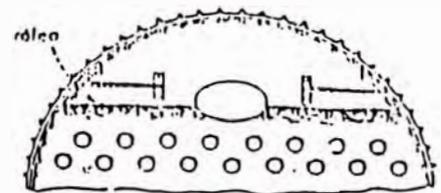
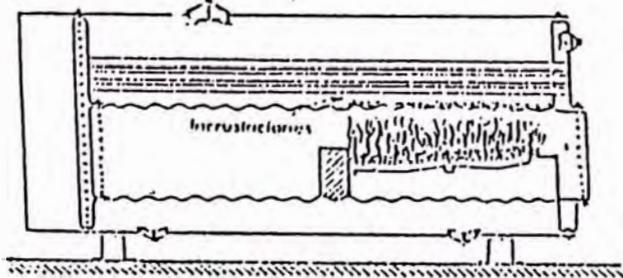


Figura 1.2 Modelos de calderas pirotubulares.

Su aplicación se limita a bajas presiones y capacidades.

Rango de presión hasta 250 psi (17,6 kg/cm²).

Rango de capacidad hasta 25000 lbs/h (11360 kg/h).

Su uso está orientado a demandas de vapor relativamente pequeñas tal como: procesos de calefacción y mantenimiento.

Es de fácil construcción y costo inicial bajo. su gran capacidad de almacenamiento de agua, le permite compensar los efectos de las grandes y repentinas fluctuaciones en la demanda de vapor.

* El tiempo necesario para alcanzar su presión de trabajo, partiendo de un arranque en frío, es mayor que la caldera acuotubular.

Pueden calentarse interna ó externamente, en el primer modelo la parrilla y hogar están situadas en el interior del recipiente de la caldera. En el segundo, el hogar está en la parte exterior y por lo general debajo del recipiente.

Si aumenta la carga de vapor, la temperatura de los gases crece muy rápidamente por la pérdida de rendimiento.

Por el riesgo indicado, éstas se fabrican con planchas de gran espesor, lo que implica una relación de peso/capacidad grande.

Tienen limitaciones mecánicas, haciéndolos insuficientes cuando se presenta necesidades de mayor capacidad y presión. Como sus diámetros son grandes necesitan placas más gruesas para soportar los esfuerzos a que son sometidos por la temperatura y presión.

Los diferenciales de temperatura originan grandes tensiones de una magnitud ilimitada. Por lo que, estas tensiones sumados a los efectos de incrustaciones y otros sedimentos han generado muchas explosiones de calderas.

1.1.3 Estructura básica de una caldera de vapor

1.1.3.1 Quemador

Es un accesorio que se utiliza para pulverizar el combustible, mezclar con el aire en condiciones adecuadas y suministrar el calor necesario para encender la mezcla antes de ser introducidos a la cámara de combustión.

Los factores más importantes para conseguir un aprovechamiento racional del poder calórico del combustible son: Su funcionamiento, diseño e instalación.

Funciones

Proporcionar combustible a la cámara de combustión en óptimas condiciones de ser quemados.

Proporcionar aire a la cámara de combustión.

Mezclar íntimamente el aire con el combustible.

Encender y quemar la mezcla.

Desplazar los productos obtenidos de la combustión.

1.1.3.2 Hogar

Es el lugar de la caldera donde se realiza la combustión. El diseño apropiado de la caldera consiste en aprovechar la superficie total para la absorción de calor, de tal manera, que se extraiga el máximo calor obtenible del combustible.

a. Superficies de calefacción

Se designa así, a la parte de la caldera sometida al calor del hogar, y está formado por diferentes sistemas de tubos. A mayor superficie, mejor será el funcionamiento de la caldera.

b. Transmisión de calor

Al quemarse combustible dentro de la caldera, crea un flujo de calor que es llevado por los productos de la combustión, hacia el

agua o el vapor por 3 vías: *radiación*, *convección* y *conducción*. Por cualesquiera de estos conductos, o por la combinación de los tres, se desarrollan todas las fases de la transmisión del calor.

Radiación, es la transferencia directa de calor en forma de energía radiante, nacido de la incandescencia del combustible o las flamas luminosas y de los refractarios, hacia los tubos o al cuerpo de la caldera.

Convección, es la transferencia de calor entre un fluido (gas o líquido), causado por el movimiento o agitación que impulsa a las partículas calientes a reemplazar continuamente a las enfriadas al contacto con el área absorbente de calor. La *convección natural* o libre, es causada sólo por las diferencias de densidad, que nacen del diferencial de temperatura. La *convección forzada* se da por la fuerza mecánica, aprovechado para impartir movimiento al fluido.

Conducción, es la transferencia de calor de una parte a otra de un mismo cuerpo, o a otro cuerpo con el que está en contacto físico, pero sin desplazamiento apreciable de las partículas dentro de dicho cuerpo.

1.1.3.3 Chimenea

Se construye de mampostería o de metal y es usado para descargar de la caldera los productos de la combustión. Si se desea la máxima dispersión de los productos de los gases de escape, la chimenea debe ser alta, en cambio, si sólo se desea expulsar los gases fuera de la caldera, ésta debe ser baja.

1.1.3.4 Tiro

Deja circular aire a través de la capa de combustible, para producir una corriente de productos gaseosos de la combustión que cruce la caldera. Es preciso de una diferencia de presión, igual a

la necesaria para acelerar los gases a su velocidad final más las pérdidas de carga por rozamientos. A ésta diferencia se le llama tiro, ya se mida arriba o debajo de la presión atmosférica. Existen dos tipos de tiros que son:

a. Tiro forzado

Los ventiladores para este tiro tienen un lugar muy importante en la ingeniería de las plantas de fuerza. Sin los cuales las altas transmisiones de calor logradas ahora, no se hubieran alcanzado, ni tampoco se habrían podido quemar las capas gruesas de combustibles de ciertos alimentadores de descarga inferior.

El tiro forzado introduce el aire de la atmósfera y lo envía por los ductos a la entrada del calentador de aire o en forma directa al equipo de combustión.

b. Tiro inducido

Se establece por chimeneas y por ventiladores colocados en el circuito del gas del lado de la chimenea y sus aparatos auxiliares. El sistema lógico a emplear, es utilizar tanto la succión como la compresión, en proporciones que la presión en el hogar sea cercano a la atmosférica, y que el efecto de pequeñas fugas en la montadura sea insignificante.

1.1.3.5 Agua de la caldera

El agua que se introduce a la caldera para luego ser convertida en vapor recibe el nombre de agua de alimentación. Si ésta es del condensado, que se logra por recirculado habrá pocos problemas. Pero si es agua cruda probablemente se tendrá que liberarla de oxígeno, sustancias incrustantes, sólidos en suspensión, precipitados, y quizás algunos elementos contaminantes.

Las impurezas del calcio, magnesio y otras sales determinan la

dureza del agua. El grado de dureza del agua es el índice que señala la cantidad de sales de calcio y magnesio solubles que contienen, expresadas en granos por galón o partes por millón, éstas forman un limo que se deposita en los tubos de la caldera presentándose los siguientes casos:

Actúa como un aislador, demandando un mayor gasto de combustible al producir el vapor.

Al estar el agua alejada del metal permite que el calor actúe en forma destructiva sobre el acero, por un lado, mientras por otra la acción de las sales pueden corroer los tubos, ocasionando el deterioro más rápido de los tubos.

Sabiendo los efectos destructivos de las impurezas, es necesario tratar el agua con productos químicos para eliminarlas, produciendo en el agua características especiales (denominada agua blanda), y así conseguir mayores eficiencias.

Nivel de agua

Para seguridad física de la caldera y por ende la planta, es importante que el nivel de agua de alimentación se encuentre dentro de los límites especificados por el fabricante de cada caldera.

1.1.3.6 Calentamiento del agua de alimentación

El sistema de calentamiento del agua, a parte de conseguir una mayor eficiencia térmica, produce tres beneficios en la operación de la planta.

1. El calor que se perdería cediéndolo al agua de alimentación, provoca una economía de combustible.
2. Los esfuerzos térmicos que se pueden generar en las superficies de las calderas, por las corrientes de agua fría, se disminuyen o eliminan.

3. Aumenta la capacidad de vaporización por metro cuadrado de las calderas, alcanzando más importancia a las altas presiones.

Se observa que el calentamiento del agua de alimentación aumenta la eficiencia térmica y la capacidad de la caldera.

1.1.3.7 Temperatura de combustible

El calentamiento del combustible la lleva a cabo el quemador de petróleo en combinación con la cámara de fuego, para convertir el petróleo en un gas y así poderse mezclar este combustible gaseoso con el aire, produciéndose la combustión.

El control de la temperatura del petróleo deberá ser mantenida dentro de un rango para que esté adecuadamente diluido, asegurando de esta manera un eficiente y libre bombeo, debido a que a medida que aumenta la temperatura, la viscosidad de éste disminuye.

Luego, que el petróleo es precalentado se encuentra listo para ser atomizado. Es decir, al mezclarse el combustible con el aire creado por el ventilador, y dado su gran velocidad, hace que el combustible sea descompuesto en partículas pequeñas y de tamaño uniforme.

La *atomización* es tan importante que la mayoría de fabricantes están de acuerdo en garantizar un mínimo de 13% de CO_2 en los productos de combustión. Este porcentaje nos indica un exceso de aire pequeño, comprendido entre el 10% y 25%.

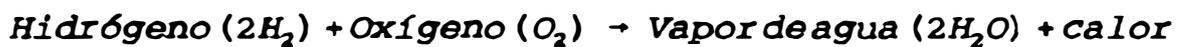
1.1.4 Proceso de combustión

La combustión se define como un proceso de rápida oxidación de un material clasificado como combustible. La oxidación significa la adición de un material comburente (oxígeno de aire) en una reacción química producida con el combustible.

Básicamente los combustibles contienen Hidrógeno H_2 y Carbono C,

éstas en contacto con el aire que lleva Oxígeno O_2 y Nitrógeno N, uniéndolos en proporciones adecuadas y mantenidos a una temperatura suficientemente alta para sostener la reacción, se genera el calor y teóricamente la combustión perfecta.

Los productos de la combustión al generar energía es vapor de agua H_2O y Dióxido de Carbono CO_2 . En el caso de una combustión no completa se genera el Monóxido de Carbono CO.



El combustible contiene Hidrógeno H y Carbono C, dos elementos fundamentales para la reacción.

a. Aire de combustión (Comburente)

Es el agente que causa la combustión de una sustancia llamado combustible. El comburente ideal es el oxígeno puro, pero como su preparación es muy costosa, se recurre al uso del aire.

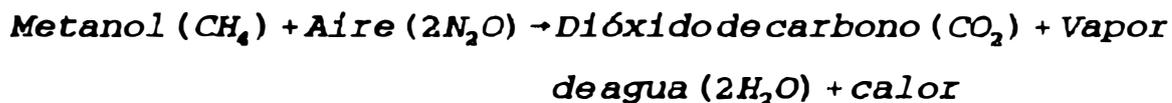
El aire atmosférico está mezclado con Oxígeno, Nitrógeno, vapor de agua, Argón, dióxido de carbono en pequeñas cantidades y gases no combustibles. Este aire contiene 21% de Oxígeno y 79% de Nitrógeno en volumen, pero no forman parte en la combustión el Nitrógeno y los gases no combustibles, es decir, pasan por el proceso sin cambiar.

Las mínimas cantidades de algunos elementos como Nitrógeno en el aire combinado con el Oxígeno forman Oxido de Nitrato, y el Sulfuro contenido en ciertos combustibles que al quemarse generan Oxido de Sulfuro, son los que contaminan el ambiente.

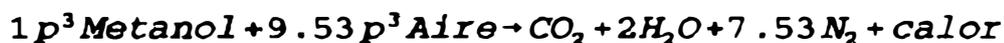
b. Combustible

El combustible más deseado es el gas, por ser el más fácil de usarlo y no necesita preparación para encenderlo. Al quemar el gas

Metanol (CH₄), esencial componente del combustible tenemos:



Cuando se produce la combustión del Metanol con aire atmosférico (21% Oxígeno y 79% Nitrógeno), se genera la siguiente relación de porcentaje para una combustión ideal, ello a temperatura y presión estándar:



A la relación de 9.53 p³ de aire/combustible se le conoce como relación Estequiométrica, y varía en función del tipo de combustible y su composición al quemarse.

c. Tipos de combustión

La combustión tiene como objetivo principal lograr la oxidación total del carbón e Hidrógeno, formándose como productos CO₂ y H₂O, durante este proceso se libera la energía máxima en forma de calor y se limita los efectos contaminantes de la atmósfera. De acuerdo con este criterio se tienen los siguientes tipos de combustión:

Combustión estequiométrica o ideal

Se consigue mezclando y quemando cantidades exactas requeridas de combustible y oxígeno, las cuales reaccionan en forma completa y perfecta. Pero el proceso está limitado por las condiciones físicas y químicas del sistema.

La utilidad de este concepto es para los cálculos teóricos de la combustión, tomando como base a la composición del combustible y el comburente empleado.

Combustión completa con exceso de aire

Una reacción completa sin tener monóxido de carbono (CO) en los gases de combustión, requiere de una proporción de oxígeno mayor al oxígeno estequiométrico y por consiguiente, el exceso de aire causa dos efectos importantes en el proceso:

Disminución de la temperatura máxima en la zona de combustión, a efecto de la existencia de una mayor cantidad de gases.

Cambio en la concentración de óxidos formados con respecto al nitrógeno.

Estos dos efectos determinan una disminución de la eficiencia.

Combustión incompleta por defecto de aire

Cuando el aire para la combustión no tiene el oxígeno teórico, esencial para la formación del CO_2 , H_2O , y SO_2 , etc., la combustión será incompleta.

d. Requerimientos para una combustión óptima

En el mundo real, es difícil mantener una proporción adecuada para una relación ideal aire/combustible, y de los parámetros como tiempo, temperatura y turbulencia (gases no combustibles y otros).

Para conseguir una combustión completa se debe considerar:

1. Fijar la cantidad de exceso de aire (mayor de 9.53 p³), de tal forma que la relación de aire/combustible sea la más óptima. Lo cual implica que a:

Menos aire: Combustión incompleta por combustible no quemado.

Más aire: Pérdida de calor en la flama del combustible.

2. Evitar el exceso de aire porque disminuye la eficiencia del proceso.

En la práctica la óptima cantidad de aire no es constante, se incrementa y decrece de acuerdo a la carga, y a las propiedades

del combustible.

Variables reales que afectan la relación aire/combustible son:

1. El contenido de calorías BTU del combustible y presión.
2. La temperatura de aire. Por ejemplo, un cambio de 30°C a 10°C varía bruscamente la relación aire/combustible e incrementa el combustible en 1%, originando una pérdida innecesaria más la disminución de la eficiencia.
3. La presión barométrica.

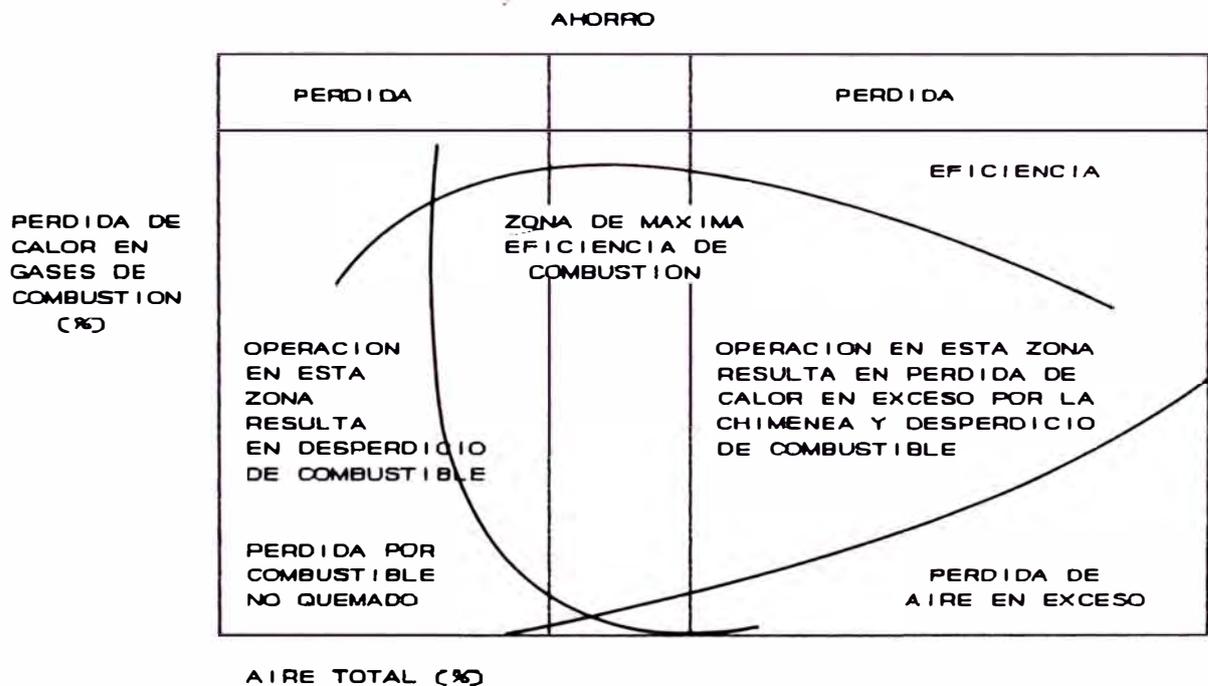


Figura 1.3 Zona de operación de máxima eficiencia.

4. La humedad relativa del vapor de agua contenida en el aire, genera menos oxígeno en unidades de volumen durante la condición de secado.
5. La operatividad del ventilador de aire y actuadores.

En la figura 1.3, cuando las mediciones se toman en los puntos de la zona de máxima eficiencia, y se combinan con las funciones de control automático, se logra una máxima eficiencia en el proceso de

combustión sin ser afectado por las condiciones de operación.

1.2 Generalidades del proceso de cocimiento

El proceso se inicia con la recepción de la malta y los cereales (maíz y arroz). Una vez recepcionados se envían a sus respectivas tolvas, siendo previamente separados del polvo en ciclones, quedando así disponibles para la siguiente etapa del proceso. A continuación la malta y cereales se muelen hasta una granulometría adecuada, se separan los granos finos para luego almacenarlos en tolvas de grano molido.

Para la etapa de preparación del mosto, se pesan cantidades fijas de malta y cereales. El cereal pasa a la paila de cereales agregándole agua, donde la mezcla resultante se calienta hasta ebullición; de otro lado, la malta pasa a una paila de maceración donde reposa con agua a 53°C por unos 30 minutos, para luego ser mezclado con la infusión derivada de la paila de cereales, en seguida ésta mezcla se calienta hasta los 76°C. En esta etapa, el almidón contenido en la malta y los cereales es transformado en azúcares por acción de las enzimas (amilasa y maltasa) que han sido elaboradas por la cebada germinada (malta), y activado por el pH del medio y la temperatura.

La mezcla de la paila de maceración es transferido a una paila filtrante donde el líquido (mosto) es filtrado a través de un lecho formado por la misma malta y cereal procesados. Luego el mosto es enviado a una paila de mosto, y el residuo sólido (denominado orujo) es extraído por debajo de la paila, formando un subproducto que es empleado como alimento para animales. Posteriormente el mosto, combinado con el lúpulo y otros ingredientes se hierve durante una hora y media, para concentrarlo y esterilizarlo, logrando además la

destrucción de cualquier residuo de enzimas.

El objetivo principal es conseguir la máxima extracción de las sustancias deseables por acción de las enzimas que mediante estados de reposo y temperatura, se pueda tener un Mosto que sea adecuado para la fermentación y así obtener una cerveza de buena calidad.

El proceso de cocimiento está contenido en la primera área, y se dedica a la preparación del mosto, para lo cual se tiene 4 pailas que son: Paila de cereales, Paila de maceración, Paila de mosto y Paila de filtración.

1.2.1 Paila de cereales

Se trabaja entre 15 a 20% de malta en relación a los adjuntos (arroz, griz de maíz). El fin es humectar el grano tanto de la Malta como de los adjuntos, para que en función a diferentes estados de reposo y temperaturas, éstos expongan sus almidones y puedan ser atacadas por las enzimas de la malta, produciéndose de este modo la sacarificación de los almidones.

Los pasos generales para alcanzar las temperaturas y reposos mencionados se muestran en la figura 1.4.

1.2.2 Paila de maceración

En esta paila la malta es también humectada y sometida a temperaturas y estados de reposo, para que en un momento indicado se le adicione la masa contenida en la Paila de Cereales, de tal manera que se produzca los desdoblamiento tanto de proteínas como de almidones para la sacarificación respectiva.

Los pasos generales para obtener las temperaturas y reposos mencionados se muestran en la figura 1.5.

1.2.3 Paila de filtración

En ésta etapa se lleva a cabo la filtración de la masa contenida

en la paila de maceración, es decir, se le rocía con agua tratada para eliminar o retener los sólidos (cáscaras, granos de arroz, maíz, etc.) y quede apto para su ebullición posterior.

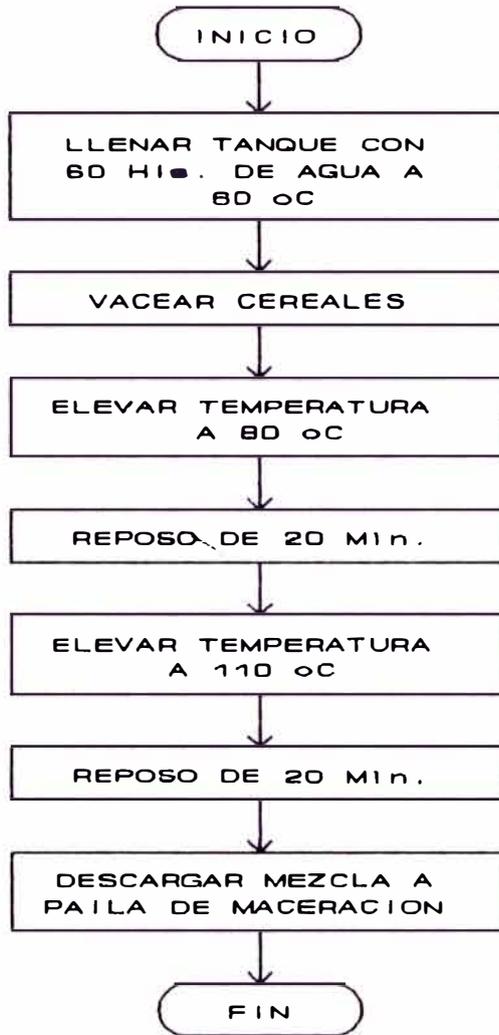


Figura 1.4 Diagrama de flujo de la paila de cereales.

1.2.4 Paila de ebullición

En esta etapa final del proceso de cocimiento, el mosto filtrado se somete a ebullición para concentrar su extracto flocular, sólidos en suspensión y proteínas, dándole una estabilidad biológica y para esterilizarlo se le adiciona lúpulo y como complemento azúcar.

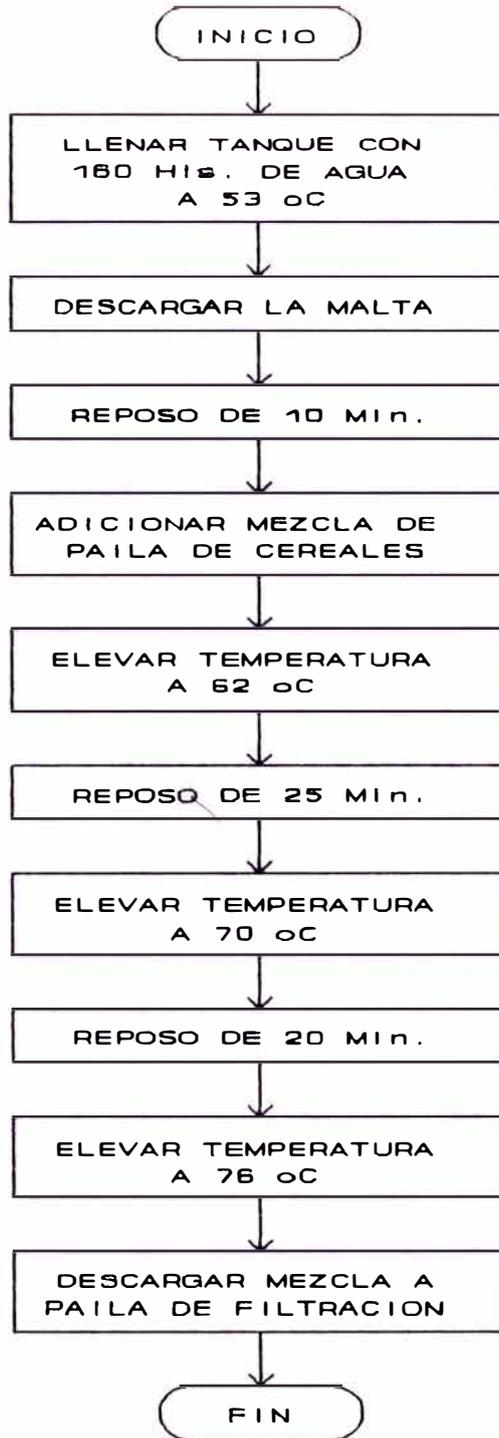


Figura 1.5 Diagrama de flujo de la paila de maceración.

Los diagramas de tiempo vs. temperatura de la paila de cereales y paila de maceración serán mostrados en el capítulo III.

CAPITULO II CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES

2.1 Definición

El PLC es un **computador de propósito especial** destinado para el control de procesos. Es considerado en la mayoría de las industrias como un equipo de reemplazo a los relés, mandos electromecánicos y a los diferentes modelos de controladores clásicos. En esencia, un PLC es un sistema de control realizado con dispositivos electrónicos de estado sólido, elementos digitales discretos e integrados, equipos especiales de instrumentación, etc.

Las funciones que desempeñan son: La recepción de datos en sus entradas, procesamiento de ellos y almacenaje de todos los datos y cálculos realizados en la memoria, la toma de decisiones y envío de señales de salida para algunos equipos periféricos. Además, la potencia del uso de los PLCs radica en la flexibilidad del sistema al permitir modificar las acciones de control, cambiando únicamente el programa de control o corrigiendo los algoritmos sin volver a diseñar de nuevo.

La figura 2.1 muestra al PLC y su entorno.

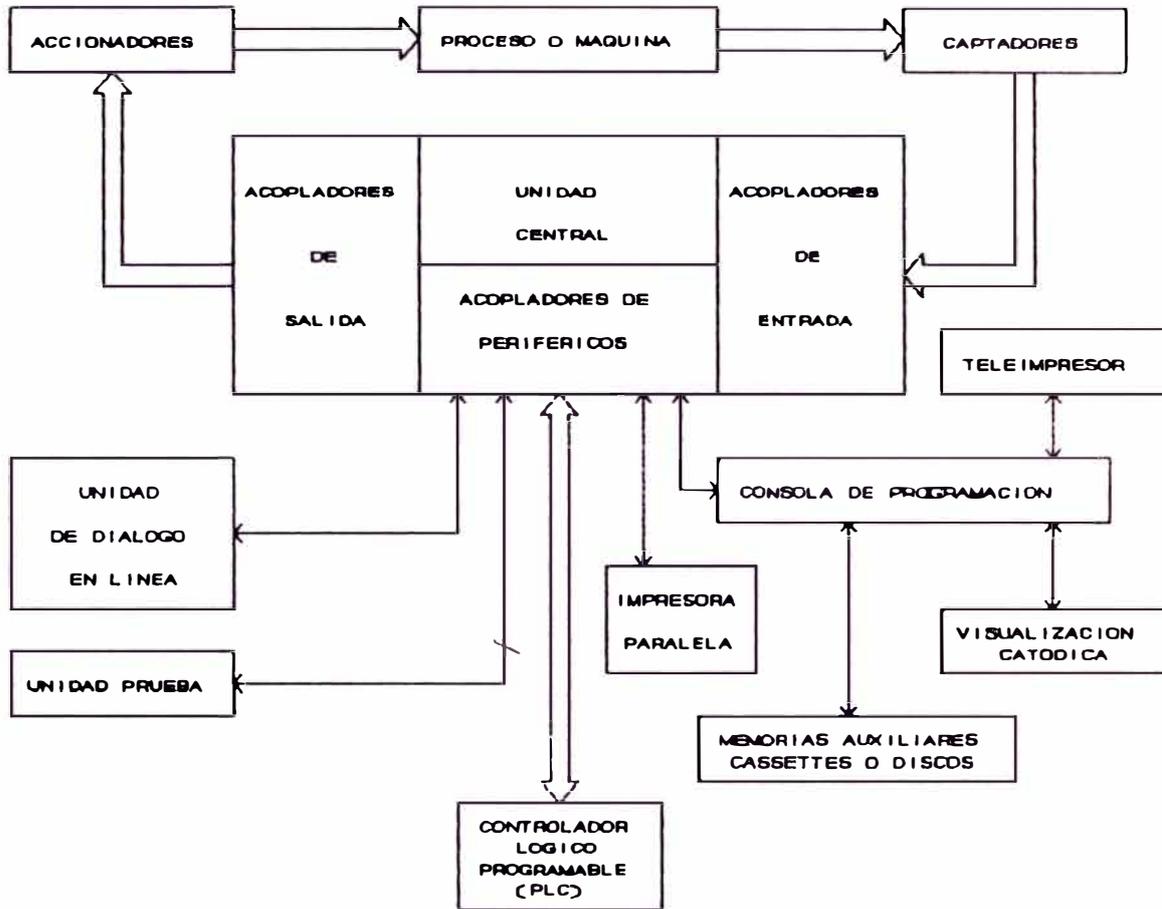
2.2 Características generales

Las principales características de los controladores Lógicos Programables son:

Pueden adaptarse sin mucha dificultad en los sistemas de control ya existentes.

Son flexibles, pues permiten modificar los algoritmos de control

y cambiar algunas configuraciones.



(= UNIONES PERMANENTES; - TEMPORALES; - EVENTUALES.)

Figura 2.1 PLC y su entorno.

- Tienen gran precisión, equivalente a la que poseen las máquinas calculadoras.
- Presenta un sistema de alarma cuando se generan señales de aviso indicando que una o más variables de control se han desviado de sus valores de referencia, o han pasado los límites de su rango de valores permitidos.
- Poseen la capacidad de ser interconectados con otros PLCs para formar un gran sistema, y las salidas necesarias para poder enviar informaciones (Telemetría), es decir, instalar un sistema

distribuido.

El inventario de piezas de reemplazo de los PLCs son mínimos y alguna de esas partes, como las interfases de entrada y salida (I/O) pueden ser cambiados de uno a otro PLC.

Realiza diagnóstico propio de sus fallas en sus I/O y permite que le sea acoplado equipos de rechazo a toda señal errónea y/o elementos de seguridad en casos de falla.

2.3 Funciones

Las principales funciones que realizan los PLCs son:

a. Respecto a los datos:

Mediante el uso de sensores, el PLC toma los datos del proceso que son en su mayoría señales análogas y empleando conversores A/D, son enviadas a los centros de cálculo y procesamiento lógico (CPU) correspondientes.

b. Respecto al almacenamiento y presentación:

Los datos e informaciones que se obtuvieron son almacenados en los registros de memoria ser usados posteriormente. En relación al modo en que los datos son mostradas al operario, lo efectúa enviando las señales correspondientes a los periféricos como son los display, pantallas (TRC), impresoras, teleimpresores, sistemas de indicadores visuales, etc.

c. Respecto a la supervisión:

El PLC tiene un bloque de supervisión encargado de efectuar la función de alarma y vigilancia (monitoreo). En *caso de alarma* el "supervisor" manda todas las señales a los indicadores respectivos, y mediante los códigos de presentación indica que variables medidas y/o calculadas han excedido o rebosado de los valores referenciales. En el *caso de vigilancia* la labor del "supervisor" es comprobar que

los órganos del sistema funcionen de una forma correcta, además de mandar las instrucciones que le han sido dadas.

d. Respecto a las acciones de control:

Las acciones de control que puede efectuar el PLC dependen de cada aplicación y de la técnica empleada. En general estos se podrán incluir en algunos de los tipos de control que se mencionan luego:

1. *Control lógico*; es el proceso de hacer operaciones booleanas con todas las informaciones disponibles.
2. *Control digital directo (DDC)*; es cuando el PLC trabaja como un regulador automático interviniendo directamente en el control; esto lo realiza por medio de algoritmos elaborados para tal propósito. Como por ejemplo, en el caso que se tenga que hacer un control específico como el proporcional-integral-derivativo (PID). Se menciona que algunos PLCs tienen módulos o fichas que realizan la función PID y se insertan en los racks, e incluso tienen en su biblioteca dichas funciones PID, como los PLCs de MODICON.
3. *Control digital análogo -DAC*; éste control se caracteriza porque los PLCs son destinados a la determinación de los valores referenciales, y que las variables de control no sobrepasen los límites prefijados. De no cumplirse dichas condiciones se envían señales de control a los reguladores análogos para que cumpla su función.

2.4 Componentes básicos de un sistema de PLC

Sin importar el tamaño, coste o complejidad, todos los PLCs comparten los mismos componentes básicos y ciertas características funcionales. Es decir, un PLC siempre tendrá un procesador central, un sistema de entrada/salida, una unidad de memoria, un terminal de

programación, y una fuente de poder (ver la figura 2.2).

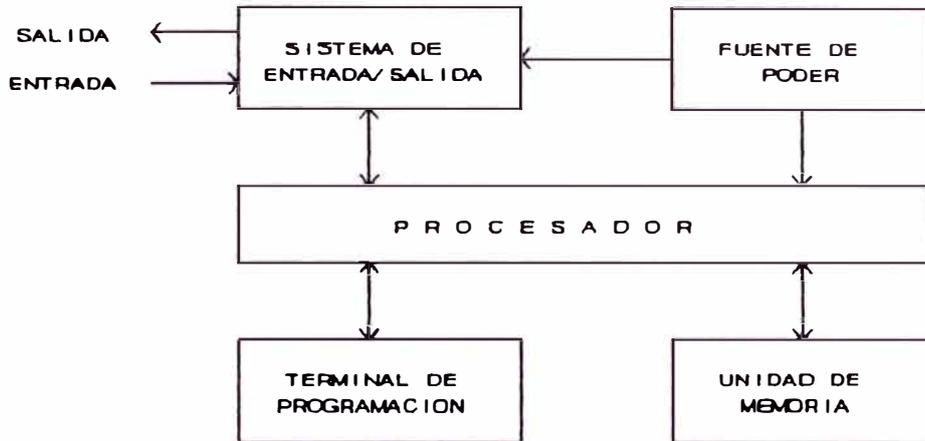


Figura 2.2 Sistema de un PLC típico.

2.4.1 El procesador

Radica en uno o más microprocesadores (μP) estándar o semimedida y otros circuitos integrados que efectúan los cálculos y control de funciones de un sistema de PLC. Como el procesador en la mayoría de PLCs está basado en μP s, se citará las operaciones básicas de éstos.

Un Microprocesador, se define como un conjunto de elementos de circuitos digitales, unidos para formar la unidad de procesamiento de la información (CPU). Los principales elementos del μP se muestra en la figura 2.3.

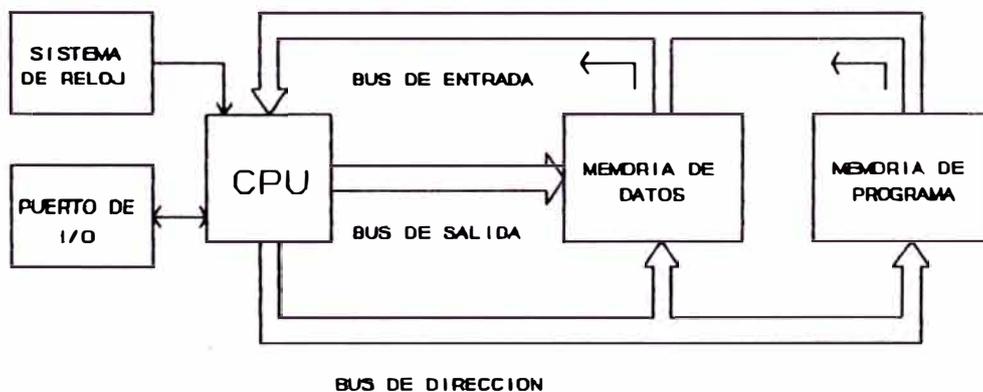


Figura 2.3 Diagrama de bloques de un μP .

Los cinco elementos son:

Un *sistema de reloj* que sincroniza las respuestas de diversos componentes del sistema; una *memoria de programa* a ejecutarse; una *memoria de datos* para almacenar los números que están siendo usados; *puertos de I/O* para conectarse con aparatos exteriores; y una *unidad central de proceso* (CPU) que opera sobre los datos en la secuencia determinada por el programa. Por ejemplo, si el sistema desea hallar la suma de un conjunto de números, estos serán almacenados dentro de la memoria de datos, el programa de suma se guarda en la memoria de programa y los cálculos actuales serán ejecutados por el μP .

La CPU es el punto principal del sistema, gozando por ello de facilidades para guardar el programa de control, y ordenar los datos almacenados. El programa depositado en memoria es un conjunto de números binarios (0 ó 1), los cuales son codificados para indicar los diversos pasos que el μP debe ejecutar. El μP contiene circuitos digitales que pueden decodificar aquellas instrucciones de programa e implementar los pasos del programa escritos.

Una característica importante de un μP es la forma en el cual los tres elementos del sistema (CPU, memoria de datos y memoria de programa) se comunican con otros por medio de los buses. Un **Bus** es definido como un conjunto de conexiones físicas a lo largo del cual la información paralela binaria es transmitida. Sólo una palabra de información puede enviarse por el bus en cualquier instante. Por ejemplo, en la figura 2.3, no se podría permitir que la CPU envíe simultáneamente, una dirección a ambas memorias de programa y datos vía el bus de dirección.

Generalmente la CPU asume el control de diferentes buses por medio de señales especiales, enviadas hacia afuera sobre las líneas

de control a la memoria de datos y programa. Aquellas señales de control son agrupadas bajo el nombre de "Bus de Control".

Dentro del μP existen diversos circuitos digitales denominados "registros", que son utilizados para almacenar números binarios de particular significancia.

Un **Registro** es una memoria rápida, diseñada con semiconductores y algunos dispositivos lógicos que permiten la manipulación de los datos que contienen, o la combinación con datos externos. Algunos registros son usados por la máquina únicamente (registros internos); otros son accesibles al usuario (registros externos) implícita o explícitamente, según los mecanismos de programación de que dispone y emplea.

2.4.2 Sistema de entrada/salida (I/O)

El sistema de entrada/salida (I/O) proporciona la conexión física entre los equipos de proceso. El PLC usa diferentes circuitos de entrada o módulos para sensar y medir las cantidades físicas del proceso, como nivel, temperatura, movimiento, presión, corriente y voltaje. Basados sobre el estado sentido o valores medidos, el μP controla varios módulos de salida para maniobrar los dispositivos de campo tales como, válvulas, motores, bombas y alarmas para ejercer control sobre una máquina o proceso.

2.4.2.1 Entradas

Son instrumentos o sensores de campo, que proveen la información y datos que el procesador central necesita para tomar las decisiones lógicas. Estas señales son recibidas de diversos dispositivos tales como push buttons, termocuplas, etc., que se conectan a los módulos de entrada para filtrar y condicionar la señal para luego ser usado por el procesador.

2.4.2.2 Salidas

Las salidas de el PLC son para activar o desactivar dispositivos de control para regular los procesos o máquinas. Las señales son voltajes de control generados por los módulos de salida, y por lo general no son voltajes de potencia. Por ejemplo, un módulo de salida envía una señal de control que activa la bobina de arranque de un motor. La bobina activada cierra los contactos del arrancador para que encienda el motor. Estos módulos de salida no van en forma directa conectados al circuito de potencia, sino los dispositivos como el arrancador de motor y contactores entregan los voltajes de potencia a los circuitos de los dispositivos de control.

2.4.2.3 Cabina de módulos

Un PLC se fabrica para manipular por arriba de 100 módulos I/O entre discretos, análogos e inteligentes. Estos módulos son montados en cabinas "universales" (figura 2.4), el término universal en este contexto significa que cualquier módulo es posible de ser insertado dentro de cualquier slot de I/O.

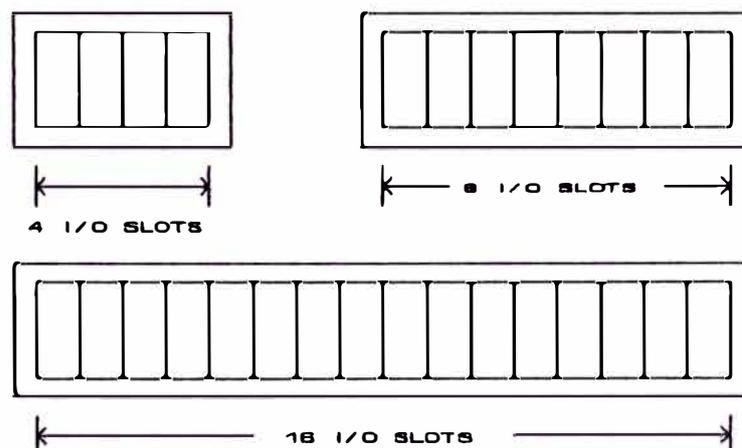


Figura 2.4 *Cabina modular típica de un PLC.*

Las cabinas modulares de I/O están diseñados para que estos módulos puedan ser retirados sin apagar el equipo, o cambiar algún

cable. En general, estos módulos de I/O son armados sobre un tablero de circuito impreso que pueden ser insertados dentro de la cabina de I/O o tarjeta rack (bastidor de tarjeta). El plano posterior de las cabinas en el cual son conectados, posee una tarjeta de circuito impreso que tiene el bus de comunicaciones paralelas de la CPU y los voltajes de alimentación para operar los circuitos lógicos en los módulos de I/O.

Estas cabinas vienen en tres tamaños con 4, 8 o 16 slots como se muestra en la figura 2.4. Pueden ser montados en un panel de control o un sub-panel cerrado. Las cabinas son diseñadas para proteger los circuitos de los módulos I/O del polvo, suciedad, ruido eléctrico, y la vibración mecánica.

Generalmente los módulos son diseñados en forma estándar para un amplio rango de fabricantes y aplicaciones de procesos. Los tipos de I/O que existen son: discretos, análogos, digitales e inteligentes.

2.4.2.4 Módulos de entrada/salida discretos

Los módulos discretos es la clase más común de entrada/salida en un PLC. Este módulo de interfase conecta al procesador dispositivos de campo que tienen uno de los 2 estados, on/off o abierto/cerrado.

Dispositivos de Entrada	Dispositivos de Salida
-----	-----
Interruptores de Selección	Anunciadores
Pulsadores	Relés de Control
Células Fotoeléctricas	Ventiladores
Interruptores de Límite	Lámparas
Compuertas Lógicas	Compuertas Lógicas
Interruptores de Proximidad	Alarmas Sonoras
Interruptores de Procesos (nivel, flujo, etc.)	Válvulas Eléctricas
Contactos de Relés	Alarmas Luminosas

Tabla 2.1 *Dispositivos de campo I/O discretos.*

Cada módulo de I/O discreto está diseñado para estar activado

por alguna señal de voltaje suministrada en campo, tal como 220 VCA, 120 VCA y así sucesivamente. Los dispositivos discretos más comunes se listan en la tabla 2.1, y los rangos de voltajes para los cuales los circuitos de interfase I/O están disponibles en la tabla 2.2.

Señales Discretas	
5 V dc	100 V dc
12 V dc	120 V ac/dc
24 V ac/dc	220 V ac/dc
48 V ac/dc	

Tabla 2.2 Rango de voltajes I/O discretos.

En un **módulo de entrada discreta** si un interruptor de entrada está cerrado, la interfase del módulo sensa el voltaje generado y lo convierte en un nivel de señal lógica apta al procesador indicándole el estado de ese dispositivo. Un uno lógico indica ON o cerrado, y un cero lógico indica OFF o abierto. La figura 2.5 muestra un módulo típico de entrada. La mayoría de estos módulos tienen un diodo led para indicar el estado de cada entrada.

En un **módulo de salida discreta**, el circuito de interfase de salida cambia el voltaje de control suministrado que activa o desactiva el dispositivo de campo. Si una salida está en ON a través del programa de control, el voltaje de control provisto es conmutado por el circuito de interfase para activar el dispositivo de salida referido (direccionado).

La figura 2.6 nos muestra un módulo de salida discreto típico, y está concebido como un interruptor simple a través del cual provee potencia para controlar el dispositivo de salida. En una operación normal, el procesador envía el estado de salida determinado por el programa lógico al módulo de salida, variando la potencia del

dispositivo de campo.

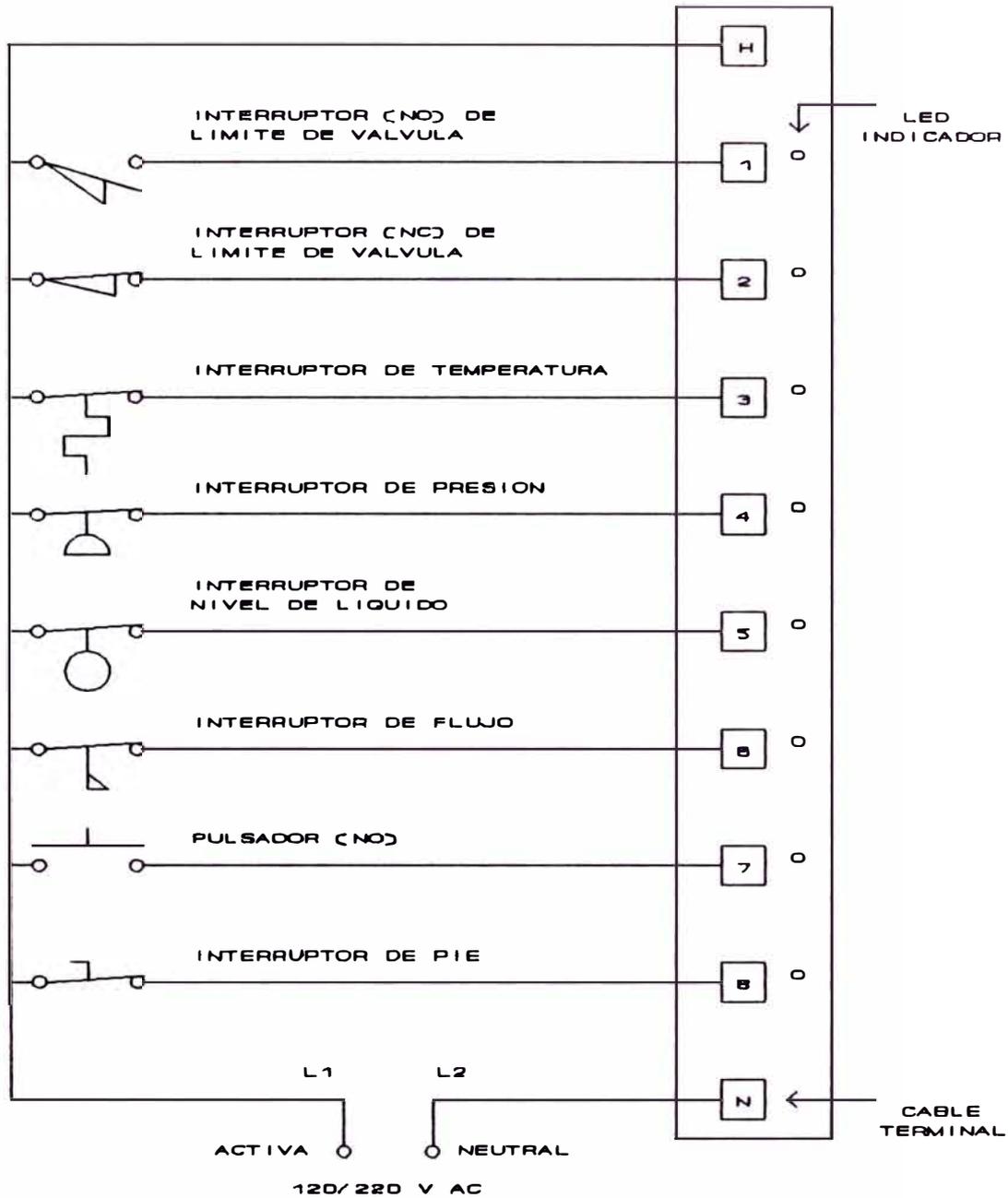


Figura 2.5 Módulo de entrada discreta.

Un fusible eléctrico está proveído normalmente en el circuito de salida del módulo para evitar excesiva corriente y dañarlo. Si el fusible no está proveído en el módulo de salida, debería estar en el diseño del sistema.

La mayoría de estos módulos de salida usan opto-aisladores para separar los voltajes de campo de los circuitos lógicos en el módulo.

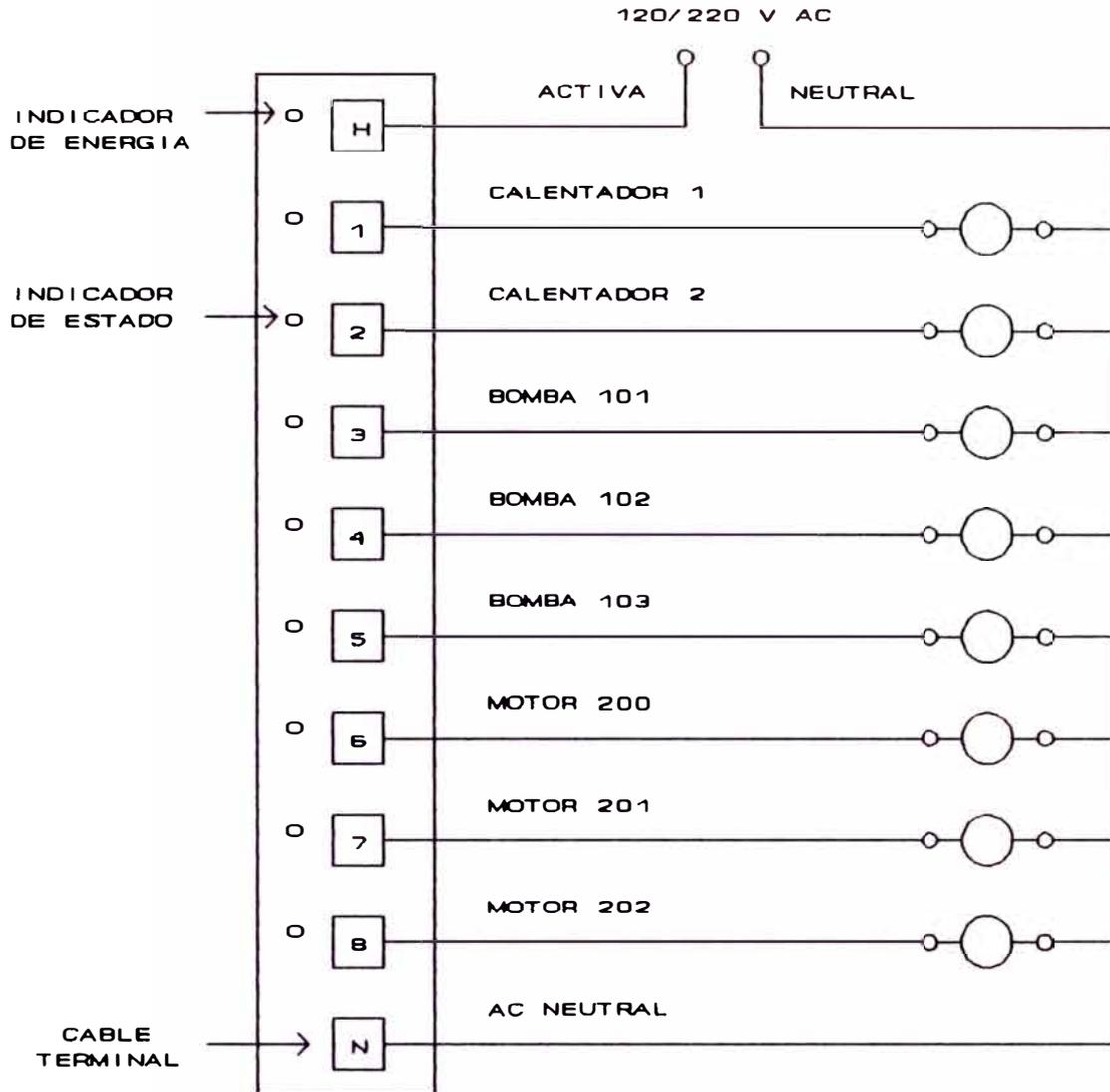


Figura 2.6 *Módulo de salida discreta.*

2.4.2.5 Módulos de entrada/salida (I/O) analógicos

Estos módulos I/O analógicos permiten el monitoreo y control de voltajes y corrientes analógicas, que sean compatibles con muchos sensores, motores generadores, e instrumentos de proceso. Con el uso de las I/O analógicos, la mayoría de las variables de proceso pueden ser medidas o controladas con una interfase apropiada. La tabla 2.3 lista los dispositivos analógicos más comunes de entrada/salida.

Las interfases I/O analógicos están disponibles para diferentes clasificaciones estándar, unipolar (polaridad única) y bipolar

(polaridad negativa y positiva). Ver tabla 2.4.

Dispositivos de Entrada	Dispositivos de Salida
Transmisores de Flujo	Medidores Análogos
Transmisores de Presión	Motores Eléctricos
Transductores de Nivel	Válvulas Eléctricas
Transd. de Temperatura	Válvulas Neumáticas
Instrumentos de Análisis	

Tabla 2.3 Dispositivos de I/O analógicos típicos.

Señales Analógicas	
1 a 5 V dc	4 a 20 mA
0 a 5 V dc	0 a 20 mA
- 5 a 5 V dc	-20 a +20 mA
-10 a +10 V dc	0 a 10 V dc

Tabla 2.4 Rango de voltajes I/O analógicos.

En la mayoría de casos, una interfase única de entrada/salida puede tener dos o más diferentes clasificaciones y poder satisfacer ya sea un requisito de voltaje o corriente. Las clasificaciones se aprecian en el hardware (interruptores o jumpers) o software.

2.4.2.6 Módulos de entrada/salida (I/O) digitales

Los módulos digitales (I/O) son análogos a los módulos discretos (I/O) porque una señal ON/OFF será procesado. Pero, la diferencia principal es que la interfase I/O discreta requiere sólo un único bit para leer una entrada o controlar una salida. En cambio, los módulos digitales procesan un grupo de bits discretos en forma paralela o serial.

Los dispositivos que van conectados a estos módulos son lectores de códigos de barra, códigos binarios, etc. Algunos instrumentos que son manejados por módulos de salida digitales incluyen leds, display BCD, y paneles inteligentes.

2.4.2.7 Módulos entrada/salida (I/O) inteligentes

Los módulos discretos, analógicos y digitales cubren normalmente el 90% de las aplicaciones encontradas en los PLC. Sin embargo, para procesar ciertos tipos de señales o informaciones eficientemente, el PLC requerirá de módulos especiales. Estas interfases especiales incluyen aquellas que condicionan las señales de entrada, tal como módulos termocupla, u otras señales que no pueden ser conectadas usando módulos I/O estándar (ver figura 2.7).

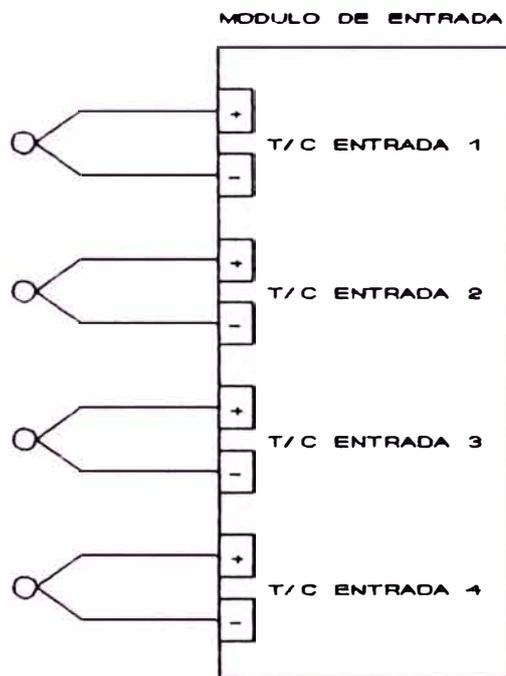


Figura 2.7 Diagrama de conexión de un módulo termocupla.

Estos módulos pueden valerse de un microprocesador para añadir inteligencia a la interfase y de esta forma desempeñar las funciones de procesamiento, independientes del procesador central y del programa de control.

2.4.3 La memoria central

La memoria de un sistema informático que está escindida en dos partes: la *memoria central*, que está dentro de la UC, y la *memoria*

masiva (discos, disquetes, bandas magnéticas, etc.), situado en los periféricos. Las consideraciones técnico-económicas, compromiso de velocidad, capacidad y coste nos han conducido al desarrollo de todo un rango de memorias de características complementarias. Por ejemplo si se desea una memoria altamente rápida (tipo cache), es de baja capacidad y tiene un coste elevado.

La *memoria central* está creada para contener todos los datos indispensables para el funcionamiento del sistema y su explotación. Una parte está reservada al *software* o sistema de programación, creado, desarrollado y provisto por el constructor (en todo o parte) y cuyo objetivo es posibilitar la puesta en acción del sistema. Sin el software el usuario tendría que limitarse a codificar la máquina en su lenguaje nativo (código binario).

Todo o parte de este software del sistema, reside en forma permanente en la memoria central según su grado de refinamiento y la capacidad de la máquina para soportar una memoria masiva eficaz: disco, diskettes. El PLC concebido para los ambientes industriales, no se conecta a estos periféricos, sensibles al ambiente cuando está en explotación. El *software básico de explotación es completamente residente*. Se verá que no ocurre lo mismo con el software básico del desarrollo de aplicaciones.

La memoria central tiene igualmente el software de aplicación, conjunto de programas hechos por el usuario para la explotación del sistema. También memoriza los *datos*, constantes o variables, que son usados o producidos por los programas de aplicación.

Estas unidades de memoria son montados sobre placas de circuitos y están generalmente especificado en miles o K incrementos (1K tiene $2^{10}=1024$ palabras) de espacio de almacenamiento. La capacidad de

memoria del PLC puede variar desde menos de 1K a más de 64000 (64k) palabras dependiendo del tipo de PLC. Es decir, la complejidad del plan de control determinará la cantidad de memoria requerida.

2.4.3.1 Tipos de memoria

Aunque hay varios tipos de memoria en la computadora, siempre se puede clasificar como volátiles o no volátiles. La *memoria volátil* pierde su información, si la fuente de alimentación es desconectada. Así mismo, es fácil de alterar y muy apropiada para las aplicaciones de programación cuando tienen una batería backup y/o una copia registrada del programa en uso. La *memoria no volátil* retiene sus datos y programas inclusive si se quitara la fuente de alimentación. Esta memoria no requiere un sistema de backup.

Se considera como memoria volátil a la memoria RAM (Random Access Memory) y no volátil a la memoria ROM (Read Only Memory). Dentro de las ROM se perciben diversos tipos tales como: PROM, EPROM, EEPROM, etc., todas con cualidades propias de grabado y borrado. Las figura 2.8 y 2.9 nos muestran a las memorias RAM y ROM.

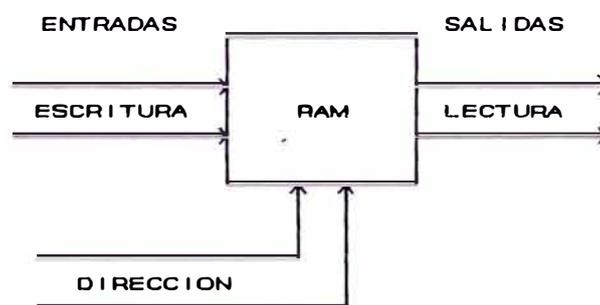


Figura 2.8 Memoria RAM.

Los PLCs en la mayoría de los casos, usan memoria RAM con batería de reserva (backup) para aplicaciones de memoria. La RAM provee unos excelentes medios para crear y alterar fácilmente un

programa de control así como permitir los datos de entrada. En comparación con otro tipo de memoria, ésta es relativamente rápida. La única desventaja importante de esta memoria RAM soportada por baterías es que podría fallar en un tiempo crítico, pero es más que suficiente para las aplicaciones de estos controladores.

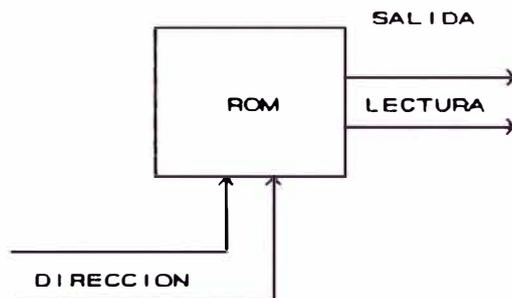


Figura 2.9 Memoria ROM.

En cambio, raramente usan memoria ROM para aplicaciones de programas de control. Sin embargo, en aplicaciones que requiere información fija, las ROM ofrecen ventajas donde velocidad, coste y la confiabilidad son factores importantes. Por lo general, los programas de PLC basados en ROM son creados en la fábrica por el fabricante del chip. Una vez que el conjunto de instrucciones está programado, nunca puede ser alterado por el usuario, razón por la cual, esta memoria se encuentra en PLCs dedicados.

2.4.4 Aparatos de programación

Los aparatos de programación son utilizados para ingresar, almacenar y monitorear el software del PLC, pueden ser dedicados o computadoras personales que generalmente tienen cuatro componentes básicos: teclado, monitor, microprocesador, y cable de comunicación.

El terminal de programación es conectado al PLC durante la programación o localización de averías del sistema de control. De lo contrario, el terminal de programación es desconectado del sistema.

Los terminales más comunes de Programación son:

1. Programador de bolsillo (portátil).
2. Terminal de programación industrial.
3. Programador basado en la computadora personal.

Los *programadores de bolsillo* o portátiles son unidades baratas, usados para programar PLCs pequeños. La mayoría de aquellas unidades se asemejan a las calculadoras portátiles, pero tienen displays más grandes y un teclado diferente. Los displays son LEDs (diodo emisor de luz) o matriz de puntos LCD (display de cristal líquido), y el teclado consiste de teclas alfanuméricas con instrucciones de programación y funciones especiales. Aún cuando son principalmente empleados para introducir y ejecutar el programa de control, los programadores portátiles se usan para probar, monitorear y cambiar el programa. La Figura 2.10 muestra un programador de bolsillo.



Figura 2.10 Programador portátil.

El *terminal de programación industrial* mostrado en la figura 2.11, es un dispositivo inteligente que expone no solamente el programa de control sino que también provee funciones de edición de programas, independientes del PLC. Este programador industrial tiene: un display de tubo de rayos catódicos (TRC), memoria interna y un software que crea, modifica y monitorea los programas. El TRC es una herramienta poderosa para programar, debido a que el programa de control puede ser editado y observado sin que se conecte al PLC (modo off line).



PanelMate Plus I

Figura 2.11 Terminal inteligente.

