

18 2º)



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

“MODIFICACION DE LA CALIBRACION DEL SISTEMA
DE MEDICION DEL FLUJO DE GAS NATURAL EN LA
NODULIZACION DE MINERALES DE MANGANESO”

T E S I S
Que para obtener el título de
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
p r e s e n t a

RICARDO ARTURO LEON GONZALEZ



México, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



1990



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E.

	Pág.
Objetivo	5
Resumen	6
Introducción	7
I. Descripción del Proceso de Calcinación y Nodulización de minerales de Mn	11
II. Sistemas de Instrumentación	23
Generalidades	24
Lazos de Control del Proceso de Noduliza ción	31
III. Medición del Flujo de Gas	53
Antecedentes	54
Flujo de gas en el Totalizador	61
Flujo de gas en Q. Principal	67
Flujo de gas en Q. Inferior	71
IV. Comparaciones con el Metodo de la "A.G.A" ...	75
V. Representación gráfica y discusión de los resultados	83
VI. Evaluación Económica	92
VII. Conclusiones	96
Bibliografía	99

O B J E T I V O

Dado que el mayor costo en la producción del nódulo de Mn es el generado por el consumo de gas, el principal objetivo es la reducción de las pérdidas generadas por los errores en el sistema de medición del flujo de gas en el proceso de nodulización y calcinación de minerales de Mn, para así obtener un producto con la misma calidad a menor costo y también la optimización del proceso.

RESUMEN

En el presente trabajo se hace una descripción de la instrumentación de un proceso metalúrgico de calcinación y nodulización de minerales de Mn., proporcionando la descripción previa del diagrama de flujo del mismo proceso.

Posteriormente se hace la evaluación de las placas de orificio y la calibración de sus transductores con los que se mide el flujo de gas para corregir los errores existentes en la medición del mismo.

INTRODUCCION

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

El hablar de Instrumentación no se refiere a simples instrumentos o aparatos de medición, sino que se refiere a una herramienta que el hombre ha utilizado en estas últimas décadas para no solo darle una idea de lo que ocurre en un determinado proceso, sino que para también ayudarlo a controlarlo, proporcionándole un ahorro en los costos de producción al hacer más eficiente el proceso con el consecuente incremento de la productividad.

Anteriormente se requería de estar checando visualmente y en forma continua el comportamiento del proceso, posteriormente se fueron modificando y mejorando los instrumentos de medición y control permitiendo llevar un mejor control sobre el proceso.

Las aplicaciones de la Instrumentación no tienen limitaciones, utilizándose en diferentes industrias tales como la metalúrgica, petroquímica, química, etc.

Por otro lado, en estos últimos años se ha observado un cambio radical en todo tipo de industria, este cambio se refiere a la fuerte competencia que existe entre los

diversos productos de origen nacional con los de origen extranjero, causado por la apertura del mercado internacional, ocasionando la fortuita necesidad de mejorar la eficiencia de nuestros procesos para así obtener una mejor calidad en los productos.

Con un buen sistema de instrumentación se puede eficientar un proceso, pero como tal se requiere que este sistema de instrumentación o de instrumentos en sí, opere correctamente.

En el presente trabajo se hace un estudio en la medición del flujo de gas en el proceso de nodulización de minerales de manganeso de la Cía Minera Autlan (Unidad Molango), debido a los errores existentes en la medición.

Estos errores originan altos costos en lo que se refiere a la combustión del gas natural debido al incorrecto control en la mezcla gas-aire, ocasionando incrementos en el consumo de gas para así mantener la estabilidad del proceso de nodulización.

Por lo tanto el objetivo principal es el análisis y la corrección de esta anomalía para eficientar el sistema

de medición del gas.

Por otro lado, se hace en primera instancia la descripción de la instrumentación aplicada a el proceso metalúrgico.

CAPITULO I

I.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE CALCINACION Y NODULIZACION DE MINERALES DE MANGANESO.

La Cía. Minera Autlán (Unidad Molango), se encuentra localizada al norte del Estado de Hidalgo y comprendido en la Sierra Madre Oriental aproximadamente a 370 Km de la Cd. de México.

En esta zona se encuentra localizada una área manganesífera, constituida por las siguientes especies mineralógicas.

- Rodocrosita	Mn CO ₃
- Pirocrosita	Mn (OH) ₂
- Magnetita	Fe ₃ O ₄
- Hematita	Fe ₂ O ₃
- Pirita	Fe S ₂
- Calcita	Ca CO ₃
- Dolomita	Ca Mg (CO ₃) ₂

El producto que se elabora es el nódulo de MnO el cual se obtiene con una ley promedio de 39 % de Mn.

El nódulo de Mn es utilizado ampliamente por la

industria siderúrgica, en la fabricación de ferroaleaciones, como desoxidante y desulfurante en la fabricación de aceros y arrabios.

La explotación minera se lleva a cabo por 2 sistemas: mina subterránea y tajo abierto, en donde se extrae el mineral con una ley de cabezas que va desde el 20% hasta el 40%.

Para la formación del nódulo se emplea la calcinación de los minerales y posteriormente la aglomeración o sinterización con calor.

La sinterización se lleva a cabo por el incremento de la temperatura del mineral calcinado hasta una temperatura de fusión incipiente y debido al giro del horno se aglomera el mineral formando los nódulos.

El proceso de nodulización se divide en 2 secciones.

1.1.- SECCION DE TRITURACION

En esta etapa, el mineral proveniente de la mina con un tamaño de $-15" + 5"$ (1) de la Fig.No 1, es alimentado por medio de un cargador frontal a una que-

bradora de quijadas (2) en donde es reducido a - 5", posteriormente por medio de una banda transportadora se alimenta el mineral a una tolva de almacenamiento de 400 tons. de capacidad (3) para después ser trasladado a una tolva de regulación de 200 tons. de capacidad (4), esta tolva descarga el mineral mediante un transportador de oruga de velocidad variable a una banda en donde se encuentra el detector de metales (5), esta banda descarga el mineral a una criba vibratoria (6) en donde se selecciona el mineral con tamaño menor a 2 pulgadas, el mineral restante pasa a una quebradora Traylor (7) en donde se reduce a un tamaño de - 2 ".

A continuación el mineral con tamaño de - 2" pasa a una criba Symons (6A) en donde se separa el mineral de - 1" el resto pasa a una quebradora Symons de cabeza corta (8) para ser triturado a - 1".

Posteriormente mediante un sistema de bandas (11) el mineral es transportado a un almacén de mineral crudo (13) con capacidad de 16,000 tons. , este mineral

almacenado con una granulometría de - 1" (80 %) es alimentado mediante un cargador frontal (P) y un sistema de bandas transportadoras a 2 tolvas con capacidad de 900 tons. c/u. (15).

1.2.- SECCION NODULIZACION

Una vez que el mineral se encuentra en las tolvas de 900 tons. de capacidad (15), es alimentado mediante un dosificador (15-A) a un sistema de bandas el cual transportará el mineral hasta el extremo de alimentación (16) del horno rotatorio (25).

Este horno tiene una longitud total de 114.3 m con un diámetro de 5 m y una sección ensanchada de 6.25 m, el horno tiene una inclinación de 4 % respecto a su longitud total.

La velocidad del horno es variable en donde se puede controlar de 11 a 84 RPH, el movimiento del horno es proporcionado por 2 reductores y 2 motores de C. D.

El horno en su interior se encuentra revestido

por concreto refractario de alta (58%) y de baja (35%) alumina.

El horno se divide basicamente en 3 zonas que son las siguientes:

- Zona de Pre calentamiento: Con una longitud total de 93m , en esta zona se evapora el agua de humedad y de cristalización, también ocurren algunas reacciones de calcinación, en esta zona se alcanza una temperatura de 800°C.
- Zona de Calcinación: Formada por la zona ensanchada del horno y con una longitud de 15.2 m en esta zona se efectua la calcinación completa de los minerales.
- Zona de Nodulización: Con una longitud total de 6.1 mts, es la zona más importante ya que en esta zona se alcanza la temperatura de fusión incipiente en donde aunado con el giro del horno se produce la nodulización (sinterización).

Para proporcionar el calor requerido para la calcinación y la nodulización de los minerales se emplean 2 quemadores indust.(23), que utilizan gas natural como

combustible.

El quemador Principal incide su flama en la zona de calcinación, teniendo como función principal la calcinación completa de los minerales.

Mientras que el Quemador Inferior incide su flama en la zona de nodulización, de este quemador depende el grado de nodulización.

Una vez que los minerales se nodulizan, se descargan a un enfriador de parrillas movibles (30).

En la parte inferior del enfriador se encuentran acoplados una serie de 5 ventiladores los cuales inyectan aire frío para el enfriamiento del nódulo, este se enfría desde una temperatura de 1000°C hasta 150°C como máximo-

Una vez enfriado, el nódulo pasa a una criba vibratoria (33) en donde se separa el nódulo de $- 1/4''$ este último se recircula al horno por su poca comercialización, mientras que el material de $+ 1/4''$ se traslada en bandas transportadoras hacia el almacén gral., de nó-

dulos (38).

El aire empleado para el enfriamiento del nódulo el cual alcanza una temperatura final de 300°C es extraído del enfriador por 2 ventiladores de extracción (34) para descargarlo en 2 chimeneas (23), previamente el aire es limpiado en cámaras de precipitación de polvos (19).

Una de las chimeneas esta acoplada a 3 ventiladores (35) los cuales inyectan el aire caliente a los quemadores (28) para la combustión del gas.

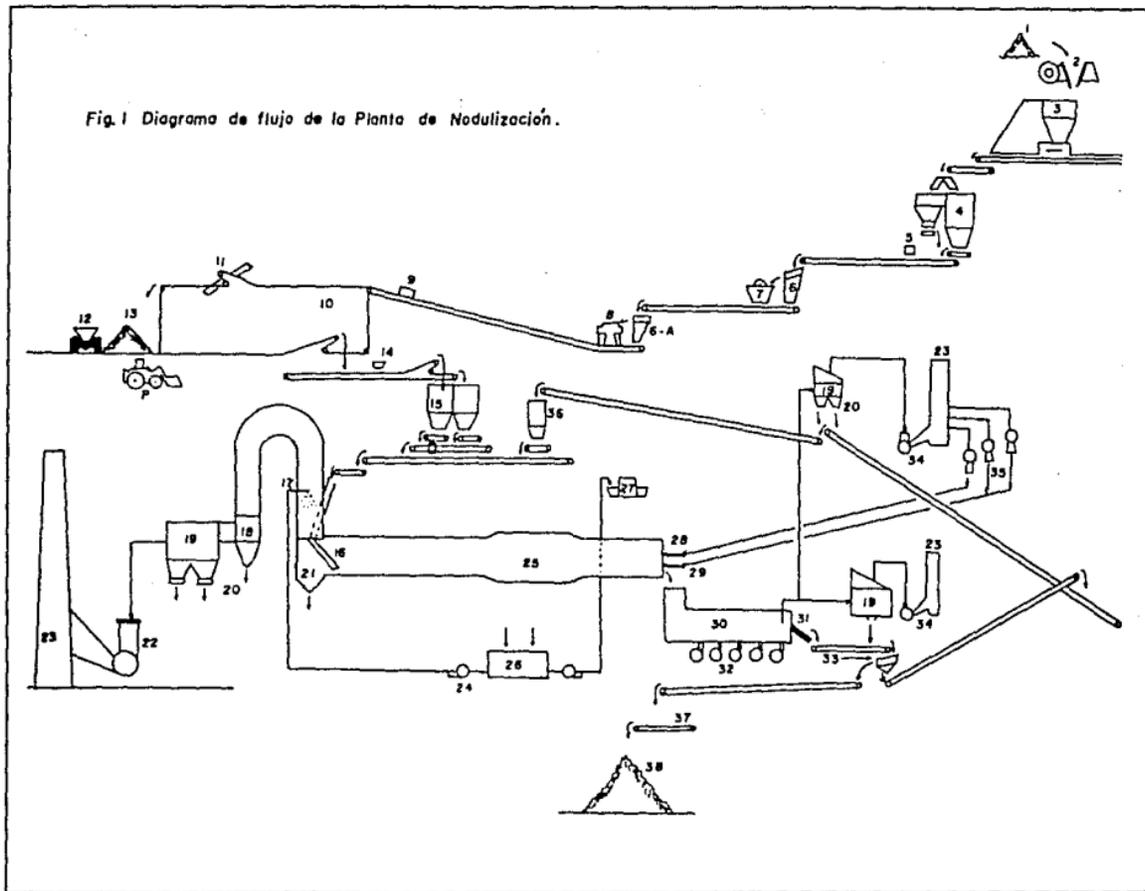
Por otro lado, los gases generados por la combustión del gas y por los productos de la calcinación de los minerales en el interior del horno, son extraídos por un ventilador de tiro inducido (22), previamente los gases son limpiados en las camaras de los aerociclones (19).

Una vez limpiados los gases, el ventilador (22) los deposita en la chimenea (23) para ser arrojados a la atmósfera.

