

UNIVERSIDAD PANAMERICANA

SEDE GUADALAJARA



JOSE MANUEL PADILLA MARTINEZ

**DESARROLLO DEL PROCESO DE AUTOMATIZACION
DE LOS HORNOS DE UNA EMPRESA
PROCESADORA DE CAL.**

Tesis presentada para optar por el título de Licenciado en
Ingeniería Electromecánica con Reconocimiento de Validez
Oficial de Estudios de la SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA,
según acuerdo número 00933087 con fecha 29-1-93.

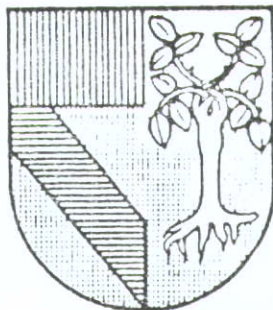
Zapopan, Jal., Noviembre de 1995.



54916

UNIVERSIDAD PANAMERICANA

SEDE GUADALAJARA



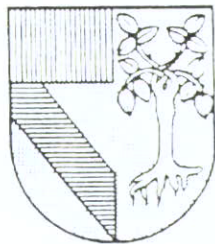
JOSE MANUEL PADILLA MARTINEZ

**DESARROLLO DEL PROCESO DE AUTOMATIZACION
DE LOS HORNOS DE UNA EMPRESA
PROCESADORA DE CAL.**

Tesis presentada para optar por el título de Licenciado en
Ingeniería Electromecánica con Reconocimiento de Validez
Oficial de Estudios de la SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA,
según acuerdo número 00933087 con fecha 29-1-93.

Zapopan, Jal., Noviembre de 1995.

CLASIF: _____
ADQUIS: 54916
FECHA: 21/10/04
DONATIVO DE _____
\$ _____



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

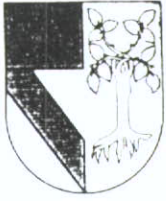
SEDE GUADALAJARA

JOSE MANUEL PADILLA MARTINEZ

**DESARROLLO DEL PROCESO DE
AUTOMATIZACION DE LOS HORNOS DE
UNA EMPRESA PROCESADORA DE CAL**

Tesis presentada para optar por el título de Licenciado en
Ingeniería Electromecánica con Reconocimiento de Validez
Oficial de Estudios de la SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,
según acuerdo número 00933087 con fecha 29-1-93.

Zapopan, Jal., Noviembre de 1995



UNIVERSIDAD PANAMERICANA
SEDE GUADALAJARA

DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

JOSÉ MANUEL PADILLA MARTINEZ

Presente

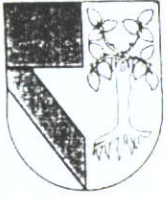
En mi calidad de Presidente de la Comisión de Exámenes Profesionales y después de haber analizado el trabajo de titulación en la alternativa tesis titulado " **DESARROLLO DEL PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN DE LOS HORNOS DE UNA EMPRESA PROCESADORA DE CAL** ", presentado por usted, le manifiesto que reúne los requisitos a que obligan los reglamentos en vigor para ser presentado ante el H. Jurado de Examen Profesional, por lo que deberá entregar ocho ejemplares como parte de su expediente al solicitar el examen.

Atentamente



EL PRESIDENTE DE LA COMISION

Zapopan, Jal diciembre 8 de 1995



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

SEDE GUADALAJARA

Junio 19 de 1995

COMITE DE EXAMENES PROFESIONALES
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECANICA
UNIVERSIDAD PANAMERICANA

Hago constar que el alumno: JOSE MANUEL PADILLA MARTINEZ, ha terminado satisfactoriamente el trabajo de tesis titulado:
" DESARROLLO DEL PROCESO DE AUTOMATIZACION DE LOS HORNOS DE UNA EMPRESA PROCESADORA DE CAL.", que presentó para optar por el título de la Licenciatura en Ingeniería Electromecánica.

Se extiende la presente para los fines que convengan al interesado.

A t e n t a m e n t e

ING. ANTONIO IBARRA RIVERA
Asesor de Tesis
Escuela de Ingeniería Electromecánica

CC. JOSE MANUEL PADILLA MARTINEZ

INDICE

	Página
INTRODUCCION	2
I. INTRODUCCION A LA AUTOMATIZACION Y ROBOTICA	4
1.1 Análisis económico en automatizaciones.	7
1.2 Montaje e inspección.	12
1.3 Revisión de la planta para identificar aplicaciones potenciales.	15
1.4 Planeación e ingeniería de la instalación.	19
II. DESCRIPCION Y FILOSOFIA DEL SISTEMA	23
2.1 Descripción del sistema actual.	24
2.2 Descripción del sistema propuesto.	26
2.3 Proceso de cocimiento y obtención de piedra caliza.	28
2.4 Selección del lugar.	29
2.5 Descripción del equipo.	30
2.6 Balances de masa: reprocesos y reciclados.	33
2.7 Combustible.	34
2.8 Capacidad del horno.	35
III. DESCRIPCION DE CADA UNA DE LAS SECCIONES DEL HORNO	37
3.1 Preparación y separación de la materia prima.	38
3.2 Suministro de la piedra caliza hacia la alimentación del horno.	38
3.3 Zona de precalentamiento.	41
3.4 Zona de calcinación.	43

3.5 Zona de preenfriamiento	44
IV. CONTROL DE LA PRODUCCION	47
4.1 Sistemas de control	48
4.2 Modos de control	51
4.3 Selección y ajuste de los sistemas de control.	53
4.4 Calibración de los modos de control.	60
4.5 Calibración de controladores.	63
4.6 Modos de control del proceso.	67
V. INSTRUMENTACION	69
5.1 Clases de instrumentos.	70
5.2 Sensores, transmisores y elementos finales de control.	71
5.3 Descripción y especificaciones de los instrumentos.	78
VI. ANALISIS FINANCIERO	93
6.1 Lista de materiales y equipo de sala de control.	94
6.2 Lista de materiales de campo para arrancar un horno.	95
6.3 Ingeniería de programación, instalación y puesta en marcha.	96
6.4 Sumario de precios.	96
6.5 Justificación económica.	97
CONCLUSIONES	100
BIBLIOGRAFIA	103
GLOSARIO	106

INTRODUCCION

INTRODUCCION

Los motivos de la realización de este proyecto son la baja productividad y calidad del producto de esta empresa ya que es necesario día con día estar mejor preparados con respecto a los otros competidores en el ramo. Por lo que se propone un sistema de automatización de un horno para cocimiento de piedra caliza por medio de sensores y controladores, con la finalidad de hacer más eficiente la producción y la calidad del producto terminado. Con esta automatización lo que se quiere es tener una mejor calidad en el producto y abaratar los costos de producción ya que se ahorraria tiempo, combustible y mano de obra.

Se describe un diseño de una posible solución para incrementar la calidad de la piedra por medio de una distribución uniforme de la temperatura en el horno, así como también la producción diaria por medio de la automatización de carga y descarga así como la rapidez de su traslado a los camiones transportadores, esto por medio de bandas transportadoras.

Se eligió este proyecto por que este tipo de industrias no han sufrido muchos cambios desde sus inicios por lo que con el paso de los años sus procesos y maquinarias se han vuelto ya obsoletos. Casi no hay industrias como esta con una buena instrumentación o con procesos modernizados que les ayuden en una mejor calidad y un ahorro de combustible. Por lo que este proyecto entra en un campo no muy aprovechado en México, y que podrá dar una idea de las ventajas que se tienen en la aplicación de un sistema automatizado. Se obtiene un gran beneficio, y como se verá: el costo del proyecto se amortizado en un periodo de tiempo relativamente corto, por lo que no es un proyecto excesivamente caro, y que cuenta con los mejores equipos existentes en el mercado.

Los pasos a seguir para la realización de este trabajo fueron los siguientes:

- 1.- Estudio del proceso y horno actual para ver si es apto todo para automatizar, que instrumentos o equipos pueden ser utilizados con la nueva propuesta, ya que podría darse el caso de tener que modificar o desechar algo o en su defecto, todo.
- 2.- Se realizaron varias visitas a la planta para ver las características reales del proceso, y poder visualizar mejor como funciona todo el equipo actual.
- 3.- Se consultó con distribuidores de aparatos de instrumentación y control sobre los mejores equipos de medición y automatización para estos casos.
- 4.- Se utilizaron planos, gráficas, y datos de la planta, producción y capacidades.
- 5.- Se consultó toda la posible bibliografía existente sobre plantas caleras, y sus principales aparatos de medición y sus variables de proceso; así como libros especializados en robótica, automatización y control de procesos.

CAPITULO I

INTRODUCCION A LA AUTOMATIZACION Y ROBOTICA

La automatización y la robótica son dos tecnologías estrechamente relacionadas. En un contexto industrial podemos definir la automatización como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos, electrónicos y basados en computadoras en la operación y control de la producción. Ejemplos de esta tecnología son líneas de transferencia, máquinas de montaje mecanizado, sistemas de control de retroalimentación (aplicados a los procesos industriales), máquinas-herramienta con control numérico y robots. En consecuencia, la robótica es una forma de automatización industrial.

Hay tres clases amplias de automatización industrial: automatización fija, automatización programable y automatización flexible. La automatización fija se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por tanto es adecuada para diseñar equipos especializados para procesar el producto (o un componente de un producto) con alto rendimiento y con elevadas tasas de producción. Un buen ejemplo de la automatización fija puede encontrarse en la industria del automóvil, en donde líneas de transferencia muy integradas constituidas por varias decenas de estaciones de trabajo se utilizan para operaciones de mecanizado en componentes de motores y transmisiones.

La economía de la automatización fija es tal que el costo de los equipos especiales puede dividirse entre un gran número de unidades y los costos unitarios resultantes son bajos en relación con los métodos de producción alternativos. El riesgo encontrado con la automatización fija es que al ser el costo de inversión inicial elevado, si el volumen de producción resulta ser más bajo que el previsto, los costos unitarios se harán también más grandes que los considerados en las previsiones. Otro problema es que el equipo está especialmente diseñado para obtener el producto, y una vez que se haya acabado el ciclo de vida del producto es probable que el equipo quede obsoleto. Para productos con cortos ciclos de vida el empleo de la automatización fija representa un gran riesgo.

La automatización programable se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción está diseñado para ser adaptable a variaciones en la configuración del producto. Esta característica de adaptabilidad se realiza haciendo funcionar el equipo bajo el control de un "programa" de instrucciones que se preparó especialmente para el producto dado. El programa se introduce por lectura en el equipo de producción y este último realiza la secuencia particular de operaciones de procesamiento o montaje para obtener el producto. En términos de economía, el costo del equipo programable puede repartirse entre un gran número de productos, aun cuando sean diferentes. Gracias a las características de programación y a la adaptabilidad resultante del equipo, muchos productos diferentes y únicos en su género pueden obtenerse económicamente en pequeños lotes.

Existe una tercera categoría entre automatización fija y automatización programable que se denomina "automatización flexible". Otros términos utilizados para la automatización flexible incluyen los "sistemas de fabricación flexibles" o FMS y los "sistemas de fabricación integrados por computadora". El concepto de automatización flexible sólo se desarrolló en la práctica en los últimos quince o veinte años. La experiencia adquirida hasta ahora con este tipo de automatización indica que es más adecuado para el rango de producción de volumen medio. Tal como se indica por su posición relativa con los otros dos tipos, los sistemas flexibles tienen algunas de las características de la automatización fija y de la automatización programable. Debe programarse para diferentes configuraciones de productos, pero la diversidad de las configuraciones suele estar más limitada que para la automatización programable, lo que permite que se produzca un cierto grado de integración en el sistema. Los sistemas automatizados flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo que están interconectadas por un sistema de almacenamiento y manipulación de materiales. Una computadora central se utiliza para controlar las diversas actividades que se

producen en el sistema, encaminando las diversas piezas a las estaciones adecuadas y controlando las operaciones programadas en las diferentes estaciones.

Una de las características que distingue a la automatización programable de la automatización flexible es que con la automatización programable los productos se obtienen en lotes. Cuando se completa un lote, el equipo se reprograma para procesar el siguiente lote.

Con la automatización flexible, diferentes productos pueden obtenerse al mismo tiempo en el mismo sistema de fabricación. Esta característica permite un nivel de versatilidad que no está disponible en la automatización programable pura, como se definió anteriormente. Esto significa que pueden obtenerse productos en un sistema flexible en lotes si ello fuera deseable, o varios estilos de productos diferentes pueden mezclarse en el sistema. La potencia de cálculo de la computadora de control es lo que posibilita esta versatilidad.

1.1. Análisis económico en automatizaciones.

Además de las consideraciones tecnológicas relacionadas con la ingeniería de aplicaciones en un proyecto de automatización, está también el tema económico. ¿Se justificará económicamente el robot? El análisis económico para cualquier proyecto de ingeniería propuesto es de considerable importancia en la mayoría de las compañías porque normalmente la dirección decide si instalar el proyecto sobre la base de este análisis. En las siguientes líneas, se considerará el análisis económico de un proyecto de automatización.

1.1.1. Datos Básicos Requeridos.

Para efectuar el análisis económico de un proyecto de automatización propuesto, se necesita cierta información básica respecto del proyecto. Esta información incluye el tipo de proyecto que se está considerando, el costo de la instalación de los equipos de la

automatización, el tiempo del ciclo de producción y los ahorros y beneficios resultantes del proyecto.

1.1.2 Tipo de instalación de la automatización.

Existen dos categorías básicas de instalaciones de automatizaciones que se encuentran comúnmente. La primera considera una nueva aplicación. Esto es donde no existe ningún procedimiento. En cuyo caso, hay la necesidad de introducir un nuevo sistema, y la instalación del equipo representa uno de los posibles enfoques que se podrían utilizar para satisfacer esa necesidad. En este caso, se comparan las diversas alternativas y se selecciona la mejor, suponiendo que cumplen los criterios de inversión de la compañía. La segunda situación es la instalación del equipo para sustituir un método actual de operación. El método presente típicamente consiste en una operación de producción que se realiza manualmente, y el nuevo equipo se tendría que utilizar de alguna forma para sustituir a la mano de obra humana. En esta situación la justificación económica de la instalación del equipo a menudo depende de lo costoso e ineficaz que el método manual es en lugar de los méritos absolutos del método del equipo nuevo.

1.1.5. Datos de costo necesarios para el análisis.

Los datos de costo necesarios para efectuar el análisis económico de un proyecto de automatización se dividen en dos tipos: costos de inversión y costos de explotación. Los costos de inversión incluyen el costo de compra del equipo y los costos de ingeniería asociados con su instalación en el área de trabajo. En muchos proyectos de aplicación de automatización, los costos de ingeniería pueden igualar o exceder a los costos de compra del equipo. La Tabla 1 presenta una lista de los costos de inversión encontrados típicamente en proyectos de automatizaciones.

Tabla 1. Costos directos asociados con el proyecto de automatización*

A. Costos de inversión.

1. *Costo de compra del equipo*. El precio básico del equipo por el fabricante con las opciones adecuadas para realizar la aplicación.
2. *Costos de ingeniería*. Los costos de planificación y diseño por el equipo de ingenieros de la compañía usuario para instalar el equipo.
3. *Costos de instalación*. Esto incluye la mano de obra y los materiales necesitados para preparar el lugar de la instalación (provisión de utilidades, preparación del suelo, etc.).
4. *Herramientas especiales*. Esto incluye posicionadores de las piezas y otros accesorios y herramientas necesitados para operar el área de trabajo.
5. *Costos misceláneos*. Esto cubre los costos de inversión adicionales no incluido en ninguna de las categorías anteriores (por ejemplo otros equipos necesitados para el área).

B. Costos de explotación y ahorros.

6. *Costo de mano de obra directa*. El costo de mano de obra directa asociado con la explotación de el área del equipo. Las cargas sociales se suelen incluir en el cálculo de los salarios de la mano de obra, aunque se excluyen otros costos extras.
7. *Costo de mano de obra indirecta*. Los costos de mano de obra indirecta que pueden ser gestionados directamente a la explotación de el área del equipo. Estos costos incluyen supervisión, preparación, programación y otros costos de personal no incluidos en la categoría 6.
8. *Mantenimiento*. Esto cubre los costos anticipados de mantenimiento y reparación para el área del equipo. Estos costos se incluyen bajo este encabezamiento separado en lugar de la categoría 7 porque los costos de mantenimiento consisten no solamente en la mano de obra directa (personal de mantenimiento), sino también en materiales (piezas de repuesto) y llamadas de servicio al fabricante del equipo. Un costo aproximado razonable en ausencia de mejores datos es que el costo de mantenimiento anual para el robot será aproximadamente el 10% del precio de compra (categoría 1).
9. *Utilidades*. Esto incluye el costo de las utilidades para operar el área del equipo (por ejemplo, electricidad, presión de aire, gas). Estos son normalmente costos menores comparado con los elementos anteriores.
10. *Entrenamiento*. El entrenamiento se puede considerar como un costo de inversión debido a que gran parte del entrenamiento necesitado para la instalación ocurrirá como un costo de primera instalación. Sin embargo, el entrenamiento debería ser una actividad continuada, por lo que se incluye como un costo de explotación.

* Fuente: Robótica Industrial, Mc. Graw Hill, Ed. 1993, Pág. 388

Los costos de explotación incluyen el costo de cualquier trabajo necesitado para operar el área, los costos de mantenimiento y otros gastos asociados con la operación de el área del equipo. La Tabla 1 relaciona la mayoría de los grandes costos de explotación para un proyecto de aplicación de robots. En el caso de los costos de explotación, es a menudo conveniente identificar los ahorros de costo que resultarán del uso de un equipo cuando se compara con el método existente, mejor que identificar separadamente los costos de explotación de los métodos alternativos.

La manera en que estos costos de inversión y de explotación operan sobre la vida de la instalación del equipo se pueden conceptualizar en la Tabla 1. Al comienzo del proyecto, los costos de inversión están siendo pagados en el proyecto con ningún rendimiento inmediato. Cuando la instalación se completa y el proyecto comienza a entrar en operación, comienzan los costos de operación. Sin embargo existe también un flujo de carga (cash flow) de compensación que representa los ingresos a la compañía que deberían exceder a la cantidad de los costos de explotación.

Al comienzo de las operaciones, normalmente existen problemas de arranque que hay que resolver, así como errores en el sistema. Estas dificultades a menudo evitan que el flujo de carga neto alcance inmediatamente el valor en estado estacionario anticipado por el proyecto. Si el proyecto de la automatización es una buena inversión, el flujo de carga neto permitirá a la compañía recuperar sus costos de inversión en el proyecto en un periodo de tiempo relativamente corto.

1.1.4. Uso subsiguiente del equipo.

Muchos proyectos de automatización utilizan equipos que tienen una vida de servicio que se corresponde con el ciclo de vida del producto que se realizará sobre el propio equipo. El

equipo automatizado es muy especializado para fabricar el producto particular tan eficientemente como sea posible. Sin embargo, después de que el producto no se produzca ya más, el equipo a menudo se queda obsoleto y no hay un uso posterior del mismo o un rendimiento para la compañía. La pregunta que surge es esta: ¿Cuál es el valor de rescate al final del proyecto actual? Un procedimiento razonable para asignar el valor de rescate al final del proyecto de aplicación actual es utilizar el método de depreciación de la línea recta para el equipo. Utilizando este método debemos estimar el número real de años que el equipo puede ser utilizado y reutilizado. En otras palabras debemos determinar la vida de servicio del equipo. Esto es diferente de la vida de servicio del proyecto actual sobre el cual el nuevo equipo se utilizará.

1.1.5. Otros factores más difíciles de cuantificar.

Además de la mano de obra, equipos y otras fuentes de costos que son rápidamente cuantificables en proyectos de aplicación en automatización, existen otras posibles fuentes de costos y ahorro que son más difíciles de evaluar. Estos factores se conocen algunas veces como costos y ahorros indirectos, e incluyen factores tales como ahorros de inventario, ahorros de desechos y menores tiempos fuera de servicio.

Un listado completo de estos factores potenciales se presenta en la Tabla 2. Estos factores no se deberían ignorar simplemente porque su cuantificación es más difícil y menos exacta que los factores de costo dados en la Tabla 1. Su valor podría ser suficientemente significativo para convertir un proyecto marginal en uno cuyo rendimiento sobre la inversión es mucho mayor que el criterio de la tasa de rendimiento utilizado por la compañía.

Finalmente, hay consideraciones para decidir respecto a una instalación de automatización que son virtualmente imposible de cuantificar. Estas consideraciones incluyen mejoras en

seguridad al eliminar a los operarios humanos de los peligros inmediatos de la operación de producción, dependencia reducida sobre la mano de obra directa y los problemas personales asociados, mejores relaciones con los clientes mediante una superior planificación de las entregas y mejor calidad y la posibilidad de utilizar la factoría automatizada como un lugar de motivación para impresionar a los clientes y a los potenciales clientes.