La última creación en terminales de programación son de IBM los *computadores personales compatibles*. Estas unidades contienen todos los caracteres distintivos de terminales industriales tales como editar y almacenar los programas. Pero, le han añadido caracteres

distintivos como impresiones de programa automática y conexión a redes de área local (LANs). Las redes locales permiten al ingeniero o programador acceder a cualquier PLC de la red, de tal manera que cualquier dispositivo en la red pueda ser monitoreado y controlado. Un ejemplo típico de éste se muestra en la figura 2.12.

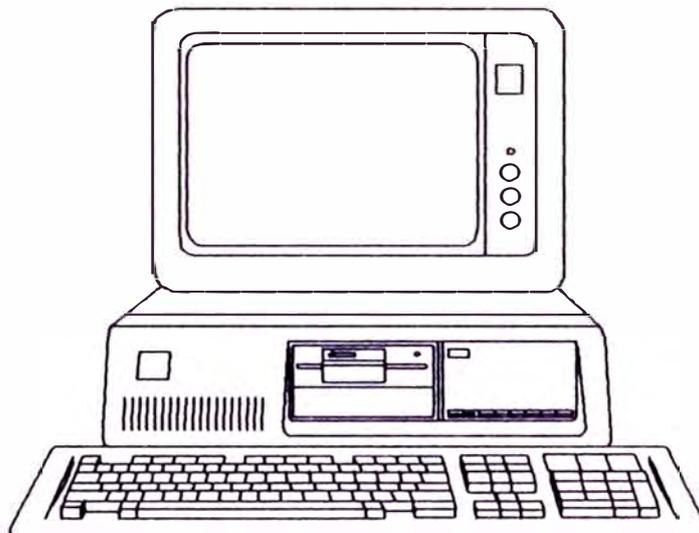


Figura 2.12 Computadora personal.

2.4.5 Fuente de alimentación (power supply)

La fuente de alimentación convierte voltajes de línea de CA a voltajes DC para circuitos electrónicos contenidos en un sistema de PLC. Además estas fuentes rectifican, filtran y regulan el voltaje y corriente para suministrar las cantidades correctas al sistema. También convierte las tensiones de voltaje de línea (120 ó 240 V CA) en voltajes de corrientes continuas tal como +5 V ó ± 15 V DC.

La fuente de alimentación para un PLC puede estar integrado con el procesador, memoria y módulos I/O en una misma cabina, o podría ser una unidad separada conectada al sistema a través de un cable, como unas expansiones del sistema para incluir más módulos I/O o de funciones especiales. Muchos PLCs requieren de una fuente adicional

o auxiliar para satisfacer la demanda de corriente en caso de ser solicitada.

Estas fuentes están diseñados comúnmente para eliminar el ruido eléctrico presente en la línea CA de las plantas industriales, de modo que este ruido no introduzca errores en el sistema de control. Además son hechos para temperaturas y humedades altas, normales en la mayoría de entornos industriales.

2.5 Lenguajes de programación

El lenguaje de programación permite al usuario poder comunicarse con los PLCs a través de un panel o dispositivo de programación. Los fabricantes usan diferentes tipos de lenguaje de programación, pero todos transmiten al sistema por medio de instrucciones, un plan de control básico.

Un plan o programa de control se define como un conjunto de instrucciones que están ordenados en una secuencia lógica para controlar las acciones de un proceso o máquina. Así por ejemplo, el programa podría dirigir directamente al PLC para arrancar un motor cuando un pulsador es presionado y al mismo tiempo encender sobre el panel de control un LED que señale arranque cuando los contactos auxiliares del motor están cerrados.

Un programa está escrito combinando instrucciones en un cierto orden. Algunas reglas gobiernan la manera en que las instrucciones serán combinadas, estas combinaciones de reglas e instrucciones forman un lenguaje.

Los cuatro tipos más comunes de lenguajes encontrados en los PLC son como siguen:

1. Ladder diagram (diagrama en escalera).
2. Booleam logic (lógica booleana).

3. Funcion blocks (diagrama de funciones).
4. (Grafcet).

De las cuatro, el que analizaremos es el diagrama en escalera por ser el lenguaje empleado en el desarrollo del proyecto y el más utilizado por los PLCs.

2.5.1 Diagrama en escalera (esquema de contactos)

El lenguaje más comúnmente utilizado es la lógica en escalera, la razón de ello es relativamente simple porque el PLC original fue diseñado para reemplazar a los sistemas de control basados en relés eléctricos. Estos sistemas fueron diseñados por los ingenieros y técnicos usando un lenguaje simbólico llamado diagrama de escalera. Este diagrama consiste en una serie de símbolos interconectados por líneas para indicar el flujo de corriente a través de diversos dispositivos. El dibujado de escalera básicamente consiste de dos cosas: Primero es la *fuerza de poder*, que forman los lados de la escalera (carriles), y segundo es la *corriente que fluye* a través de los diversos dispositivos de entrada lógicos que forman los peldaños de la escalera.

En diseño eléctrico, el diagrama de escalera muestra sólo el conjunto de circuitos necesario para la operación básica del sistema de control. Otro diagrama, llamado el diagrama alambrador, muestra la conexión física de los dispositivos de control. Los diagramas de los módulos I/O discretos mostrados anteriormente son ejemplos de diagramas alambreadores. Un diagrama eléctrico en escalera típico es mostrado en la figura 2.13, en este diagrama un pulsador (PB1) es utilizado para energizar un relé de arranque de bomba (CR1) si el nivel en uno de los tanques de reserva de líquido no es alto. Cada dispositivo tiene marcado un símbolo especial para llevar a cabo la

lectura del diagrama más fácil y rápido.

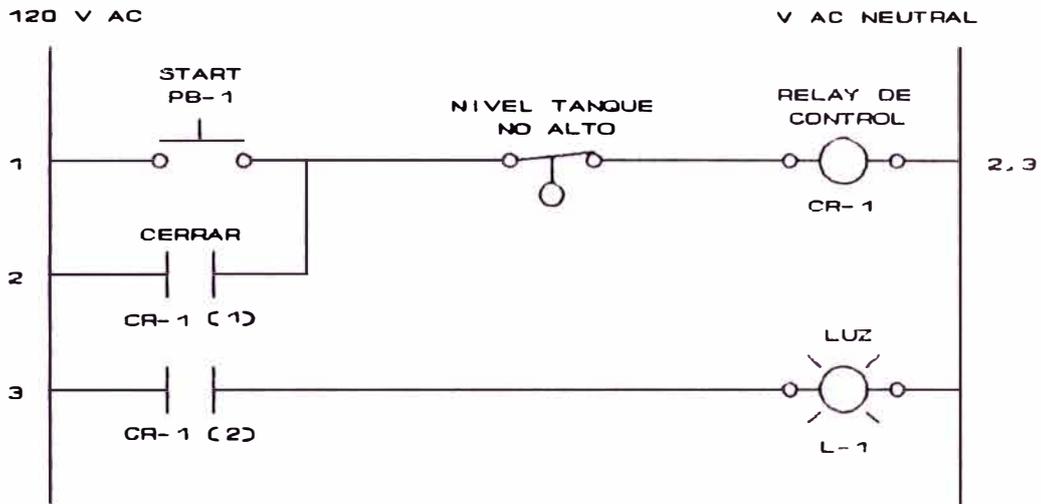


Figura 2.13 Diagrama eléctrico en escalera.

La misma aplicación de control puede hacerse utilizando el programa del diagrama de escalera del PLC que aparece en la figura 2.14. Los programas son leídos de la misma manera de izquierda a derecha, con las condiciones de entrada lógicas por la izquierda y las salidas lógicas por la derecha. En los diagramas eléctricos allí debería haber continuidad eléctrica para energizar los dispositivos de salida; mientras que para los PLC el programa en escalera debe tener continuidad lógica para energizar la salida.

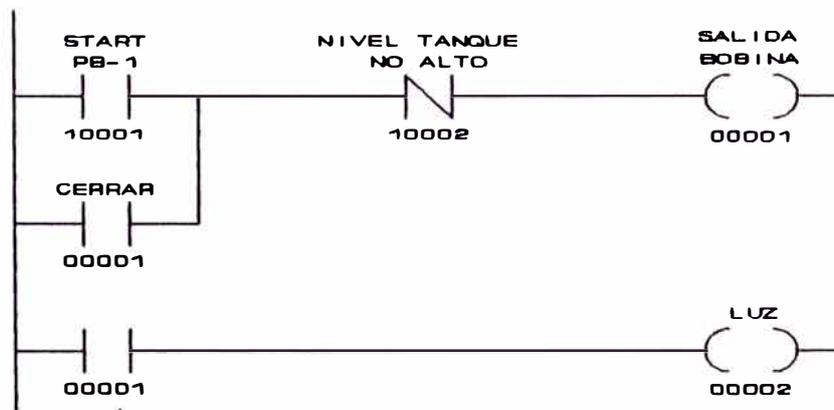


Figura 2.14 Programa en lógica escalera.

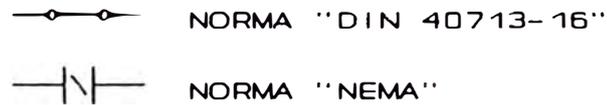
2.5.2 Identificación de variables

En todos los programas de escalera, tres instrucciones básicas o símbolos son utilizados para formar el programa. Para ello se tendrá en cuenta la norma DIN 40713-16 y la norma NEMA. Los símbolos son:

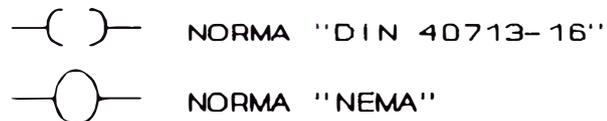
1. El primer símbolo corresponde a un relé normalmente abierto.



2. El segundo símbolo corresponde a un relé normalmente cerrado.



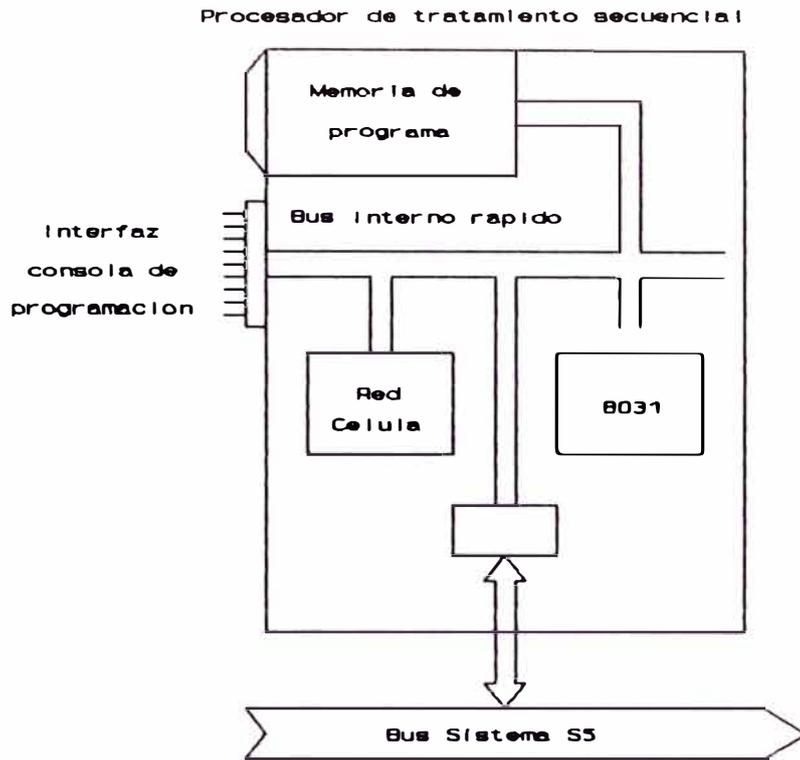
3. El tercer símbolo corresponde a una bobina.



2.6 Los PLC multiprocesadores

En su origen el PLC era monoprocesador. La necesidad a la cual estaba destinado a satisfacer lo permitía; la tecnología y los costes lo imponían. La mayoría de los sistemas de PLCs son todavía monoprocesadores y suministran muy ampliamente las prestaciones que de ellos esperan sus usuarios.

La distribución de la "inteligencia" se hace en forma gradual para participar del progreso de la microelectrónica y acrecentar la potencia de las máquinas de alta gama. En primer lugar se han asumido dos direcciones: los microprocesadores especializados y las entradas/salidas.



UNIDAD CENTRAL COMPLETA INTEGRADA

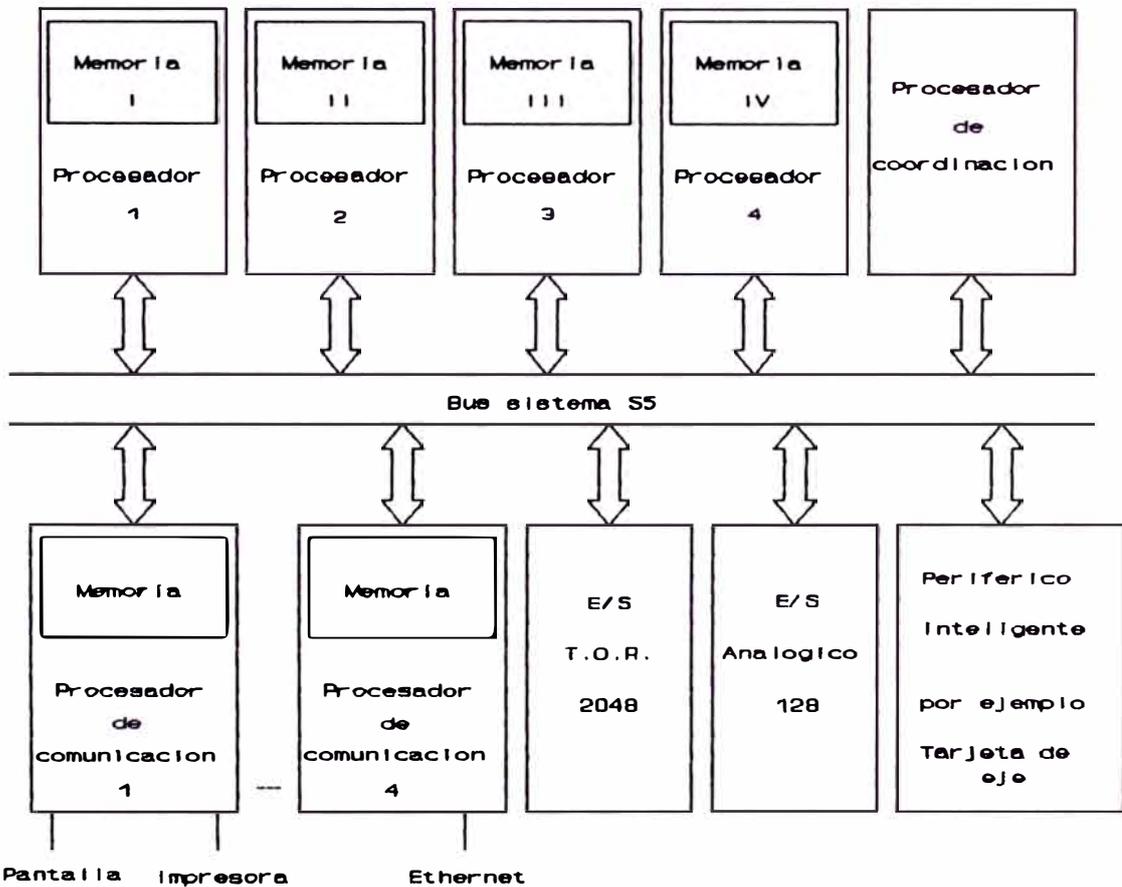


Figura 2.15 *PLC Multiprocesador.*

Después de 1985 surgió una forma de generalización de las estructuras de multiprocesadores en un contexto de multitareas y multilenguajes.

Ejemplo: Siemens propone su S5-135 U de una arquitectura mixta o procesadores especializados (figura 2.15).

2.6.1 Evolución de su arquitectura

Para comprender la evolución de su arquitectura, hay que partir del origen de los PLC. Estas máquinas son destinadas a tratar una clase particular de aplicaciones (automatismos secuenciales y lógicos) sin prescindir de los hombres y de la organización que estaban a su cargo.

Después de la fase de demostración de la eficacia técnico-económica de este sistema (teniendo presente que esto era del dominio de la informática universal) los usuarios han descubierto otras virtudes de los PLC. Se les ha utilizado para efectuar:

1. *tratamientos numéricos*: de gestión técnica, además de cálculos científicos y técnicos;
2. *tratamientos de señales (analógica)*: en medición, regulación, y servosistemas;
3. *comunicaciones*: hombre-máquina y máquina-máquina elaboradas en el dominio de redes: seguimiento de la explotación, control, control manual asistido.

Este desarrollo ha sido mantenido por el interés de los proveedores de PLC, que veían extenderse el canal del mercado en detrimento de sus concurrentes del sector de la informática industrial.

De esta manera, los diseñadores de los PLC han debido:

Salvaguardar su propósito inicial;

Presentar, en este contexto, soluciones de útiles prestaciones;
Satisfacer las crecientes preocupaciones de seguridad y de
disponibilidad engendradas por la extensión del empleo de los
PLC.

Ahora bien, la estructura convencional de los monoprocesadores,
de un solo bus y dotadas de una memoria central se evidenciaron
insuficientes para aplicaciones ambiciosas, por ejemplo:

Acceder a la memoria creaba una angostura de estrangulamiento;

El bus estaba demasiado cargado en permanencia;

La imbricación de tareas de naturaleza diferente (secuencia,
cálculo, regulación, comunicación, etc.) imponía una gestión
compleja que repercutía en la estructura, el volumen y las
prestaciones del sistema de explotación;

La disponibilidad de la unidad central, por lo demás excelente
era puesta en situación de riesgo a causa de la sobrecarga,
provocando un estado de vulnerabilidad del sistema, incompatible
con los sistemas de explotación (tiempos de respuesta) y de
seguridad, simultáneamente acrecentada por la nueva complejidad.

Los diseñadores han tenido que concebir unidades inteligentes
especializadas para las diversas tareas del autómatas. Para conservar
la simplicidad de la puesta en ejecución, se ha procurado conservar
una programación única, estando implícito el recurso a unidades de
tratamiento especializadas y sobretodo transparentes al usuario.
Para demostrar este punto, el ejemplo más elocuente es el de las E/S
analógicas. Un captador o sensor de temperatura (o de presión, etc.)
envía una señal por una entrada analógica. Esta señal es convertida
por un conversor análogo-digital (ADC) en un valor numérico que será
almacenado en la memoria del PLC en la zona reservada a este efecto.

Esta operación, aparentemente simple, solicita varias acciones de la unidad central:

- muestreo (ritmo o cadencia) de la medición;
- linealización (relación proporcional);
- puesta en escala;
- validación de la medición (vigilancia de los captadores) y;
- comparación de umbrales.

La carga de la UC crece considerablemente con el número de medidas efectuadas. Habrá que tratar pues los valores así obtenidos y actuar en consecuencia. Aquí es evidente que la UC no tiene que conocer más que las mediciones ya elaboradas, el pretratamiento puede ser confiado a un procesador local.

Adoptando un módulo de medida inteligente, es decir, dotado de una lógica propia (microprocesador + memoria) capaz de ejecutar los pretratamientos, se gana en potencia de tratamiento y en tiempo de comunicación, debido a que sólo son intercambiadas las mediciones ya elaboradas (pretratadas). La puesta en acción de este módulo es casi inmediata, su especialización permite restringir la programación de un simple parametrage, el cual se realiza por un diálogo pregunta-respuesta sin lenguaje complejo.

2.7 Los aportes de los PLC

El objetivo de esta sección es situar de manera concreta las principales ventajas del PLC en un proyecto de automatización, para lo cual se enfocará desde los puntos de vista *concepción-instalación* y *explotación-mantenimiento*.

a. En el plano concepción-instalación

El propósito del PLC consiste en que sea ésta una herramienta manejable por el usuario con facilidad. En efecto, está dotado de un

dispositivo de diálogo, *la consola de programación*, adaptado al modo de pensamiento y necesidad del técnico de proceso. Su estructura y el simbolismo unido a las representaciones tradicionales de la lógica cableada, hacen de él una herramienta directamente accesible. Los *dispositivos auxiliares* asociados: impresora, memoria, etc. son otros tantos medios que el usuario descubrirá al cabo de muy poco tiempo de práctica y cuyas aportaciones apreciará.

En la fase de concesión, presenta la ventaja con respecto a las otras funciones cableadas, de permitir un trabajo muy completo independientemente del lugar. El proyecto crece desde el principio con una seguridad que resulta del grado de libertad introducido por la dualidad *equipo-programas (hardware-software)*. El equipo modular, permite rápidamente adaptarse a las nuevas exigencias.

El proceso se adapta directamente a las interfases de I/O del PLC. Generalmente se sabe que éste no es el caso cuando se usa un miniordenador. Este único aspecto permite la reducción del coste y complejidad a la tercera parte en favor del PLC.

El conjunto de programas o *software* provisto por el fabricante, y los programas desarrollados por el diseñador del automatismo, se conciben y se pueden variar fácilmente según sean las necesidades. Este trabajo en paralelo con el soporte material (*hardware*) y los programas están integrados en una fase de *simulación* particularmente eficaz para la *puesta a punto* del sistema. Posterior a esta etapa, el automatismo debe ser probado en el mismo lugar, reduciendo así al mínimo las perturbaciones creadas en la explotación.

Referente a los equipos, su simplicidad permite una formación rápida del personal dedicado a los nuevos productos. La introducción de estos equipos PLCs, no crea ninguna alteración en la organización

de los departamentos establecidos en la empresa.

En esto conviene aprovechar la ventaja del PLC con relación a una solución informática del tipo de micro o miniordenador. Aunque dotado de la misma flexibilidad debida a su naturaleza programable, esta solución exige la formación de equipos especializados. La preparación del personal es aquí más delicada, siendo en general, el contexto "tiempo real" de la información industrial difícil de dominar rápidamente.

Se puede concebir el PLC como la primera etapa indispensable de la automatización de los procedimientos complejos, pudiendo hacerse hasta el último nivel de la gestión integrada. Esta consecución yuxtapone en el seno del mismo conjunto conceptual, una parte puramente técnica (el automatismo) y otra parte no solamente técnica (la gestión). Esta última concierne a las herramientas y primeras materias así como a la producción: control del desgaste o deterioro, tiempos muertos, gestión de los incidentes, ritmo de producción, balances, materia y energía. A veces es más ambiciosa y entonces trata del conjunto de los datos y parámetros que permiten ligar a la producción con la actividad comercial y financiera de la empresa: pedidos, precios de coste o de fábrica, rendimientos. Este nivel de objetivo, tan ambicioso como complejo, es de naturaleza informática por necesidad. El uso del PLC es un preámbulo, que no compromete a quien toma las decisiones de un modo irreversible, y permite el tratamiento y la integración progresiva del nivel de automatización.

Permite lograr (o por lo menos sensibilizar) una metodología de conducta de los proyectos de software (análisis, programación, etc). Así también familiariza al personal técnico con la configuración de la máquina.

b. En el plano explotación-mantenimiento

La explotación de los automatismos secuenciales concebidos a base de un PLC, puede ser adaptada al contexto de la empresa por la potencia de las diferentes funciones ofrecidas por estas máquinas. Es conveniente organizar el diálogo-operador en varios niveles de responsabilidad, gracias a dispositivos normalizados (consola de programación, unidad de diálogo en línea, etc.). La posibilidad de cambiar el programa para satisfacer a las nuevas condiciones de explotación, y la de registrar en un teleimpresor o impresora un diario de servicio, son en especial valiosas y hasta desconocidas en la tecnología cableada tradicional.

Un progreso reciente de la puesta en servicio de los PLCs es el de confiarles misiones de diagnóstico sobre el funcionamiento del proceso. En efecto, se sabe que el 90% de las averías son originadas por éste. El PLC puede programarse para facilitar la identificación y localización de las averías, admitiéndose el nivel de complejidad de la programación, que representa aprox. hasta 3 veces el volumen de la complejidad del algoritmo de mando. Estas misiones resultan ser de una importancia mayor que la del propio mando; Así, una avería de un minuto en una cadena de un constructor de automóviles le cuesta la producción de un coche, es decir, millares de dólares menos de beneficio.

El 10% restante concierne al propio PLC y de ello las nueve décimas partes a las entradas/salidas. La fiabilidad aportada por el PLC representó un progreso, aunque originalmente estas máquinas eran dotadas con dispositivos rudimentarios de autodiagnóstico. En la actualidad, su modularidad permite, una vez detectada y localizada la avería, sustituirlo con un módulo "sano" el defectuoso, y luego

enviarse al constructor para su reparación. La mayoría de los PLC son todavía de este tipo, pero en los años ochenta surgieron una nueva clase de máquina cuyo fin es la máxima disponibilidad y la óptima seguridad de funcionamiento. Gracias a estos desarrollos, los PLCs han efectuado sensibles progresos en cuanto a la tolerancia de averías, excepto posiblemente los más rudimentarios.

Además el PLC puede ser manejado por su usuario sin requerir de un tiempo de formación especializada, contrariamente a lo que ocurre con los miniordenadores.

2.8 Controladores lógico programables de la familia MODICON 984

Un controlador programable 984 es un computador de propósito especial con capacidad de procesamiento digital, diseñado para aplicaciones de control en tiempo real en la industria. En esencia, un controlador programable monitorea el estado de los dispositivos de campo recibiendo señales desde sus módulos de entrada, resuelve el programa lógico de usuario vía la CPU, y dirige la actividad de los dispositivos de campo enviando señales de control desde sus módulos de salida.

Estos PLCs ofrecen un amplio rango de compactos, pequeños y CPUs de alta performance, que a pesar de su implementación particular del hardware, usan una arquitectura de procesamiento común; todas ellas son programables con la *Lógica en Escalera*, potente lenguaje gráfico que emula la simbología de relés, compartiendo instrucciones comunes de cálculos, tales como: transferencia de datos (DX), matrices y funciones especiales de aplicación (PID). Modicon también provee varias estrategias de redes, permitiendo interconectar múltiples controladores y otros dispositivos para incrementar las aplicaciones de control e intercambio de datos.

2.8.1 Arquitectura de control de la familia 984

Todos los controladores de esta familia tienen una arquitectura de procesamiento común, que implica: (ver figura 2.16)

Una sección de memoria que almacena la lógica del usuario, la RAM estática, un sistema general de backup en CMOS RAM con baterías, y el sistema central ejecutivo que es almacenado en memoria ROM no volátiles.

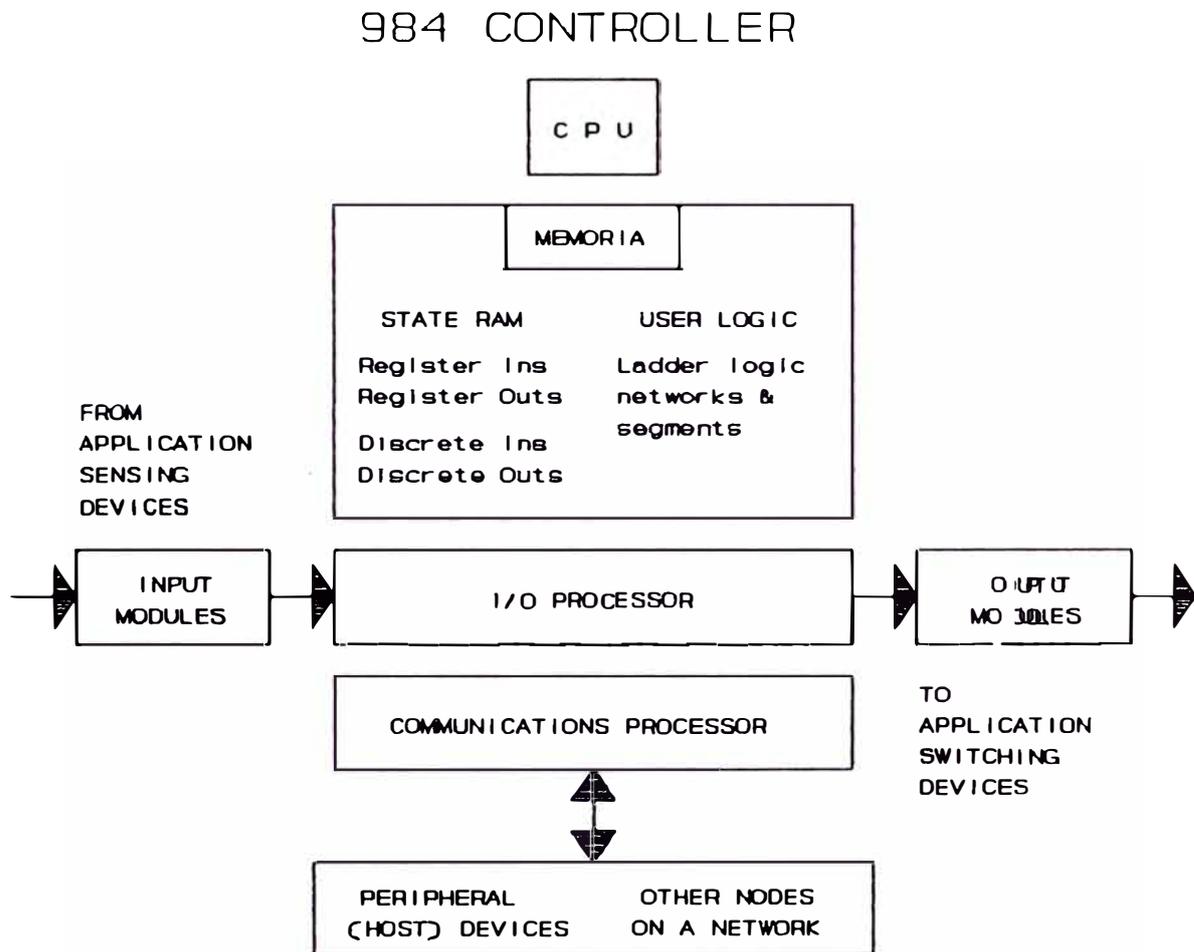


Figura 2.16 *Arquitectura del PLC 984.*

Una CPU que resuelve los programas lógicos de usuario basados en los valores de entrada de la RAM estática, actualizando luego los valores de salida de la RAM estática.

Una sección de procesamiento de I/O, que dirige el flujo de señales desde los módulos de entrada hacia la RAM estática y provee un camino sobre el cual las señales de salida de la CPU (resueltas) son enviadas a los módulos de salida.

Una sección de comunicaciones que tiene uno o más puertos de interfase, que permiten al PLC comunicarse con los paneles de programación, computadoras, instrumentos de diagnóstico handheld, y otros periféricos principales tales como controladores adicionales y nodos sobre redes de comunicaciones.

2.8.2 Estructura de la memoria RAM estática

Como parte del proceso de configuración del PLC 984 (usando el editor de configuración en el panel de software), se tiene que especificar el número de entradas discretas, salidas discretas o bobinas, y registros de almacenamiento provistas para aplicaciones de control. Esas entradas y salidas son colocadas en una tabla de palabras de 16 bits en un área de sistema de memoria llamada RAM estática (figura 2.17).

Las palabras son ingresadas dentro de la tabla de RAM estática de arriba hacia abajo en el siguiente orden, las palabras discretas entran primero de arriba abajo según un procedimiento de entrada, primero las palabras 0x seguido inmediatamente por las palabras 1x. Continúan los registros de valores; los bloques de registros de 3x y 4x deben cada uno empezar en una palabra que es múltiplo de 16. Por ejemplo, si se coloca 5 palabras para 80 referencias 0x y 5 palabras para 80 referencias 1x (5 palabras x 16 bits/palabra = 80), se usará las palabras 0001 ... 0010. Las palabras 0011 ... 0016 quedan vacías tal que las primeras 3x referencias empiecen en la palabra 0017.

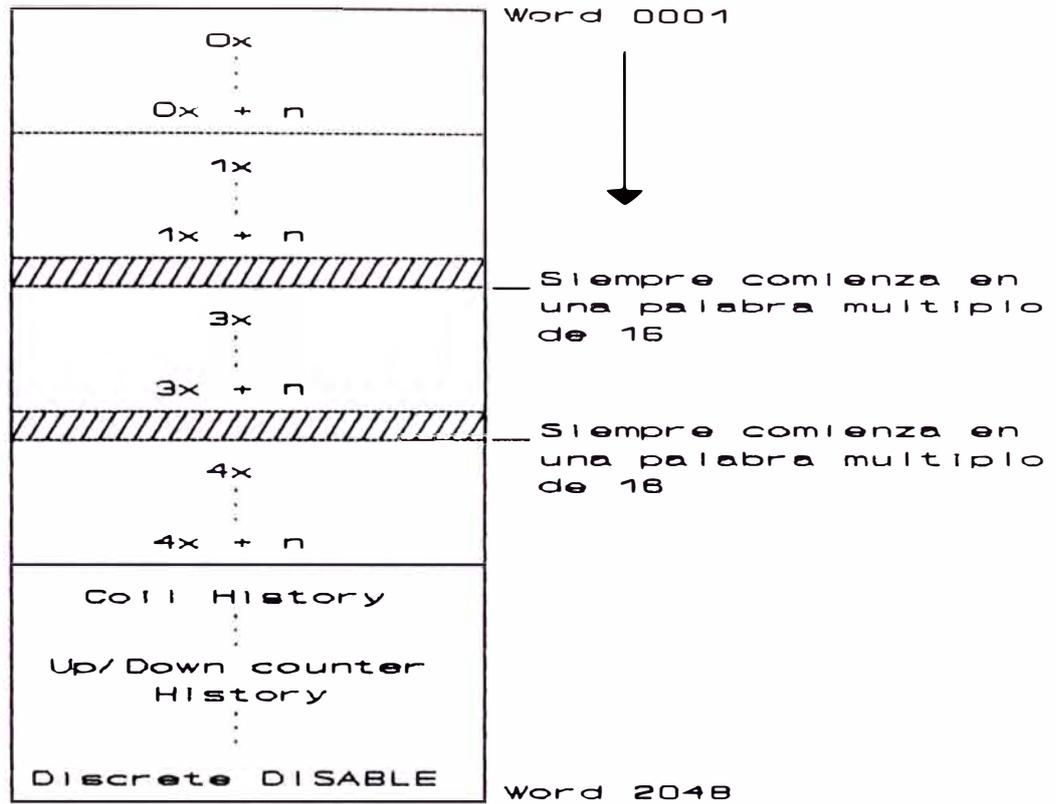


Figura 2.17 Estructura de la RAM estática.

2.8.3 Sistema de referencia para entradas y salidas

El sistema presenta diferentes tipos de entradas y salidas usando un sistema de referencia numérico. Cada referencia numérica contiene un **primer dígito que identifica el tipo de dato** seguido por una cadena de dígitos que definen una única ubicación dentro de la RAM estática:

0x Salida discreta (o bobina); este puede ser usado para estimular una salida real a través de un módulo de salida o habilitar una o más bobinas de control interno dentro de la RAM estática. Una referencia especificada con 0x puede ser usada solamente como una bobina en un programa lógico, su estado puede utilizarse múltiples veces para estimular contactos.

1x Entrada discreta; Su estado ON/OFF es controlado por un módulo de entrada. Este puede ser usado para estimular contactos en el

programa lógico.

3x *Un registro de Entrada;* Mantiene entradas numéricas desde una fuente externa, por ejemplo, una señal analógica o datos que provienen de un contador de alta velocidad. Un registro 3x puede guardar 16 señales discretas consecutivas, que son introducidas dentro del registro en forma binaria o en código BCD (Decimal codificado en binario).

4x *Un registro de salida;* Es utilizado para almacenar información numérica (decimal o binario) dentro de la RAM estática o para enviar la información hacia un módulo de salida.

2.8.4 Estructura de la lógica en escalera

Esta lógica es altamente gráfica, y de fácil programación por usar simbología equivalente al relé. Su estructura está compuesta por elementos, segmentos y redes.

a. Redes en la lógica de escalera

Las redes que comprende los segmentos lógicos tienen una estructura claramente definida. Cada red es un pequeño diagrama de escalera, limitado por la izquierda por un carril de fuente de poder y por la derecha por un carril que por convención, no se muestra. Dentro de los carriles, las redes contienen 7 peldaños o filas y 11 columnas (77 intersecciones), tal como se muestra en la figura 2.18.

En algunos software de programación, los 7 nodos de la columna 11 son reservados para mostrar las bobinas, pero en ciertos casos, pueden ir en otra columna y se resuelve igualmente.

b. Solución de la escalera lógica

La CPU del PLC escanea el programa en la forma siguiente:

1. Los segmentos son escaneados de acuerdo a su arreglo en la tabla de orden de solución.

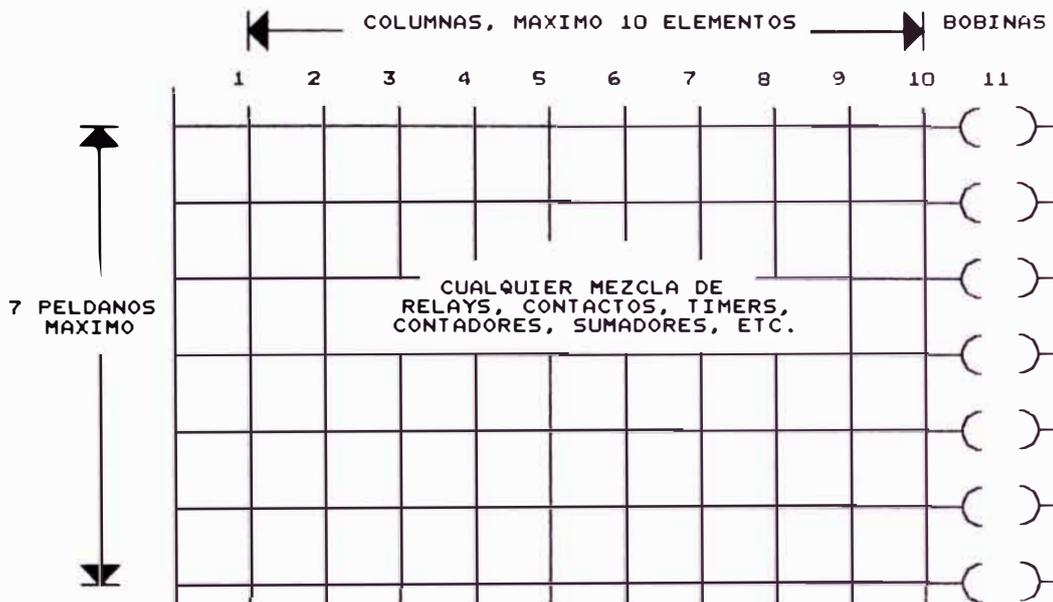


FIGURA 2.18 RED DE LA LOGICA EN ESCALERA.

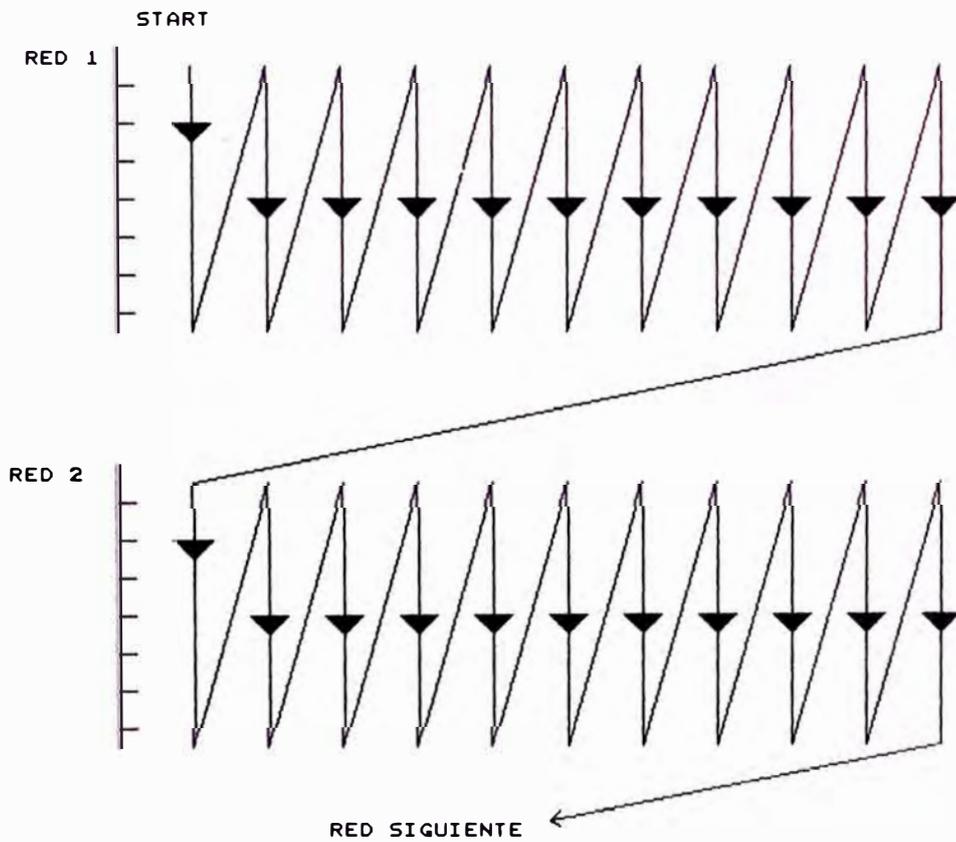


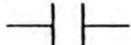
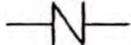
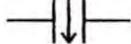
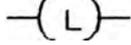
FIGURA 2.19 FORMA DE ESCANEAR EL PROGRAMA POR LA CPU.

2. La red 1 hasta nn dentro de cada segmento son escaneados.
3. Los nodos dentro de cada red, son escaneados de arriba a abajo y de izquierda a derecha en la forma mostrada en la figura 2.19.

El controlador empieza resolviendo la lógica en una red desde la parte superior de la columna más a la izquierda y continua hacia abajo, luego se mueve a la parte superior de la siguiente columna y continua hacia abajo. Cada nodo es resuelta por la lógica del scan, en el orden que es encontrada. El flujo de potencia dentro de la red es siempre hacia abajo de cada columna y de izquierda a derecha, nunca de abajo hacia arriba ni de derecha a izquierda.

2.8.5 Conjunto de instrucciones de la familia 984

Previamente a mencionar las instrucciones, se dará los seis elementos básicos de programación de la lógica en escalera. Estos elementos son de un nodo y pertenecen a los contactos (relés) y bobinas.

Símbolo	Significado
	Contacto normalmente abierto
	Contacto normalmente cerrado
	Contacto con transición positiva
	Contacto con transición negativa
	Bobina normal
	Bobina latch

Las siguientes instrucciones son estándar en todos los sistemas 984.

Instrucción	Significado
--------------------	--------------------

De Cálculo (función de tres nodos)

ADD	Adición
-----	---------

SUB Substracción
MUL Multiplicación
DIV División

De Contadores y Relojos (función de tres nodos)

UCTR Contador UP desde 0 a un preset.
DCTR Contador DOWN desde un preset a 0.
T1.0 Reloj que incrementa en segundos.
T0.1 Reloj que incrementa en décimas de segundo.
T.01 Reloj que se incrementa en centésimas de segundo.

De Mover, Transferir datos (DX) (función de 3 nodos)

R -> T Mueve Registro a Tabla.
T -> R Mueve Tabla a Registro.
T -> T Mueve Tabla a otra Tabla.
BLKM Mueve un bloque de datos.
FIN Primero en Entrar a la Pila.
FOUT Primero en Salir de la Pila.
SRCH Realiza una búsqueda en la tabla.

De Matrices (DX) (función de 3 nodos)

AND Lógica AND entre dos matrices.
OR Lógica OR entre dos matrices.
XOR Lógica OR EXCLUSIVA de 2 matrices.
COMP Complemento lógico de una matriz.
CMPR Comparación lógica de 2 matrices.
MBIT Modifica un bit lógico.
SENS Sensa un bit lógico.
BROT Rota un bit lógico.

Ampliadas (función de tres nodos)

PID2 Realiza la función de control proporcional integral

derivativo.

MATH Efectúa 38 operaciones matemáticas, que incluye las operaciones de punto flotante y de números extras tal como raíz cuadrada.

TBLK Mueve un bloque de datos desde una tabla a otra área especificada.

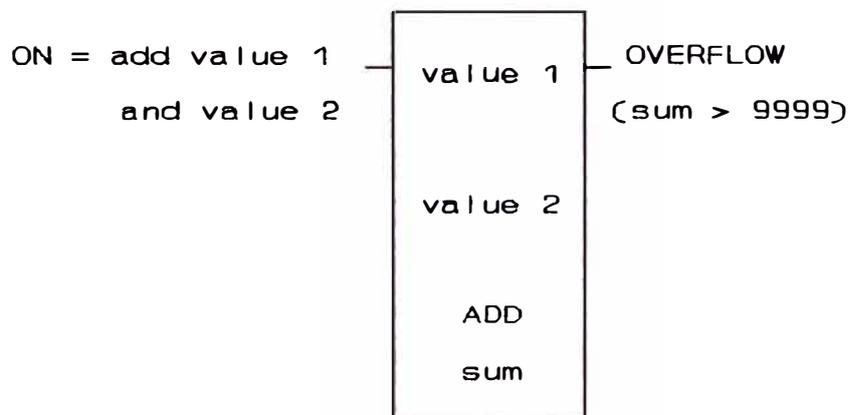
BLKT Mueve un bloque de datos de registros a una ubicación específica dentro de una tabla.

2.8.6 Descripción de las instrucciones ADD, SUB, MUL, UCTR, DCTR, y TIMERS T1.0, T0.1, T.01

Algunas de las instrucciones mencionadas han sido utilizadas en el proceso, pero a la instrucción PID2 se le hará un análisis más detallado de su funcionamiento por la importancia que tiene en el control .

ADD (Adición):

La instrucción ADD, suma *value 1* con *value 2* y almacena el resultado en *sum*, que es un registro de mantenimiento. ADD es un bloque de función con tres nodos.



El nodo superior y el nodo medio contienen *value 1* y *value 2* respectivamente. Estos pueden ser:

Números decimales en el rango desde 1 ... 999 en una CPU de 16

bits y desde 1 ... 9999 en una CPU de 24 bits.

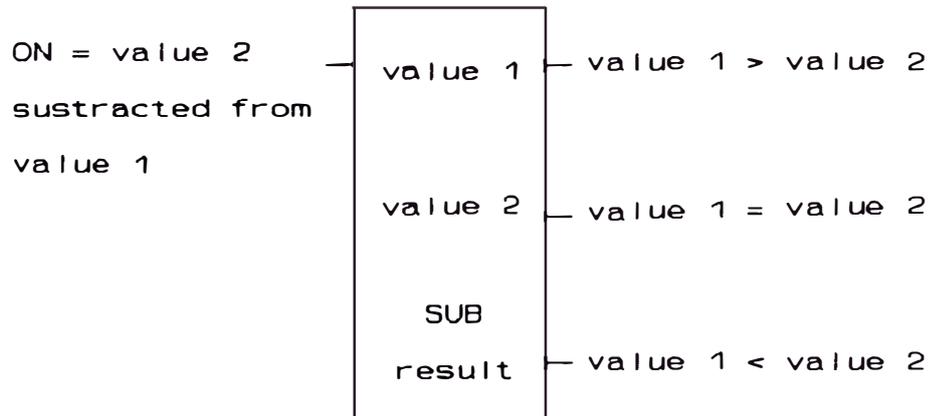
Registros de entrada (3x).

Registros de mantenimiento (4x).

El nodo inferior indica que esta es una función ADD y contiene *sum*, que es un registro de mantenimiento (4x) donde se almacena el resultado de la adición.

SUB (Sustracción):

La instrucción SUB, realiza una sustracción absoluta (sin signo) de *value 1* - *value 2* y almacena el resultado en un registro de mantenimiento. Este bloque puede ser utilizado como un comparador, identificando si *value 1* es mayor que, igual que o menor que *value 2*. SUB es un bloque de función con tres nodos.



El nodo superior y el nodo medio contienen *value 1* y *value 2* respectivamente. Estos pueden ser:

Números decimales en el rango desde 1 ... 999 en una CPU de 16 bits y desde 1 ... 9999 en una CPU de 24 bits.

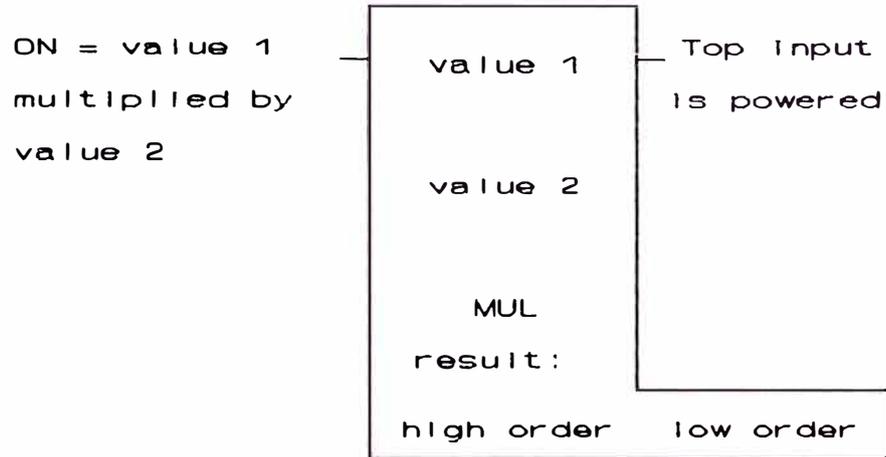
Registros de entrada (3x).

Registros de mantenimiento (4x).

El nodo inferior indica que es una función SUB y contiene *result*, que es un registro de mantenimiento (4x) donde se guarda el resultado de la sustracción.

MUL (Multiplicación):

La instrucción MUL, multiplica *value 1* x *value 2* y almacena el resultado en 2 registros de mantenimiento consecutivos. MUL es un bloque de función de tres nodos.



El nodo superior y el nodo medio contienen *value 1* y *value 2* respectivamente. Estos pueden ser:

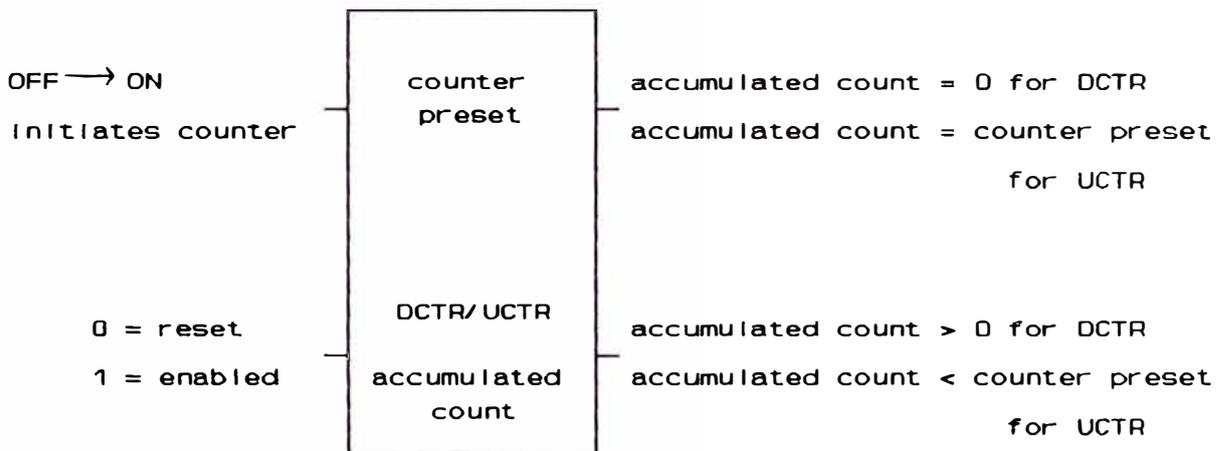
- Números decimales en el rango desde 1 ... 999 en una CPU de 16 bits y desde 1 ... 9999 en una CPU de 24 bits.
- Registros de entrada (3x).
- Registros de mantenimiento (4x).

El nodo inferior indica que esta es una función MUL y contiene dos registros consecutivos (4x y 4x+1) donde el resultado de la multiplicación es almacenado en *result*.

Los dígitos más significativos son almacenados en el registro especificado en el nodo inferior, y los menos significativos son almacenados en el registro secuencial siguiente. Por ejemplo, si el valor del nodo superior es 8000 y el valor del nodo medio es 2, el resultado (16000) es almacenado en dos registros secuenciales: 4x almacenará (0001) y 4x+1 almacenará (6000).

Counter UP/DOWN (Contador UP/DOWN):

Dos contadores son disponibles, UCTR y DCTR, para contar hacia arriba y abajo. Ambos son diseñados con una entrada de control de transiciones desde OFF a ON con referencia a un valor preset, en cualquiera de los contadores. Cada uno de estos bloques tienen dos nodos estructurado como sigue.



El *counter preset* en el nodo superior puede ser:

- Números decimales en el rango desde 1 ... 999 en una CPU de 16 bits y desde 1 ... 9999 en una CPU de 24 bits.
- Un registro de entrada (3x).
- Un registro de mantenimiento (4x).

El nodo inferior significa la función DCTR o UCTR, y contiene un registro de mantenimiento (4x) que almacena la cuenta acumulada.

Timer T1.0, T0.1 y T.01 (Reloj):

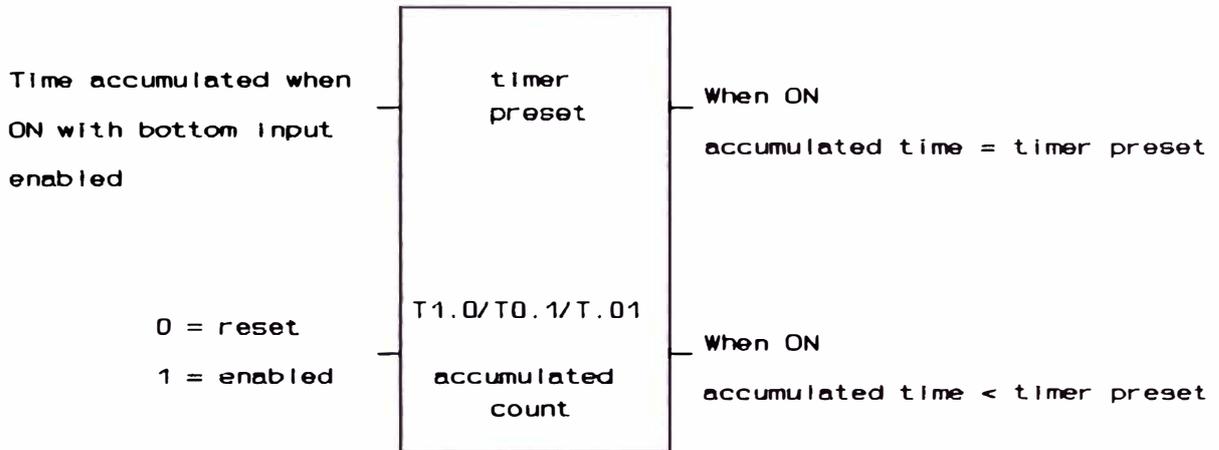
Las tres instrucciones de reloj disponibles son para temporizar eventos o crear retardos. Ellos miden tiempos en segundos (T1.0), en décimas de segundos (T0.1), y en centésimas de segundo (T.01). Cada reloj es una función de dos nodos.

El *timer preset* en el nodo superior puede ser:

Números decimales en el rango desde 1 ... 999 en una CPU de 16

bits y desde 1 ... 9999 en una CPU de 24 bits.

- Un registro de entrada (3x).
- Un registro de mantenimiento (4x).



El nodo inferior indica que el reloj se incrementa como T1.0, T0.1 o T.01, y contiene un registro de mantenimiento (4x) que almacena el tiempo acumulado (*accumulated time*).

2.8.7 Instrucción PID2

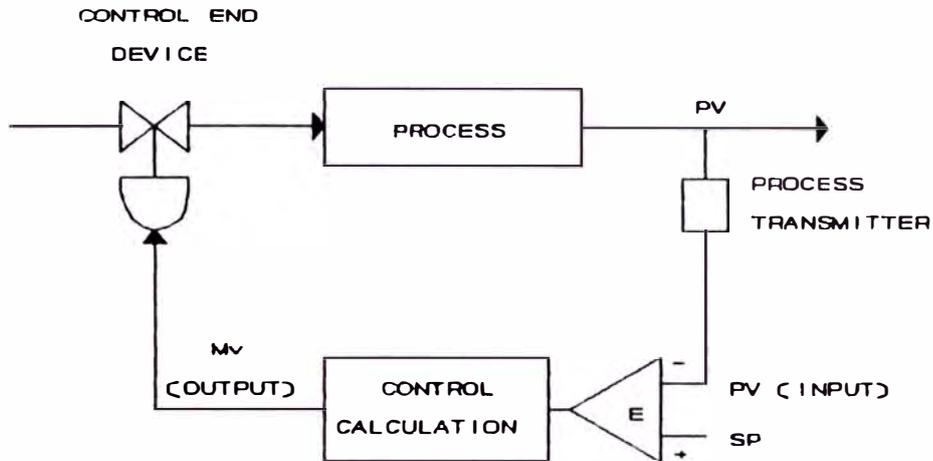
a. Sistema de control de lazo cerrado:

Un sistema análogo de control de lazo cerrado es uno en el cual la desviación desde un proceso ideal es medida, analizada y ajustada en un intento para conseguir (y mantener) cero de error en las condiciones del proceso. Provista con la instrucción llamada PID2 (proporcional integral derivativa), que permite crear un control de lazo cerrado (o realimentación negativa) en la lógica de escalera.

b. Set point y variables de proceso:

El punto de control deseado (cero error), que se define en el bloque PID2 se llama el set point (SP). La medida condicional tomada junto a SP es llamado variable del proceso (PV), la diferencia entre SP y PV es la desviación o error (E), E es introducida dentro de un cálculo de control, el cual produce una variable de manipulación

(Mv) utilizada para ajustar el proceso tal que $PV = SP$ (y por ende, $E=0$).



c. Control proporcional: (P)

Con solamente control proporcional (P), se puede calcular la variable manipulada multiplicando el error (E) por una constante proporcional K_1 y luego añadirle un bias:

$$M_v = K_1 E + bias$$

Sin embargo, las condiciones del proceso en la mayoría de aplicaciones son modificadas por otras variables del sistema tal que, el bias no permanezca constante. El resultado es un error de compensación, donde PV es constantemente compensada (offset) desde el SP. Esta condición limita la capacidad de control proporcional.

d. Control proporcional - integral: (PI)

Para eliminar este error de offset sin forzar manualmente a cambiar el bias, una función integral debe ser añadido a la ecuación de control.

$$M_v = K_1 (E + K_2 \int_0^t E \Delta t)$$

El control proporcional-integral, elimina el offset integrando E

como una función del tiempo. K_1 es la constante integral que está expresada como rep/min (repeticiones/minuto). Como $E \neq 0$, la parte integral incrementa o decrementa su valor ajustando M_v , continuando hasta que el error de offset sea eliminado.

e. Control proporcional-integral y derivativo: (PID)

Se puede añadir la función derivada a la ecuación de control para disminuir los efectos de frecuentes cambios de carga o para anular la función integral a fin de obtener la condición del SP más rápidamente:

$$M_v = K_1 \left(E + K_2 \int_0^t E \Delta t + K_3 \frac{\Delta PV}{\Delta t} \right)$$

El control proporcional-integral-derivativo (PID) puede ser utilizado para ahorrar energía en el proceso, o como una válvula de seguridad en los eventos imprevistos. Por ejemplo, una variación inesperada en el flujo del proceso. K_3 es la derivada del tiempo, constante que se expresa en minutos. ΔPV es el cambio en la variable del proceso sobre un período de tiempo Δt .

f. Algoritmo de la función PID2

El algoritmo de MODICON para PID2 (figura 2.20), establece la operación de lazo cerrado similar a los tradicionales controladores electrónicos de lazo, como son los neumáticos y análogos. Para ello, utiliza un filtro de ganancia fija límite (RGL) sobre PV, como si se usara solamente el término derivada, con eso filtramos la salida de fuentes de ruido de alta frecuencia sobre PV.

Con respecto a la figura 2.20 se tiene:

E = Error, expresado en unidades análogas.

SP = Set point, en el rango de 0 a 4095.

PV = Variable de proceso, en el rango de 0 a 4095.

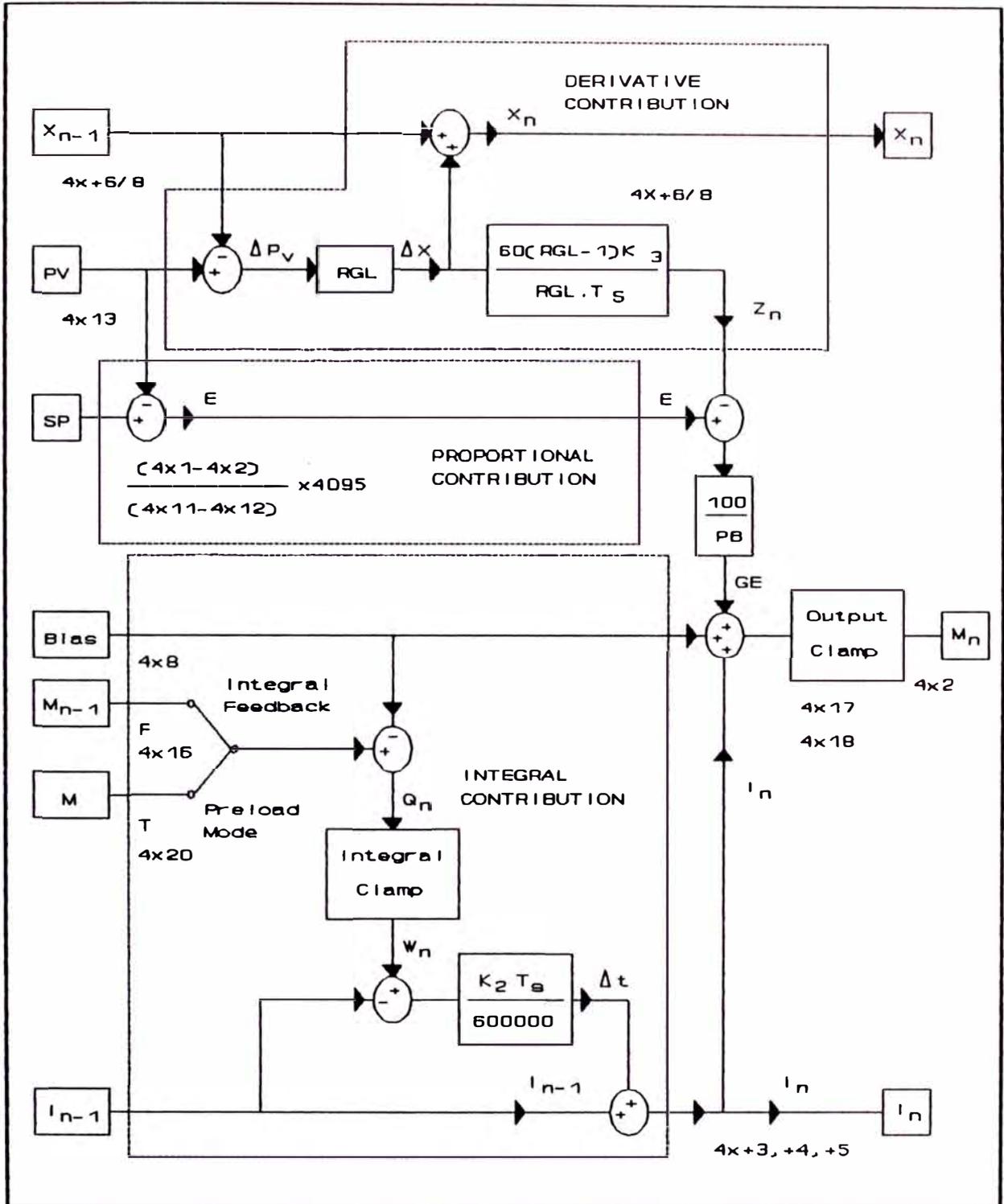


Figura 2.20 Diagrama de bloques del algoritmo PID2.

