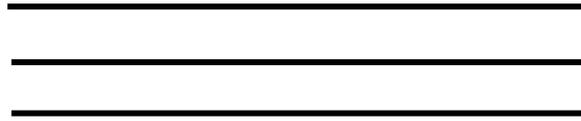




**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
ESCUELA SUPERIOR DE CD. SAHAGÚN**

INGENIERÍA INDUSTRIAL



COMBUSTIÓN DE HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO

MONOGRAFÍA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

P R E S E N T A

MIRNA IVETH PÉREZ GARCÍA

ASESOR

ING. ARMANDO VARGAS ALARCÓN

NOVIEMBRE 2010

ÍNDICE

| | PÁG. |
|---|------|
| AGRADECIMIENTOS | I |
| INTRODUCCIÓN | II |
| JUSTIFICACIÓN | V |
| OBJETIVO | IV |
| CAPÍTULO 1 | |
| “PARTES QUE COMPONEN UN HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO” | |
| 1.1 CONTROL DE TEMPERATURA | 1 |
| 1.2 REGISTRADOR DE TEMPERATURA | 4 |
| 1.3 TERMOPAR | 5 |
| 1.4 REGULADOR PROPORCIONAL DE GAS | 8 |
| 1.5 MODUTROL O MOTOR ACTUADOR | 10 |
| 1.6 PYROBLOCKS O TABIQUE REFRACTARIO | 11 |
| 1.7 DETECTOR DE FALLA DE FLAMA | 15 |
| 1.8 VARILLA DETECTORA DE FLAMA O DETECTOR ÓPTICO | 16 |
| 1.9 TREN DE COMBUSTIÓN | 16 |
| 1.10 VÁLVULAS DE ORIFICIO | 19 |
| 1.11 MAXITROLES | 20 |
| 1.12 BUJÍAS | 21 |
| 1.13 TRANSFORMADOR DE IGNICIÓN | 23 |
| 1.14 CHIMENEA | 23 |
| 1.15 TURBOSOPLADOR | 24 |
| 1.16 MANÓMETROS | 25 |
| 1.17 ELECTROVÁLVULAS DE CONTROL | 27 |
| 1.18 MIRILLAS | 28 |
| 1.19 CABLE CON RECUBRIMIENTO DE F.V. | 28 |
| 1.20 VÁLVULA GLOBO | 29 |
| 1.21 VÁLVULA DE ESFERA O BOLA | 33 |
| 1.22 VÁLVULA DE MARIPOSA | 35 |

CAPÍTULO 2

“OPERACIÓN BÁSICA DEL HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO “

| | | |
|-----|-------------------------------|----|
| 2.1 | CONTROL AIRE | 38 |
| 2.2 | CONTROL GAS | 41 |
| 2.3 | MEZCLA CORRECTA | 42 |
| 2.4 | CHIMENEAS | 44 |
| 2.5 | CONTROL DE LA PRESIÓN INTERNA | 45 |

CAPÍTULO 3

“TRATAMIENTOS BÁSICOS DE LOS METALES”

| | | |
|-----|---------------------------------|----|
| 3.1 | COMPOSICIÓN DEL ACERO | 45 |
| 3.2 | PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO | 46 |
| 3.3 | TRATAMIENTOS TÉRMICOS | 46 |
| 3.4 | CICLO TÉRMICO | 47 |
| 3.5 | TEMPLE | 48 |
| 3.6 | NORMALIZADO | 49 |
| 3.7 | RECOCIDO | 49 |
| 3.8 | REVENIDO | 50 |

CAPÍTULO 4

“CONTROL DE COMBUSTIÓN EN EL HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO”

| | | |
|-----|--|----|
| 4.1 | COMBUSTIÓN | 51 |
| 4.2 | FLAMAS | 51 |
| 4.3 | QUEMADORES | 52 |
| 4.4 | COMO CONTROLAR LA PRESIÓN AIRE-GAS | 53 |
| 4.5 | IMPORTANCIA DEL REGULADOR PROPORCIONAL | 55 |
| 4.6 | IMPORTANCIA DE LAS VÁLVULAS | 55 |
| 4.7 | RELACIÓN PILOTO-QUEMADOR-BUJÍAS | 56 |

| | |
|--------------|----|
| CONCLUSIONES | 57 |
| GLOSARIO | 59 |
| BIBLIOGRAFÍA | 60 |
| CYBERGRAFÍA | 61 |
| ANEXOS | 62 |

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁG.