Debido a que el proceso de nodulización es básicamente un proceso pirometalúrgico, es necesario que parte del equipo se encuentre implementado con un sistema de enfriamiento (refrigeración).

El agua utilizada se recolecta en la fosa de agua caliente (26) y esta es bombeada a una torre de enfriamiento para posteriormente sea recirculada al proceso.

Fig. 1 Diagrama de flujo de la Planta de Nodulización.



EXPLICACION:

- 1.- Mineral crudo.
- 2.- Quebradora de quijada.
- 3.- Tolva de crudos.
- 4.- Tolva de regulación.
- 5.- Detector de metales.
- 6.- Criba de barras.
- 6A- Criba vibratoria.
- 7.- Quebradora de campana Traylor.
- 8.- Quebradora de cabeza corta Symons.
- 9.- Báscula.
- 10.- Banda doble.
- 11.- Banda viajera.
- 12.- Tolva móvil.
- 13.- Almacén de crudos.
- 14.- Tolva Auxiliar.
- 15.- Tolva para la alimentación del horno.
- 16.- Tubo alimentador.
- 17.- Espreas de enfriamiento de gases.
- 18.- Cámara de precipitación.
- 19.- Colectores de polvos.
- 20.- Descarga de polvos.
- 21.- Cámara de polvos.
- 22.- Extractor del tiro del horno.
- 23.- Chimenea.
- 24.- Bombas de agua.
- 25.- Horno rotatorio.
- 26.- Fosa de agua caliente.
- 27.- Torre de enfriamiento.

- 28.- Quemador Principal de gas.
- 29.- Quemador Inferior de gas.
- 30.- Enfriador.
- 31.- Parrilla de descarga de nódulos.
- 32.- Ventiladores del enfriador.
- 33.- Criba vibratoria.
- 34.- Extractores de aire caliente.
- 35.- Ventiladores para quemadores de gas.
- 36.- Tolva de finos recirculados.
- 37.- Banda apiladora de nódulos.
- 38.- Almacén de nódulos.
- . P.- Cargador frontal.

CAPITULO II

II. SISTEMAS DE INSTRUMENTACION

La Instrumentación Industrial, no solo es la medición y/o control de una variable, también es un conjunto organizado de instrumentos en donde cada uno depende de los demás.

Lo anterior se basa en que para controlar una variable se necesita un instrumento que realice esta función pero a su vez este necesita otro que le indique la situación al momento en que se encuentra la variable a controlar, a su vez, el instrumento controlador va a requerir de otro dispositivo o instrumento que modifique a la variable según las necesidades que se presenten.

Este sistema organizado de instrumentos se le conoce como lazo de control(7).

II.1- GENERALIDADES

Los lazos de control tienen diferentes funciones según las necesidades que se tengan en el proceso, por tal motivo, los lazos de control se clasifican en dos grupos que son los abiertos y los cerrados.

Lazos abiertos.- Este tipo de lazo solo sirve para medir y/o registrar una variable, no tienen ninguna retroalimentación al proceso.

Lazos cerrados.- Son los que miden, registran y lo más importante es que controlan a la variable, si -- tienen retroalimentación al proceso.

Los lazos de control se componen básicamente de los siguientes instrumentos:

A)- Detector o elemento primario de medición: Es la parte o instrumento inicial de un lazo que esta en primer contacto con la variable a controlar o registrar.

B)- Controlador:Es el instrumento que tomara una decisión al recibir un error de la variable a controlar con respecto a un ajuste o punto de control predeterminado.

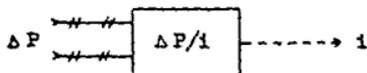
C)- Elemento de control o elemento final de control: Es el último instrumento el cual realiza una acción para lograr un cambio en la variable y normalmente esta en contacto con esta última.

D)- Registrador: Sirve para recopilar un historial

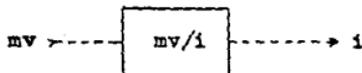
de la variable a controlar por medio de una gráfica.

E)- Transductor : En el control de una variable, se tiene la necesidad de convertir la señal obtenida en la medición de una variable en otro tipo de señal adecuada para que los diversos instrumentos puedan interpretarla. Para esta conversión se utilizan los transductores cuya finalidad es convertir una señal "X" a una señal "Y" en forma proporcional para que sea adecuada al manejo de los aparatos que componen un lazo de control (6). En el proceso de nodulización se emplean 3 tipos diferentes de transductores que son los siguientes:

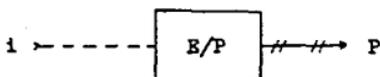
$\Delta P/i$: Convierte una señal de presión a una señal de corriente eléctrica.



mv/i : Convierte una señal de milivoltaje a una señal de corriente eléctrica.



E/P : Convierte una señal de corriente eléctrica a una señal de presión.



Cada lazo de control mide, registra y/o controla una determinada variable en un determinado punto del proceso pero para realizar las mismas funciones en otra sección del mismo proceso y con la misma variable, se requerirá de otro lazo de control.

Para describir esquemáticamente la instrumentación de un determinado proceso se hace necesario la unificación de la simbología empleada para así ilustrar y también entender cualquier proceso instrumentado.

Con el fin de unificar la simbología de la industria en general surgió la simbología I.S.A ("Instrument Society of America"), la cual tiene la ventaja que se encuentra más involucrada con el proceso y además en primera instancia es más fácil de comprender, sin embargo adolece de la falla de que es más restringida en su descripción de los instrumentos ya que sólo describe su función y no sus características.

La simbología I.S.A, se basa principalmente en un número determinado de letras que tienen uno o más significados, por otro lado esta simbología tiene otro tipo de ilustraciones para definir el tipo de señal que se maneja y también para definir la localización del instrumento.

Para el uso de las letras las principales reglas a seguir son las siguientes (7):

- 1.- La primera letra indicará la variable medida.
- 2.- En adelante, las funciones del instrumento.
- 3.- Los lazos se identificarán por medio de números para el caso en que se repitan las funciones de dos o más instrumentos.

Las letras a utilizar en la descripción de la instrumentación de los procesos y sus correspondientes significados son los siguientes:

<u>Primera letra</u>	<u>Letras Subsecuentes</u>
A	Análisis - - - - - Alarma.
B	Flama de quemador - - Según usuario.
C	Conductividad elec.- - Control.
D	Densidad.- - - - - Según usuario
E	Voltaje. - - - - - Elemento primario

F	Flujo.	- - - - -	Relación.
G	Medición.	- - - - -	Vidrio.
H	Manual.	- - - - -	Alto.
I	Corriente elec.	- - -	Indica(r/dor).
J	Poder.		
K	Tiempo u Hora.	- - -	Estación de control
L	Nivel.	- - - - -	Luz.
M	Humedad.	- - - - -	Según usuario.
O	Según usuario.	- - -	Restricción.
P	Presión.	- - - - -	Punto de prueba.
Q	Cantidad.	- - - - -	Totalizar.
R	Radioactividad.	- - -	Registro.
S	Velocidad o Prec.	- -	Switch.
T	Temperatura.	- - - -	Transmisor.
V	Viscosidad.	- - - -	Valvula.
W	Peso.	- - - - -	Pozo.
Z	Posición.	- - - - -	Actuador o elemento final de control.

Las conexiones entre simbolos son las sig:

Conexión a proceso.	
Señal neumática.	
Señal eléctrica.	
Señal electromagnética.	
Tubería capilar.	
Señal Hidráulica.	
Montado localmente.	

Montado en
el tablero.



Montado
atrás de
el tablero.



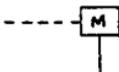
Válvula de
globo.



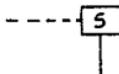
Actuador de
diafragma.



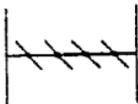
Motor.



Solenóide.



Válvula de
mariposa (Tren
o 'persianas).



NOTA: La simbología anterior se aplicara en la ilustración
gráfica de los lazos de control.

II.2- LAZOS DE CONTROL DEL PROCESO DE NODULIZACION.

En el proceso de nodulización de minerales de manganeso se miden y se controlan 6 variables las cuales están relacionadas con este proceso pirometalúrgico y son las siguientes:

- Temperatura.
- Presión.
- Flujo.
- Velocidad.
- Nivel.
- Peso.

En este proceso Pirometalúrgico y en otros tipos de proceso se dan casos comunes en los que la medición y/o control de una misma variable se realiza en diferentes áreas utilizandose en cada una un lazo de control.

A continuación se detalla cada lazo de control existente en el proceso de nodulización de minerales de manganeso:

= Lazos de control y registro de Temperatura =

LAZO: " Temperatura del interior del horno " (Fig. No 2).

TIPO: Abierto.

OBJETIVO: Medir la temperatura del interior del horno en
5 puntos equidistantes.

ELEMENTO PRIMARIO DE MEDICION (E.P.M): Termopar tipo "K".

INTERVAIO DE MEDICION: 0 - 1200°C.

TRANSDUCTOR: mv/i.

- - - - -

LAZO: " Temperatura de gases de extracción del horno"
(fig 3).

TIPO: Cerrado.

OBJETIVO: Medir, registrar y controlar la temperatura que
entra en contacto con el ventilador del tiro
del horno en el intervalo de 300 - 310°C.

E.P.M.: Termopar tipo "J" (Hierro-Constantan).

INTERVALO: 0 - 600°C.

TRANSDUCTOR: mv/i (entrada), E/P (salida).

ELEMENTO FINAL DE CONTROL (E.P.C): Válvula neumática.

VARIABLE CONTROLADORA: Espreado de aire + agua.

- - - - -

LAZO: "Temperatura del aire para la combustión del Quemador Principal"(fig 4).

TIPO: Abierto.

OBJETIVO: Medir y registrar la temperatura del aire que
entra al Quemador Principal para la combustión

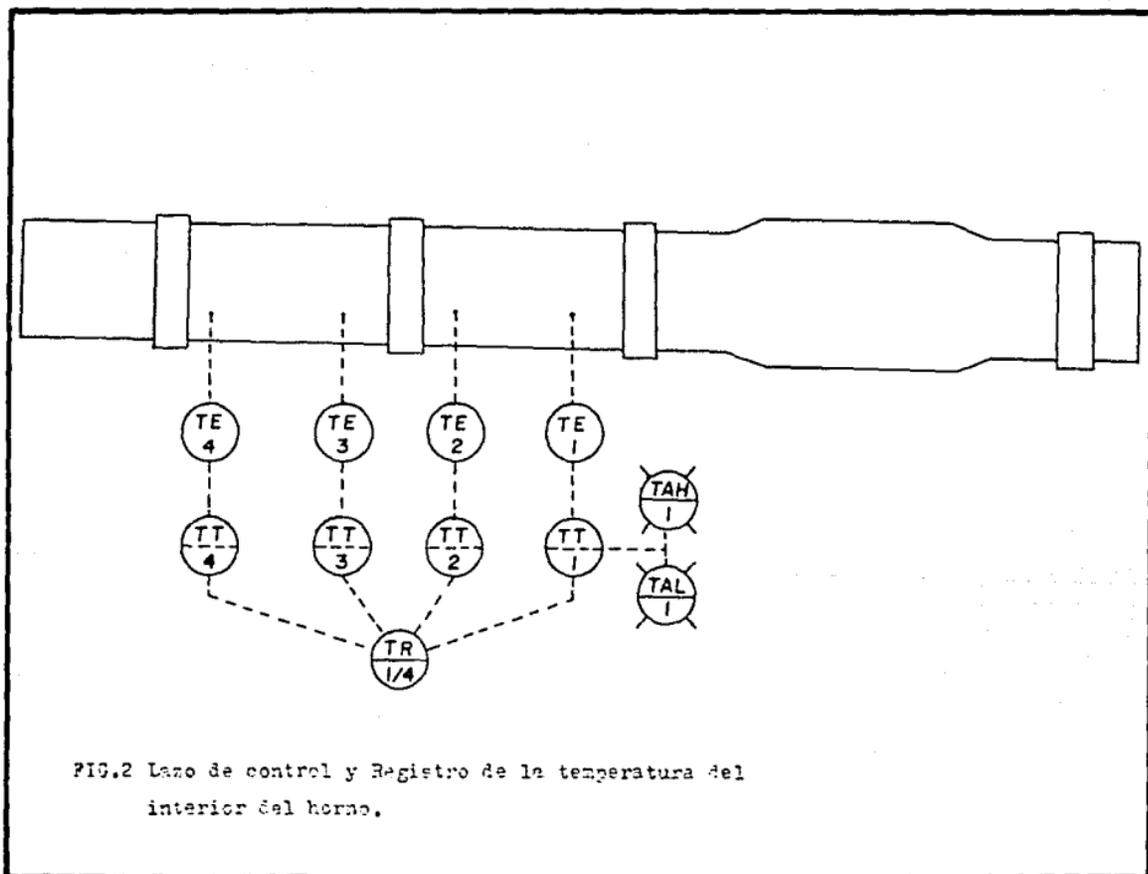


FIG.2 Lazo de control y Registro de la temperatura del interior del horno.