Otra consideración es la flexibilidad de la producción. Algunas áreas de trabajo se diseñan para ser altamente adaptables a cambios en las relaciones de productos que se procesan en el área. Estas aplicaciones de automatizaciones permiten a la compañía una cantidad significativa de flexibilidad en la planificación, tanto en término de relaciones de productos como del método de producción que puede ser acomodado sobre el sistema. Estas flexibilidades, aunque su valor es difícil de cuantificar, son una ventaja definida para la compañía. Aunque estos factores no pueden ser cuantificados en costos de ahorro, sin embargo, deberían considerarse en una estrategia global de la empresa para realizar planes de automatización y robótica. Son generalmente consideraciones de favorecer la aplicación de robots.

1.2 Montaje e inspección

Existe un interés creciente en el montaje automatizado a causa del alto contenido de mano de obra manual de la mayoría de las operaciones de montaje de hoy día. Los sistemas de montaje automatizado han sido aplicados tradicionalmente a productos de alto volumen en los cuales se realiza una gran inversión en equipo hecho a medida, diseñado para realizar las operaciones específicas necesitadas para esos productos que representan la mayoría de las operaciones de montajes efectuadas en los Estados Unidos, donde el volumen de producción es bajo o medio.

En estos casos no es viable económicamente realizar grandes inversiones en equipos de montaje especializados. Se deben de aplicar sistemas programables y flexibles, incluyendo la

robotica, a estas operaciones de montaje de bajo y medio volumen si se desea lograr una automatización satisfactoria.

Tabla 2 Costos y ahorros indirectos en un proyecto de aplicación de automatización*

1. *Inventarios en curso*. Los ahorros en el inventario en curso resultan de un tiempo de espera de fabricación reducido con una instalación de una maquina automatizada. Tiempos de ciclo de operación más cortos, utilización de los turnos segundo y tercero, y la posibilidad de combinar operaciones separadas en una área de trabajo son razones de por que se reducen los tiempos de espera de fabricación.

2. *Inventarios acabados*. La viabilidad técnica de utilizar robots en areas de fabricación aceptables, flexibles y en sistemas de ensamblaje proporciona la oportunidad de reducir el tamaño de los lotes de producción. Lotes más pequeños se traducen en inventarios finales más cortos.

3. *Ahorros de material*. En algunas ocasiones, los robots utilizan la materia prima más eficazmente en el proceso de producción. Esto conduce a una menor tasa de uso de estos materiales. Operaciones de pintura al spray por robots son un ejemplo de estos ahorros; la consistencia con la cual se aplica la pintura por parte del robot permite una reducción en la cantidad total de pintura consumida cuando se compara con la operación de pintura al spray manual.

4. *Menores desechos de regeneración*. La evitación de todo humano en la operación, la consistencia del ciclo del robot (tanto en terminos de temporización como de repetibilidad posicional) son algunos de los factores que contribuyen a un producto más uniforme y a una reducción en las tasas de desechos y de regeneración cuando se utilizan robots.

5. *Utilización del equipo*. Cuando se utilizan los robots para automatizar una operación, la utilización del equipo existente generalmente aumenta. Las razones para el aumento incluyen la oportunidad de convertir a operaciones multiturno cuando los robots se integran en la operación, menores paradas en el turno cuando se comparan con los requisitos de una operación manual.

6. *Manejo de material*. Cuando se combinan algunas operaciones en una única area con robot se reduce la cantidad de manejo de material de la planta.

7. *Espacio en la planta*. Una área de robot bien diseñada típicamente reduce la cantidad de espacio en planta necesitada para la operación. Esto es especialmente cierto cuando algunas operaciones, realizadas previamente en estaciones de trabajo separadas se combinan en una única área de trabajo.

*Fuente: Robótica Industrial, Mc. Graw Hill, Ed. 1993, Pág. 388.

La inspección es otra area de las operaciones de fábrica en las que existe un interés significativo en su automatización. Visión por maquina y otras técnicas de sensores estan

siendo investigadas para este objetivo. Hoy día, la inspección se efectúa normalmente de forma manual de acuerdo con los procedimientos de muestreo de control de calidad estadística. Incluso con el muestreo, el trabajo humano, realizado en la mayoría de las tareas de inspección es tedioso y cansado. Con la mayor importancia que se le está dando a la calidad del producto en la fabricación, la inspección es un área que está madura para la automatización. En lugar de efectuar el proceso de inspección manualmente sobre una base de muestreo, se realizará de forma automática sobre el 100%. La tecnología de la robótica va a jugar un papel importante en la automatización de ciertos aspectos de la inspección.

1.2.1. Montaje y automatización con la robótica.

El término montaje se define aquí como el ajustar un conjunto de dos o más piezas discretas para formar un nuevo submontaje. El proceso normalmente consiste en la adición secuencial de componentes a una pieza base o a un submontaje existente para crear uno más complejo o un producto completo. Como tal, las operaciones de montaje requieren una cantidad considerable de manejo y orientación de las piezas para hacerlas coincidir adecuadamente. La diferencia entre las tareas de montaje y otras tareas de manejo de material es el del valor que se añade al producto a través de la operación de montaje. También existen a menudo interacciones que tienen lugar entre las dos piezas que se están montando, entre la pinza y la pieza, y entre otros elementos de el área de trabajo.

1.2.2. Automatización de la inspección.

La inspección es una operación de control de calidad que requiere la comprobación de piezas, montajes o productos para que estén conformes con ciertos criterios generalmente especificados por el departamento de ingeniería de diseño. La función de inspección es normalmente realizada para las materias primas de entrada en las diversas etapas del proceso de producción y a la finalización de la fabricación antes de enviar el producto. La verificación

es otra operación de control de calidad a menudo asociada con la inspección. La distinción entre los dos términos es que la verificación normalmente entraña los aspectos funcionales del producto, tal como una comprobación de la fatiga, comprobación ambiental y procedimientos similares. La inspección se limita a la verificación del producto en relación a estándares de diseño no funcionales.

1.3. Revisión de la planta para identificar aplicaciones potenciales

Como se mencionó anteriormente, se deben distinguir dos categorías generales de aplicaciones de los robots y de la automatización.

La primera categoría es cuando el proyecto de la automatización requiere el diseño de una nueva planta o una nueva ventaja o servicio dentro de una planta existente. Aquí, el ingeniero de aplicaciones tiene mayor flexibilidad en el diseño del proyecto. Aunque el mismo criterio de selección de aplicación general se utiliza para ambos casos, la nueva ventaja o servicio ofrece la oportunidad de diseñar la aplicación para lograr el mayor beneficio de la tecnología de la automatización. La propia operación de fabricación se puede examinar para determinar el mejor método para conseguir el proceso utilizando la tecnología robótica disponible.

La segunda categoría es el proyecto de automatización en un sistema existente. El problema aquí es sustituir una máquina en lugar del operario humano en una operación de producción ya existente. Los ingenieros de aplicaciones tienen menos opciones de selección en este caso, por que la máquina se debe de adaptar a los equipos que ya se disponen. La instalación de la nueva forma de automatización, menos costosa a menudo, requiere que ésta se utilice de la misma forma que el operario humano efectuaba el trabajo. En este segundo caso las aplicaciones potenciales del nuevo sistema se identifican más convenientemente mediante un paseo a lo largo de la planta para revisar las operaciones existentes.

Al efectuar una revisión de planta, el objetivo es determinar aquellas operaciones existentes que son susceptibles de automatización robótica. Oportunidades para la aplicación de la tecnología robótica de hoy día tienen ciertas características en común. Estas características generales normalmente harán una aplicación de automatización potencial técnicamente práctica y económicamente viable.

Estas características generales son¹:

1. *Condiciones de trabajo arriesgadas o poco confortables.* Situaciones de trabajos que posean riesgos potenciales al operario humano son a menudo situaciones ideales para un instalar un sistema automatizado. Los peligros potenciales incluyen daños físicos y peligros contra la salud por el calor, chispas, radiaciones, toxicidades o la utilización de materiales carcinógenos. Incluso si la situación del trabajo no es realmente peligrosa, pero el lugar de trabajo se considera poco confortable, desagradable y no deseable por los humanos, esto representa una buena aplicación potencial de la automatización.

Situaciones de trabajo peligrosas o poco confortables para los humanos tienen una alta probabilidad de ser aceptada por los trabajadores como una aplicación de robots. A los trabajadores no les gusta operar bajo estas condiciones, así que pueden aceptar más rápidamente la automatización de sus tareas mientras no lleven al desempleo.

2. *Operaciones repetitivas.* Las operaciones repetitivas son muy comunes en producciones de alto y medio volumen. La operación consiste en una secuencia de elementos de trabajo que se realizan una y otra vez. Los operarios humanos normalmente efectúan este trabajo y generalmente lo encuentran cansado y degradante. Las máquinas industriales están adecuadas

¹Según se presentan en *Robotica Industrial*, Mc. Graw Hill, 1993, Pág. 505.

idealmente para muchas operaciones de esta categoría a causa de su capacidad de repetir una estructura de movimiento fija sin desviación de un ciclo al siguiente. Los requisitos básicos son que se debe proporcionar al robot o máquina con efector final adecuado para cumplir la tarea particular, y su volumen de trabajo debe ser suficiente para incluir el espacio de trabajo necesitado para la operación.

3. *Tareas de difícil manipulación* Una tercera característica general de las tareas donde se aplican los sistemas automatizados es en la manipulación de objetos difíciles de manipular. Los objetos pueden ser o piezas de trabajo o herramientas, y las razones de por qué son difíciles de manipular, es que son pesados, calientes o poseen una forma que los hace complicados para que un humano los coja. El vidrio es un ejemplo de esta última característica. Los trabajadores probablemente necesitarían alguna forma de ayuda mecánica para mantener y manipular estas clases de piezas, tales como una grúa o un elevador. Un robot con suficiente capacidad de elevación y equipado con un efector final apropiado se debería considerar para estas tareas de manipulación difícil.

4. *Operación multiturno* Muchas de las operaciones de fabricación funcionan en dos o tres turnos para satisfacer la demanda del producto. En algunos casos la naturaleza del proceso requiere que se operen las 24 horas del día. El moldeo plástico y muchas otras operaciones a alta temperatura necesitan periodos de arranque que la hacen económica solamente si el proceso funciona continuamente en lugar de intermitentemente. Cuando estos procesos funcionan utilizando trabajadores, el costo de la mano de obra es un costo variable que continúa durante los segundos y terceros turnos a la misma o ligeramente más altas tarifas. Cuando se pueden utilizar robots industriales para sustituir al trabajador, existe un alto costo fijo y un relativamente bajo costo variable asociado con la instalación. La ventaja de la

utilización de la mano de obra humana es que el costo fijo se puede extender a lo largo de todos los turnos, reduciendo así el costo de explotación total del proceso.

Durante la visita a la planta, se hace un intento de identificar las operaciones que posean estas características. Las características se pueden encontrar buscando operaciones en las que se utilizan alguna forma de equipos de protección por los trabajadores (por ejemplo, mascararas y cascos de soldar, ropa de seguridad, etc.); operaciones que necesitan equipos especiales para proteger a los trabajadores (por ejemplo, sistemas de ventilación); operaciones que tienen un ciclo de trabajo repetitivo (por ejemplo, cantidades de productos grandes y medios), y operaciones donde el operador necesita alguna forma de ayuda mecánica para manipular las piezas de trabajo o las herramientas (por ejemplo, elevadores y grúas). La supervisión de la planta sabrá qué operaciones se realizan más de un turno; esto no resulta claro de una visita a la planta realizada durante el turno de día.

Al revisar las operaciones de planta, se pueden identificar normalmente una serie de aplicaciones potenciales de automatización. El problema es entonces determinar qué aplicaciones potenciales perseguir. Un criterio obvio al seleccionar la mejor aplicación es el económico. Es apropiado efectuar un análisis económico preliminar sobre las potenciales aplicaciones alternativas, para determinar cuál de ellas parece que ofrece la mejor recuperación financiera y rendimiento de la inversión. Para realizar este análisis, tendrían que estudiarse las operaciones existentes para determinar las tasas de producción y los costos actuales, y se tendría que proponer un método con automatización para estimar sus costos de inversión y de explotación. Además de los criterios económicos, las aplicaciones potenciales deben estar sujetas también a ciertos criterios técnicos. Por ejemplo la General Electric Company ha tenido bastante éxito en encontrar buenas aplicaciones de automatizaciones aplicando durante su examen los criterios siguientes a las aplicaciones industriales:

La operación es simple y repetitiva.

El tiempo de ciclo para la operación es mayor que 5 seg.

Las piezas o los materiales se pueden entregar en posición y orientación adecuadas.

No se necesita mucha inspección para la operación.

Se pueden sustituir una o dos personas en un periodo de 24 hs.

Son frecuentes los ajustes y cambios.

1.4. Planificación e ingeniería de la instalación.

La planificación e ingeniería de la instalación requiere mucho de consideraciones de análisis y diseño. La Tabla 3 proporciona una lista de estas consideraciones en el orden aproximado en el cual el ingeniero de aplicación tendría que tratarlas en la realización de un proyecto de automatización. El tema inicial en la lista es un estudio cuidadoso de la operación y de la manera que mejor se efectuaría utilizando un proceso automatizado. Alguna reflexión anterior se ha dado indudablemente a esta cuestión durante la selección de la aplicación, la selección de la máquina y el análisis económico detallado.

Ahora que la aprobación se ha dado para proseguir con el proyecto, resulta apropiado una mirada serena del problema. El estudio consideraría el objetivo y función básica de la operación. ¿Qué tareas se deben realizar durante la operación? Una desventaja común es limitar nuestra reflexión a considerar cómo un trabajador humano efectuaría la operación. Existen probablemente diferencias entre el método más apropiado para la automatización y el mejor método para un humano. Por ejemplo, un operario humano puede percibir rápidamente muchos tipos de defecto en una pieza de trabajo y eliminar aquellas que están defectuosas. Una máquina, sin alguna forma de capacidad sensorial, es incapaz de detectar incluso los fallos más obvios en la pieza.

Tabla 3 Lista de consideraciones y área de problemas a considerar durante la planificación e ingeniería de la instalación de un equipo de automatización*

1. *Estudio del método de la operación.*

- ¿Cuál es el objetivo y función básica de la operación?
- ¿Cuál es el mejor método para que una máquina o robot realice la operación?

2. *Diseño de el área de trabajo.*

- ¿Cuál de los tres tipos básicos de estructura de área se debería utilizar?
 - a. Área con robot en el centro.
 - b. Área con robot en línea.
 - c. Área con robot móvil.
- ¿Qué cambios se deberían efectuar a otros equipos para acomodar la operación y el control de el área de automatización.
- Consideración del posicionamiento y orientación de las piezas que entran y salen de el área.
- Consideración de los métodos de identificación de piezas si se procesa por el área más de un modelo de pieza.
- Protección de la máquina de su entorno.
- Provisión de utilidades y otros servicios necesitados por el área.

3. *Control de el área de trabajo.*

- ¿Cuáles son las funciones básicas que se deben efectuar por el controlador de el área de esta operación?
- ¿Qué interfaces se deben incluir con el operario humano?
- ¿Qué enclavamientos se deben diseñar en el área?
- ¿Qué sensores se deben utilizar para realizar los enclavamientos?
- ¿Hay requisitos adicionales de los sensores que se deben de satisfacer?
- Tipo del controlador de el área. ¿Tiene la máquina control suficiente o se debe incorporar un controlador de área adicional?

4. *Consideraciones de seguridad diseñadas en el área*

5. *Diseño del efector final.*

6. *Diseño de otras herramientas y accesorios para el área.*

*Fuente: Robótica Industrial, Mc. Graw Hill, Ed. 1993, Pág. 512

Intentar procesar una pieza defectuosa podría originar daño a las herramientas o al equipo utilizado en la operación. Las limitaciones de la máquina deben, de alguna forma, tomarse en cuenta en el diseño del método. Podría ser necesario inspeccionar las piezas antes de que se

entreguen a la estación de trabajo o incorporar un procedimiento de inspección automático o manual en la operación de el área de trabajo.

1.4.1. Instalación.

Después de que se ha dado la aprobación para los planes y diseños detallados del proyecto de automatización, comienza la instalación. Básicamente, la instalación consiste en la realización de los planes detallados que han sido preparados. La tabla 4 presenta una lista de las clases de actividades incluidas en la fase de instalación.

Tabla 4. Lista de actividades incluidas en la fase de instalación.*

Compra de máquinas y de los otros equipos y suministros necesitados para instalar el área.

Preparación del lugar físico en la planta donde se va a localizar el área. Esto podría incluir alterar el suelo para soportar máquinas de herramientas pesadas en el área y para fijar las posiciones relativas de la máquina y de los otros equipos. También estaría incluido cualquier provisión para la protección de las máquinas de su entorno.

Provisión de sistemas eléctricos, neumáticos y otras actividades de el área.

Adaptación de las piezas de equipo estándar para la utilización en el área.

Colocación de las máquinas y otros equipos; instalación de transportadores y otros sistemas de manipulación de materiales para la entrega de piezas de entrada y salida de el área.

Instalación, verificación y programación del controlador de el área.

Instalación de enclavamiento y sensores e integración en el controlador de el área.

Instalación de los sistemas de seguridad.

Fabricación de los efectores finales y otras herramientas.

*Fuente: Robotica Industrial. Mc. Graw Hill. Ed. 1993. Pag. 514.

Otros aspectos de la fase de instalación incluyen arranque, depuración, pruebas de producción y sintonía final de el área. Normalmente sucede que hay pequeños problemas con el área inmediatamente después de su ajuste. Ejemplos de estos problemas podrían incluir

errores de programa, problemas con los sensores, componentes localizados inadecuadamente en el área y dificultades mecánicas con el equipo. Estos pequeños problemas se deben resolver antes de que se pueda conseguir la producción a plena escala. El tiempo necesitado para completar la instalación es típicamente de tres meses a un año.

Cuestiones críticas en el proceso de instalación son los tiempos de adelanto entre pedido y recepción de las máquinas y otros equipos. Dependiendo de las condiciones del negocio y de la cartera de pedido en la compañía de las máquinas, estos tiempos de entrega pueden originar retardos significantes en el procedimiento de instalación.

Hay algunas cuestiones adicionales relacionadas con la instalación que se deberían considerar. Estos temas son: seguridad, entrenamiento, mantenimiento y control de la calidad. Se ocupan con actividades para las cuales deben tener lugar alguna planificación de antemano de la instalación, pero las cuales ocurrirán durante y después de esta.

CAPITULO II

DESCRIPCION Y FILOSOFIA DEL SISTEMA

2.1 Descripción del sistema actual

En la actualidad el proceso de cocimiento de la piedra caliza es casi en su totalidad manual y algo anticuado, por lo que no hay una buena producción diaria así como una buena calidad, esto debido en gran parte a que la alimentación del horno y la descarga de la piedra son muy deficientes, hay mucha pérdida de temperatura en cada apertura y la alimentación es totalmente manual por lo que el tiempo perdido es bastante, así como el tiempo de cocimiento.

Primeramente se cargan las piedras ya seleccionadas por tamaño, previamente se hicieron pasar por una criba. Se introducen por la parte superior del horno alto, se introduce una carga completa cada vez; y se encienden los quemadores ubicados a la mitad del horno (por medio de combustible y vapor de agua), se necesita un tiempo para que se caliente el horno y después se pueda realizar el proceso de cocción de la piedra, este tiempo es determinado más que nada por la experiencia ya que no hay mediciones ni registros de la secuencia del proceso. Un gran problema es que la temperatura no es uniforme y en bastantes ocasiones la piedra no queda con una buena calidad (color y dureza) por lo que tendrá que ser rechazada y no se podrá volver a utilizar. Posteriormente se deja enfriar la piedra dentro del horno para que luego por medio de unos vagones se descargue manualmente, y después llevarla a los camiones encargados de transportarlas al envasado, hidratado o el proceso que se requiera, según sea su aplicación posterior. El tiempo de enfriamiento del horno y la piedra produce una gran pérdida de tiempo entre carga y carga. Para poder realizar otro ciclo de cocimiento es necesario descargar toda la piedra que se dejó enfriar, ya realizada esta operación entonces se procede a alimentar nuevamente el horno: este tiempo de enfriamiento y carga manuales es el principal tiempo de desperdicio que se tiene en el proceso y que es el principal objetivo a disminuir. En la FIGURA 1 se muestra la situación actual del horno.