CAPÍTULO I

| | | |
|---------------------|--|-----------|
| Figura (1): | Controlador de temperatura | 2 |
| Figura (2): | Registrador de temperatura digital | 4 |
| Figura (3): | Registrador de temperatura con gráfica de papel | 5 |
| Figura (4): | Termopar tipo K | 8 |
| Figura (5): | Regulador proporcional de gas | 9 |
| Figura (6): | Modutrol | 10 |
| Figura (7): | Pyroblock | 11 |
| Figura (8): | Pyroblock de fibra de vidrio | 12 |
| Figura (9): | Pyroblock y tabique refractario | 13 |
| Figura (10): | Módulos de Pyroblock | 14 |
| Figura (11): | Ladrillos densos refractarios | 14 |
| Figura (12): | Detector de falla de flama | 15 |
| Figura (13): | Varillas detectoras de flama | 16 |
| Figura (14): | Tren de combustión 1 | 18 |
| Figura (15): | Tren de combustión 2 | 18 |
| Figura (16): | Tren de combustión 3 | 18 |
| Figura (17): | Válvula de orificio | 19 |
| Figura (18): | Maxitroles o reguladores de presión | 20 |
| Figura (19): | Maxitrol o regulador de presión | 21 |
| Figura (20): | Bujías | 22 |
| Figura (21): | Bujía de simple electrodo | 23 |
| Figura (22): | Bujía de doble electrodo | 23 |
| Figura (23): | Transformador de ignición | 23 |
| Figura (24): | Horno con chimenea | 24 |
| Figura (25): | Turbosopladores o turboventiladores | 25 |
| Figura (26): | Manómetros | 26 |
| Figura (27): | Electroválvula | 27 |
| Figura (28): | Mirilla | 28 |
| Figura (29): | Cable recubierto de fibra de vidrio | 29 |

| | |
|--|-----------|
| Figura (30): Válvula de globo asientos | 29 |
| Figura (31): Válvula de globo | 30 |
| Figura (32): Válvula de globo cerrada y abierta | 32 |
| Figura (33): Válvula de esfera o bola | 34 |
| Figura (34): Válvula de esfera | 35 |
| Figura (35): Válvula mariposa | 36 |
| Figura (36): Válvula mariposa, giro 90° | 37 |
| Figura (37): Válvula de mariposa | 38 |

CAPÍTULO II

| | |
|--|-----------|
| Figura (38): Horno de tratamiento térmico | 39 |
| Figura (39): Tubería de presión aire-gas | 40 |
| Figura (40): Material con cascarilla | 41 |
| Figura (41): Flamas azules correctas | 42 |
| Figura (42): Flama con exceso de gas | 43 |
| Figura (43): Mezcla de flamas | 43 |
| Figura (44): Flama excelente, mezcla aire-gas | 44 |

CAPÍTULO III

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| Figura (45): Ciclo térmico | 49 |
|-----------------------------------|-----------|

CAPÍTULO IV

| | |
|---|-----------|
| Figura (46): Quemadores | 54 |
| Figura (47): Diagrama de mezcla aire-gas | 57 |

ANEXOS

| | |
|--|-----------|
| Figura (48): Horno de tratamiento continuo | 62 |
| Figura (49): Horno de tratamiento térmico | 63 |
| Figura (50): Horno de tratamiento de un carro | 64 |

AGRADECIMIENTOS

Principalmente es un agradecimiento a **DIOS** por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas, ya que de él depende mi existencia y mi proceder en ésta vida.