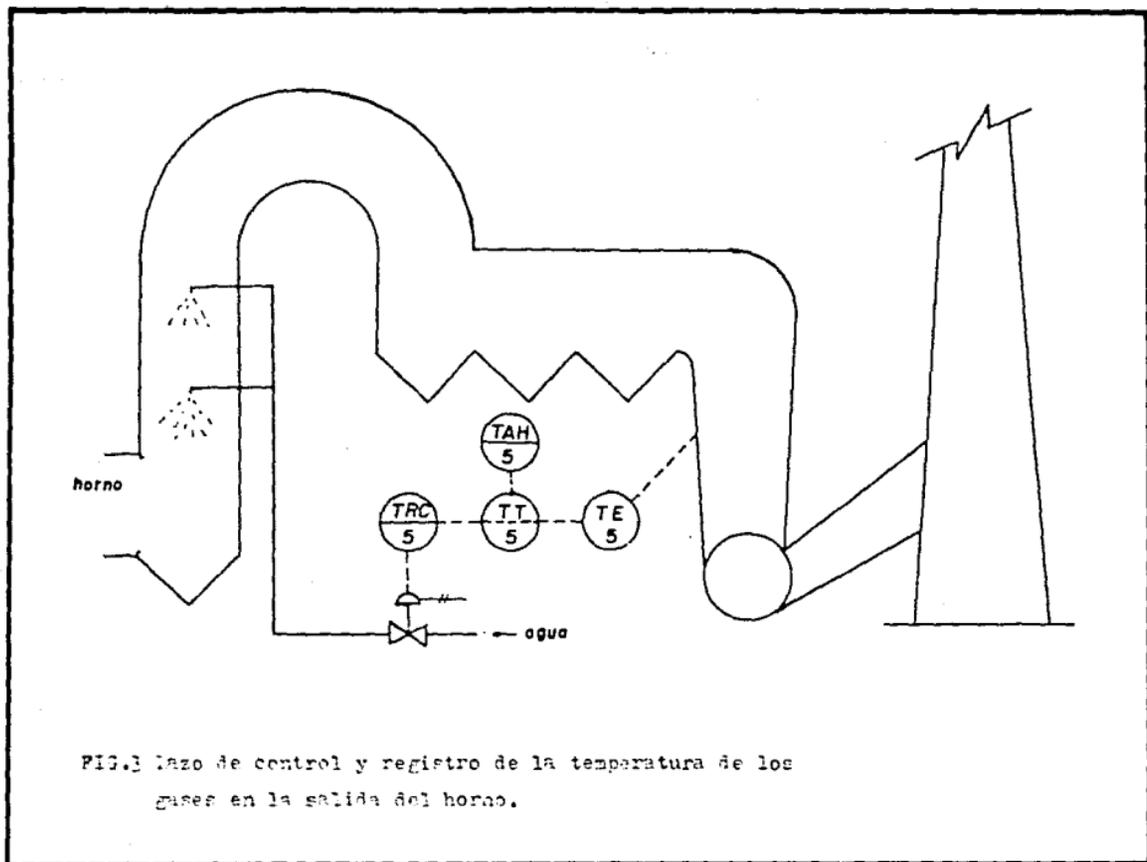


FIG.3 Lazo de control y registro de la temperatura de los gases en la salida del horno.

del gas.

E.P.M.: Termopar tipo "J".

INTERVALO: 0 - 600°C.

TRANSDUCTOR: mv/i.

- - - - -

LAZO: "Temperatura del aire para la combustión en Quemador Inferior" (fig 4).

TIPO: Abierto.

OBJETIVO: Medir y registrar la temperatura del aire que entra al Quemador Inferior, para la combustión del gas.

E.P.M.: Termopar tipo "J".

INTERVALO: 0 - 600°C.

TRANSDUCTOR: mv/i (0 - 50mv/4 - 20ma).

- - - - -

LAZO: "Temperatura del aire de extracción del enfriador" (fig 5).

TIPO: Abierto.

OBJETIVO: Medir y registrar la temperatura a la que sale el aire empleado en el enfriamiento de los nodulos.

E.P.M.: Termopar tipo "j".

INTERVALO: 0 - 600°C.

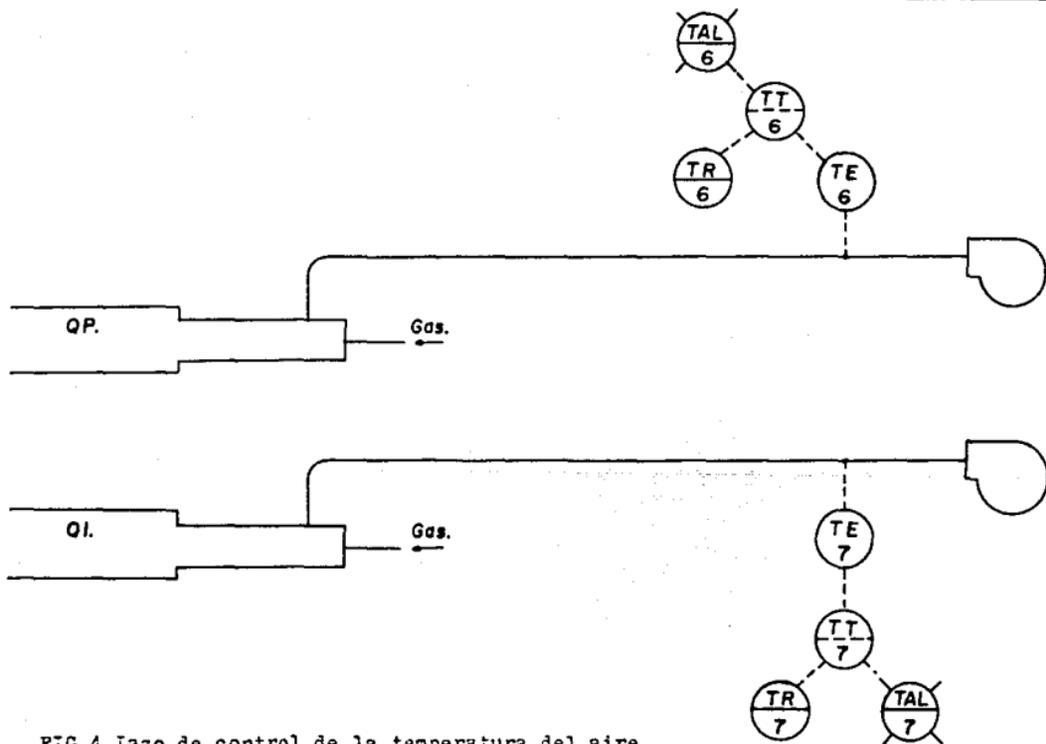
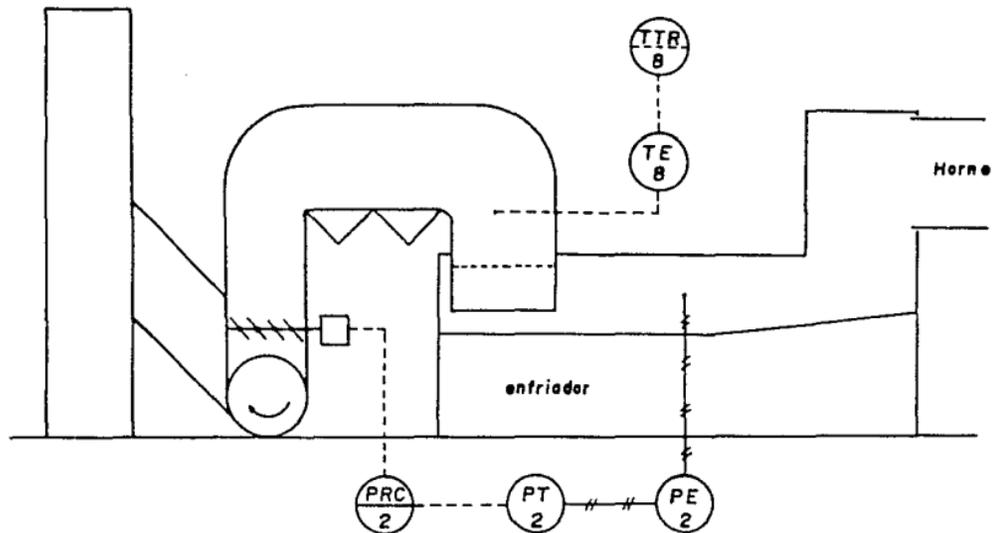


FIG.4 Lazo de control de la temperatura del aire
 en los quemadores.



FIGS.5 y 7 Lazo de control de la presión y la temperatura del aire en el enfriador.

TRANSDUCTOR: mv/i.

- - - - -

= Lazos de control y registro de presión =

LAZO: "Presión del tiro inducido del horno"(fig 6).

TIFO: Cerrado.

OBJETIVO: Medir, registrar y regular manualmente la succión en la descarga del horno generada por el ventilador que extrae los gases de la combustión y calcinación del interior del horno.

E.P.M.: Piezómetro de boquilla.

INTERVALO: $-0.15''\text{H}_2\text{O}$ a $+0.15''\text{H}_2\text{O}$.

TRASDUCTOR: $\Delta P/i$

E.F.C.: Actuador (motor-reductor).

VARIABLE CONTROLADORA(V.C.): % de abertura de persianas.

- - - - -

LAZO: "Presión de succión de los extractores de aire del enfriador"(fig 7).

TIPO: Cerrado.

OBJETIVO: Medir, registrar y controlar la succión ejercida por los extractores del aire del enfriador.

E.P.M.: Piezómetro de boquilla.

INTERVALO: $-0.15''\text{H}_2\text{O}$ a $+0.15''\text{H}_2\text{O}$.

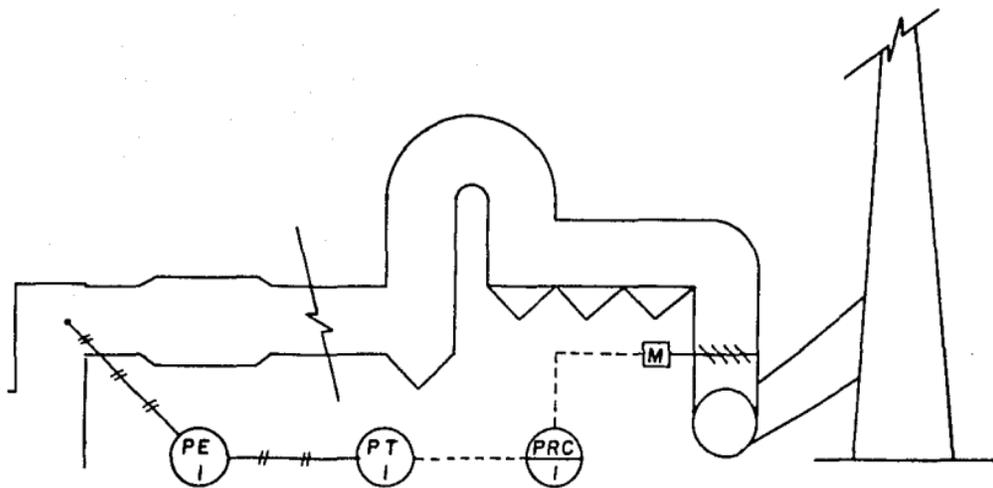


FIG.6 Lazo de control de la presión del tiro del horno.

TRANSDUCTOR: $\Delta P/i$

E.P.C: Actuador (motor-reductor).

V.C.: % de abertura de persianas.

- - - - -

LAZO: "Presión de gas a los quemadores", (fig 8).

TIPO: Cerrado.

OBJETIVO: Indicar y controlar automáticamente la presión de entrada en el cabezal del gas.

E.P.M: Tubo de bourdon.

INTERVALO: 0 - 100 lb/in² (salida).

0 - 150 lb/in² (entrada).

E.P.C.: Válvula neumática.

V.C.: Aire a presión.

- - - - -

LAZO: "presión en ventiladores del enfriador"⁺ (fig 9).

TIPO: Cerrado.

OBJETIVO: Medir, registrar y controlar la succión que ejerce cada ventilador empleado en el enfriamiento del nódulo de manganeso, e indicar la presión ejercida por el mismo.

E.P.M.: Piezómetro tipo "o" (succión).

Piezómetro de boquilla (presión).

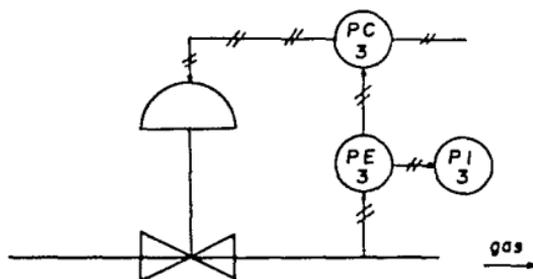


FIG.8 Lazo de control de la presión del gas
a los quemadores.