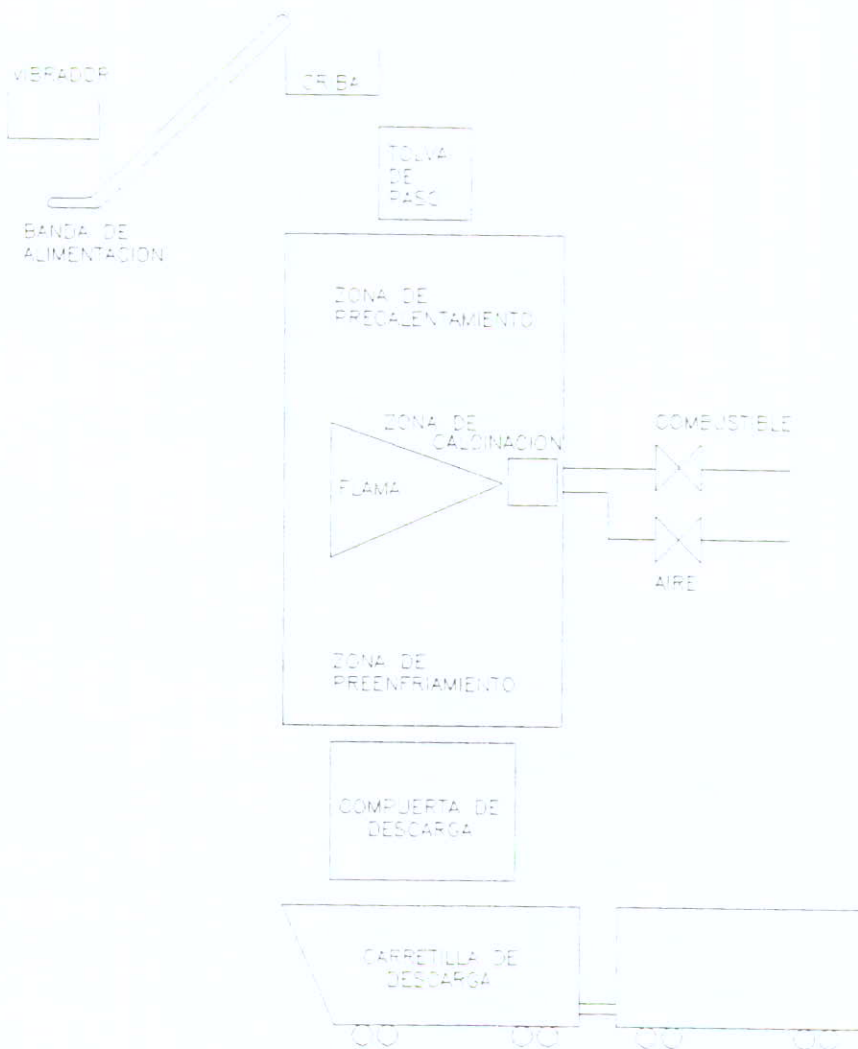


FIGURA 1
 Diagrama actual del horno

2.2. Descripción del sistema propuesto

El presente proyecto está conceptualizado con base en la información recibida por parte de la empresa procesadora de la piedra caliza en cuanto a los elementos que conforman el horno y que están representados mediante la FIGURA 2 anexa.

Este proyecto considera todos los elementos necesarios para la automatización del horno, así como también se incluye la instalación y los materiales requeridos para la misma, y también la supervisión de la instalación y puesta en servicio, como la programación del sistema, todo ello mencionado como ingeniería del sistema.

Se ha seleccionado para el presente proyecto un controlador lógico programable (PLC) que actuará como cerebro principal del sistema pero que contará para hacer el control de las variables analógicas con controladores multilazo, lo cual permitiría una especialización dentro del sistema que facilita la información y la operación, al estar comunicados entre sí y contar con la ayuda de un monitor y teclado que le comunican al operador la situación del proceso, permitiéndole el "diálogo" con el mismo dándole versatilidad y seguridad en la operación porque le permite realizar cambios en los parámetros de operación de acuerdo al nivel que se le otorgue.

La etapa de automatización de secuencias básicas de un horno es la siguiente:

- 1) instalación de sensores en campo y cableado eléctrico.
- 2) prueba de respuesta de señales y acondicionamiento de salida.
- 3) configuración del sistema en base a requerimientos.

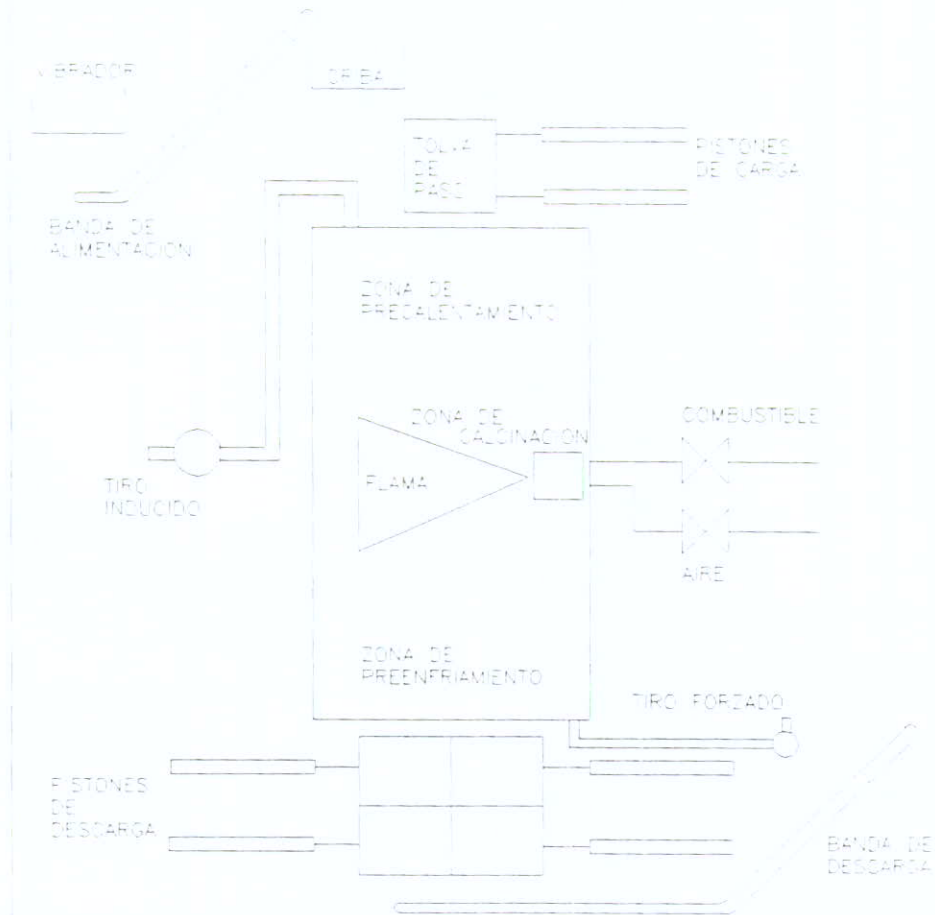


FIGURA 2

Diagrama esquemático horno vertical

2.3. Proceso de cocimiento y obtención de piedra caliza.

El proceso de obtención de la piedra caliza comienza con la explotación del cerro predeterminado para la extracción del material, a un costado de este se encuentra localizada la planta que la procesará. Todo el material extraído es mandado por medio de bandas a una serie de cribas y cernidoras que lo que hacen es separar la piedra por tamaños dejando pasar solamente el tamaño ideal o determinado para su utilización en el proceso posterior. Ya que se tienen todas las piedras de un tamaño uniforme estas siguen pasando por bandas transportadoras hasta desembocar en la parte superior de un horno alto vertical. este horno tiene una altura promedio de unos 26.5 metros por un diámetro de 6.5 metros aproximadamente, se hace llenar todo el horno y ya que está totalmente lleno se para la carga hacia el y se cierra.

El horno cuenta con una serie de quemadores (cinco) alrededor de él, que se encuentran a la mitad de su altura total. Estos funcionan con combustóleo y aire en una mezcla determinada con la que se hará la cocción de la piedra. Comienza la cocción de la piedra, este ciclo dura alrededor de 90 minutos, al terminar el proceso de calentamiento, se deja enfriar totalmente toda la carga contenida en el horno para después descargarla toda hacia un patio de maniobras donde posteriormente será recogida por maquinas para trasladarla a los trailers que la transportarán hacia las plantas tratadoras de cal donde se procesará posteriormente.

Durante este proceso se pueden presentar una serie de problemas como son el que se apaguen los quemadores de combustóleo, esto sucede con frecuencia ya que generalmente si la mezcla aire-combustible no es la correcta se tapan las tuberías por lo que se ocasiona que se apague la flama, también por esta razón de la mezcla, se pueden presentar diversas temperaturas de cocción en cada proceso por lo que el cocimiento de cada piedra será distinto a las demás lo que ocasiona que no todas sean de la misma calidad, que algunas esten

quemadas y no puedan ser utilizadas, por lo que hay una gran cantidad de desperdicio de material. Si la temperatura fue menor entonces se tiene piedra cruda que no sirve para posteriores procesos.

En este proyecto lo que se pretende es que ahora el proceso sea continuo, es decir se tendrá una carga inicial pero conforme pase el tiempo de cocimiento se desalojará una parte de la piedra, y al mismo tiempo se estará cargando. Entonces, la piedra poco a poco pasará por la etapa de precalentamiento, posteriormente a la zona de calcinación para después ir pasando a la zona de enfriamiento para luego ser descargada, y así sucesivamente a lo largo del día por lo que se mejora la eficiencia del proceso, ya no habría que esperar a cargar todo el horno, cocer y descargar todo el material.

Para mejorar el precalentamiento y la calcinación se han dispuesto dos tomas de tiro, uno inducido y otro forzado; con el forzado lo que se pretende es tener un flujo de aire que esparza más la flama para que una cantidad mayor de piedra se esté calentando y calcinándose, y con el inducido lo que se realiza es sacar ese aire inyectado y volverlo a recircular por el tiro forzado para no desaprovechar todo el aire que se extraerá.

2.4. Selección del lugar.

El presente proyecto está diseñado para situarse en un lugar ya seleccionado previamente por la junta directiva de la empresa en cuestión.

La localización de la planta estará aproximadamente a 30 minutos de Ciudad Guzmán, Jalisco y estará enclavada en la sierra por que ahí se encuentra el cerro del que se habrá de explotar la materia prima. Para tener un fácil acceso a este lugar se tiene un camino de

terracería de doble circulación con la suficiente amplitud para que cualquier vehículo ya sea de carga o particulares tenga la comodidad necesaria para efectuar el recorrido.

Las instalaciones se encuentran inmediatamente a un costado del cerro para tener la mayor facilidad del traslado de la piedra caliza, ahorrando así una considerable cantidad en transporte del lugar de extracción hacia el lugar de proceso. Así con esta consideración sólo con algunas bandas transportadoras se tendrá el transporte de la piedra hacia las cribas y posteriormente a los hornos.

En el lugar ya se cuenta con los recursos de electricidad, agua y drenajes (tanto industrial, pluvial y de aguas negras) para tener la mayor comodidad en el desarrollo de las actividades. Estos fueron previamente contratados con las respectivas autoridades y en el momento ya se cuenta con los servicios a un cien por ciento de su instalación.

2.5. Descripción del Equipo.

El sistema está pensado para efectuar todas las operaciones que se requieren realizar en el horno en forma automática. Aunque también cuentan con la opción de manual en todos sus niveles, como la capacidad de realizar el control de temperatura del horno en zona de precalentamiento, calcinación y de enfriamiento, así como de la entrada de aire para enfriamiento por medio de un tiro forzado así como la utilización del mismo aire pero ya caliente para ir precalentando la piedra, esto por medio de un tiro inducido.

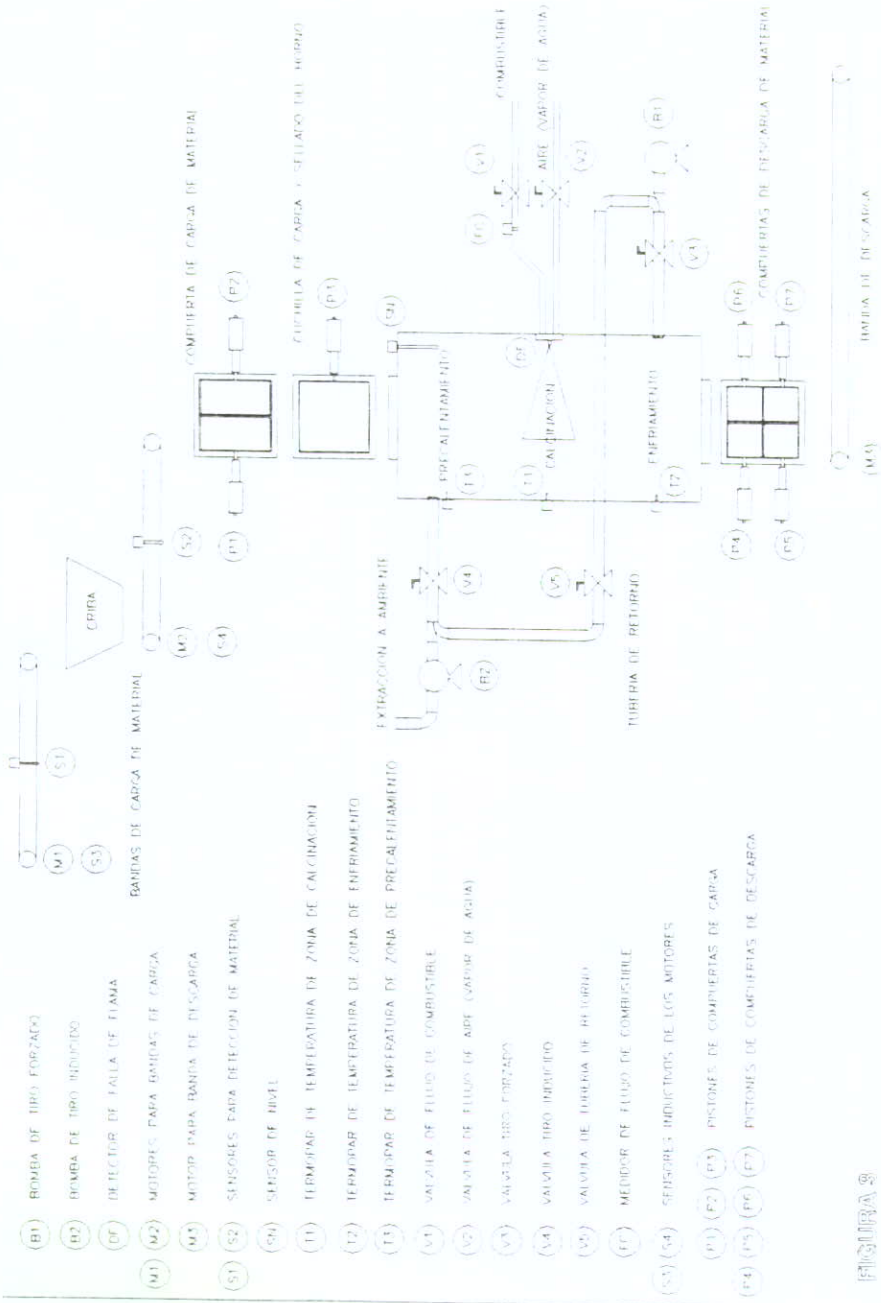
Todas las variables pueden ser visualizadas en un monitor, se cuenta además en el tablero de control con focos piloto que nos permitirían la visualización del estado que guardan los equipos y demás variables discretas. Adicional a eso se tendrán registradores que prácticamente estarán "relatando" la historia del proceso al estar graficando constantemente las

temperaturas en las diferentes zonas del horno y al contar con capacidad de impresión, se podrá indicar el cambio de estado de hasta seis variables discretas y si el proceso se ha salido de rango en la temperatura.

Haciendo un recorrido a partir de la piedra caliza que se encuentra en la tolva de descarga de cal "viva", se irá indicando con que elementos se cuentan para hacer el control; estos se pueden observar en la FIGURA 3 anexa. La piedra caliza de la tolva de alimentación es sacudida y obligada a salir por un vibrador en el cual se encuentra un detector que nos indica su estado; la banda de alimentación y la criba también cuentan con detectores así como los cilindros neumáticos con lo cual se sabrá su estado o posición. El movimiento de los cilindros en la tolva de paso está regulado por timers y tienen como permisivo la señal proveniente del interruptor de nivel del horno. La piedra caliza pasa posteriormente por una tolva en la que existen tres pistones para abrir y cerrar su parte superior e inferior, esto es para dejar caer una parte de piedra en la tolva, cerrar la parte superior, y ya cerrada está, abrir la parte inferior para que caiga la piedra al horno, esto con la finalidad de no perder calor y temperatura dentro del horno.

La zona de precalentamiento cuenta con un sensor de temperatura tipo termopar, la zona de calcinación tiene un transmisor de temperatura de radiación colocado en medio de la ubicación de los quemadores los cuales van a dar al registrador donde se grafican y se obtiene la temperatura promedio que entra al controlador que en base a esa información regula la entrada de combustible y la proporción de aire que llegan al cabezal de los quemadores.

En la zona de preenfriamiento cuenta con un termopar para sensar la temperatura que es graficada en el registrador y de cuyo control se encarga el controlador de acuerdo a un punto



(B1) BOMBA DE TIPO FORZADO

(B2) BOMBA DE TIPO INDUCIDO

(DF) DETECTOR DE FALLA DE FLAMA

(M1) MEDIDOR PARA BANDAS DE CARGA

(M2) MOTOR PARA BANDA DE DESCARGA

(S1) SEÑALES PARA DETECCION DE MATERIAL

(S2) SENSOR DE NIVEL

(T1) TERMOPAR DE TEMPERATURA DE ZONA DE CALIFICACION

(T2) TERMOPAR DE TEMPERATURA DE ZONA DE ENFRIAMIENTO

(T3) TERMOPAR DE TEMPERATURA DE ZONA DE PRECALENTAMIENTO

(V1) VALVULA DE FLUIDO DE COMBUSTIBLE

(V2) VALVULA DE FLUIDO DE AIRE CALIENTE DE AGUA

(V3) VALVULA TIPO FORZADO

(V4) VALVULA TIPO INDUCIDO

(V5) VALVULA DE TORRETA DE FUEGO

(P1) MEDIDOR DE FLUIDO DE COMBUSTIBLE

(S3) SEÑALES INDUCTIVAS DE LOS MOTORES

(P1) (P2) (P3) PISTONES DE COMBIERTAS DE CARGA

(P4) (P5) (P6) (P7) PISTONES DE COMBIERTAS DE DESCARGA

FIGURA 3

Los sensores de temperatura y de nivel se encuentran en el sistema de control.

de ajuste proveniente del PLC (controlador lógico programable) que es el cerebro del sistema. Para la descarga de la piedra ya cocida se cuenta con cuatro salidas en la parte inferior del horno accionadas por medio de pistones, en cada descarga se abrirá sólo uno de ellos y se descargará una parte de la carga.

A la siguiente descarga se abrirá el siguiente pistón y así sucesivamente llevando un orden de apertura de cada pistón. La piedra descargada va a dar a una banda transportadora que se encargará de llevarla hacia la zona de trailers donde se descargará en cada uno de ellos.

Toda la secuencia del proceso se programa en el PLC incluyendo los timers; existe bastante flexibilidad en cuanto a datos que en un momento dado pueden estar variando o ajustándose, como pueden ser los tiempos y los puntos de ajuste; se pueden programar una secuencia de paros de acuerdo al tipo de falla presentado y a la estación del operador se le puede conectar una impresora para reportes en línea.

2.6. Balances de masa: reprocesos y reciclados.

Por las características de este proyecto, en la que es sólo la automatización del horno no se tienen en cuenta los reprocesos y reciclados en todo el proceso; sólo se cuenta con un solo reproceso: en el tiro del horno. El aire inyectado por medio del tiro forzado para diseminar más la flama a lo largo del horno es extraído por el tiro inducido, pero este aire se ha visto en la posibilidad de ser vuelto a usar, por lo que se tendrá una recirculación de aire hacia el tiro forzado, con este medio se ahorrará tiempo de operación del compresor general, por que así su carga será menor y aparte ahorra combustible. Otra consideración que se debe de tener en cuenta es que todo el material que al final del proceso sea encontrado defectuoso, esto es por falta de cocimiento o por exceso de flama, no es reciclable, se tiene que tirar.

2.7 Combustible.

2.7.1. Controles de Combustible.

Para determinar las necesidades de limpieza de tubos, limpieza de boquillas, ajustes de presión, ajustes de carburación, etc., el mejor método es "mantener un registro diario" de presión, temperatura y de las condiciones de operación de los quemadores; variaciones de las condiciones normales pueden indicar problemas y ayudarán a evitar serias dificultades.

En unidades para combustibles líquidos, una caída en la presión del aceite puede indicar: boquillas tapadas, válvula de regulación defectuosa, fugas en la línea de succión, etc. Un descenso en la temperatura del combustible puede indicar anomalías del control de temperatura o calentador defectuosos.

Siempre se debe de anotar el rango de flama al hacer las anotaciones en el registro diario. Un incremento en la temperatura de los gases de la chimenea no siempre significa combustión pobre o anomalías en el lado del fuego o del agua. La temperatura de dichos gases varía hasta en 55°C., por cinco minutos durante un cambio de carga. Lo más conveniente es un análisis de estos gases por un método confiable. Los gases deberán ser claros sin trazas de niebla. Gases nublados, brumosos, oscuros, indican que el quemador deberá ser ajustado. La combustión puede ser muy rica, sin suficiente aire, mezcla defectuosa aire-combustible, etc. Los mecanismos de carburación deberán ser revisados periódicamente y visualmente comprobados para desajustes o movimientos "bruscos" anormales.