Así mismo le doy las gracias al ser que DIOS puso en mi vida, esa persona que me dio la vida y me ha acompañado todo el tiempo, viéndome crecer, enseñado lo bueno y lo malo, apoyado en todas las circunstancias y momentos posibles, guiado mi vida de la mejor manera que a podido con todo y obstáculos. Por ese ser tan especial, único y querido durante toda mi vida, le dedico y agradezco éste esfuerzo a mi MADRE "GUADALUPE ISIDRA CARMEN GARCÍA CORONA" **MUCHAS GRACIAS MAMÁ.**

Agradezco a todas las personas que me ayudaron y apoyaron para el término del presente trabajo de investigación, ya que sin ellas y sin los recursos propios no hubiera podido concluir satisfactoriamente con el tema expuesto.

INTRODUCCIÓN

A través de los tratamientos térmicos podemos modificar las propiedades de los metales, mediante alteraciones de su estructura, pudiendo así desempeñar con garantías los trabajos demandados.

El tratamiento térmico consiste en calentar metales a una temperatura determinada, mantenerlo a esa temperatura durante un cierto tiempo, hasta que se forme la estructura deseada y luego enfriarlo a la velocidad conveniente. Los factores temperatura-tiempo deben ser muy bien estudiados dependiendo del material, tamaño y forma de la pieza.

Con el tratamiento conseguiremos modificar microscópicamente la estructura interna de los metales, produciéndose transformaciones de tipo físico, cambios de composición y propiedades permitiéndonos conseguir los siguientes objetivos: mejorar dureza y maquinabilidad, eliminar tensiones internas y evitar deformaciones después del mecanizado, estructura más homogénea, máxima dureza y resistencia posible, variar algunas de las propiedades físicas, entre otras cosas.

El tratamiento térmico en el material es uno de los pasos fundamentales para que pueda alcanzar las propiedades mecánicas para las cuales está creado. Este tipo de procesos consisten en el calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas. Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil.

En la actualidad la tecnología basada en hornos de tratamiento térmico ha sustituido a los hornos de modelos más antiguos, con grandes adelantos respecto a la precisión, regularidad y eficiencia de todo el proceso.

Un horno industrial de gas donde se transforma la energía química de un combustible en calor que se utiliza para aumentar la temperatura de aquellos materiales depositados en su interior y así llevarles al estado necesario para posteriores procedimientos industriales, es conocido como horno de tratamientos térmicos, los cuales pueden ser eléctricos, por combustión de

gas, combustión de materiales flamables líquidos como: gasolina y petróleo. En este caso se enfoca a hornos de tratamiento térmico cuyo combustible es el gas.

La parte fundamental de un horno de gas es: Hogar o cámara de combustión (donde se alojan los quemadores y se generan los gases de combustión). Puede coincidir con la cámara de calentamiento o ser una cámara independiente.

En la cámara de calentamiento existen distintos tipos, dependiendo de la forma de operación del horno y de su función. El revestimiento aislante recubre todas las cámaras y equipos del horno.

La chimenea y tubos de escape de gases de combustión suelen ir acoplados a intercambiadores para aprovechamiento de la energía calorífica que poseen, previo a la emisión a la atmósfera.

Los hornos para tratamiento térmico son sistemas que se utilizan para calentar el aire de una cámara con el fin de templar, endurecer y recocer materiales para industrias tales como la aeronáutica, la automotriz, la militar y las de fabricación de herramientas mecánicas, equipamiento móvil, cerámica y acero, entre otras.

Estos sistemas pueden ser eléctricos o funcionar con aceite y gas combustible. Normalmente están compuestos por una carcasa metálica aislada, uno o más quemadores, ventiladores de recirculación de alta temperatura, acceso, extractor y panel de control para verificar la temperatura del horno y los límites de seguridad. Los procesos de tratamiento con calor se clasifican según temperatura del tratamiento, atmósfera del horno y presión.

La industria del tratamiento con calor está directamente relacionada con las industrias de producción de metales y procesamiento secundario. El tratamiento con calor es necesario para provocar los cambios deseados en la estructura metalúrgica y, por consiguiente, en las propiedades de las piezas metálicas. Los principales procesos de tratamiento con calor son para el hierro, el acero, las aleaciones ferrosas, el vidrio y otros metales no ferrosos.