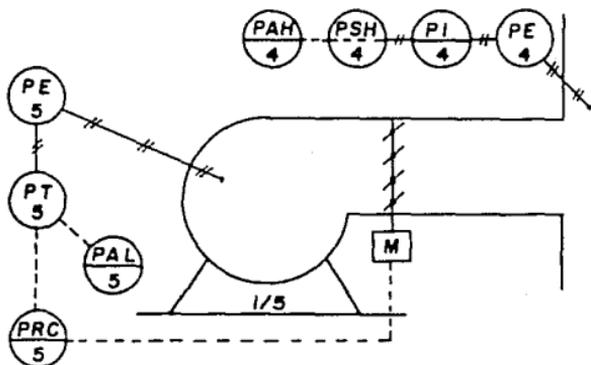


FIG.9 Lazo de control de la presión en los
ventiladores del enfriador.

INTERVALO: 0 - 50cm H₂O.

TRANSDUCTOR: $\Delta P/i$ (entrada)

E/P (salida)

E.F.C: Válvula neumática.

VARIABLE CONTROLADORA: % de abertura de persianas.

(+): este lazo es uno solo y es idéntico para los 5 ventiladores empleados en el enfriamiento del módulo.

= LAZOS DE CONTROL Y REGISTRO DE FLUJO =

LAZO: " Control del flujo de gas al Quemador Principal"

(fig 10).

TIPO: Cerrado.

OBJETIVO: Medir, registrar y controlar el flujo de gas alimentado al Q. Principal.

E.P.M: Placa de orificio.

INTERVALO: 0 - 100 m³/min.

TRANSDUCTOR: $\Delta P/i$ (0-105" H₂O, calibrado de 0-50").

E.F.C: Actuador (motor-reductor).

V. CONTROLADORA: % Abertura de válvula.

LAZO: " Control del flujo de gas al Q. Inferior "(fig.10)

TIPO: Cerrado

OBJETIVO: Medir, registrar y controlar el flujo de gas
alimentado al Q. Inferior.

E.P.M: Placa de orificio.

INTERVALO: 0 - 100 m³/min.

TRANSDUCTOR: $\Delta P/i$ (0-105" H₂O, calibrado de 0-50").

E.F.C: Actuador (motor-reductor).

V. CONTROLADORA: $\frac{1}{2}$ abertura de válvula.

- - - - -

LAZO: " Medición de flujo de gas total " (fig. 10).

TIPO: Abierto.

OBJETIVO: Medir, registrar y totalizar el flujo de gas
consumido en el proceso de nodulización de man-
ganeso.

E.P.M: Placa de orificio.

INTERVALO: 0 - 130 m³/min

TRANSDUCTOR: $\Delta P/i$ (0-105" H₂O, calibrado de 0-50").

- - - - -

LAZO: Control del flujo de aire para la combustión del gas
en el Q. Principal(fig. 11).

TIPO: Cerrado.

OBJETIVO: Medir , registrar y controlar el flujo de aire

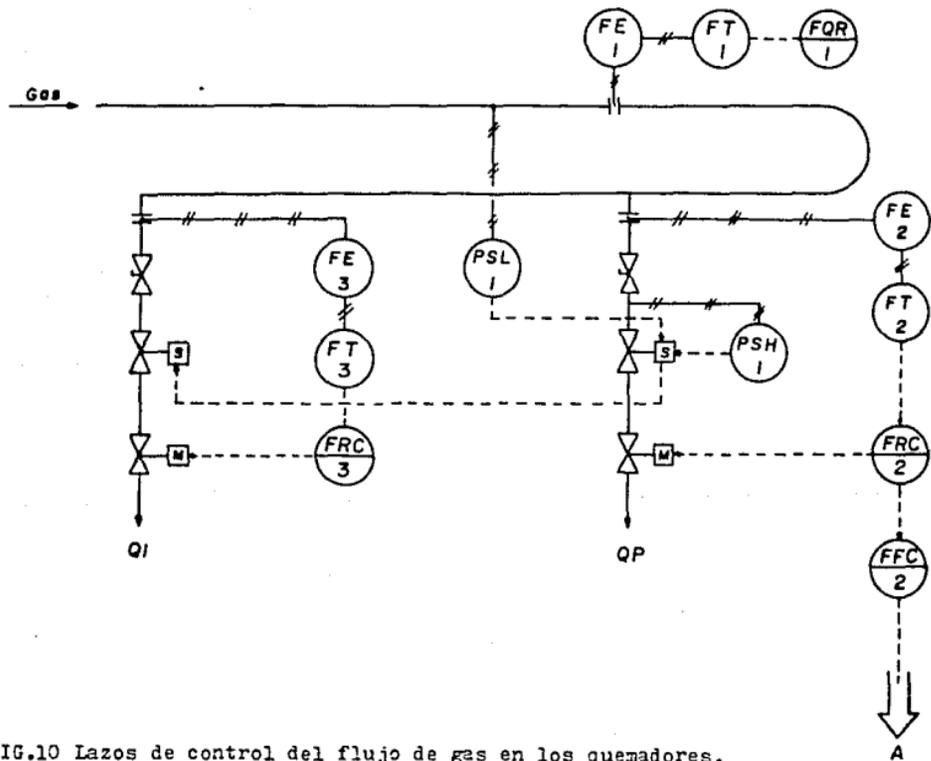


FIG.10 Lazos de control del flujo de gas en los quemadores.

para la combustión del gas en el Q. Principal.

E.P.M: Placa de orificio.

TRANSDUCTOR: $\Delta P/i$ (8-20" H_2O).

E.F.C: Actuador (motor-reductor).

V.CONTROLADORA: % Abertura de persianas en el ventilador.

- - - - -

LAZO: " Control del flujo de aire para la combustión del gas en el Q. Inferior " (fig. 11).

TIPO: Cerrado.

OBJETIVO: Indicar y regular manualmente el flujo de aire que entra al Q.Inferior.

E.P.M: Tubo de Pitot (indicador ANNUBAR).

TRANSDUCTOR: $\Delta P/i$ (8-20" H_2O).

E.F.C: Actuador (motor-reductor).

V. CONTROLADORA: % Abertura de persianas en el ventilador.

- - - - -

= LAZOS DE CONTROL Y REGISTRO DE VELOCIDAD =

LAZO: "Control de la velocidad del Horno Rotatorio" (fig. 12).

TIPO: Cerrado.

OBJETIVO: Medir, indicar, registrar y controlar la veloci-

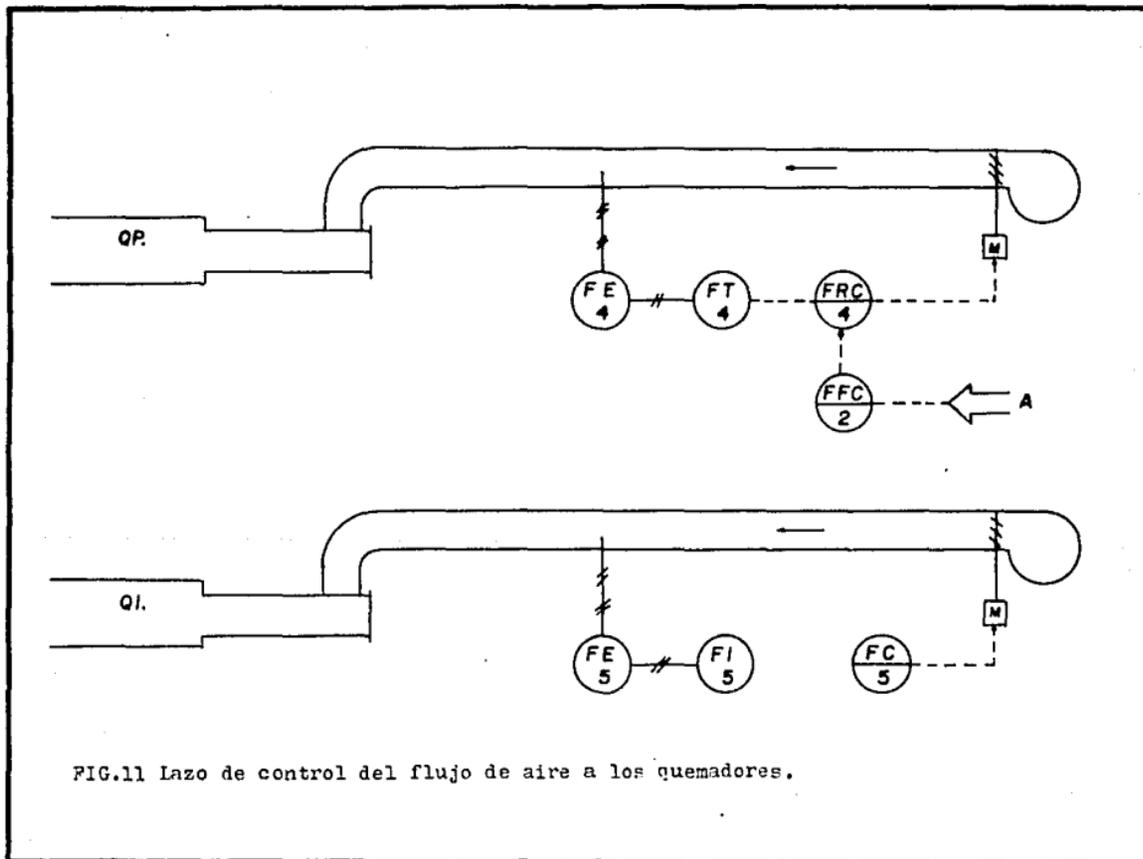


FIG.11 Lazo de control del flujo de aire a los quemadores.

dad del Horno, manteniendola en el punto establecido.

E.P.M: Generador de C.D., acoplado en los motores de la -
transmisión del Horno.

INTERVALO: 0 - 120 volts.

E.P.C: Motor eléctrico de velocidad variable (C.D).

V.CONTROLADORA: Intensidad de corriente eléctrica en el -
motor.

- - - - -

LAZO: "Control de la velocidad de la parrilla del enfriador" (fig. 13).

TIPO: Cerrado.

OBJETIVO: Medir, indicar, registrar la velocidad y presión
en la parrilla reciprocante No. 1 del enfriador.

E.P.M: Generador de C.A.

Piezómetro de boquilla (0-20" H₂O).

INTERVALO: 0 - 9 mA.

0 - 50 cm.H₂O.

E.P.C: Clutch magnético.

V. CONTROLADORA: Campo magnético en el clutch.

- - - - -

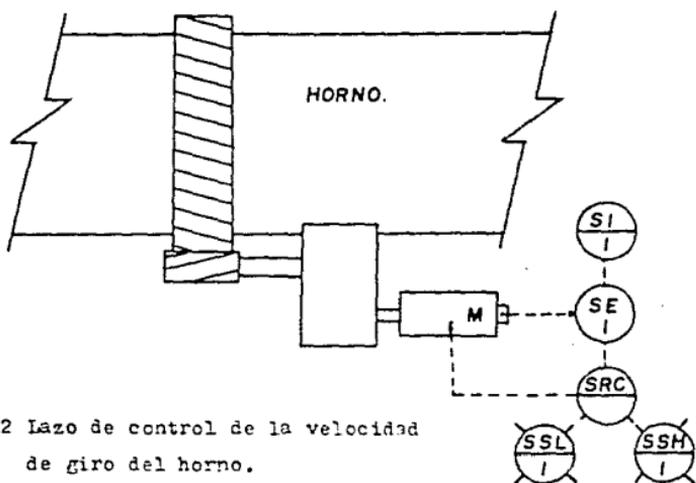


FIG.12 Lazo de control de la velocidad de giro del horno.

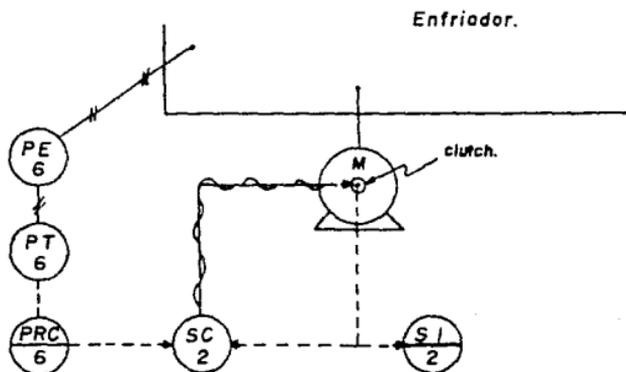


FIG. 13 Lazo de control de la velocidad de vaiven de la parrilla del enfriador.

= LAZOS DE CONTROL Y REGISTRO DE NIVEL =

LAZO: "Nivel de la fosa de recirculación de agua caliente" (fig. 14).

TIPO: Cerrado.

OBJETIVO: Medir, registrar y controlar el nivel de la fosa de agua emplenda en el enfriamiento del equipo provisto de sistema de refrigeración.

E.P.M: Tubo de burbujeo.

Niveles electrocapacitivos.

TRANSDUCTOR: $\Delta P/i$ (0-20" H₂O).

E.F.C: Bombas de recirculación.

- - - - -

LAZO: " Nivel de la fosa de la torre de enfriamiento" (fig. 14).

TIPO: Cerrado.