X = Filtrado de PV.

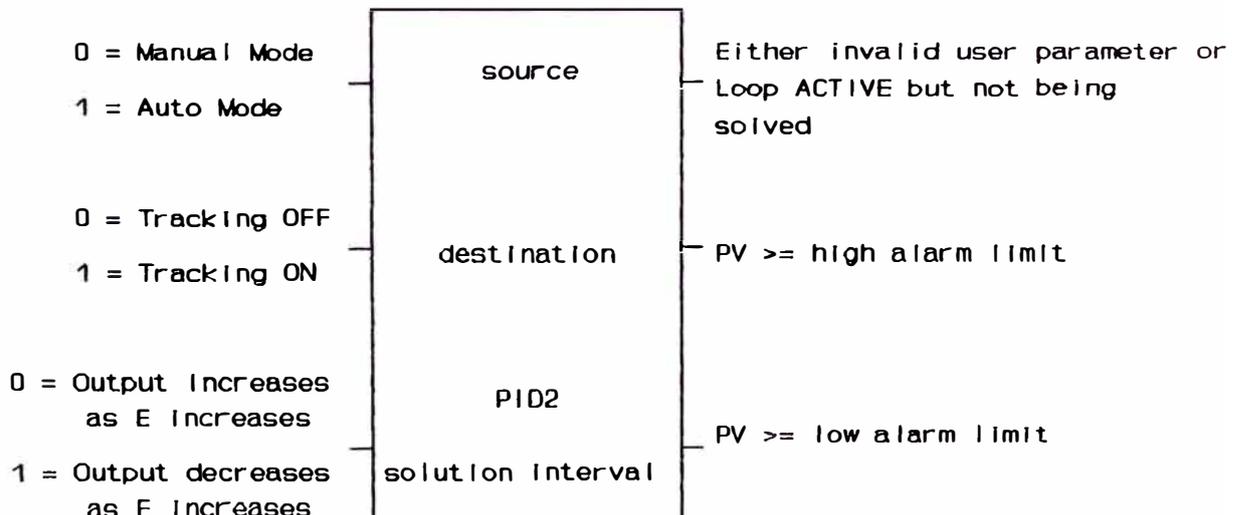
K_2 = Constante de ganancia en modo integral, expresado en 0.01 min^{-1}

K_3 = Constante de ganancia en modo derivativo, expresado en

- centésimos de minuto.
- RGL = Constante de ganancia fija límite del filtro, en el rango de 2 a 30.
- Ts = Tiempo de solución, expresado en centésimas de segundo.
- PB = Banda proporcional, en el rango 5 a 500 %.
- bías= Factor de bias del lazo de salida, en el rango de 0 a 4095.
- M = Salida del lazo.
- GE = Error craso, debido a la parte proporcional-derivativa de la salida del lazo.
- Z = Contribución del modo derivativo a GE.
- Qn = Salida de lazo imparcial (unbiased).
- F = Valor de realimentación, en el rango de 0 a 4095.
- I = Contribución del modo integral en el lazo de salida.
- I_{low}= Anti-reset-windup low SP, en el rango de 0 a 4095.
- I_{high}= Anti-reset-windup high SP, en el rango de 0 a 4095.
- K_i = 100/PB.

PID2 (función de tres nodos)

La instrucción PID2 implementa un algoritmo que efectúa operaciones proporcional-integral-derivativo.



La parte superior *source* indica el primero de los 21 registros consecutivos de mantenimiento desde el rango 4x0 ... 4x20. Los datos contenidos en los registros 4x5, 4x6, 4x7 y 4x8 en el nodo superior determina que operación se realizará P, PI o PID:

Función	4x5	4x6	4x7	4x8
P	✓			✓
PI	✓	✓		
PID	✓	✓	✓	

✓ = valor diferente de cero dentro del rango permisible.

El nodo medio contiene 9 registros adicionales de mantenimiento, 4x ... 4x + 8, los cuales serán usados por el bloque PID2 para los cálculos. No se necesita cargar ningún valor en estos registros.

El nodo inferior indica que es una función PID2, y contiene un número en el rango de 1 ... 255, que señala cada cuanto tiempo dicha función será ejecutada. Este número representa un valor de tiempo en décimas de segundo; por ejemplo, el número 17 indica que la función PID será ejecutada cada 1.7 seg.

A continuación se citará la función que realiza cada registro dentro del bloque PID.

NODO SUPERIOR

REGISTRO FUNCION

4x0 **Escala PV:** Es cargado por el bloque cada vez que es escaneada; una escala lineal es hecho sobre el registro 4x13 usando los rango alto y bajo en 4x11 y 4x12:

$$\text{Escala PV} = 4x13/4095 \times (4x11 - 4x12) + 4x12$$

El número resultante se trunca al punto decimal anulando todos los dígitos a la derecha del punto decimal, y sin redondear.

- 4x1 SP:** Ud. debe especificar el set point en unidades de ingeniería; el valor debe ser mayor que 4x11 y 4x12.
- 4x2 Mv:** Es cargado por el bloque cada vez que el lazo es resuelto; este valor es restringido al rango de 0 4095, haciendo la salida compatible con los módulos de salida analoga. Este registro de Mv puede ser usada por la CPU para cálculos de lazos en cascadas.
- 4x3 High Alarm Limit:** Carga un valor en este registro para especificar una alarma alta para PV (cerca de o sobre SP); ingresar el valor en unidades de ingeniería (EU) dentro del rango dado por 4x11 y 4x12.
- 4x4 Low Alarm Limit:** Cargar un valor en este registro para especificar una alarma baja para PV (cerca de o debajo de SP); ingresar el valor en unidades de ingeniería dentro del rango dado por 4x11 y 4x12.
- 4x5 Proporcional Band:** Cargar en este registro la constante proporcional deseada en el rango de 5 ... 500. A menor número, mayor es la contribución proporcional; un número válido es requerido en el registro para operar el PID2 .
- 4x6 Reset time constant:** Cargar este registro para agregar una acción integral al cálculo; ingresar un número entre 0000 ... 9999 para representar un rango entre 00.00 ... 99.99 repeticiones/min; a mayor el número, mayor es la contribución integral. Un valor fuera del rango detiene

el cálculo del PID2.

4x7 Rate time constant: Cargar este registro para agregar una acción derivativa a los cálculos ingresando un valor entre 0000 ... 9999, para representar un rango de 00.00 99.99 repeticiones/min; a mayor el número, mayor es la contribución derivativa. Un valor fuera del rango detiene el cálculo del PID2.

4x8 Bías: Cargar este registro para adicionar bías a la salida; el valor debe estar entre 0 ... 4095, este se suma directamente sobre Mv.

4x9 High integral Windup Limit: Cargar este registro con el límite superior del valor de la salida (entre 0 ...4095) donde el anti-reset windup tome efecto; la actualización de la suma integral se detiene si sobrepasa dicho valor, que normalmente es 4095.

4x10 Low integral windup limit: Cargar este registro con el límite inferior del valor de la salida (entre 0 ...4095) donde el anti-reset windup tome efecto, este normalmente es cero.

4x11 High Engineering Range: Cargar el registro con el valor más alto del rango de medida del dispositivo; ejemplo, si una resistencia de temperatura tiene un rango de 0 ... 500 grados centígrados, el valor de ingeniería más alto del rango es 500, tomado como un entero positivo entre 0001 ... 9999, correspondiente al valor de entrada análoga de 4095.

4x12 Low Engineering Range: Cargar este registro con el valor más bajo del rango de medida del dispositivo, éste valor

debe ser dado como un entero positivo entre 0... 9999, y será menor que el valor dado por el registro 4x11; este corresponde a un valor de entrada análoga de cero.

4x13 Raw Analog Measurement: El programa lógico carga con PV el registro, la medida debe estar a escala y linealizada en el rango de 0 ... 4095.

4x14 Pointer to loop Counter Register: El valor cargado en el registro, indica al registro contador el número de lazos resueltos por scan; este dato que ingresa es determinado eliminando el dígito más significativo en el registro donde el controlador cuenta los lazos resueltos por scan. Por ejemplo, si el controlador cuenta en el registro 41236, cargará 1236 en 4x14. El mismo valor será cargado en el registro 4x14 de cada bloque PID2 del programa lógico.

4x15 Maximum Number of loops solved in a Scan: Si el registro 4x14 contiene un valor diferente de cero (0), se puede cargar un valor en el registro para limitar el número de lazos a resolver en un scan.

4x16 Pointer to Reset Feedback Input: El valor cargado en este registro, señala al registro de mantenimiento que contiene el valor de la realimentación (F). Eliminar el 4 del registro de realimentación e introducir los cuatro dígitos que quedan en el registro 4x16. Los cálculos de integración dependen del valor de F asociado a Mv. Por ejemplo, como la salida del PID2 varía desde 0 a 4095, Así F variará desde 0 ... 4095.

4x17 Output Clamp-high: El valor ingresado en este registro

determina el límite superior de Mv , que normalmente es 4095.

4x18 Output Clamp-low: El valor ingresado en este registro determina el límite inferior de Mv , que normalmente es 0.

4x19 Rate Gain limit (RGL) Constant: El valor ingresado en el registro fija el grado efectivo de filtración derivativa el rango es desde 2 ... 30; un valor pequeño, logra una mejor filtración.

4x20 Pointer to track input: El valor que ingresa en este registro apunta al registro de mantenimiento que tiene el valor del track (T) de entrada. Eliminar el n° 4 del registro track e ingrese los cuatro dígitos que quedan en el registro 4x20. El valor en el registro T está asociado a la entrada de la integral de retraso, siempre que el bit de Modo Auto y el de Modo track sean ambos verdaderos.

MIDDLE NODE (Nodo medio)

REGISTRO FUNCION

4x Loop Status Register: Doce de los 16 bits en este registro son utilizados para definir el estado del lazo (figura 2.21).

Nota: Los 16 bits son seteados después de la instalación del lazo o del arranque inicial. Si Ud. borra el bit, las acciones siguientes tomarán lugar en un scan:

El registro de estado del lazo es reseteado.

- El valor corriente del reloj de tiempo real es almacenado en el registro 4x+1.
- Los registros 4x+3, 4x+4 y 4x+5 son puestos a cero.
- El valor (4x13 x 8) es almacenado en el registro 4x+6.
- Los registros 4x+7 y 4x+8 son borrados.

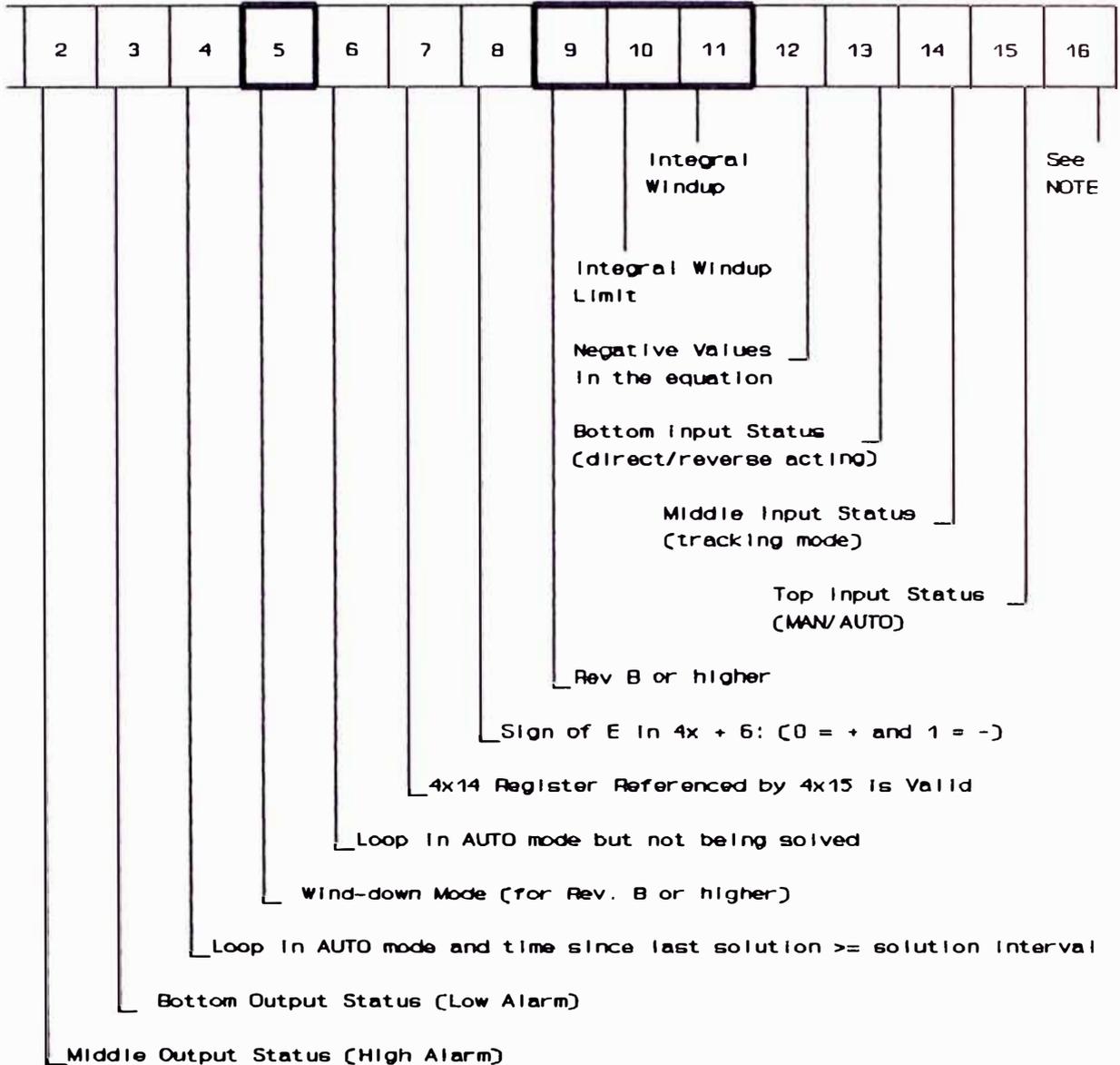


Figura 2.21 Registro de estado del lazo.

- 4x+1** **Error (E) status bits:** Este registro muestra los códigos de error del bloque PID2 descritas en la figura 2.21.
- 4x+2** **Loop Timer Register:** Este registro almacena la lectura

del reloj de tiempo real, leído en el reloj del sistema cada vez que el lazo es resuelto. La diferencia entre el valor actual del reloj y el valor almacenado en el registro es el tiempo total de la operación; si este tiempo total es \geq al intervalo de solución (10 veces el valor dado en el nodo inferior del bloque PID2), el lazo debería ser resuelto en este scan.

- 4x+3** **For internal use:** integral (porción entera)
- 4x+4** **For internal use:** integral-fracción 1
- 4x+5** **For internal use:** integral-fracción 2
- 4x+6** **Pv x 8 (Filtered):** Este registro almacena el resultado de la entrada analógica filtrada (desde registro 4x14) multiplicada por 8; este valor es útil en operaciones de control derivativo.
- 4x+7** **Absolute value of E:** Este registro se actualiza después de la solución de cada lazo, contiene el valor absoluto de (SP-PV). El bit 8 en el registro 4x+1 indica el signo de E.
- 4x+8** **For Internal use:** Intervalo de solución actual.

Tabla de código de errores del PID2

(Mostrado en el registro 4x+1 del Nodo Medio)

Code	Explanation	Check These Registers
0000	No error, all validations OK	None
0001	Scaled SP above 9999	4x1
0002	High alarm above 9999	4x3
0003	Low alarm above 9999	4x4

0004	Proportional band below 5	4x5
0005	Proportional band above 5000	
0006	Reset above 99.99 rep/min	4x6
0007	Rate above 99.99 min	4x7
0008	Bias above 4095	4x8
0009	High integral limit above 4095	4x9
0010	Low integral limit above 4095	4x10
0011	High engineering unit scale above 9999	4x11
0012	Low engineering unit scale above 9999	4x12
0013	High E.U. below low E.U.	4x11 and 4x12
0014	Scaled SP above high E.U.	4x1 and 4x11
0015	Scaled SP below low E.U.	4x1 and 4x12
0016*	Maximum loops/scan > 9999	4x15
0017	Reset feedback pointer out of range	4x16
0018	High output clamp above 4095	4x17
0019	Low output clamp above 4095	4x18
0020	Low output clamp above high output clamp	4x17 and 4x18
0021	RGL below 2	4x19
0022	RGL above 30	4x19
0023**	Track F pointer out of range	4x20 and middle input ON
0024**	Track F pointer is zero	4x20 and middle input ON

NOTE: If lockout occurs often and the parameters are all valid, increases the maximum number of loops/scan. Lockout may also occur if the counting register in use are not cleared as required.

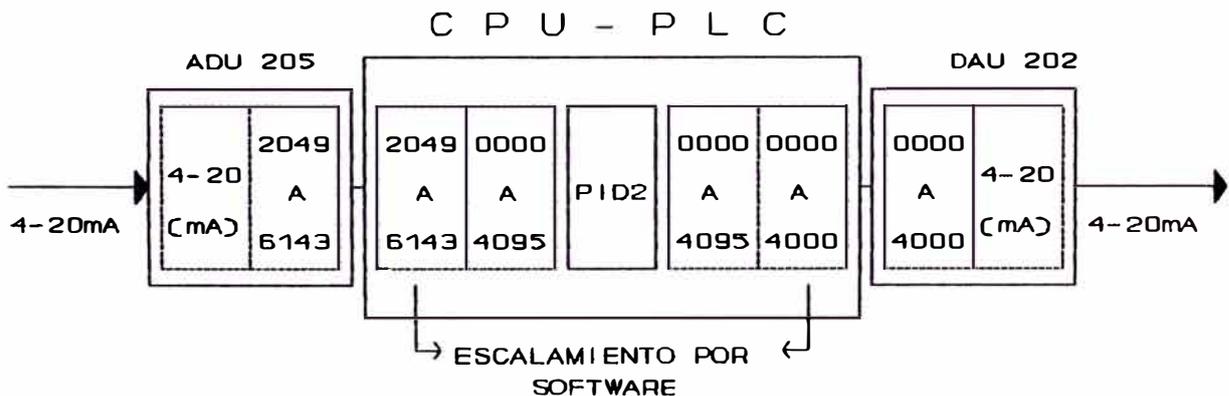
0025*	Node locked out (short of scan time)	None
0026*	Loop counter pointer is zero	4x14 and 4x15
0027	Loop counter pointer out of range	4x14 and 4x15

- ‡ Activated by maximum loop feature - i.e., only if 4x15 is 0.
- ‡‡ Activated only if the track feature is ON - i.e., the middle input of the PID2 block is receiving power while in AUTO mode.

2.8.8 Escalamiento de las señales de entrada y salida

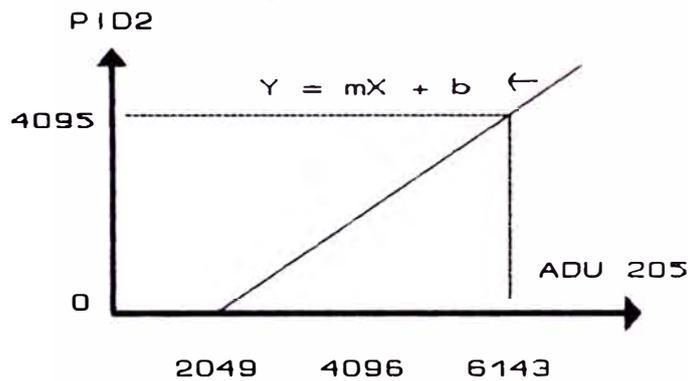
Cuando se utiliza la instrucción PID2, la señal a procesarse proveniente del campo (4-20 mA) ingresa por un módulo de entrada analógico (ADU 205), que convertida a digital por un conversor A/D pasa a ser utilizado por el PID2. Luego de procesada la señal es enviada al módulo de salida analógico (DAU 202) para que ésta la convierta a análoga (4-20 mA) por medio de un conversor D/A y lo mande al exterior (ver cuadros siguientes).

ADU 205		CPU (PID2)	DAU 202	
CORRIENTE DE ENTRADA	CUENTA DECIMAL		CUENTA DECIMAL	CORRIENTE DE SALIDA
-20mA	2049	0000	0000	-20mA
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0mA	4096	⋮	2000	0mA
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
+20mA	6143	4095	4000	+20mA



El primer cuadro nos muestra las características del módulo de entrada ADU 205, CPU del PLC, y módulo de salida DAU 202, de donde se observa que sus cuentas decimales tienen diferentes rangos. Para entender mejor lo que ocurre, el segundo cuadro muestra la necesidad de hacer un escalamiento por software, para que el PID2 interprete correctamente los valores digitales enviados del ADU 205, así como el DAU 202 los provenientes del PID2.

Para realizar el escalamiento, primero consideraremos a la etapa de entrada. Esto es, valiéndose del gráfico de coordenadas ADU 205 vs. PID2, se obtendrá la ecuación de la recta: $Y_1 = m X + b$.



Donde:

m = pendiente.

b = ordenada inicial.

$$\rightarrow m = (4095-0)/(6143-2049) = 4095/4094 \approx 1$$

$$\rightarrow Y_1 = X + b$$

para hallar el valor de b , se evalúa la ecuación en un punto de la recta, por ejemplo: $(X,Y) = (6143,4095)$.

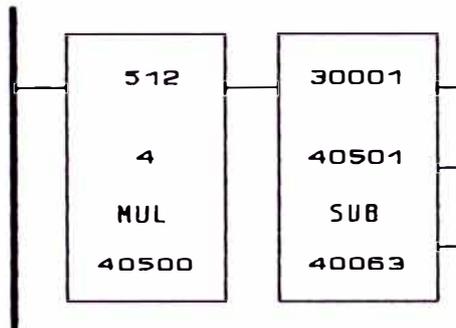
$$\rightarrow 4095 = 6143 + b, \quad \rightarrow b = -2048$$

quedando finalmente la ecuación como:

$$\rightarrow Y_1 = X - 2048 \quad \dots (1)$$

De (1), se concluye que todo valor que ingresa debe restarsele 2048

para pasar de la escala (2049 - 6143) a (0 - 4095). Para implementar la ecuación en el lenguaje de escalera, basta con emplear la función SUB, pero al considerar que el modelo de PLC (donde se ha simulado) acepta números decimales entre 1 y 999, se tiene que multiplicar $512 * 4$ para obtener 2048 almacenado en un registro. La función MUL usa 2 registros consecutivos para guardar el resultado; como ejemplo, si consideramos al registro 40500 como base, luego el valor contenido en los registros será: La parte menos significativa en el registro 40501, y la parte más significativa en el registro 40500, esto es, $40500 = 0000$ y $40501 = 2048$. El siguiente diagrama nos muestra la operación.



El valor procedente del campo ingresa por el registro de entrada 30001, se le resta 2048 a través del registro 40501 y el resultado se almacena en el registro 40063.

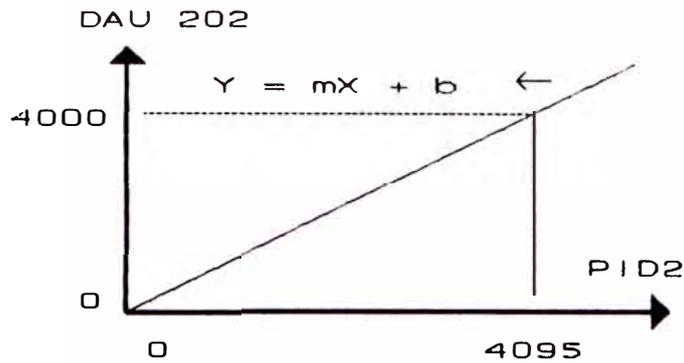
La segunda etapa consiste en escalar la salida, para lo cual se usará el gráfico de coordenadas de PID2 vs. DAU 202, obteniéndose la ecuación de la recta: $Y_2 = m X + b$.

Como la ecuación pasa por el centro de coordenadas b será igual a cero ($b = 0$), quedando la ecuación como:

$$\text{--> } Y_2 = m X.$$

Si: $m = 4000/4095 = 0.9768$, la ecuación final será:

$$\text{--> } Y_2 = 0.9768 X \quad (2)$$



Para implementar esta ecuación en el lenguaje escalera, se sigue los siguientes pasos:

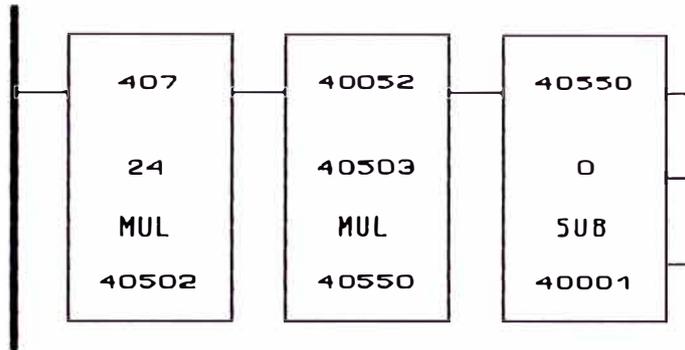
1°. Al valor 0.9768 se le multiplica por 10000, para convertirlo en un número entero (9768). Entonces la ecuación (2) quedaría como: $Y_2 = 9768 X$, y para que esta ecuación no se altere se lo divide por 10000.

2°. Como la función MUL al efectuar la multiplicación de 9768 por X, ubicará el resultado en dos registros consecutivos $4x$ y $4x+1$, la parte más significativa estará en $4x$ y la menos significativa en $4x+1$. Si sólo tomamos como respuesta el contenido del registro $4x$ y omitimos el contenido del registro $4x+1$, será como dividir implícitamente por 10000.

Por ejemplo, suponer que el PID2 envía un valor decimal de 2000, éste al multiplicarse por 9768 dará como resultado 19536000, si almacenamos en $4x = 1953$ y en $4x+1 = 6000$. La respuesta válida para la conversión será el contenido del registro $4x$ (1953).

3°. Como 9768 excede el rango de 1 a 999, tenemos que multiplicar $407 * 24$ y el resultado almacenarlo en un registro auxiliar. Si consideramos como ejemplo a los registros 40502 y 40503, en este caso se asumirá como respuesta válida al contenido del registro 40503 (40502=0000 y 40503=9768) por ser la menos significativa.

El siguiente diagrama muestra la operación.



Se utiliza el registro 40052, porque el PID2 al sacar sus datos lo hace por intermedio de los registros de salida (4x). Referido al ejemplo, el registro 40550 guarda el valor 1953 y el registro 40551 el valor 6000 (se descarta).

Uniendo el escalamiento de entrada, PID2 y el escalamiento de salida se tiene:

MODO DE OPERACION:

- 1°. El dato derivado del campo, ingresa por el módulo ADU 205 usando el registro **30001**. Este valor es convertido por la función SUB al rango (0 a 4095) restándole el contenido del registro **40501**, y el resultado se almacena en el registro **40063**.
- 2°. La función PID2 recibe el dato almacenado en el registro 40063 y lo compara con el set point, corrige el error si es que hubiera y el resultado es enviado al registro de salida **40052**.
- 3°. La función MUL multiplica los valores de los registros **40052** y **40503** y el resultado se almacena en los registros **40550** y **40551**. El valor del registro 40550 estará en la escala de 0 a 4000.
- 4°. El valor final del proceso (Mv) es sacado al exterior por medio de la última función SUB, para ello se resta cero al valor del registro 40550 y lo almacena en el registro **40001**. Este valor es convertida a analógica por el módulo de salida DAU 202.

La figura 2.22 muestra todo el proceso de escalamiento de señales.

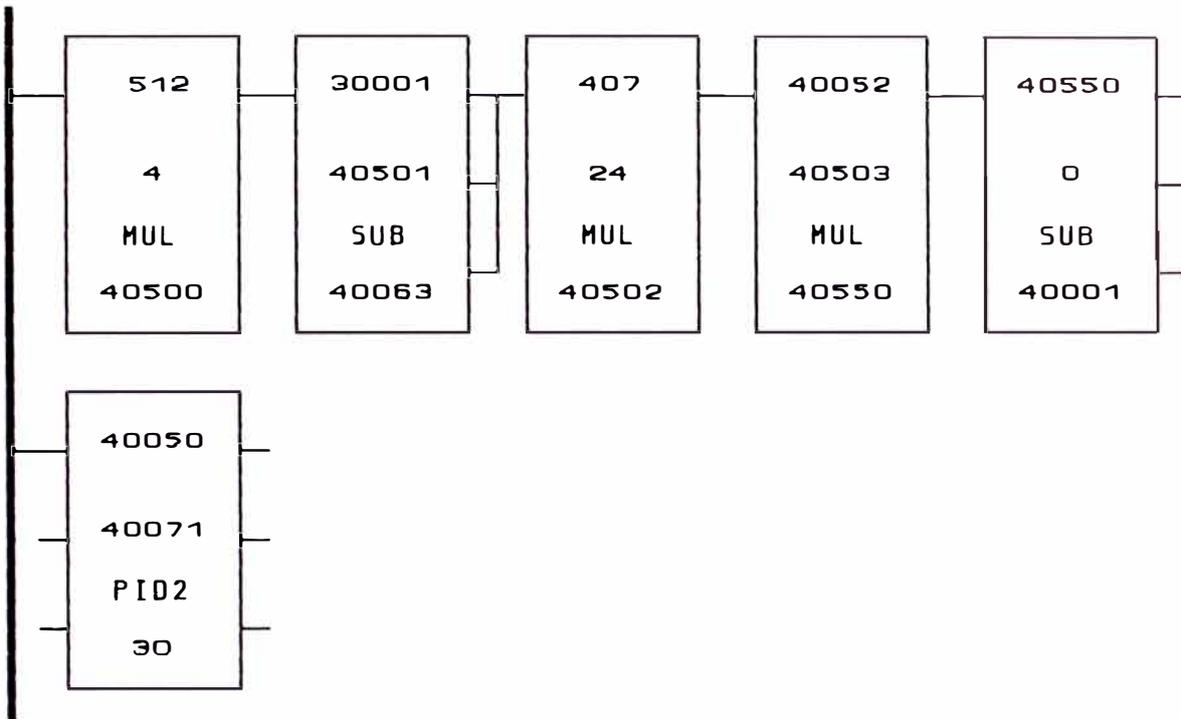


Figura 2.22 Escalamiento de la señal de E/S.

CAPITULO III DESARROLLO Y PROGRAMACION DEL SISTEMA DE CONTROL

3.1 Sistema de calderas

La planta cuenta con 3 calderas, de las cuales la caldera APIN1 es la que más se emplea al igual que la caldera CLEAVER, ésta última para suplir los picos en los momentos de mayor demanda de vapor. La caldera APIN2, trabajando sola abastece a toda la fabrica y se usa cuando las otras están en mantenimiento. La figura 3.1 nos muestra la distribución de las calderas y las líneas de producción de vapor de la planta.

El desarrollo del control y automatización de las calderas, se hará sólo de la caldera APIN1, puesto que ésta es considerada como la principal y puede ser empleada como caldera piloto, para efectos de las mejoras. Las otras dos como el principio de funcionamiento es parecido, se asumirá por ahora que son iguales y llegado el momento de la implementación se llevará a cabo los cambios respectivos para adecuarlos a cada uno de ellos.

En la elaboración del software de control, se usará a los PLC (Controladores lógicos programables) de MODICON para todo aquello que tenga un proceso secuencial (arranque de la caldera, proceso de cocimiento), y en los controles de lazo (PID) simples (temperaturas del agua de alimentación y combustible). Los CLC (Loop Command Controller - Controladores de comando de lazo) de BAILEY se usarán para los controles de lazo con algoritmos complejos (proceso de combustión, y análisis de los gases).

Para encender una caldera se puede distinguir 3 etapas:

1. Consiste en la preparación de ciertos parámetros necesarios para que se produzca el arranque, tales como: temperatura del agua de alimentación (95 °C óptimo), temperatura de combustible (110 °C óptimo), ajustes de los reguladores de Tiro, de válvulas y la relación de aire/combustible en la posición mínima.
2. Se enciende el programador para el arranque de la caldera, que secuencialmente y de acuerdo al diagrama eléctrico en escalera, activa y/o desactiva relés, bobinas, etc. y de no encontrarse problemas se encenderá la caldera.
3. Encendida la caldera comienza la producción de vapor, y para llevar a cabo la economía de combustible es indispensable que se mantenga constantemente la más alta eficiencia posible. Esto se alcanza teniendo una óptima relación aire/combustible.

Para el software de control, se ha optado por la nomenclatura siguiente con respecto a la definición de variables discretas, para un mejor entendimiento del usuario:

X1 ... Xn	<i>Entradas discretas.</i>
Y1 ... Yn	<i>Salidas discretas.</i>
IR0 ... IRn	<i>Salidas discretas de uso interno.</i>
30001 ... 3nnnn	<i>Registros de entrada.</i>
40001 ... 4nnnn	<i>Registros de salida y mantenimiento.</i>

Donde:

Xn : El término "X" representa una entrada binaria y el número "n" asociado corresponde a su ubicación en el conector de entrada (módulo de entrada).

Yn : El término "Y" representa una salida binaria y el número "n" asociado corresponde a su ubicación en el conector de salida

(módulo de salida).

IRn: Este término representa una variable binaria interna (un elemento de memoria) y "n" el número de orden asociado.

Con esta nomenclatura, el programa se generaliza y desde luego podrá ser implementado en cualquier PLC, haciendo las modificaciones respectivas para adaptarse al modelo empleado por éste. Por ejemplo, estos programas para su simulación han sido implementados en un PLC marca MODICON, y para ello sólo se cambió en los valores discretos como se indica:

X1 ... Xn	10001 ... 1nnnn
Y1 ... Yn	00001 ... 00499
IR0 ... IRn	00500 ... 0nnnn

En el caso de las salidas discretas, se dividió el rango total (00001 ... 0nnnn) entre las salidas reales y salidas internas o de control. ésta división es variable y lo determina el programador de acuerdo a sus necesidades reales. En lo referente a los registros de entrada (30001 a 3nnnn) y los registros de salida o mantenimiento (40001 a 4nnnn), no sufren ninguna variación.

3.1.1 Selección del sistema de control

Las tres acciones combinadas PID actúan sobre el elemento final de control. Sus características esenciales pueden resumirse así:

1. *La acción proporcional* varía la posición de la válvula en forma proporcional a la desviación de la variable con respecto al punto de consigna.
2. *La acción integral* mueve la válvula a una velocidad proporcional a la desviación con respecto al punto de consigna.
3. *La acción derivada* corrige la posición de la válvula en forma proporcional a la velocidad de cambio de la variable controlada.

Tabla 3.1 Guía de selección de un sistema de control.

Control	Proceso		Cambios de Carga	Aplicaciones
	Capacidad	Resistencia		
Todo - nada	Grande	Cualquiera	Cualquiera	Control de nivel y temperatura en procesos de gran capacidad.
Flotante	Media	Cualquiera	Cualquiera	Procesos con pequeños tiempos de retardo.
Proporcional	Pequeña a media	Pequeña	Moderados	Presión, temperatura y nivel donde el offset no es inconveniente.
Proporcional+ integral	Cualquiera	Pequeña	Cualquiera	La mayor parte de aplicaciones incluyendo el caudal.
Proporcional+ derivada	Media	Pequeña	Cualquiera	Cuando es necesaria una gran estabilidad con un offset mínimo y sin necesidad de acción integral.
Proporcional+ derivada+integral	Cualquiera	Grande	Rápido	Procesos de cambios rápidos y retardos apreciables (control de temperatura en intercambiador de calor).

Para determinar el tipo de control a emplearse en este proyecto, P, PI, PD o PID, se ha considerado a los tres puntos anteriores más los criterios dados en la tabla 3.1, la cual indica una guía general para seleccionar un sistema de control.

Cabe señalar que esta tabla sólo sirve de orientación general y deberá ser consultada únicamente como una guía de aproximación al control idóneo.

3.1.2 Control de la temperatura del agua de alimentación

El control de esta temperatura se ha efectuado sobre el tanque desareador de agua, que es la que abastece a las 3 calderas; El agua de alimentación, proviene de la recuperación de condensados y de los ablandadores, la figura 3.2 muestra el esquema de control de la temperatura del agua.

Para realizar los diagramas se ha usado las Normas ISA-S5.1 e ISA-S5.3

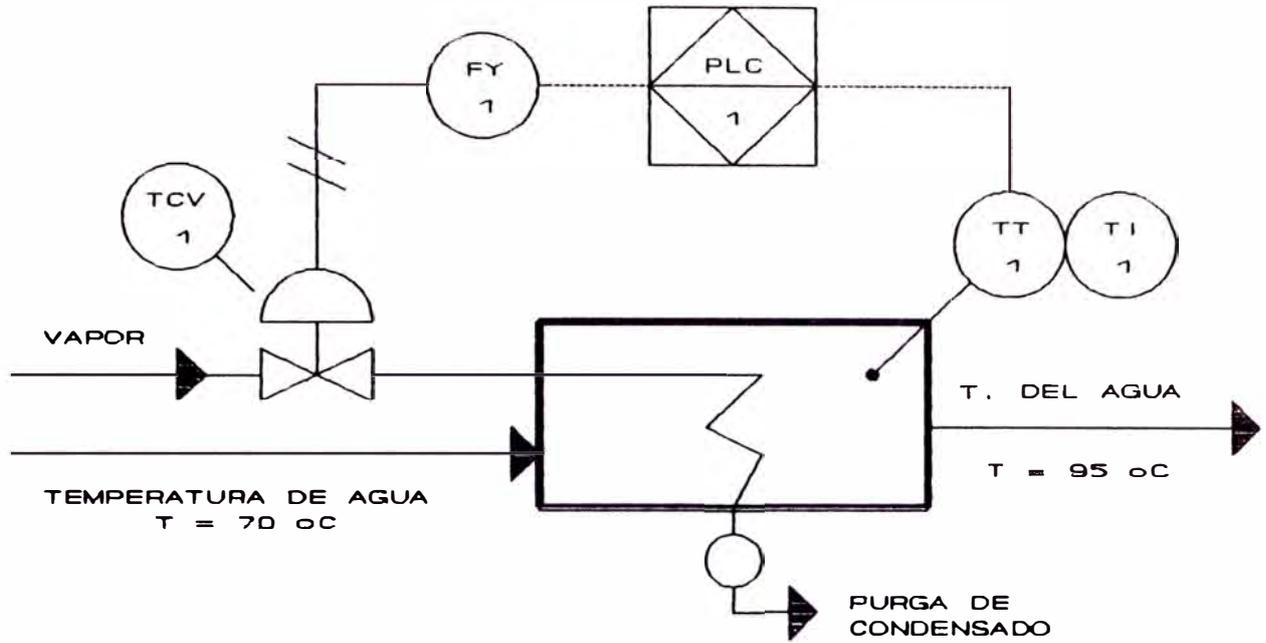


Figura 3.2 Esquema de control de la temperatura del agua.

Leyenda :

PLC-1 = Controlador Lógico Programable.

TI-1 = Indicador de temperatura.

TT-1 = Transmisor de Temperatura (4-20 Ma).

FY-1 = Convertidor de corriente/presión (4-20 Ma a 3-15 psi).

TCV-1 = Válvula neumática (N.C.) para control de la temperatura.

Parámetros del proceso :

Set point = 95 °C

Temperatura mínima = 90 °C

Temperatura máxima = 100 °C

Sensor de Temperatura = Pt-100

Características de las señales de entrada y salida:

Entradas análogas:

- Temperatura de combustible.

Salidas análogas:

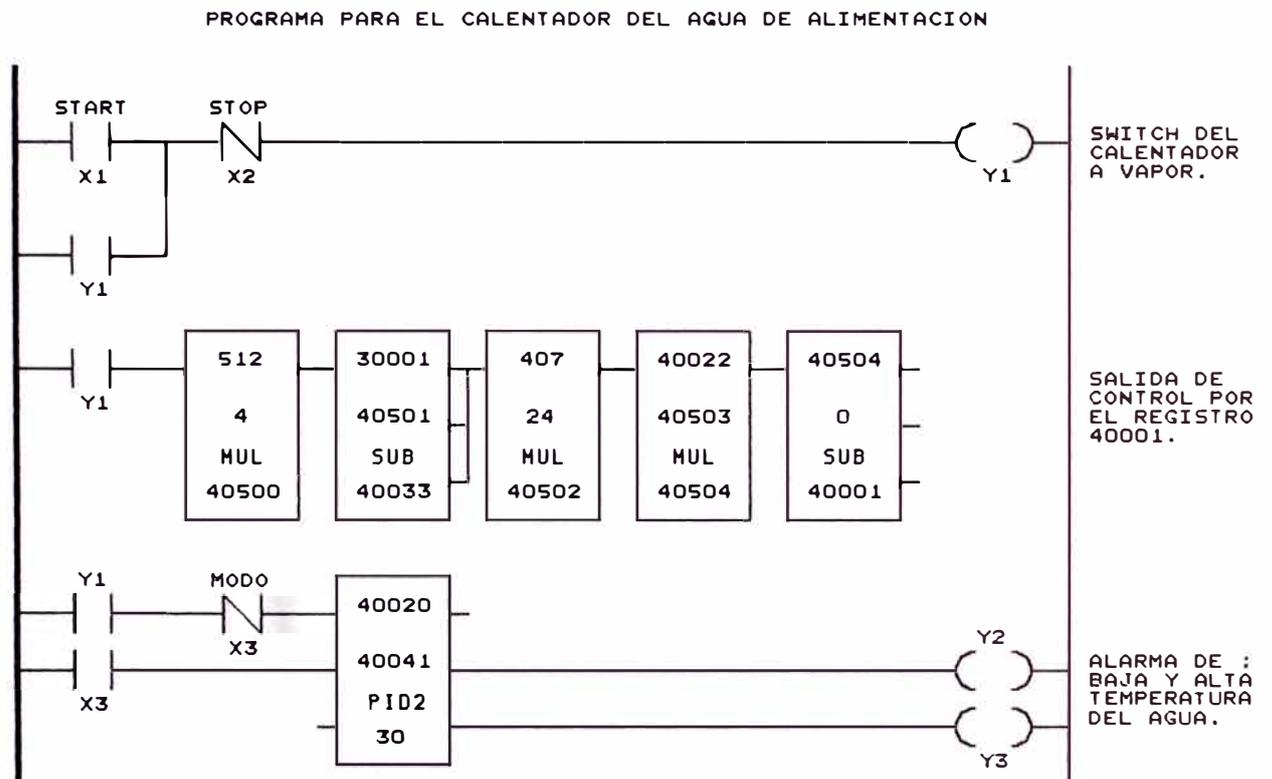
- Control válvula de vapor.

Salidas discretas:

- Alarma de baja de temperatura de agua.
- Alarma de alta de temperatura de agua.

3.1.2.1 Programa de control

El programa mostrado está escrito empleando el lenguaje en escalera, la que incluye un bloque PID2 que hace el control de lazo cerrado. Por las características reales del proceso, se realiza un control P+I+D, debido a que los cambios de carga son rápidos.



Donde:

Entradas discretas: (3)

- X1 : START, pulsador que prende el calentador a vapor.
- X2 : STOP, pulsador que apaga el calentador a vapor.
- X3 : MODO; opera en modo manual el bloque PID.

Salidas discretas: (3)

Y1 : Activa el interruptor del calentador a vapor.

Y2 : Alarma de baja temperatura de agua.

Y3 : Alarma de alta temperatura de agua.

Entradas análogas: (1)

30001 : Temperatura de petroleo (módulo ADU-205).

Salidas análogas:

40001 : Control válvula de vapor (módulo DAU-202).

Contenido de los registros del PID2:

- 40020 = ; Escala de PV, PID2 escribe esto.
- 40021 = 0095 Escala de SP.
- 40022 = Mv, PID2 escribe esto.
- 40023 = 0100 ; Límite para alarma alta.
- 40024 = 0090 ; Límite para alarma baja.
- 40025 = 0100 ; Banda proporcional. El valor usado aquí depende de la dinámica del proceso.
- 40026 = 0100 ; Constante integral, (1.00 repetición/min.).
- 40027 = 0100 ; Constante derivativa, (1.00 repeticiones/min.).
- 40028 = 0000 Bías, es cero dado que existe término integral.
- 40029 = 4095 ; High Windup limit, normalmente es el máximo.
- 40030 = 0000 ; Low Windup limit, normalmente es el mínimo.
- 40031 = 0200 ; High Engineering Range, máxima medida del Pt100.
- 40032 = 0000 ; Low Engineering Range, mínima medida del Pt100.
- 40033 = ; Raw analog measure, se carga directamente desde un registro de entrada.
- 40034 = 0000 ; Pointer to loop counter register, cero anula este parámetro, normalmente no se usa.
- 40035 = 0000 ; Max. loops solved per scan, es cero porque 40034

es cero.

40036 = 0022 ; Pointer to reset feed back, resulta de anular el 4 del registro 40022.

40037 = 4095 ; Output Clamp High (0 ...4095), normalmente se toma el máximo.

40038 = 0000 ; Output Clamp Low (0 ... 4095), normalmente se toma el mínimo.

40039 = 0015 ; Rate Gain Limit Constant (2 ... 30), normalmente se hace 15. El valor depende del ruido presente en la señal (actúa sobre el modo derivativo).

40040 = 0000 ; Pointer to track input. Utilizado si el PRELOAD es empleado, caso contrario normalmente se hace 0.

40041 - 40049: Registros de mantenimiento utilizados para cálculos, no se necesita cargar nada en estos registros.

3.1.3 Control de la temperatura de petroleo

Para que la caldera pueda arrancar, es imprescindible que el petroleo (Residual 6) sea precalentado por medios eléctricos hasta llegar a una temperatura de 110 °C para que esté totalmente diluido. El control de la temperatura se realiza por medio de una resistencia eléctrica y es controlado por un termostato fijado a una temperatura de 110 °C.

Una vez que se arranca la caldera y comienza a producirse vapor, se espera hasta que la presión de atomización de vapor sea de 50 lbs aproximadamente para llevar a cabo el cambio, es decir, conmutar del precalentador eléctrico al calentador a vapor. Ambos sistemas operan en paralelo como se muestra en la figura 3.3 (diagrama de bloques) y en la figura 3.4 (esquema de control).

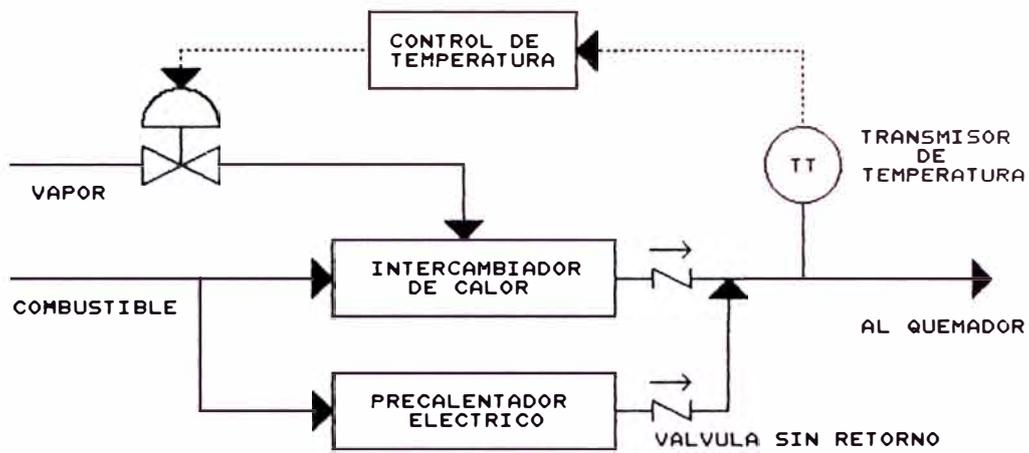


FIGURA 3.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL DE TEMPERATURA DE COMBUSTIBLE (RESIDUAL 6).

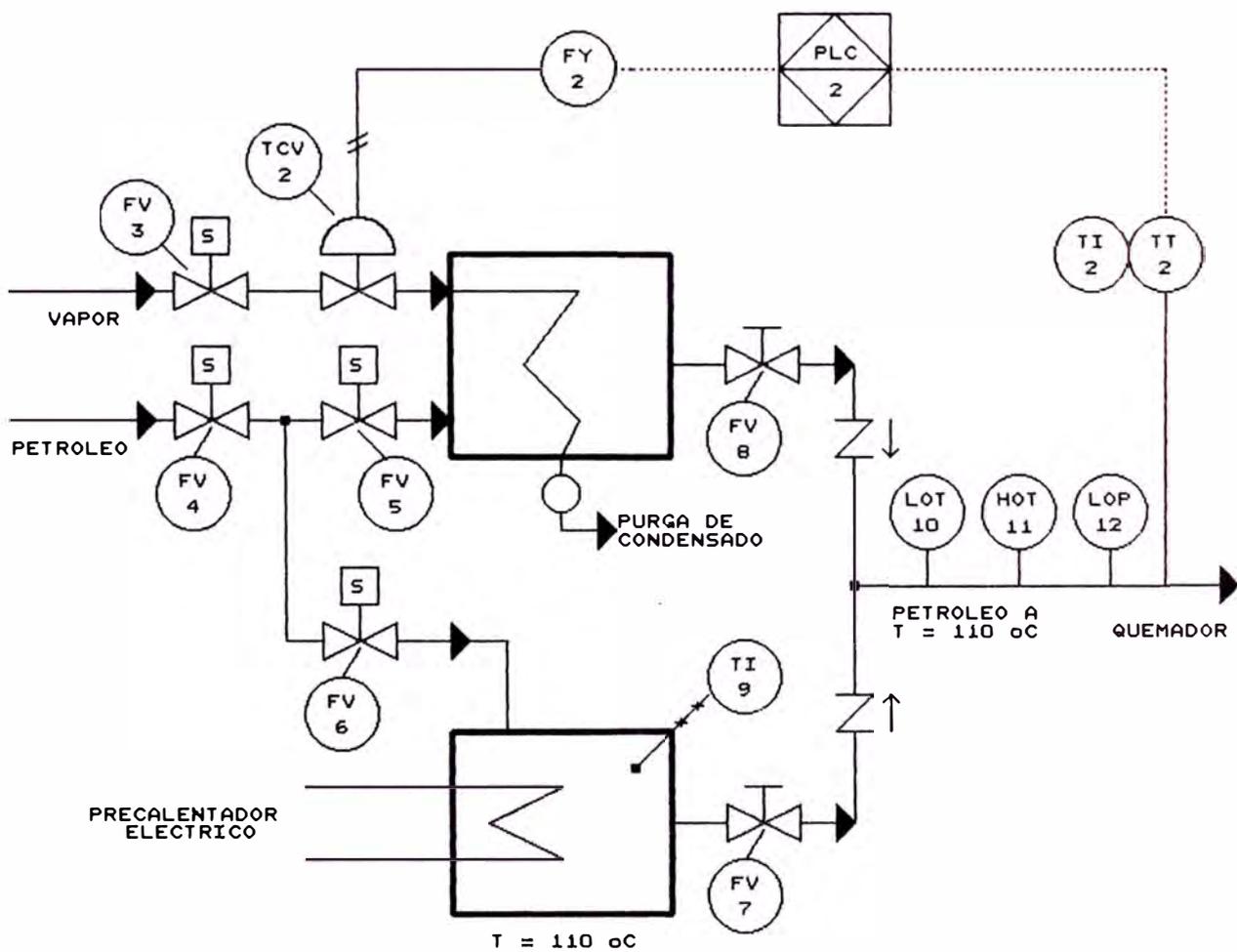


FIGURA 3.4 ESQUEMA DE CONTROL DE LA TEMPERATURA DE PETROLEO.

Leyenda :

PLC-2 = Controlador Lógico Programable.

TI-2 = Indicador de temperatura.

TT-2 = Transmisor de Temperatura (4-20 mA).

FY-2 = Convertidor de corriente/presión (4-20 mA a 3-15 psi).

TCV-2 = Válvula neumática (N.C.) para control de la temperatura.

FV-3 = Válvula solenoide ON/OFF (N.C.) - Válvula que controla la entrada de vapor.

FV-4 = Válvula solenoide ON/OFF (N.C.) - Válvula que controla la entrada de petroleo.

FV-5 = Válvula solenoide ON/OFF (N.C.) - Válvula que controla la entrada de petroleo al intercambiador de calor.

FV-6 = Válvula solenoide ON/OFF (N.C.) - Válvula que controla la entrada de petroleo al precalentador eléctrico.

FV-7/8 = Válvulas manuales.

LOT-10 = Interruptor de baja temperatura de combustible.

HOT-11 = Interruptor de alta temperatura de combustible.

LOP-12 = Presostato de baja presión de combustible.

OBS: *LOT, HOT, y LOP son controles que están dados por el fabricante en el plano original de arranque de la caldera.*

Parámetros del proceso:

Set point = 110 °C

Temperatura mínima = 80 °C

Temperatura máxima = 120 °C

Sensor de Temperatura = Pt-100

Características de las señales de entrada y salida:

Entradas análogas:

Temperatura de combustible.

Salidas discretas:

- Activar/Desactivar las válvulas solenoides (ON/OFF).
- Alarma nivel bajo de temperatura.
- Alarma nivel alto de temperatura.

Salidas análogas:

- Control válvula de vapor.

Para lograr una lectura más precisa de la temperatura, el sensor se ha colocado lo más cercano posible al quemador de petróleo. Tal como se ha mostrado en la figura 3.4.

3.1.3.1 Programa de control

Para realizar el calentamiento del petróleo, el usuario tiene 2 formas de llevar a cabo, una cuando las calderas están apagadas y la otra cuando al menos existe una encendida:

1. Se inicia el calentamiento con la resistencia eléctrica, y una vez encendida la caldera se conmuta al calentamiento a vapor.
2. Existiendo vapor en la línea producido por cualquiera de ellas, el petróleo puede ser calentado con vapor en forma directa.

El programa ha desarrollarse es válido para cualquiera de las 3 calderas, y prevee las 2 posibles formas de calentar el combustible, independientes una de la otra. El estado de las válvulas en los dos modos de operación son:

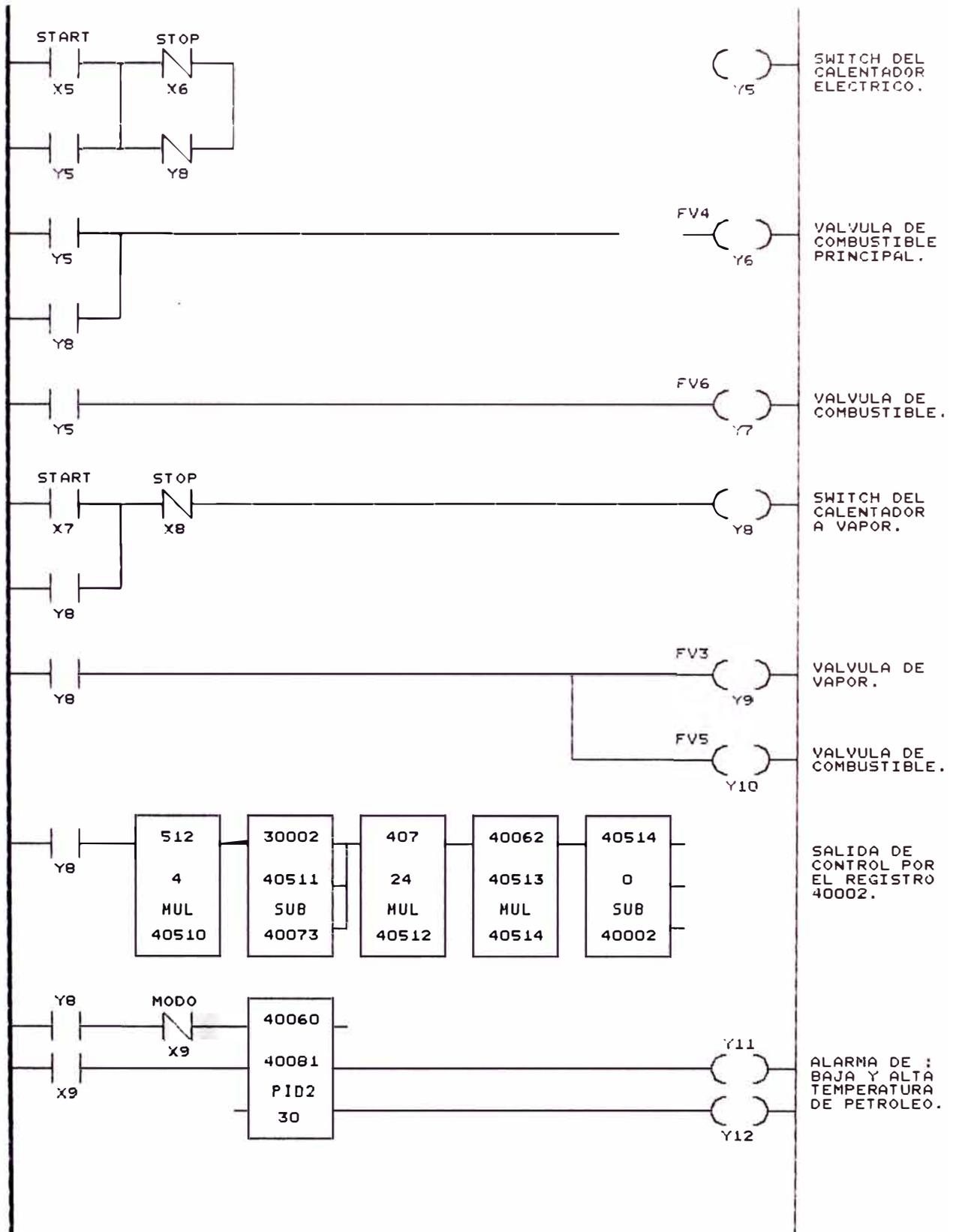
Válvulas	TCV2	FV3	FV4	FV5	FV6
Calentador Eléctrico - ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON
Calentador a Vapor - ON	ON	ON	ON	ON	OFF

Del programa se tiene:

Entradas discretas: (5)

- X5 : START; pulsador que prende el calentador eléctrico.
- X6 : STOP; pulsador que apaga el calentador eléctrico.

PROGRAMA PARA EL CALENTADOR DE PETROLEO



X7 START; pulsador que prende el calentador a vapor.

X8 : STOP; pulsador que apaga el calentador a vapor.

X9 : MOD0; opera en modo manual el bloque PID.

Salidas discretas: (8)

Y5 : Activa el calentador eléctrico.

Y6 : Válvula de entrada de petroleo al sistema (FV-4).

Y7 : Válv. de entrada de petroleo al calentador eléctrico (FV-6).

Y8 : Activa el calentador a vapor.

Y9 : Válvula de entrada de vapor (FV-3).

Y10 : Válvula de entrada de petroleo al calentador de vapor (FV-5).

Y11 : Alarma de alta temperatura de combustible.

Y12 : Alarma de baja temperatura de combustible.

Entradas análogas:

30002: Temperatura de petroleo (módulo ADU-205).

Salidas análogas:

40002: Control válvula de vapor (módulo DAU-202).

Registros de cálculo y mantenimiento:

40060 - 40089: Registros usados por la función PID2.

40510 - 40515: Registros usados para cálculos auxiliares.

Contenido de los registros del PID2:

40060 = ; Escala de PV, PID2 escribe esto.

40061 = 0110 ; Escala de SP.

40062 = ; Mv, PID2 escribe esto.

40063 = 0120 ; Límite para alarma alta.

40064 = 0080 ; Límite para alarma baja.

40065 = 0100 ; Banda proporcional. El valor usado aquí depende de
la dinámica del proceso.

40066 = 0100 ; Constante integral, (1.00 repetición/min.).

- 40067 = 0100 , Constante derivativa, (1.00 repeticiones/min.).
- 40068 = 0000 ; Bías, es cero dado que existe término integral.
- 40069 = 4095 High Windup limit, normalmente es el máximo.
- 40070 = 0000 ; Low Windup limit, normalmente es el mínimo.
- 40071 = 0200 ; High Engineering Range, máxima medida del Pt100.
- 40072 = 0000 ; Low Engineering Range, mínima medida del Pt100.
- 40073 = ; Raw analog measure, se carga directamente desde un registro de entrada.
- 40074 = 0000 ; Pointer to loop counter register, cero anula este parámetro, normalmente no se usa.
- 40075 = 0000 ; Max. loops solved per scan, es cero porque 40034 es cero.
- 40076 = 0072 ; Pointer to reset feed back, resulta de anular el 4 del registro 40022.
- 40077 = 4095 ; Output Clamp High (0 ...4095), normalmente se toma el máximo.
- 40078 = 0000 ; Output Clamp Low (0 ... 4095), normalmente se toma el mínimo.
- 40079 = 0015 ; Rate Gain Limit Constant (2 ... 30), normalmente se hace 15. El valor depende del ruido presente en la señal (actúa sobre el modo derivativo).
- 40080 = 0000 ; Pointer to track input. Utilizado si el PRELOAD es empleado, caso contrario normalmente se hace 0.
- 40081 - 40089:** Registros de mantenimiento utilizados para cálculos, no se necesita cargar nada en estos registros.

3.1.4 Presión de agua

La presión del agua de alimentación, visto en la práctica no requiere ninguna forma de control; esto es, las bombas que impulsan

el agua hacia la caldera está encendida mientras esté trabajando la caldera. La razón para ello es por seguridad, puesto que la caldera no se puede quedar sin agua. La bomba trabaja entre 175 psi. y 225 psi. de presión. Para la alarma de baja presión de agua se cuenta con un presostato calibrado a 150 psi.

3.1.5 Encendido de la caldera

Teniendo las temperaturas adecuadas del agua de alimentación, combustible y ajustado los reguladores de tiro y válvulas se procede a encender la caldera. Para ello, el programador-temporizador movido por un motor eléctrico pequeño, será reemplazado por un PLC, quien para llevar a cabo el encendido deberá seguir los mismos pasos dados por el actual motor. Ver la siguiente tabla.