Las válvulas solenoides de operación de combustible deberán ser visualmente revisadas, observando la flama cuando la unidad deba cortar. Si al no haber flama no se corta el suministro de combustible en ese preciso momento, puede significar falla o desgaste de la

válvula solenoide. En este caso hay que reparar o reemplazar la válvula para evitar serios problemas.

2.7.2. Combustible usado en el proceso.

Para este proceso de el cocimiento de la piedra caliza se tiene en uso un tipo de combustible derivado del petróleo con las características mostradas en la tabla 5.

Tabla 5. Propiedades del Combustible.
Mass Flowmeter Sizing Program*

Fluid	Combustóleo
Specific gravity	0.9
Temperature	123°C
Vapor pressure	350 mmHg.
Viscosity	30 Centipoise
Reynold' s number	554.69
Señal Oxigeno comb.	2-2.25 gpm/horno

*Fuente: Schlumberger Industries.

2.8. Capacidad del horno.

El horno es del tipo vertical alto, está construido por medio de ladrillos refractarios para altas temperaturas y con una pared exterior de concreto. El horno tiene una elevación total de 26.5 metros por un diámetro de 6.5 metros aproximadamente. Tiene una capacidad de alrededor de 130 toneladas de piedra caliza, trabajando en dos turnos en la planta y teniendo en

cuenta que cada ciclo es de 150 minutos (carga, proceso y descarga) se tiene una producción diaria total de alrededor de 832 toneladas de piedra caliza cocida. Con el método propuesto se tiene planteado mejorar el proceso en un 30% esto ocasionaría que al ser un proceso de cocimiento continuo el tiempo en que la piedra se precalienta, se cuece y se enfría será en 105 minutos, por lo que ahora la producción diaria total sería de 1189 toneladas de piedra caliza.

CAPITULO III

DESCRIPCION DE CADA UNA DE LAS SECCIONES DEL HORNO

3.1. Preparación y separación de la materia prima.

El primer paso después de la extracción de la piedra caliza de su estado natural es pasarla por medio de un vibrador donde toda la tierra o pequeñas secciones de piedra son separadas del proceso para trasladarlas a un lugar junto al cerro de extracción a manera de escombros: toda la piedra que sigue a través de los vibradores pasa ahora a una primera banda de alimentación, donde cae y es llevada por medio de esta hacia la criba que está antes de la segunda banda y del horno donde será su cocimiento. La piedra cae dentro de la criba donde se parte en determinados tamaños requeridos para poder ser suministrados al horno, con el proceso del cribado de la piedra todo el residuo de ella y los pequeños pedazos que no pueden ser utilizados en el proceso son descargados por otra banda transportadora hacia el mismo lugar de escombros donde se va el material no empleado después del vibrador. La piedra ya partida y seleccionada según el tamaño promedio que se requiere pasa hacia una tolva de paso instalada en la parte superior del horno.

3.2. Suministro de la piedra caliza hacia la alimentación del horno.

En esta sección del proceso que se encuentra en la parte superior del horno primeramente pasa la piedra por la primera compuerta del horno donde por medio de dos pistones se abre una compuerta de carga de material, al entrar el material se cierra nuevamente con la suficiente fuerza como para cerrarse hacia arriba y mover las piedras que hayan quedado sobre de ella, al cerrarse esta compuerta se abre la segunda compuerta, que es la de carga y sellado del horno con la cual la piedra entra a su proceso de cocimiento, esto es para que no haya fuga de calor del horno hacia el exterior, así se pretende tener una mayor eficiencia en la temperatura de cocimiento. En la FIGURA 4 se presenta el diagrama neumático para los cilindros de alimentación del horno, en donde se muestran los cilindros de carga de la primera y segunda compuerta y su respectiva conexión con las válvulas.

DIAGRAMA NEUMÁTICO PARA CILINDROS DE TOLVA DE ALIMENTACIÓN



FIGURA 4
Diagrama neumático de las válvulas de alimentación

El movimiento de las bandas de alimentación, así como de las compuertas de carga al horno está regulado a través de un tiempo preestablecido en el PLC, así la banda descarga hacia la primera compuerta una cantidad de piedra, se detiene un momento mientras esta compuerta se abre para que no pudiera existir un congestionamiento de material en esta zona, ya que se cierra esta compuerta la segunda compuerta se abre y permite el paso hacia el interior del horno, y ya que se cerraron las compuertas entonces nuevamente se ponen en funcionamiento las bandas de alimentación. En esta sección del proceso se encuentran instalados dos motores que son los que le brindan el movimiento a las bandas transportadoras, estos motores están conectados al PLC, ya que se encienden o apagan debido a la existencia de material en las bandas conocido por dos sensores de detección de material, o, si está funcionando correctamente todo el proceso: todo esto regulado por medio del controlador y del PLC, que están intercomunicados entre sí.

Cada banda transportadora cuenta con un sensor de detección de material el cual indicará la presencia del mismo en la banda, esta información será enviada al PLC para ser procesada: si se detecta la presencia de material los motores estarán trabajando para transportar la piedra hacia el horno, pero en el caso de que no se detecte material entonces los motores se apagarán para que no estén funcionando sin material en las bandas.

La manera de funcionar de esta sección del sistema es la siguiente: el PLC recibe las señales de los dos sensores de detección de material ubicados a un costado de las bandas, si los dos sensores detectan material entonces arrancarán los motores para el traslado de la piedra: y si ya estaban trabajando continuarán encendidos, esta detección es continua hacia el PLC, por lo que en todo momento se conoce el estado del material en las bandas transportadoras. En dado caso que los dos sensores no detecten material entonces se enviará una señal del PLC hacia los motores los cuales se apagarán, primeramente el motor uno y después el segundo

motor por si hubiera algo de material al final de las bandas tenga un poco de tiempo para poder ser desplazado hacia el horno para tener la posibilidad de que no se quede nada en las bandas. Si se llegase a presentar de que sólo uno de los sensores detecte material en la banda y el otro no, en este caso no se apagarían inmediatamente los motores sino que el PLC esperaría un tiempo para tomar más mediciones para ver si ya hay material y seguir con el funcionamiento normal del proceso pero si ya no se detectó entonces primero se apagaría el primer motor y después el segundo, este escalonamiento es por si hubiera material en la primera banda no se atore al llegar a la segunda, así se desahoga un poco del material que pudiera haber en alguna de las bandas.

En esta sección también se encuentra ubicado un importante equipo responsable de el correcto funcionamiento del sistema y del proceso: el sensor de nivel. Este sensor que funciona por medio de ondas de radio detectará el nivel de piedra dentro del horno, si detecta un nivel bajo entonces manda la señal al PLC y este hacia los motores y los pistones de alimentación y el proceso de carga al horno sigue como se describió anteriormente, pero si se detecta un nivel alto inmediatamente el PLC envía las señales correspondientes a cada mecanismo y todo se apaga para evitar un exceso de piedra en el horno que puede interferir con el buen funcionamiento del proceso. En la FIGURA 5 se presenta el diagrama de bloques del circuito del PLC para observar con más claridad cada uno de los componentes.

3.5. Zona de precalentamiento.

En esta sección lo que sucede es que la flama proveniente de los quemadores que se encuentran situados en la parte media del horno, y, con la ayuda del tiro forzado: alcanza a distribuirla hacia la parte superior del horno, lo que ocasiona que la piedra empiece a aumentar su temperatura poco a poco mientras sigue su descenso, por lo que al llegar a la zona de calcinación no llega tan fría y se cuece mejor y más rápido.

Equipos

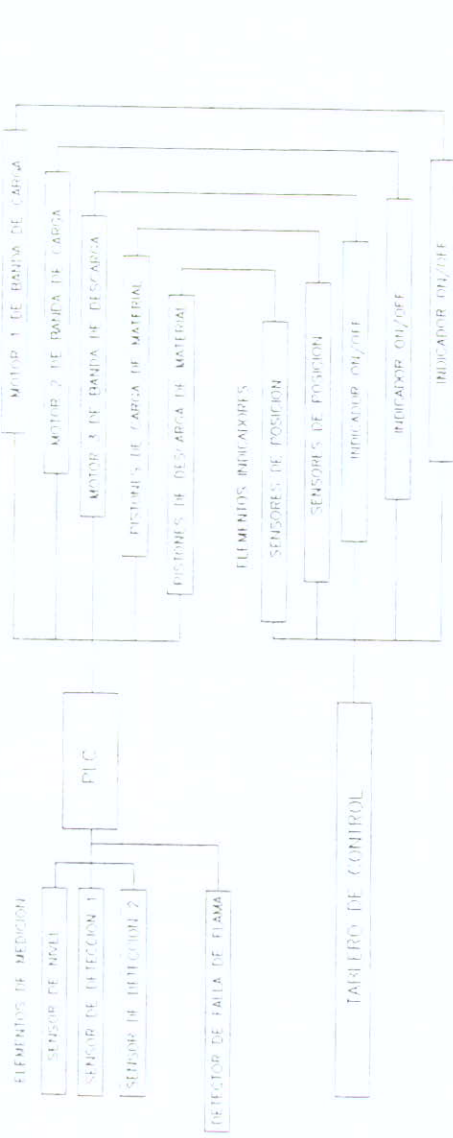


FIGURA 5
Diagrama de bloques circuito del PLC

Al incluirse esta forma de precalentamiento se reduce un poco más el tiempo total del horno ya que alcanza la temperatura deseada en menos tiempo por lo que se ahorra tiempo y energía.

En esta zona también está localizado un transmisor de temperatura el cual envía su señal de salida hacia un registrador que nos mantendrá al tanto de las temperaturas que se presenten a lo largo del proceso como una información adicional del proceso, y este a su vez manda la señal hacia su controlador el cual se encargará de mantener en un cierto rango de temperatura de precalentamiento al material, en dado caso de que la temperatura sea muy alta o también muy baja mandará una señal hacia la válvula de tiro inducido para permitir más o menos paso de aire por ella: así, si la temperatura es muy baja se cerrará cierto porcentaje la válvula para que no fluya tanto aire caliente por la tubería y este se encuentre en contacto con la piedra por más tiempo y la precaliente más, pero si es mayor de lo requerido la válvula se abrirá para extraer más rápido el aire y nos permitirá que la piedra no se caliente tanto.

3.4. Zona de calcinación.

Al llegar la piedra poco a poco a esta zona, aquí la flama le da directamente por medio de los quemadores distribuidos a lo largo de la periferia del horno, situados en la parte media de su altura total. Estos quemadores contienen una mezcla de aire-combustible la cual es regulada por medio de las válvulas que se encuentran a un costado de dicho horno.

A la entrada de los quemadores en las tuberías de aire (vapor de agua) y de combustible (chapopote) se encuentran las válvulas de paso para tener un mejor flujo, y también para en el caso de que se llegase a presentar alguna fuga tener la manera sencilla de cortar el flujo asegurando así el proceso contra posibles explosiones.

En esta zona se encuentra un termopar que manda su señal hacia un transmisor de temperatura, este a su vez manda su señal de salida hacia el registrador de la zona de calcinación y hacia su controlador con el cual se buscará mantener una temperatura uniforme, por medio de estar regulando las válvulas. Cada quemador cuenta con un sensor de falla de flama el cual nos informará y mandará dos señales: una hacia el controlador y otra hacia al PLC en caso de que está llegase a fallar, así tendríamos la información sobre este acontecimiento para revisar cada quemador y proceder a encender nuevamente la flama, para no ocasionar un retraso o un mal cocimiento en la piedra ya que si no se cuece bien ya no puede volver a utilizarse y se tiene que tirar por lo que podría ser una pérdida considerable para la compañía.

El sistema de detección de flama esta ligado tanto al PLC como al controlador, así en dado caso de que uno de los quemadores llegue a fallar lo que sucedería es que manda una señal hacia el controlador e inmediatamente corta el flujo de aire y de combustible para evitar fugas; también manda una señal hacia el PLC y por medio de este apaga los motores y los pistones de carga, deteniendo todo el proceso para su revisión, así con estas acciones se puede prevenir una explosión o un daño en el proceso y en la materia prima.

3.5. Zona de preenfriamiento.

Al estar un tiempo en la zona de calcinación, el material pasa a la zona de preenfriamiento donde al ir avanzando poco a poco hacia la parte inferior del horno va perdiendo temperatura, esto ayudado en gran parte por la entrada de aire proveniente del tiro forzado que se encuentra en la misma parte inferior del horno.

El preenfriamiento se obtiene gracias al tiro forzado que se le ha incluido al proceso, este es por medio de un ventilador que inyecta aire nuevo hacia el horno lo que hace que el material

pierda algo de calor, este aire que se calienta se extrae por medio del tiro inducido. Aquí como en las anteriores zonas también cuenta con un termopar y un transmisor de temperatura, con su respectivo registrador y su señal hacia el controlador, con el cual si la temperatura en la piedra todavía es muy alta mandará la señal hacia la válvula para que abra y permita más flujo de aire para tratar de disminuir la temperatura, y caso contrario, si la temperatura es baja podrá o no regular la válvula para cerrarla, ya que entre menos caliente este la piedra es mejor para su descarga.

Esta zona es muy necesaria ya que se necesita que la piedra esté casi totalmente fría para poder ser descargada a la siguiente etapa del proceso. Al ir pasando por la parte inferior del horno la piedra reposa una determinada cantidad de tiempo para ir perdiendo temperatura para posteriormente pasar a la zona de descarga. El diagrama neumático de los cilindros de descarga se puede observar en la FIGURA 6 que a continuación se presenta.

DIAGRAMA NEUMÁTICO PARA CILINDROS DE COMPUERTAS DE TOLVA DE DESCARGA

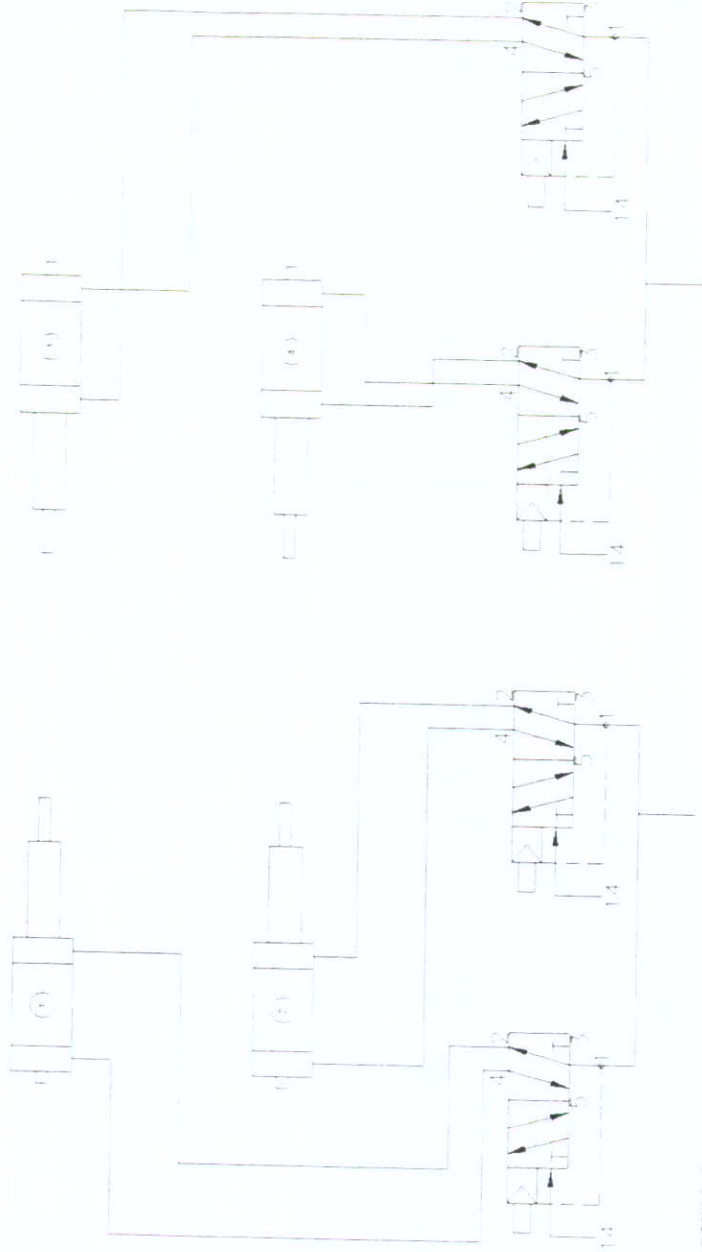


FIGURA 6
Diagrama neumático de tolva de descarga

Fuente
Antoniñan, Neumáticos, Catálogo general, Pág. 1333
Telemecanique, Groupe Schneider

CAPITULO IV
54916.
CONTROL DE LA PRODUCCION

4.1. Sistemas de control.

Los circuitos electrónicos actuales utilizados para obtener los diversos tipos de control hacen amplio uso del amplificador operacional. Es usualmente un amplificador de corriente continua con una ganancia de tensión en lazo abierto normalmente superior a 50.000 y constituye el "corazón" de los controladores electrónicos: puede compararse en cuanto a características de funcionamiento externo al conjunto tobera-obturador de los instrumentos neumáticos. La mayor parte de los amplificadores operacionales son amplificadores diferenciales con tres terminales: un terminal de entrada denominado "no inversor" que hace que la señal de salida cambie en la misma dirección, un terminal de entrada denominado "inversor" que hace que la salida cambie en el sentido inverso, y un tercer terminal de salida.

Los instrumentos electrónicos pueden contener un microprocesador, e incorporar "inteligencia" para permitir, por ejemplo, el ajuste del setpoint y de las acciones PID sin extraer el instrumento de su base en el panel, el autoajuste del instrumento (fijación de los valores de las acciones proporcional, integral y derivada) para acomodarse a las variaciones de régimen de carga del proceso y el auto diagnóstico del aparato.

Los controladores digitales son configurables a través del teclado, pueden realizar el control de multifunción y forman también parte del control distribuido, en el que uno o varios microprocesadores controlan las variables que están repartidas por la planta, conectados por un lado a las señales de los transmisores de las variables y por el otro a las válvulas de control. En las FIGURAS 7 y 8 que se presentan a continuación, se muestran el diagrama de bloques y el diagrama de instrumentación del multilazo de control, donde se presentan las variables a medir y la forma en que están conectadas en el controlador y con sus respectivos equipos de medición y válvulas de control.