OBJETIVO: Medir y controlar el nivel de la fosa de la torre de enfriamiento adicionando agua fresca para compensar las pérdidas por evaporación.

E.P.M: Flotadores.

E.F.C: Válvulas solenoides.

- - - - -

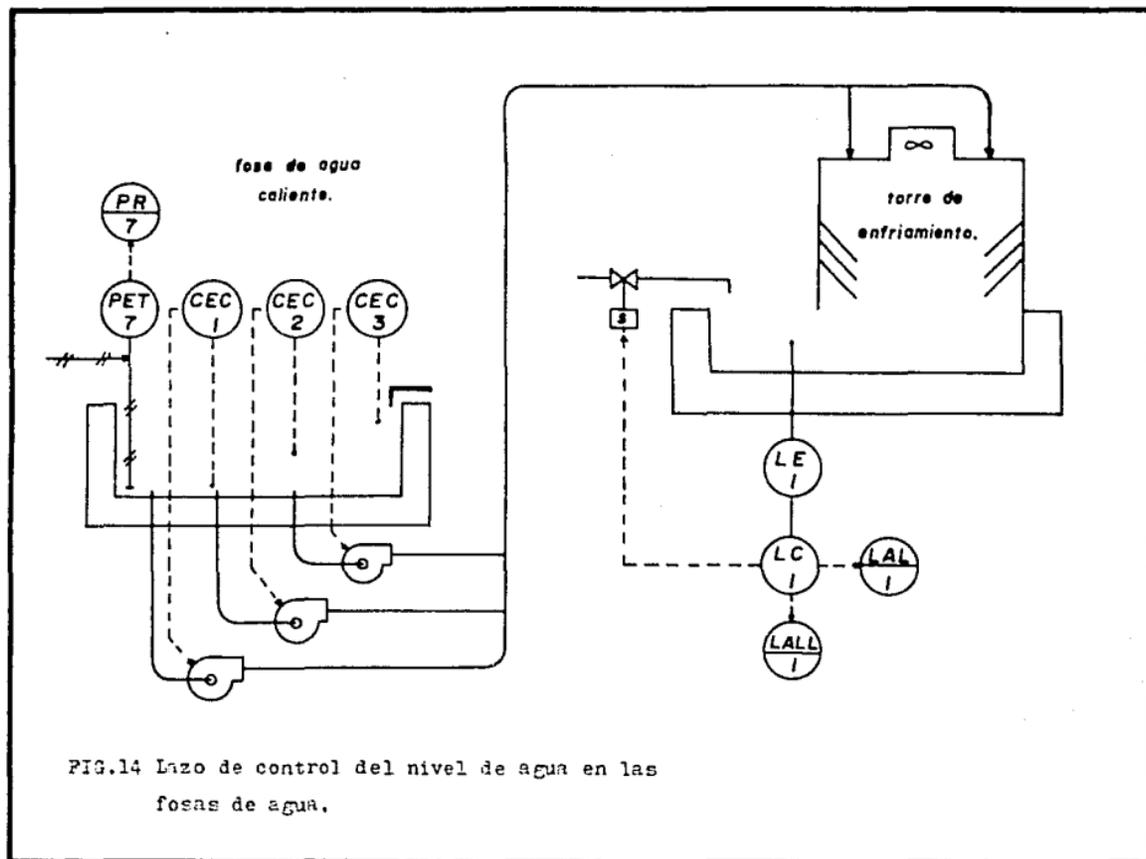


FIG.14 Lazo de control del nivel de agua en las fosas de agua.

= LAZO DE CONTROL Y REGISTRO DE PESO =

LAZO: "Alimentación al horno" (fig. 15).

TIPO: Cerrado.

OBJETIVO: Medir, registrar, indicar, y controlar el tonelaje de mineral alimentado al horno.

E.P.M: Puente de desbalanceo (báscula).

INTERVALO: 200 tons/hr (máximas).

E.P.C: Motor del dosificador de velocidad variable.

V. CONTROLADORA: Velocidad del dosificador.

- - - - -

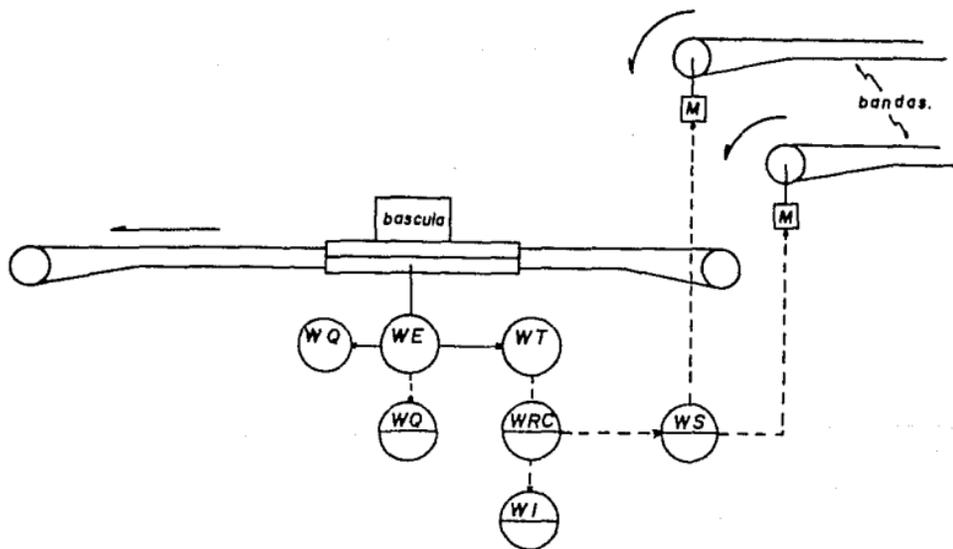


FIG.15 Lazo de control de la alimentación al horno.

C A P I T U L O I I I

III.- MEDICION DEL FLUJO DE GAS.

3.1- ANTECEDENTES:

En todo proceso estan involucrados los gastos originados por los diversos servicios empleados en la fabricación de los productos, hay tanto gastos insignificantes como los hay en los que ocupan gran parte del presupuesto de una empresa.

Para hacer más eficiente una planta, no solo es necesario la implementación de equipo en cierta forma sofisticado, sino que con el equipo existente se pueden (no en todos los casos) reducir al máximo estos gastos.

Cabe hacer la aclaración que dependiendo del grado que se desee es necesario la implementación de equipo similar pero más sofisticado para así lograr incrementar la eficiencia y la productividad.

En la Cía. Minera Autlán(Unidad Molango), para el control del proceso de nodulización de Mn, se operaba con una presión de gas de $3.2\text{kg}/\text{cm}^2$ en el cabezal del gas.

Esta presión es a la que estan diseñadas las pla-

cas de orificio empleadas en la medición del flujo de gas este sistema de medición presento problemas desde hace tiempo ya que existían diferencias en las lecturas del 5 al 10% respecto a la suma del los flujos en los quemadores Principal e Inferior contra la medición del flujo medido en la placa de orificio del totalizador.

Por otro lado, cuando se incremento la producción a las condiciones operativas existentes en el horno, se observó que para controlar la operación fue necesario incrementar la presión en el gas, llegandose a trabajar con una presión de 3.5 Kg/cm^2 .

Aparentemente no existe una gran diferencia entre la presión de trabajo nueva y la anterior ya que solo es de 0.3 Kg/cm^2 , pero que en el proceso de nodulización esta repercute en forma drástica ya que con el tonelaje alimentado en promedio de 110 - 120 TPH, a 80 RPH del horno rotatorio y trabajando a una presión de 3.2 Kg/cm^2 es casi imposible mantener una operación controlada.

Al no tener control sobre el proceso es necesario disminuir la velocidad de giro del horno, disminuyendo la producción en un 25% con el consecuente incremento en los

costos de producción.

El incrementar la presión del gas no es problema ya que el gas llega con una presión de 7.5 Kg/cm^2 y es regulada por una válvula de control autoregulable.

El problema en si, es que al incrementar la presión en el gas el error en los registros de cada placa de orificio se incremento llegando a ser del orden del 25% de error.

Lo más importante fue que al existir este error no se tenía una buena combustión por el desconocimiento del flujo real del gas, originando un incremento del consumo de gas de acuerdo al consumo facturado por el proveedor.

Por lo anterior se realizo el presente análisis del sistema de medición del flujo de gas para evaluar la problemática existente.

En el presente análisis se hace el cálculo del flujo de gas en cada placa de orificio de acuerdo a la presión de diseño y a la presión actual de trabajo para ver la relación entre el flujo de gas registrado y el flujo real aproximado.

El sistema de medición del gas opera de la siguiente forma; la placa de orificio crea una presión diferencial al paso del gas, esta diferencial es medida por el transductor y envía una señal de 4 - 20 ma.al registrador el cual posee una gráfica impresa con el intervalo de flujo para cada placa de orificio.

Para el error por medición de la presión diferencial por el transductor en cada una de las placas de orificio, se hicieron pruebas midiendo con un manómetro diferencial encontrando un error del 0.4% por lo que la medición del transductor es correcta.

Es importante mencionar también que:

- 1.- El rango de presión diferencial en la placa de orificio del totalizador es de 0 - 50" columna de agua y su registrador(papel impreso) de 0 - 180 m/min.
- 2.- El intervalo de presión diferencial en la placa de orificio de los Quemadores Principal e Inferior son de 0 - 50" columna de agua y sus registradores de 0 - 100 m³/min en cada uno.
- 3.- Los transductores de cada placa de orificio están calibrados para el intervalo de 0 - 50" H₂O.

pero pueden calibrarse en el intervalo de 0 - 150"H₂O, pero independientemente del intervalo a que se calibren estos mandan una señal de salida de 4 - 20 ma. proporcional a la señal de entrada (ref 1).

- 4.- Los registradores son de calibración fija y solo registran la señal recibida por el transductor, por lo tanto si reciben una señal de 16 ma registran la señal de 16 ma indicando en el papel impreso el flujo correspondiente.
- 5.- Los datos de las placas de orificio se tomaron (midieron) físicamente en un paro programado para mantenimiento del horno rotatorio dando las siguientes medidas:

<u>Placa de orificio</u>	<u>Diámetro int.</u>
Totalizador	4.940"
Q. Principal	3.942"
Q. Inferior	2.967"

- 6.- El equipo empleado en el lazo de control de la medición del gas es marca "Honeywell" por lo que se emplea el método de cálculo que emplea en la medición del gas, este cálculo se encuentra en la literatura empleada (ref 6).

La ecuación general de flujo de gases para placas de orificio a emplear es la siguiente:

$$K\beta^2 = \frac{Q}{707 \cdot Y \cdot F_a \cdot D^2} \sqrt{\frac{P_M \cdot T}{H_w \cdot P_f}}$$

en donde:

Q = Flujo de gas en ft³/min.

K = Coeficiente de derrame del orificio.

F_a = Factor de expansión térmica del orificio.

β = Relación entre diámetros internos.

Y = Factor de expansión del gas.

D = Diámetro interno de la tubería (pulgadas).

P_M = Peso molecular del gas (lb/lbmol).

T = Temperatura del gas (°R).

H_w = Presión diferencial en la placa ("H₂O).

P_f = Presión en el cabezal del gas (PSIA).

El valor de 707 involucra constantes y factores de conversión.

El valor de "Y" se obtiene a partir de la siguiente ecuación (ref 4.):

$$Y = 1 - \left[\frac{H_w}{27684 \cdot P_f \cdot k} (0.41 + 0.35\beta^4) \right]$$

en donde:

Y = Factor de expansión del gas.

P_f = Presión en el cabezal de gas (PSIA).

Hw= Presión diferencial en la placa (" H₂O).

k = Relación de Cp/Cv del gas (1.3 para gas natural), (ref 4).

β = Relación entre diámetros.

Para el factor de expansión termica del orificio se emplea la siguiente ecuación(ref 3):

$$F_a = 1 + [0.0000185(^{\circ}F - 68)]$$

La ecuación anterior es aplicable solamente para las placas fabricadas con acero inoxidable 316.

Reordenando la ecuación general del flujo de gas para la simplificación en los cálculos y para obtener M³/min (condiciones normales), se tiene que:

$$Q = \frac{K \cdot B^2 \cdot Y \cdot F_a \cdot D^2 \cdot 20.023}{\sqrt{\frac{PM \cdot T}{Hw \cdot Pf}}}$$

Para los cálculos se requiere conocer el peso molecular promedio del gas, Cía Minera Autlan no cuenta con un analizador de gases por lo que se utilizara el valor del peso molecular reportado por una firma de Ingeniería (ref 8) que se encargo del análisis del gas natural empleado en el proceso de nodulización, esta firma tomo' una muestra de gas en el cabezal.

Los resultados del análisis proporcionados por la firma de ingeniería (ref 8) son los sig:

ANALISIS DEL GAS

	<u>% Mol</u>
Hidrógeno	5.0
Inertes	2.8
Metano	83.4
CO ₂	0.4
Etano	8.1
H ₂ S	Trazas
Propano	0.2
Isobutano	Trazas
Butano-normal	Trazas
Hexanos + pesados	0.1
	100.0
Peso molecular promedio	16.98 lb/lbmol
Poder calorífico	8989.00 Kcal/m ³
Peso específico	0.5886

El peso molecular anteriormente conocido era de 19 lb/lbmol, como se observa hay una diferencia considerable respecto al valor actual.