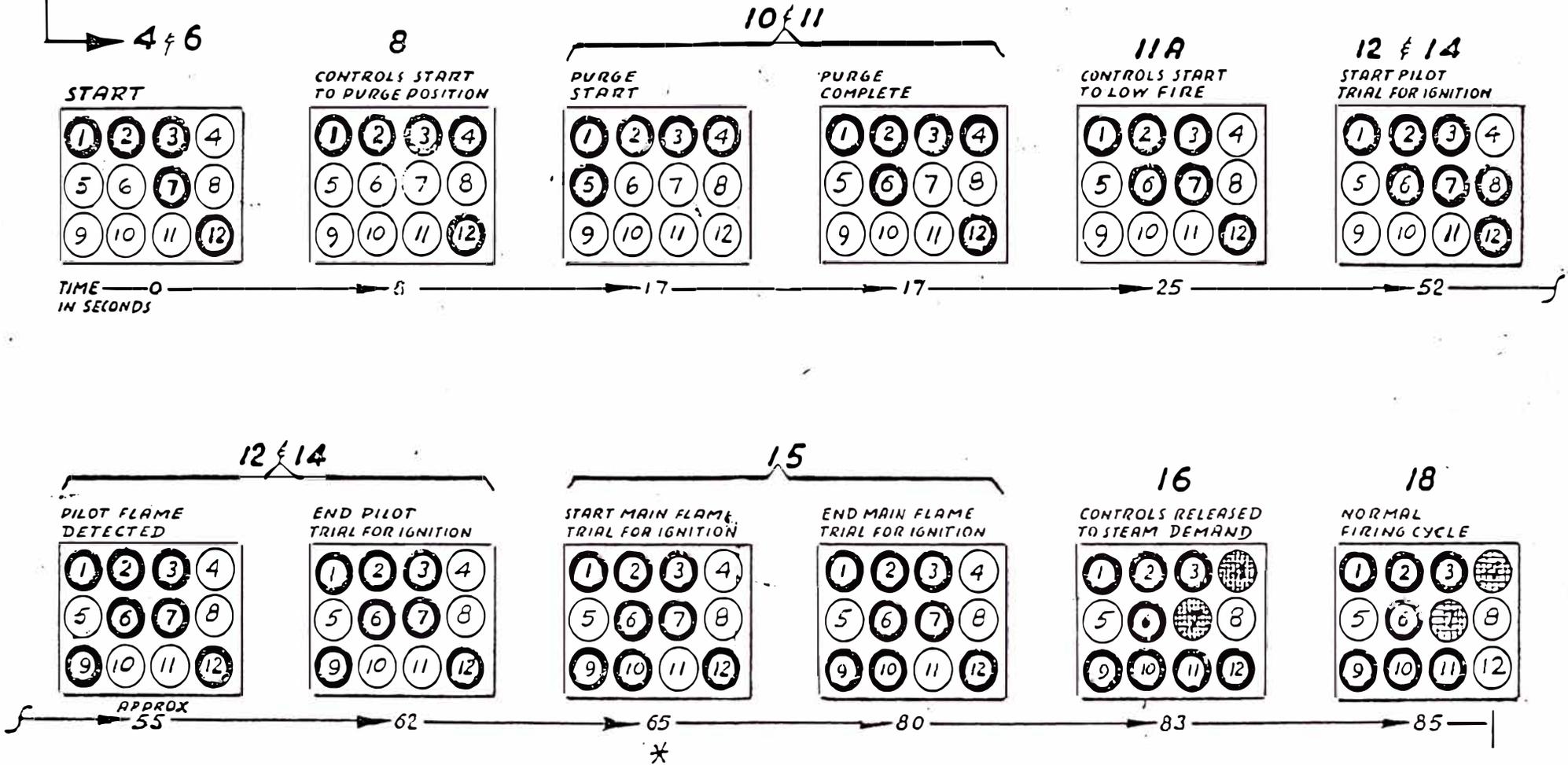
Tabla 3.2 Pasos a seguir para el encendido de la caldera.

TIME (seg)	CICLO (evento)	CIRCUITO ANALIZADOR (señal)	CONDICION DEL CIRCUITO
0	Arranque	Lamp 1 ON	Suministro de energía - ON.
		Lamp 2 ON	Cierra límites de arranque.
		Lamp 3 ON	Cierra límites de vapor (si aplicable) y aire, inicio normal del bloqueador.
		Lamp 7 ON	Cierra circuito que controla la combustión de "fuego bajo".
		Lamp 12 ON	Activa motor del programador para poner en marcha el ciclo.
8	Programa control de combustión	Lamp 7 OFF	Señal de fuego bajo - OFF.
		Lamp 4 ON	Cierra circuito de control de combustión para purga.
17	Inicio de purga	Lamp 5 ON	Cierra bloqueador de Damper & Louvers open & Purge.
		Lamp 12 OFF	Desactiva motor de programador.

TIME (seg)	CICLO (evento)	CIRCUITO ANALIZADOR	CONDICION DEL CIRCUITO
17	Purga completa	Lamp 5 OFF	Bloqueador de purga queda fuera del circuito.
		Lamp 6 ON	Ciclo de purga completo.
		Lamp 12 ON	Reenergiza motor de programador para continuar ciclo.
25	Programa control de combustión	Lamp 4 OFF	Señal de purga OFF.
		Lamp 7 ON	Cierra circuito de control de combustión "fuego bajo".
52	Inicio de prueba de encendido de piloto	Lamp 8 ON	Cierra bloqueador de fuego bajo -Válvula piloto y transformador de ignición se activan.
55	Detecta llama piloto	Lamp 8 OFF	Desactiva transformador de ignición.
		Lamp 9 ON	Detecta llama.
62	Fin de la prueba de encendido de piloto	No cambia	Llama sobre bloqueador está ahora en el circuito y la pérdida de llama más allá de este punto causará un CORTE inmediato.
65	Inicio de prueba de encendido de llama principal	Lamp 10 ON	Activa válvula de combustible principal.
80	Fin de la prueba de encendido de llama principal	No cambia	Desactiva válvulas piloto, bloqueador de fuego bajo queda fuera del circuito, llama principal comprobado.
83	Programa control de combustión	Lamp 11 ON	Control de combustión se libera para producir vapor, o para un control manual.
85	Ciclo completo	Lamp 12 OFF	Desactiva motor de programador para ciclo normal de encendido.
85		Lamp 7 ON or	Decrece la velocidad de la señal de encendido.
		Lamp 4 ON	Aumenta la velocidad de la señal de encendido.

REFERENCE PAGE :

NOTE: FOR LAMP SYMBOLS - SEE FOLDOUT SHEET AT BACK OF BOOK



* OPTIONAL: START MAIN FLAME IGNITION AT 70 SECONDS BY JOB SPECIFICATION

Figura 3.5 PANEL DE LUCES DEL ENCENDIDO DE LA CALDERA.

La figura 3.5 muestra un panel de luces ya existente, que sirve como guía para que el supervisor observe el estado del encendido de la caldera. De producirse alguna falla o alarma se observará en el panel, que luces o lámparas deberían estar prendidas o apagadas en ese instante del ciclo de evento. Para determinar el lugar de la falla, se compara éste con la tabla anterior y de acuerdo a ello se procede a corregir la falla. Todo esto, toma un tiempo relativamente grande y aquí tiene un rol importante la experiencia del supervisor.

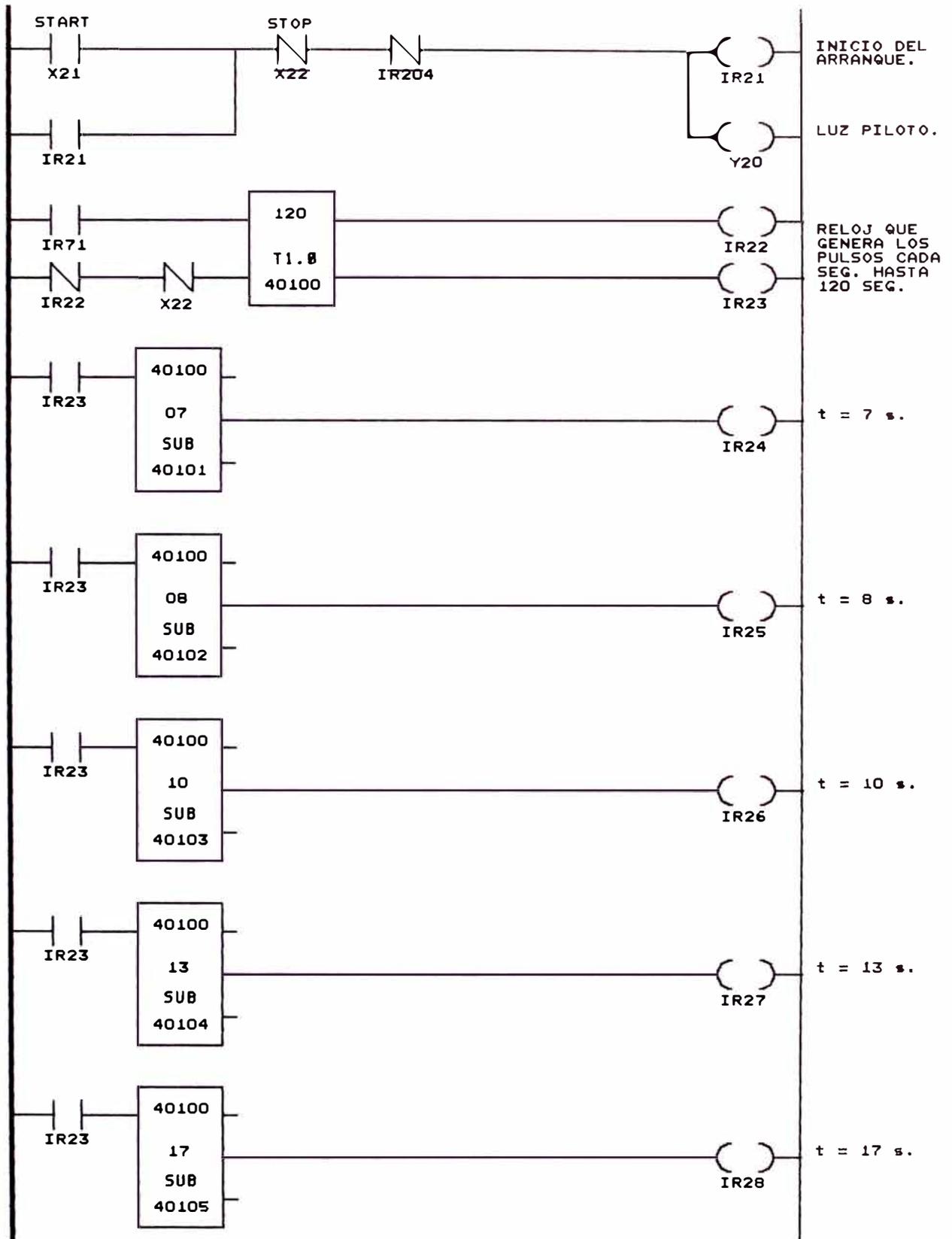
El objetivo principal del control propuesto, es que mediante un PLC conectado a un microcomputador o una consola podremos visualizar todo el proceso de arranque y funcionamiento del mismo. Es decir, se obtendrá un control total sobre todas las variables del sistema, y además contribuirá con ello a que cuando se presente alguna falla, nos permita ubicar en forma rápida y precisa el lugar de origen de ésta, evitando así la pérdida de tiempo.

Otra ventaja importante está referido al sistema de alarmas, esto es, al producirse una alarma el supervisor sabrá al instante el lugar de origen de ésta. Es más, por software es posible habilitar o deshabilitar la variable afectada, para que siga funcionando el sistema y en forma paralela realizar la reparación del caso. Cabe mencionar, que esta opción es factible sólo si el supervisor lo cree conveniente.

3.1.5.1 Programa de encendido de la caldera

Este programa comprende tres partes, una encargada de generar los 120 pulsos/seg de reloj (reemplaza al programador-temporizador eléctrico), la segunda que memoriza la activación de los pulsos en los tiempos especificados por el diagrama eléctrico de arranque de la caldera y la tercera el programa principal de éste.

ETAPA DE GENERACION DE UN PULSO/SEGUNDO DURANTE 120 SEG.

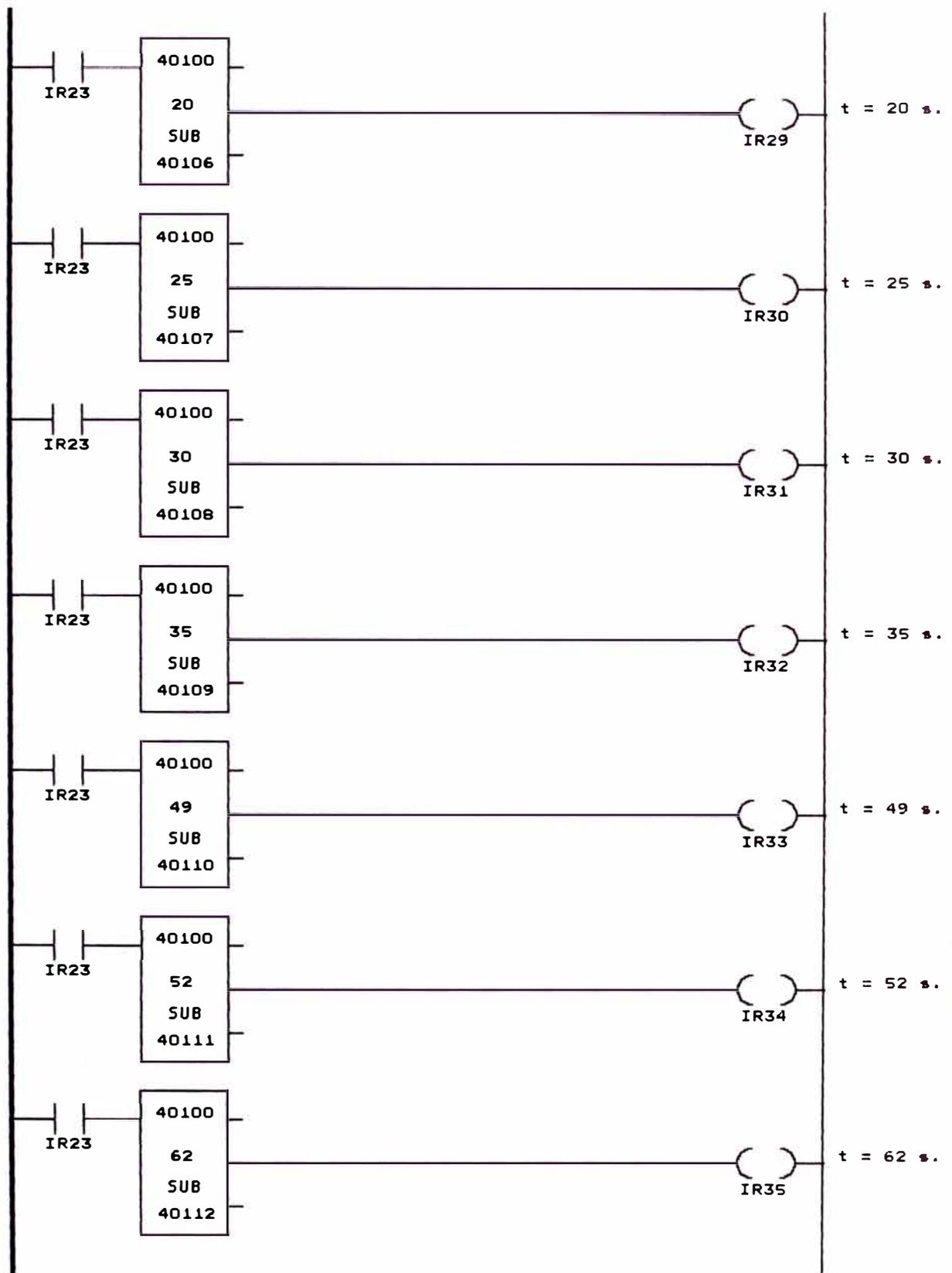


PROGRAMA EN ESCALERA PARA EL
ENCENDIDO DE LA CALDERA APIN1

TESIS DE GRADO

AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

15/07/95 Pag. 1 de 10



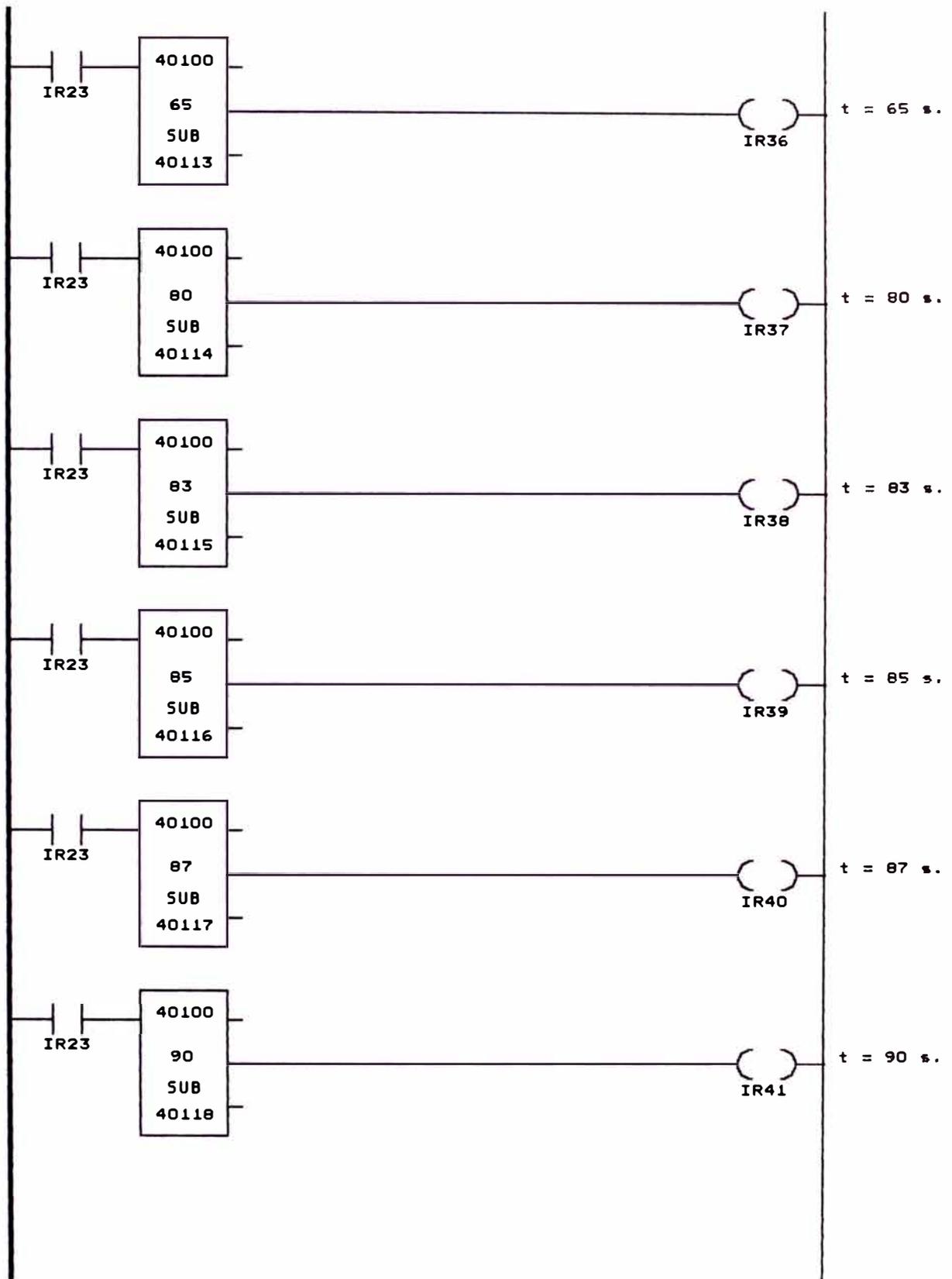
PROGRAMA EN ESCALERA PARA EL
ENCENDIDO DE LA CALDERA APIN1

TESIS DE GRADO

AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

15/07/95

Pag. 2 de 10

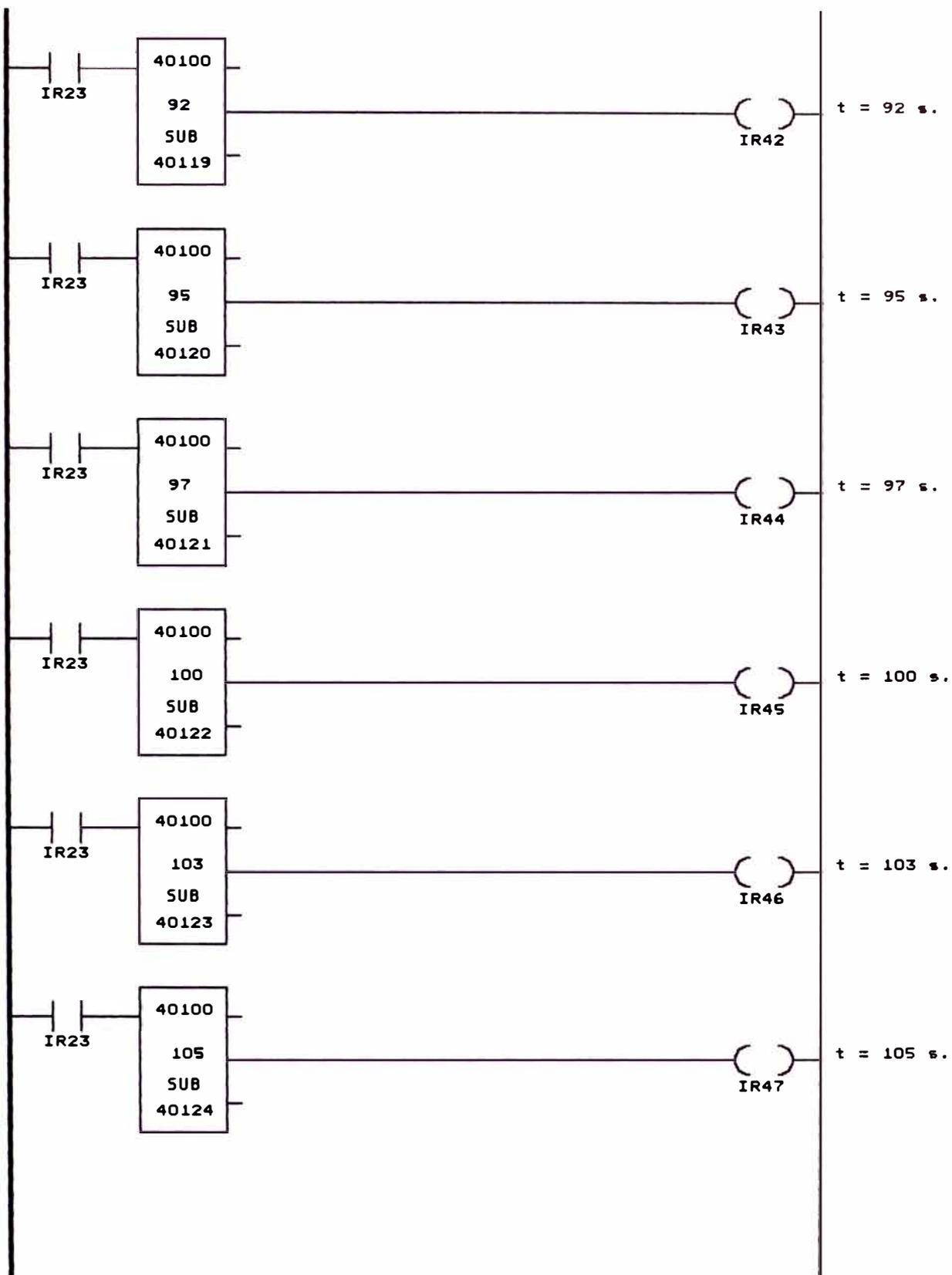


PROGRAMA EN ESCALERA PARA EL
ENCENDIDO DE LA CALDERA APIN1

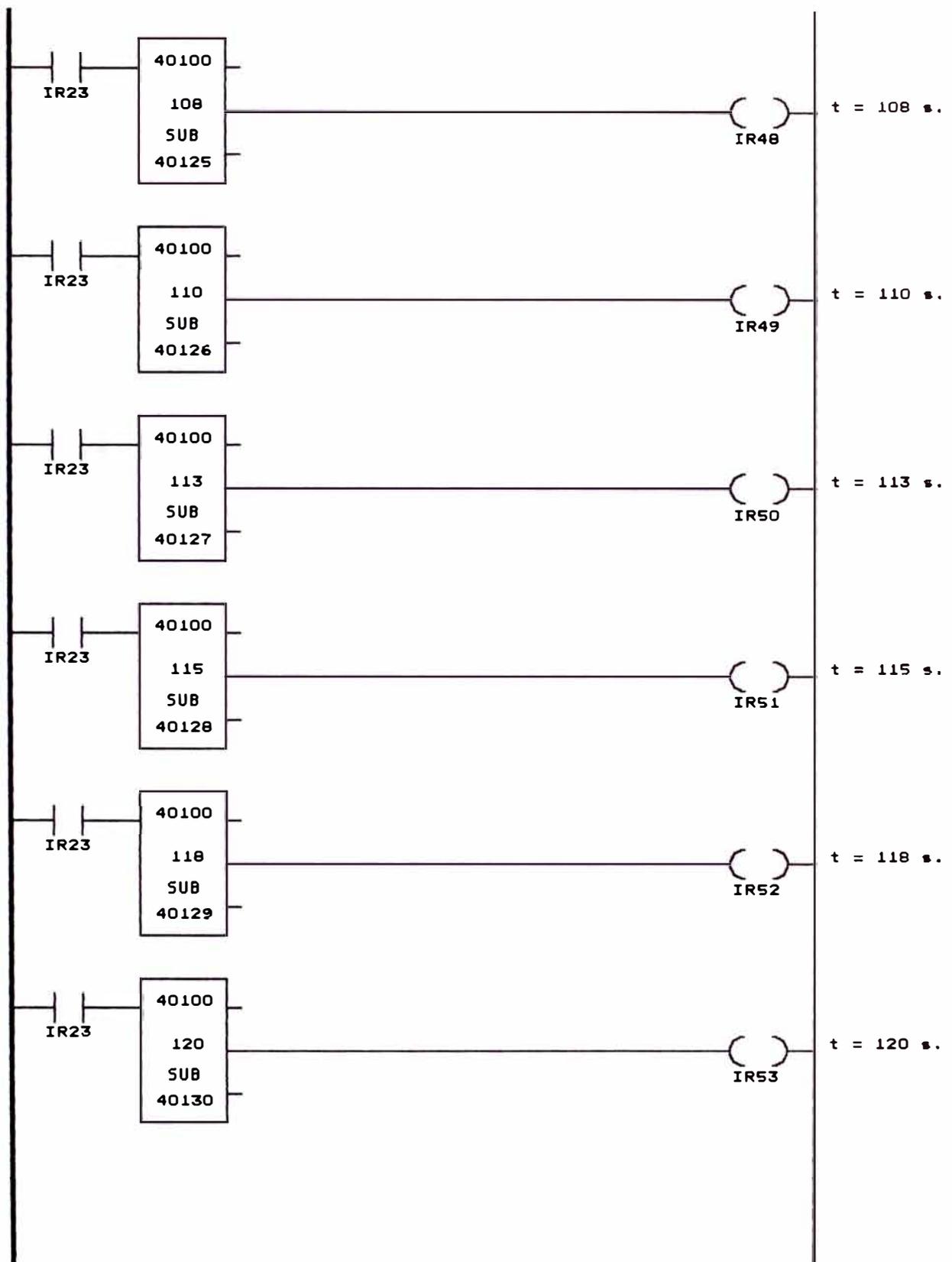
TESIS DE GRADO

AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

15/07/95 Pag. 3 de 10

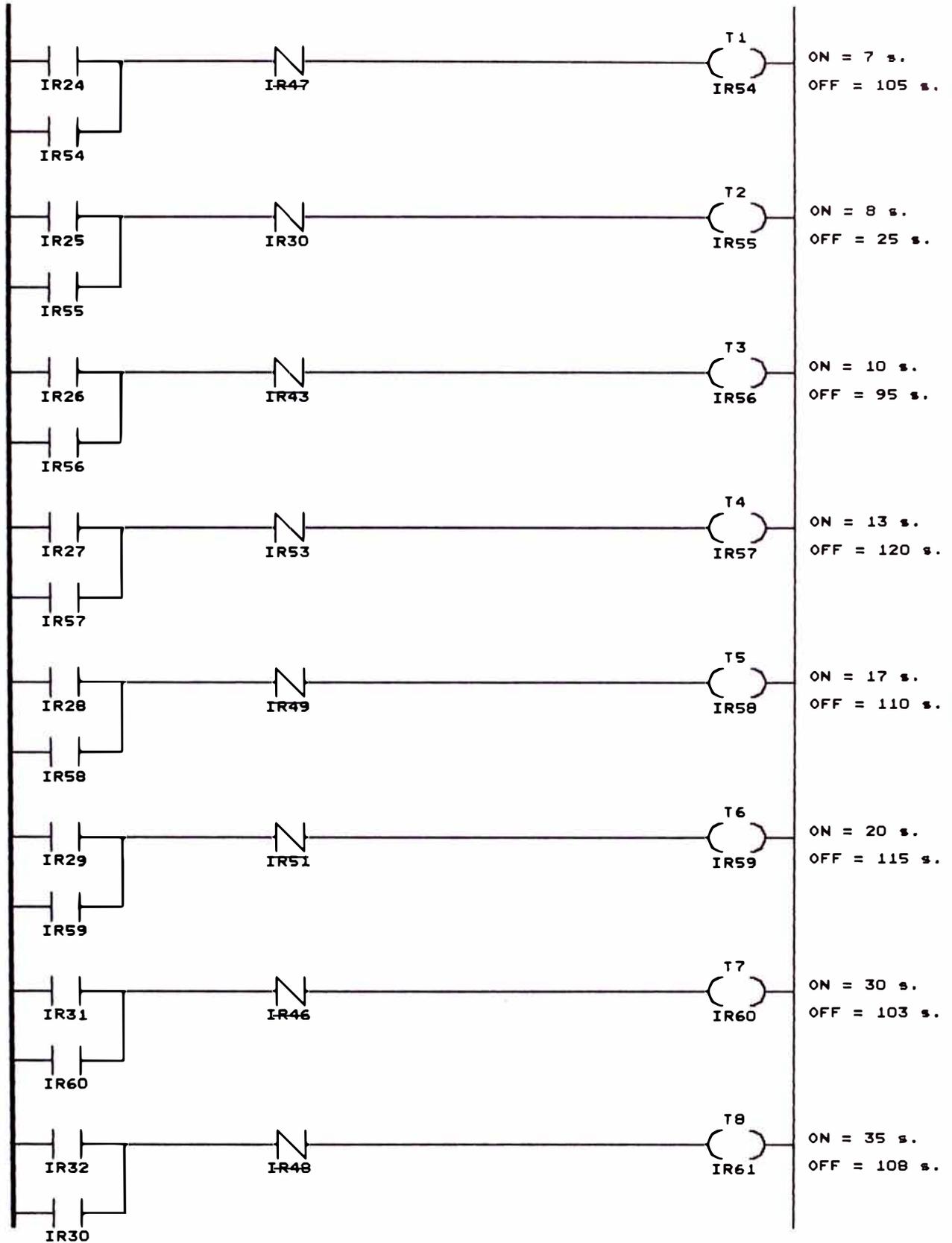


PROGRAMA EN ESCALERA PARA EL
 ENCENDIDO DE LA CALDERA APINI
 TESIS DE GRADO
 AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
 15/07/95 Pag. 4 de 10



PROGRAMA EN ESCALERA PARA EL
ENCENDIDO DE LA CALDERA APIN1
TESIS DE GRADO
AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
15/07/95 Pag. 5 de 10

ETAPA DE MEMORIZACION DE LOS PULSOS GENERADOS POR EL RELOJ



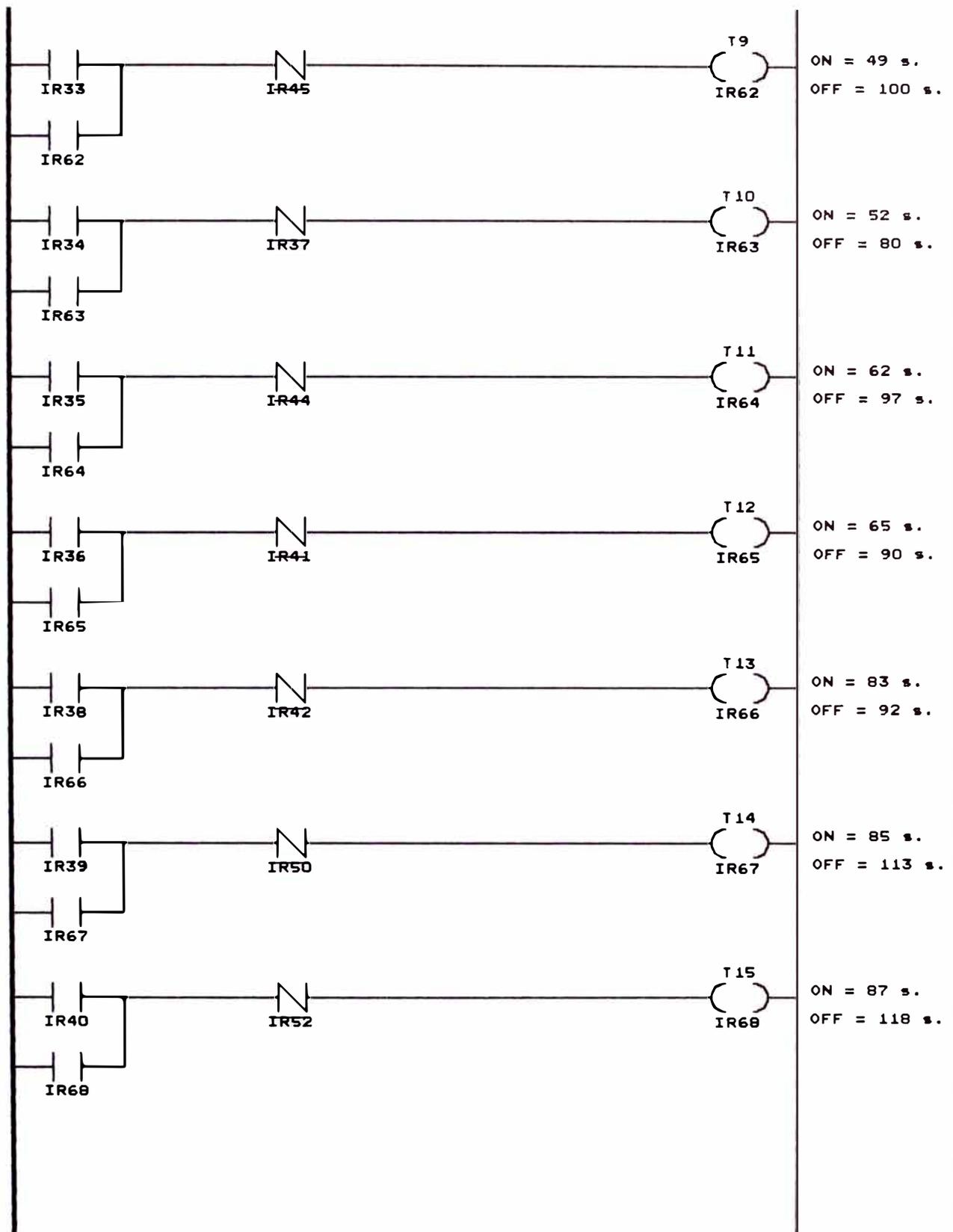
PROGRAMA EN ESCALERA PARA EL
ENCENDIDO DE LA CALDERA APINI

TESIS DE GRADO

AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

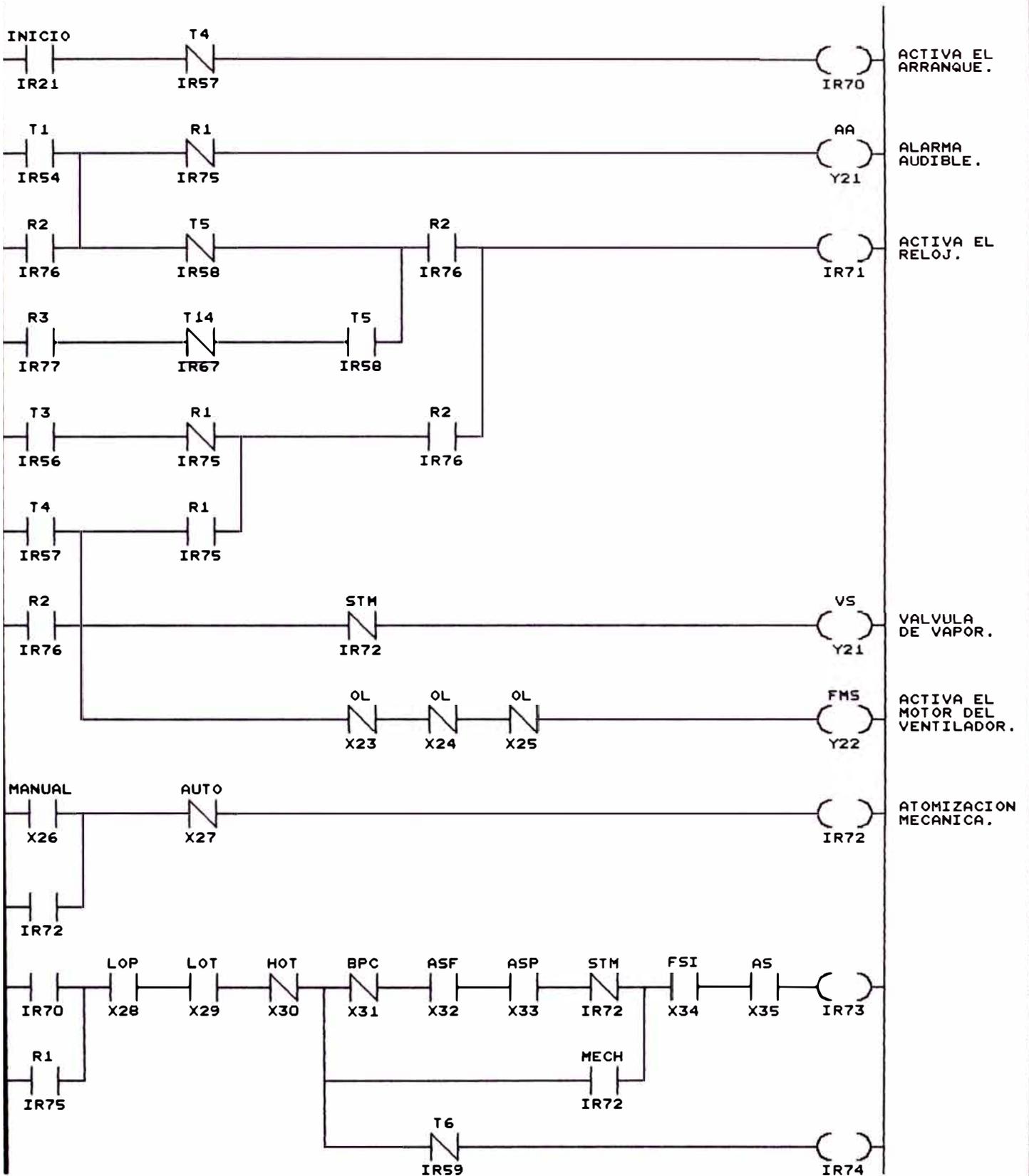
15/07/95

Pag. 6 de 10

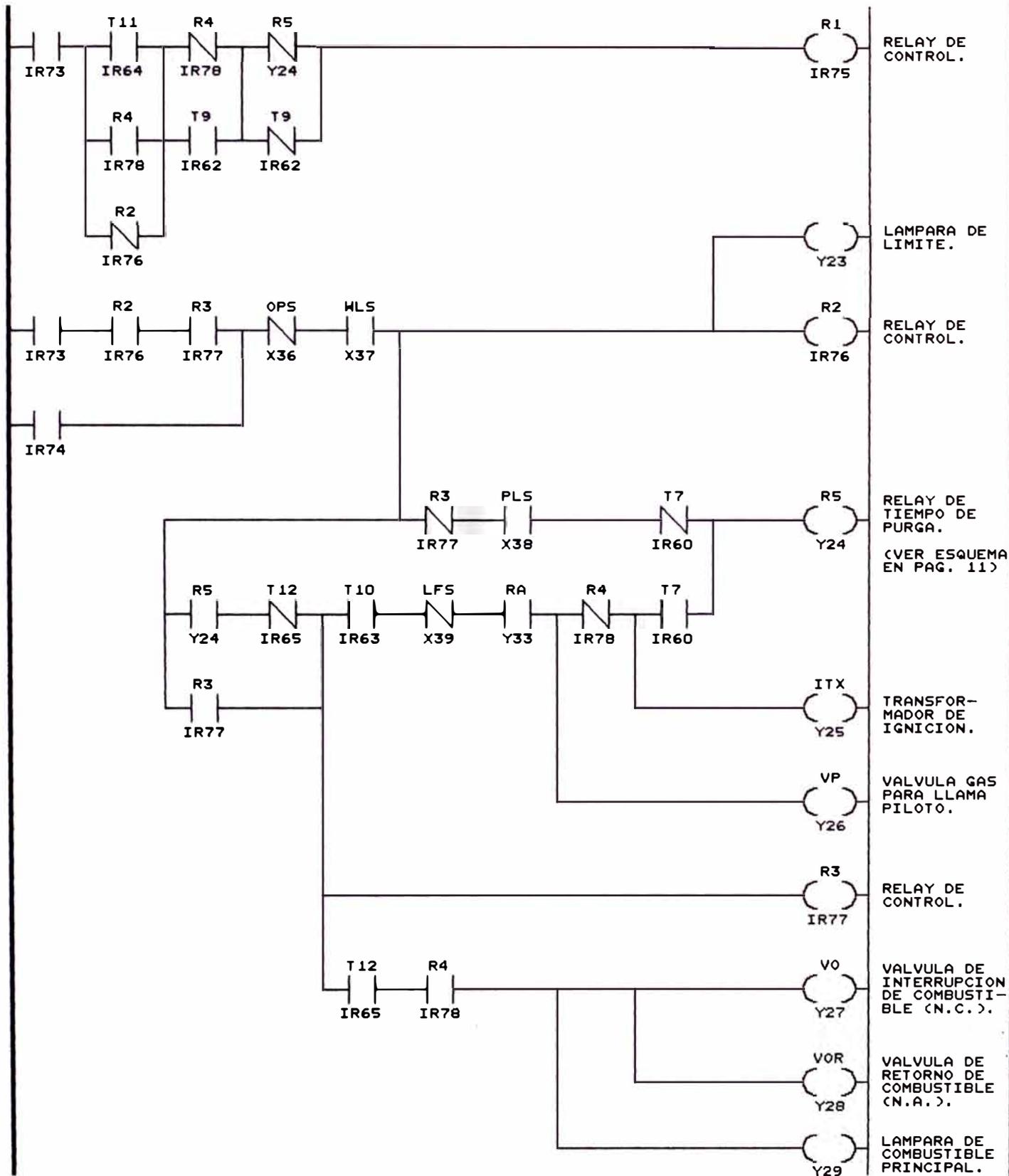


PROGRAMA EN ESCALERA PARA EL
ENCENDIDO DE LA CALDERA APIN1
TESIS DE GRADO
AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
15/07/95 Pag. 7 de 10

PROGRAMA PRINCIPAL DE ARRANQUE DEL CALDERO



PROGRAMA EN ESCALERA PARA EL
ENCENDIDO DE LA CALDERA APINI
TESIS DE GRADO
AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
15/07/95 Pag. 8 de 10



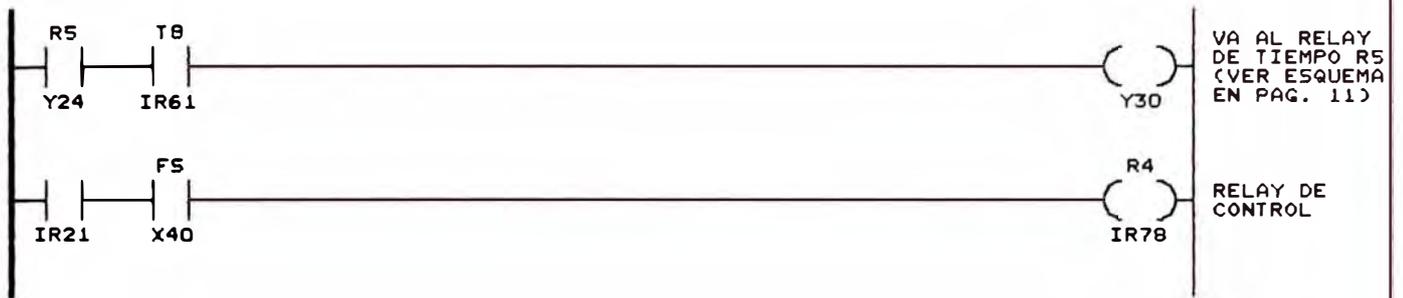
PROGRAMA EN ESCALERA PARA EL
ENCENDIDO DE LA CALDERA APIN1

TESIS DE GRADO

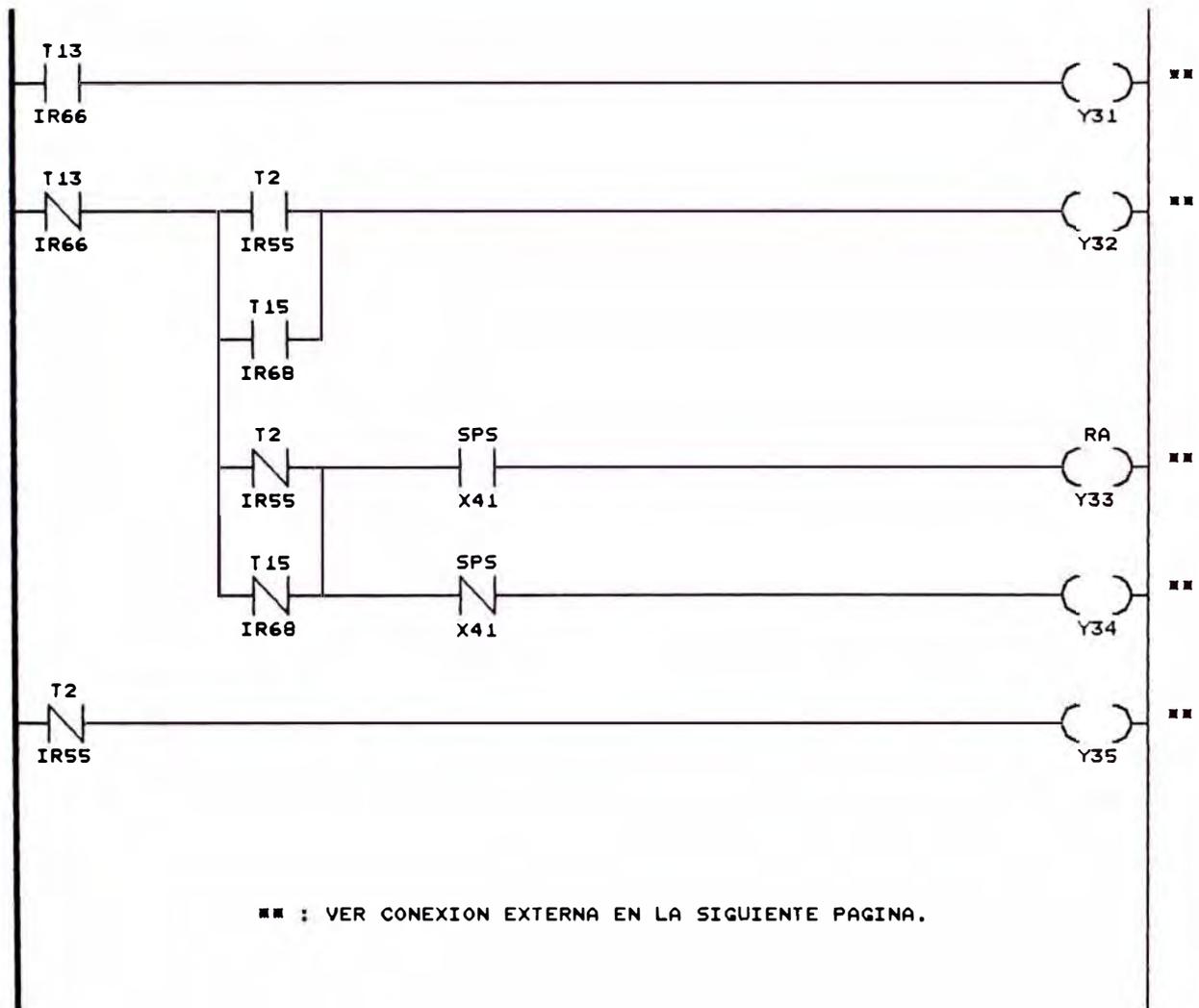
AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

15/07/95

Pag. 9 de 10



24 V.

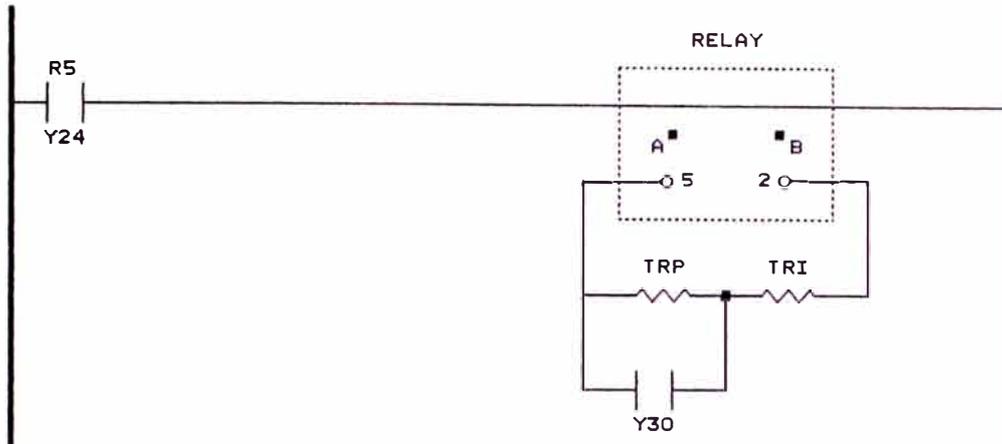


■ ■ : VER CONEXION EXTERNA EN LA SIGUIENTE PAGINA.

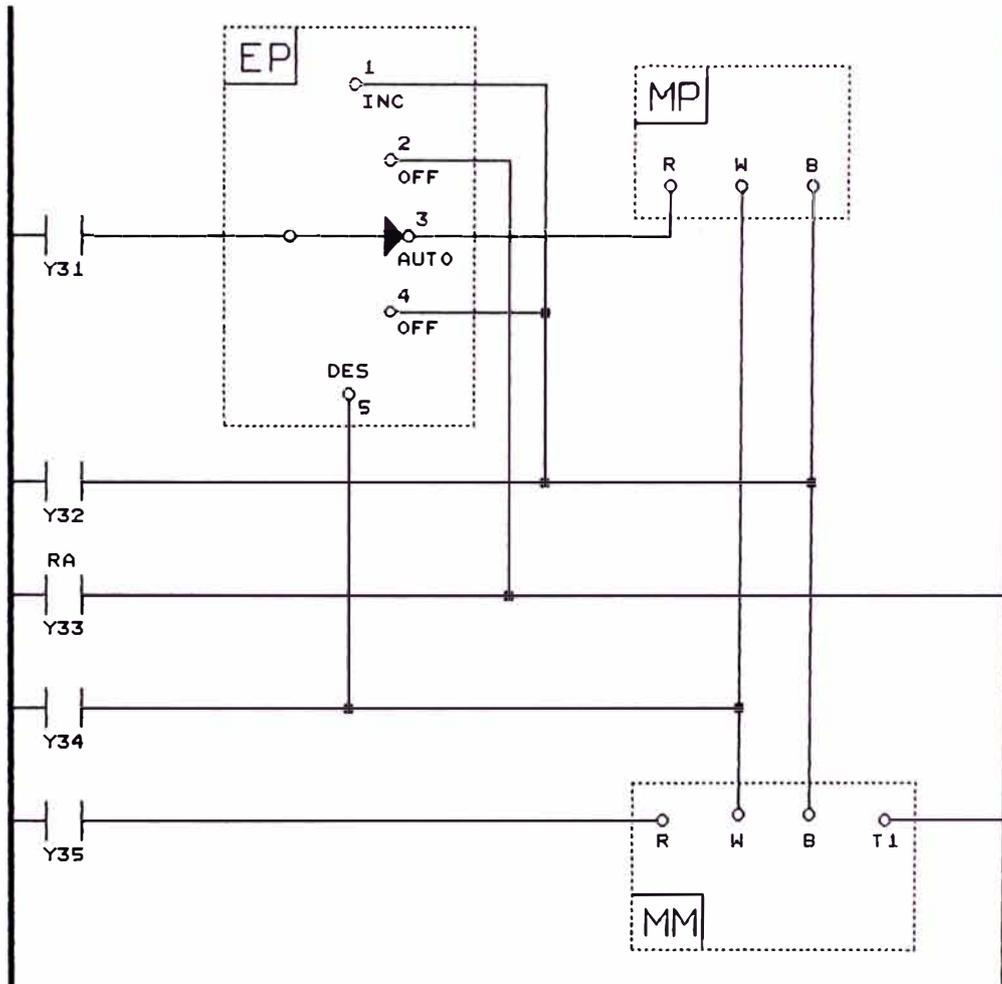
A E N

PROGRAMA EN ESCALERA PARA EL
ENCENDIDO DE LA CALDERA APIN1
TESIS DE GRADO
AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
15/07/95 Pag. 10 de 10

120 V.



24 V.



ESQUEMA DE CONEXION EXTERNA DEL
RELAY DE TIEMPO DE PURGA Y
MODUTROL (MM)

TESIS DE GRADO

AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

15/07/95

Pag. 1 de 1

Del programa se tiene:

Entradas discretas: (21)

- X21 START; Inicio del encendido de la caldera.
- X22 : STOP; Apaga la caldera.
- X23, X24, X25 : (OL) Fusibles de la línea trifásica del motor del ventilador.
- X26 : (MA) Selecciona atomización mecánica (MECH).
- X27 : (MA) Selecciona atomización a vapor (STM).
- X28 : (LOP) Presostato de baja presión de combustible (60 Psi).
- X29 : (LOT) Interruptor de baja temperatura de combustible (85 °C).
- X30 (HOT) Interruptor de alta temp. de combustible (120 °C).
- X31 : (BPC) Válvula puente de combustible con grifo enclavado.
- X32 (ASF) Presostato de flujo de vapor atomizador (0.2 Psi).
- X33 : (ASP) Presostato de baja atomización de vapor (10 Psi).
- X34 : (FSI) Enclavamiento del arrancador de ventilador.
- X35 : (AS) Presostato de presión de suministro de aire.
- X36 : (OPS) Presostato de sobre presión (132 Psi).
- X37 : (WLS) Interruptor de nivel de agua.
- X38 (PLS) Interruptor de carrera de purga, cerrado a 90 - 100% de llama normal.
- X39 (LFS) Interruptor de carrera de baja llama, cerrado a 0 - 30% de llama normal.
- X40 : (FS) Conservador de llama.
- X41 : (SPS) Interruptor de posición de arranque, accionado aprox. a 22% de llama nominal.

Salidas Discretas: (8)

- Y20 : Luz piloto, indica el encendido de la caldera.
- Y21 : (AA) Alarma audible..

- Y22 : (VS) Válvula de vapor.
- Y23 : (FMS) Arrancador del motor del ventilador.
- Y24 : (R5) Relé de tiempo (excitación retardada)
- Y25 : (ITX) Transformador de ignición.
- Y26 : (VP) Válvula de gas para llama piloto.
- Y27 : (VO) Válvula de interrupción de combustible (N.C.).
- Y28 : (VOR) Válvula de retorno de combustible (N.A.).
- Y29 : Luz piloto del combustible principal.
- Y30 : (RA) Relé de control.
- Y31, ... ,Y35: Salidas que activan al relé de tiempo de extensión de purga y al modutrol.

Registros de cálculo y mantenimiento:

40100 - 40130: Registros usados para almacenar los tiempos.

Salidas de control interno:

IR21 hasta IR78.

Otros términos:

TRP : Resistencia de extensión del tiempo de purga.

TRI : Resistencia de tiempo de purga mínimo y chequeo de ignición.

EP : Selector de forma de funcionamiento del motor modulador.

MM : Motor modulador.

MP : Controlador de presión.

OBS.: *Plano del encendido de la caldera APINI, en el Apéndice 1.*

3.1.6 Control de combustión

La operación con éxito de cualquier instalación de calderas, independiente del tamaño o número de unidades, exige que se mantenga en forma constante, la más alta eficiencia posible en el uso del combustible. Para hacer economizar el combustible, se deben realizar todos los ajustes necesarios de los reguladores de tiro, válvulas y

cualquier otro equipo ajustable, cuando se requiera y en la cantidad requerida.

El uso de equipos automáticos para realizar estos propósitos, asegura una comprobación constante de la operación y coordinación de los ajustes. Por esta razón, se ha preferido emplear a los CLC (Loop Command Controller) de Bailey, porque el PLC en la implementación de algoritmos complejos o funciones especiales tiene limitaciones. Los aparatos automáticos proporcionan una solución satisfactoria sobre el rango completo de tamaños de calderas y para cualesquiera de las combinaciones de quemadores de combustible y de equipo auxiliar.

El sistema de control automático de la combustión debe estar preparado para el desempeño de tres funciones básicas:

1. Ajustar el abastecimiento de combustible para asegurar la soltura de calor necesaria para mantener la condición principal. Esta usualmente es la presión de vapor, pero puede ser flujo de vapor o alguna otra medida de la salida de la caldera.
2. Ajustar el abastecimiento de aire de combustión en la relación adecuada al suministro de combustible y mediante esto mantener la óptima eficiencia en el proceso de la combustión.
3. Ajustar el equipo para mantener la velocidad de tiro de los productos de combustión de acuerdo con la velocidad a la que se desarrollan los productos en el proceso de combustión.

3.1.6.1 Sensores, medición de las variables y elementos de control

1. Medición de la presión de vapor

Esta se realiza por medio de presión manométrica, por ser el método más recomendado. La toma de la salida de vapor se conecta a un transmisor de presión con salida de 4 - 20 mA que se conectará al cuarto de control.

2. Medición del flujo de vapor

Para efectuar la medición del flujo de vapor saturado que sale de la caldera se tiene diferentes métodos. Las características de los principales elementos se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Características de los elementos de medición de flujo.

ELEMENTO	CONTOMETRO	PLACA ORIFICIO	FLUJO-MASA	FLUJOMETRO
RANGO DE TEMPERATURA	Min. 0 °C Max. 300 °C	0 °C 700 °C	0 °C 200 °C	0 °C 80 °C
PRECISION	2.0 %	2.5 %	0.5 %	0.5 %
VENTAJAS	Bajo costo, simplicidad, larga vida	Bajo costo, respuesta rápida, fácil montaje	Fácil montaje, amplio rango, poco mantenimiento	Fácil montaje, poco mantenimiento
DESVENTAJAS	Dificultad para leer	Pérdida de presión, le afecta la temperatura	Su costo es alto, le afecta la temperatura	Su costo es alto, le afecta la temperatura

Para medir el flujo de vapor, el método más adecuado es a través de la placa orificio anexo a un transmisor de presión diferencial. Su señal de salida de 4 - 20 mA, se conecta al cuarto de control.

3. Medición del flujo de combustible

La medición del flujo de combustible que alimenta al quemador, se puede realizar utilizando el contómetro, debido a su bajo costo y precisión que puede ser del 1% si se especifica correctamente. Su señal de salida de 4 - 20 mA se conecta al cuarto de control.

4. Medición de los gases de combustión

La medición de los gases de combustión se realiza a través de un analizador de gases en línea, el tipo de sensor para la aplicación que se requiere debe ser de Zirconio con la debida protección para temperaturas altas, de gran sensibilidad, precisión y vida.

La unidad electrónica se instala en el campo, la que medirá la temperatura de los gases y analizará el % de Oxígeno y % de Monóxido

de carbono. El sistema de control generará dos señales de salida de 4 a 20 mA.

La medición de estos parámetros en la zona de máxima eficiencia nos indican lo siguiente:

Oxígeno: Sirve como un buen índice para medir el exceso de aire, más no la calidad de la combustión.

Sus beneficios son:

Medición del exceso de aire.

Mejora la eficiencia de la combustión.

Decrece el costo del combustible.

Extiende la vida de los refractarios.

Reduce las emisiones contaminantes.

Monóxido de carbono: Es un buen índice para indicar la calidad de la combustión, pero no el exceso de aire.

Esto nos lleva a la conclusión, que si deseamos un buen control de combustión, tenemos que sensar las dos variables anteriores, para que operen juntos y así obtener un mejor aprovechamiento en la zona de máxima eficiencia. El instrumento analizador de gases se ilustra en la figura 3.6.

Este sistema de control de combustión, es un sistema integrado y está constituido por un analizador, controlador e interfase para el ajuste ideal de combustión. Para ello, realiza una medición precisa del % de Oxígeno (O_2) y ppm. de Monóxido de Carbono (CO), basándose en esta información se fija el flujo de combustible y los niveles de aire, optimizándose la eficiencia y el ahorro de combustible, aunque puedan presentarse cambios en el proceso como temperatura, calorías (BTU) del combustible, presión, temperatura del aire ambiental, etc. y desgastes de los acoplamientos del proceso.

El objetivo de este control es reducir el porcentaje de CO_2 en los gases de escape de la chimenea, para conseguir un porcentaje del 13% que es una cantidad aceptable. Así mismo, lograr una eficiencia del 85% (la actual es de 78% aprox.).