Las aleaciones ferrosas, particularmente el acero, son las que sufren los cambios más radicales en sus propiedades. Por lo general, las estructuras de acero más estables se

producen cuando se calienta el acero a una alta temperatura y luego se lo enfría lentamente. Esto se denomina recocido o normalización. El proceso de tratamiento con calor desempeña múltiples funciones, según sea necesario para cada caso en particular.

En algunos casos, se libera tensión, presión y fatiga para que el material funcione normalmente. En otros, se altera la estructura para mejorar las propiedades del material. A modo de ejemplo, las piezas hechas de vidrio y algunas cerámicas no se pueden utilizar sin un recocido adecuado. Todas estas funciones se llevan a cabo en hornos para tratamiento térmico de varios tipos, formas y tamaños.

La uniformidad de la temperatura en toda la cámara de calentamiento es el objetivo del diseño y el funcionamiento de los hornos para tratamiento térmico de alta temperatura. Estos sistemas pueden tener tamaños que van desde grandes hornos con quemador único montados en plataformas, hasta enormes hornos cerrados con múltiples quemadores. Los hornos de gas tienen notables ventajas: costo inicial más bajo y menores costos de funcionamiento. Los quemadores de gas no sólo eliminan la necesidad de reemplazar costosos elementos de calentamiento, sino que también requieren un mínimo de mantenimiento.

El funcionamiento del horno puede ser por partidas o en un proceso continuo. La mayoría de los hornos para tratamiento térmico vienen pre-ensamblados y calibrados de fábrica para minimizar el costo de instalación y asegurar una temperatura uniforme en todo el horno. Los trenes de combustible para hornos de gas están compuestos por válvulas de cierre de combustible automático, reguladores de presión y válvulas de cierre manual discretas.

Por consiguiente el propósito de ésta investigación es mostrar de manera breve y simplificada el funcionamiento de un horno de tratamiento térmico, sus partes que lo componen, algunos tratamientos térmicos que puede tener y lo principal que es la combustión en el horno controlando las variables de relación aire-gas, para obtener una perfecta combustión con una buena flama y darle un tratado térmico a la pieza según características o necesidades requeridas.

JUSTIFICACIÓN

Con el presente trabajo se pretende proporcionar las bases y conocimientos básicos para saber su operación y regulación de un horno de tratamiento térmico, ya que existe poca información disponible y su utilización es bastante elevada en los procesos productivos actuales y el régimen de calidad requiere propiedades mecánicas diferentes para las diversas aplicaciones de los metales que se tiene hoy en día.

Se da a conocer en forma generalizada cada uno de los componentes que constituyen los hornos de tratamientos térmicos, así como su aplicación y uso, su forma de controlar y regular el aire y el gas para obtener una buena combustión. Se presentan algunas figuras de los dispositivos más utilizados, se describe los recubrimientos utilizados en los hornos de tratamientos térmicos y el empleo básico de cada uno de ellos.

Saber el buen manejo de los gases dentro del horno para evitar accidentes, tipos de flamas adecuados tanto en pilotos como en quemadores principales, aclaración de cómo suministrar la cantidad de aire necesaria para lograr el calentamiento homogéneo de las piezas a ser tratadas. Así como un conocimiento superficial y explicación de algunos tratamientos térmicos que se pueden llevar a cabo en el horno de tratamiento térmico a gas.

No se menciona los hornos de tratamiento térmico eléctrico y al vacío ya que su aplicación es muy específica y su regulación de combustión depende de factores muy diferentes a los de gas, en los cuales los podemos regular con exceso de aire o gas para obtener los diferentes ciclos de tratamiento térmico.

La regulación básica de la combustión tanto de quemadores principales como pilotos se efectúa con la ayuda de un manómetro usualmente en columnas de agua (unidad de medida de baja presión de gases) aire y gas, es lo que manejan los proveedores tanto de pilotos como de quemadores y hacen de baja o alta velocidad, esto se logra regulando las válvulas de esfera para tener un flujo total en las tuberías y los reguladores proporcionales que mandan abrir o cerrar la proporción correcta del gas a los dispositivos de transmisión, teniendo en cuenta siempre la seguridad tanto en líneas de aire como de gas para evitar accidentes catastróficos o pérdida total del horno.