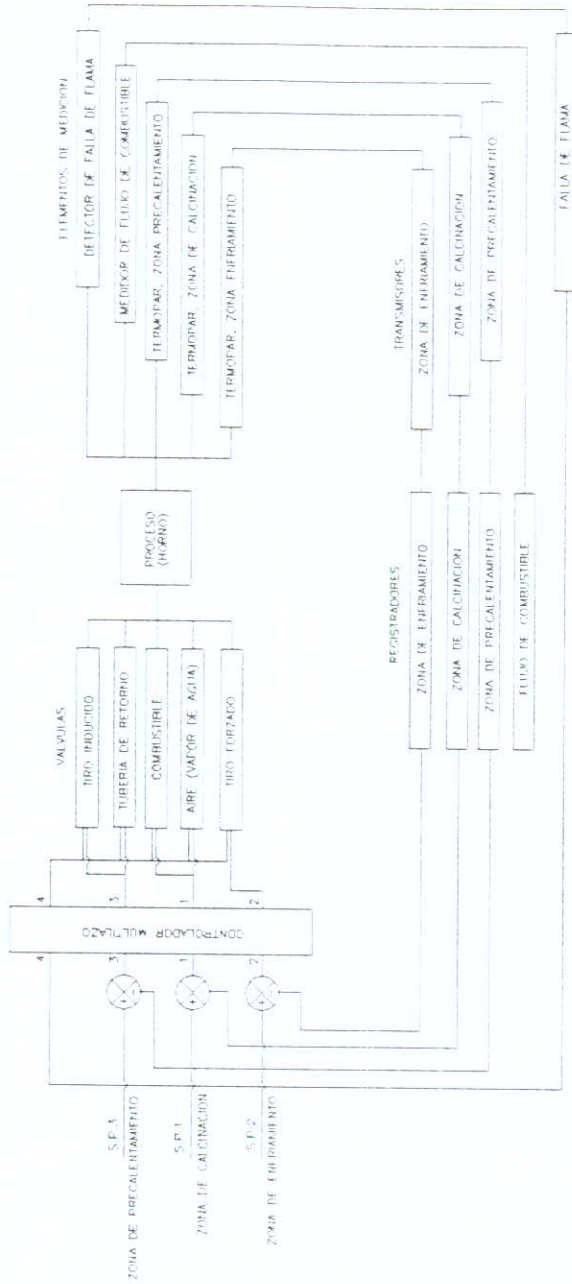
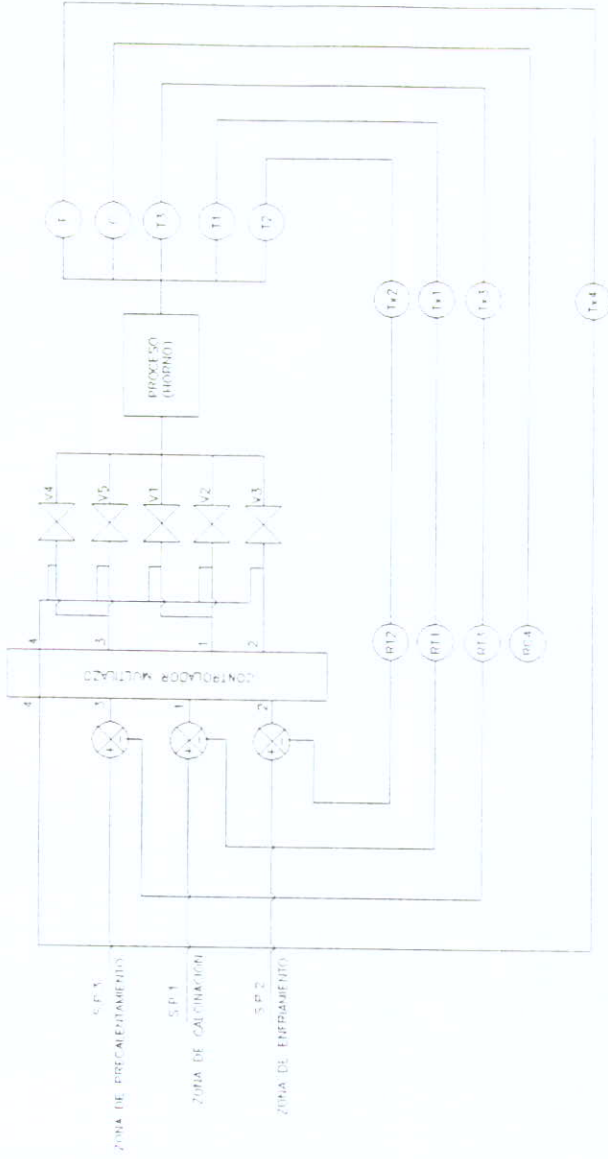


FIGURA 7
 Diagrama de bloques multibloque de control



VALVULAS	ELEMENTOS DE MEDICION	TRANSMISORES	RECEPTORES
V1: COMBUSTIBLE	F: DETECTOR DE FALLA DE FLAMA	T-2: ZONA DE ENFRIAMIENTO	RT2: ZONA DE ENFRIAMIENTO
V2: AIRE (VAPOR DE AGUA)	G: MEDIDOR DE FLUJO DE COMBUSTIBLE	T-1: ZONA DE CALORACION	RT1: ZONA DE CALORACION
V3: AIRE, ENFRIAMIENTO	T1: TERMOPAR, ZONA PRECALENTAMIENTO	T-3: ZONA DE PRECALENTAMIENTO	RT3: ZONA DE PRECALENTAMIENTO
V4: AIRE, PRECALENTAMIENTO	T2: TERMOPAR, ZONA DE CALORACION	T-4: FALLA DE FLAMA	RT4: FLUJO DE COMBUSTIBLE
V5: AIRE, TUBERIA DE RETORNO	T3: TERMOPAR, ZONA ENFRIAMIENTO		

FIGURA 6

Diagrama de instrumentacion del molibdeno de control

4.2 Modos de control

Los modos de control son las respuestas específicas al cambio en la variable medida o en la señal de error. El análisis de modos de control y sus combinaciones mostrarán como mejorar la estabilidad y velocidad de respuesta para lazos cerrados de retroalimentación. La comprensión de los modos individuales en un controlador es esencial para una aplicación exitosa de un control de retroalimentación. Estos modos involucrados son: on-off, acciones proporcionales, integrales, y derivadas. Cada combinación posible representa una solución intermedia entre el costo y desempeño.

Un controlador de retroalimentación debe conectarse en un lazo cerrado, y seleccionar la acción apropiada de control, para establecer retroalimentación negativa. Dadas estas condiciones, el controlador puede resolver el problema de control por una búsqueda de prueba-y-error para las señales de salida que establecen un balance entre todas las influencias sobre la variable controlada.

Seleccionando la acción apropiada de control se establece retroalimentación negativa por definir la dirección de la respuesta del controlador. El próximo objetivo sería determinar la magnitud de esta respuesta. Un controlador en un lazo de retroalimentación está en una posición difícil. Fuerzas impredecibles pueden influir en la medición que está tratando de controlar. También pueden ser peores, las características dinámicas del resto de el lazo, que podrían demorar y deformar las variaciones de señales de salida usadas por el controlador para reducir error. En este ambiente, es extraño el creer que el control es impuesto sobre el proceso, la relación entre un controlador y el proceso es interactiva. Aquí, el tamaño, forma y el valor de las variaciones en las señales de salida del controlador son cruciales para que el controlador restaure la medida al valor del setpoint y se actualice.

Un modo de control es una respuesta particular del controlador al cambio en la medida o error. Las respuestas básicas son:

Proporcional:

Forma de control en la que existe una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control.

Integral:

Forma de control en la que el elemento final se mueve de acuerdo con una función integral en el tiempo de la variable controlada

Derivado:

Forma de control en la que existe una relación lineal continua entre la velocidad de variación de la variable controlada y la posición del elemento final de control.

Las combinaciones sobre estas respuestas básicas existen entre fabricantes de instrumentos de control. A veces, estas respuestas son identificadas con nombres diferentes, o son cuantificadas en unidades diferentes. La respuesta derivada puede generarse de varias maneras -y variando grados de interacción son posibles entre los modos derivados, integrales y proporcionales.

Para situaciones específicas, muchos aspectos especiales se han agregado para mejorar el control, tal como retroalimentación integral externa, los interruptores de lote. En el futuro, la flexibilidad inherente en los algoritmos digitales de retroalimentación aumentarán la especialización y variedad de controladores de retroalimentación. No obstante, los sistemas de control todavía se construirán sobre los fundamentos provistos por las respuestas básicas.

Un controlador es un dispositivo "no pensante": sus respuestas ya están designadas. Es del diseñador seleccionar las apropiadas para cada aplicación. Especificando una combinación equivocada de modos de control conduce a el desempeño pobre del sistema, aumenta la complejidad del problema de calibración, y puede agregar costos innecesarios.

4.3. Selección y ajuste de los sistemas de control.

La selección del sistema de control es usualmente un compromiso entre la calidad del control que se desea y el costo correspondiente, debiendo señalar que no hay excesiva diferencia económica entre un control P o PI o PID. La estabilidad relativa del control es la característica del sistema que hace que la variable vuelva al punto de consigna después de una perturbación y en un tiempo razonablemente pequeño.

El criterio aplicado generalmente es el de área mínima o razón de amortiguamiento según el cual el área de la curva de recuperación debe ser mínima para que la desviación también lo sea en el tiempo más corto, y es lo que ocurre cuando la relación de amplitudes entre las crestas de los ciclos sucesivos es 0.25, es decir, cada onda equivale a una cuarta parte de la anterior.

Este criterio es un compromiso entre la estabilidad de la respuesta del controlador y la rapidez del retorno de la variable a un valor estable: una relación mayor de 1/4 dará mayor estabilidad pero prolongará el tiempo de normalización de la variable, mientras que una relación menor de 1/4 devolverá la variable más rápidamente a su punto de consigna o a un valor estable, pero perjudicará la estabilidad del sistema.

El criterio de rebasamiento mínimo se aplica en la puesta en marcha del proceso e intenta que la variable no sobrepase el punto de consigna o setpoint, o lo haga con el mínimo de rebasamiento con el fin de evitar posibles daños en el proceso. Se aplica en particular en los

casos del control de temperatura de procesos exotérmicos donde el sobrepasar una determinada temperatura puede disparar exotérmicamente la reacción y destruir el producto.

El criterio de amplitud mínima o de vuelta rápida de la variable al punto de consigna se utiliza cuando interesa que la variable retorne al punto de consigna en el mínimo de tiempo posible, es decir, que aquí, la magnitud de la desviación es más importante que su duración.

Este criterio se aplica en el caso de fusión de algunas aleaciones metálicas en que sobrepasar temporalmente una determinada temperatura puede destruir el metal y también en el caso de procesos exotérmicos con el punto de consigna próximo a la temperatura de disparo de la reacción.

Los sistemas de ajuste empleados determinan la banda proporcional (o la ganancia), el tiempo de acción integral en minutos por repetición (o en repeticiones por minuto) y el tiempo de acción derivada en minutos de anticipo, caso de que el controlador posea las tres acciones, para que, acoplados con el resto de los elementos del lazo de control -proceso + transmisor + válvula de control- el conjunto responda ante una perturbación siguiendo uno de los criterios expuestos. Hay que señalar que se acostumbra a utilizar el de área mínima con una razón de amortiguamiento de 0,25.

4.3.1. El Control Proporcional.

El control proporcional se basa en el principio de que el tamaño de la respuesta de controlador debería ser proporcional al tamaño del error. Para lograr esto, el control proporcional liga el cambio en la señal de salida al cambio en el error, con ambos valores es comúnmente expresado como porcentaje de rango.

El aumento de la banda proporcional reduce la inestabilidad y da lugar a la aparición de oscilaciones lentas en la variable y , en el arranque del proceso, hace disminuir el rebasamiento inicial de la variable (esto se ve muy bien en la temperatura).

La disminución de la banda proporcional aumenta las características del regulador para contrarrestar los cambios de carga del proceso, existiendo un valor límite para el cual se obtienen oscilaciones continuas como respuesta ante una perturbación.

4.3.1.1. Propiedades Dinámicas de Acción Proporcional.

La acción proporcional presenta dos propiedades dinámicas, es inmediata y específica.

1 - El enlace entre el error y la señal de salida, representado por el indicador, significa que el cambio de la señal de salida ocurre simultáneamente con el cambio de error. Ninguna demora ocurre en la respuesta proporcional.

2 - Cada valor del error para una banda proporcional determinada genera un valor único de la señal de salida. El generador de respuesta proporcional es incapaz de cualquier otra combinación. Esta relación uno-a-uno entre el error y la señal de salida pone limitaciones severas sobre el desempeño del lazo-cerrado del control proporcional ocasionando un offset (desviación permanente) si ocurre una perturbación.

4.3.2. La Acción Integral.

La acción integral puede combinarse con la acción proporcional para eliminar la compensación (offset) donde es inaceptable. Tal como la acción proporcional, la acción integral también responde al error. Sin embargo, la acción integral está basada en el principio de que la respuesta debería ser proporcional a ambos: el tamaño y duración del error.

Considerando que la acción proporcional liga la señal de salida a la medición mediante el error, la acción integral puede lograr cualquier valor de salida, parando sólo cuando el error es cero. Esta es la propiedad que permite a la acción integral eliminar la compensación (offset). La acción integral es sólo satisfecha cuando la medida ha vuelto al setpoint. Mientras un error existe, la acción integral puede conducir a la señal de salida en la dirección que reduce el error.

La respuesta del lazo-abierto muestra como las acciones proporcionales e integrales se combinan en un controlador, como el que se utilizará en este proceso. Inicialmente, la señal de salida es constante porque el error es cero. Cuando un cambio aparece en el error, un cambio simultáneo ocurre en la señal de salida a causa de la acción proporcional. El tamaño de esta respuesta depende de la banda proporcional. A la vez, la acción integral comienza a conducir la señal de salida. Para un error constante, el ajuste a la acción integral cambia el valor en que la señal de salida se conduce. Este valor es cuantificado desde el punto de vista de que el tiempo requerido para el cambio en la señal de salida (debido a la acción integral) iguale o repita la respuesta ocasionada por la acción proporcional.

Una acción integral demasiado rápida da lugar a inestabilidades en el control.

Una acción integral demasiado lenta causa una respuesta lenta a los cambios en el proceso, tardando la variable un tiempo excesivo en volver al setpoint.

Algunos fabricantes de instrumentos usan unidades dimensionales de minutos/repetición, referidos como un tiempo integral. Otros usan unidades de repeticiones/minuto, referidos como una ganancia integral. La capacidad de la acción integral para eliminar la compensación (offset) es muy grande, y la acción integral es casi siempre especificada para el control de retroalimentación. Sin embargo, esta acción tiene una desventaja importante:

Para crear su respuesta gradual, una capacidad como el retraso está programada dentro del controlador. Esto ocasiona un retraso de fase a través de el controlador y alarga el periodo de oscilación de el lazo, como una función de la contribución relativa de las acciones integrales y proporcionales.

Como la acción proporcional, la acción integral aumenta la ganancia del controlador. Demasiada de esta puede causar que se cicle el lazo de control. En general, el tiempo integral debería ser proporcional a cuan rápido el proceso responde para la acción de control. Si el tiempo es demasiado corto, esto conducirá al operador final a sus límites antes de que la medición sea capaz de responder. Entonces, cuando la medición responda, se disparará el setpoint -ocasionando que el integral conduzca al operador a su límite opuesto.

4.3.5. La Acción Derivativa

Demasiada acción derivativa da lugar a una respuesta rápida del sistema a los cambios en el proceso si éste tiene un pequeño tiempo de retardo, mientras que si el tiempo de retardo es considerable tal como ocurre en el control de temperatura, un exceso de acción derivativa dará lugar a que la variable controlada requiera un tiempo excesivo para alcanzar el punto de consigna. Poca acción derivativa influye muy poco en la respuesta del sistema ante los cambios del proceso.

La acción derivativa correcta elimina ciclos de recuperación después de la perturbación y permite al controlador añadir más acción correctiva de la que se necesitara inicialmente para compensar la inercia del sistema. La acción derivativa tiene el inconveniente de que amplifica cualquier perturbación en forma de ruido que esté presente en el proceso y da lugar a fluctuaciones rápidas en la posición de la válvula de control; de aquí que sólo se emplee en procesos libres de ruido tales como los de temperatura y a veces presión, siendo perjudicial en

el caso de caudal y empleándose sólo en muy pocas veces en el control de nivel. En este proceso no se utilizará este modo de control por que sólo el proceso de temperatura es el único que no produce ruido, no así el de nivel como se mencionó anteriormente, por lo que para evitar cualquier conflicto con el transmisor y el controlador se optará por no incluirlo en el modo de control del sistema.

4.3.4 Banda proporcional.

Es el porcentaje de variación de la variable controlada necesario para provocar una carrera completa del elemento final de control. Es también el recíproco de la ganancia.

El control de temperatura se caracteriza por su lentitud al existir retardos en los instrumentos captadores y el proceso. De aquí que se suele emplear una banda proporcional moderada del orden del 50% (ganancia 2) al 100% (ganancia 1).

En el control de nivel, la mayor parte de los tanques son utilizados como capacidad o pulmón de reserva en los procesos de fabricación de los productos. En estos casos no tiene importancia el valor del nivel controlado mientras éste se mantenga entre un máximo y un mínimo. De aquí que se suele usar el control proporcional con el setpoint situado en general en el 50% del nivel del tanque, sin importar demasiado la existencia de un offset o desviación de la variable.

El valor empleado de la banda proporcional da lugar a que las posiciones extremas de el mecanismo de control correspondan a los valores mínimos o máximos deseados en el nivel, es decir, si por ejemplo, estos valores abarcan todo el tanque, la banda proporcional será del 100% y si corresponden al 40% y al 80% del nivel, la banda proporcional será del 40% y el

setpoint estara situado en el 60% del nivel con una señal de salida para este valor de 9 psi o de 12 mA c.c. segun que el instrumento sea neumatico o electronico.

4.3.5. Banda integral

Una vez ajustada la acción proporcional pueden seleccionarse los siguientes valores:

En el control de temperatura, el valor del tiempo de acción integral (minutos repetición) equivale aproximadamente a la constante de tiempo del proceso, es decir, al tiempo necesario para que la variable alcance el 63,2% del intervalo comprendido entre el valor inicial y el valor final con que la variable se estabiliza ante una entrada en escalón. Cuanto más rápido sea el proceso, tanto más pequeño podrá ser el tiempo de acción integral.

En el control de nivel no se acostumbra emplear la acción integral a no ser que el tanque a controlar se utilice como tanque final de entrega del producto terminado o bien que el mantenimiento del nivel para alimentar un proceso posterior sea muy crítico. En este proceso como el control de nivel está no es muy crítico no se utilizará este modo de control. Se utilizará solamente en la medición de la temperatura.

4.3.6. Banda Derivativa.

Una vez ajustadas las acciones proporcional e integral, los valores a seleccionar de la acción derivada son los siguientes:

En el control de temperatura, el tiempo de la acción derivativa es del orden de la cuarta parte de la constante de tiempo del proceso; así, si este tiempo de reacción del proceso ante un cambio en la posición de el elemento final de control es de 3 a 5 minutos, convendra situar el valor inicial de 1 minuto de anticipación y si dicha constante de tiempo de reacción de proceso es muy lenta, del orden de 15 o más minutos, será preferible no situar ningun valor inicial por

la influencia perjudicial que podría tener en el control del proceso, al ser excesivamente alto el valor de la acción derivativa y existir el peligro de presentarse en el proceso perturbaciones en forma de ruido. Por lo tanto en el proceso de calcinación no se utilizará el control derivativo para no causarle problemas al ciclo.

En el control de nivel tampoco se suele emplear la acción derivada por que el tiempo de reacción del proceso es muy rápido, es decir, el tiempo necesario para que el transmisor capte un nuevo valor de la variable, después de haber iniciado una corrección en el elemento final de control, es de segundos, por lo cual no hay lugar para la aplicación de la acción derivativa, la cual se anticipa a la acción proporcional. Por otro lado, existiendo generalmente pulsaciones en la presión y en el caudal, la aplicación de la acción derivativa daría lugar a un control en el que el elemento final de control actuaría a "saltos" al derivar el instrumento los valores en pico de la variable.

4.4. Calibración de los modos de control.

El calibrar un controlador es acompañado por la medición de ciertas características de un lazo de control. Las técnicas para estas medidas iniciales son críticas porque ellas son la base para los subsiguientes parámetros del controlador. Una guía generalizada de calibración para determinar los parámetros del controlador requiere el uso de un modelo. El modelo comúnmente elegido -representativo de muchos procesos y sus sistemas de control- es uno que tiene una ecuación de primer orden con tiempo muerto.

Los modos de control que se considerarán son las combinaciones más frecuentemente encontradas de acciones proporcionales, integrales o reset, y derivadas. Al determinar los parámetros del controlador, dos métodos -lazo abierto con respuesta de paso y ciclo de lazo cerrado- se usan para medir sus características.

4.4.1. Control proporcional

El funcionamiento del controlador proporcional se basa en que a cada posición del sistema tobera-obturador le corresponde una determinada señal de salida que depende de la banda proporcional escogida. En esencia el controlador proporcional se comporta como un transmisor cuyo campo de medida varia a voluntad. Cuando la banda proporcional sea del 100%, el controlador se comportará como un verdadero transmisor.

Siempre que el controlador sea proporcional o bien se haga proporcional anulando o situando al mínimo las acciones integral o derivada, si coinciden la variable y el setpoint, la señal de salida del controlador debe ser la mitad del campo de 3 a 15 psi (0.2 a 1 bar) = 9 bar.

Téngase en cuenta que si hay acción integral, ésta podría haberse acumulado desplazando la banda proporcional. Para anular esta acumulación es necesario desplazar el setpoint para obtener un error del signo contrario y así la acción integral al detectar una desviación de signo contrario anula poco a poco la acumulación citada. Para centrar la señal de salida en 9 psi se pasa el instrumento a manual, se fija la presión de salida en 9 psi y se pasa después a automático, debiendo mantenerse la señal de salida en estos 9 psi con la variable y el setpoint en coincidencia. Hay que señalar que algunos instrumentos disponen de un ajuste excéntrico del setpoint que sirve para compensar el offset del controlador proporcional.

4.4.2. Control integral

La comprobación de la acción integral se lleva a cabo del modo siguiente:
Se sitúan la banda proporcional en el 100%, la variable y el setpoint en el 50% de la escala, el índice de la acción integral en 1 repetición minuto (o minuto por repetición), y la presión de salida a la válvula de control en 9 psi, mediante el paso inicial a manual, fijación en 9 psi y vuelta a automático.

En estas condiciones se introduce una entrada en escalón aumentando, por ejemplo, el setpoint un 25% de la escala. La señal neumática, indicada por el índice de la señal a la válvula, crece inmediatamente a 12 psi por la acción proporcional y se ira moviendo lentamente hasta que, al cabo de un minuto, debe haber repetido los 3 psi en que aumentó la acción proporcional, alcanzando los 15 psi.

Igual resultado se obtendría partiendo de una banda proporcional del 100%, el setpoint en el 50% de la escala, la presión de salida a la válvula de control a 9 psi y con la acción integral anulada e introduciendo una entrada en escalón por aumento del setpoint en un 25%. La señal neumática aumentará inmediatamente a 12 psi. A continuación se lleva rápidamente la acción integral a 1 repetición minuto (o 1 minuto por repetición) con lo cual la señal debe repetir los 3 psi en 1 minuto pasando a 15 psi.