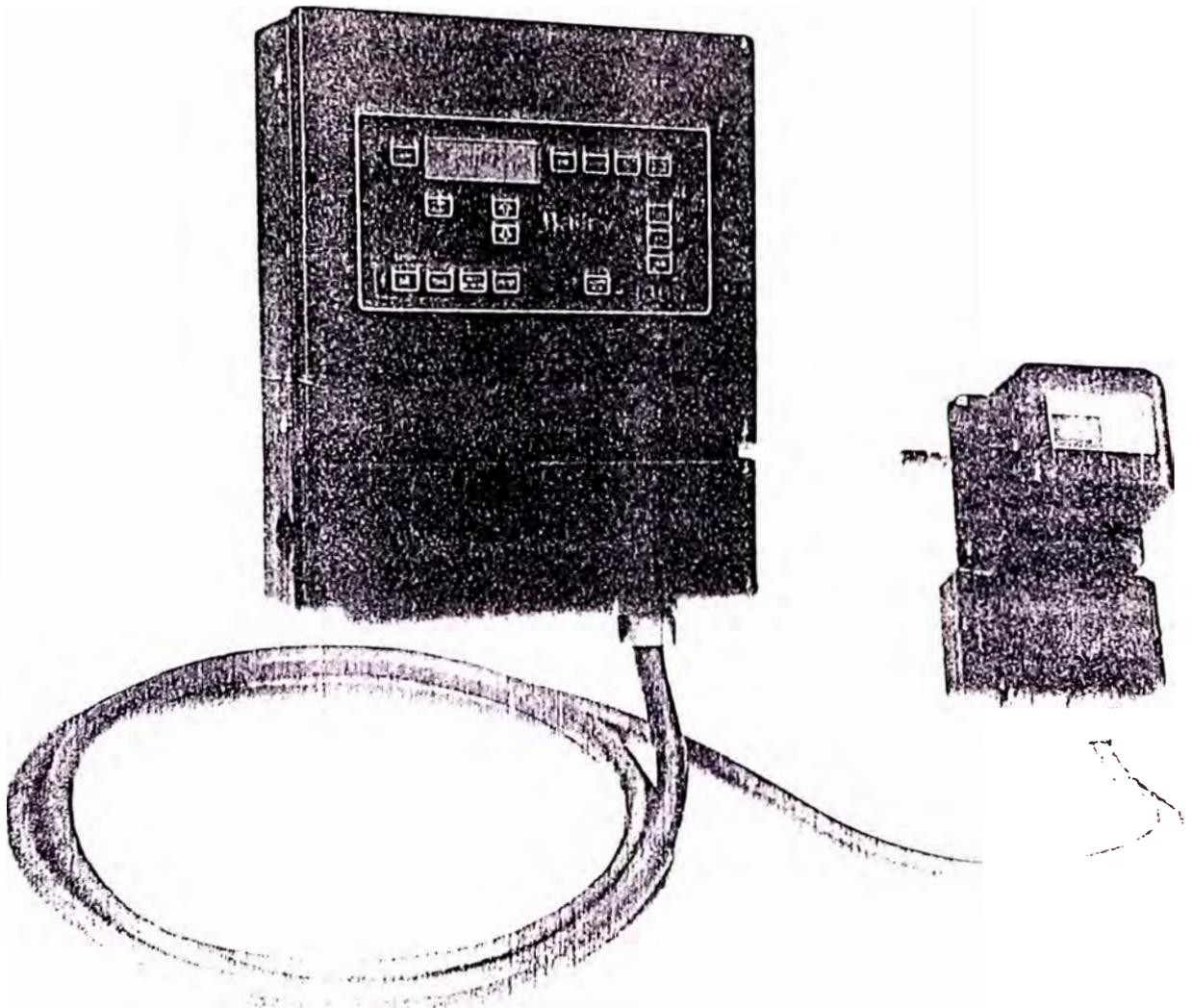


Figura 3.6 Sistema de control de combustión industrial.

5. Elementos de control

Los elementos utilizados para controlar el flujo de combustible serán válvulas globo electro-neumáticas del tipo aguja, aptos para fluidos de alta viscosidad como son los combustibles residuales, y

para controlar las ventanas de entrada de aire, se usará un actuador electro-neumático con entrada de 4 - 20 mA y salida de 3 - 15 psi, característica standard.

Para controlar las ventanas de entrada de aire debe usar un actuador electro-neumático, con entrada de 4 - 20 mA y salida de 3 - 15 psi, característica standard.

3.1.6.2 Estrategia de control

El control de la combustión está basado en la demanda de carga de vapor, los gases de combustión, diseño del quemador, y la calidad de combustible y aire. Para elaborar la estrategia de control se ha empleado las normas SAMA - Asociación de fabricantes de instrumentos (*Scientific Apparatus Makers Association*). Ver figura 3.7.

El objetivo principal es lograr lo siguiente:

Alcanzar los requerimientos de vapor controlando la válvula de combustible y la entrada de aire.

Operar en condiciones de seguridad.

Adaptar las condiciones del combustible y aire.

Balancear el combustible y aire para una eficiente combustión.

Para llevar a cabo este control, existe dos opciones: la primera sin contar con un analizador de gases, y la otra teniendo instalado en la chimenea el analizador.

a. Control sin analizador de gases

Este control regula la entrada de combustible y aire, donde la relación combustible/aire es pre-programada en función de la demanda. Es decir, se realiza las mediciones de la presión de vapor, flujo de combustible y aire para las diferentes situaciones de demanda, estos valores fijos se toman como *setpoints*, y son programados en el CLC para los requerimientos de combustible y aire.

	LA SALIDA ES IGUAL A UNA FUNCION NO LINEAL DE LA ENTRADA.		LA SALIDA ES IGUAL A LA ENTRADA O MAYOR AL VALOR LIMITE.
	LA SALIDA ES IGUAL A UNA FUNCION RAZ CUADRADA DE LA ENTRADA.		LA SALIDA ES IGUAL A LA ENTRADA O MENOR AL VALOR LIMITE.
	LA SALIDA ES IGUAL A LA SUMA ALGEBRAICA DE TODAS LAS ENTRADAS.		LA SALIDA ES IGUAL A LA ENTRADA SELECCIONADA POR TRANSFERENCIA. EL ESTADO DE LA TRANSFERENCIA ES ESTABLECIDA POR CONDICIONES EXTERNAS.
	LA SALIDA ES IGUAL A LA FUNCION MULTIPLICACION DE LA ENTRADA.		LA SALIDA TIENE UN ESTADO DISCRETO DEPENDIENTE DEL VALOR DE LA ENTRADA. CUANDO LA ENTRADA ES MENOR AL VALOR LIMITE PRESENTE, LA SALIDA CAMBIA.
	DESVIACION DEL SET POINT.		LA SALIDA TIENE UN ESTADO DISCRETO DEPENDIENTE DEL VALOR DE LA ENTRADA. CUANDO LA ENTRADA EXCEDE AL VALOR LIMITE PRESENTE, LA SALIDA CAMBIA.
	CONTROLADOR PID DIFERENCIAL.		LA SALIDA ES UNA VARIABLE ANALOGA QUE PUEDE SER CAMBIADA POR EL USUARIO.
	ESTACION DEL CONTROLADOR MANUAL/AUTOMATICO.		LA SALIDA ES CERO TODO EL TIEMPO. 100 - LA SALIDA ES IGUAL A 100 TODO EL TIEMPO.
	ESTACION MANUAL/AUTOMATICO.		OPERACION DIRECTA DE LA SALIDA QUE SIGUE A LA ENTRADA. OPERACION INVERSA DE LA SALIDA QUE SIGUE A LA ECUACION: OUTPUT = 100 - INPUT
	LA SALIDA ES UNO, SI UNA O AMBAS ENTRADAS SON UNOS.		LA SALIDA TIENE UN ESTADO DISCRETO DEPENDIENTE DEL VALOR DE LA ENTRADA. CUANDO LA ENTRADA EXCEDE O ES MENOR QUE EL VALOR LIMITE PRESENTE, LA SALIDA CAMBIA DE ESTADO.

FIGURA 3.7 NORMAS SAMA (SCIENTIFIC APPARATUS MAKERS ASSOCIATION).

Su forma de operar es como sigue, los valores medidos se compara con los puntos programados y de acuerdo a la estrategia planteada se ajusta la entrada de combustible y aire, tratando siempre de obtener la máxima eficiencia, que en este caso es alcanzar aprox. un 85%.

La demanda de vapor es utilizado como base para llevar a cabo la regulación de la entrada de aire y combustible, para ello puede ser considerado como elemento primario el aire o el combustible, en este caso tomamos al aire como primario. Ver figura 3.8.

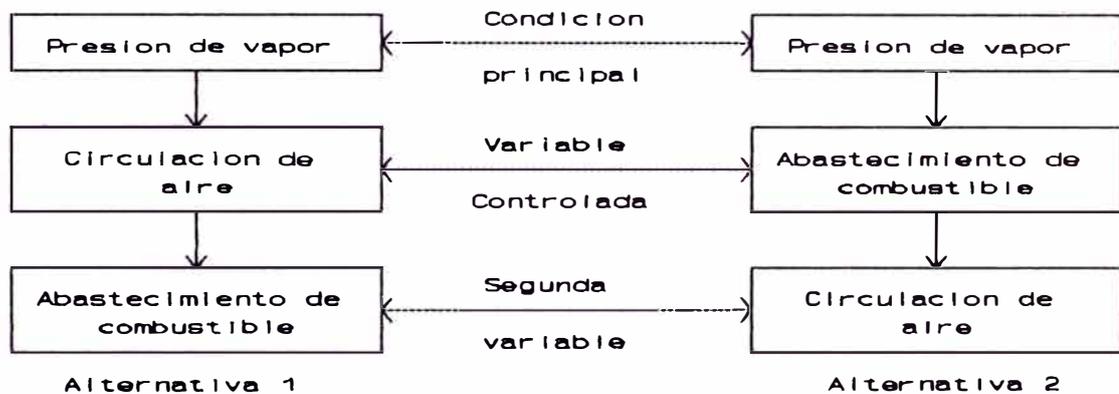


Figura 3.8 Sistema básico para el control de la combustión.

De ambas alternativas, se observa que la presión de vapor es considerada como la condición principal a satisfacer. La indicación de cualquier desviación de esta presión del valor deseado normal, se usa para ajustar la circulación de aire como en la alternativa 1; o el abastecimiento de combustible, como en el caso de la alternativa 2, luego la medida de esta variable controlada, se utiliza para el ajuste de la segunda variable.

Se emplea la alternativa (1) cuando el combustible a ser quemado tiene un valor calorífico relativamente constante, y la (2) cuando se dispone de una medida satisfactoria de la velocidad de quemado del combustible. En este caso se ha optado por la alternativa 1, ya que el petroleo residual 6 tiene un valor calorífico casi constante.

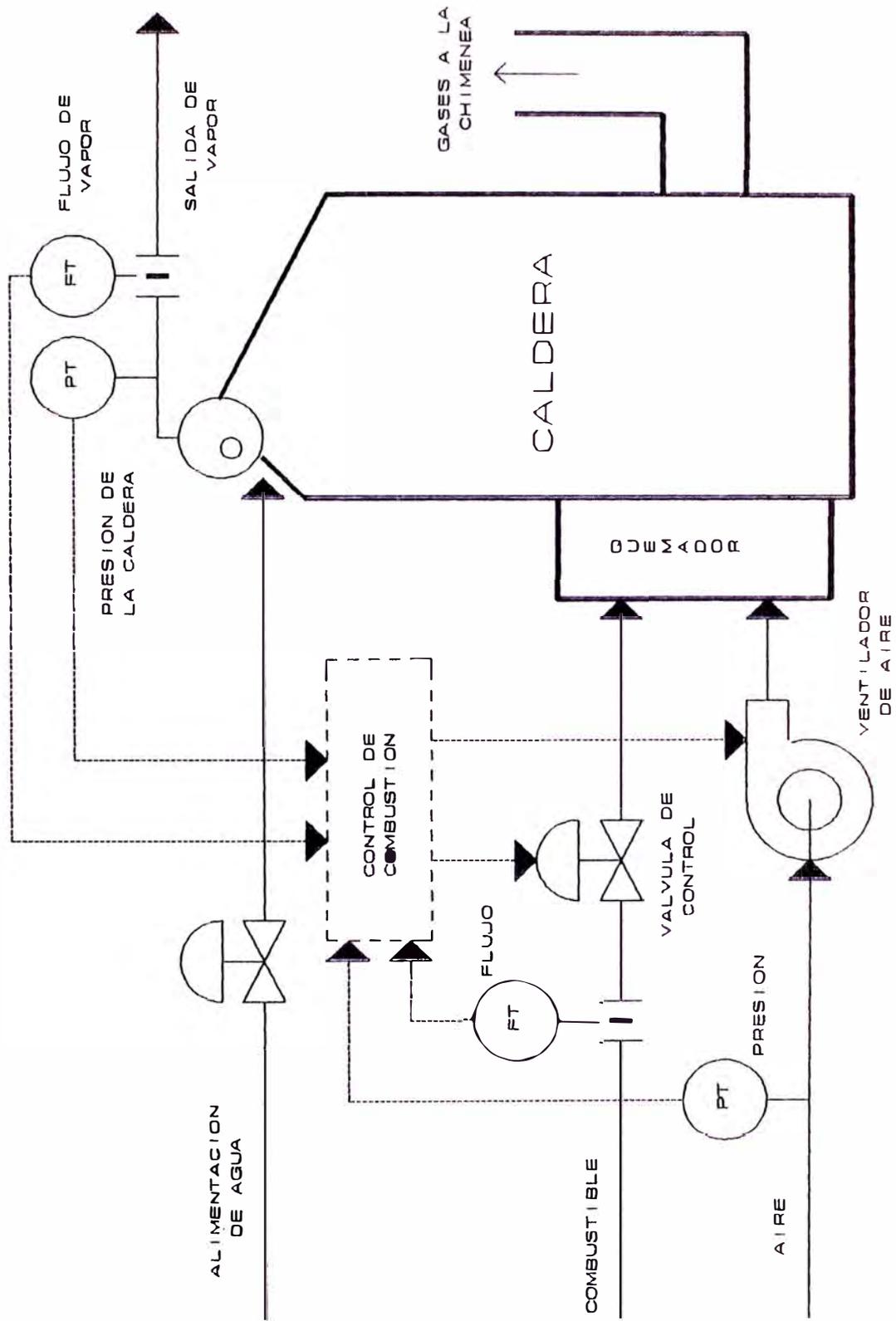


FIGURA 3.9 ESQUEMA DE CONTROL DE COMBUSTION DE LA CALDERA APIN1.

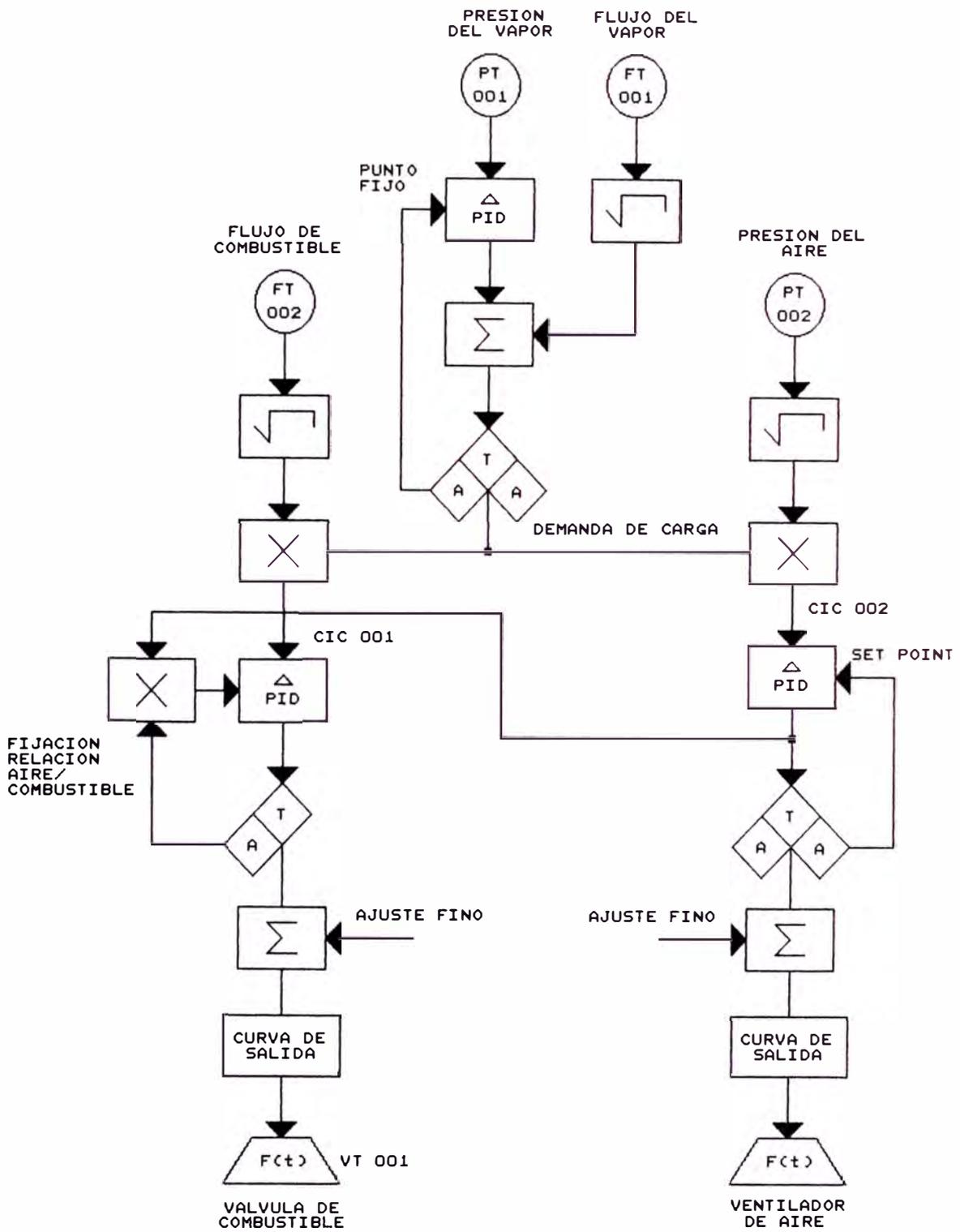


FIGURA 3.10 ESTRATEGIA DEL CONTROL DE COMBUSTION.

Las figuras 3.9 y 3.10 representan al esquema y estrategia de control de combustión. El sistema usado debe ser lo suficientemente flexible para manejar cualquier estrategia de control de combustión.

Características de las señales de entrada y salida:

Entradas análogas:

- Presión del vapor.
- Flujo de vapor.
- Flujo de combustible.
- Presión de aire.

Salidas análogas:

- Control válvula de combustible.
- Control entrada de aire.

Salidas discretas:

- Alarma de nivel bajo de aire.
- Alarma de nivel bajo de combustible.

b. Control con analizador de gases

Con el método anterior, se resuelve en parte el problema de la combustión, pero es imposible programar todos los puntos de la curva de demanda, porque al efectuar las mediciones sólo se toman algunos puntos, trazando la curva en forma aproximada. Por lo tanto, habrán ciertos puntos muertos (fuera de la curva) donde no será exacto el control de la combustión.

El control de la relación aire/combustible, con el analizador es un ajuste fino del aire basado en un análisis continuo de los gases de combustión. Esto es, se analiza al Oxígeno (O_2) y al Monóxido de Carbono (CO) para ser utilizados como base, en función de los cuales se realizará el control de la regulación fina de la entrada de aire (primario) y combustible (secundario). Ver figuras 3.11 y 3.12.

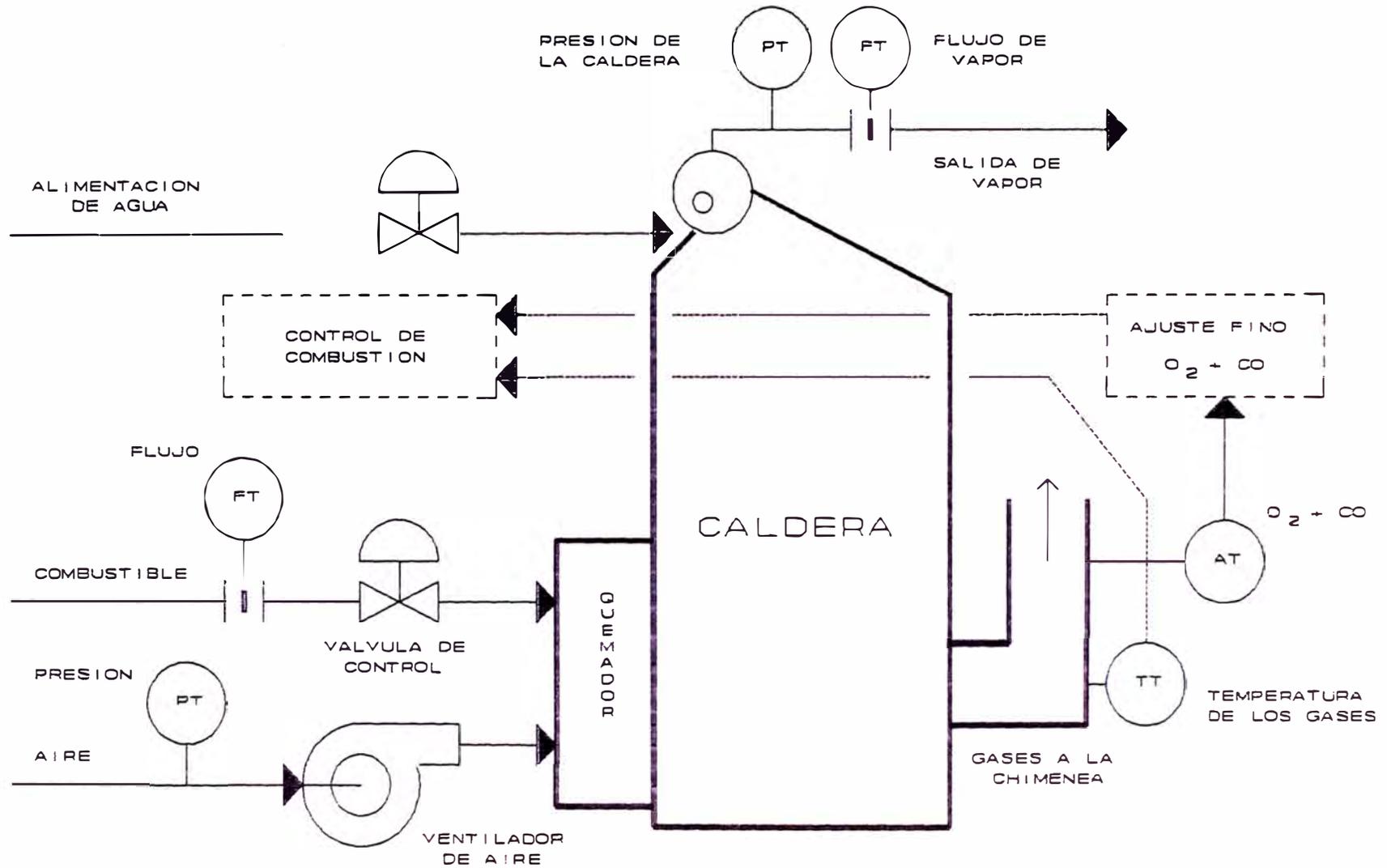


FIGURA 3.11 ESQUEMA DE CONTROL DE LA RELACION FINA AIRE/COMBUSTIBLE

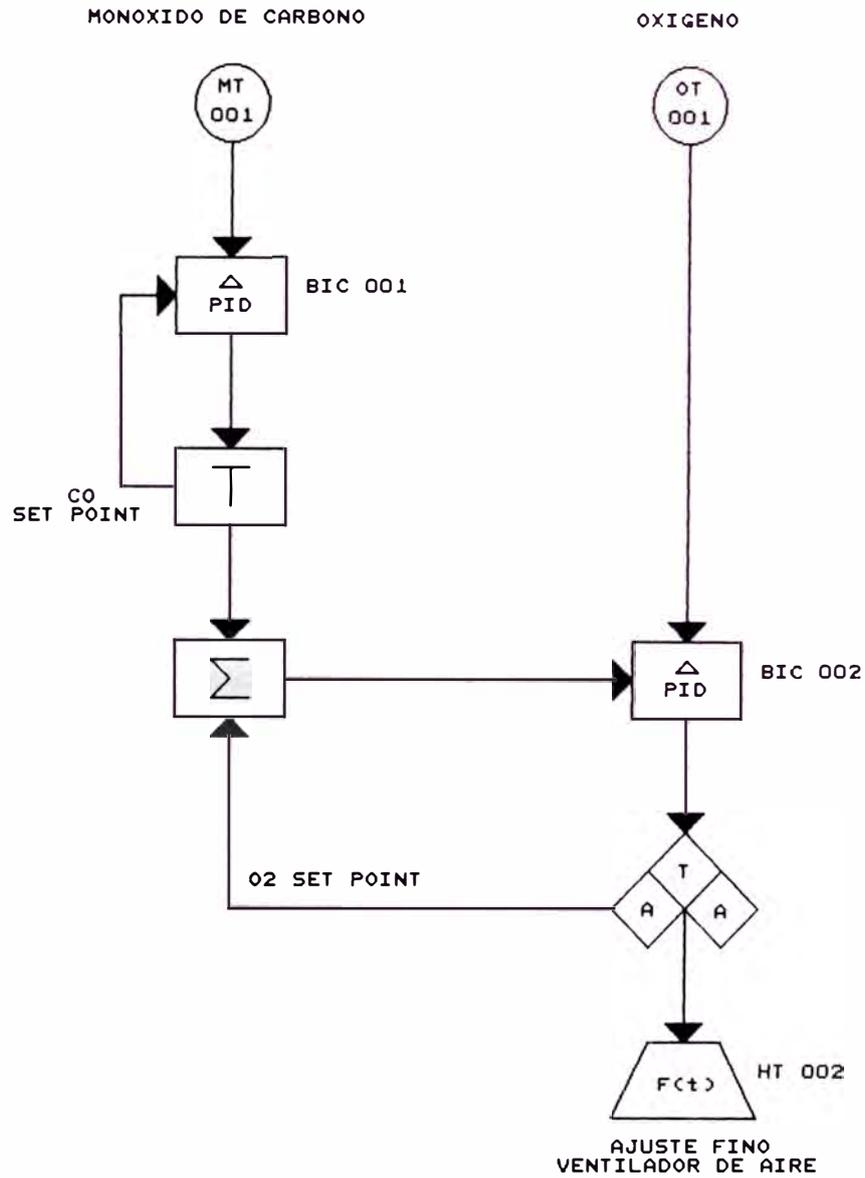


FIGURA 3.12 ESTRATEGIA DE CONTROL DE LA RELACION FINA DEL AIRE/COMBUSTIBLE.

Características de las señales de entrada y salida:

Entradas análogas:

% de Oxígeno.

% de Monóxido de Carbono.

Temperatura de los gases de la chimenea.

Salidas análogas:

Control válvula de combustible.

Control entrada de aire.

Salidas discretas:

Alarma nivel bajo de aire.

Alarma nivel bajo de combustible.

3.1.7 Interconexión de las calderas

La interconexión de las calderas, APIN1, APIN2, y la CLEAVER, se puede llevar a cabo de dos formas posibles, una empleando al PLC y la otra utilizando al CLC.

3.1.7.1 Conexión por medio del PLC

Si consideramos el modo en que las calderas operan actualmente, sólo se requeriría interconectar la caldera APIN1 y la CLEAVER, por la razón que la APIN1 opera como principal en forma continua, y la CLEAVER como apoyo en los momentos de mayor demanda. La APIN2 no se conectaría porque su capacidad de producción de vapor abastece a la planta, ver figura 3.14.

La presión en la línea general (o manifold) de abastecimiento de vapor está dentro del siguiente rango:

Mínima = 90 psi.

Optima = 100 psi.

Máxima = 115 psi.

La presión de trabajo de las calderas están dentro de este rango

también, por consiguiente el control a realizarse debe mantener esta presión (100 psi). Este puede hacerse por medio de un PLC y deberá tener en cuenta lo siguiente:

1. Cuando está operando la caldera APIN1 y la demanda de vapor es normal, la presión en la línea debe ser de 100 psi.

Durante este tiempo, la caldera CLEAVER se mantiene apagada, con el calentador de petróleo encendido (y recirculando) para tener la temperatura adecuada de 110 °C, y así poderse encender en el momento oportuno. Además, la válvula de salida de vapor de ésta es mantenida abierta, para tener la misma presión de la línea.

2. Al aumentar la demanda de vapor, esta presión tiende a disminuir pero al llegar a los 95 psi, el control deberá poner en acción a la caldera CLEAVER para compensar la mayor demanda y obtener los 100 psi.

3. Al disminuir la demanda de vapor, la presión empezará a subir por lo que al llegar a los 105 psi la caldera CLEAVER, deberá apagarse para dejar de producir vapor, consiguiéndose de esta manera que la presión disminuya hasta alcanzar los 100 psi.

4. Sin embargo, apagada la caldera CLEAVER, puede ocurrir que la presión en vez de bajar continúe subiendo por falta de demanda, entonces el sistema de control por seguridad deberá prever esta situación, apagando la caldera APIN1 cuando la presión de la línea sobrepase los 110 psi.

Por lo tanto, el PLC se encargará de activar o desactivar a la caldera CLEAVER según la demanda de vapor, tomando como referencia a la presión de vapor de la línea general.

A continuación se ilustra el diagrama de flujo (figura 3.13), su esquema de control (figura 3.14) y el programa respectivo.

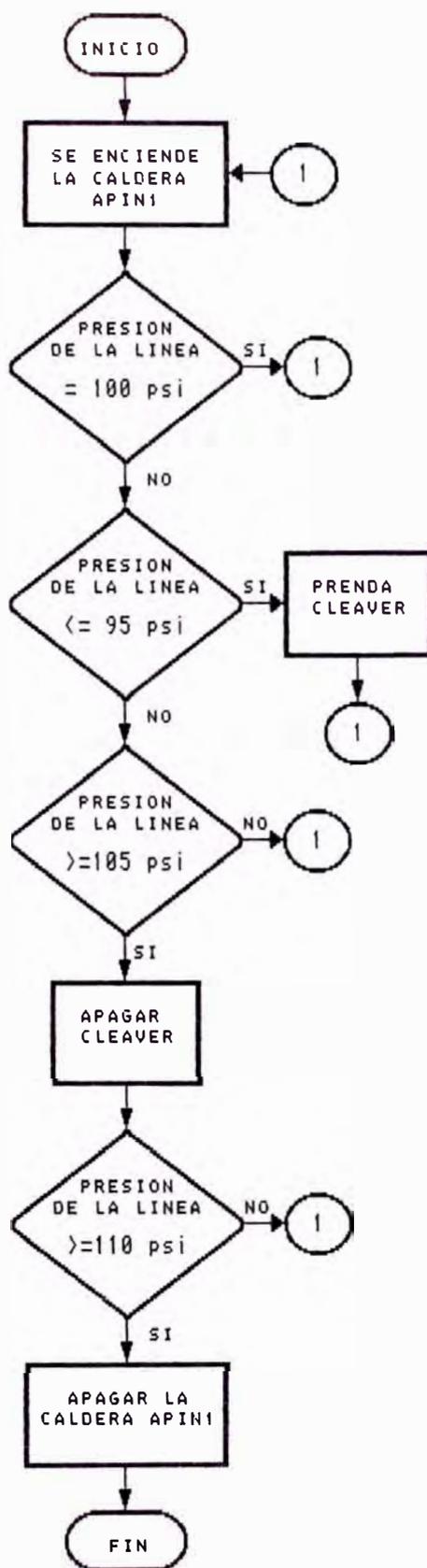


Figura 3.13 *Diagrama de flujo para el control de la interconexión de las 2 calderas.*

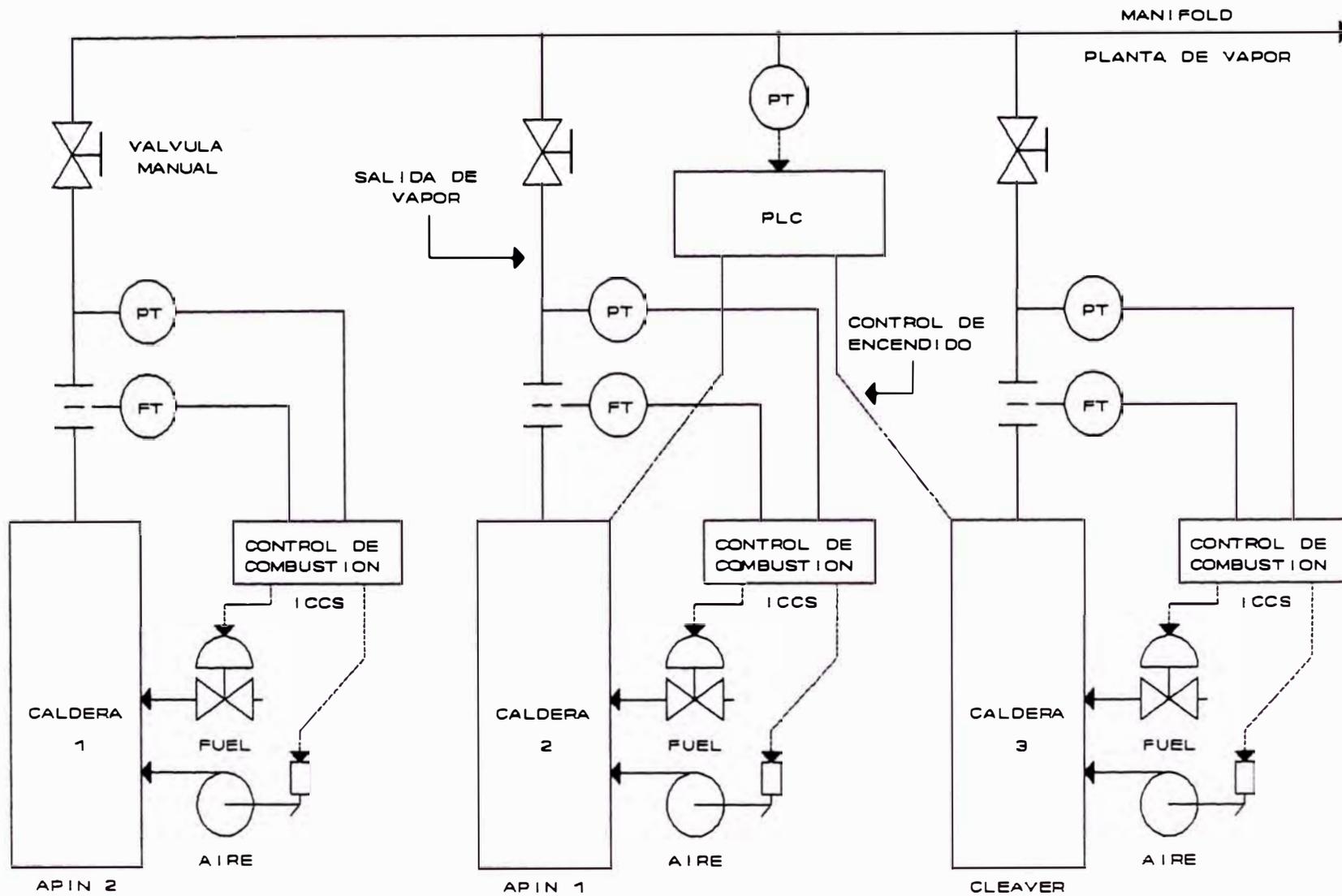
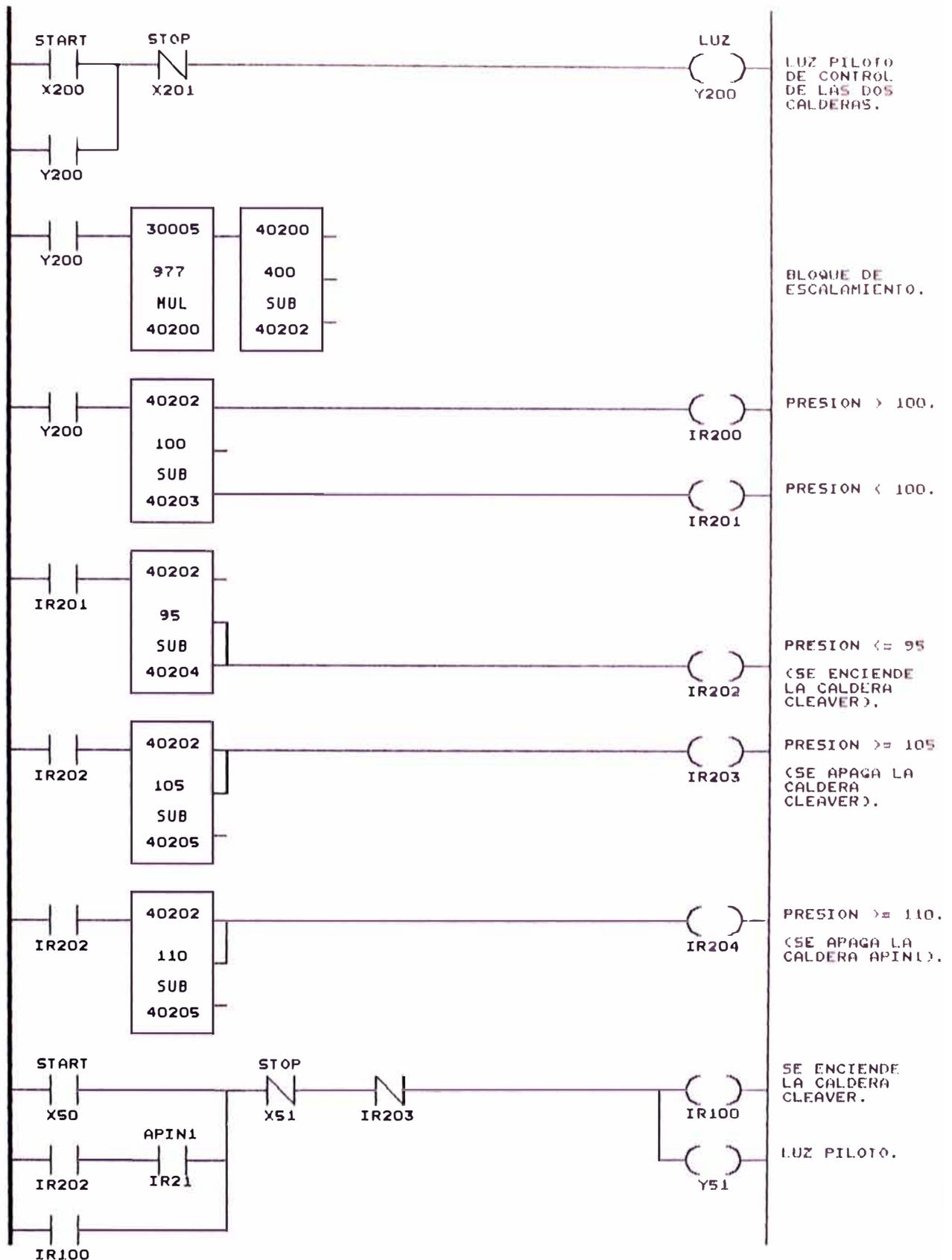


FIGURA 3.14 DIAGRAMA DE INTERCONEXION DE 2 CALDERAS PARA LA GENERACION DE VAPOR.



NOTA: A PARTIR DE AQUI EL PROGRAMA PARA LA CALDERA CLEAVER, ES SIMILAR AL DE LA CALDERA APINI.

PROGRAMA PARA EL CONTROL DE LAS CALDERAS APINI Y CLEAVER
 TESIS DE GRAD◊
 AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
 15/07/95 Pág. 1 de 1

Del programa se tiene:

Entradas discretas: (2)

X200: START; Se inicio el control de las 2 calderas.

X201: STOP; Apaga el control de calderas.

Salidas discretas: (1)

Y200: Luz piloto; señala que el control está prendido.

Entradas análogas: (1)

30005: Presión en la línea de vapor (DAU 205).

Caldera CLEAVER:

X50 : START; Se enciende la caldera CLEAVER.

X51 : STOP; Apaga la caldera.

Y51 Luz piloto; indica el encendido de la caldera.

El programa desarrollado para este control, permitirá además que ambas calderas operen independientemente (sin enlazarse), porque hay días que operando sólo la caldera CLEAVER abastece a la planta, como por ejemplo los días sábados y domingos, donde el vapor producido es empleado en la sección de embotellado y bodegas (consumo mínimo), en cambio, el resto de días que se hace cocimiento deben operar las dos calderas debido a que este proceso requiere buena cantidad de vapor. La medida del vapor requerido no es conocido exactamente, porque en la actualidad no se cuenta con la instrumentación para realizar las mediciones de los flujos de combustible, vapor y agua, necesarias para determinar cuanto de vapor se produce, se sabe aproximadamente que el flujo de vapor es de 25000 lbs/hr, medida obtenida de la diferencia de niveles en el depósito de combustible, entre el inicio y final del proceso.

En la parte final del programa, se ha introducido el fragmento

de inicio del encendido de la caldera Cleaver, para mostrar como el control lo enciende automáticamente por medio de la variable interna IR202, cuando la presión en la línea desciende (aumenta el consumo) y es menor o igual a 95 psi, así mismo, lo apaga (variable IR203) si la presión sube (disminuye el consumo) y sobrepasa los 105 psi. Una vez realizado este paso si la presión siguiera subiendo en lugar de bajar, el control apagará por seguridad a la caldera APIN1 al llegar a la presión de 110 psi.

Cabe mencionar, que a un futuro cuando las necesidades así lo requieran, haciéndose los cambios respectivos se podrá incluir a la caldera APIN2, para operar enlazados similar al programa propuesto.

3.1.7.2 Conexión por medio del CLC

Un control más sofisticado puede usarse para la interconexión de las calderas, empleando a un controlador diseñado especialmente para este tipo de control, como por ejemplo, el "Network 90/Loop command hardware control" de Bailey que se ilustra en la figura 3.15.

El propósito de la planta maestra, es generar para cada caldera una demanda de vapor dentro del sistema de múltiples calderas, donde la demanda total de éstas, debe ser en el tiempo igual a la demanda de vapor de la planta. La presión en la cabecera de la línea central es el indicador clásico para determinar si la generación de vapor es igual a la demanda, esto es, una presión alta indica un exceso de generación de vapor y la presión baja muy poca generación de vapor.

Parte del servicio de la planta maestra, es poner a las calderas dentro o fuera de servicio, ya sea manualmente u otra forma que se pueda aplicar sin producir trastorno en la presión de la cabecera.

A continuación se ilustra la interconexión de las tres calderas (figura 3.15) y su estrategia de control (figura 3.16).

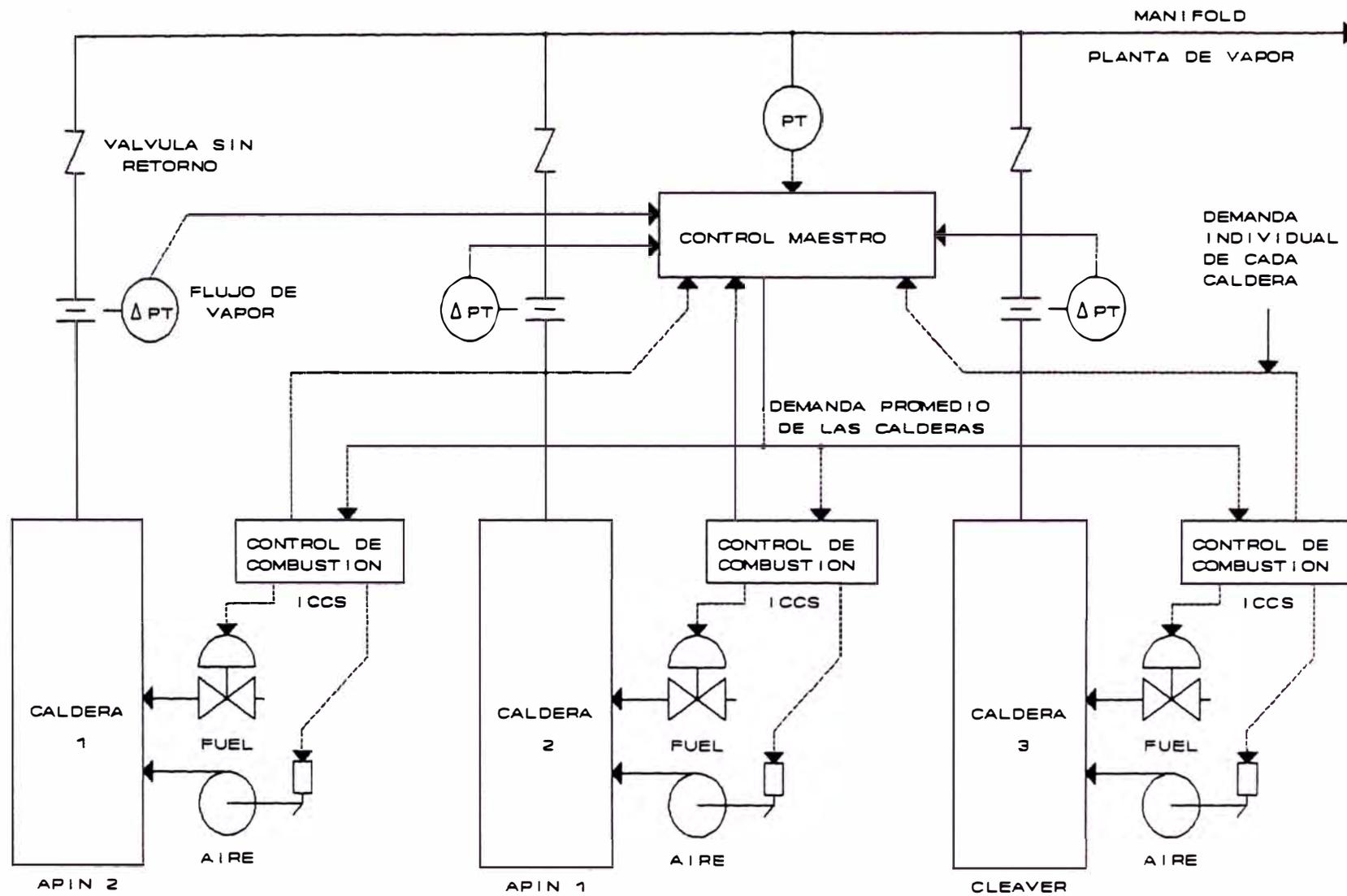


FIGURA 3.15 DIAGRAMA DE INTERCONEXION DE 3 CALDEROS PARA LA GENERACION DE VAPOR.

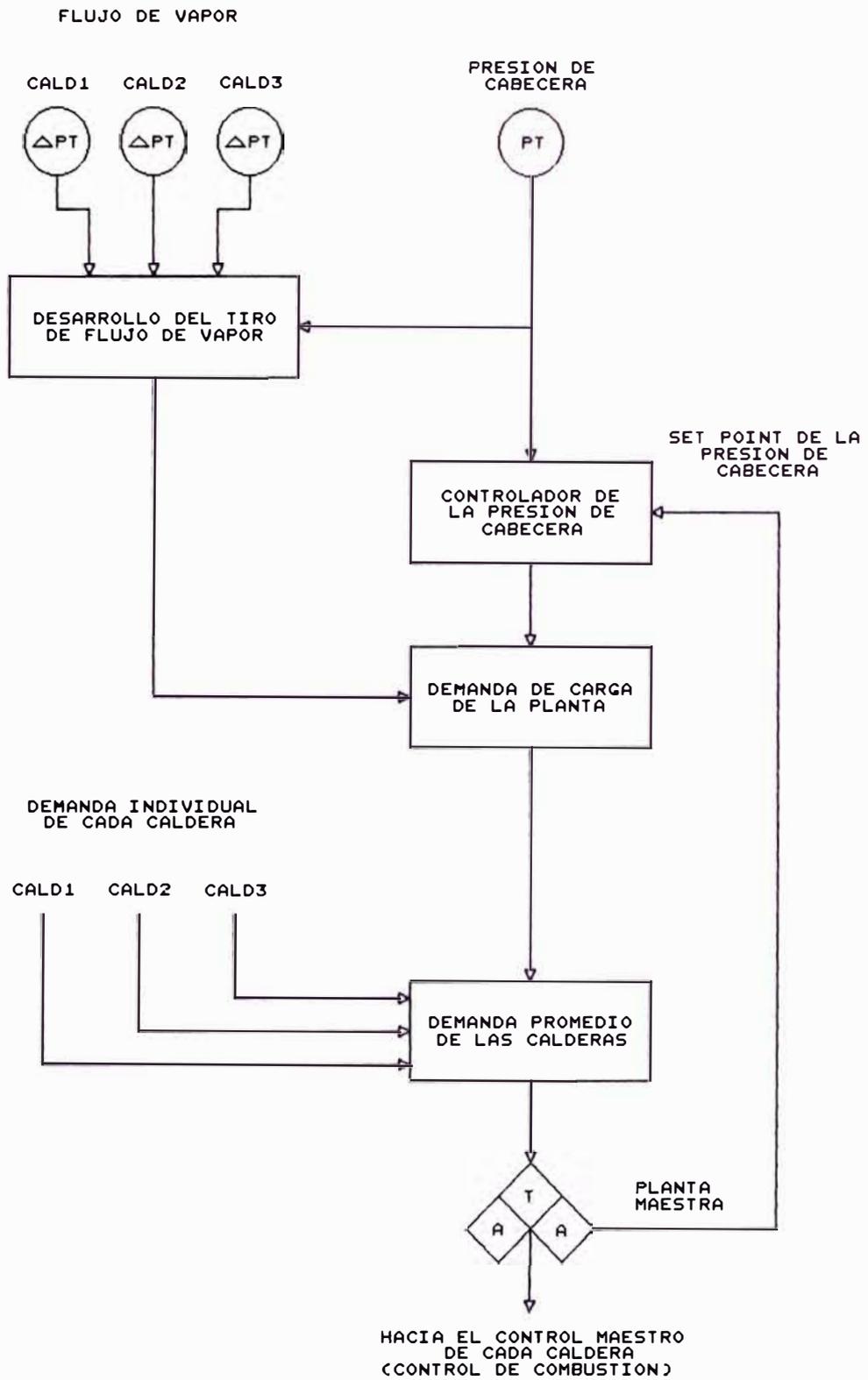


FIGURA 3.16 ESTRATEGIA DE CONTROL DE LA PLANTA MAESTRA.

Descripción del proceso

Este sistema de planta puede ser adaptado a cualquier número de calderas. El maestro acepta datos desde el proceso, presión de la cabecera, y para el tiro del flujo de vapor, el flujo de vapor de cada caldera. Además, supervisa las demandas de cada una de ellas para ajustar el número de cuantos entran en servicio, ya sea en modo automático o cualquier otro modo de operar. Con los datos obtenidos la planta maestra genera automáticamente una demanda promedio para cada caldera en servicio.

Estrategia de control

Se desarrolla este control de tiro del flujo de vapor para sumar todos los flujos de vapor producidos en cada caldera, y determinar la carga total de la planta como se ilustra en la figura 3.16.

La presión de la cabecera es luego empleada para determinar si la carga de la planta es igual a la demanda actual de la planta. Es decir, cuando la presión de la cabecera es 10% menor, implica que el flujo de vapor es solo 90% del deseado. De esta forma, dividiendo el flujo de vapor por la presión de la cabecera, se encuentra el tiro del flujo de vapor, determinando así la demanda de carga y también la velocidad de tiro para cada caldera. La velocidad (sobre/debajo) requerida, sirve para auxiliar a la unidad ante los cambios de carga y devolverle el nivel de energía deseado.

El error de la presión de cabecera, encontrada por comparación de esta presión con su setpoint, es utilizado para calcular el tiro (sobre/debajo) requerido, que luego se combina con el tiro del flujo de vapor para generar la demanda de carga de la planta.

El tiro del flujo de vapor del control maestro, está diseñado para usarlo cuando la carga de la planta cambia rápidamente y/o el

control de presión es crítica. Este desarrolla una demanda directa por carga sin tener que esperar a que el controlador de presión de cabecera integre arriba o abajo.

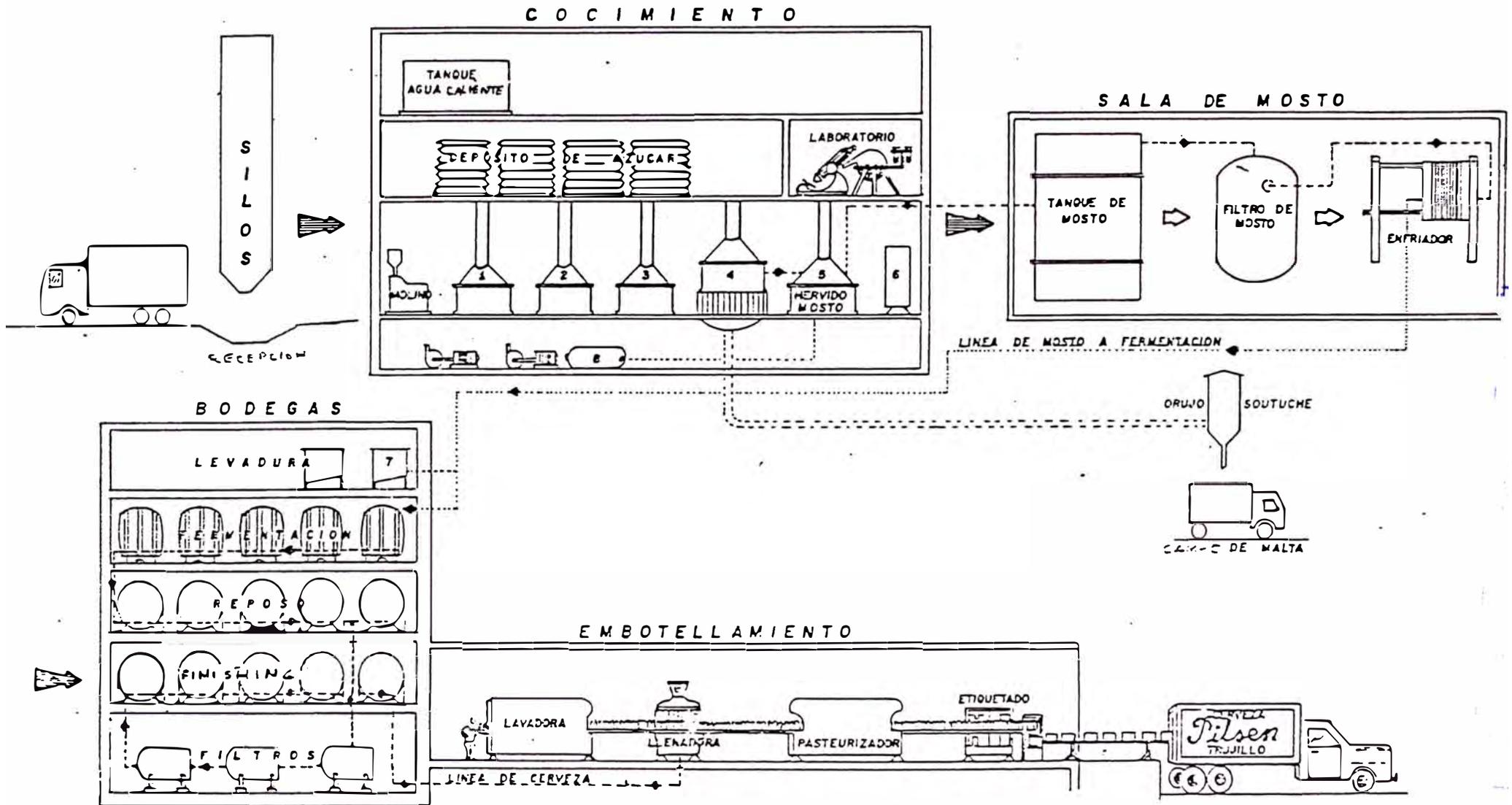
3.2 Proceso de cocimiento

Automatizar el proceso de cocimiento es conveniente, porque se tendría un control más estricto de las variables en cada una de las etapas del proceso, más aún considerando que éstas tienen diferentes estados de temperatura y reposo, de primordial importancia para que la Malta (componente de la Cerveza) que contiene diversos tipos de enzimas se desdoblén para obtener los diferentes constituyentes del Mosto, tales como, Carbohidratos, Aminoácidos, Proteínas, etc., que van a servir en etapas posteriores del proceso de elaboración de la cerveza como Fermentación, Maduración, etc.

El no tener un control exacto de estas temperaturas y tiempos, provocaría que las enzimas desdoblén otras sustancias no adecuadas para la cerveza, y que por lo tanto influiría sobre la calidad de la misma.

Actualmente, todos los controles de las válvulas y tiempos de reposo que intervienen en el proceso son operados en forma manual, mostrando que en la destreza y cuidado de los supervisores, está el que se cumpla con estos objetivos. Ante este complejo proceso, el control automático asegura la máxima extracción de las sustancias deseables por acción de las enzimas, que difícilmente se conseguiría con un control manual porque estaría sujeto posiblemente a muchos errores humanos. La figura 3.17 muestra el diagrama del proceso de elaboración de la cerveza, desde la recepción de la materia prima en los silos, sala de cocimiento, sala de mosto, bodegas y finalmente el embotellamiento y la distribución de la cerveza.

Figura 3.17 DIAGRAMA DEL PROCESO DE LA ELABORACION DE CERVEZA.



NOTAS:

- 1•PAILA DE ADJUNTOS 2•PAILA MASERADOR DE MEZCLAS 3•PAILA COEDEDOR DE MEZCLAS (WAISCHE) 4• PAILA DE FILTRACION MASERACION
 5•PAILA DE EBULLICION 6• TANQUE DE AGUA CALIENTE 7• TINAS DE LEVADURA 8• COLADOR DE LUFULO

Observando la manera de operación de las pailas, se deduce que automatizar hasta un 100% no es posible por el momento, debido a que la adición de los cereales desde las tolvas a las pailas es manual, pero cuando se automatice la parte que corresponde a la recepción y el pesaje de la malta y cereales, se podrá hacer los cambios básicos al programa para que la adición se realice en forma automática.

Otra causa, es la compuerta de la paila por donde se ingresa los cereales (igual a la tapa de la olla), para ello dentro el programa al llegar a estos puntos (según diagrama de flujo), se emiten unos mensajes con luz intermitente que le indican al supervisor la acción a efectuar y una vez terminada, pulsar luego "Pn" para continuar el programa. Por lo tanto, la automatización de este proceso será sobre las válvulas de control de temperatura y de los tiempos de reposo.

Para este proyecto de automatización del proceso de cocimiento, se va a empezar con las dos primeras pailas, esto es, la paila de cereales (paila1) y la paila de maceración (paila2), por ser las más importantes dentro del proceso.

3.2.1 Control de la paila de cereales

Para realizar el control de esta paila se hará siguiendo los mismos pasos que emplean los supervisores en forma manual, y para llevarlo a cabo se empleará un PLC, quien se encargará de controlar todas las variables que intervienen en esta paila, ya sea operando en forma secuencial o continuo (PID). La figura 3.18 nos ilustra el diagrama de tiempo vs. temperatura empleado en el proceso, donde los tiempos señalados en el diagrama, referente a la demora que se tiene al pasar de una temperatura a otra han sido tomados (calculados) en el proceso mismo, al abrir la válvula a una presión constante de 3 kg/cm².

El control continuo se aplica en el llenado de agua de la paila a una temperatura de 60 °C, para ello se cuenta con dos tuberías de agua, una caliente a la temperatura aproximada de 80 °C y la otra con fría; la válvula reguladora está sobre la tubería de agua fría. Como la capacidad de la paila es de 50 Hlt, y no existe circulación (está almacenada), el tiempo de respuesta a un cambio de temperatura es lento. Esto nos lleva, según la tabla 3.1 a optar por un control tipo P+I (Proporcional Integral) y no PID para evitar que la válvula de control oscile.

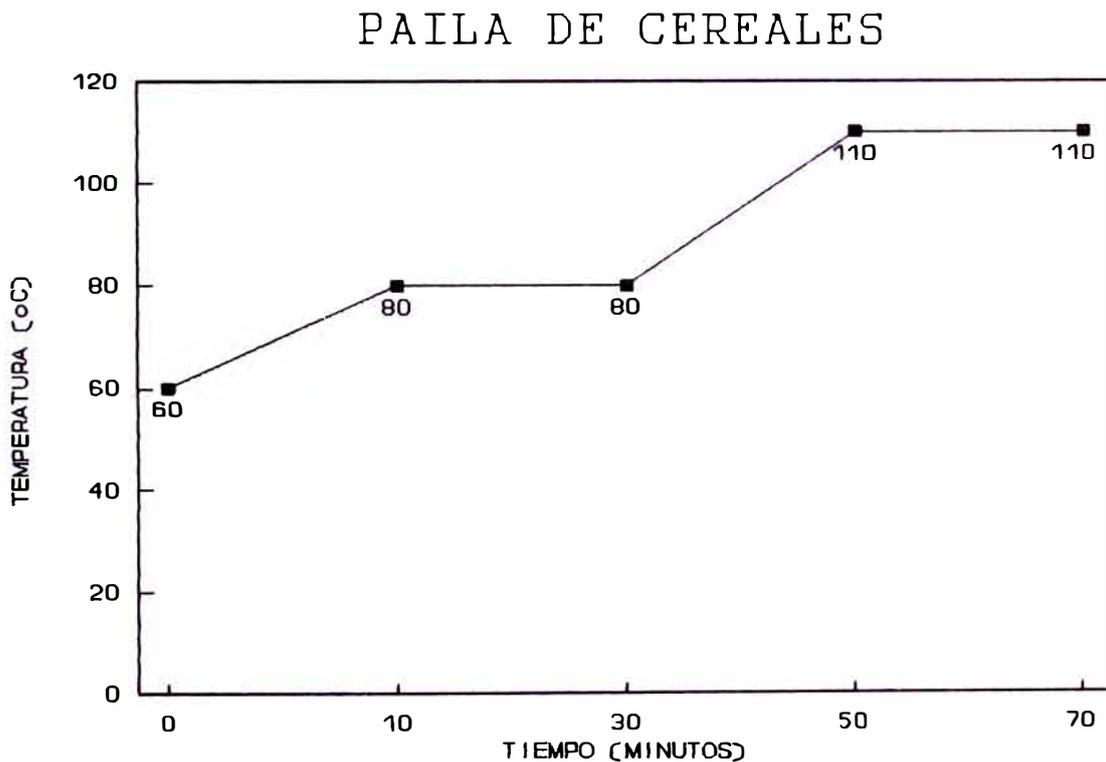


Figura 3.18 *Diagrama de Tiempo vs. Temperatura.*

Para realizar el programa de control de esta paila, se ha tenido en cuenta que la compuerta de chimenea, se cierra y se abre por medio de un pequeño motor, el cual desplaza la compuerta hacia la derecha o izquierda, según se active la variable de control MP1 o

MP2 como se ilustra en la figura 3.19.

El motor principal (MP) mueve la máquina a lo largo del carril y contiene dos variables de control MP1 y MP2, de las cuales si MP1 se activa, la máquina se desplaza de izquierda a derecha, y cuando MP2 es activado se desplaza en sentido contrario. S1 y S2 son finales de carrera (microinterruptores) que detectan la llegada de la máquina a los extremos del carril para apagar el motor.

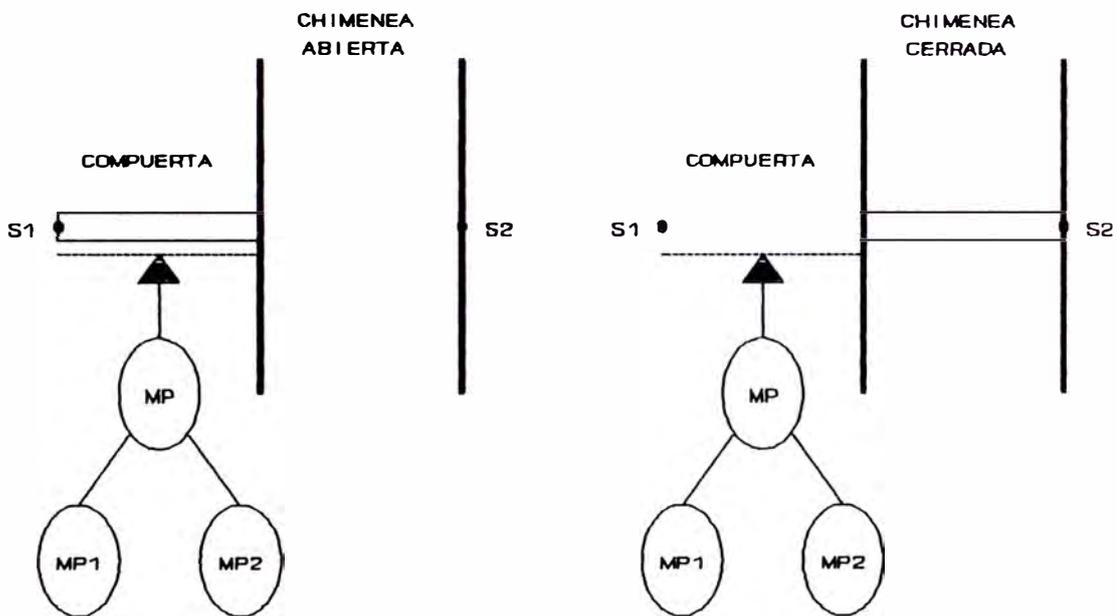


Figura 3.19 Control de la compuerta de chimenea.