OBJETIVO

Con el siguiente trabajo de investigación se pretende dar a conocer, que es un horno de tratamiento térmico, su operación y regularización de la combustión tanto en pilotos como quemadores principales, conociendo cada una de sus partes y su funcionamiento así como establecer los recubrimientos internos del horno de acuerdo al uso que se tenga.

Esta investigación va enfocada a todas aquellas personas que tengan la necesidad de obtener un conocimiento general acerca de un horno de tratamiento térmico, para poder resolver casos donde por ejemplo, se presente mucha presión de gas y aire o viceversa poca presión de ambas y ocasione que la carburación de las piezas a tratar no salgan con las especificaciones requeridas por no tener cuidado en el control de manómetros, válvulas, reguladores, quemadores, controladores de temperatura entre otros que se harán mención.

CAPÍTULO 1 “PARTES QUE COMPONEN UN HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO”

1.1 CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Un controlador de temperatura es, básicamente, un medidor al que se le agrega la posibilidad de fijar un "set" (temperatura deseada) y un circuito que compara la diferencia entre la temperatura real y la deseada.¹

El regulador es almacenado en cinco punto ocho pulgadas, negro metálico de color oscuro que puede estar montado en ¼ del recorte, el enchufe de unión permiten el acceso fácil para la tabla de regulador y varias opciones. La fuente de poder, la entrada y el alambrado de salida están conectados o unidos con terminales de tornillo sobre el panel del control.

Cada entrada análoga es probada tres veces en un segundo, amplificada convirtiendo a una señal digital la cual es aislada y pasada al microprocesador. La entrada primaria puede ser de varios termopares. Una segunda entrada puede ser set-point que funciona y acepta miliamperios o voltajes de corriente continúa, rangos que pueden ser caracterizados. Todos los rangos pueden seleccionarse. Esto es que se puede seleccionar el sensor de protección, una configuración digital en determinado tiempo para cada entrada según la condición.

Durante su operación también se decide como debe actuar o interactuar el regulador con el proceso a seleccionar, y que funciones debe desempeñar. Muchos lenguajes pueden servir al operador para guiarlo como hacer o seguir cada paso en la configuración de entrada rápida y exacta de todos y cada uno de los parámetros. Toda la configuración es vía teclado existiendo cinco tipos de lenguajes, inglés, francés, alemán, español e italiano.

Los modos de control pueden ser manuales o automáticos. Se puede controlar de modo automático cuando el regulador opera desde un set-point o control remoto proporcionado en la segunda entrada, y de manera manual cuando el operador directamente controla el nivel de salida de regulador.

¹ Thelwing, H.B. Bofors Handbook
Steel and its Heat Treatment, Butterworth, 1ª Ed. Ingles, 1975

Todas las terminales de salida son localizadas en terminal panel de reverso. Una o dos alarmas electromecánicas son permitidas para activar el equipo externo cuando alcanzan el punto set-point. Cada alarma puede supervisar dos puntos independientemente del set-point y ser alta o baja. La alarma o despertador puede ser seleccionado para entradas, variable de proceso, desviación y salida. También pueden ser usadas como on – off esto es un evento de comienzo y término teniendo configuración de un rango desde 0 a 100%.

En conclusión son alarmas que avisan o previenen según se presente el caso de seguridad. La Figura (1) es ejemplo de un simple controlador de temperatura.