3.2 FLUJO DE GAS EN EL TOTALIZADOR.

En primera instancia se hace el cálculo del flujo de máximo en la placa de orificio del totalizador a 50" -

H₂O con una presión de 3.2 Kg/cm² y PM = 19.

A estas condiciones el flujo máximo debiera ser de 180 M³/min que es el flujo máximo para el registrador del totalizador.

Los datos para la placa del totalizador son los que a continuación se detallan:

- Flujo máximo a 50" H₂O = 180 m³/min.
- Calibración del Transductor = 0 - 50 " H₂O.
- Hw máxima = 50"H₂O.
- Presión del gas = 3.2 Kg/cm² (60.172 PSIA).
- Peso específico del gas = 0.6559
- Diámetro int. de la tubería = 7.981"(ref. 9).
- Diámetro del orificio = 4.94"
- Temperatura del gas = 15°C (520°R).
- k = 1.3 (ref 4).

Con los datos del diámetro interior de la tubería y el diámetro interior del orificio calculamos la relación entre diámetros:

$$\beta = \frac{d}{D} = \frac{4.94''}{7.981''} = 0.619$$

con $\beta = 0.619$ se tiene que:

$$K = 0.672 \text{ (ref 2).}$$

Por lo tanto el valor de la constante de expansión del gas en el orificio es:

$$Y = 1 - \frac{50}{27.684 \cdot 60.172 \cdot 1.3} (0.41 + 0.35(0.619)^4)$$

$$Y = 0.98938$$

El valor de $P_a \cong 1$

sustituyendo todos los datos en la ecuación general se tiene que:

$$Q = \frac{(0.672)(0.619)^2(1)(0.9893)(20.023)(7.981)^2}{\sqrt{\frac{(19)(519)}{(50)(60.172)}}}$$

$$Q = 179.4 \text{ m}^3/\text{min}$$

Como se observa, el valor del flujo de gas a una presión diferencial máxima de 50" H₂O corresponde a 179.4 m³/min, mientras que en el papel del registrador es de 180 m³/min dando una diferencia insignificante.

Para este cálculo se considero el peso molecular igual a 19 y con una presión de 3.2 Kg/cm² a una temperatura de 15°C o sea a las condiciones de trabajo que antes se tenían.

Anteriormente se menciona que de acuerdo a las necesidades de la Cía Minera Autlán, en cuestión del in--

cremento de la producción se ha elevado la presión del gas llegando hasta 3.5 Kg/cm^2 .

Para conocer el flujo de gas aproximado al real se hace el cálculo a diferentes presiones diferenciales y a las diferentes presiones en el cabezal del gas.

Los cálculos son similares a los anteriores, solo que los valores de la presión del gas (en el cabezal) y la presión diferencial en la placa de orificio serán los siguientes:

$$P_f = 3.2 \text{ Kg/cm}^2 - 3.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$H_w = 5-50'' \text{ H}_2\text{O}.$$

los resultados son:

Hw("H ₂ O)	Presión (Kg/cm ²)			
	3.2	3.3	3.4	3.5
5	57.3	58.0	58.6	59.3
10	80.9	81.9	82.8	83.8
15	99.9	100.2	101.4	102.5
20	114.2	115.6	116.9	118.5
25	127.6	129.1	130.6	132.1
30	139.6	141.3	142.9	144.5
35	150.6	152.4	154.2	155.9
40	160.8	162.8	164.7	166.5
45	170.4	172.5	174.5	176.5
50	179.4	181.6	183.7	185.8

Tabla 1. Flujos de gas a diferentes presiones del gas y peso molecular = 19 ., resultados en m³/min, para la placa de orificio del totalizador del gas.

Nuevamente se hace mención de que los resultados anteriores son calculados a las condiciones de peso molecular igual a 19 y una temperatura de 60°P.

De acuerdo al reporte del análisis del gas(ref. 8) el peso molecular del gas (actual) es de 16.98 lb/lbmol empleando este valor actualizado del peso molecular en los mismos cálculos, se tienen los siguientes resultados:

Hw("H ₂ O)	Presión (Kg/cm ²)			
	3.2	3.3	3.4	3.5
5	60.6	61.3	62.0	62.7
10	85.6	86.6	87.6	88.6
15	104.7	106.0	107.2	108.4
20	120.8	122.3	123.7	125.1
25	134.9	136.5	138.1	139.7
30	147.7	149.4	151.2	152.9
35	159.3	161.2	163.1	165.0
40	170.1	172.2	174.2	176.0
45	180.3	182.4	184.6	186.7
50	189.8	192.1	194.3	196.6

Tabla 2. Flujos de gas en m³/min para la placa del totalizador de gas, a diferentes presiones diferenciales y del gas, con PM=16.98.

Como se puede ver, usando el peso molecular actualizado del gas se obtiene una diferencia considerable con respecto a los resultados obtenidos en el cálculo de gas pero con el peso molecular que anteriormente se conocía.

Los resultados anteriores estan basados a la temperatura de 15°C, que en la realidad la temperatura varía según las condiciones del gas. Estas variaciones de temperatura afectan tambien en la medición del flujo del gas.

A continuación se dan los resultados de los flujos del gas calculados a diferentes temperaturas y a diferentes presiones diferenciales usando el peso molecular proporcionado por la firma de ingeniería (ref.8) o sea el peso molecular actualizado:

Hw("H ₂ O)	Temperatura			
	5°C	10°C	15°C	20°C
10	87.1	86.4	85.6	84.9
20	123.1	121.9	120.8	119.8
30	150.3	149.0	147.7	146.4
40	173.2	171.6	170.1	168.7
50	193.2	191.5	189.8	188.2

Tabla 3. Flujos de gas en m³/min a diferentes temperaturas y presiones diferenciales, para la placa de orificio del totalizador, a una presión en el cabezal del gas de 3.2Kg/cm².

Hw("H ₂ O)	5°C	10°C	15°C	20°C
10	90.2	89.4	88.6	87.9
20	127.3	126.2	125.1	124.0
30	155.6	154.2	152.9	151.6
40	179.3	177.7	176.2	174.7
50	200.1	198.3	196.6	194.9

Tabla 4. Flujos de gas en m³/min a diferentes temperaturas y diferentes presiones diferenciales para la placa del totalizador, a una presión en el cabezal del gas de 3.5 Kg/cm².

3.3 FLUJO DE GAS EN EL QUEMADOR PRINCIPAL.

La escala del registrador del flujo de gas del Quemador Principal es de 0-100 m³/min correspondientes a una presión diferencial de 0-50" H₂O, al igual que la placa de orificio del totalizador se realizan los cálculos del flujo de gas a una presión diferencial de 50" H₂O y a una presión del gas de 3.2 Kg/cm², PM=19 y T=15°C.

Los resultados son los obtenidos a partir de los siguientes datos:

- Diámetro int., de la tubería = 6.065" (ref. 9).
- Diámetro del orificio = 3.942".
- Factor de expansión del gas (Y) = 0.9891, cal-

culado tal y como se calculo el factor de expansión del gas en la placa del totalizador.

Por lo que:

$$Q = 115.8 \text{ m}^3/\text{min}.$$

El anterior resultado se obtiene empleando la secuencia del cálculo del flujo de gas en placa del totalizador.

En la determinación del flujo de gas en la placa de orificio del Q. Principal se tiene un error del 15.8 % con respecto a los $100 \text{ m}^3/\text{min}$ que se deberían obtener, por lo que se determinará la presión del gas adecuada a la que a $100 \text{ m}^3/\text{min}$ se genere una presión diferencial de $50''$ de H_2O , los resultados son los sig:

Kg/cm^2	m^3/min
3.2	115.80
3.0	113.00
2.6	107.10
2.4	104.00
2.2	100.00

Tabla 5. Flujos de gas a diferentes presiones y a $50'' \text{ H}_2\text{O}$ de diferencial en la placa de orificio del Quemador Principal.

En la tabla 5 se puede ver que las 50" H₂O de presión diferencial correspondientes a 100 m³/min se obtienen si la presión del gas fuese de 2.2 Kg/cm², esta presión no sería recomendable ya que causaría errores en la medición del flujo en la placa del totalizador.

Por lo tanto es de suponerse que la presión diferencial a la que fluyen los 100 m³/min es diferente a las 50" H₂O.

Al buscar dicha presión diferencial se tienen los siguientes resultados:

Hw("H ₂ O)	m ³ /min
50	115.8
45	110.0
40	103.8
39	102.5
38	101.2
37	99.9

Tabla 6. Flujos de gas correspondientes a diferentes presiones diferenciales para la placa de orificio del Q. Principal y a una presión de 3.2 Kg

En la tabla 6 se observa que para una presión del gas de 3.2 Kg/cm^2 la máxima presión diferencial que producen $100 \text{ m}^3/\text{min}$ son $37'' \text{ H}_2\text{O}$.

En todos los cálculos anteriores para la placa de orificio del Q. Principal se usó un peso molecular igual a 19 y una temperatura de 15°C , al igual que en la placa del totalizador se realiza los cálculos de los flujos del gas pero con el peso molecular actualizado y con la misma temperatura, los resultados son los siguientes:

Hw("H ₂ O)	Presión	
	3.2	3.5
5	39.1	40.5
10	55.3	57.2
15	67.6	70.0
20	78.0	80.7
25	87.1	90.0
30	95.3	98.7
35	102.9	106.5
40	109.8	113.7
45	116.4	120.5
50	122.5	126.9

Tabla 7. Flujos de gas en m^3/min a diferentes presiones diferenciales y a diferentes presiones del gas para la placa del Q. Principal.

3.4 FLUJO DE GAS EN EL QUEMADOR INFERIOR.

Al igual que en las placas del Totalizador y del Q. Principal se dan los resultados obtenidos en las determinaciones del flujo máximo del gas que circula por la placa de orificio del Q. Inferior a una presión diferencial máxima de 50" H₂O a las condiciones de diseño, o sea a una presión del gas de 3.2 Kg/cm² y el peso molecular anteriormente conocido.

Para los cálculos en la placa se requiere de los siguientes datos (solo para el Q. Inferior) :

- Diámetro interior de tubería = 4.026" (ref 9).
- Diámetro interior del orificio = 2.967"

realizando los mismos cálculos que en la placa de orificio del Totalizador, se tiene que:

- Factor de expansión del gas = 0.749

por lo que:

$$Q = 72.004 \text{ m}^3/\text{min.}$$

El valor de 72.004 m³/min no es el máximo ya que la escala máxima del registrador es de 100 m³/min.

Al igual que en el Q. Principal es de suponerse que existe una presión diferencial totalmente diferente a 50" H₂O a la que corresponde un flujo máximo de gas de 100 m³/min, pero para que las 50" H₂O correspondan al mismo flujo la presión del gas debe ser diferente, haciendo el cálculo de esta presión(ec. general), se tiene que la presión está por arriba de 7.0 Kg/cm².

Como esta presión ya es muy alta, es de esperarse que para la placa de orificio del Q. Inferior se tenga una presión diferencial mayor a 50" H₂O cuando circulen los 100 m³/min.

Anteriormente se menciona que la calibración máxima de los transductores de las placas de orificio son hasta de 105" H₂O por lo que si se sustituye este valor por el de 50" H₂O en el cálculo del flujo máximo de gas en la placa de orificio del Quemador Inferior se tiene que:

$$Q = 102.94 \text{ m}^3/\text{min.}$$

con este resultado se tiene que el error es de 2.94% respecto a los 100 m³/min del registrador del Q. Inferior.

Nuevamente se hace mención que en la determinación anterior se utilizó el valor del peso molecular que anteriormente se conocía y a una temperatura de 15°C , si se sustituye el valor del peso molecular del gas que actualmente se conoce y en el intervalo de $0 - 105^{\circ}\text{H}_2\text{O}$ a 15°C se tienen los siguientes resultados:

Hw("H ₂ O)	Presión	
	3.2	3.5
10	34.2	35.6
20	48.5	50.2
30	59.3	61.4
40	68.3	70.7
50	76.2	78.9
60	83.2	86.2
70	89.7	92.9
80	95.6	99.1
90	101.2	104.9
100	106.4	110.3
105	108.9	112.9

Tabla 8. Flujos de gas en m^3/min a diferentes presiones diferenciales y diferente presión del gas para la placa de orificio del Q. Inferior empleando el peso molecular actualizado del gas.

En los resultados anteriores (tabla 8), encontramos que el flujo de gas es mayor a una presión de 3.5 Kgs que a la presión de 3.2 Kg/cm^2 sin considerar las varia--

ciones con respecto a la temperatura.

Al igual que en las placas de orificio tanto del Totalizador como la del Quemador Principal presenta variaciones en el flujo de gas a consecuencia del cambio de la presión de trabajo y sobretodo por la diferencia de la densidad actual del gas con la densidad que anteriormente se manejaba.