En nuestro programa la asignación de variables es la siguiente:

S1	---->	X10	S2	---->	X11
MP1	---->	Y10	MP2	---->	Y11

El estado de los microinterruptores S1 y S2 cuando la chimenea está en diferente situación (o el carril en diferente posición) es:

ABIERTA:	S1 = ON	...	S2 = OFF
CERRADA:	S1 = OFF	...	S2 = ON

A continuación se mostrará el diagrama de flujo (figura 3.20), esquema de control (figura 3.21), panel de control (figura 3.22) y el programa respectivo.

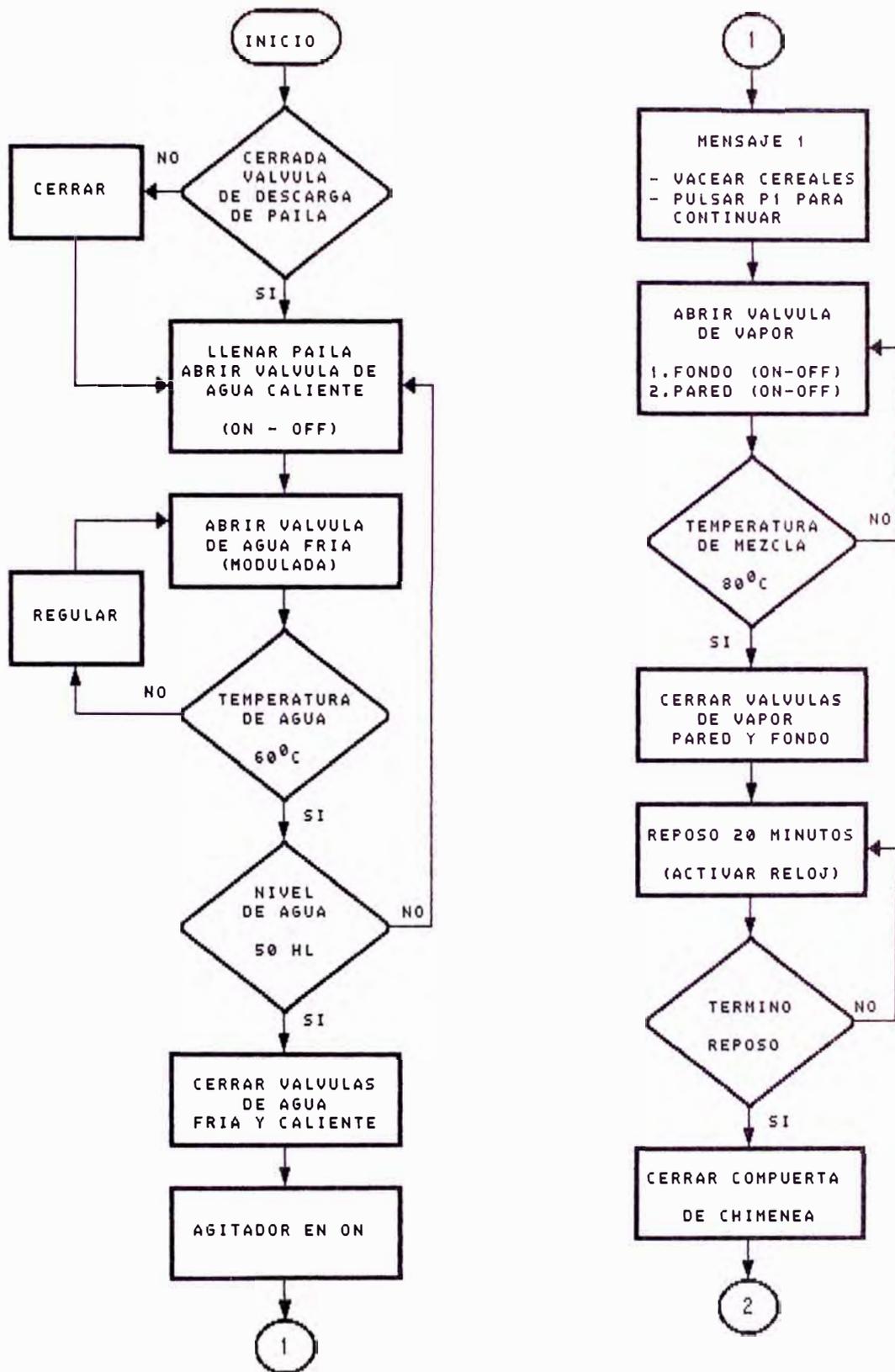


DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PAILA DE CEREALES
 TESIS DE GRADO
 AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
 FIGURA 3.20 Pag. 1 de 2

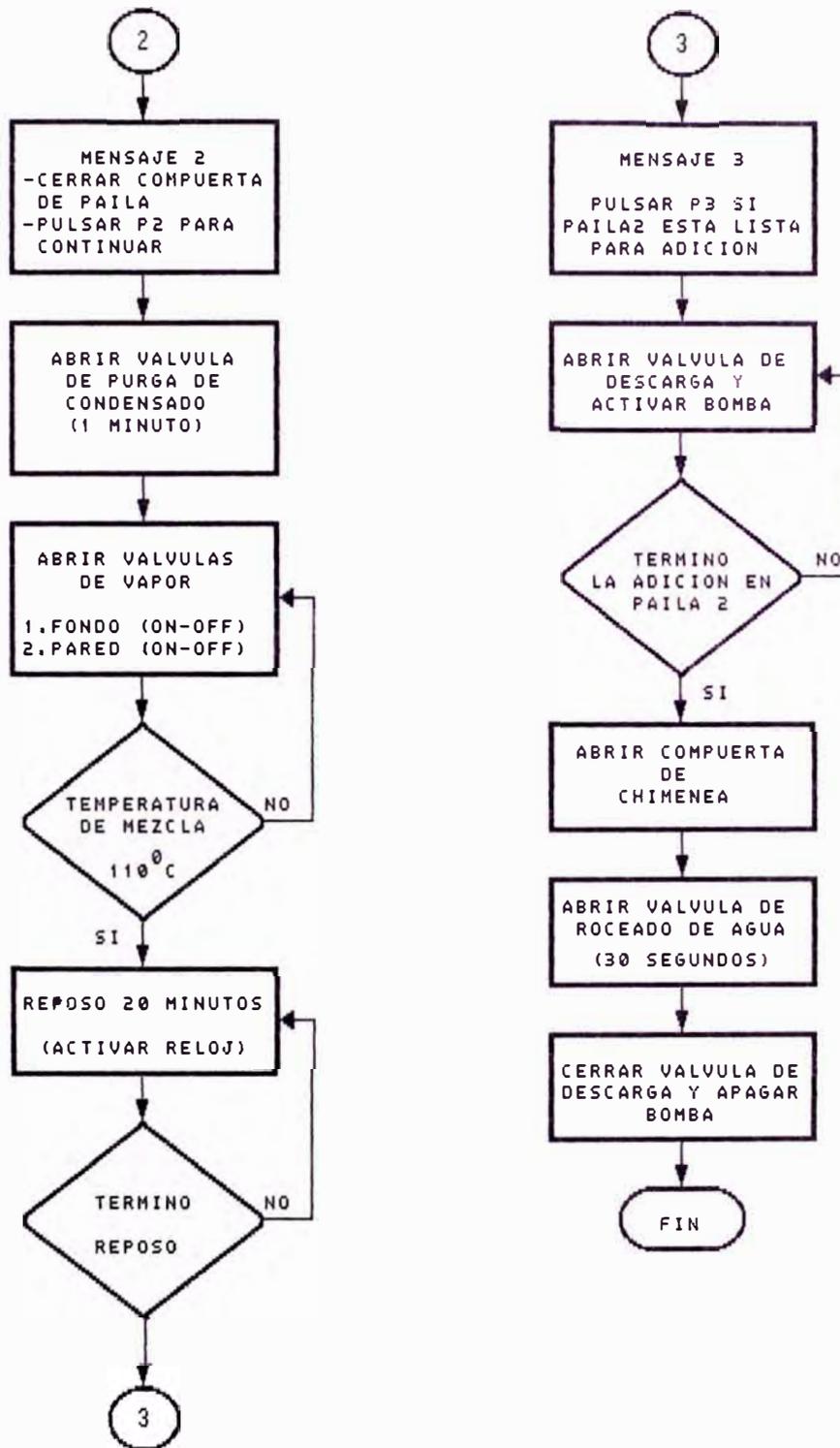


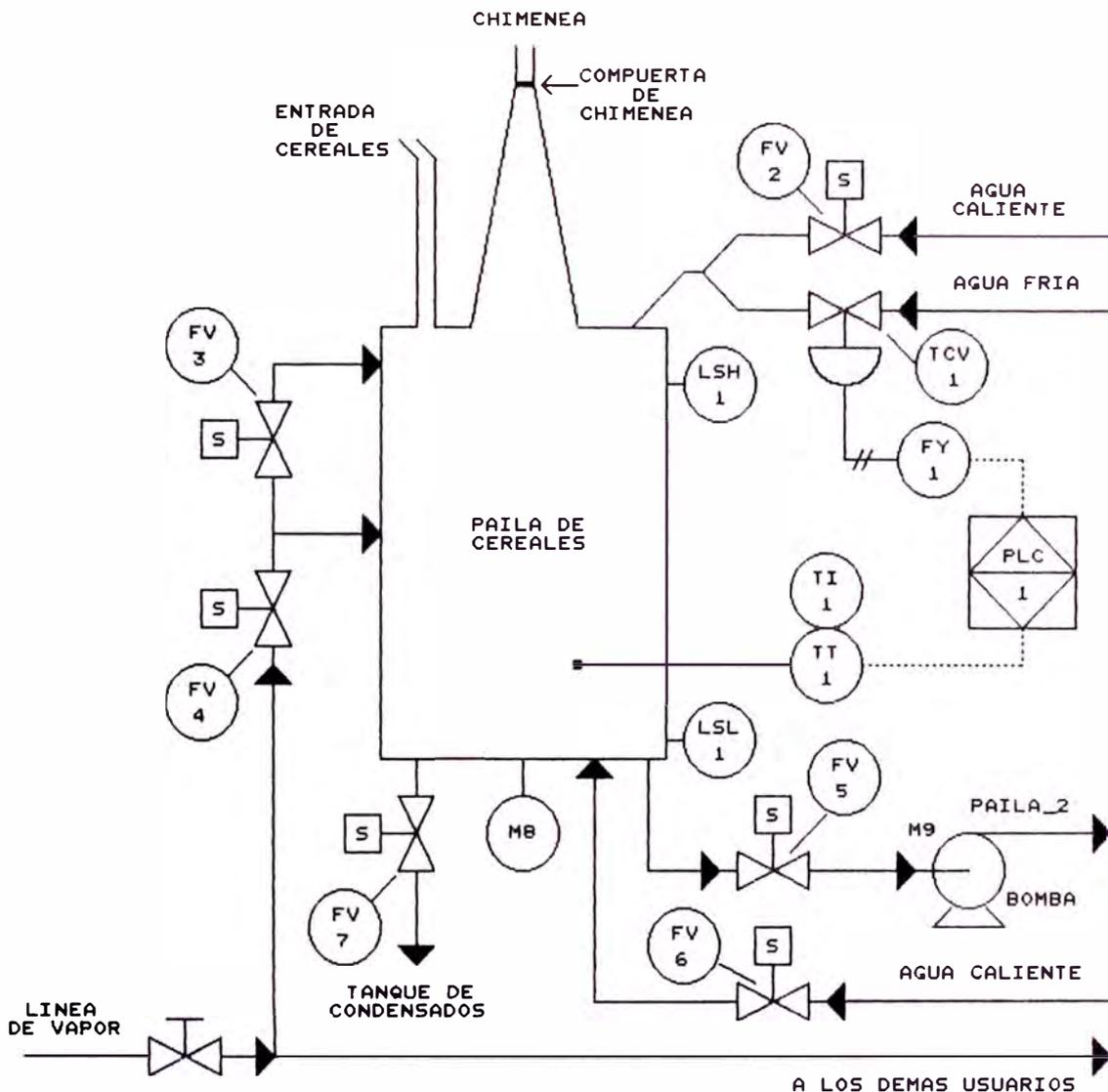
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PAILA DE CEREALES

TESIS DE GRADO

AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

FIGURA 3.20

Pag. 2 de 2



LEYENDA :

- TCV-1 : VALVULA DE CONTROL DE TEMPERATURA (N.C.).
- LSH-1 : SWITCH DE NIVEL ALTO (N.C.).
- LSL-1 : SWITCH DE NIVEL BAJO (N.A.).
- FY-1 : CONVERTIDOR DE CORRIENTE A PRESION - 4/20 mA a 3/15 PSI.
- TT-1 : TRANSMISOR DE TEMPERATURA - 4 ... 20 mA.
- TI-1 : INDICADOR DE TEMPERATURA LOCAL.
- FV-2 : VALVULA SOLENOIDE ON/OFF (N.C.) - VALVULA DE AGUA CALIENTE.
- FV-3 : VALVULA SOLENOIDE ON/OFF (N.C.) - VALVULA DE VAPOR DE PARED.
- FV-4 : VALVULA SOLENOIDE ON/OFF (N.C.) - VALVULA DE VAPOR DE FONDO.
- FV-5 : VALVULA SOLENOIDE ON/OFF (N.C.) - VALVULA DE DESCARGA.
- FV-6 : VALVULA SOLENOIDE ON/OFF (N.C.) - VALVULA DE ROCEADO DE AGUA.
- FV-7 : VALVULA SOLENOIDE ON/OFF (N.C.) - VALVULA DE PURGA DE CONDENSADO.
- M-8 : MOTOR DEL AGITADOR DE LA PAILA.
- M-9 : MOTOR DE LA BOMBA DE DESCARGA.

ESQUEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA
EN LA PAILA DE CEREALES

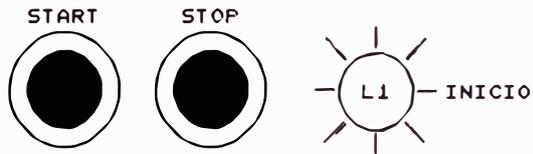
TESIS DE GRADO

AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

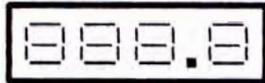
FIGURA 3.21

Pag. 1 de 1

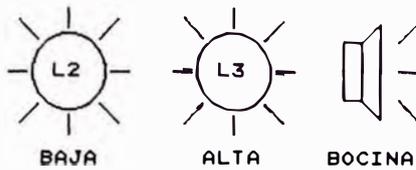
PROCESO



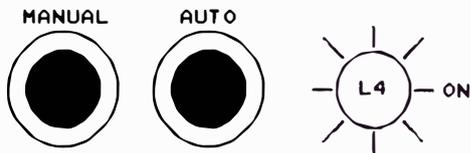
TEMPERATURA DE LA PAILA



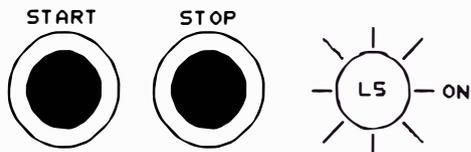
ALARMAS



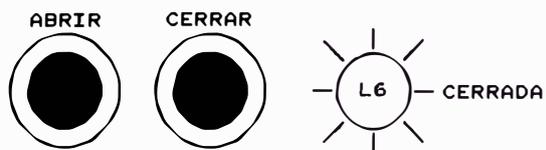
MODO DE CONTROL DEL PID



AGITADOR DE PAILA



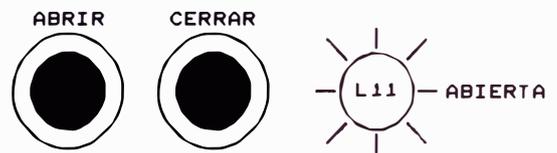
COMPUERTA DE CHIMENEA



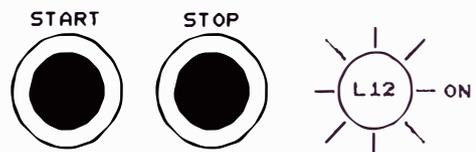
AVISOS INTERMITENTES



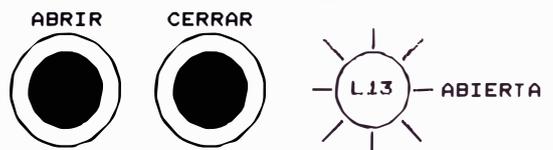
VALVULA DE DESCARGA



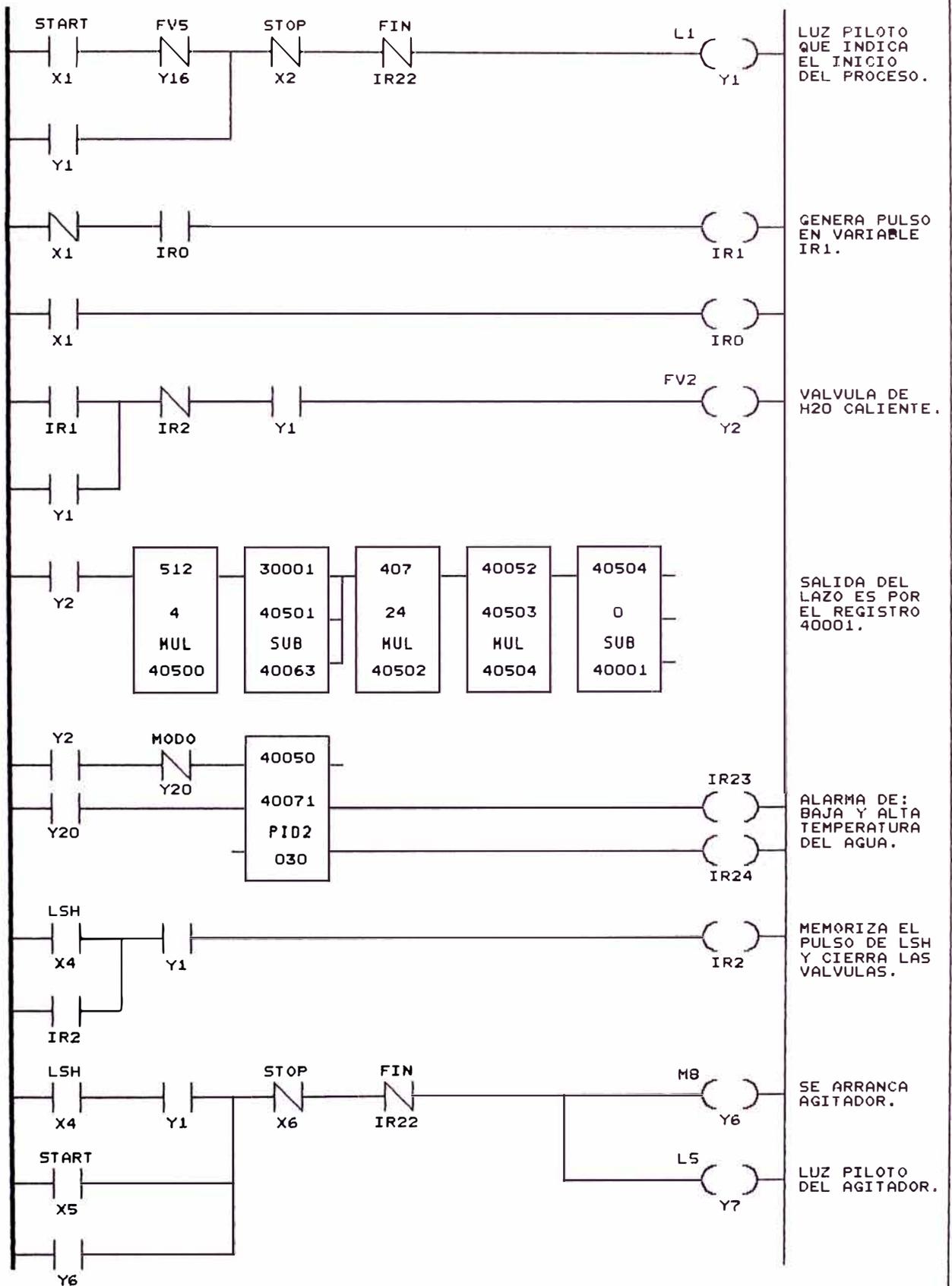
BOMBA DE DESCARGA



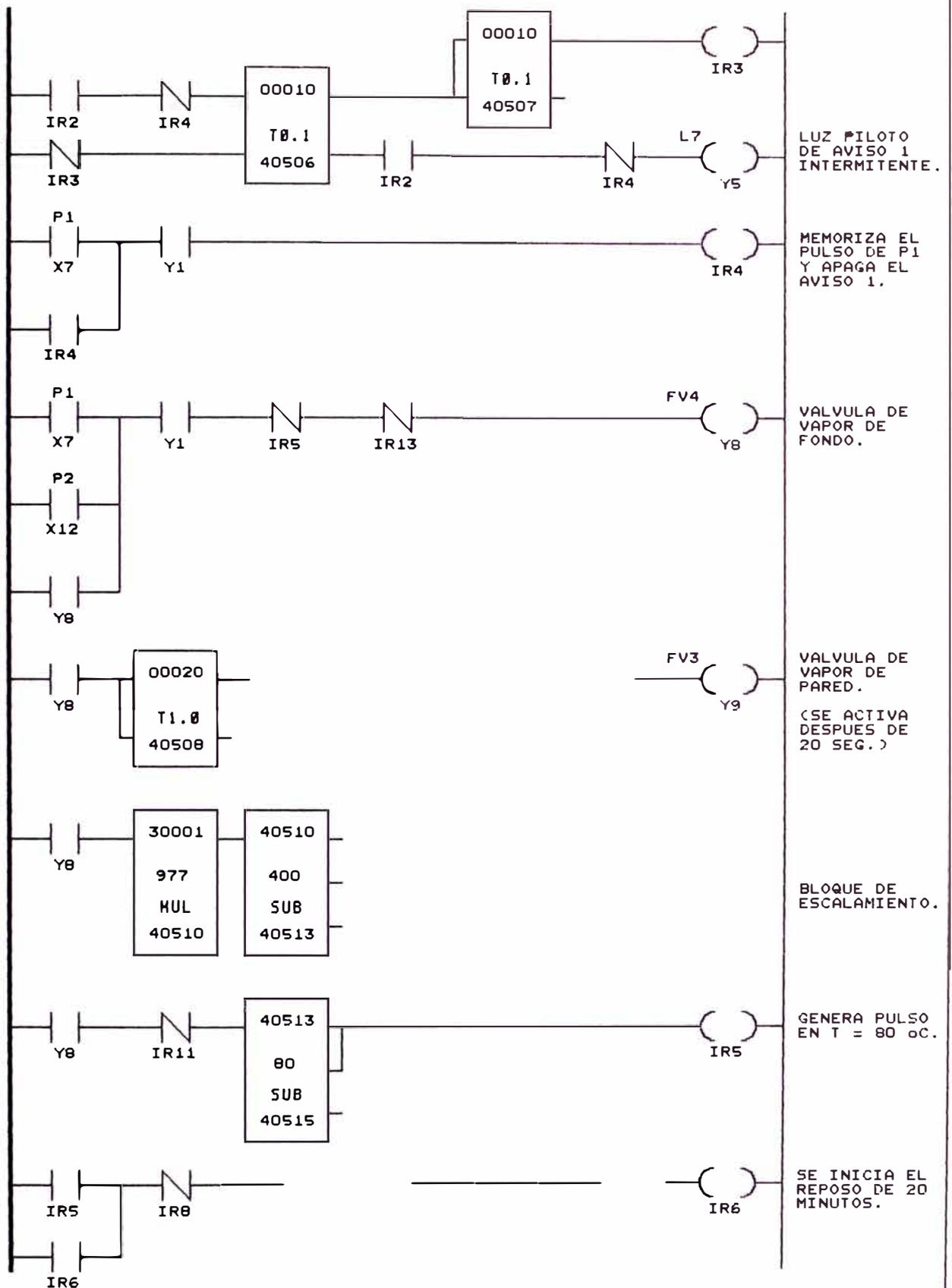
VALVULA DE ROCIADO DE AGUA



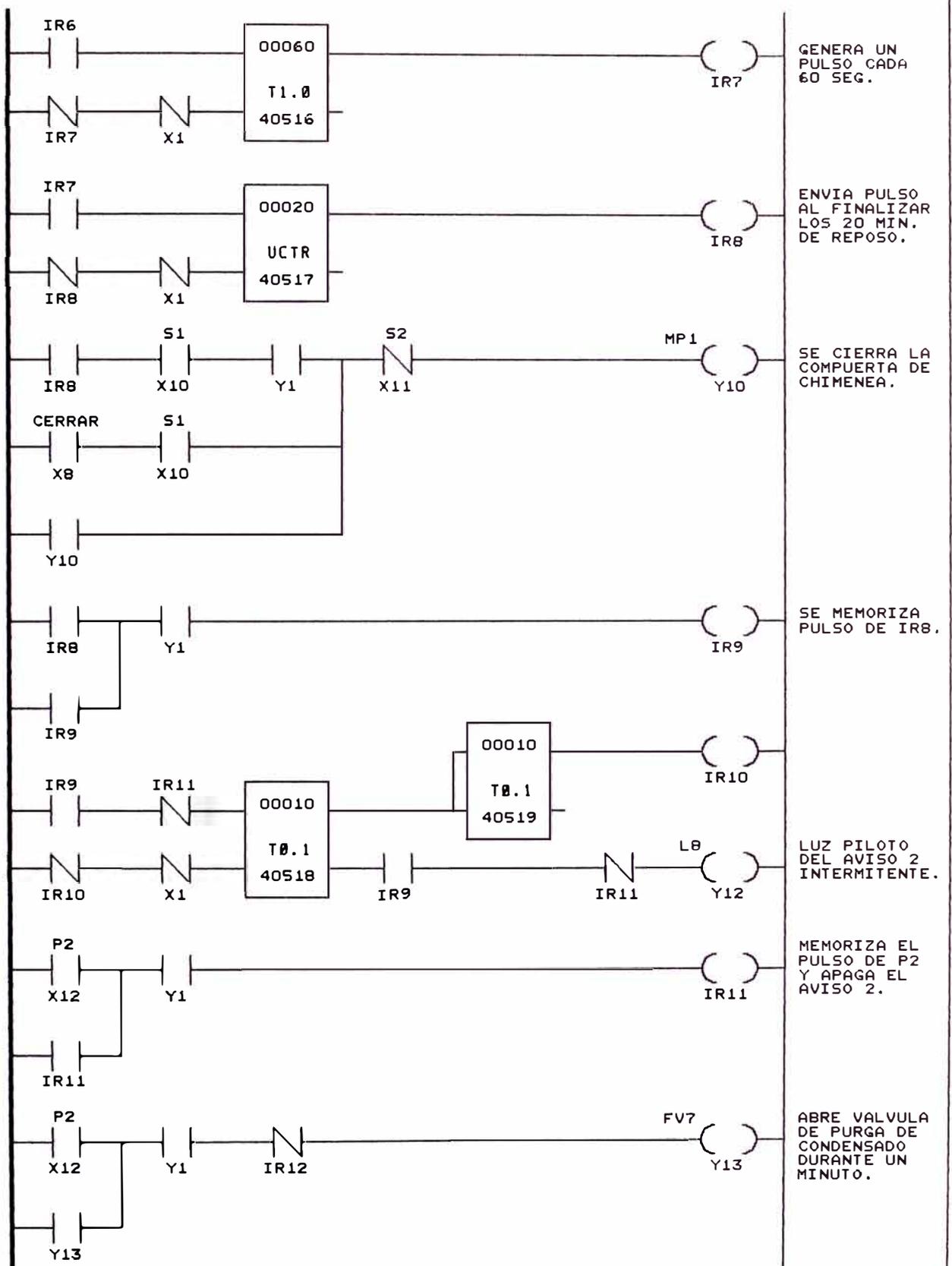
PANEL DE CONTROL PARA LA PAILA DE CEREALES
TESIS DE GRADO
AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
FIGURA 3.22 Pág. 1 de 1



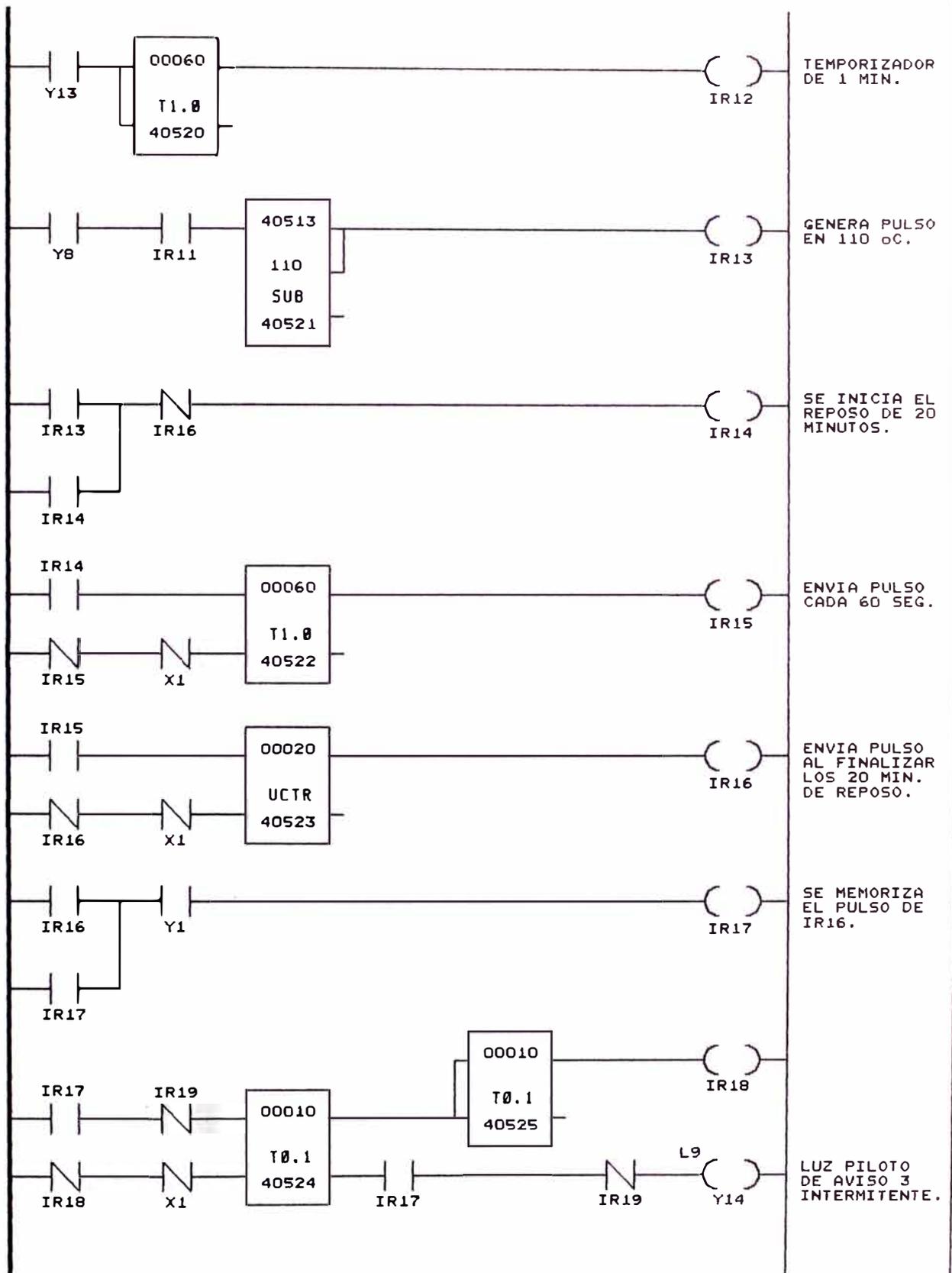
PROGRAMA PARA PAILA DE CEREALES
 (ESQUEMA DE CONTACTOS - PLC)
 TESIS DE GRADO
 AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
 15/07/95 Pag. 1 de 7



PROGRAMA PARA PAILA DE CEREALES
 (ESQUEMA DE CONTACTOS - PLC)
 TESIS DE GRADO
 AUTOR: Bch. JAVIER BARRIGA HOYLE
 15/07/95 Pag. 2 de 7



PROGRAMA PARA PAILA DE CEREALES
 (ESQUEMA DE CONTACTOS - PLC)
 TESIS DE GRADO
 AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
 15/07/95 Pag. 3 de 7

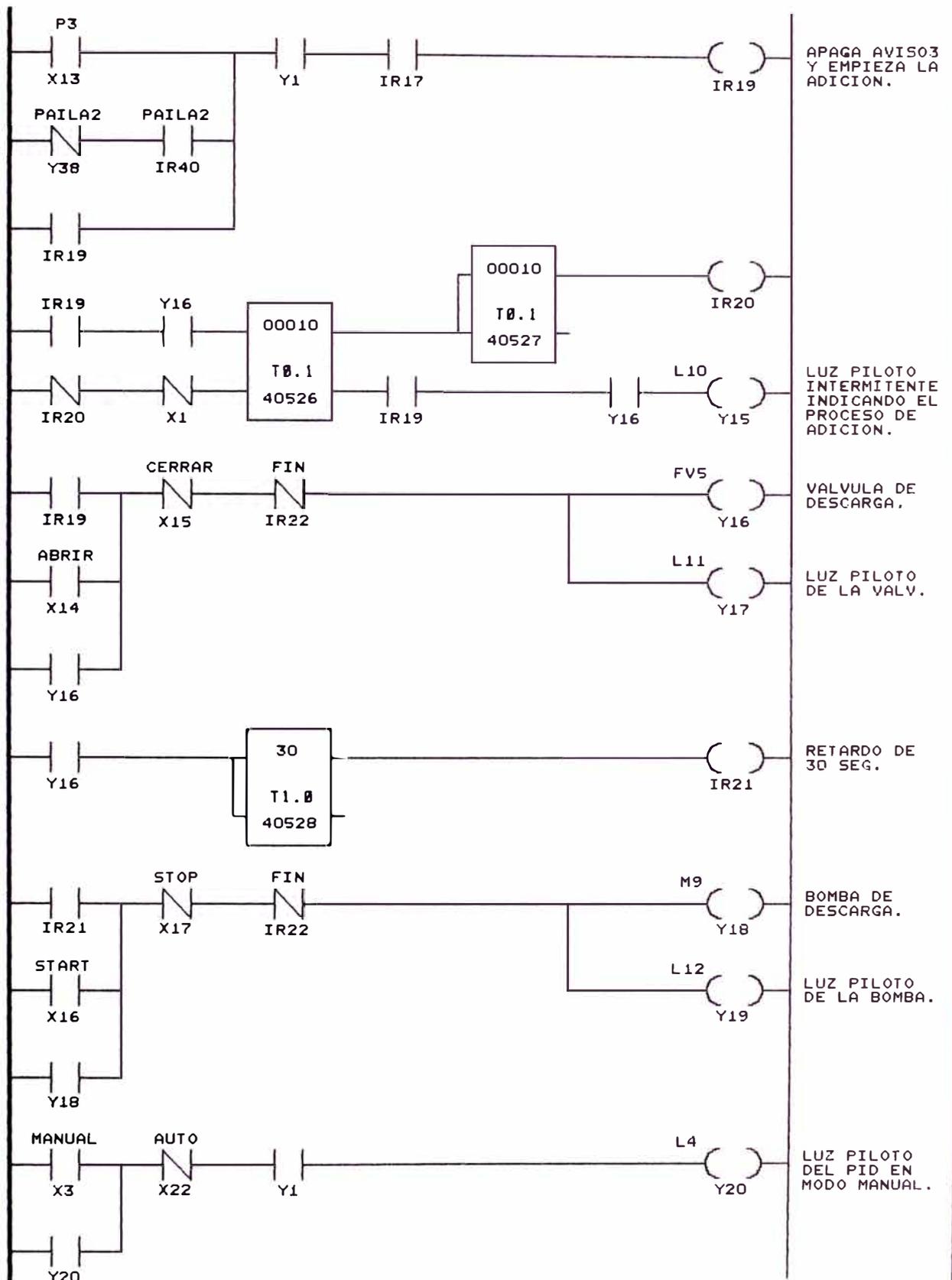


PROGRAMA PARA PAILA DE CEREALES
(ESQUEMA DE CONTACTOS - PLC)

TESIS DE GRADO

AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA MOYLE

15/07/95 Pag. 4 de 7

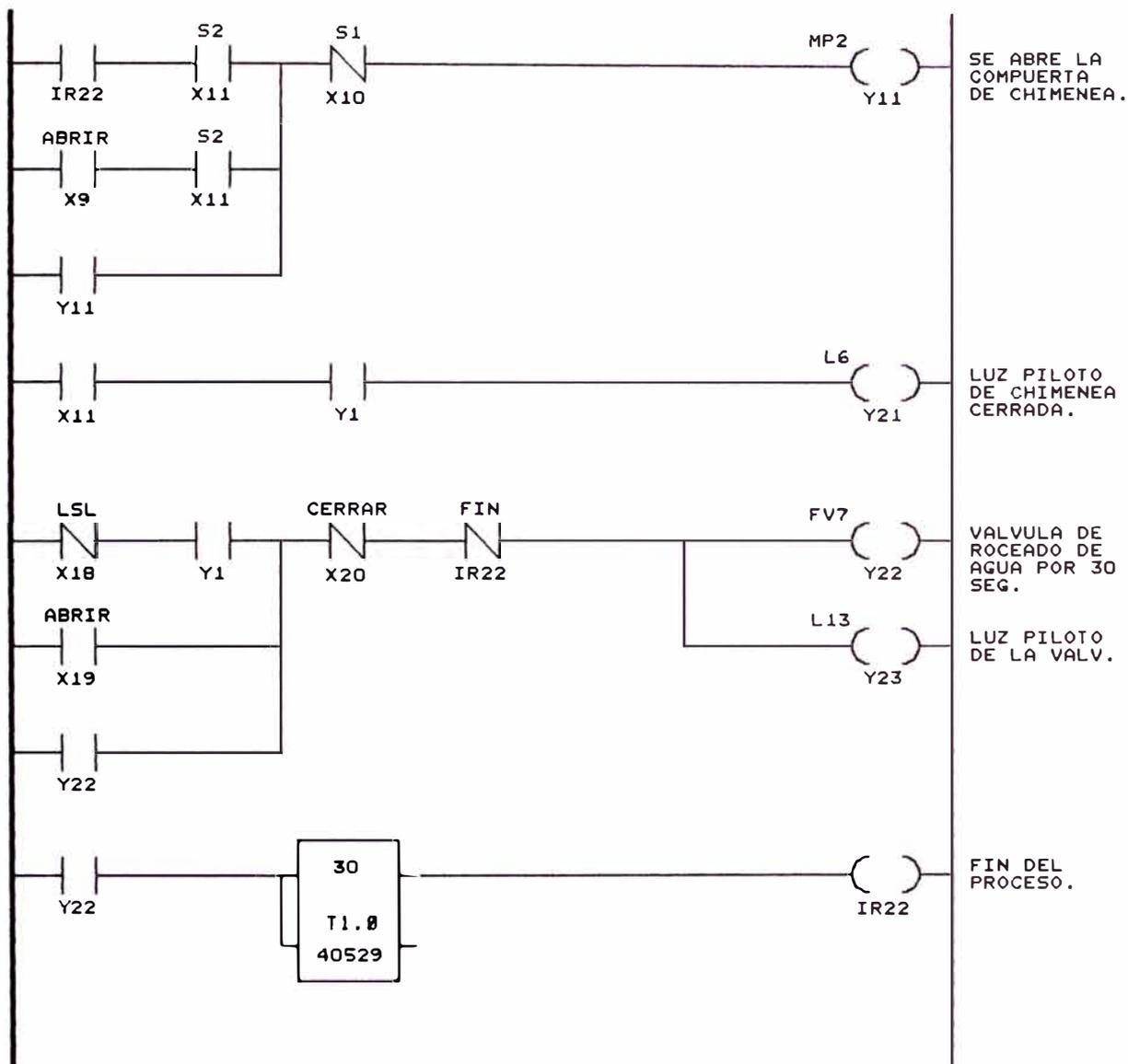


PROGRAMA PARA PAILA DE CEREALES
 (ESQUEMA DE CONTACTOS - PLC)

TESIS DE GRADO

AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

15/07/95 Pag. 5 de 7



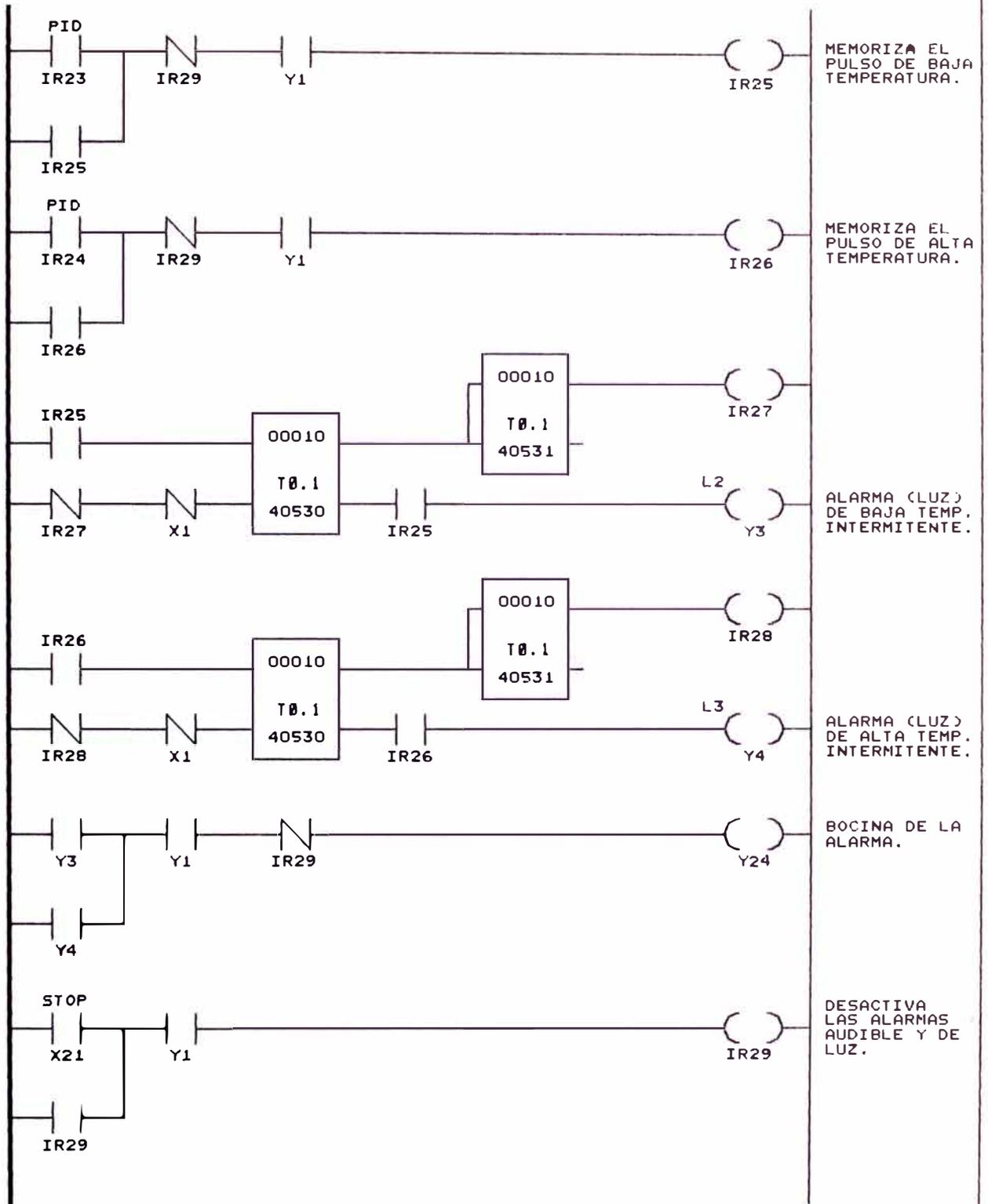
PROGRAMA PARA PAILA DE CEREALES
 (ESQUEMA DE CONTACTOS - PLC)

TESIS DE GRADO

AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

15/07/95 Pag. 6 de 7

PROGRAMA DE GENERACION DE ALARMAS



PROGRAMA PARA PAILA DE CEREALES
 (ESQUEMA DE CONTACTOS - PLC)
 TESIS DE GRADO
 AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
 15/07/95 Pág. 7 de 7

Características de las señales de entrada y salida:

Entradas discretas: (22)

- X1 Start (Inicio del proceso).
- X2 Stop (Fin del proceso).
- X3 Selecciona, Modo MANUAL el control PID.
- X4 Interruptor de alto nivel de agua (LSH).
- X5 Pulsador (start), arranca el agitador en veloc. alta.
- X6 Pulsador (stop), detiene el agitador.
- X7 Pulsador "P1" para continuar proceso, después de vaciar cereal.
- X8 Pulsador para cerrar compuerta de chimenea.
- X9 : Pulsador para abrir compuerta de chimenea.
- X10 Microrruptores (S1) que se activa cuando está abierta la compuerta chimenea.
- X11 : Microrruptores (S2) que se activa cuando está cerrada la compuerta chimenea.
- X12 : Pulsador "P2" para continuar después de cerrar compuerta de paila1.
- X13 : Pulsador "P3" para continuar con el bombeo de paila1 a paila2.
- X14 : Pulsador para abrir válvula de descarga.
- X15 Pulsador para cerrar válvula de descarga.
- X16 : Pulsador para prender la bomba de descarga.
- X17 : Pulsador para apagar la bomba de descarga.
- X18 : Interruptor de bajo nivel de agua (LSL).
- X19 Pulsador para abrir válvula rociador de agua.
- X20 : Pulsador para cerrar válvula rociador de agua.
- X21 Pulsador para apagar la alarma (luz y audible).

X22 : Selecciona MODO AUTO el control PID.

Salidas discretas: (24)

Y1 Luz piloto que indica inicio del proceso.

Y2 Válvula de agua caliente ON/OFF (N.C.).

Y3 Alarma de baja temperatura de agua.

Y4 Alarma de alta temperatura de agua.

Y5 Aviso intermitente, *para vaciar cereales y presionar pulsador "P1" para continuar.*

Y6 : Arranca agitador de la paila.

Y7 Luz piloto que indica que el agitador está prendido.

Y8 Válvula de vapor de fondo ON/OFF (N.C.).

Y9 Válvula de vapor de pared ON/OFF (N.C.).

Y10 : Activa un motorcito para desplazar la compuerta de chimenea (de abierta a cerrada).

Y11 : Activa un motorcito para desplazar la compuerta de chimenea (de cerrada a abierta).

Y12 Aviso intermitente, *para indicar que cierre compuerta de paila y presionar pulsador "P2" para continuar.*

Y13 Válvula de purga de condensado.

Y14 Aviso intermitente, *para indicar que finalizó todo el proceso y se espera que la paila2 esté lista para la adición. Luego pulsar "P3" para continuar.*

Y15 : Luz piloto intermitente, indica que se está produciendo la adición de paila1 a la paila2.

Y16 Válvula de descarga ON/OFF (N.C.).

Y17 : Luz piloto de la válvula de descarga.

Y18 : Bomba de descarga.

Y19 : Luz piloto de la bomba de descarga.

Y20 : Luz piloto del PID (modo manual).

Y21 : Luz piloto que indica que la compuerta de chimenea está cerrada.

Y22 : Válvula de rociado de agua caliente.

Y23 : Luz piloto de la válvula de rociado.

Y24 : Bocina de la alarma de baja o alta temperatura de agua.

Entradas análogas:

30001: Temperatura de agua de la paila, módulo ADU-205.

Salidas análogas:

40001: Válvula de control de agua fría, módulo DAU-202.

Salidas de uso interno o de control:

IR0 hasta IR29

Registros de cálculo y mantenimiento:

40050 - 40079: Registros usados por la función PID2.

40500 - 40533: Registros usados para cálculos auxiliares.

Contenido de los registros del PID2:

40050 = ; Escala PV, PID2 escribe esto.

40051 = 0060 ; Escala de SP.

40052 = ; PID2 escribe esto.

40053 = 0065 ; Límite para alarma alta.

40054 = 0055 ; Límite para alarma baja.

40055 = 0100 ; Banda proporcional. El valor usado aquí depende de la dinámica del proceso.

40056 = 0100 ; Constante integral (1.00 repetición/min.).

40057 = 0000 ; Constante derivativa (0.00 repeticiones/min.).

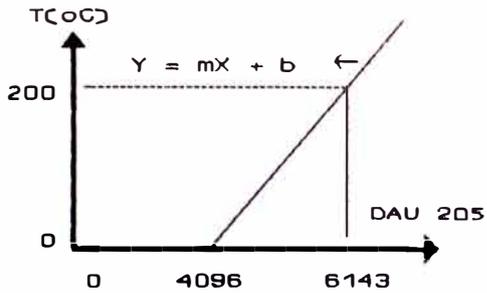
40058 = 0000 ; Bias, es cero dado que existe término integral.

40059 = 4095 ; High Windup limit, normalmente es el máximo.

40060 = 0000 ; Low Windup limit, normalmente es el mínimo.

40061 = 0200 High Engineering Range, máxima medida del Pt100.
40062 = 0000 Low Engineering Range, mínima medida del Pt100.
40063 = Raw analog measure, se carga directamente desde un registro de entrada.
40064 = 0000 Pointer to loop counter register, cero elimina este parámetro, normalmente no se usa.
40065 = 0000 ; Max. loops solved per scan, es cero porque 40064 es cero.
40066 = 0062 ; Pointer to reset feed back, resulta de anular el 4 del registro 40062.
40067 = 4095 Output Clamp High (0 ... 4095), normalmente se toma el máximo.
40068 = 0000 ; Output Clamp Low (0 ... 4095), normalmente se toma el mínimo.
40069 = 0015 ; Rate Gain Limit Constant (2 ... 30), normalmente se hace 15. Este valor depende del ruido presente en la señal (actúa sobre el modo derivativo).
40070 = 0000 ; Pointer to track input. Usado si el PRELOAD es usado, si este no es usado normalmente se hace 0.
40071 - 40079: Registros de mantenimiento usados para cálculos, no se necesita cargar nada en estos registros.

OBS: En el programa (pág. 2 de 7) se tiene un bloque de escalamiento para la entrada de datos analógicos, que es deducido de la siguiente forma. El rango de temperatura del sensor (Pt100), está entre 0 °C y 200 °C, estos valores deben pasarse a unidades decimales para que se puedan interpretar correctamente por el módulo ADU 205. El diagrama siguiente ilustra el método empleado.



Del gráfico se obtiene:

$$Y = 0.0977 X - 400$$

la manera de como implementarlo está explicado al final del capítulo II.

3.2.2 Control de la paila de maceración

De manera similar a la paila de cereales, esta paila también es sometida a cambios de temperatura y estados de reposo, para producir los desdoblamiento de las proteínas y almidones para su posterior sacarificación. El tipo de control a utilizarse será también el P+I.

El volumen de la paila es de 160 Hl, la cual tiene que llenarse con agua a una temperatura de 53 °C, después de variados cambios de temperatura y estados de reposo, se logra finalmente los 76 °C.

PAILA DE MACERACION

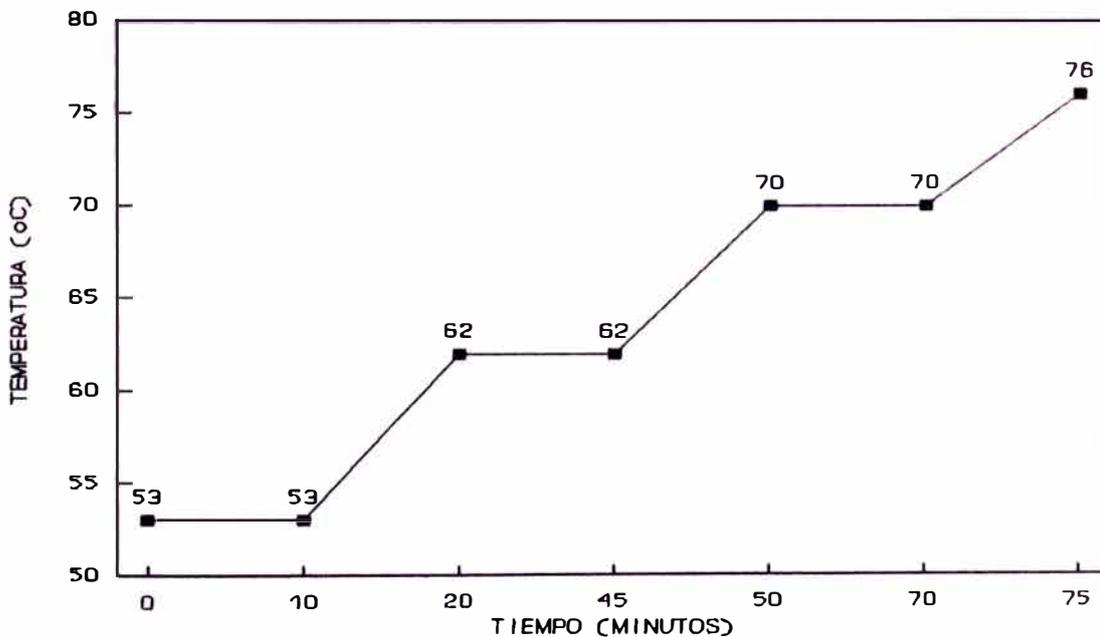


Figura 3.23 Diagrama de Tiempo vs. Temperatura.

A continuación se mostrará el diagrama de flujo (figura 3.24), esquema de control (figura 3.25), panel de control (figura 3.26) y el programa respectivo.

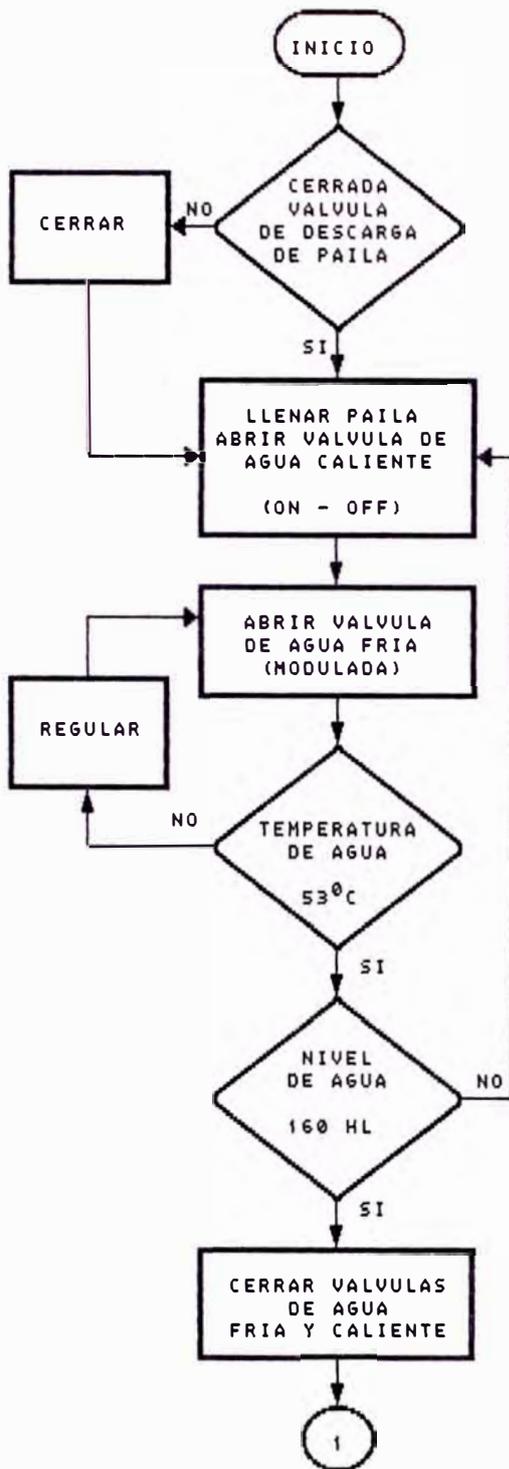


DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PAILA DE MACERACION

TESIS DE GRADO

AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

FIGURA 3.24

Pag. 1 de 3

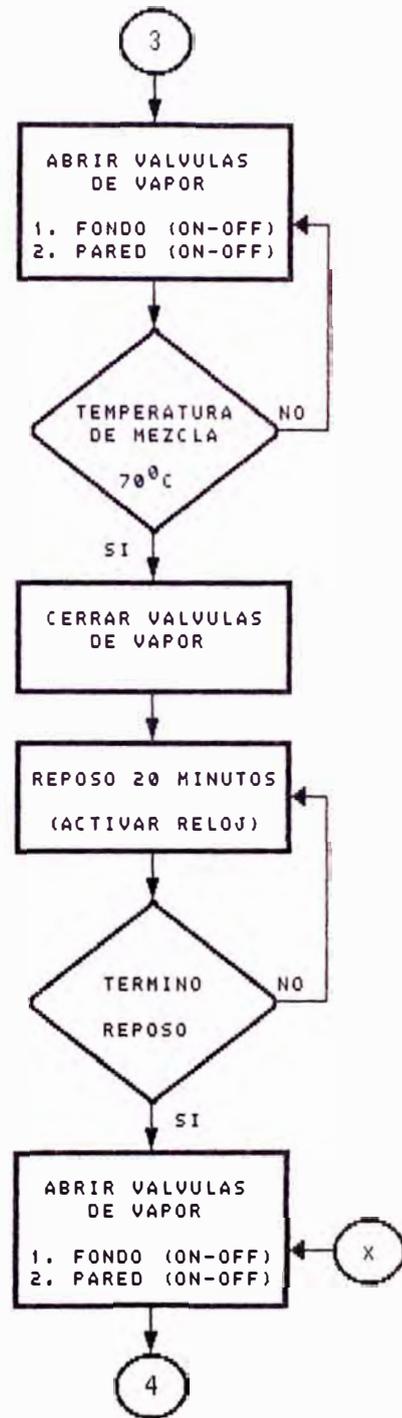
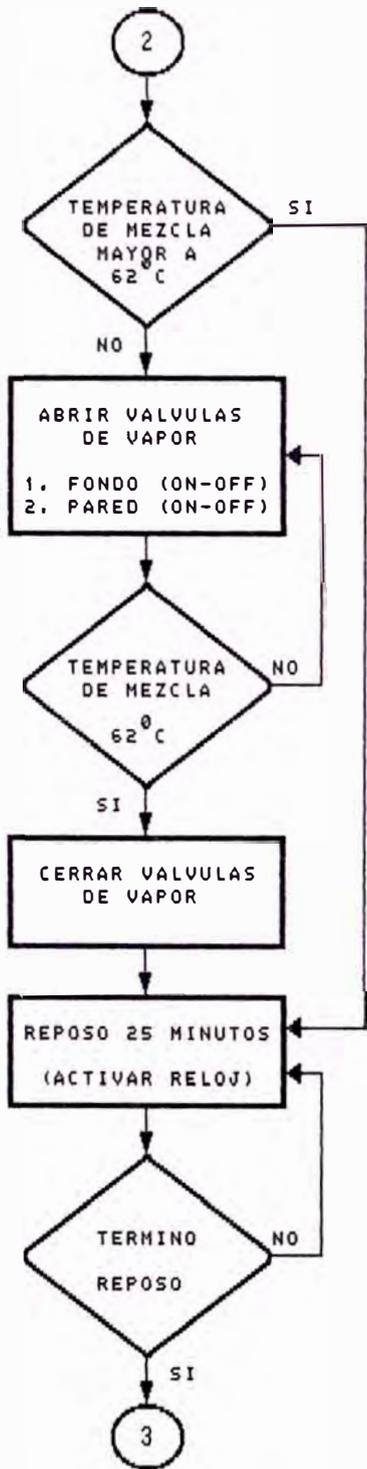


DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PAILA DE MACERACION
 TESIS DE GRADO
 AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
 FIGURA 3.24 Pag. 2 de 3

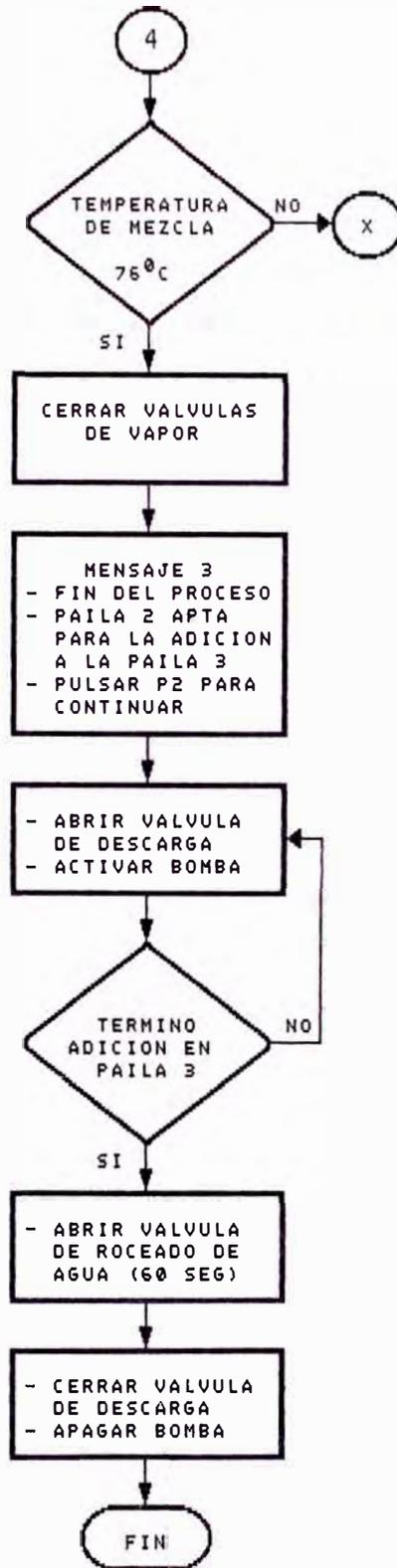


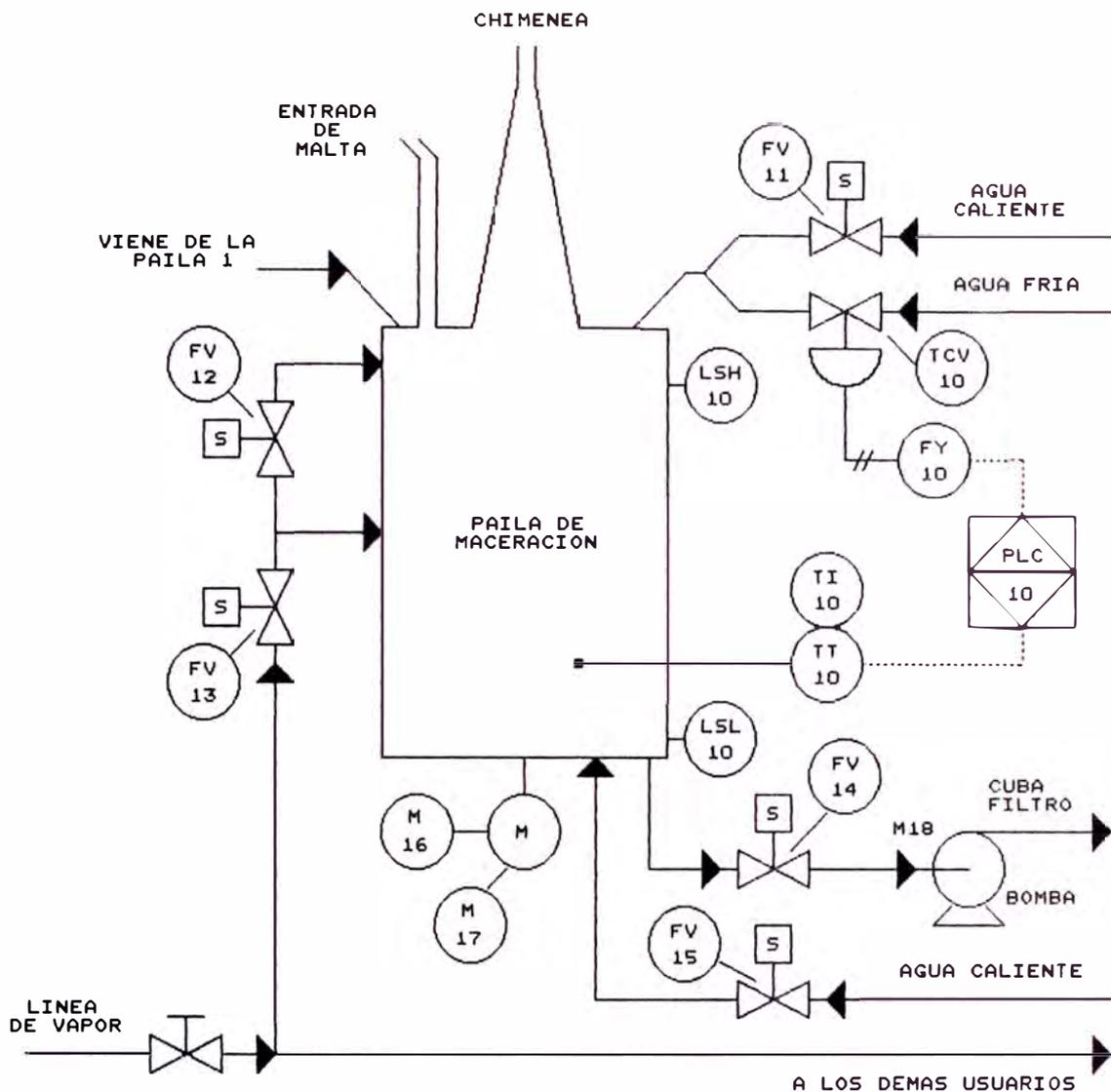
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PAILA DE MACERACION

TESIS DE GRADO

AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

FIGURA 3.24

Pag. 3 de 3



LEYENDA :

- TCV-10 : VALVULA DE CONTROL DE TEMPERATURA (N.C.).
- LSH-10 : SWITCH DE NIVEL ALTO (N.C.).
- LSL-10 : SWITCH DE NIVEL BAJO (N.A.).
- FY-10 : CONVERTIDOR DE CORRIENTE A PRESION - 4/20 mA a 3/15 PSI.
- TT-10 : TRANSMISOR DE TEMPERATURA - 4 ... 20 mA.
- TI-10 : INDICADOR DE TEMPERATURA LOCAL.
- FV-11 : VALVULA SOLENOIDE ON/OFF (N.C.) - VALVULA DE AGUA CALIENTE.
- FV-12 : VALVULA SOLENOIDE ON/OFF (N.C.) - VALVULA DE VAPOR DE PARED.
- FV-13 : VALVULA SOLENOIDE ON/OFF (N.C.) - VALVULA DE VAPOR DE FONDO.
- FV-14 : VALVULA SOLENOIDE ON/OFF (N.C.) - VALVULA DE DESCARGA.
- FV-15 : VALVULA SOLENOIDE ON/OFF (N.C.) - VALVULA DE ROCEADO DE AGUA.
- M-16 : MOTOR DE AGITADOR EN VELOCIDAD LENTA.
- M-17 : MOTOR DE AGITADOR EN VELOCIDAD ALTA.
- M-18 : MOTOR DE LA BOMBA DE DESCARGA.

ESQUEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA
EN LA PAILA DE MACERACION

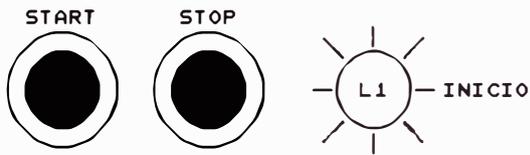
TESIS DE GRADO

AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

FIGURA 3.25

Pag. 1 de 1

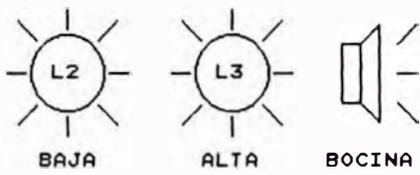
PROCESO



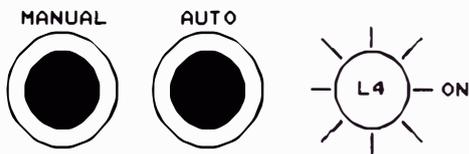
TEMPERATURA DE LA PAILA



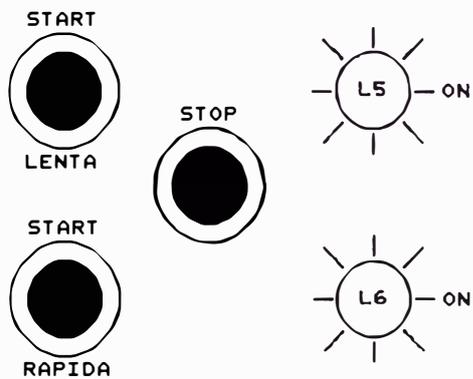
ALARMAS



MODO DE CONTROL DEL PID



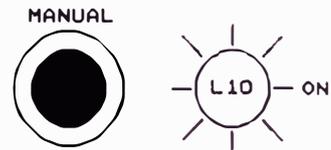
AGITADOR DE PAILA



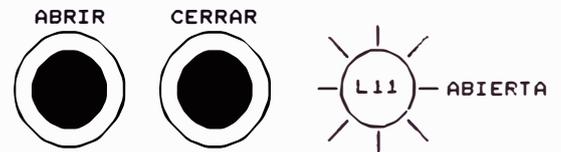
AVISOS INTERMITENTES



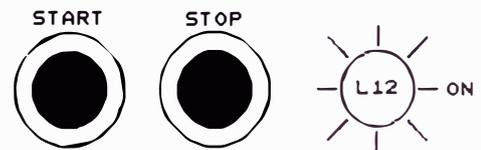
MODO DE ADICION DE PAILA1 A PAILA2



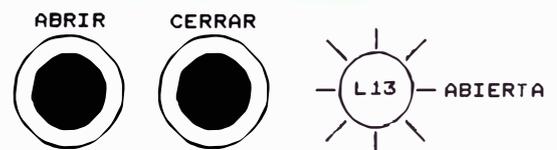
VALVULA DE DESCARGA



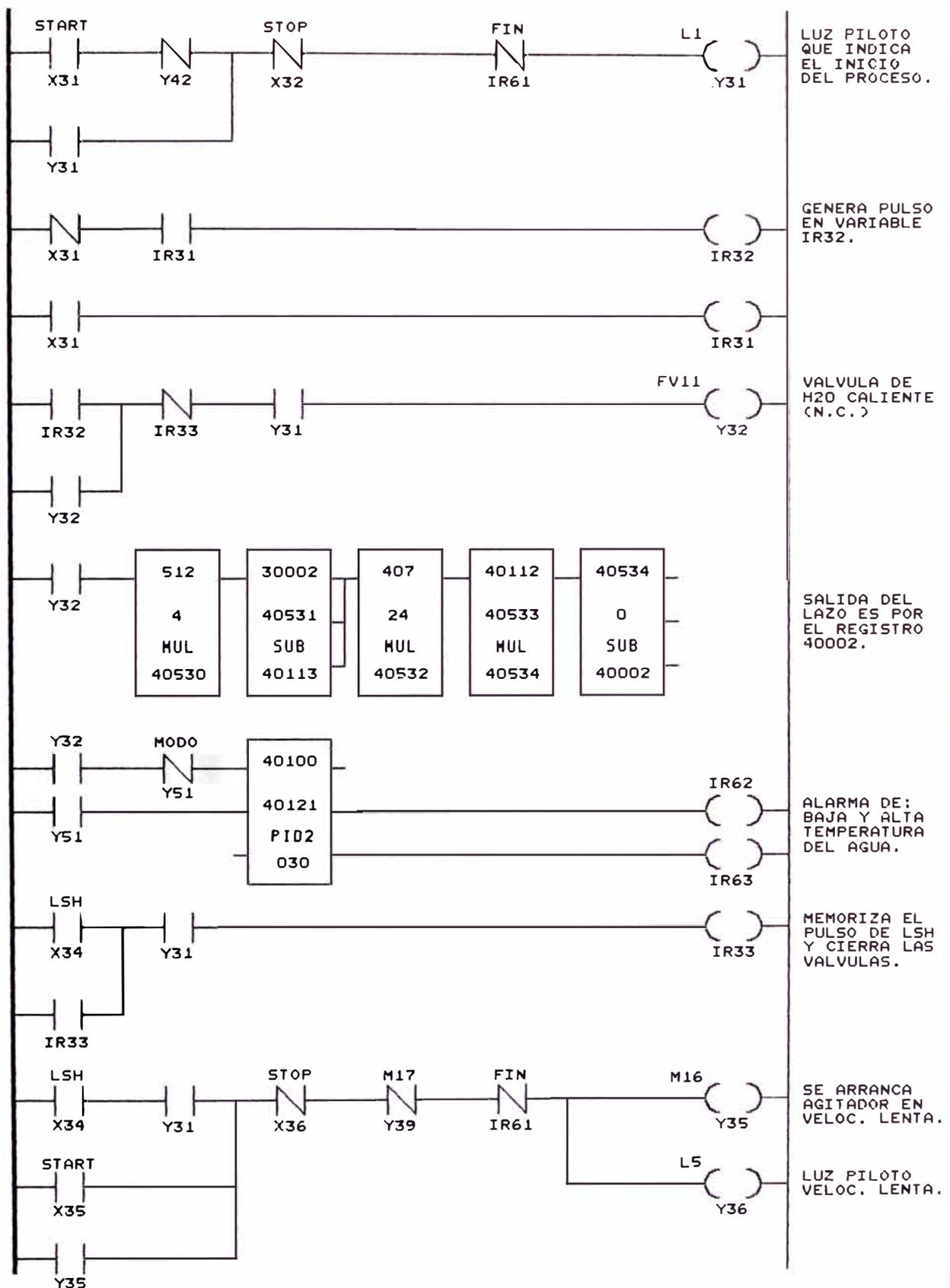
BOMBA DE DESCARGA



VALVULA DE ROCIADO DE AGUA



PANEL DE CONTROL PARA LA PAILA DE MACERACION
TESIS DE GRADO
AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
FIGURA 3.26 Pag. 1 de 1



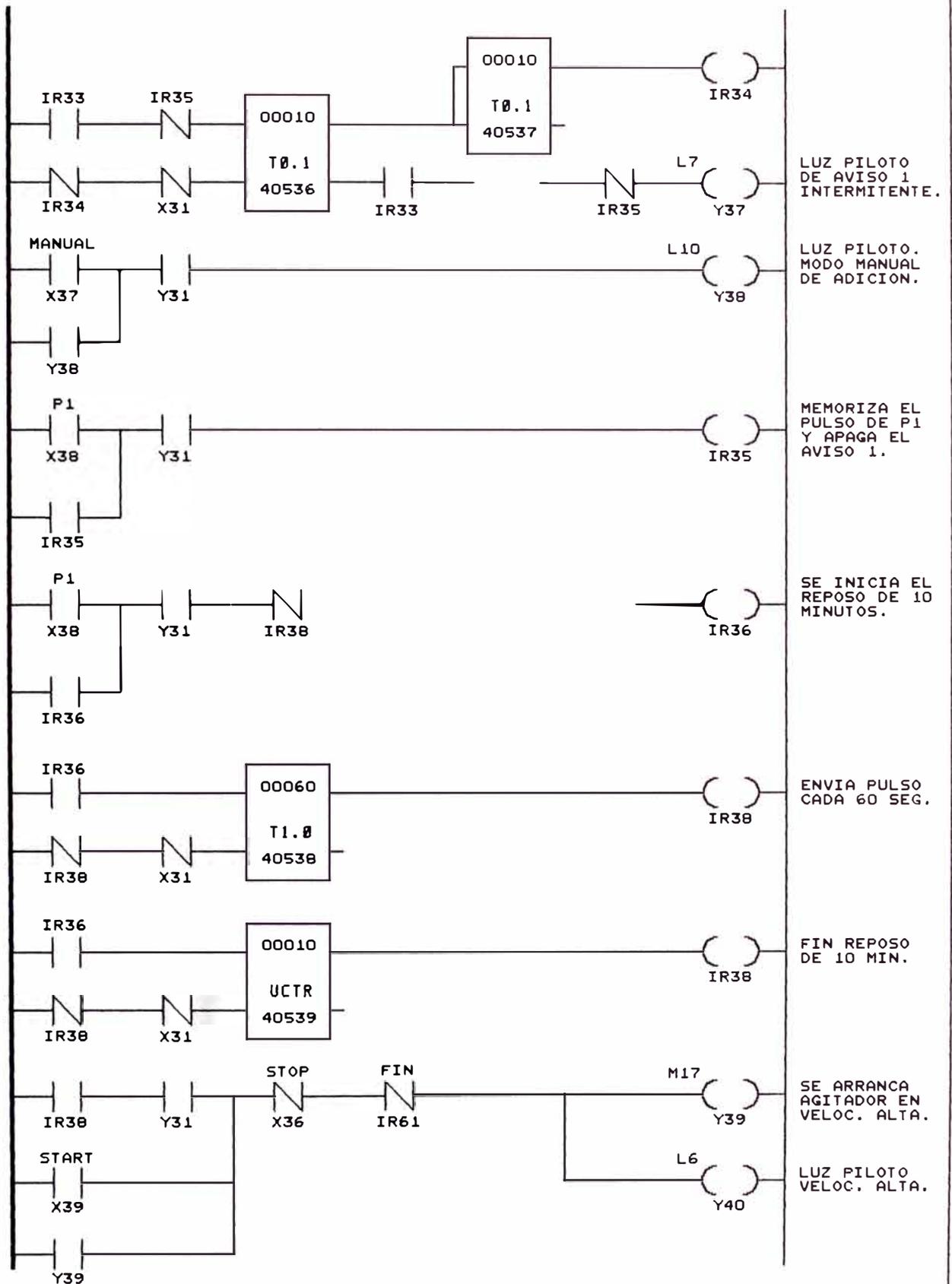
PROGRAMA PARA PAILA DE MACERACION
(ESQUEMA DE CONTACTOS - PLC)

TESIS DE GRADO

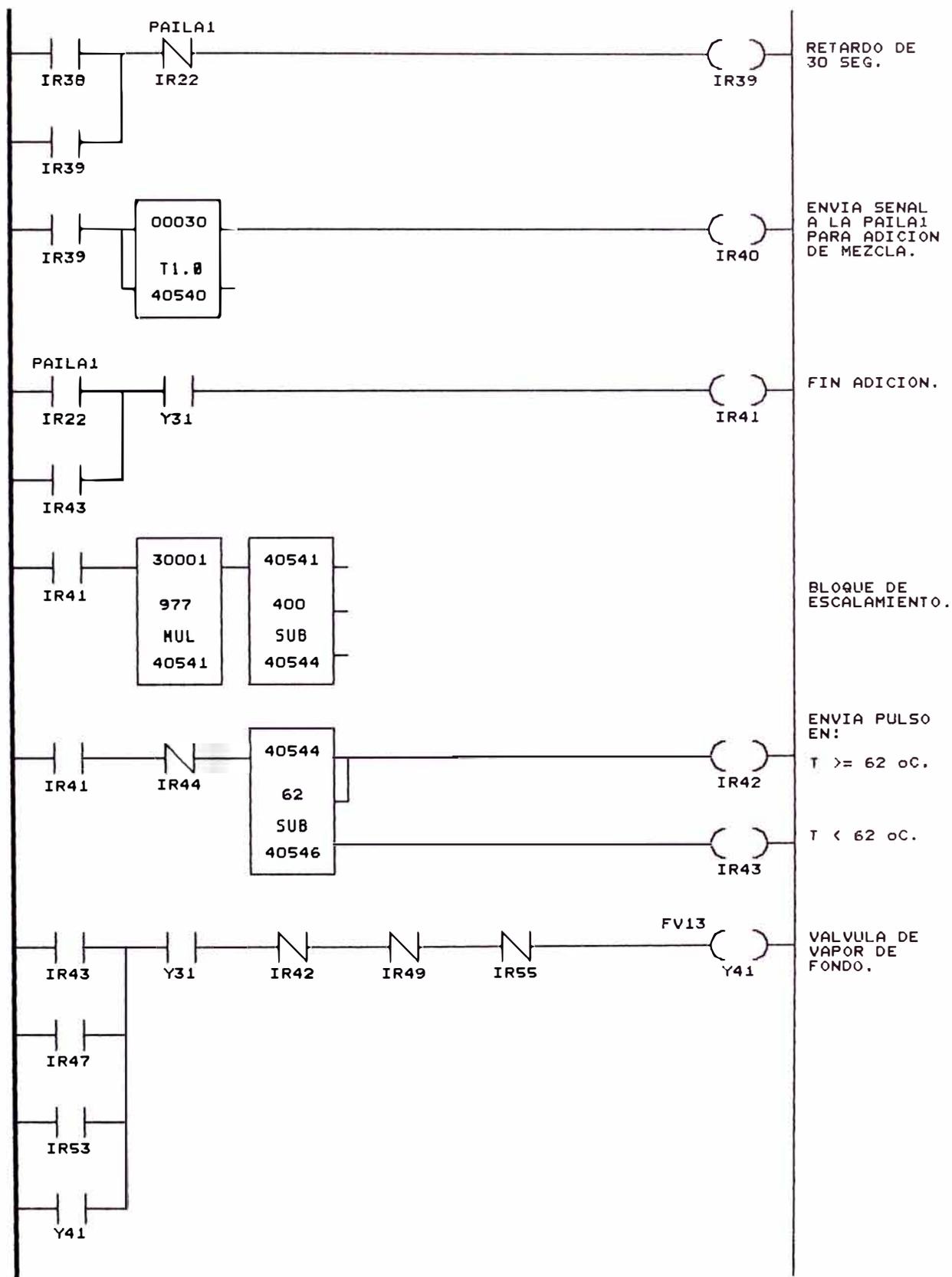
AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

15/07/95

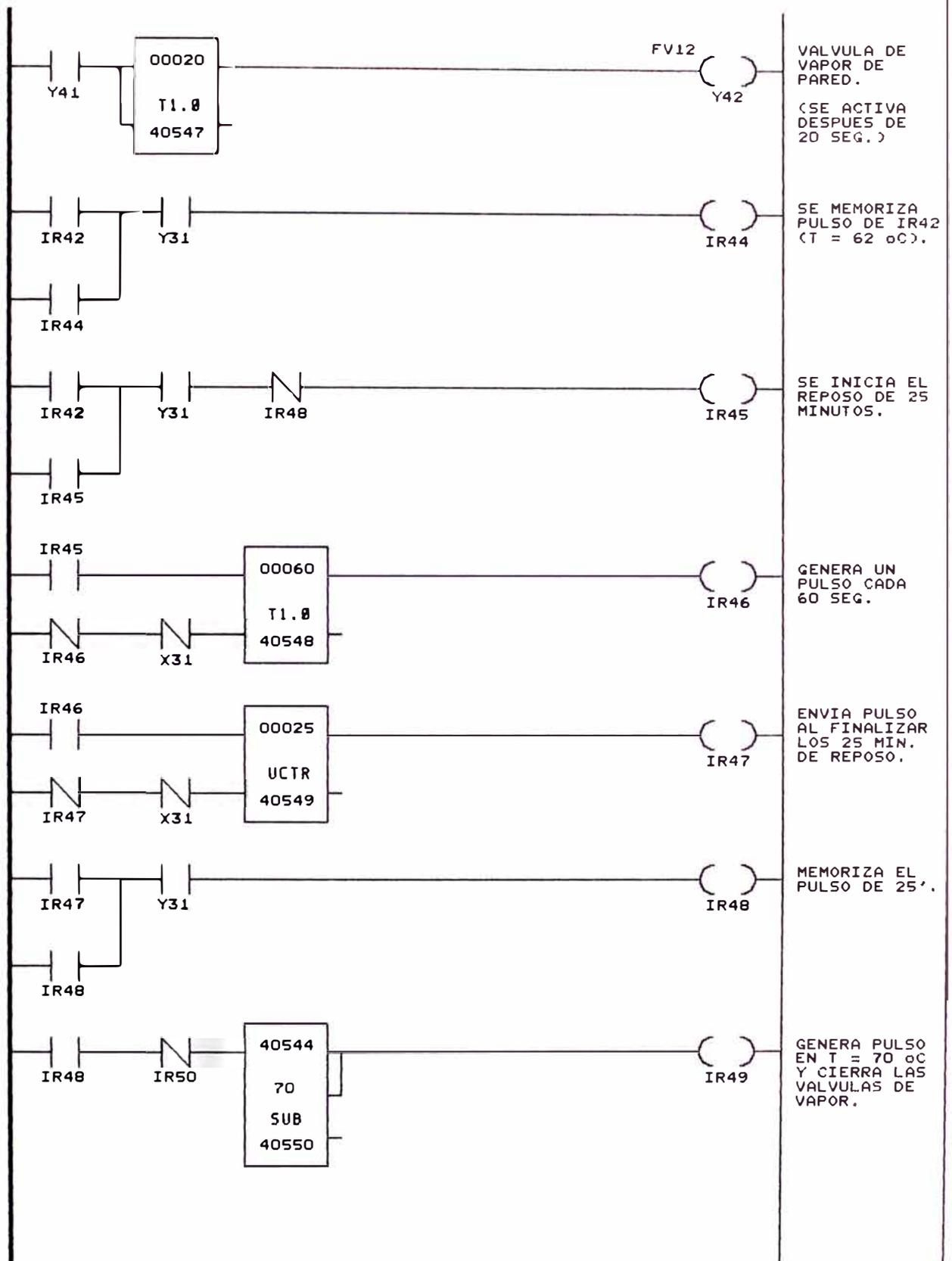
Pag. 1 de 8



PROGRAMA PARA PAILA DE MACERACION
 (ESQUEMA DE CONTACTOS - PLC)
 TESIS DE GRADO
 AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
 15/07/95 Pag. 2 de 8



PROGRAMA PARA PAILA DE MACERACION
 (ESQUEMA DE CONTACTOS - PLC)
 TESIS DE GRADO
 AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
 15/07/95 Pag. 3 de 8



VALVULA DE VAPOR DE PARED.

(SE ACTIVA DESPUES DE 20 SEG.)

SE MEMORIZA PULSO DE IR42 (T = 62 oC).

SE INICIA EL REPOSO DE 25 MINUTOS.

GENERA UN PULSO CADA 60 SEG.

ENVIA PULSO AL FINALIZAR LOS 25 MIN. DE REPOSO.

MEMORIZA EL PULSO DE 25'.

GENERA PULSO EN T = 70 oC Y CIERRA LAS VALVULAS DE VAPOR.

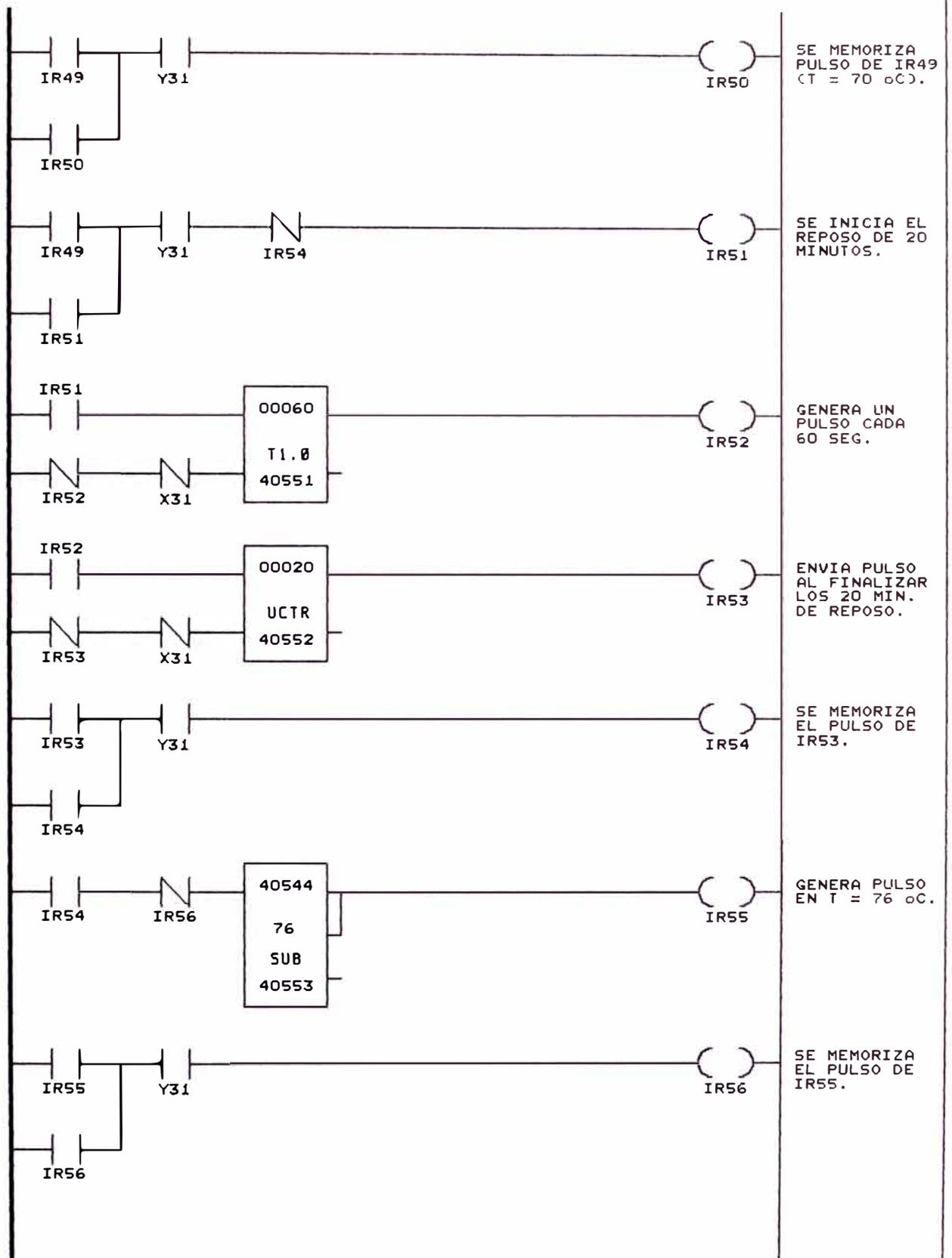
PROGRAMA PARA PAILA DE MACERACION (ESQUEMA DE CONTACTOS - PLC)

TESIS DE GRADO

AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

15/07/95

Pag. 4 de 8



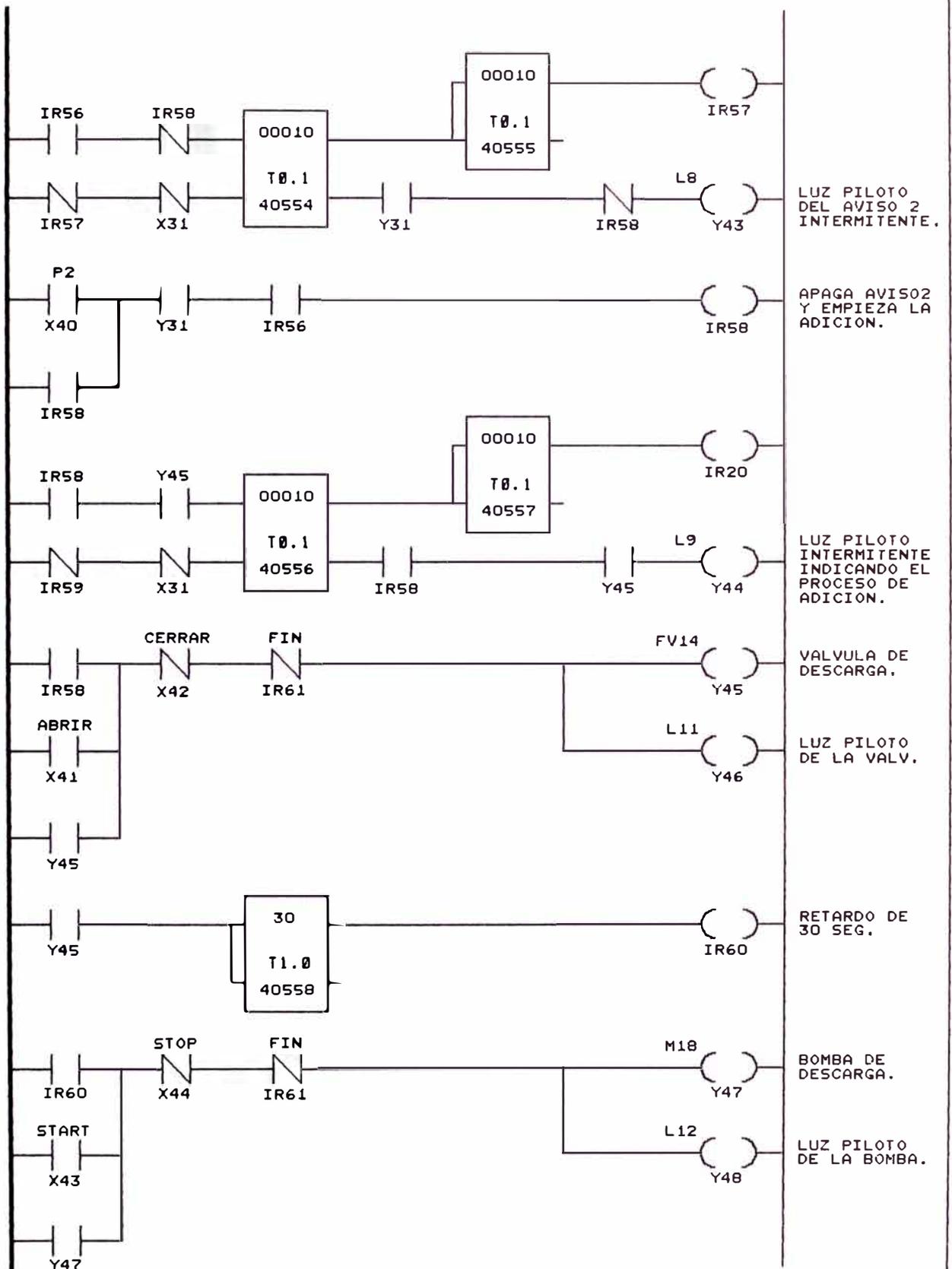
PROGRAMA PARA PAILA DE MACERACION
(ESQUEMA DE CONTACTOS - PLC)

TESIS DE GRADO

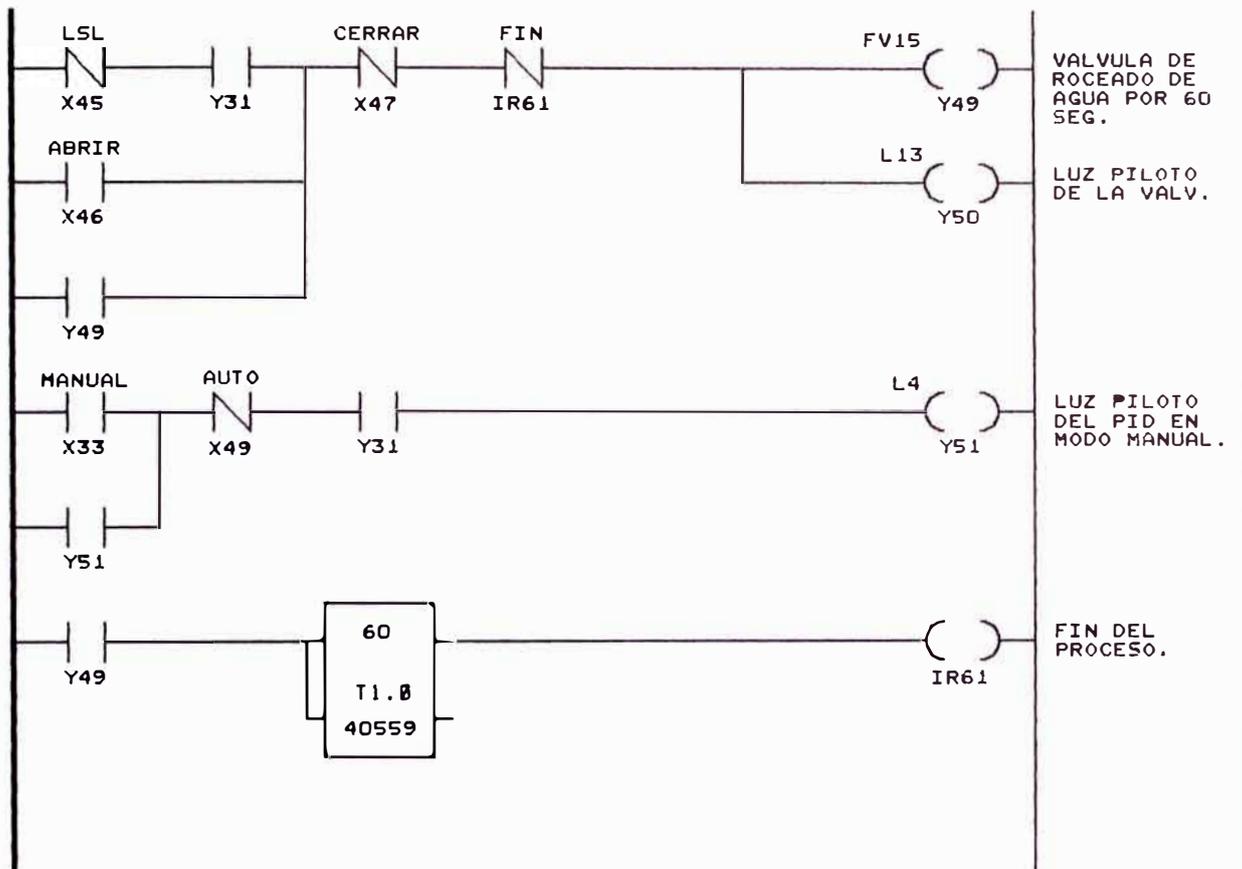
AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

15/07/95

Pag. 5 de 8



PROGRAMA PARA PAILA DE MACERACION
 (ESQUEMA DE CONTACTOS - PLC)
 TESIS DE GRADO
 AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
 15/07/95 Pag. 6 de 8



PROGRAMA PARA PAILA DE MACERACION
(ESQUEMA DE CONTACTOS - PLC)

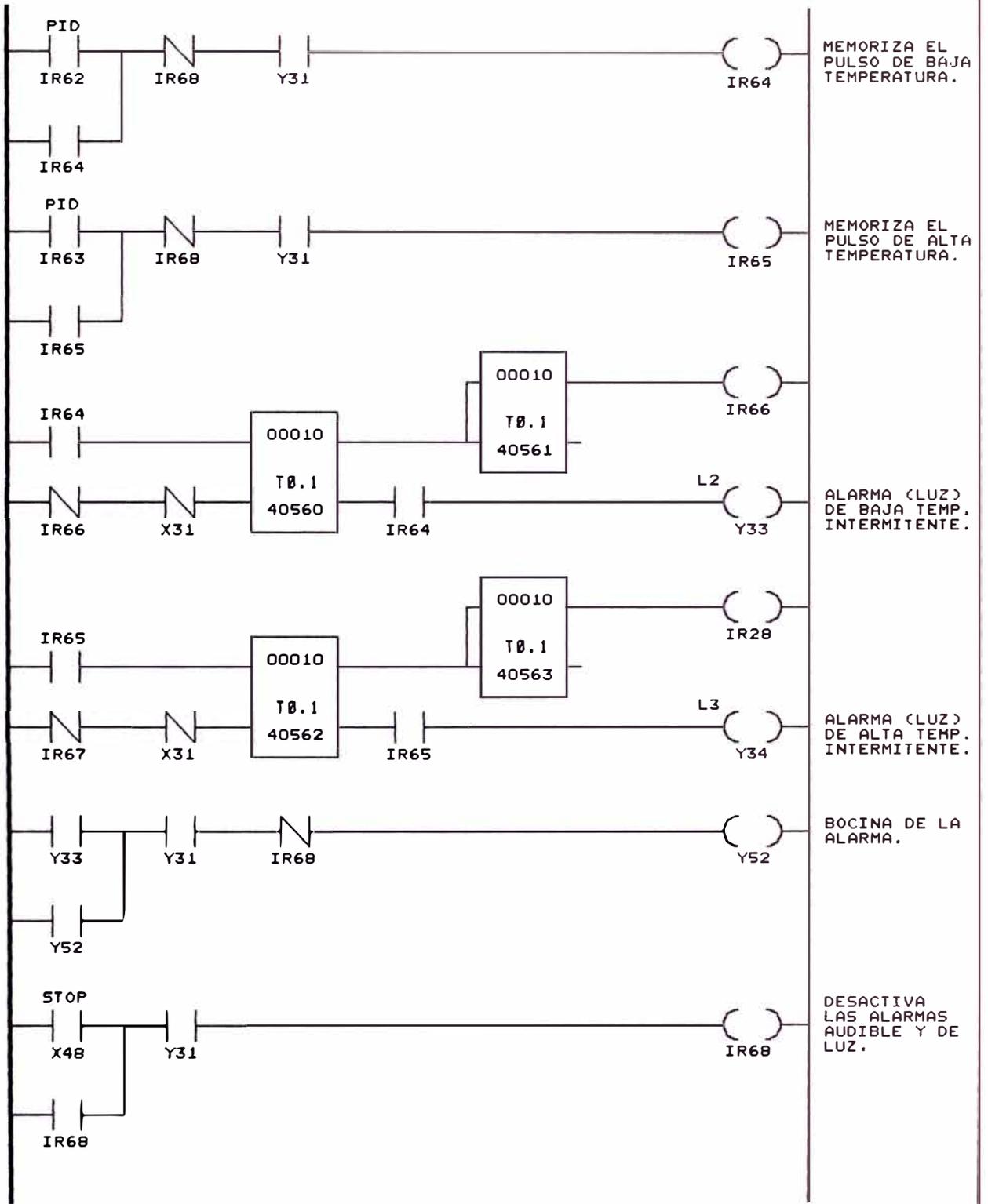
TESIS DE GRADO

AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE

15/07/95

Pag. 7 de 8

PROGRAMA DE GENERACION DE ALARMAS



PROGRAMA PARA PAILA DE MACERACION
 (ESQUEMA DE CONTACTOS - PLC)
 TESIS DE GRADO
 AUTOR: Bach. JAVIER BARRIGA HOYLE
 15/07/95 Pag. 8 de 8

Características de las señales de entrada y salida:

Entradas discretas: (19)

- X31 : Start (Inicio del proceso).
- X32 : Stop (Fin del proceso).
- X33 : Selecciona, Modo MANUAL el control PID.
- X34 : Interruptor de alto nivel de agua (LSH).
- X35 : Pulsador (start), arranca el agitador en veloc. lenta.
- X36 : Pulsador (stop), detiene el agitador en lenta o rápida.
- X37 : Selecciona Modo Manual, la adición de paila1 a paila2.
- X38 : Pulsador "P1" para continuar proceso, después de vaciar la Malta.
- X39 : Pulsador (start), arranca el agitador en veloc. alta.
- X40 : Pulsador "P2" para continuar con el bombeo de la paila2 a la paila3 (paila de filtración).
- X41 : Pulsador para abrir válvula de descarga.
- X42 : Pulsador para cerrar válvula de descarga.
- X43 : Pulsador para prender la bomba de descarga.
- X44 : Pulsador para apagar la bomba de descarga.
- X45 : Interruptor de bajo nivel de agua (LSL).
- X46 : Pulsador para abrir válvula rociador de agua.
- X47 : Pulsador para cerrar válvula rociador de agua.
- X48 : Pulsador para apagar la alarma (luz y audible).
- X49 : Selecciona MODO AUTO el control PID.

Salidas discretas: (21)

- Y31 : Luz piloto que indica inicio del proceso.
- Y32 : Válvula de agua caliente ON/OFF (N.C.).
- Y33 : Alarma de baja temperatura de agua.
- Y34 : Alarma de alta temperatura de agua.

- Y35 : Arranca agitador de la paila en velocidad lenta.
- Y36 : Luz piloto que indica que el agitador está prendido.
- Y37 : Aviso intermitente, *para vaciar la malta y presionar pulsador "P1" para continuar.*
- Y38 : Luz piloto, indica Modo Manual la adición.
- Y39 : Arranca agitador de la paila en velocidad rápida.
- Y40 : Luz piloto que indica que el agitador está prendido.
- Y41 : Válvula de vapor de fondo ON/OFF (N.C.).
- Y42 : Válvula de vapor de pared ON/OFF (N.C.).
- Y43 : Aviso intermitente, *para indicar que finalizó todo el proceso y se espera que la paila3 esté lista para la adición. Luego pulsar "P2" para continuar.*
- Y44 : Luz piloto intermitente, indica que se está produciendo la adición de paila2 a la paila3.
- Y45 : Válvula de descarga ON/OFF (N.C.).
- Y46 : Luz piloto de la válvula de descarga.
- Y47 : Bomba de descarga.
- Y48 : Luz piloto de la bomba de descarga.
- Y49 : Válvula de rociado de agua caliente.
- Y50 : Luz piloto de la válvula de rociado.
- Y51 : Luz piloto del PID (modo manual).

Entradas análogas:

30002: Temperatura de agua de la paila, módulo ADU-205.

Salidas análogas:

40002: Válvula de control de agua fría, módulo DAU-202.

Salidas de uso interno o de control:

IR31 hasta IR61.

Registros de cálculo y mantenimiento:

40100 - 40129 : Registros usados por la función PID2.

40530 - 40563 : Registros usados para cálculos auxiliares.

Contenido de los registros del PID2:

40100 = ; Escala PV, PID2 escribe esto.

40101 = 0053 ; Escala de SP.

40102 = ; PID2 escribe esto.

40103 = 0060 ; Límite para alarma alta.

40104 = 0040 ; Límite para alarma baja.

40105 = 0100 ; Banda proporcional. El valor usado aquí depende de la dinámica del proceso.

40106 = 0100 ; Constante integral (1.00 repetición/min.).

40107 = 0000 ; Constante derivativa (0.00 repeticiones/min.).

40108 = 0000 ; Bías, es cero dado que existe término integral.

40109 = 4095 ; High Windup limit, normalmente es el máximo.

40110 = 0000 ; Low Windup limit, normalmente es el mínimo.

40111 = 0200 ; High Engineering Range, máxima medida del Pt100.

40112 = 0000 ; Low Engineering Range, mínima medida del Pt100.

40113 = ; Raw analog measure, se carga directamente desde un registro de entrada.

40114 = 0000 ; Pointer to loop counter register, cero elimina este parámetro, normalmente no se usa.

40115 = 0000 ; Max. loops solved per scan, es cero porque 40114 es cero.

40116 = 0112 ; Pointer to reset feed back, resulta de anular el 4 del registro 40112.

40117 = 4095 ; Output Clamp High (0 ... 4095), normalmente se toma el máximo.

- 40118 = 0000 : Output Clamp Low (0 ... 4095), normalmente se toma el mínimo.
- 40119 = 0015 : Rate Gain Limit Constant (2 ... 30), normalmente se hace 15. Este valor depende del ruido presente en la señal (actúa sobre el modo derivativo).
- 40120 = 0000 : Pointer to track input. Usado si el PRELOAD es usado, si este no es usado normalmente se hace 0.
- 40121 - 40129:** Registros de mantenimiento usados para cálculos, no se necesita cargar nada en estos registros.

3.3 Interfase sistema con operador

La unidad de control de proceso tomará la información o lectura de los instrumentos de campo, que estarán en interfase con el operador en una consola de operación, que será la unidad central del sistema de supervisión, control y adquisición de datos. Para lo cual sus funciones básicas estarán referidas a:

1. Implementar una interfase hombre-máquina que permita mostrar la información en la forma más conveniente al operador.
2. Administración y mantenimiento de una base de datos, que incluya la información sobre las características de todos los puntos (TAG), medición, control y mando.
3. Adquisición de información dada por los instrumentos de campo. Asimismo, será el responsable de administrar las secuencias de mando a distancia.
4. Implementar las funciones de protección requeridas, a un nivel de software.
5. Procesar las señales de alarmas, llamando la atención de manera conveniente al operador cuando éstas ocurran.
6. Generación de reportes periódicos de los puntos (TAG).

Comunicación y redundancia:

La comunicación local deberá ser a través de un protocolo industrial (Modbus plus, ver apéndice 3), que permitirá:

1. Transferencia de datos entre computadores.
2. Transferencia de datos entre controladores y el computador central.
3. Programación de los controladores.
4. Activación/Desactivación de los programas de aplicación desde el computador.

La redundancia es una forma de proteger la operación del sistema contra fallas que puedan presentarse, la cual deberá estar orientada a las partes básicas del sistema y no al total del sistema, debido a que el costo del proyecto se duplicaría, lo que no sería beneficioso para la Sociedad Cervecera de Trujillo S.A..

Las partes básicas sujetas a redundancia son:

La fuente de alimentación.

Los módulos de control de procesos.

La figura 3.27 muestra una configuración del sistema de control de la sala de calderas, en ella se considera a las 3 calderas con su respectivas consolas de control y además la posible integración con otros procesos a los que se le distribuye vapor y dependen de esta sala, tales como: proceso de cocimiento, bodegas, embotellado, etc.

La figura 3.28 ilustra al proceso de elaboración de cerveza, en la cual desde la consola de la sala de cocimiento, se puede controlar a la paila de cereales y maceración en un inicio, integrándose en un futuro la paila de filtración y ebullición; paralelo a la consola, existirá un panel de control local para cada paila (figuras 3.22 y 3.26).

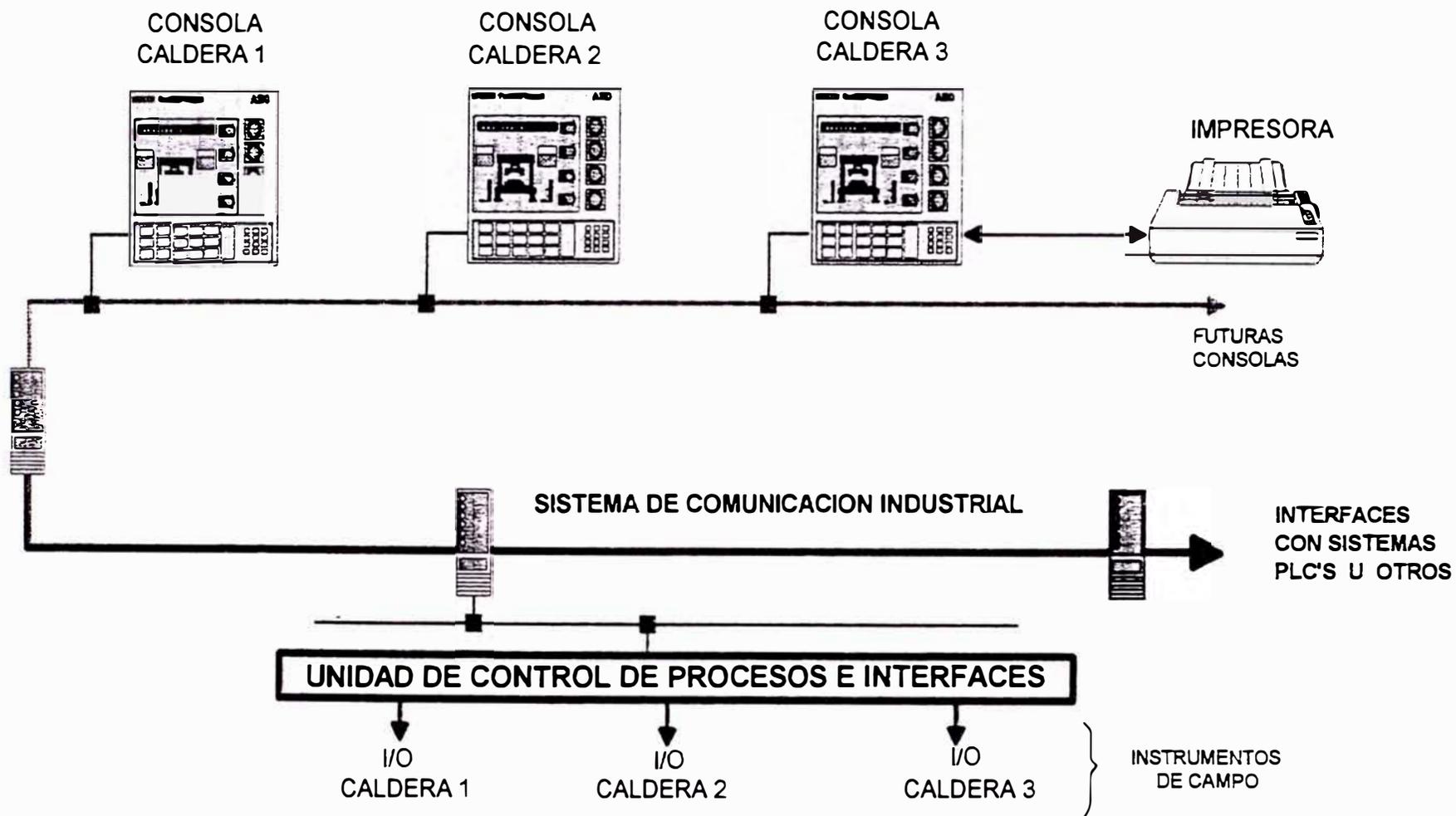


Figura 3.27 CONFIGURACION DEL SISTEMA DE CONTROL DE SALA DE CALDERAS.

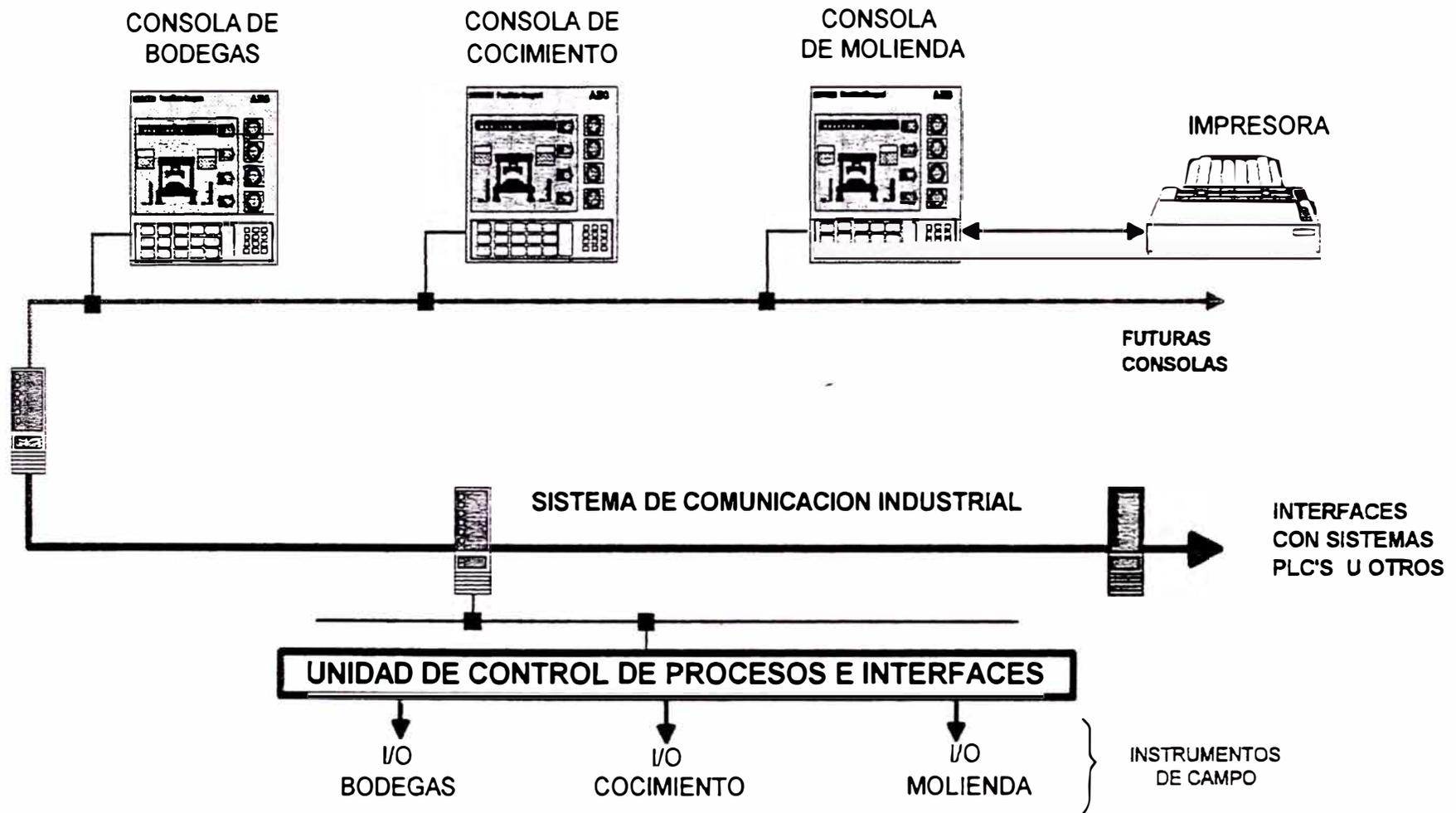


Figura 3.28 CONFIGURACION DEL SISTEMA DE CONTROL DEL PROCESO DE ELABORACION DE CERVEZA.

3.3.1 Software para el control de procesos

El software se encargará de coleccionar y procesar la información de las unidades de control de procesos, controlar la interfase hombre-máquina y todas aquellas funciones inherentes como son la generación de reportes, procesamiento de alarmas, recuperación de fallas, etc.

El diseño del software tendrá en consideración que:

La interfase hombre-máquina, será totalmente gráfica utilizando el FactoryMate plus, etc.

Las alarmas deberán presentarse al operador mediante mensajes descriptivos de los eventos, almacenarse en archivos históricos, impresión del mensaje, etc.

Debe ser capaz de implementar las funciones de mando desde las consolas de operador, así como de los pulsadores instalados en el panel de mando.

Los gráficos creados puedan modificarse por el usuario, tanto en la presentación, colores y símbolos gráficos.

3.4 Dimensionamiento del software y equipo de control

Para saber el número de módulos a emplear para la automatización de los procesos, se requiere previamente hacer el dimensionamiento del software de control, esta deberá estar preparada y dimensionada para las necesidades actuales, y futuras ampliaciones o unidades de control.

a. Referente al software

Como en este proyecto se emplean PLCs y CLCs para el sistema de las calderas, sus requerimientos se harán por separado. Pero, en el proceso de cocimiento como su control será efectuado solamente con PLCs, sus requerimientos serán únicos.

En ambos casos, el software deberá manejar el conjunto de datos que se detalla a continuación:

Sumario de la caldera APIN1

	<u>Total</u>	<u>+ 30% por seguridad</u>
Localización: Sala de control		
<u>Para PLCs:</u>		
Entradas Análogas	03	5
Salidas Análogas	02	5
Entradas Discretas	32	42
Salidas Discretas	21	28
<u>Para CLCs:</u>		
Entradas Análogas	10	15
Salidas Análogas	07	10
Entradas Discretas	02	05
Salidas Discretas	05	08
Número de lazos de control	06	10

Sumario de la paila de cereales

Localización: sala de control		
Entradas Análogas	01	03
Salidas Análogas	01	03
Entradas Discretas	22	30
Salidas Discretas	24	32

Sumario de la paila de maceración

Localización: sala de control		
Entradas Análogas	01	03
Salidas Análogas	01	03
Entradas Discretas	19	25
Salidas Discretas	21	27

OBS: No se hace mención del número de lazos (PID) de control en los PLCs, porque éstos están incluidos como bloque funcional, diferente a los CLCs que están determinados por el número de lazos que van a controlar.

b. Referente al equipo de control

Como complemento al punto (a), es necesario saber cuales son las características de los niveles de corrientes y voltajes que tendrán las señales analógicas y discretas, para poder seleccionar el módulo a emplear. Estas son:

Sumario de la caldera APIN1

Localización: sala de control

Para PLCs:

Entradas análogas : 03 señales de 4-20 mA.
Salidas análogas : 02 señales de 4-20 mA.
Entradas discretas : 32 señales de 120 VAC.
Salidas discretas : 21 señales de 120 VAC.

Para CLCs:

Entradas análogas : 10 señales de 4-20 mA.
Salidas análogas : 07 señales de 4-20 mA.
Entradas discretas : 02 señales de 24 VDC.
Salidas discretas : 05 señales de 24 VDC.
N° de lazos PID : 06

Sumario de la paila de cereales

Localización: sala de control

Entradas análogas : 01 señal de 4-20 mA.
Salidas análogas : 01 señal de 4-20 mA.
Entradas discretas : 22 señales de 24 VDC.
Salidas discretas : 24 señales de 24 VDC.

Sumario de la paila de maceración

Localización: sala de control

Entradas análogas	01 señal de 4-20 mA.
Salidas análogas	01 señal de 4-20 mA.
Entradas discretas	19 señales de 24 VDC.
Salidas discretas	21 señales de 24 VDC.

Con esta información podemos determinar el equipo necesario para la implementación del proyecto, considerando para ello a los PLCs de MODICON (serie 984-A120) y a los CLCs de Bailey (serie CLC03/CLC04). Sus características principales son:

PLC - serie 984-A120:

La CPU de esta serie puede soportar: (Ver apéndice 4).

Puntos de E/S discretas: 256 máximo (cualquier combinación).

Registros de E/S: 64 palabras (32 entradas/32 salidas).

Módulos de E/S: 18 máximo.

Los módulos a utilizar serían: (Ver apéndice 5).

P120; Fuente de poder.

ADU 205; Módulo de 4 entradas analógicas.

DAU 202; Módulo de 2 salidas analógicas.

DEP 209; Módulo de 8 entradas discretas (120 VAC).

DEP 216; Módulo de 16 entradas discretas (24 VDC).

DAP 208; Módulo de 8 salidas a relé (24-110 VDC o 24-250 VAC)

CLC - serie 03: (Ver apéndice 6).

Pueden controlar dos lazos PID.

Tienen 4 entradas análogas y 3 digitales, 2 salidas análogas y 4 digitales.

b.1 Caldera APIN1

De acuerdo a los controles propuestos se necesitaría:

(1) PLC 984-A120; CPU

(1) P120; fuente de poder para alimentar a los módulos.

(1) ADU 205; para 3 entradas analógicas (4-20 mA).

(1) DAU 202; para 2 salidas analógicas (4-20 mA).

(4) DEP 209; para 32 entradas discretas (120 VAC).

(3) DAP 208; para 21 salidas discretas (24 a 250 VAC).

Como existen 6 lazos de control se usarán 3 CLC03, cubriéndose además con estos todas las entradas y salidas.

b.2 Pailas de cereales y maceración

Para controlar estas pailas se empleará un PLC con sus módulos respectivos.

(1) PLC 984-A120; CPU.

(1) P120; fuente de poder.

(1) ADU 205; para 2 entradas analógicas (4-20 mA).

(1) DAU 202; para 2 salidas analógicas (4-20 mA).

(4) DEP 216; para 41 entradas discretas (24 VDC).

(6) DAP 208; para 45 salidas discretas (24 - 110 VDC).

OBS: Para esta implementación, sólo se consideran los requerimientos actuales. Pero, en lo que respecta al software en los programas propuestos ya está considerado las posibles ampliaciones, dejando para ello un determinado número de variables libres. Por ejemplo, las entradas discretas empleadas en la paila de cereales están entre X1 ... X22, y en la paila de maceración están comprendidas entre el rango de X31 ... X49, quedando como libres para futuras ampliaciones desde X23 ... X30.

El costo total de los equipos a utilizar, para llevar a cabo este proyecto son calculados en el apéndice 7.

OBSERVACIONES

1. No se ha considerado dentro del proyecto, el control de nivel de agua en la caldera, puesto que existe un controlador continuo marca Taylor. Cuando el nivel desciende y llega al mínimo, éste activa al relé WLS que está en el plano de encendido (apéndice 1) y apagará la caldera.
2. Se utiliza al Pt-100, para sensar la temperatura en todos los procesos considerados en este trabajo, porque su precisión es mejor con respecto a otros sensores y su comportamiento que puede considerarse lineal. Su rango de operación está entre 0 y 200 °C.
3. La paila de filtración, no se automatizó debido a que la mezcla obtenida de las pailas (cereales y maceración) no es constante, porque los controles de temperatura, presión y tiempos de reposo son manuales. Es decir, el supervisor realiza el rociado de agua (manual) previo análisis del grado de concentración.
4. Los datos señalados en los diagramas de tiempo vs. temperatura han sido tomados del proceso mismo. Es decir, por ejemplo el operario desea elevar la temperatura de 60 °C a 80 °C, para ello abre la válvula de vapor a una presión constante de 3 Kg/cm² y toma el tiempo que se demora en alcanzar los 80 °C. Este dato es el que figura en el diagrama.

CONCLUSIONES

1. Son dos los progresos en el campo de la electrónica que han producido una revolución en el campo industrial. Primero los circuitos integrados y microprocesadores, y segundo el diseño de los PLC, CLC, DCS, etc.
2. Otro factor que impulsa a las empresas industriales nacionales a modernizarse, es mantener o mejorar la calidad de sus productos al menor costo. Optando por ello, hacia la automatización de sus procesos.
3. Las pérdidas continuas de tiempo que se producen en la detección de fallas por la generación de las alarmas, durante el encendido de la caldera sería el mínimo, ya que con el sistema de control propuesto, se puede ubicar en forma inmediata el lugar de la misma, inclusive por software es posible bloquear la variable afectada, para que el sistema siga trabajando. Lo mencionado anteriormente, se efectuará sólo con el acuerdo del supervisor.
4. Con el trabajo desarrollado, de implementarse se espera reducir los costos de producción de cerveza, al aumentar la eficiencia de las calderas en un 6 a 7% aproximadamente, debido a que se tendría un mejor control en la relación aire/combustible.
5. Al reducirse el porcentaje de CO₂ en los gases de escape de la chimenea, a un valor aproximado de 13%, además de producir un ahorro en combustible, se contribuiría a disminuir el índice de contaminación ambiental por gases tóxicos.