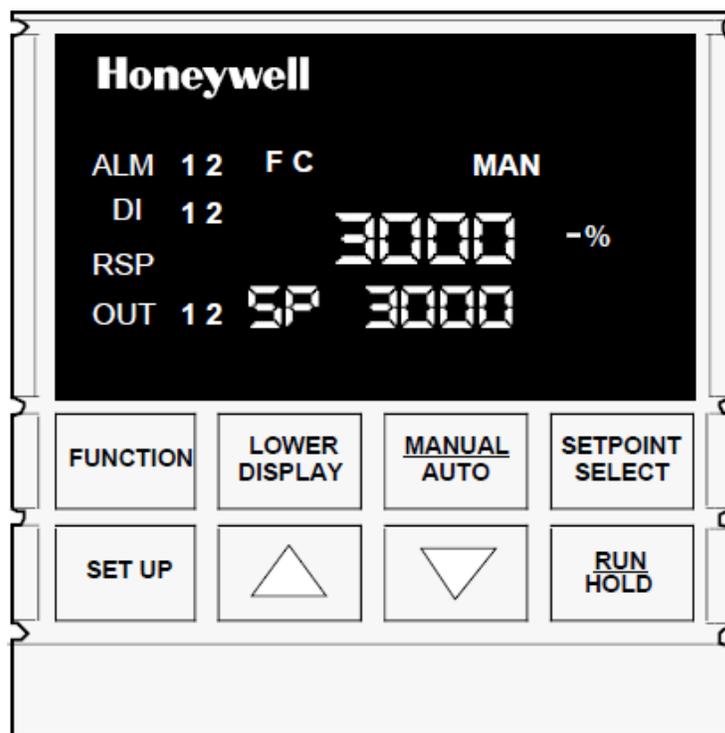


Figura (1): Controlador de temperatura

- El botón SET-UP secuencialmente establece grupos y permite una llave de función para mostrar funciones individuales.
- El botón FUNCTION selecciona funciones dentro de cada grupo instalado.
- El botón LOWER DISPLAY selecciona un parámetro de operación para ser mostrado en la pantalla inferior.

- El botón MANUAL AUTO selecciona manual o automáticamente un modo de control (puede desviar la configuración)
- El botón SET-POINT SELECT este selecciona un set-point 1 y control remoto o 2 set-point locales (puede desviar la configuración)
- El botón RUN HOLD este inicia, sostiene o programa la rampa.
- El botón con FLECHA indicando hacia ARRIBA ▲ aumenta o incrementa el set-point, valores de configuración o salida.
- El botón con FLECHA indicando hacia ABAJO ▼ disminuye el set-point, la salida y valores de configuración mostrada.

Los controladores de temperatura permiten una interfaz con el operador en cuanto a la alarma, modo de control y la indicación de unidades de temperatura. También el control remoto es activo, los status y el programa en el punto de correrlo o permanecer de un modo.

Hay controladores de rango múltiple con función de alarma ofrece con control ON/OFF seleccionable. El display grande muestra el valor de proceso, la dirección de desviación del punto de consigna, la salida y el estado de alarma.

Toda la configuración se hace con interruptores, entrada múltiple (termopar/Pt100), display de excelente visibilidad, con caracteres de buena altura, con salida de control excelente, etc. Otro tipo de controlador avanzado proporciona modelos estándar y modelos con función de programación. La estructura modular de la serie la convierte en muy versátil. Se proporciona una serie de funciones de ajuste.

Si desea subir o bajar la temperatura, se requiere presionar el botón marcado set, al llegar a la temperatura programada, el quemador se apagará y se encenderá de manera automática y trabajara con el termopar según se requiera.

1.2 REGISTRADOR DE TEMPERATURA

Es de suma importancia que no sólo debe comprobarse que no haya puntos calientes o fríos en el horno, sino también que la temperatura del producto es suficiente para cumplir las especificaciones técnicas requeridas. Si no se mantiene el perfil de temperatura correcto, puede haber problemas en el comportamiento final del producto al ser tratado. La variación del perfil de temperatura del horno puede provocar cambios en el material y esto también puede afectar en gran medida la calidad del producto por lo tanto puede representar una clave entre el éxito y el fracaso del producto final.

Un registrador de temperatura ofrece una variedad de selección de entradas que pueden ser en miliampers y/o voltajes de corriente directa y termopares de diferentes tipos.