4.4.3. Control proporcional-integral.

El controlador proporcional-integral (PI) es probablemente el más frecuentemente encontrado. Su ventaja es la respuesta rápida y cero desviación desde el setpoint hasta el estado constante. El procedimiento de calibración para un controlador PI es algo más difícil de evaluar porque existen dos tipos de ajustes, y muchas combinaciones de estos producen QAD (amortiguamiento de un cuarto de amplitud). Por lo tanto, otros criterios son necesarios para evaluar los parámetros predeterminados para el controlador. Se ha demostrado que el periodo de amortiguamiento de un controlador PI adecuadamente calibrado puede ser aproximadamente $1.5T_0$, donde T_0 es el periodo con oscilaciones sostenidas en el proceso.

Por el aumento de la acción integral en el controlador, el periodo de amortiguamiento podría aumentar, y la oscilación sobre el valor final sería más larga.

Disminuyendo la acción integral producirá una respuesta que tomará más tiempo volver al setpoint.

4.5. Calibración de controladores.

4.5.1 Calibración de controladores electrónicos.

La calibración de los instrumentos electrónicos se realiza utilizando maletas de calibración especiales suministradas por los fabricantes para sus aparatos, o bien circuitos capaces de generar y recibir las señales estándar.

La calibración se reduce a seguir la marcha recomendada por el fabricante en sus manuales de mantenimiento, en los que figuran las bornas de conexión de entrada y salida de señal y de alimentación del aparato. La calibración se efectúa por partes del aparato, generador del setpoint, amplificador operacional, bloque proporcional, bloque integral y bloque derivativo, unidad automático-manual, etc.

4.5.2 Calibración de instrumentos digitales.

En los instrumentos inteligentes de salida electrónica o digital, en particular en los transmisores, la calibración se ve facilitada por la "inteligencia" proporcionada por el microprocesador incorporado en el instrumento. Este guarda digitalmente en una EPROM los datos que proporcionan correcciones precisas de las no linealidades de los sensores ante variaciones. Un comunicador portátil dotado de visualizador de cristal líquido y teclado alfanumérico, permite comprobar desde el propio transmisor o bien desde el controlador, o desde cualquier punto de la línea de conexión (2 hilos) el estado y calibración del transmisor.

De este modo:

-La comunicación con el transmisor suspende la señal de salida del transmisor hasta tanto no ha terminado la interrogación.

-El transmisor genera continuamente un informe de auto diagnóstico que es accesible al comunicador.

-El comunicador visualiza las lecturas enviadas por el transmisor en las unidades de ingeniería seleccionadas.

-A través del teclado alfanumérico del comunicador puede enviarse el número de identificación del instrumento y los valores inferiores y superiores al campo de medida a los que se desea recalibrar el aparato, así como aplicar automáticamente una presión de calibración estándar.

Los transmisores y controladores inteligentes se prestan también al auto diagnóstico de sus partes electrónicas internas, función que proporciona al departamento de mantenimiento: primero el conocimiento de la existencia de un problema en el circuito, segundo el diagnóstico y la naturaleza del problema, señalando que instrumento ha fallado, y tercero las líneas a seguir para la reparación o sustitución del instrumento averiado.

Si se presenta una avería directa en el elemento en contacto con el proceso precisará el cambio del aparato o del módulo en contacto con el proceso, pero tampoco será necesaria la calibración en el taller con aparatos patrón. Así pues, tanto en la puesta en marcha como en operación, los instrumentos "inteligentes" no precisan de aparatos patrón para su calibración, pues disponen de datos almacenados en EPROM en fábrica (normas NBS), por lo que la

eventual calibración que pueda realizarse en el taller será de peor calidad que la efectuada con el comunicador.

Presentan las siguientes características:

-Su utilización representa un ahorro del 96% en los costos de recalibración.

-Proporcionan además un informe detallado de las condiciones de funcionamiento existentes.

Se consigue además, de este modo, una relación "turndown" (relación entre el nivel mínimo de la variable al máximo que es medible conservándose la precisión de la medida del instrumento) de 400:1, frente a la relación de 1 a 6 de un transmisor convencional, lo que posibilita la reducción drástica del número de transmisores en stock al poder utilizar prácticamente un solo modelo para cubrir los diferentes campos de medida utilizados hasta entonces en la fábrica.

Los instrumentos inteligentes proporcionan un aumento en la precisión de la señal transmitida y en la precisión del lazo de control del orden del 0.15%. El transmisor con señal de salida enteramente digital proporciona un aumento en la precisión del lazo de control del orden del 0.75% al eliminar los convertidores A/D (analógico-digital) del transmisor y D/A (digital-analógico) del receptor (indicador, registrador o controlador).

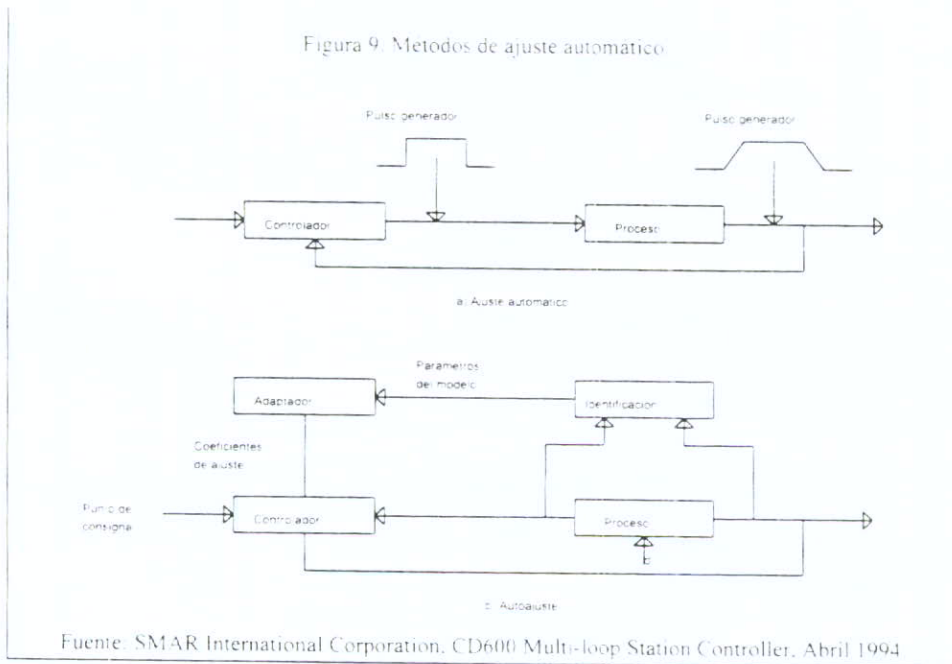
La "inteligencia" se aplica también a otras variables, tal como la temperatura, donde el transmisor puede trabajar con distintas sondas de resistencia y termopares y diversos campos de medida, gracias a la linealización de las escalas y a la compensación de la unión fría que aporta el microprocesador.

4.5.3. Calibración del controlador del sistema

El instrumento controlador dispone de un algoritmo de autoajuste de las acciones de control que le permite sintonizar con una amplia gama de procesos industriales. Existen varias formas de realizar el autoajuste²:

a) La aplicación de una señal de prueba al proceso y el análisis de su respuesta con la obtención de un modelo matemático y el diseño analítico del controlador, o bien el uso de las formas del método de ganancia límite

b) El análisis continuo u ocasional (ante una perturbación o una modificación del setpoint) del proceso sin aplicar señales de prueba, sin perturbar pues el proceso, pero con el inconveniente de no detectar los cambios lentos del mismo. Se trata de controladores adaptativos. En la FIGURA 9 pueden verse estos dos tipos de sistemas de ajuste.



²Tomado de: CD600 Digital Multi-Loop Station Controller, Smar International Corporation, Abril 1994.

La computadora puede utilizarse (por ejemplo, dentro del control distribuido) para ajustar las acciones de control con técnicas off-line que trabajan con modelos dinámicos del proceso, y con técnicas on-line que identifican la dinámica del proceso con la planta en operación. La computadora realiza cálculos, verifica lo que ha hecho el operador, y realiza los ajustes en el controlador.

La computadora personal también puede utilizarse (con el software adecuado) en el análisis y ajuste del lazo de control. El programa obtiene datos de la variable de proceso a partir de la respuesta en lazo cerrado a un escalón o impulso y guarda los valores de la variable medida y de la señal de salida de controlador en archivos ASCII, tipo LOTUS o Notebook o similares. Analizando estos datos, calcula los valores de las acciones P, PI, PD o PID del controlador.

A señalar que en los controladores analógicos neumáticos o electrónicos, el ajuste de los valores de las acciones se realiza en diales de pequeño diámetro con graduaciones muy separadas, con lo cual la precisión del ajuste no supera el $\pm 15\%$ del valor seleccionado. Por contra, los controladores digitales permiten ajustes exactos y repetitivos, lo que es indudablemente una ventaja, si cualquier aparato es sustituido por razones de mantenimiento.

4.6. Modos de control del proceso.

Para el proceso de calcinación que es el más importante de todos los pasos se determinó utilizar un tipo de control PI, Proporcional-Integral. Su principal ventaja es la respuesta rápida y cero desviación desde el setpoint hasta el estado constante. Esto es muy importante en este sistema, lo que se quiere conseguir es un modo de control que mantenga lo mejor posible la estabilidad del proceso y que se tenga una respuesta rápida a la aparición de errores en el ciclo, y que al corregir el error no se desvie mucho del valor pre-asignado. No se utilizará el modo de control Derivativo por que al sensar la temperatura no se necesita velocidad de respuesta, ya

que el proceso no es muy rápido (tiempo del ciclo de cocimiento). Además por que sólo el proceso de temperatura es el único que no produce ruido, no así el de nivel, por lo que para evitar cualquier conflicto con el transmisor y el controlador se optará por no incluirlo en el modo de control del sistema. También será preferible no situar ningún valor inicial del modo derivativo por la influencia perjudicial que podría tener en el control del proceso, al ser excesivamente alto y existir el peligro de presentarse en el proceso perturbaciones en forma de ruido; por lo tanto en el proceso de calcinación no se utilizará el control derivativo.

En el control de nivel tampoco se suele emplear la acción derivada por que el tiempo de reacción del proceso es muy rápido, es decir, el tiempo necesario para que el transmisor capte un nuevo valor de la variable, después de haber iniciado una corrección en el elemento final de control, es de segundos, por lo cual no hay lugar para la aplicación de la acción derivativa, la cual se anticipa a la acción proporcional.

La manera de ajustar el sistema en el modo manual del controlador sería del siguiente modo: Si el nivel de oscilación es rápido se baja la ganancia, esto únicamente se puede hacer por el método de prueba y error, por lo general son valores o porcentajes muy bajos los que se le dan al controlador para la calibración. Estos no se pueden obtener a ciencia cierta hasta no saber como funcionará el sistema, así que mediante mediciones y ya en la etapa de pruebas es cuando realmente se podrá determinar que tanto habrá que ajustarse. Una ventaja muy importante es que con este tipo de controlador se elimina el ruido del transmisor que nos podría perjudicar en la calibración del sistema.

CAPITULO V
INSTRUMENTACION

5.1 Clases de instrumentos

Según la función del instrumento se tiene:

Instrumentos *ciegos* sin indicación visible de la variable.

Instrumentos *indicadores* con un índice que señala en una escala graduada el valor de la variable, o bien si es digital muestra la variable en forma numérica con dígitos.

Instrumentos *registradores* de gráfico circular (es normal 1 revolución en 24 horas) y de gráfico rectangular o alargado (la velocidad normal es de 20 milímetros hora).

Elementos primarios en contacto directo con la variable. Convierten la energía de la variable medida en una forma adecuada para la medida.

Transmisores que transmiten la variable a distancia en forma de señal neumática o electrónica o digital.

Transductores que modifican el tipo de señal de entrada. Son transductores un relé, un transmisor, un convertidor P/I (presión de proceso a intensidad). Un caso particular son los convertidores P/I o I/P (señal neumática de entrada a electrónica de salida o viceversa).

Receptores que reciben la señal procedente de los transmisores y la indican, registran o controlan.

Controladores que comparan la variable controlada con un valor deseado y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la desviación y el modo de control.

Elemento final de control que recibe la señal del instrumento controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control. En el control neumático el elemento es un servomotor neumático acoplado a una válvula de desplazamiento vertical; en el control electrónico se trata de un motor eléctrico acoplado a una válvula de desplazamiento circular o también de un convertidor de intensidad a presión (I/P) que convierte la señal electrónica a neumática para alimentar un servomotor neumático, o bien de un conjunto de rectificadores de silicio que varían la corriente de alimentación de unas resistencias de calentamiento; en el control digital

se emplea un convertidor de señal digital a neumática. Y en el control eléctrico se utiliza un servomotor eléctrico.

5.2 Sensores, transmisores y elementos finales de control

En esta sección se presenta parte del equipo físico necesario en la construcción de un sistema de control. Se explican algunos de los sensores más comunes para tener un conocimiento general más amplio del equipo existente en el mercado.

5.2.1. Sensores

Sensores de flujo

El medidor de flujo más importante es el medidor de turbina, que es uno de los más precisos de que se dispone comercialmente. Su principio de funcionamiento se basa en un rotor que se hace girar con el flujo del líquido o gas; la rotación de las aspas se detecta mediante una bobina de colección magnética, la cual emite pulsos a una frecuencia que es proporcional a la razón de flujo volumétrico; este pulso se convierte en una señal equivalente de 4-20 mA., de manera que se pueda utilizar con instrumentación electrónica estándar. el convertidor o transductor es generalmente parte integral del medidor

Sensores de Temperatura.

La medida de temperatura constituye una de las más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Los instrumentos de temperatura empleados más comúnmente son los siguientes: termómetro de vidrio, termómetros bimetalicos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor, termopares, termómetros de resistencia y pirómetros de radiación. La temperatura, junto con el flujo, es la variable que con mayor frecuencia se mide en la industria de proceso; una razón simple es que casi todos los fenómenos físicos se ven afectados por esta. La temperatura se utiliza frecuentemente para

inferir otras variables del proceso: dos de los ejemplos más comunes son las columnas de destilación y los reactores químicos.

Los termómetros de dispositivos resistivos (RTD) son elementos que se basan en el principio de que la resistencia eléctrica de los metales puros se incrementa con la temperatura y, ya que la resistencia eléctrica se puede medir con bastante precisión, esto proporciona un medio para medir la temperatura con mucha exactitud. Los metales que se utilizan más comúnmente son platino, níquel, tungsteno y cobre.

Otro elemento muy utilizado y que va a ser utilizado en este proyecto por ser el más exacto es el Termopar, el cual su principio de funcionamiento es el siguiente: Se establece que hay un flujo de corriente eléctrica en un circuito de dos metales diferentes si las dos uniones están a temperaturas diferentes (Efecto Seebeck, en el año de 1821). El voltaje que se produce con este efecto termoeléctrico depende de la diferencia de temperatura entre las dos uniones y los metales que se utilicen. El tipo más común de termopares son platino-platino/rodio, cobre-constantan, hierro-constantan, cromel-alumel y cromel-constantan. Algunas de sus características se mencionan en la Tabla 6 que se presenta a continuación.

Tabla 6. Características de los transductores eléctricos de temperatura *

ELEMENTO	PRECISION	REPETIBILIDAD	TEMP. MAXIMA
Pt-Pt Rd	1-3°C	≈0.11°C	1600°C
Cobre-Constantan	0.4-0.8°C	≈0.11°C	370°C
Hierro-Constantan	1.1-2.2°C	≈0.11°C	550°C
Cromel-Alumel	±3°C	≈0.11°C	1100°C
Cromel-Constantan	±3°C	≈0.11°C	1100°C

*Fuente: Instrumentos Industriales, su ajuste y calibración, Alfaomega Marcombo, 2ª Ed., Pág. 81

5.2.2. Transmisores.

Los transmisores pueden trabajar con varios tipos de señales: neumáticas, electrónicas, hidráulicas y telemétricas siendo las más empleadas en la industria las dos primeras.

Los transmisores neumáticos generan una señal neumática variable linealmente de 3 a 15 psi (libras por pulgada cuadrada) para el campo de medida del 0 al 100% de la variable. En los países que utilizan el sistema métrico decimal se emplea además la señal 0.2-1 bar (1 bar = 1.02 kg/cm²) que equivale aproximadamente a 3-15 psi (3 psi = 0.206 bar o 0.21 kg/cm², 15 psi = 1.033 bar o 1.05 kg/cm²). También está todavía en uso la señal de 0.2-1 kg/cm², que cada vez es menos utilizada por no estar normalizada.

Los transmisores electrónicos generan una señal estándar de 4-20 mA c.c., a distancias de 500 m. a 1 km. según sea el tipo de instrumento transmisor. Todavía pueden encontrarse transmisores que envían señales: 1-5 mA c.c., 0-5 mA c.c., 0-20 mA c.c., 1-5 V c.c. utilizadas anteriormente a la normalización de la señal indicada de 4-20 mA c.c.

Ultimamente se ha estado trabajando con las fibras ópticas en la transmisión: se están utilizando en lugares de la planta donde las condiciones son duras (campos magnéticos intensos, ...). El microprocesador ha permitido la aparición de los instrumentos "inteligentes" que, aparte de transmitir la señal con más precisión, pueden efectuar cálculos adicionales (compensación del nivel de un tanque, considerando, la presión, la temperatura y la forma del tanque; extracción de raíz cuadrada para sistemas de medición de flujo que utilizan placa de orificio) y ha facilitado, a partir de 1986, el transmisor con señal de salida enteramente digital. Esta digitalización de las señales, si bien es diferente en cada fabricante de instrumentos, está experimentando un proceso de normalización a cargo del Comité SP50 de ISA.

Transmisores neumáticos.

Los transmisores neumáticos se basan en el sistema tobera-obturador que convierte el movimiento del elemento de medición en una señal neumática. Consiste en un tubo neumático alimentado a una presión constante con una reducción en su salida en forma de tobera, la cual puede ser obstruida por una lamina llamada obturador cuya posición depende del elemento de medida.

Transmisores electrónicos.

Los transmisores electrónicos, en forma análoga a los neumáticos, emplean generalmente un elemento de medida para captar mecánicamente la variable de proceso. El transmisor electrónico se comporta esencialmente como una resistencia variable intercalada en un circuito que contiene una fuente de tensión continua, y un receptor con su carga correspondiente.

Transmisor electrónico de presión.

Estos transmisores son del tipo movimiento-balance. Con un incremento en el diferencial de presión se accionan los diafragmas del elemento de medición y se desarrolla una fuerza con la que se mueve la parte inferior de la barra de fuerza hacia la izquierda. Este movimiento se transfiere a la unidad de medición de la fuerza de deformación a través de un alambre de conexión. En la unidad de medición de la fuerza de deformación se tienen cuatro medidores de fuerza que se conectan en configuración puente; con el movimiento de la barra de fuerza se causa un cambio de resistencia en los medidores de fuerza, mediante el cual se produce una señal diferencial proporcional al diferencial de presión que entra, misma que se aplica a las entradas del amplificador de entrada. Un lado de la señal se aplica directamente a la entrada del amplificador con inversión, y el otro a la entrada sin inversión, a través de una red de cero, con la cual se obtiene el ajuste a cero del transmisor. Con la señal que sale del amplificador de entrada se maneja al regulador de corriente de salida, por medio del cual se controla la

corriente de salida del transmisor a través de la red de escala y el circuito sensor de corriente de salida. Con la red de escala se obtiene el ajuste de escala del transmisor; la señal de esta red se retroalimenta al circuito de entrada mediante un amplificador con almacenamiento (buffer) y se utiliza para controlar la ganancia del circuito de entrada. Si la corriente de salida del transmisor se incrementa más allá de 20 mA C.D., el voltaje que pasa a través de la resistencia de detección de corriente activa el limitador de corriente de salida, con lo cual se limita la salida.

5.2.3. Elementos finales de Control.

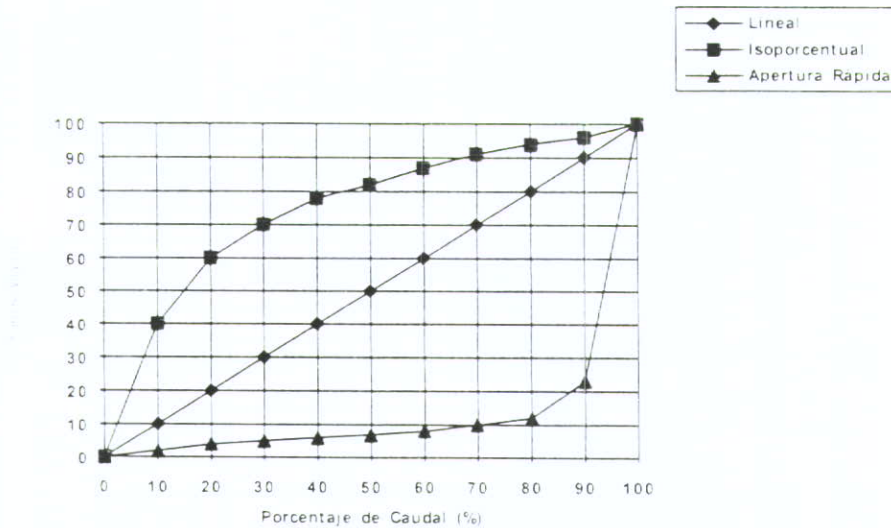
Válvulas de control.