C A P I T U L O I V

IV. COMPARACIONES CON EL METODO DE LA " A.G.A ".

Para tener una referencia en la que se base si los resultados anteriores son hasta cierto punto válidos, se hace necesario una evaluación tomando como base la forma en que se mide y se calcula el flujo de gas natural en forma estandarizada.

El método empleado es el estándar emitido por la " American National Standard " y la " American Gas Association " (A.G.A) (ref. 3).

La forma en que se mide el flujo es similar al empleado en Cía Minera Autlán, o sea usando placas de orificio.

En el desarrollo de la determinación o cálculo del flujo de gas se requiere del uso de las diversas tablas emitidas por la "A.G.A" para la obtención de diferentes constantes empleadas en dicho cálculo, por tal motivo y para la simplificación en la determinación de la veracidad de los resultados expuestos en el presente trabajo sólo se expondrá el valor o dato obtenido de cada una de las tablas empleadas (ver ref. 3).

Por otro lado solo se hará la determinación del flujo máximo de gas a 50" H₂O en la placa de orificio del Totalizador y con este dato contrastandolo con el obtenido en la sección 2 del capítulo 3 (tabla 2), el cual se determino a las condiciones de presión de 3.2 Kg/cm², el peso molecular actualizado y a una temperatura de 15°C siendo este con un valor de 189.8 m³/min a una presión diferencial de 50" H₂O (condiciones normales).

Los datos necesarios para la determinación del flujo de gas por el metodo de la "A.G.A" son los sig:

- Diámetro interior de la tubería (8") = 7.961" (ref. 9).
- Diámetro interior del orificio = 4.94".
- Temperatura del gas = 15°C (59°F).
- Temperatura base de contrato = 20°C (68°F) (ref.-10).
- Presión del gas = 3.2 Kg/cm² (60.172 PSIA).
- Presión base de contrato = 14.2234 PSI (ref.10).

La ecuación a emplear (metodo "A.G.A") es la siguiente :

$$Q = K \cdot F_g \cdot F_{tb} \cdot F_{pv} \cdot \sqrt{H_w \cdot P_f}$$

en donde:

$$K = F_e \cdot F_b \cdot F_r \cdot F_y \cdot F_{pb} \cdot F_{tb}$$

por otro lado se tiene que:

$$H_w/P_f = 0.831$$

$$\beta = \frac{d}{D} = 0.619$$

$$\sqrt{H_w \cdot P_f} = 54.851$$

4.1 Determinación del factor base (Fb):

Utilizando tabla de valores de la "A.G.A", con los diámetros internos del orificio y de la tubería, $d = 4.94''$ y $D = 7.981''$ respectivamente se tiene que:

$$F_b = 5401.58$$

4.2 Determinación del factor por Número de Reynolds (Fr):

El factor por Número de Reynolds (Fr) se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Fr = 1 + \frac{b}{\sqrt{H_w P_f}}$$

De las tablas de "A.G.A", con $d = 4.94''$ y $D = 7.98''$ se tiene que $b = 0.045$ por lo que :

$$Fr = 1 + 0.045/54.851 = 1.001$$

4.3 Determinación del factor de expansión del gas (Py):

De las tablas de la "A.G.A" se tiene que con $H_w/P_f = 0.831$ y $B = 0.691$ se obtiene:

$$P_y = 0.9893$$

4.4 Determinación del factor de presión base (Ppb):

La presión base de contrato es de 14.2234 PSI, el factor P_{pb} se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_{pb} = \frac{14.73}{P_b}$$

por lo tanto:

$$P_{pb} = 14.73/14.2234 = 1.0356$$

4.5 Determinación del factor de temperatura base (Ptb):

La temperatura base de contrato (T_b) es de 20°C y el factor de temperatura base se calcula mediante la expresión siguiente:

$$P_{tb} = T_b / 520 \quad (T_b = ^{\circ}\text{R})$$

por lo tanto:

$$P_{tb} = \frac{528}{520} = 1.0154$$

4.6 Determinación del factor de conversión (Fc):

Las unidades a las que se expresa el flujo de gas determinado por el método de la "A.G.A" están dadas en ft^3/min , para expresarlas en m^3/min solo se hace la conversión correspondiente ($1\text{m}^3 = 35.314\text{ft}^3$) o sea que:

$$F_c = 1 / 35.314 = 0.02832$$

4.7 Determinación de la constante "K":

Todos los factores anteriores agrupan la constante "K" por lo que:

$$K = F_c \cdot F_b \cdot F_r \cdot F_y \cdot F_{pb} \cdot F_{tb}$$

sustituyendo el valor de los factores se tiene que:

$$K = (0.02832)(5401.58)(1.001)(0.9893)(1.0356)(1.01540)$$

$$K = 159.29618$$

4.8 Determinación del factor de densidad (Fg):

Para una densidad relativa de $G = 0.5886$ (ref. 8) se tiene que:

$$F_g = \sqrt{\frac{1}{G}}$$

$$F_g = \sqrt{1 / 0.5886} = 1.3034$$

4.9 Determinación del factor por Temperatura (Ptf):

Para una temperatura del gas de 15°C (59°F), y con las tablas de valores de la "A.G.A" para este factor se tiene que:

$$Ptf = 1.001$$

4.10 Determinación del factor de corrección por presión y por temperatura (Ppv):

Para la determinación del factor Ppv, se tiene que $P_p = P_f - 11.7$, por lo que para una presión de trabajo en el gas de 3.2 Kg/cm² (60.172 PSIA) se tiene que:

$$P_p = 60.172 - 11.7 = 48.47 \text{ PSIG}$$

con 48.47 Psig y 15°C (59°F) en el gas, de las tablas de la "A.G.A" se tiene que:

$$Ppv \cong 1.00381$$

4.11 Determinación del flujo de gas (Q):

Sustituyendo los valores de los factores encontrados se tiene lo sig:

$$Q = K \cdot F_g \cdot Ptf \cdot Ppv \sqrt{H_w P_f}$$

$$Q = (159.296)(1.3034)(1.001)(1.0038)(54.891)$$

$$Q = 190.52 \text{ m/min (condiciones normales)}$$

En las determinaciones hechas en el capítulo 3, se encontro que el flujo máximo a una presión de 3.2 Kg/cm^2 con una presión diferencial de $50 \text{ mm H}_2\text{O}$ y con una temperatura de 15°C es de $189.8 \text{ m}^3/\text{min}$, mientras que la determinación hecha siguiendo el metodo de la "A.G.A" se obtuvo un flujo de $190.52 \text{ m}^3/\text{min}$ con una diferencia del 0.38% dándole validez a los resultados expuestos en el capítulo no. 3.

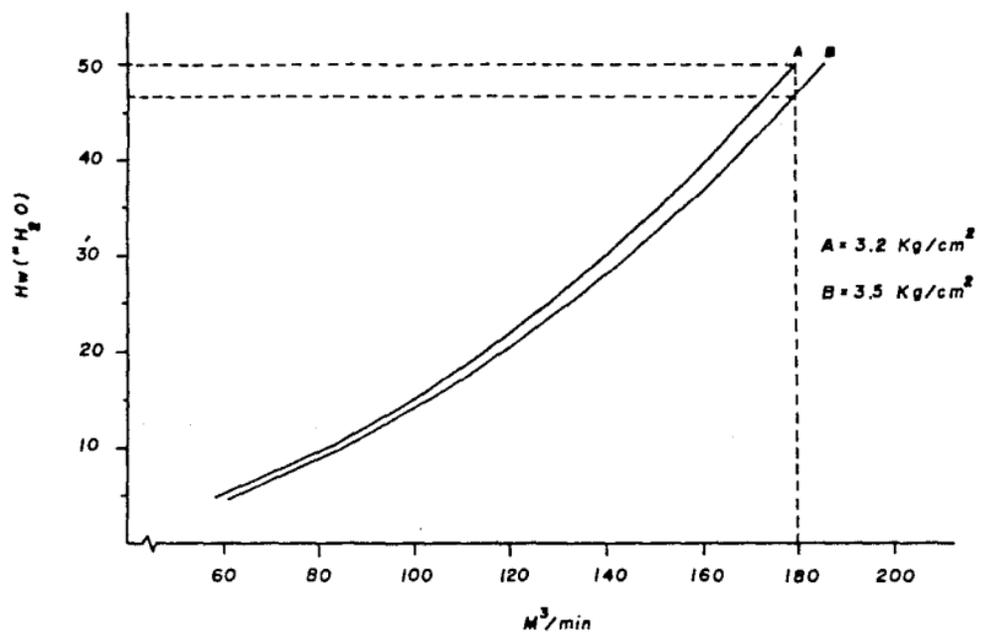
C A P I T U L O V

V. REPRESENTACION GRAFICA Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS.

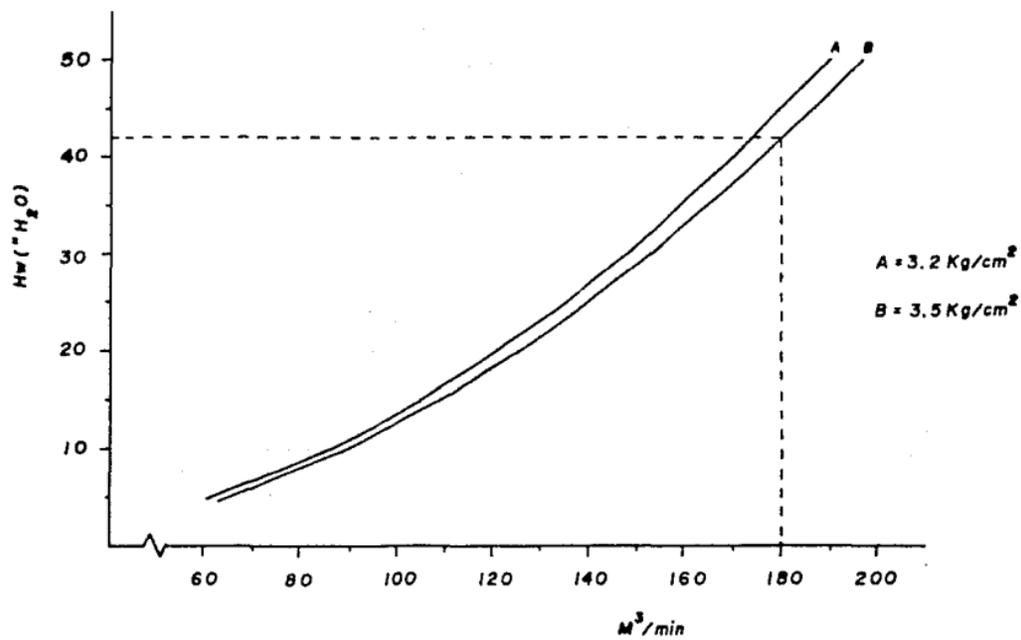
En la gráfica No. 1 se observa que la placa de orificio del totalizador está diseñada para trabajar a una presión en el gas de 3.2 Kg/cm^2 y un peso molecular igual a 19 (valor conocido hace años), y en la cual se aprecia que al circular $180 \text{ M}^3/\text{min}$ y a 3.2 Kg/cm^2 se genera una presión diferencial de $50'' \text{H}_2\text{O}$, en la misma grafica se tiene que al incrementar la presión de trabajo a 3.5 Kg/cm^2 la diferencial (Hw) disminuye a $46.5'' \text{H}_2\text{O}$, esto es debido a que se iguala la presión en las tomas de la placa de orificio.

Por otro lado debido al cambio del peso molecular del gas comparado entre el actual (16.98) y el anteriormente conocido (19.0), se ha encontrado que el flujo máximo de gas en la placa del Totalizador genera una presión diferencial de $42'' \text{H}_2\text{O}$ a una presión de 3.5 Kg/cm^2 tal y como se puede ver en la gráfica No. 2; como puede observarse, al disminuir el peso molecular a 16.98, los $180 \text{ M}^3/\text{min}$ de gas disminuyen la presión diferencial hasta $42'' \text{H}_2\text{O}$.

En el mismo caso se encuentra la placa de orificio del Quemador Principal ya que la presión disminuye de $50'' \text{H}_2\text{O}$ a $30.5'' \text{H}_2\text{O}$ al aumentar la presión de trabajo a



Gráfica 1. Flujo de gas en el totalizador con $PM = 19$.