6. Con la automatización de las pailas de cereales y maceración, se conseguirá que la concentración de la mezcla resultante (mosto), sea más estándar y permita posteriormente automatizar las pailas de filtración y mosto.
7. Los programas desarrollados para el PLC, son escritos en forma general, de tal manera que puedan implementarse en cualquier marca de PLC, haciendo ligeras modificaciones. En este caso, se ha utilizado a los PLC de MODICON, por disponer de ellos en el laboratorio de control de la Universidad Privada Antenor Orrego.
8. Con este proyecto se espera que sea la base para que en el futuro, se unan otros procesos, todos interconectados en una red industrial. Más aún, que actualmente los fabricantes de equipos de control, están tratando de diseñar sus interfaces para que se puedan interconectar con otros sistemas, lo que se conoce en la actualidad como sistemas abiertos.
9. Con todas las ventajas que traen consigo para las empresas, la automatización de sus procesos, como la reducción de los costos de producción y el mejoramiento de la calidad, se produce una desventaja que es el factor social. Es decir, la mayoría de las personas que eran necesarios antes del cambio, ya no lo serán y tendrán que ser reubicados, o en su defecto separados de la empresa.

BIBLIOGRAFIA

Libros:

1. "Autómatas programables industriales"; Ed. Marcombo.
GILLES MICHEL.
2. "Calderas, tipos, características y funciones"; Ed. Cesca.
KARL D. SHIELD
3. "Controladores lógicos y autómatas programables"; Ed. Marcombo.
ENRIQUE MANDADO, JORGE MARCOS ACEVEDO, SERAFIN PEREZ LOPEZ.
4. "Instrumentación industrial"; Ed. Marcombo.
ANTONIO CREUS SOLE.
5. "Programmable controllers"; Ed. Instrument Society of America.
THOMAS A. HUGHES.
6. "Transductores y medidores electrónicos"; Ed. Marcombo.
Serie: MUNDO ELECTRONICO.

Manuales y revistas:

1. "Manual de eficiencia energética de calderas industriales".
ITINTEC.
2. "Modicon 984 Programmable Controller Systems Manual".
MODICON.
3. "Modern Boiler Controls".
GERALD D. DEBBAN
Purdue Industrial Conference, October 1 - 3, 1991.
4. "Technology for low cost combustion control".
NORMAN BURK.
Industrial Combustion Technology Conference, April 1986.

APENDICE 1

PLANO DEL ENCENDIDO DE LA CALDERA APINI

APENDICE 2

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL ANALIZADOR DE GASES

Specifications

Selectable Ranges	Refer to Input/Output Selectability Chart.
Accuracy	Linearity: O ₂ ± 2.0% of span. CO _e ± 2.0% of span. Repeatability: O ₂ less than 0.5% of span. CO _e less than 2.0% of span.
Measurement Errors due to Flue Gas Variables	CO ₂ : none. Water Vapor: none. Particulates: none. Temperature: none.
Snsor Response Time — 63.0% of Span	O ₂ : Less than 3 seconds. CO _e : Less than 18 seconds.
Probe Temperature	Single point probe with floppy filter: 0° to +1200°F (−18° to +650°C). High Temperature probe available for +1200° to +3000°F (+650° to +1650°C).
Ambient Temperature Limits	Sensor housing: 0° to +160°F (−18° to +71°C). Electronics housing: +32° to +122°F (0° to +50°C).
Ambient Temperature Effect	O ₂ reading: ± 2.5% of span per +100°F (+38°C). CO _e reading: ± 2.5% of span per +100°F (+38°C).
Supply Pressure	Aspirator: 25 psig @ 0.55 scfm (173 kPa @ 15.6 l/min).
Supply Voltage and Power Requirements	120 ± 12 V ac; 50-60 Hz. 500 W startup, 225 W operating.
Input Signals	1 Analog: 1-5 V dc, 4-20 mA (250 ohm load) or thermocouple (user-selectable) (*1). 3 Digital: 24 V dc @ 10 mA nominal. Logic true input voltage: 10 V dc minimum. Current 10 mA. Logic false input voltage: 1.7 V dc maximum.
Output Signals	4 Analog: 1-5 V dc, 4-20 mA (user selectable) (*2). Maximum Loading: 600 ohms (current); > 250K ohms (voltage). 4 Digital: 24 V dc @ 150 mA (isolated, open-collector type).

Maximum Inductive Load for Analog Outputs	600 mH.
Control Variables	Internal resolution of 16 bit floating point numbers.
Resolution	Input: 13 bit for 100 mV input span. Output: 11 bit for 4 V output span.
Execution Rate	Four times a second.
Self-Monitoring and Alarming	Self-Checking. When a major electronics fault is detected, all outputs return to a known state. Digital outputs: DO #1-#4 default open. Analog outputs: AO #1, AO #2, AO #4 are user-selectable high or low. AO #3 defaults low. Low equals 0 mA or 0 V nominal. High equals 24.8 mA or 6.2 V nominal.
Environmental Enclosure Ratings	Sensor assembly: NEMA 4 (Indoor/Outdoor) pending. Electronics assembly: NEMA 12 (Indoor) pending.
Cable	Standard 15-ft. (4.57 m) flexible cable. Optional 50-ft. (15.2 m) flexible cable. Bend radius: 5 inches. Maximum cable diameter: 0.666 O.D.
Humidity	Sensor Assembly: 95% R.H. at +158°F (+70°C) (noncondensing). Electronics Assembly: 95% R.H. at +122°F (+50°C).
Weight	Sensor Assembly: Approx. 5 lbs. (2.3 kg.). Electronics Assembly: Approx. 20 lbs. (9.2 kg.).
Approvals/Certifications	Factory Mutual (FM) approval pending for Class I & II, Div. 2, Groups B, C, D, F & G hazardous locations, and against flashback into duct. Canadian Standards Association (CSA) certified for use in ordinary non-hazardous locations. Australia (SAA) certification for type n (non-incentive) protection, Group IIC (equal to group B), and dust-ignitionproof (dip) pending.

*1 An ungrounded thermocouple may be used. Connection for the thermocouple is in the sensor assembly. Cold junction compensation is provided. Thermocouple Types: E, J, K, T, S, and R.

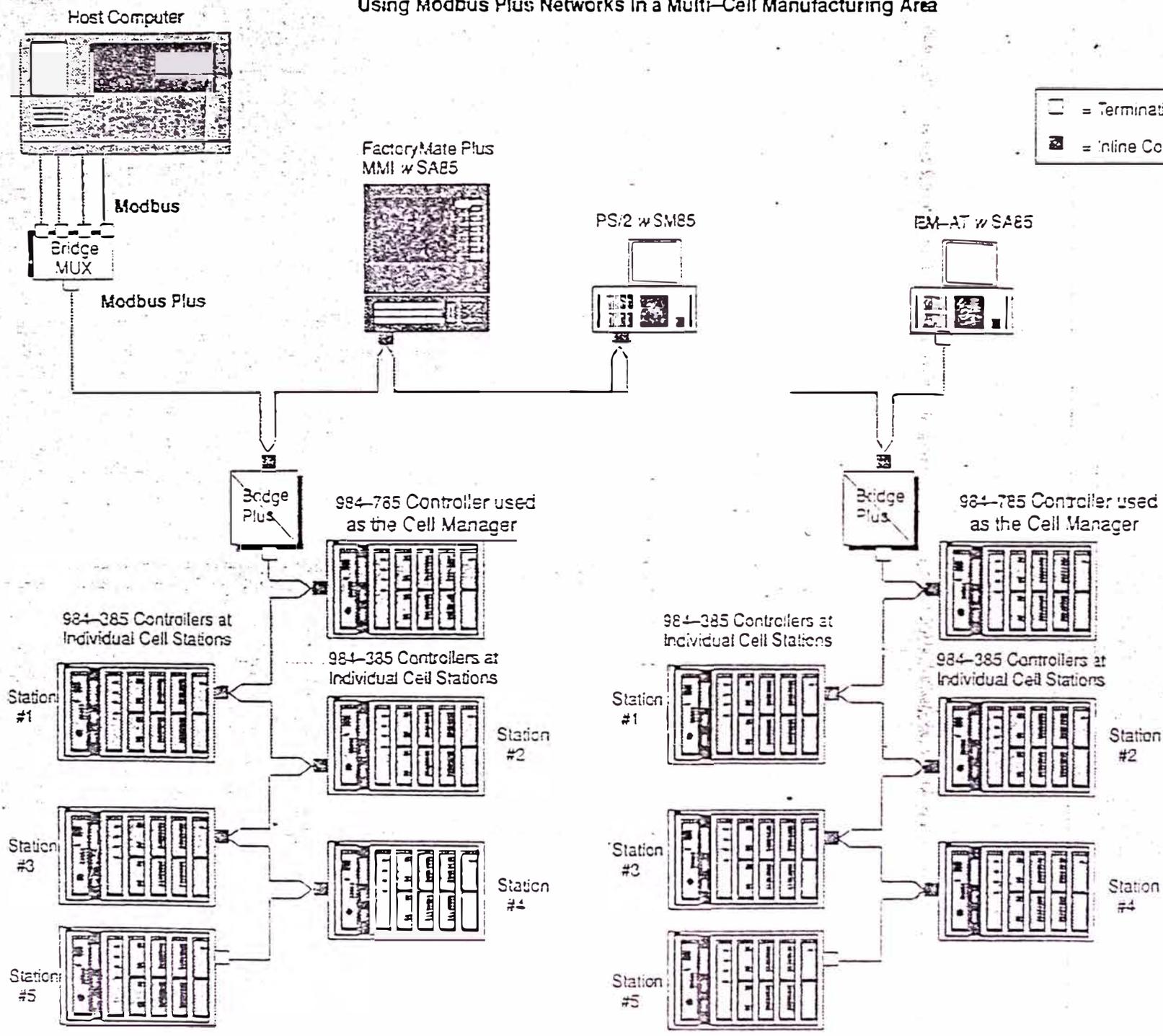
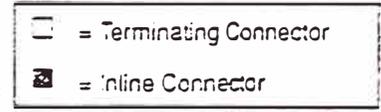
*2 Analog outputs can be selected for isolation in pairs. AO #1 and AO #2 define one pair. AO #3 and AO #4 define the other pair.

Floppy filter: U.S. Patent No. 4,286,472

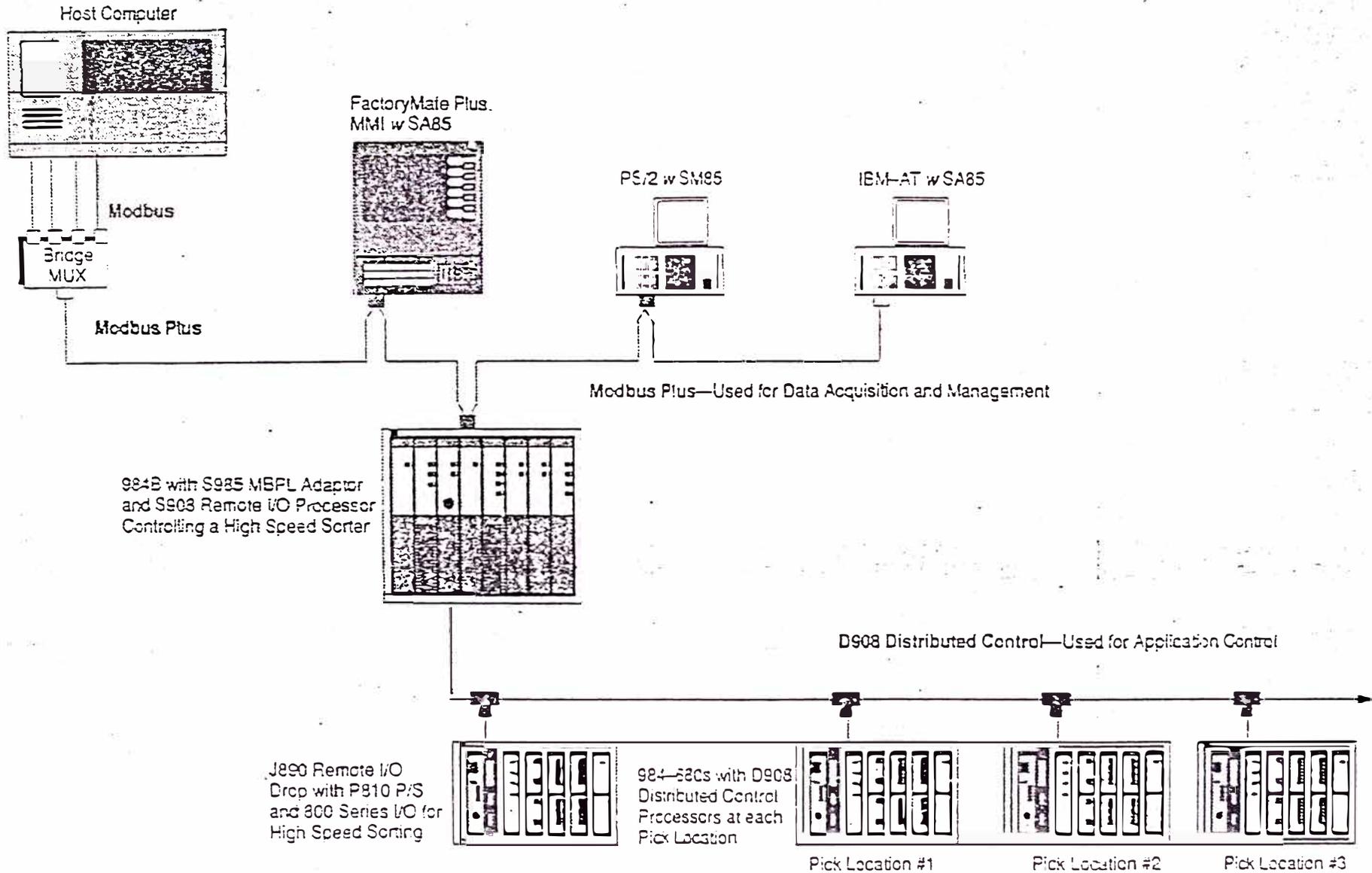
APENDICE 3

MODELO DE CONEXION DE UNA RED USANDO MODBUS PLUS

Using Modbus Plus Networks In a Multi-Cell Manufacturing Area



Using Multiple Networks In a Material Handling Environment



APENDICE 4

CARACTERISTICAS DEL PLC MODELO 984 - A120

Compact-984 Controller Specifications

Models

PC-0984-120	With one Modbus communication port standard; User logic size: 1.5K words
PC-0984-130	With one Modbus communication port standard; User logic size: 4.0K words
PC-0984-145	With one Modbus communication port and one Modbus Plus peer-to-peer network communi- cation port standard; User logic size: 8.0K words

System Memory

State RAM	2048 words: up to 2048 words of discrete I/O; up to 1920 words for register/analog I/O, the remainder dedicated to discrete I/O
Word size	16 bit width
Technology	CMOS with lithium battery backup
Battery	1 year retention period (maximum) 5 year service life (minimum)

I/O Capabilities

I/O type supported	A120 Series
Local I/O support	One, Traffic Copped as drop #1
Remote I/O support	None
Discrete I/O points	256 maximum (any mix)
Register I/O	64 words (32 in/32 out)

Local I/O Drop Configurations

I/O racks/drop	Four (maximum)—one primary housing and up to three secondary expansion housings
I/O modules/drop	18 (maximum)—three in the primary housing and five in each expansion housing
Power for I/O racks	From the Controller power supply

Programming

Language	Standard 984 ladder logic instruction set with optional loadables (Custom Loadables and Drum Sequencer)
Panel Software	SW-MSxD-9SA Full-feature MODSOFT
Loadable Support Software	SW-MSPB-DCA Compact-984 MODSOFT SW-AP98-GDA Custom Loadable Kit SW-AP98-SDA DRUM/ICMP Function Blocks SW-SASI-001 Drum Sequencer Interface

Logic Solve Time

4.25 ms ... 6 ms/K nodes standard ladder logic (not including end-of-scan
diagnostics, I/O processing, or Modbus command handling)

Throughput

8 ms ... 11 ms for 64 I/O points and 1K of logic

Timers

Watch Dog Timer	250 ms, with nominal $\pm 10\%$, selectable time-out
Real Time Clock	10 ms $\pm 0.1\%$ increments, used for internal maintenance and logic timer functions

CPU Diagnostic Procedures

Schedule	Continuous, commencing at power up
Tests	Available memory for both RAM and ROM. Internal processor resources; Communication with peripheral and/or networked devices; I/O bus during I/O activity
Normal CPU failure response	Orderly termination of the process and log- ging of the error condition
Error code accessibility	From programming panel or DAP, except for catastrophic CPU failure

Environmental System Specifications

All Compact 984 Controllers, all AC and DC I/O modules (> 50 V), and all power supplies are designed to the following environmental standards:

Operating Conditions

Temperature	0 ... 60 degrees C (32 ... 140 degrees F)
Relative Humidity	0 ... 93% noncondensing @ 60 degrees C
Altitude	15,000 ft (4500 m)
Vibration	10 ... 57 Hz, 0.075 mmDA
Free Fall	3 ft (1 m)

Storage Conditions

Temperature	-40 ... +85 degrees C (-40 ... +185 degrees F)
Relative Humidity	0 ... 93% noncondensing @ 60 degrees C
Shock	30 g for 11 ms, 3 shocks/axis and direction

Electromagnetic Susceptibility

Radiated	27 ... 500 MHz, 10 V/m
Surge Withstand	
Transients	2 kV on power supply and I/O
Ringwave	2.5 kV on power supply and I/O
Fast Transients	± 2 kV for power supply, ± 1 kV for I/O
Electrostatic Discharge	8 kV, ten discharges

Power Supply Requirements

for AC Devices	
Voltage	115/230 VAC ($\pm 15\%$)
Momentary Fluctuation	$\pm 30\%$ for 10 s
Transients	2.3% nominal for 1.3 ms
Frequency	47 ... 63 Hz
Supply Holdup	1 cycle at rated frequency
for DC Devices	
24 VDC	-15% ... +20%
Supply Holdup	1 ms

APENDICE 5

CARACTERISTICAS DE LOS MODULOS DEL PLC

P120	Fuente de poder
ADU 205	Módulo de 4 entradas analógicas
DAU 202	Módulo de 2 salidas analógicas
DEP 209	Módulo de 8 entradas discretas (120 VAC)
DEP 216	Módulo de 16 entradas discretas (24 VDC)
DAP 208	Módulo de 8 salidas a relé

P120 Power Supply

The P120 is an isolated power supply for a Compact-984 CPU installed in an all-AC environment. The unit accepts input voltages from a 115 V or 230 V ($\pm 15\%$) AC source and outputs a 24 VDC supply to the CPU at 1 A continuous current. The P120 module is designed to be inserted in any available I/O slot in the DTA 200 backplane just like a standard A120 I/O module, but it does not make any connections in the backplane. No jumper changes or switch setting changes are required when changing from 115 VAC to 230 VAC power input, or when changing from 230 VAC to 115 VAC input.

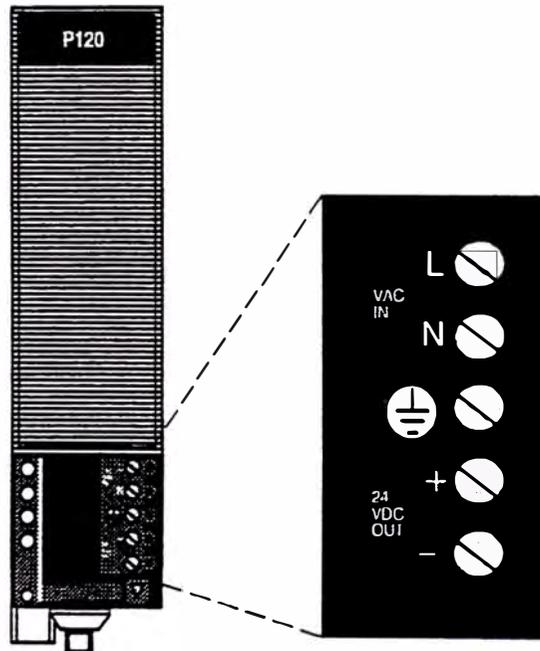


Figure 60 Front View of the P120 Power Supply



Caution Neat and proper workmanship methods by qualified personnel must be employed when making connections to this module. Take extra precautions if you are using stranded wire—insure that loose or projecting strands do not short circuit or ground the other terminals.

We recommend that you use solid wire.

P120 Characteristics

Input Ratings

Input Voltage Range	95 ... 253 VAC
Frequency Range	47Hz ... 63 Hz
Ground Leakage	< 1.5 mA @ 265 VAC
Input Current	0.5 A @ 115 VAC 0.25 A @ 220 VAC
Inrush current	6 A typical @ 115 VAC

Output Ratings

Output Voltage	24 VDC ($\pm 5\%$)
Current	0 ... 1 A continuous
Ripple/Noise	100 mV peak to peak
Holdup	Operates in regulation for periods > 12 ms with half-cycle dropout in nominal AC input voltage
Transient Load Performance	20% change in load, linear ramp over 200 μ s
Power-up Stability	From AC power application to regulation within 5 s; will not overshoot regulation tolerance during power-up

Reliability

Service Life	5 yr
MTBF	50,000 hr (minimum) at 30 degrees C, assuming fixed ground and component stress within maximum specifications

Dimensions

WxHxD	40.3 x 145 x 117.5 mm (1.6 x 5.6 x 4.5 in)
Weight	220 g (.5 lb)

Agency Approvals

Designed to meet VDE 0160 and UL 508 Standards

Distributing Field Power to A120 I/O

Below is an example of the recommended external 24 VDC power supply wiring and fusing scheme for discrete, relay, and analog input modules. The 24 VDC power supply ground is connected to the common functional ground (building ground). A separate circuit is recommended for external loads (outputs), and that circuit should have its ground connected to the common functional ground.

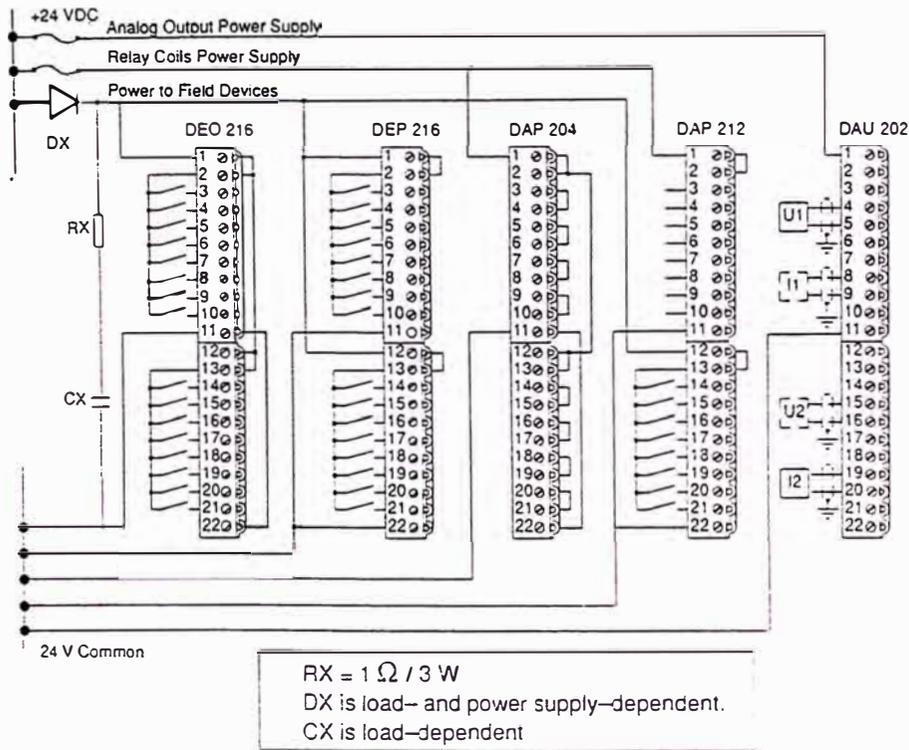


Figure 22 Distributing 24 VDC Source Power to A120 Modules

Fuse values are determined by the modules and field devices used. DX, RX, and CX are not required but are recommended in the event field devices are causing noise spikes on the power line which may affect operation. For a 24VDC supply, DX may be rated at 30V minimum. Power rating is load-dependent. CX may be a 0.1 microfarad disk but results should be verified with an oscilloscope and the value adjusted accordingly.

Below is an example of the recommended field wiring and fusing scheme for some AC output modules. Fuses and RC suppression component values must be selected according to load requirements. Loads are shown as boxes. Four of a possible eight loads are shown connected to the DAP 208 module, and all AC input power wiring is shown.

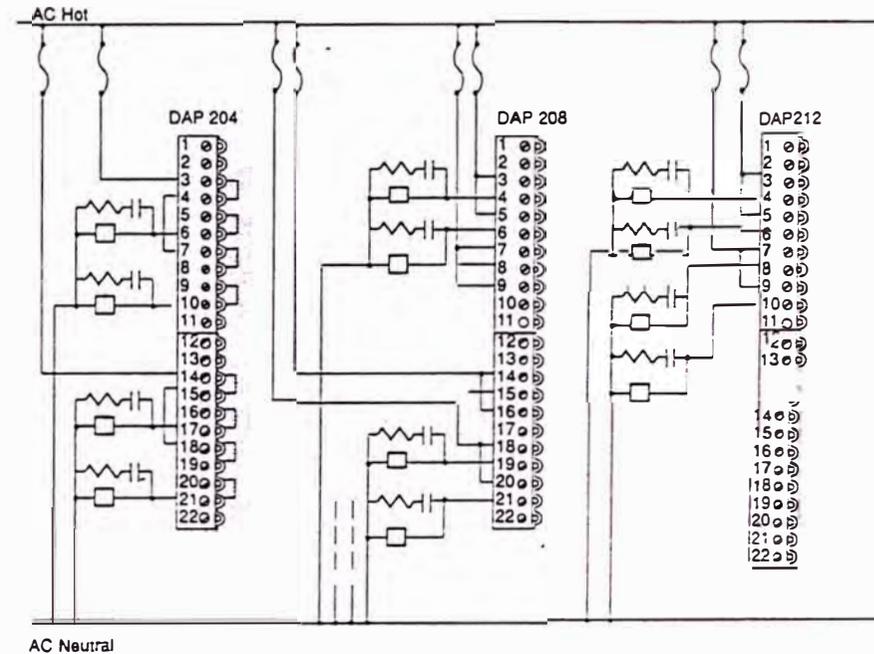


Figure 23 Distributing AC Source Power to A120 Modules



Note The shaded areas denote internal jumpers on the modules' printed circuit boards.

The ADU 205 Analog Input Module

The ADU 205 is a four channel analog input module without opto-isolation. It performs A/D conversions using a dual-slope integrating conversion method, converting analog input signals into 12-bit digital values plus sign. It can handle either voltage inputs in the range of ± 20 V or current inputs in the range of ± 40 mA. The linear input data range is from 2049 ... 6143:

Input Signals		Data Count (decimal)	Operating Results
Voltage	Current		
↑	↑	0	Under Range
-19.99 ... -10.001 V	-39.99 ... -20.1 mA	1 ... 2048	
-10 V ⋮ 0 V ⋮ +10 V	-20 mA ⋮ 0 mA ⋮ +20 mA	2049 4096 6143	↑ Recommended Operating Range ↓
+10.001 ... +19.99 V	+20.1 ... +39.99 mA	6144 ... 8191	
↓	↓	8192	Over Range

The ADU 205 operates off the 5 V supply voltage provided internally over the I/O bus.

When the module goes out of range—either over or under range—and then returns to a valid operating range, the module will resume proper operations unless your out-of-range condition reaches or exceeds the safety range of ± 30 VDC.



Warning Operation at an extreme out-of-range voltage—at or beyond ± 30 VDC—will cause permanent damage to the module.

LED

The ADU 205 has one green LED opposite terminal screw 1, used to indicate the presence of the 5 V power supply from the backplane.

ADU 205 Characteristics

Module Topology

Number of Channels	4, non-isolated, channel-to-bus, channel-to-channel
Data Format	Two-pole voltage inputs

Power Supply

Internally Provided Source	5 V, <30 mA from I/O bus
----------------------------	--------------------------

Voltage Input Capabilities

Linear Measuring Range	± 10 V nominal, ± 19.99 V maximum
Absolute Max. Input Voltage	± 30 V
Input Impedance	50 k Ω
Wire Size	One wire: 14 AWG Two wires: 20 AWG

Current Input Capabilities

Linear Measuring Range	± 20 mA nominal, ± 39.95 mA maximum
Absolute Max. Input Current	± 44 mA
Input Impedance	50 Ω
Wire Size	One wire: 14 AWG Two wires: 20 AWG

A/D Conversion

Conversion Time	
Each input @ 4096 in	80 ms (max) @ 50 Hz 66.6 ms (max) @ 60 Hz
Each input @ 2048 in	60 ms (max) @ 50 Hz 50 ms (max) @ 60 Hz
Resolution	12 bits recommended range (+ 1)
In-range Error Limit	0.5% of input value @ 0 ... 60° C
Non-Linearity	± 2 counts @ 0 ... 60° C

Noise Suppression

Normal Mode Rejection	40 dB minimum
Common Mode Rejection	86 dB minimum

Dimensions

WxHxD	40.3 x 145 x 117.5 mm (1.6 x 5.6 x 4.5 in)
Weight	220 g (.5 lb)

Agency Approvals

Designed to meet VDE 0160 and UL 508 Standards

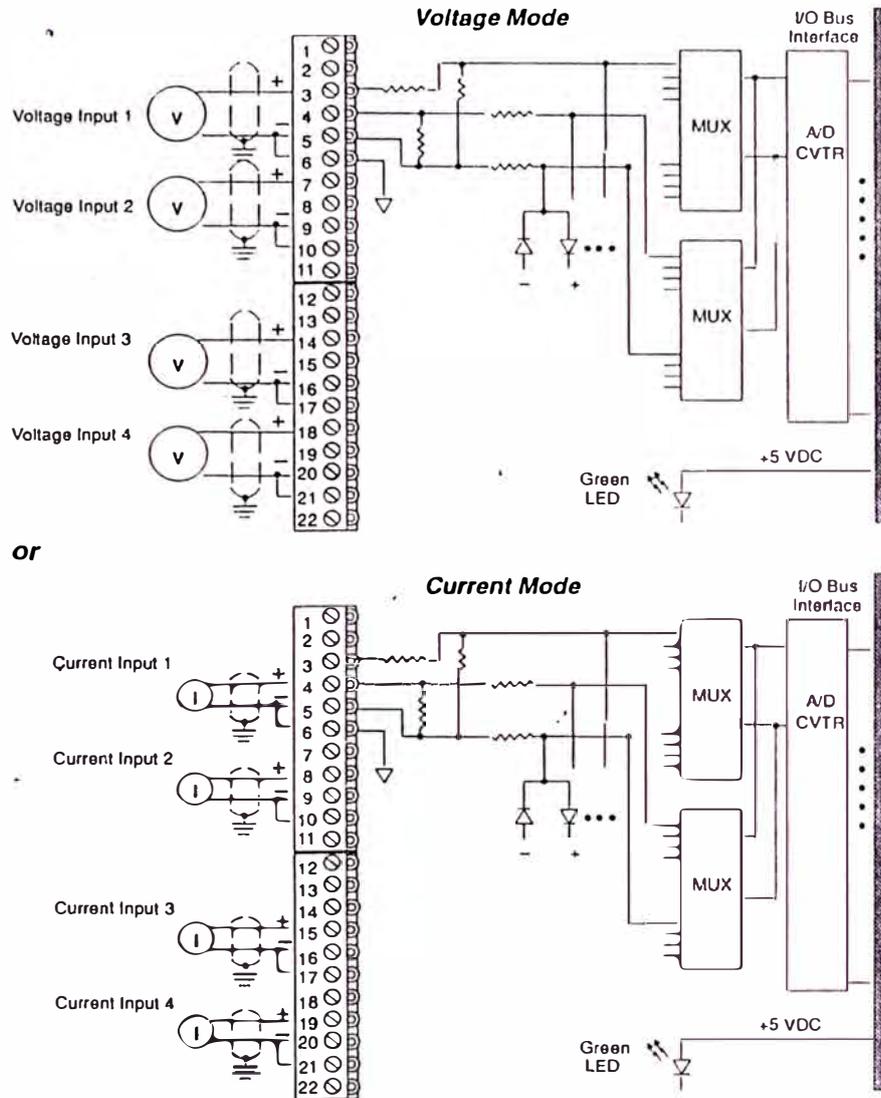


Figure 28 Wiring Diagrams and Simplified Schematic for the ADU 205



Note The jumpers at terminals 5–6, 9–10, 16–17, and 20–21 are factory set to reference the input source(s) to ground. If the source(s) that you use are already grounded, remove the associated jumper(s).

The DAU 202 Analog Output Module

The DAU 202 is a two-channel analog output module. Each channel supports voltages in the range +10 V ... -10 V and currents in the range +20 mA ... -20 mA. The output channels are individually isolated. The valid output data range is from 0 ... 4000:

Output Signals.		Data Count (decimal)	Operating Results
Voltage	Current		
-10 V	-20 mA	0	In Range
⋮	⋮		
0 V	0 mA	2000	
⋮	⋮		Over Range
+10 V	+20 mA	4000	
0 V	0 mA	4001	

LEDs

The DAU 202 has two green LED indicators on its front panel: one opposite terminal screw 1 that indicates when ON that the power supply from the backplane is available, and one opposite terminal screw 12 that indicates when ON that a D/A conversion has taken place.

Field Wiring

The DAU 202 can be field wired to two current output devices, to two voltage output devices, or to one current and one voltage device.

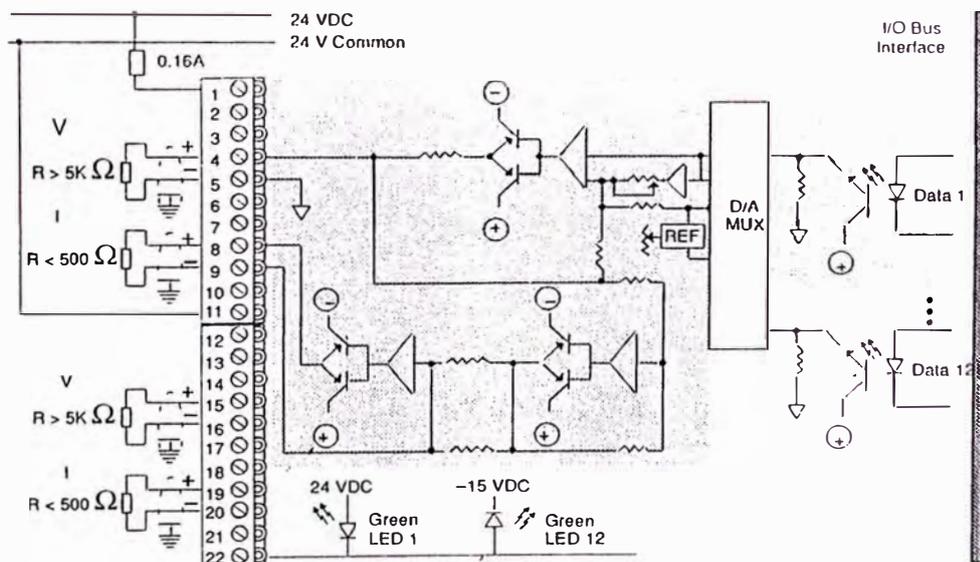


Figure 44 Wiring Diagram and Simplified Schematic for the DAU 202 Output Module

DAU 202 Characteristics

Module Topology

Number of Outputs	2 opto-isolated 700 V Channel-to-Channel 700 V Channel-to-Bus
Data Format	Two's complement, left justified

Power Supplies

External Voltage Source	24 VDC
Internal Voltage Source	5 V from I/O bus
External Current Source	150 mA
Internal Current Source	60 mA from I/O bus
Internal Power Dissipation	2 W (typical)

Electrical Characteristics

Voltage Output	$\pm 10 \text{ V} > 5 \text{ k}\Omega$
Current Output	$\pm 20 \text{ mA} < 500 \Omega$
Over Range	Approximately 2.4%
D/A Resolution	11 bits plus sign
Wire Size	One wire: 14 AWG Two wires: 20 AWG

Accuracy

Overall	$\pm .4\%$ of full scale
Output Error Range	$\pm .6\%$ @ 0 ... 60 degrees C
Update Interval	Approximately 1 ms/output

Dimensions

W x H x D	40.3 x 145 x 117.5 mm (1.6 x 5.6 x 4.5 in)
Weight	300 g (0.6 lb)

Agency Approvals

Designed to meet VDE 0160 and UL 508 Standards

The DEP 209 Discrete Input Module

The DEP 209 is a discrete input module with eight independent 120 VAC input circuits. It senses input signals from field sensing devices such as pushbuttons, limit or proximity switches, or other AC input sources and converts those signals into voltage signals that can be used by the controller in a logic scan. Signals are field-wired in one group of eight inputs. Each input is opto-isolated from the I/O bus.

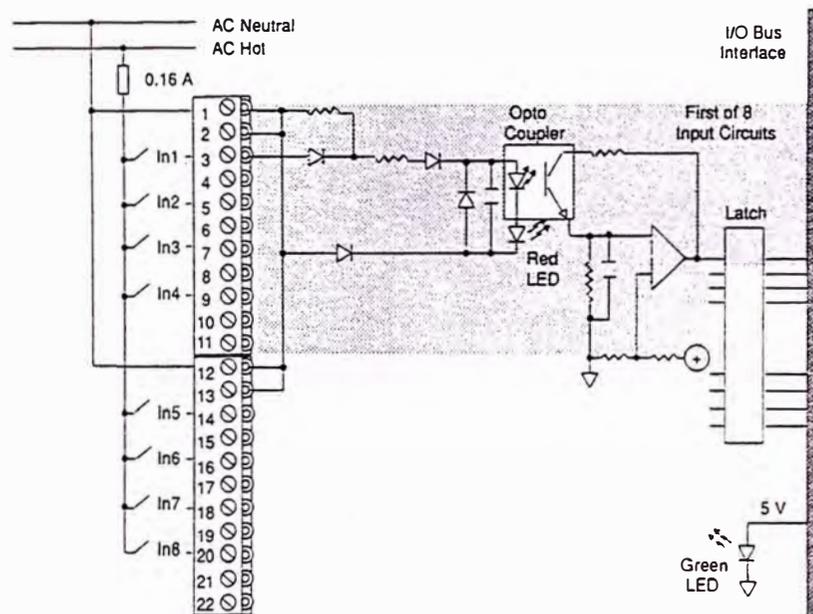


Figure 49 Wiring Diagram and Simplified Schematic for the DEP 209 Input Module

LEDs

The DEP 209 has nine LEDs. One green LED opposite terminal screw 1 indicates the presence of 5 V from the I/O bus. Eight red LEDs opposite terminal screws 3, 5, 7, 9, 14, 16, 18, and 20 indicate that voltage is present at inputs 1 ... 8, respectively.

DEP 209 Characteristics

Module Topology

Number of Inputs	8
Number of Groups	1
Points/Group	8
Isolation	Optocoupler on each input point

Power Supplies

External Source Requirement	120 VAC ($\pm 15\%$), 47 Hz ... 63 Hz
Internally Provided Source	5 V from I/O bus
Internal Power Dissipation	2 W (typical)

Electrical Characteristics

Working Voltage Range	85 VAC ... 138 VAC
ON Current Minimum	1 mA/input
OFF Current Maximum	0.5 mA/input
0 V \rightarrow 120 V Response Time	25 ms (typical)
120 V \rightarrow 0 V Response Time	50 ms (typical)
Operating Mode	True High
Wire Size/Terminal	One wire: 14 AWG; Two wires: 20 AWG

Addressing Characteristics

Discrete I/O points (bits)	8/0
Register I/O (registers)	1/0 (the eight least significant bits in a 3xxxx register)

Dimensions

WxHxD	40.3 x 145 x 117.5 mm (1.6 x 5.6 x 4.5 in)
Weight	220 g (.5 lb)

Agency Approvals

Designed to meet VDE 0160 and UL 508 Standards

The DEP 216 Discrete Input Module

The DEP 216 is a 24 VDC, 16 point discrete input module. It senses input signals received from field sensing devices such as pushbuttons, limit and proximity switches, or other 24 VDC input sources and converts those signals into logic voltage levels that can be used by the controller. Signals are field wired in two groups, eight signals per group. Inputs are opto-isolated from the system bus.

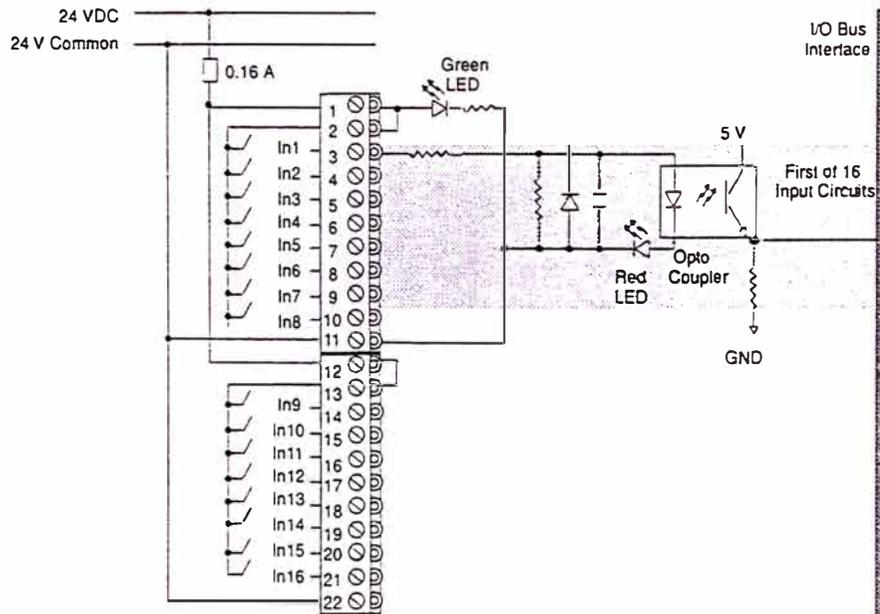


Figure 51 Wiring Diagram and Simplified Schematic for the DEP 216 Input Module

LEDs

The DEP 216 module has two green LEDs, opposite terminal screws 1 and 12. When one of these LEDs is ON, it indicates that power available to the eight inputs directly below it. The module also has 16 red LEDs, eight opposite terminal screws 3 ... 10 and eight opposite terminal screws 14 ... 21; when any one of these LEDs are ON, it indicates voltage present at the corresponding input.

DEP 216 Characteristics

Module Topology

Number of Inputs	16
Number of Groups	2
Points/Group	8
Isolation	Optocoupler on each input point

Power Supplies

External Source Requirement	24 VDC for eight inputs
Rated Signal Value	+24 VDC
Internally Provided Source	5 V from I/O bus
Internal Power Dissipation	2 W (typical)

Electrical Characteristics

ON State Signal Level	+12 VDC ... +30 VDC
OFF State Signal Level	-2 VDC ... +5 VDC
ON State Input Current	7 mA @ 24 VDC 8.5 mA @ 30 VDC
Response Time	4 ms (typical)
Operating Mode	True High
Wire Size/Terminal	One wire: 14 AWG; Two wires: 20 AWG

Addressing Characteristics

Discrete I/O points (bits)	16 in/0 out
Register I/O (registers)	1 in/0 out

Dimensions

WxHxD	40.3 x 145 x 117.5 mm (1.6 x 5.6 x 4.5 in)
Weight	220 g (.5 lb)

Agency Approvals

Designed to meet VDE 0160 and UL 508 Standards

The DAP 208 Relay Output Module

The DAP 208 is an eight point relay output module. It utilizes logic signals within the controller to activate four isolated groups of two normally open relay contacts. Source voltage for any output load may be 24 to 110 VDC or 24 to 250 VAC. Field wiring to each output connects to a double screw terminal. This module requires power from an external 24 VDC source to support the relay driver (even if all the outputs use AC power).

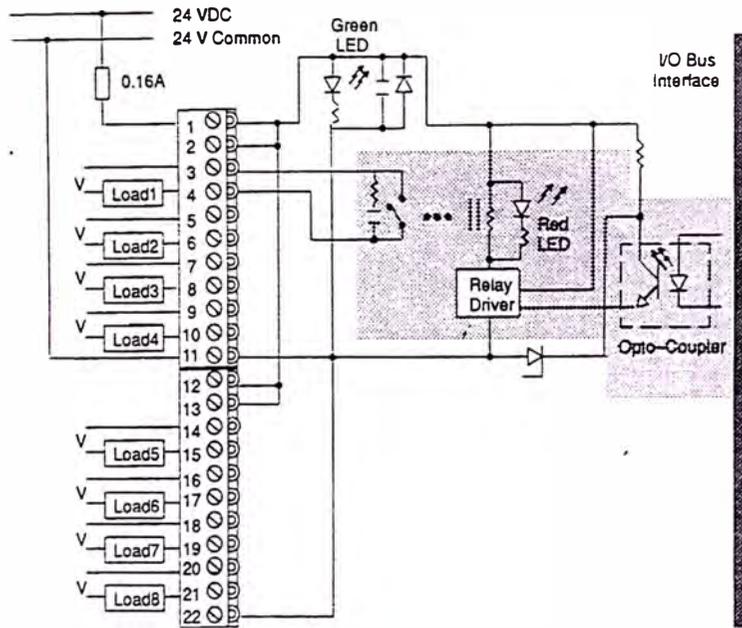


Figure 33 Wiring Diagram and Simplified Schematic for the DAP 208 Output Module

LEDs

The DAP 208 has nine LEDs. One *green* LED opposite terminal screw 1 indicates the presence of relay coil voltage when ON. Eight *red* LEDs opposite terminal screws 3, 5, 7, 9, 14, 16, 18, and 20 indicate when ON that the relay coils are energized at outputs 1 ... 8, respectively, and suggest that the contacts are closed and the loads energized.

DAP 208 Characteristics

Module Topology

Number of Relay Outputs	8
Number of Groups	1
Points/Group	8
Isolation	Eight individually isolated relay contacts

Power Supplies

External Source Requirement	24 VDC, 150 mA maximum
Internally Provided Source	5 V from I/O bus
Internal Power Dissipation	2 W (typical)

Electrical Characteristics

Output Voltage Ranges	24 VDC... 110 VDC; 24 VAC ... 250 VAC
Operating Mode	Normally Open
Response Time	10 ms (typical)
Wire Size/Terminal	One wire: 14 AWG; Two wires: 20 AWG

Output Characteristics

Load Currents at 230 VAC	2 A continuous (maximum, resistive load) 4 A instantaneous (maximum, resistive load) 1 A continuous (maximum, Cos Φ = 0.5)
--------------------------	---

Load Current at DC

Working Voltage 24 VDC

2 A continuous maximum (resistive load)
4 A instantaneous maximum (resistive load)
1 A continuous maximum ($L/R^* = 30$ ms)

Working Voltage at 60 VDC

1 A continuous maximum (resistive load)
0.6 A maximum ($L/R^* = 30$ ms)

Working Voltage at 110 VDC

0.45 A continuous (resistive load)
0.25 A ($L/R^* = 30$ ms)

Wetting Current	5 mA for closed contacts
Leakage	1 mA
Internal Protective Circuitry	68 Ω +15 nF in parallel with each contact
Overload Protection	Should be provided externally

* L = Load Inductance in Henries; R = Load Resistance in Ohms

Addressing Characteristics

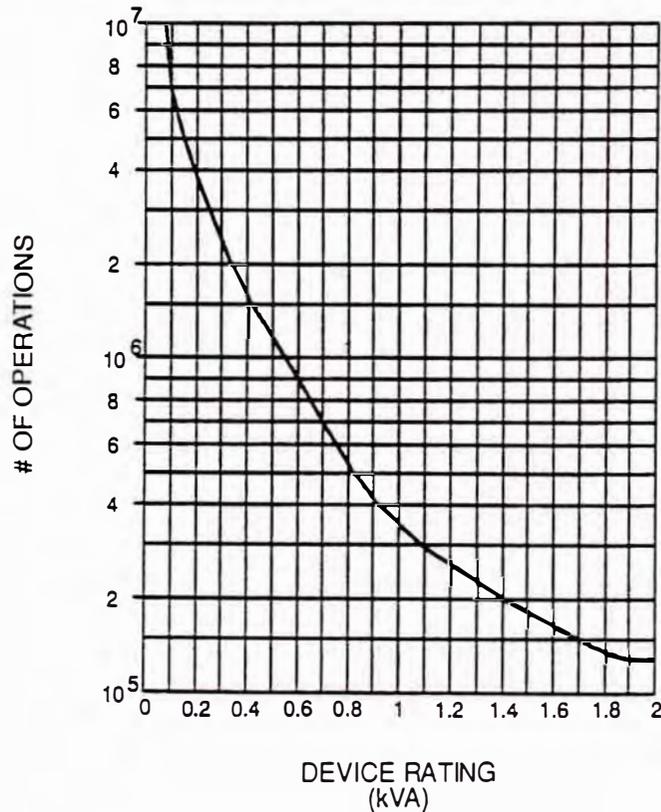
Discrete I/O points (bits) 0 in/8 out
 Register I/O (registers) 0 in/1 out

Service Life of Contacts

Mechanical switching cycles 20,000,000

Electric switching cycles 10,000,000 @ 230 VAC / 0.2 A
 (Resistive Loads) 7,000,000 @ 230 VAC / 0.5 A
 8,000,000 (typical) @ 30 VDC / 2 A, with
 clamping diode
 1,000,000 (typical) @ 60 VDC / 1 A, with
 clamping diode, 3000 cycles/hr max

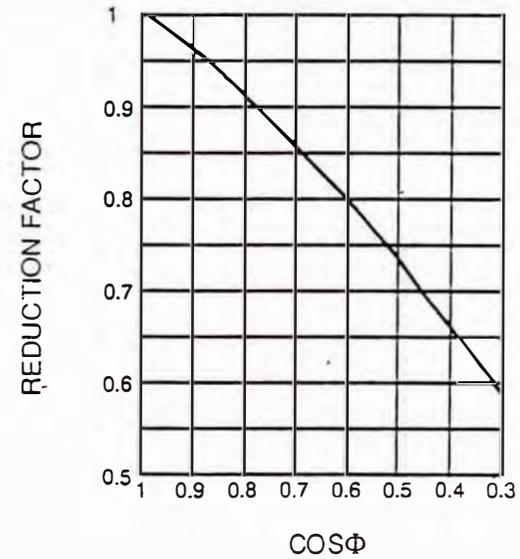
Electric switching cycles 5,000,000 @ 230 VAC / 0.5 A
 (Inductive Loads, Cos Φ = 0.5)



SERVICE LIFE FOR RESISTIVE LOADS

The maximum number of switching cycles is reduced when inductive loads are encountered. Reference the load device manufacturer's catalog for steady state and inrush VA ratings to determine the number of operations derating factor. If the frequency of operations is relatively high, use the inrush VA to calculate Cos Φ:

Effective number of operations =
of operations (resistive load) x reduction factor:



REDUCTION FACTOR FOR INDUCTIVE LOADS

$$[\text{Cos}\phi = \frac{\text{Watts}}{\text{VA}}]$$

Dimensions

WxHxD 40.3 x 145 x 117.5 mm (1.6 x 5.6 x 4.5 in)
 Weight 240 g (0.5 lb)

Agency Approvals

Designed to meet VDE 0160 and UL 508 Standards

APENDICE 6

CONTROLADOR CONTINUO CLC 03

TABLE 1 - Control Functions

Basic Functions*	
Station	Miscellaneous
Indicator Station	Manual Set Constant
M/A Station (Basic)	Manual Set Switch
M/A Station (Cascade)	Manual Set Integer
M/A Station (Ratio)	Remote Manual Constant
	Trip
Control	Executive Block (COM)
PID (PV and SP)	Analog Trend
PID Error Input	
Pulse Positioner	Logic
Adapt	AND - 2 Inputs
	AND - 4 Inputs
Compute	OR - 2 Inputs
Square Root	OR - 4 Inputs
2-Input Summer	NOT
4-Input Summer	Memory
4-Input Digital Sum with Gain	Timer
Multiply	Up/Down Counter
Divide	Qualified OR
Function Generator	Exclusive OR
Lead/Lag	Remote Control Memory
Pulse Rate	Elapsed Timer
High/Low Limiter	I/O - Field
Rate Limiter	Analog Input
Time Delay (Analog)	Analog Output
	TCS Digital Input
	TCS Digital Output
Signal Select	I/O - Module Bus
High Select	Analog Input/Bus
Low Select	Analog Output/Bus
Transfer, Analog	Analog Input List/Bus
Transfer, Integer	Digital Input/Bus
Transfer, Digital	Digital Input List/Bus
Signal Status	Analog Input/Loop
High Alarm	Analog Exception Report
Low Alarm	Digital Input/Loop
Test Alarm	Digital Exception Report
Test Quality	
Advanced Functions**	
Power (Y^x, e^x)	Digital Segment Buffer
Logarithm ($\ln x, \log x$)	Analog Segment Buffer
Trigonometric	Smith Predictor
Moving Average	Segment Control Block
Polynomial	Integrator
Interpolator	Sequence Generator
3x3 Matrix Add/Multiply	Model Parameter Estimator
Adaptive Parameter Scheduler	ICS Parameter Converter
	Advanced PID Controller

General functions of the CLC03 and CLC04
 *Advanced functions of the CLC04

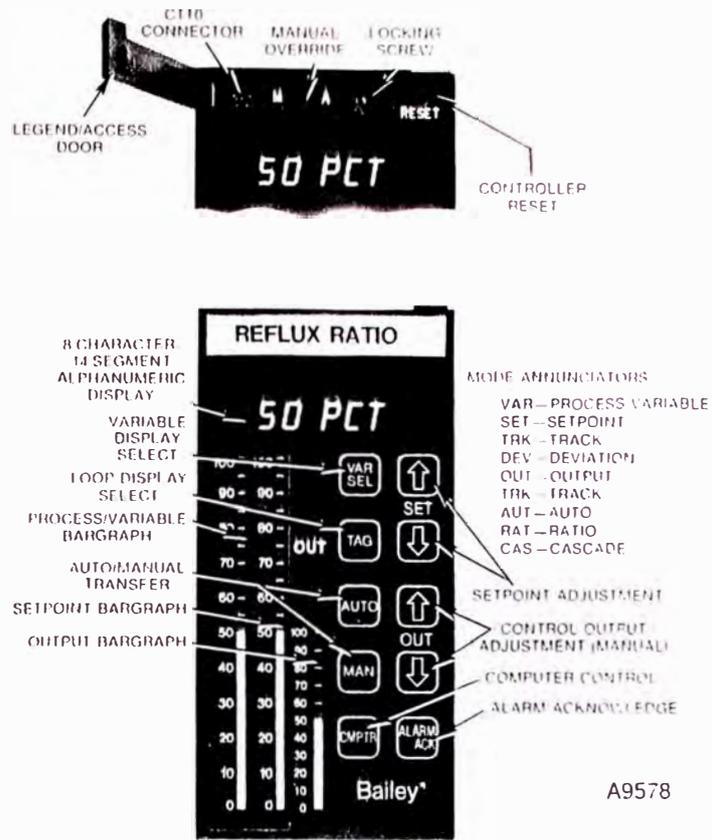


FIGURE 2 - Loop Command Controller Facceplate

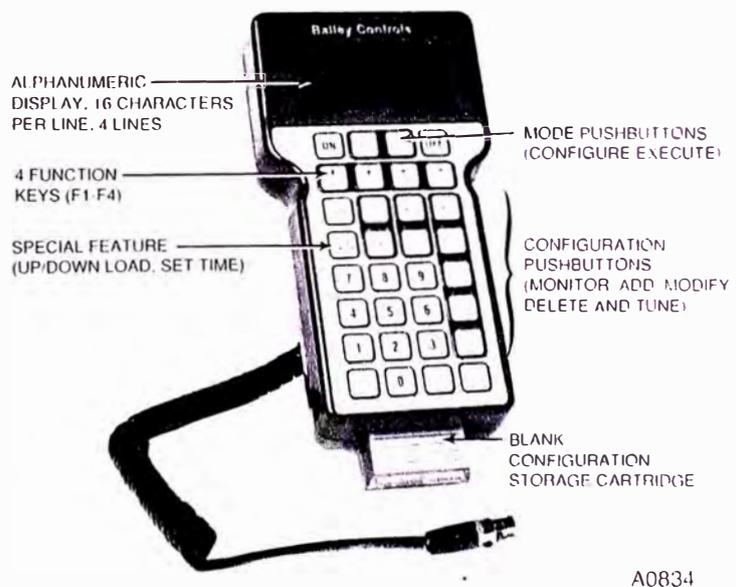


FIGURE 3 - Type CTT02 Configuration and Tuning Terminal Keyboard

A0834

TABLE 2 Specifications

Inputs	4 Analog: 1–5 V dc, 4–20 mA (non-isolated). 3 Digital: 24 V dc (opto-isolated) 4.7 mA maximum. 24 V dc Logic True Input Voltage: 10 V dc minimum, 2 mA. 24 V dc Logic False Input Voltage: 1.7 V dc maximum, 200 μ A.
Analog Input Accuracy	+0.2% of span
Analog Input Impedance	>1M ohm
Input Normal Mode Noise Rejection	–65 dB @ 60 Hz
Input Common Mode Noise Rejection	–60 dB @ 60 Hz
Input Common Mode Voltage	\pm 5 V dc maximum
Outputs	2 Analog: 1–5 V dc, 4–20 mA (non-isolated) 4 Digital: 24 V dc @ 80 mA (opto-isolated, open-collector) Off state leakage current: 10 μ A Pulse output configurable.
Analog Output Accuracy	+0.2% of span
Output Capability	700 ohms (current) >250k ohms (voltage)
Execution Rate	4 to 10 times per second
Manual Control	Bumpless transfer between manual and automatic control for Analog Output No. 1.
Power Supply Requirements	24 V dc \pm 10%, or 90 to 130 V ac, or 180 to 260 V ac, 50/60 Hz
Inrush Current	Less than 20 A @ 120 V ac, 12 A @ 240 V ac, one cycle @ 60 Hz, 10A @ 24 V dc.
Fusing	Power Supply Board: F101, 3 A 250 V. F102, 2 A slow blow, 250 V

NVRAM Memory	2k bytes non-volatile static RAM.	
Power Consumption (Controller)	Basic Unit*	0.6 A @ 24 V dc 0.16 A @ 120 V ac 0.08 A @ 240 V ac *Includes analog outputs and digital inputs
	Input Output:	0.32 A @ 24 V dc (4 digital outputs) 0.08 A @ 24 V dc (4 powered analog inputs)
	NOTE: 24 V dc output supply limited to 2.5 A	
Power Consumption (Accessories)	CLB01: 0.100 A @ 24 V dc CBE01: 0.112 A @ 24 V dc NDCS03: 0.460 A @ 24 V dc NDIS01: 0.387 A @ 24 V dc	
Electrical Connections	Rear of case. Compression type, lugless connections. 14–24 AWG.	
Front Panel	Bar Graphs: 3 (200 segments for process variable and setpoint at 0.5% resolution; 100 segments for output at 1.0% resolution). Mnemonics: 9 Pushbuttons: 10 Digital Display: 8 characters, 14 segments, alphanumeric	
RFI Effect	Controller operates within specifications for: 20–150 MHz @ 20 V m 150–500 MHz @ 10 V m	
Environmental Constraints	Temperature: 32° to 122°F (0° to 50°C). Relative Humidity: 0–95% non-condensing.	
Agency Approvals	Factory Mutual (FM) approval and Canadian Standards Association (CSA) certification for Class I, Division 2, Groups A–D pending.	
Enclosure Classification	NEMA 1.	
Mounting	Flush panel mounting.	
Weight	Approximately 9 lbs. (3.7 kg)	
Size	2.82 in. x 5.67 in. x 17.95 in. (72 mm x 144 mm x 456 mm) Conforms to DIN Standard 43700.	

APENDICE 7

COSTOS DEL PROYECTO REFERENTE A EQUIPOS EMPLEADOS

PROYECTO: Control y automatización de la caldera APIN1.

EMPRESA : Sociedad Cervecera de Trujillo S.A.

LUGAR : Trujillo.

FECHA : 24-08-95.

PARTE	DESCRIPCION	PREC. UNIT. (Dólares)	CANT.	IMPORTE (Dólares)
CPU	PLC modelo 984-A120.	520.00	1	520.00
P120	Fuente de poder.	260.00	1	260.00
ADU 205	Módulo de 4 entradas analógicas.	490.00	1	490.00
DAU 202	Módulo de 2 salidas analógicas.	570.00	1	570.00
DEP 209	Módulo de 8 entradas discretas.	170.00	4	680.00
DAP 208	Módulo de 8 salidas a relé.	235.00	3	705.00
RACK	Base para instalar los módulos.	215.00	3	645.00
	Software para el PLC (CMODSOFT).	650.00	1	650.00
	Panel de visualización.	2075.00	1	2075.00
ICCS	Sistema de control industrial (analizador de gases).	5000.00	1	5000.00
CLC03	Controlador continuo.	2350.00	3	7050.00
CTT02	Programador del controlador.	1040.00	1	1040.00
	Software de supervisión (INTOUCH).	3575.00	1	3575.00
TOTAL				\$ 23,260.00

OBS.: El costo total considerando a las calderas APIN2 y CLEAVER BROOKS, sería aproximadamente igual a:

$$\text{TOTAL} = \$ 23,260.00 \times 3 = \$ 69,780.00$$

PROYECTO: Control y automatización de las pailas de cereales y maceración (proceso de cocimiento).

EMPRESA : Sociedad Cervecera de Trujillo S.A.

LUGAR : Trujillo.

FECHA : 24-08-95.

PARTE	DESCRIPCION	PREC. UNIT. (Dólares)	CANT.	IMPORTE (Dólares)
CPU	PLC modelo 984-A120.	520.00	1	520.00
P120	Fuente de poder.	260.00	1	260.00
ADU 205	Módulo de 4 entradas analógicas.	490.00	1	490.00
DAU 202	Módulo de 2 salidas analógicas.	570.00	1	570.00
DEP 216	Módulo de 16 entradas discretas.	195.00	4	780.00
DAP 208	Módulo de 8 salidas a relé.	235.00	6	1410.00
RACK	Base para instalar los módulos.	215.00	3	645.00
	Software para el PLC (CMODSOFT).	650.00	1	650.00
	Panel de visualización.	2075.00	1	2075.00
	Software de supervisión (INTOUCH).	3575.00	1	3575.00
			TOTAL	\$ 10,975.00

OBS.: En ambos presupuestos no se ha considerado los costos por el estudio realizado ni por la implementación y capacitación del personal.