La válvula de control realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida; su función es tan importante como las del elemento primario, el transmisor y el controlador.

El obturador de la válvula determina su característica de caudal, es decir, la relación que existe entre la posición del obturador y el caudal de paso del fluido. La característica de caudal inherente se refiere a un fluido incompresible fluyendo en condiciones de presión diferencial constante y sus curvas más significativas son las de apertura rápida, la lineal, la isoporcentual, la parabólica, la de tajadera, la mariposa y la Saunders siendo las más importantes la lineal y la isoporcentual. En la FIGURA 10 pueden verse varias curvas características correspondientes a varios tipos de obturadores.

El servomotor neumático consiste en un diafragma con resorte que trabaja generalmente entre 3 y 15 psi (0,2-1 bar), es decir, de modo que las posiciones extremas de la válvula

Figura 10
- Curvas Características



Fuente: Instrumentos Industriales, su ajuste y calibración. Antonio Creus, 1993, Pág. 91

corresponden a 3 y 15 psi (0,2 y 1 bar); existe una proporcionalidad entre la señal de presión y la posición correspondiente del obturador. El servomotor eléctrico es un motor eléctrico acoplado al vástago de la válvula que se caracteriza fundamentalmente por su par y por el tiempo requerido (usualmente 1 minuto) para hacer pasar la válvula de la posición abierta a la cerrada o viceversa. Existen básicamente tres tipos de servomotores eléctricos de control capaces de actuar sobre el motor: todo-nada, flotante y proporcional.

Las válvulas de globo son una familia de válvulas que se caracteriza por una parte de cierre que viaja en línea perpendicular al asiento de la válvula, y se utilizan principalmente para propósitos de estrangulamiento y control de flujo en general. La válvula se divide en dos áreas

generales: el actuador y el cuerpo. El actuador es la parte de la válvula con que se convierte en movimiento la energía que entra a la válvula para aumentar o disminuir la restricción de flujo.

Electroposicionador de la válvula de control.

Un electroposicionador es un dispositivo cuya acción es muy semejante a la de un controlador; su función es comparar la señal del controlador con la posición del vástago de la válvula. Si el vástago no está en la posición que indica el controlador, con el posicionador se añade o el mina aire de la válvula hasta que se logra la posición correcta; es decir, cuando es importante posicionar el vástago de la válvula con precisión, normalmente se utiliza un electroposicionador. Este equipo recibe una señal eléctrica como entrada de 1-5 Volts, 4-20 mA, o 10-50 mA., y emite una señal neumática hacia la válvula.

Accionador de pistón.

Normalmente, los accionadores de pistón se utilizan cuando se requiere máxima confiabilidad junto con una respuesta rápida. Lo cual generalmente ocurre cuando es alta la presión de proceso con la que se trabaja. Estos accionadores operan con un suministro de aire a alta presión de más de 150 psig.. Los mejores diseños son de acción doble, con el fin de brindar máxima confiabilidad en ambos sentidos.

Elementos finales electrónicos.

En procesos tales como hornos, tratamientos térmicos y máquinas de extrusión, la regulación precisa de la variable controlada (que suele ser la temperatura) obliga a controlar la potencia entregada a las resistencias finales de calefacción. Esta función la realiza el rectificador controlado de silicio de dimensiones reducidas que trabaja con una altísima densidad de corriente; actúa en forma parecida a una válvula de control variando la corriente

en la línea de alimentación a la carga en la misma forma en que una válvula cambia el caudal de fluido en una tubería.

5.3 Descripción y especificaciones de los instrumentos.

A continuación se da una descripción de los instrumentos comenzando por los del cuarto de control y finalizando con los de campo.

Tablero de Control.

Se trata de un tablero completo y cableado internamente, para sólo recibir los cables de alimentación y los de las señales de campo, con pintura resistente a la corrosión en lámina calibre 14, con dimensiones generales de 2.40 m. de ancho por 2.00 m. de altura y aproximadamente 1 m. de profundidad, donde estarán montados los instrumentos que se indican a continuación:

Registradores.

Se contará con cuatro de ellos, y estarán localizados en cada zona del horno así como en la línea de flujo de combustible. De la marca Eurotherm Chessell, electrónicos de 6 canales, alimentación de 110 volts de corriente alterna, con display para indicación, configurable, que incluye las siguientes opciones:

- 4 alarmas con salida a relevador.

- entrada de 6 eventos discretos.

- retransmisión de señal de 4-20 mA.

- tarjeta de hasta 3 cálculos matemáticos.

Controlador Multilazo

Será el principal componente del multilazo de control, al el estarán conectados los setpoints de las tres diferentes zonas del horno así como el sensor de la falla de flama. Su salidas estarán conectadas a las cinco válvulas principales del sistema (ver FIGURA 7). De la marca SMAR, modelo CD-600. Son equipos electrónicos configurables con hasta 8 entradas analógicas, 8 salidas analógicas para hasta 4 lazos de control independientes con hasta 8 funciones PID, estación de respaldo para salidas analógicas y discretas, display alfanumérico de 8 dígitos, más de 120 bloques de funciones disponibles para el usuario, salida digital para comunicación por puerto EIA-485 serial.

Especificaciones:

Fuente de poder	24 Vdc
	110/127/220 Vac
	60/50 Hz
Lazos monitoreados	4 Lazos simples o complejos, hasta 8 PID's
Entradas analógicas	8 1 a 5 Vdc o 0 a 5 Vdc con una impedancia de entrada de 1 MOhm
	4 a 20 mAdc o 0 a 20mAdc, con resistencias de 250 Ohms
	Exactitud de conversión: ± 0.007 V
Entradas digitales	4 Contacto abierto: 10 KOhms minimos o 3 a 24 Vdc
	Contacto cerrado: 200 Ohms máximos o 0 a 1.7 Vdc máximos
	2 entradas pueden ser usadas para frecuencia, de 10 Hz a 10 Khz
Salidas analógicas	8 4- 4 a 20 mAdc o 0 a 20 mAdc, con un máximo de 750 Ohms
	Resolución: ± 0.050 mA
	4- 1 a 5 Vdc o 0 a 5 Vdc, con un mínimo de 1500 Ohms

		Resolución: $\pm 0.015\text{ V}$
Salidas digitales	8	Transistor de colector abierto, 45 Vdc, 100 mA como máximo
Fuente auxiliar		24 Vdc, 160 mA máximo para 8 transmisores de campo
Tiempo de proceso de ciclo		Ajustable (100 - 250 ms)
Condiciones de Instalacion		Ambiente: 0 a 45°C, 20 a 90% H.R.

Controlador Lógico Programable (PLC)

De la marca Telemecanique y de la serie TSX67-40, que consta de los siguientes accesorios: memoria TSX-RPM, fuente TSX-SUP-702, rack TSX-RKN-82, rack TSX-RKS-W11, rack TSX-RKN-8, tarjeta entrada TSX-DET-1612, tarjeta entrada TSX-DET-1604, entradas analógicas TSX-AEM-811, salidas analógicas TSX-ASR-402. Viene siendo el cerebro del sistema, cuenta con una tarjeta de procesador 67-40, fuente de poder, 10 tarjetas de 16 entradas cada una, 8 tarjetas de 16 salidas cada una, 7 tarjetas para entradas y salidas analógicas, y consta de las siguientes características:

- variedad de interfaces.
- modulares mixtas E/S programables.
- posición de respuesta programable
- autoprueba y protección integradas.
- conforme a las normas FIPIO.
- velocidad del bus de campo: 1 Mbps.
- medio: par doble blindado.
- longitud
- 1 segmento: 1000 m.
- máximo 5 segmentos: 5000 m.
- servicios.

coordinación de E.S.

mensajería UNI-TE.

Estación de Operador:

Consta de un módulo que se monta en el rack y de un monitor con su teclado, este es de uso industrial, el monitor es a colores de 14 pulgadas con puerto de salida para impresora.

A continuación se describen los instrumentos de campo que se requieren en los hornos para pensar y transmitir las señales:

Transmisores de Temperatura Inteligente.

Se encontrarán ubicados en cada una de las tres secciones en las que se ha dividido el horno, enfriamiento, calcinación y precalentamiento. De la marca SMAR, modelo TT301. Se utilizan para sensar y transmitir la señal de temperatura de la zona de calcinación, y tienen las siguientes características:

- aluminio bajo en cobre con una pintura de poliéster.
- alimentación 24 Volts de corriente directa.
- indicación local.
- rango de medición de hasta 1.400-2.500 °C.
- señal de salida 4-20 mA.
- cámara para enfriamiento por agua para temperatura ambiente: 50°C.

Especificaciones:

Fuente de poder: 12 a 45 Vdc

A prueba de explosión y de agua.

Límites de humedad: 10 a 100% H.R.

3.4. Temperatura em mm

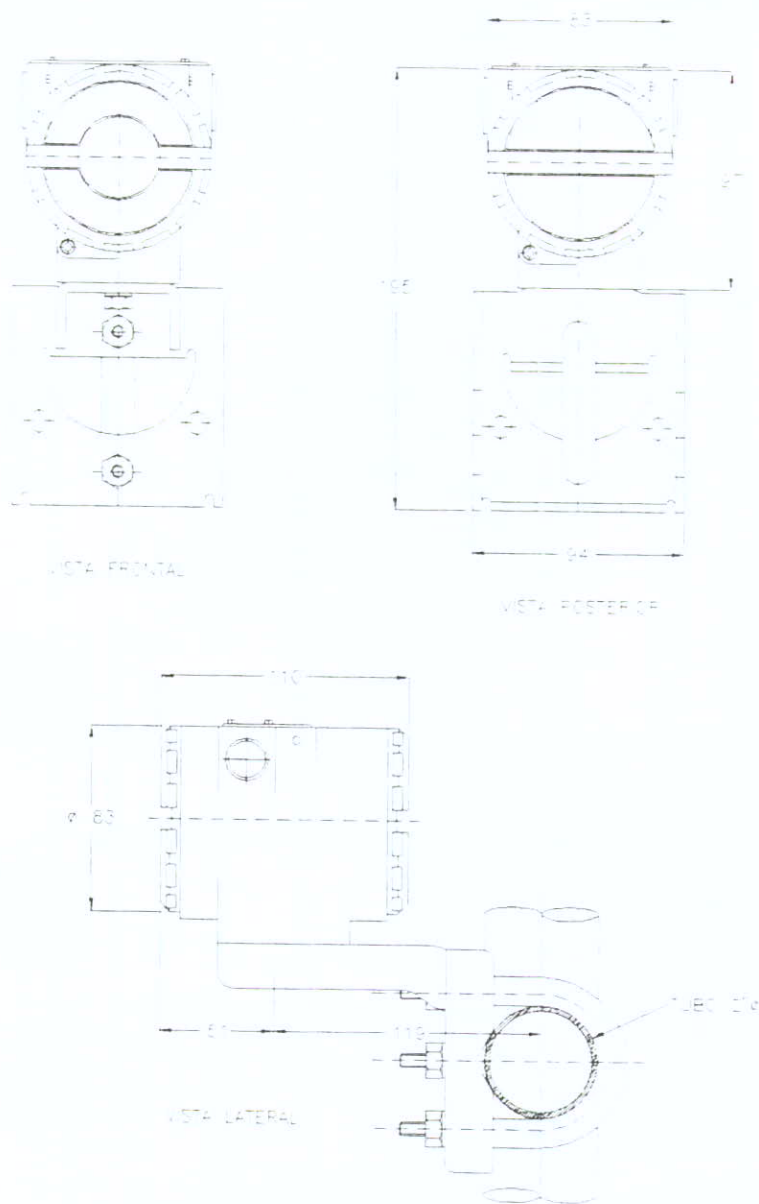


FIGURA 51
Detalhe de transmissor de temperatura

Fonte:
Intelligent Temperature Transmitters - 3C
SMAR - International Corporation

Tiempo de respuesta: Aproximadamente 0.5 segundos
Efecto de temperatura ambiente: para una variación de 10°C
Compensación de la junta fría para temperaturas ambiente > 0°C: 60:1
Compensación de la junta fría para temperaturas ambiente < 0°C: 40:1
Efecto de la fuente de poder: $\pm 0.005\%$ de span calibrado por volt

Características de control:

Control del tipo PID.
Ganancia proporcional: 0 a 100.
Tiempo integral: 0.01 a 999 min rep.
Tiempo derivativo: 0 a 999 seg.
Acción directa reversa.
Límites de salida bajos y altos.
Límite de cambio de rango de salida: 0.02 a 600%.
Generador de hasta 16 setpoints, arriba de 19,999 minutos.

Termopares.

Se tendrán en cada una de las tres secciones del horno, colocados en el interior del mismo, en la parte media de cada zona: el de precalentamiento a la entrada del tiro inducido, el de enfriamiento a la salida del forzado y el de calcinación en la parte media de uno de los quemadores. Son del tipo de clasificación J, y tienen las siguientes características:

Rango:	-150 a 750°C. -238 a 1332°F
Span mínimo:	30°C
Exactitud digital:	0.3°C

Sensor de Nivel

De la marca Babbitt International, modelo LS-8000. Este sensor de nivel es para colocarlo en la parte superior del horno y nos indicará cuando se alcance el nivel límite superior del mismo, lo cual servirá para detener la alimentación del mismo. Este equipo tiene la electrónica separada de él mismo para resistir más temperatura y golpes, y tiene las siguientes características:

- funcionamiento por radio frecuencia.
- alimentación de 115 Volts de corriente alterna.
- salida por relevador (contacto seco).
- requiere diseño especial para adaptarse a las condiciones del horno.
- material de varilla de acero inoxidable.

Especificaciones:

Eléctricas:

Fuente de poder	115 Vac, 50/60 Hz, 2 Watts.
Salida:	2 contactos tipo C, 230 Vac, 30 Vdc.
Fusible:	0,5 A.
Selección de funcionamiento:	Nivel alto o bajo.
Delay:	Selección: encendido o apagado. Ajustable: 1-8 seg. hasta 2 hrs.
Radio frecuencia:	1,3 MHz (aproximadamente)

Mecánicas:

Sensor:	Acero inoxidable estándar, 316.
Aislante:	Teflon.

CABLEADO TÍPICO RECEPTOR LS-8000/R

APLICACION SENSOR NIVEL ALTO

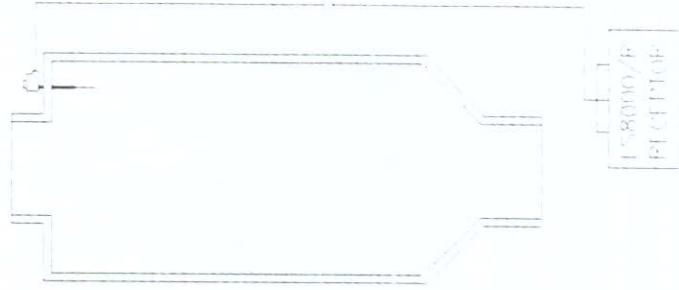
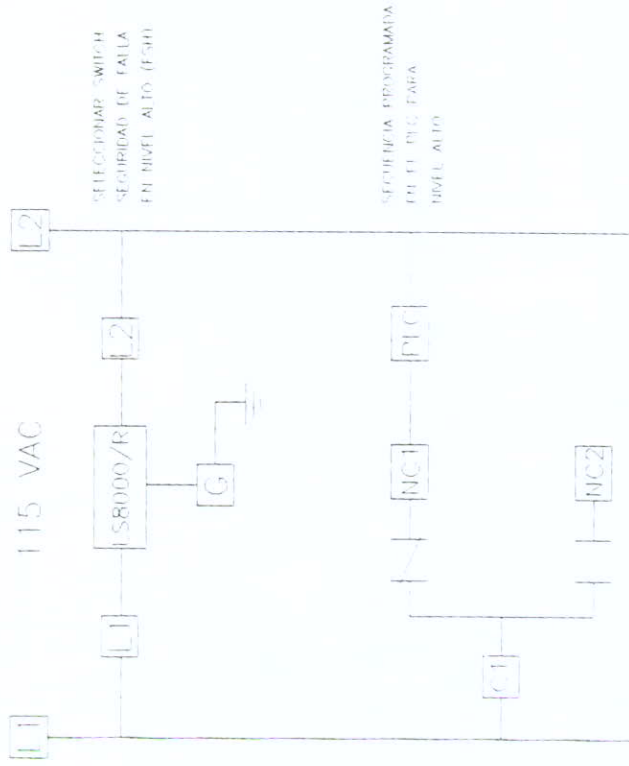


Figura 11a
 Cableado típico receptor

Equipo:
 Babbit Level Solutions, L. Soria
 Babbit International, Inc., USA

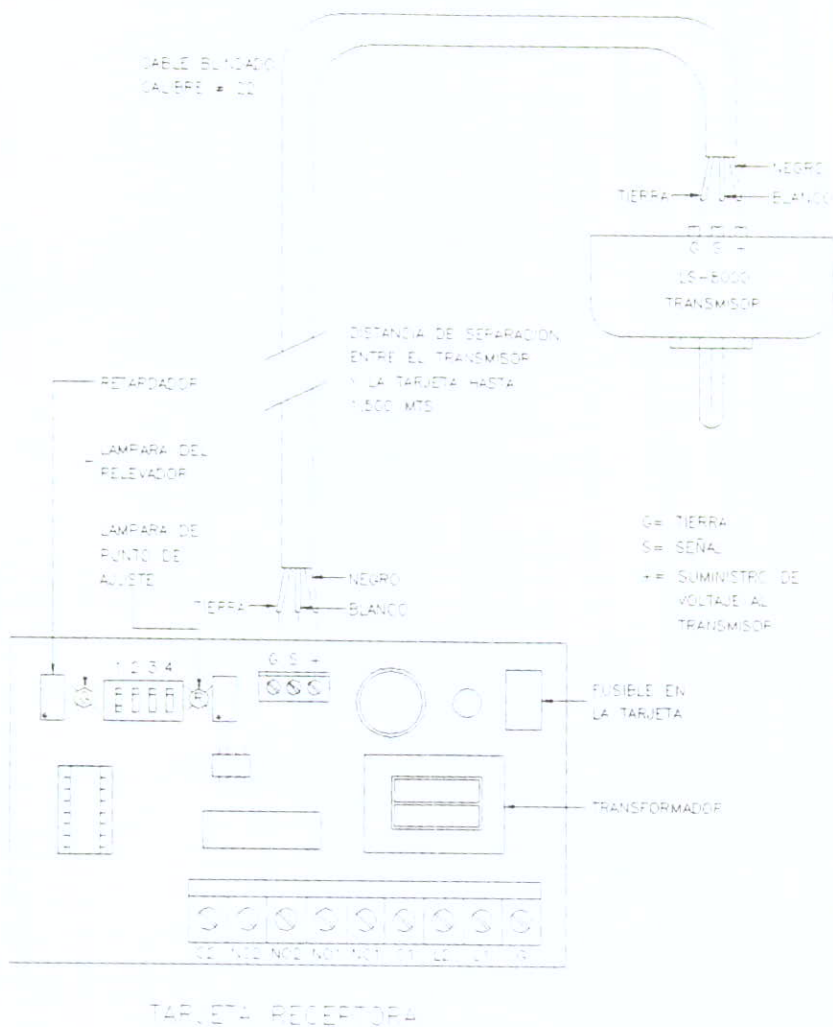


FIGURA 18
 Cableado del receptor y transmisor

Fuente:
 Bobbit Level Switches, LS-8000
 Bobbit International, Inc., 1988

Temperatura:

Componente electrónico: -40°F a 185°F

Sensor: -30°F a 450°F.

Presión del sensor: 1500 Psi @ 75°F.

Transmisor Másico para Combustóleo.

Marca Schlumberger, tipo S. Este transmisor además de indicarnos y totalizarnos el combustóleo nos puede dar un indicio de la calidad del mismo al proporcionarnos también su densidad, tiene alta precisión y es insensible a los cambios de temperatura y viscosidad del combustóleo al hacer la medición directamente en masa. Su función primordial que tiene es proporcionar el dato de flujo para poder relacionarlo con el requerido de aire, y tiene las siguientes características:

- alimentación de 115 Volts de corriente alterna.
- señal de salida de 4-20 mA.
- materiales en contacto con el combustóleo de acero inoxidable 316L.
- tamaño y conexiones: 2" 150 # RF.
- indicación digital local.
- presión de operación: 125 psi (9 bar) como máximo.
- temperatura: 250°F (121°C) como máximo.
- exactitud: 100% ±1.0% de rango de flujo.

Válvula de Control de Combustóleo.