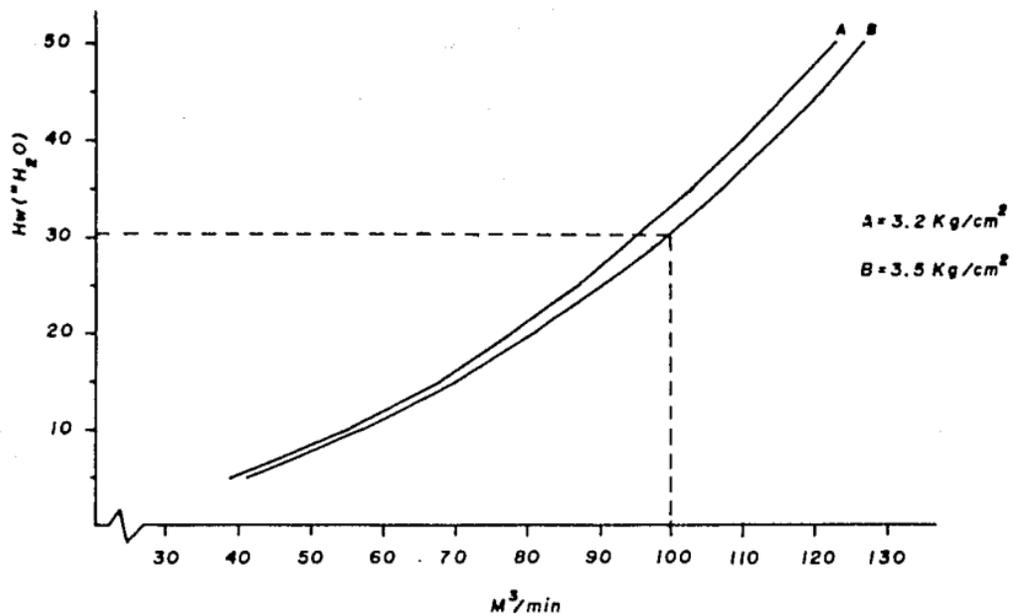
Grafica 2. Flujo de gas en el totalizador con $PM = 16.98$

3.5 Kg/cm² y por la disminución del peso molecular a 16.98 (gráfica No. 3).

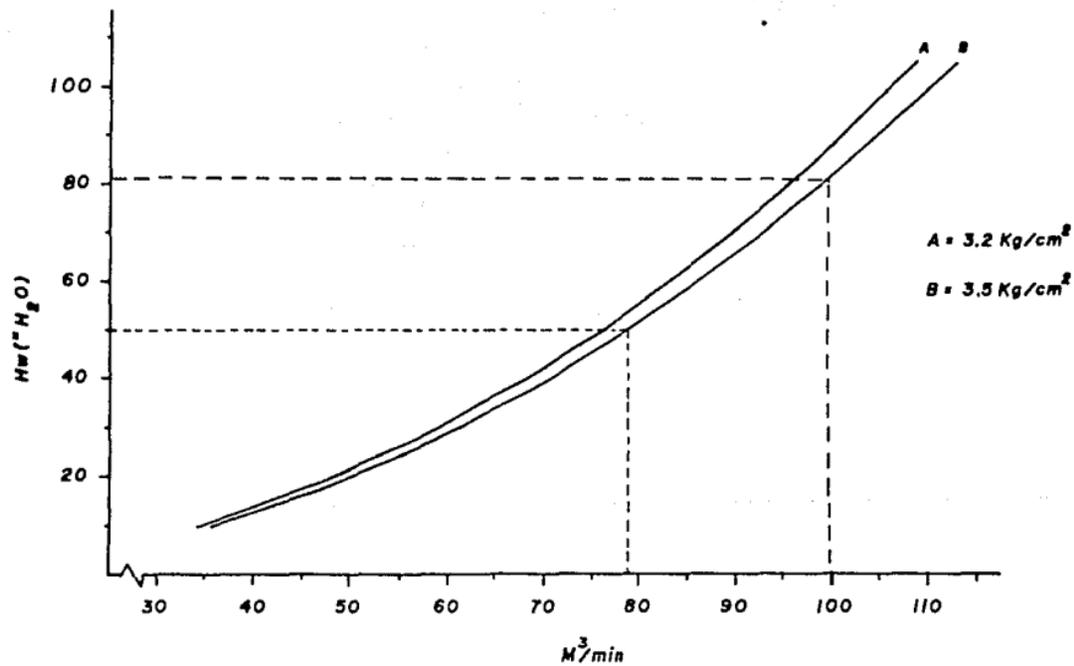
Para el caso del Quemador Inferior es a la inversa ya que en la grafica No. 4 se observa que para una presión diferencial de 50" H₂O (que es a la que se calibra el transductor de esta placa) le corresponde un flujo aproximado de 79 M³/min (normales) y no los 100 M³/min que se esperaban, siendo este ultimo a una presión diferencial mayor de 50" H₂O tal y como se observa en la gráfica No. 4.

Por lo tanto, el primer error de medición es debido al incremento de la presión hasta 3.5 Kg/cm² ya que para la calibración del transductor del Totalizador a una presión diferencial máxima de 50" H₂O corresponde a un flujo real aproximado de 196.6 M³/min en lugar de los 180 M³/min (gráfica No.2), mientras que para las placas de orificio de los Quemadores Principal e Inferior son de 126.9 y 112.9 M³/min respectivamente en lugar de 100 M³/min (grafica No. 3y4).

Al existir estos cambios en la presión diferencial se originan los errores en los registradores del flujo de gas debido a que los transductores estan calibrados en



Gráfica 3. Flujo de gas en el Q.Principal con $PM = 16.98$



Grafica 4. Flujo de gas en el Q. Inferior con $PM = 16.98$

otro intervalo de presión diferencial, por lo que al circular $180 \text{ M}^3/\text{min}$ por la placa de orificio del Totalizador la plumilla del registrador no marcará sobre la línea de los $180 \text{ M}^3/\text{min}$ sino que registrará aproximadamente $165 \text{ M}^3/\text{min}$ ya que el flujo esperado no genera una presión diferencial de $50'' \text{ H}_2\text{O}$ a una presión de 3.5 Kg/cm^2 ya que generará una presión diferencial de $42'' \text{ H}_2\text{O}$ (gráfica No.2).

En la misma situación se encuentran los instrumentos de medición de flujo de gas de los Quemadores Principal e Inferior, por lo que el segundo error de medición es la calibración a la que se encuentran calibrados en la actualidad los transductores, que a las condiciones a las que fueron diseñados trabajarían correctamente pero al existir cambios por las necesidades de operación en el proceso de calcinación y nodulización afectarán y han afectado el sistema de medición de gas.

Otro error encontrado en la medición del flujo de gas es que no se toma en cuenta las variaciones de la densidad del gas ocasionadas por los cambios de presión y de temperatura, y también por el cambio en la composición del mismo ya que anteriormente se conocía el gas con una composición diferente ($90\% \text{ CH}_4$, $17\% \text{ C}_2\text{H}_6$, $3\% \text{ C}_3\text{H}_8$)

en cambio, la composición actual del gas se observa una fuerte disminución de C_2H_6 y C_3H_8 y la adición de H_2 .

Estos cambios en el gas repercuten en los resultados de la medición del flujo de gas tal y como se observa en las gráficas 1 y 2 al variar el peso molecular de 19 a 16.98 lb/lbmol respectivamente, por lo que los análisis actualizados del gas son muy importantes.

Por lo que para mejorar el sistema de medición del flujo de gas se pueden hacer modificaciones en la calibración de los transductores que son los que se pueden ajustar en los intervalos que se requieran a las necesidades de control.

CAPITULO VI

VI. EVALUACION ECONOMICA.

El consumo promedio de gas es de $127 \text{ M}^3/\text{min}$ (C.N) en una operación estable, este gas se quema con un 8% de exceso de aire, el valor de $127 \text{ M}^3/\text{min}$ es el que registra con los errores de medición encontrados por lo que la relación aire-gas no es en realidad con el exceso de 8% ya que de la gráfica No.1 se tiene que el flujo de 127 M^3 le corresponde una presión diferencial de $24'' \text{ H}_2\text{O}$ en la placa de orificio a $3.5 \text{ KE}/\text{cm}^2$, mientras que para este valor de la presión diferencial le corresponde un flujo real de $137 \text{ M}^3/\text{min}$ (C.N) (gráfica No.2) que es el flujo real que en el registrador no es detectado por los errores de medición ya mencionados.

Por otro lado y en base al análisis del gas descrito en el cap.3 (ref.8) se tiene que los productos de combustión sin exceso de gas son los sig:

$$\text{CO}_2 = 1.402 \text{ M}^3$$

$$\text{H}_2\text{O} = 1.969 \text{ ''}$$

$$\text{N}_2 = 7.473 \text{ ''}$$

dando por resultado que se requiere de 9.46 M^3 de aire por

cada M^3 de gas, y tomando en cuenta un exceso de 8% se requiere de $10.21 M^3$ de aire.

Por lo tanto y en base al flujo de gas registrado se requiere de:

$$127 M^3/\text{min} (\text{gas}) \times 10.21 = 1261.49 M^3/\text{min} (\text{aire})$$

Como ya se menciono, el flujo real de gas es de $137 M^3/\text{min}$ por lo que la relacion aire-gas real es de 9.47 : 1, o sea una combustión sin exceso.

Como el aire entra a los quemadores a una temperatura de 200°C se tiene una adición de Kcal., este valor se calcula a continuación:

$$C_p(\text{aire}) = 0.302 + 0.000022t \quad (\text{ref.10}).$$

por lo tanto

$$9.47(0.302 + 0.000022(200))200 = 580.3 \text{ Kcal.}$$

Por lo que tenemos 580.32 Kcal. adicionales sin el exceso de aire, sumando este valor al poder calorifico del gas(ref.8) tenemos un total de 9569.3 Kcal. (sin exceso)

Realizando los mismos calculos pero para el exceso del 8% en el aire se tiene un total de 9614.6 Kcal., lo que da por resultado un déficit de 45.3 Kcal. por cada M^3

de gas quemado; como el flujo real de gas es de $137 \text{ M}^3/\text{min}$ se tiene que diariamente se consume un total de $197,280 \text{ M}^3$ y el déficit de Kcal. diarias son:

$$197,280 \text{ M}^3/\text{dia} \times 45.3 \text{ Kcal}/\text{M}^3 = 8,936,784 \text{ Kcal}/\text{dia}.$$

lo que equivale a $995 \text{ M}^3/\text{dia}$, el M^3 de gas cuesta actualmente \$ 318 M.N y el Horno opera 305 días al año, por lo que modificando el sistema de medición del gas se obtendrá un ahorro en el año de \$ 96,505,050.00 M.N.

Este ahorro anual es sin inversión alguna ya que la modificación en la calibración de los transductores no genera gasto alguno.

CAPITULO VII

VII. CONCLUSIONES.

- 1.- La calibración del transductor del Totalizador se debiera cambiar al intervalo de 0 - 42" H₂O (tabla 9).
- 2.- Para el transductor del Quemador Principal, la calibración nueva debe ser de 0 - 30" H₂O (tabla 9).
- 3.- Deberá ampliarse el intervalo de calibración del transductor del Quemador Inferior al intervalo de 0 - 80" H₂O (tabla 9).
- 4.- Para una mejor apreciación en la determinación del flujo de gas en las 3 placas de orificio es importante la instalación de un termoelemento para hacer las correcciones por variación en la temperatura del gas.
- 5.- Deberá buscarse la forma de obtener análisis del gas en forma continua para considerar las variaciones del mismo y así estar más actualizado en la composición del gas para que los cálculos y mediciones de los flujos de gas sean más aproximados a los reales.
- 6.- Para una mejor medición del flujo a largo plazo se hace necesario la planeación de la adquisición de un

ordenador computarizado en el cual se realicen los ajustes por presiones y por temperaturas.

Presión Kg/cm ²	Calibración		
	Tot.	QP.	QI.
3.20	0-46"	0-33"	0-88"
3.35	0-44"	0-32"	0-85"
3.50	0-42"	0-30"	0-80"

Tabla 9. Calibración nueva para cada transductor a diferente presión de trabajo de el gas, calibración en pulgadas columna de agua (" H₂O).

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Autores varios: Manuales de Operación del horno rotatorio para la nodulización de minerales de Mn., Cía. Minera Autlán., (1978).
- 2.- G.H.Geiger y D.R.Poirier., "Transport Phenomena in Metallurgy", Addison-Wesley.,(1975), pág 130.
- 3.- American Gas Association, "Orifice Metering of Natural Gas", Report No. 3, American National Standard (1978), pág. 14-18, 30-45.
- 4.- J.H.Perry, "Manual del Ingeniero Químico", Mc Graw-Hill Book, (1980), pág. 606-610.
- 5.- Hustin E. Soisson, "Instrumentación Industrial", - Ed.Limusa, (1988), pág. 1-10, 254-260, 337-338.
- 6.- Hustin E.Fribance, "Industrial Instrumentation Fundamentals", Mc Graw-Hill Book, (1961), pág.54-63.
- 7.- Donald P. Eckman,"Industrial Instrumentation" John Wiley and Sons, (1951), pág. 334-353.
- 8.- Firma de Planeación, Fabricación y Aplicación S.A. "Reporte del Análisis Cromatográfico del gas natural usado en la Cía. Minera Autlán, (1987).

9.- Alas S.Faust, "Principios de Operaciones Unitarias"

Ed.CECSA, (1984), pág.684.

10.- A.Butts, "Metallurgical Problems", Ed. Mc Graw-Hill

(1971), pág.21 - 33.