De la marca Valtek, tipo Mark One. Se trata de una válvula de control tipo globo con cuerpo en acero al carbón e interiores de acero inoxidable, con electroposicionador incluido. Se requiere de sólo una en el horno y estará en la entrada del cabezal de entrada de aire. Y cuenta con las siguientes especificaciones:

MEDIDOR DE FLUJO

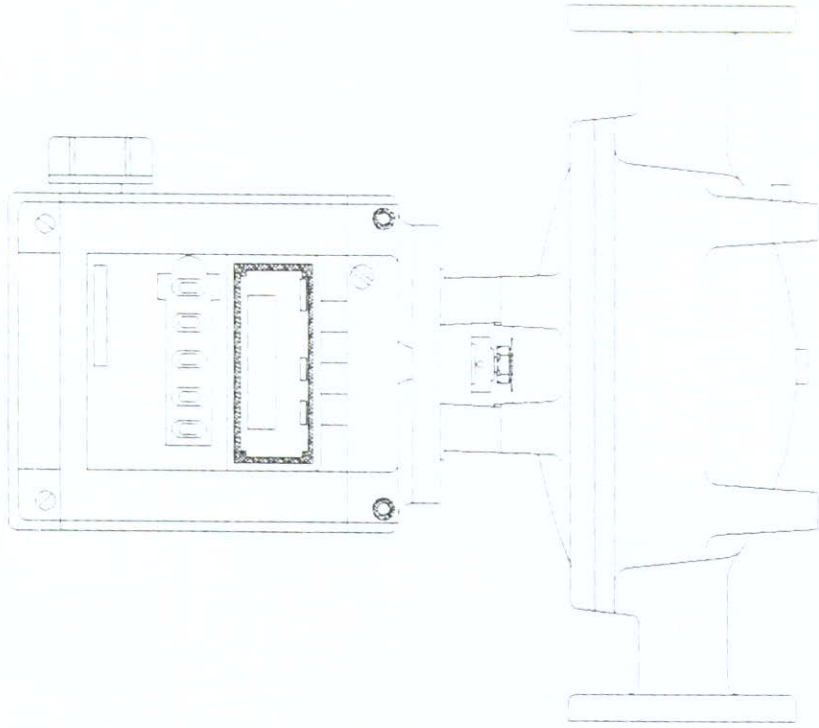


FIGURA 14

Detalle de medidor de flujo

Figura 14
Type 5 Flowmeter, detail of turbine
Schlumberger Industries, 1993

Posicionador:

Tipo: Electroneumatico.

Señales de entrada: 3-15 psi, 4-20 mA.

Presión de alimentación: 30-150 psi, no requiere regulador.

Materiales estandar: Aluminio.

Ajustes: Por balance de presión.

Acción: Air-to-open.

Actuador:

Tipo: Cilindro de doble acción.

Mecida: Cilindro=25.

Auxiliares: Continuamente-conectados.

Materiales: Acero inoxidable tipo 416.

Acción: Air-to-open.

Presión máxima de

trabajo: 150 psig.

Empaques: De teflón V-ring.

Guías: Hechas de teflón.

Soportes: Acero inoxidable 316.

Válvula de Control de Aire.

Se trata exactamente de la misma válvula mencionada arriba para el combustoleo, por lo que son las mismas características.

Sistema de Protección para Falla de Flama.

De la marca Honeywell, es un sistema compacto de detección de falla de flama el cual va montado en cada uno de los quemadores del horno. Estará programado en el PLC y en el controlador, y en el campo requiere de los siguientes elementos:

- detector de presencia de flama en cada quemador.
- transformador de ignición.
- interruptor de presión en cabezal de combustóleo.
- interruptor de presión en línea de aire.
- válvula de cierre rápido para cabezal de combustóleo.
- válvula de retorno de combustóleo.

Sensores de Posición para Cilindros.

Son sensores especiales que nos indican si el pistón esta dentro o fuera y van montados directamente sobre el cilindro. Habrá siete de ellos en los respectivos cilindros de carga y descarga de material, tres en la carga y cuatro en el descarga. De la marca Telemecanique.

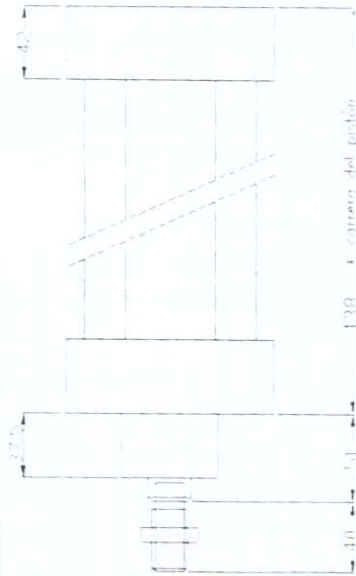
Sensores Inductivos de Detección de Movimiento.

Su función es la de indicar si los equipos están dentro o fuera, y se montan en la transmisión de los equipos, como vibradores, bandas, cribas, etc. En este proceso se contarán con cuatro de ellos, dos en las bandas de alimentación y dos más en los motores de cada una de ellas.

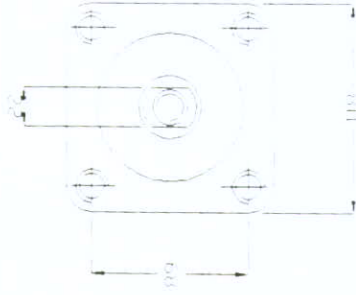
Fig. 165.

Cilindro 500 mm.
Cotas en milímetros

Vista lateral



Vista frontal



Vista interna

Проект № 1185

Лист № 1 из 1. Машинный чертёж

Автомобиль. Детали. 1. Цилиндр двигателя. Вид с торца.
Техническое задание, чертёж, сборка

Чертёж

CAPITULO VI

ANALISIS FINANCIERO

6.1. Lista de materiales y equipo en sala de control.

Cantidad	Descripción	P. unit. (US\$)	subtotal(US\$)
1	Memoria TSX RPM 12816	1,506.5	1,506.5
2	Fuente TSX SUP 702	1,108.8	2,217.6
1	Rack TSXRKN82	711.7	711.7
2	Rack TSXRKSW11	1,112.3	2,224.6
1	Rack TSXRKN8	711.7	711.7
9	Tarjeta entrada TSXDET1612	275.8	2,482.2
1	Tarjeta entrada TSXDET1604	345	345
8	Salidas relevador TSXDST1635	405.8	3,246.4
18	Borneros de conexión TSXBLK1	48.2	867.6
3	Entradas analógicas TSXAEM811	1,708.2	5,124.6
4	Salidas analógicas TSXASR402	2,176.4	8,705.6
7	Borneros conex analógica TSXBLK4	122	854
7	Tapas TSXRAC50	5.3	37.1
17	Guias de cable TSXRAC10	1.5	25.5
1	Conector TSXLES20	732.3	732.3
1	Conector TSXLES64	128.8	128.8
1	Conector TSXLES61	131.4	131.4
1	Cable TSXCBC030	45.8	45.8
1	Módulo acoplador TSXPLM37E	2,778	2,778
1	Monitor e teclado TSXCPX3714M	5,028.8	5,028.8
1	Cable TSXCMM030	412.3	412.3
1	Controlador SMAR CD600-1-B	3,453	3,453

4	Registadores de 6 canales CHESSELL		
	746 61 444 466 200 006 02011 0001 00 1010 0	4,264.7	17,058.8
1	Tablero de control	11,764.7	11,764.7
	Total		US\$ 76,180.58

6.2. Lista de materiales de campo para arrancar un horno.

Cantidad	Descripción	P. unit. (US\$)	Subtotal(US\$)
1	Transmisor de temperatura SMAR rango de operación -40 a 75°C.	3,523.5	3,523.5
3	Termopar tipo J	117.6	352.8
1	Interruptor de nivel BABBITT	941.2	941.7
14	Sensores de posición PAD-X112B2	45.6	638.4
14	Soportes p/sensores PAD-7X125	23.5	329
2	Sensores de detección de material	45.6	91.2
2	Soportes para sensores	23.5	47
1	Válvula de control combustible	3,529.4	3,529.4
4	Válvula de control aire	3,529.4	14,117.6
1	Sistema de protección de flama	5,264.7	5,264.7
1	Transmisor de flujo combustible	8,411.7	8,411.7
7	Cilindros doble efecto, diámetro 100 mm. con carrera de 500 mm..mod. PAEA12100500	364.1	2,548.7
4	Válvulas 5/2 de 1/4" mono estables, mod. PVLC121408	102.6	410.4
3	Válvulas 5/2 de 1/4" biestables, mod. PVLC122408	94.4	377.6

5	Tapas de alimentación, mod. PVLC1713	58.8	176.4
11	Bobinas de 110 Vca.	15.9	174.9
14	Regulador de flujo de 1 2" - 12mm., mod. PWRA1412	40.9	572.6
14	Reducción 10-8 mm., mod. PZCE189	8.8	123.2
14	Reducción 12-10 mm., mod. PZCE191	9.4	131.6
1	Clips de enclavamiento en sensores, mod. PPRW01	34.4	34.4
Total			US\$ 39,408.82

6.3. Ingeniería de programación, instalación y puesta en marcha.

1	Programación de los equipos	1,433.8
1	Supervisión de la instalación	308.8
1	Supervisión del arranque	279.4
Total		US\$ 2,022.00

6.4. Sumario de precios.

A continuación se indica el resumen de precios:

Equipo de sala de control	US\$ 76,180.58
Materiales de campo	US\$ 39,408.82
Ingeniería prog. inst. y arranque	US\$ 2,022.00
Total	US\$ 117,611.40

Tiempo de entrega: 18-20 Semanas

Nota: los precios indicados no incluyen IVA.

Condiciones de pago:	25% con el pedido
	50% con la entrega del equipo
	25% restante a 30 días

6.5. Justificación económica.

Enseguida se presentan una serie de cálculos financieros conforme a datos actuales para presentar a la empresa una visión más amplia de las ventajas que se pueden obtener con la automatización de sus hornos.

Proceso Actual:

Dos turnos por día de 8 hs. cada uno:	960 minutos
Ciclo completo (carga, proceso y descarga):	150 minutos
Total de ciclo por día (horas hábiles ciclo):	aprox. 6.4 ciclos
Producción diaria total:	832 Tons.
Aproximación de días de trabajo al año:	300 días
Capacidad Anual de la Planta:	249.600 Tons. Anuales
Costo aproximado de la tonelada de cal hidratada:	NS 120.00.-

(este precio es de la fábrica a las compañías que la procesan, no es el final al consumidor, el precio final al consumidor es aproximadamente de NS 240.00 - por tonelada)

Producto de ventas anuales (aproximación): N\$ 29'952,000.00.-

*NOTA: a este producto de ventas falta considerarle todos los costos y gastos producidos a lo largo del año

Proceso Propuesto:

Dos turnos por día de 8 hs. cada uno: 960 minutos

Ciclo completo (carga, proceso y descarga): 105 minutos

Total de ciclo por día (horas hábiles/ciclo): aprox. 9.15 ciclos

Producción diaria total: 1189 Tons

Aproximación de días de trabajo al año: 300 días

Capacidad Anual de la Planta: 356.700 Tons. Anuales

Costo aproximado de la tonelada de cal hidratada: N\$ 120.00.-

(es e precio es de la fabrica a las compañías que la procesan, no es el final al consumidor, el precio final al consumidor es aproximadamente de N\$ 240.00.- por tonelada)

Producto de ventas anuales (aproximación): N\$ 42'804,000.00.-

*NOTA: a este producto de ventas falta considerarle todos los costos y gastos producidos a lo largo del año

Conclusiones:

Si obtenemos la diferencia por concepto de ventas en el año entre el proceso actual y el proceso propuesto se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

Proceso Propuesto - Proceso Actual:	N\$ 42'804.000.00.-
	<u>N\$ 29'952.000.00.-</u>
TOTAL:	N\$ 12'852.000.00.-

Esta diferencia menos lo que costaría la automatización de un horno resulta:

Diferencia:	N\$ 12'852.000.00.-
Presupuesto (1 horno):	N\$ 399.879.00.-
(Tipo de cambio N\$3.4)	-----
Diferencia a favor:	N\$ 12'452.121.00.-

Que es la ganancia por concepto de la automatización de un horno de la planta.

Entonces se ve que este proyecto es muy rentable y podría pagarse totalmente en un lapso de un mes de ganancias como hasta el momento se presentan.



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Con el presente proyecto se abarcó la totalidad del diseño de automatización que se pretendía, por medio del cual se pudieron observar las distintas etapas del proceso propuesto, su comparación con el proceso actual y las grandes ventajas que con el se presentarían en dado caso que se llegase a instalar. Con base al proceso y el nuevo equipo que se plantea se ve factible la realización de todo el ciclo en 105 minutos, esto es un ahorro del 30% considerando el tiempo actual del ciclo que es de 150 minutos. Esto es posible a la automatización de las etapas básicas del proceso, proceso que sería más eficiente, y esto se reflejaría en un aumento de la producción diaria, que si todo marcha como lo planeado y después del periodo de pruebas se tendría un aumento de material terminado de 832 toneladas a 1189 toneladas diarias de piedra caliza cocida.

De acuerdo con el análisis financiero que se realizó se pudo obtener la siguiente información que servirá para tener una idea más clara de lo económicamente viable que pudiera ser la instalación de un proyecto de esta naturaleza: El total de equipo y materiales, así como la programación, instalación y puesta en marcha del proceso automatizado da un total de N\$399,879.00 aproximadamente, según el costo promedio en la fecha de realización de esta investigación. Obteniendo un aproximado del total de ventas del proceso propuesto sin considerar los costos y gastos producidos a lo largo de un año de trabajo se tienen N\$42'804,000.00, menos N\$29'952,000.00 que resultan del proceso actual de la planta se obtiene una diferencia de N\$12'852,000.00, esta diferencia menos el presupuesto de la automatización da un total de N\$12,452,121.00, por lo que se ve que hay una gran diferencia entre lo que se gana y entre lo que se invierte, esto es, es un proyecto de automatización no

muy elevado, por las ventajas que con él se tienen y además de que se paga en un lapso de tiempo demasiado corto, por lo que no representa un riesgo o un gasto demasiado fuerte y que no pudiera recuperarse en un tiempo prudente.

Todos los instrumentos y equipos que se propusieron son de la más alta calidad y lo más avanzado que existe hoy en el mercado nacional e internacional, aunque estos son sólo una parte de toda la gama de ellos que se tienen disponibles ya que es un campo muy extenso en el que se tienen equipos con múltiples funciones que se adecuan a las necesidades de cada proyectista dependiendo de lo amplio que se quiera realizar la automatización de cada proceso. Son equipos que se pueden utilizar en cualquier tipo de sistemas que pudieran proponerse para esta clase de procesos, y en este caso en particular son lo suficientemente completos y abarcan todas las variables importantes que intervienen a lo largo de todo el proceso.

Este trabajo fue de gran ayuda para tener una cultura más amplia de toda la gama de información y de instrumentos que se tienen actualmente con todos los mecanismos de automatización y robótica. Es un campo que está avanzando rápidamente en nuestro país y que poco a poco todas las industrias tienen que ir adoptándolo para mejorar todas sus operaciones.

BIBLIOGRAFIA

- GROOVER, Mikell P., Robótica Industrial, 3a. ed., México, Ed. McGraw-Hill, 1990.
- Catálogos varios, J. Diaz y Cia., Telemecanique, Estados Unidos, 1993.
- VOGEL, W., Economic Analysis for Robotics, Special Report, IE 398, Industrial Robotics, Lehigh University, mayo 1994.
- TARQUIN, A.J. y BLANK, L.T., Engineering Economy, 5a ed., Nueva York, Ed. McGraw-Hill, 1986.
- KAFRISSEN, E. y STEPHANS, M., Industrial Robots and Robotics, Reston, Reston: VA., 1984.
- DeGARMO, E. P., Materials and Processes in Manufacture, 6a ed., Ed. Macmillan, New York, 1984.
- NIEBEL, B. W. y DRAPER, A. B., Product Design and Process Engineering, McGraw-Hill, New York, 1984.
- CREUS, Antonio, Instrumentos industriales: su ajuste y calibración, 2ª ed., Ed. Alfaomega Marcombo, México, 1993.
- CARROLL, G. C., Manual de servicio de Instrumentación Industrial, tomos I, II y III, Ed. Labor.
- Thermocouples and resistance thermometers, catálogo Honeywell.

- Valve Construction and Engineering Guide. PIB-14. Honeywell.
- SOULE. L. M.. Basic Concepts of Industrial Process Control. The Foxboro Company Chemical Engineering. 1989.
- HARRIOT. Peter. Control de Procesos. Ed. Mc Graw Hill. México. 1992.
- KINNEY. Thomas B.. Chemical Engineering: Tuning process controllers. Septiembre 19 de 1983.. p.p. 69-85.

GLOSARIO

Alcance (span) :

Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento.

Ejemplo: en el campo 100-300°C vale 200°C.

Amplificador:

Instrumento cuya señal de salida equivale a la señal de entrada incrementada y que se alimenta de una fuente distinta de la señal de entrada.

Amplificador operacional:

Amplificador de c.c. de alta ganancia que constituye la base de los controladores electrónicos.

Banda Proporcional:

Porcentaje de variación de la variable controlada necesario para provocar una carrera completa del elemento final de control. Es el recíproco de la ganancia.

Bias o polarización:

Excitación aplicada a cualquier instrumento para determinar su punto de trabajo.

Bit:

Unidad de información o dígito binario.

Bucle o Lazo abierto de control:

Es el camino que sigue la señal sin retroalimentación.

Bucle o Lazo cerrado de control:

Camino que sigue la señal desde el controlador hacia la válvula, al proceso y retroalimentándose a través del transmisor hacia un punto de suma con el punto de consigna.

Calibración:

Ajuste de la salida de un instrumento a valores deseados dentro de una tolerancia especificada para valores particulares de la señal de entrada.

Campo de medida (range):

Espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento. Viene expresado estableciendo los dos valores extremos.

Compensación:

Provisión de un aparato suplementario o de materiales especiales para contrarrestar fuentes conocidas de error.

Computadora:

Aparato que recibe información de entrada y que la procesa dando una información de salida según un programa preestablecido.

Computadora digital:

Computadora en la que la información se representa en forma numérica.

Conductividad:

Recíproco de la resistividad.

Control derivativo:

Forma de control en la que existe una relación lineal continua entre la velocidad de variación de la variable controlada y la posición del elemento final de control.

Control integral:

Forma de control en la que el elemento final se mueve de acuerdo con una función integral en el tiempo de la variable controlada.

Control proporcional:

Forma de control en la que existe una relación lineal entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control.

Controlador:

Instrumento que compara la variable controlada con un valor deseado y ejerce automáticamente una acción de corrección de acuerdo con la desviación.

Convertidor:

Instrumento que recibe una señal estándar y la envía modificada en forma de señal de salida estándar.

Display:

Presentación visual de una señal.

Elemento final de control:

Recibe la señal del controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control. La válvula de control es el elemento final típico.

Elemento primario:

Convierte la energía de la variable medida en una forma adecuada para la medida.

Error:

Diferencia algebraica entre el valor leído o transmitido por el instrumento y el valor real de la variable medida.

Estabilidad:

Capacidad de un instrumento para mantener su comportamiento durante su vida útil y de almacenamiento especificadas.

Fluido o Agente de control:

Es el proceso, energía o material correspondiente a la variable manipulada.

Ganancia:

Es la relación de magnitudes entre la señal de salida resultante y la señal de entrada de excitación.

Offset:

Desviación permanente que existe en régimen en el control proporcional cuando el setpoint está fijo.

Proceso o sistema controlado:

Engloba las funciones realizadas por el equipo en el cual es controlada la variable, sin incluir los instrumentos de control.

Punto de consigna o Setpoint:

Variable de entrada en el controlador que fija el valor deseado de la variable controlada. Puede fijarse manual o automáticamente, o bien programarse.

Señal:

Salida o información que emana de un instrumento. Información representativa de un valor cuantificado.

Señal de salida:

Señal producida por un instrumento que es función de la variable medida.

Señal de salida analógica:

Señal de salida del instrumento que es una función continua de la variable medida.

Señal de salida digital:

Señal de salida del instrumento que representa la magnitud de la variable medida en forma de una serie de cantidades discretas codificadas en un sistema de notación. Se distingue de la señal de salida analógica.

Termopar:

Par de conductores de materiales distintos unidos entre sí que generan una fuerza electromotriz cuando las dos uniones están a distintas temperaturas.

Tiempo de acción derivada:

Equivale al tiempo en minutos con que la acción derivada se anticipa al efecto de la acción proporcional en el elemento final de control.

Tiempo de acción integral:

Equivale a minutos por repetición de la acción proporcional. También se acostumbra a expresar en el recíproco, repeticiones por minuto.

Transmisor:

Capta la variable de proceso a través del elemento primario y la convierte a una señal de transmisión estándar.

Variable controlada:

Dentro del lazo de control es la variable que se capta a través del transmisor y que origina una señal de retroalimentación.

Variable manipulada:

Cantidad o condición del proceso variada por el elemento o elementos finales de control.

Variable medida:

Cantidad, propiedad o condición física que es medible.