Por ejemplo existen registradores digitales Figura (2), donde hacen interfaz directa a una red de área local, o a través de una conexión inalámbrica permitiendo la visualización directa o descarga de datos (temperaturas), desde cualquier red utilizando un buscador red o Internet y enviar advertencias directamente a correo electrónico, mensajes, teléfonos, dependiendo de la programación del registrador para mostrar las temperaturas registradas en el proceso del tratado térmico del horno. ²



Figura (2): Registrador de temperatura digital

También existen registradores con gráfica de papel Figura (3), como su nombre lo dice solo van registrando y mostrando las temperaturas a las cuales se va comportando el tratado térmico del material para tener un control a detalle de situaciones normales o anormales dentro del horno. El registrador imprime en negro y tiene una pantalla alfanumérica tipo LED

²<http://www.venemet.com/tratamientos.html>

con luz posterior, pueden ser montados o colocados en una caja portátil, la exactitud de todos los modelos es de 0.5% a plena escala. La velocidad de la carta es programable dependiendo de los modelos y la señal de entrada de proceso continúa imprimiéndose monitoreando las condiciones que pudieran estar fuera de los límites aún después de que el papel se haya terminado y los datos son protegidos en todas las unidades por una batería de litio con duración de 4 años.³



Figura (3): Registrador de temperatura con gráfica de papel

1.2 TERMOPAR

Un termopar es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje, que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.

En instrumentación industrial los termopares son ampliamente usados como sensores de temperatura. Son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas. Su principal limitación es la exactitud ya que los errores del sistema inferiores a un grado Celsius son difíciles de obtener.

El grupo de termopares conectados en serie recibe el nombre de termopila. Tanto los termopares como las termopilas son muy usados en aplicaciones de calefacción a gas.

Un termopar es un dispositivo capaz de convertir la energía calorífica en energía eléctrica. Sus dos metales diferentes están empalmados en una junta. Un termopar puede colocarse en un horno; cuando aumenta la temperatura en el horno, también aumenta el voltaje que se genera

³ <http://www.venemet.com/tratamientos.html>

en el termopar. En consecuencia pasa más corriente por el medidor. En tal caso, el medidor indica el aumento de corriente como una temperatura mayor.

Los termopares comerciales se designan por letras (T,E,J,K,R) que identifican los materiales que contienen, se especifican generalmente por su sensibilidad o coeficiente térmico MV/°C.

Para escoger los materiales que forman el termopar se deben tomar en cuenta factores que garanticen su mantenimiento y comercialización. De esta forma se han desarrollado los siguientes tipos que a continuación se describen algunos:

✓ TIPO "T" (Cobre-Constantano)

Están formados por un alambre de cobre como conductor positivo y una aleación de 60% de cobre y 40% de níquel como elemento conductor negativo. Tiene un costo relativamente bajo, se utiliza para medir temperaturas bajo 0 °C. Y como límite superior se puede considerar los 350° C, ya que el cobre se oxida violentamente a partir de los 400° C.

✓ TIPO "J" (Hierro-Constantano)

En este tipo de junta el hierro es electropositivo y el constantano electronegativo. Mide temperaturas superiores que el anterior ya que el hierro empieza a oxidarse a partir de los 700° C. No se recomienda su uso en atmósfera donde exista oxígeno libre. Tiene un costo muy bajo y esto permite que su utilización sea generalizada.

✓ TIPO "K" (Cromo-Aluminio)

Una aleación de 90% de níquel y 10% de cromo es el conductor positivo y un conductor compuesto de 94% de níquel, 2% de Aluminio, 3% de manganeso y 1% de Silicio como elemento negativo. Este termopar puede medir temperaturas de hasta 1200° C. Ya que el níquel lo hace resistente a la oxidación. Se los utiliza con mucha frecuencia en los hornos de tratamientos térmicos. Su costo es lo que limita su utilización, Figura (4).

✓ TIPO "R" (Platino rodio-Platino)

Tienen como conductor negativo un alambre de platino y como conductor positivo una aleación de 87% de platino con 13% de sodio. Este tipo de junta desarrollada últimamente con materiales de alta pureza, son capaces de medir hasta 1500° C si se utilizan las

precauciones debidas. Son muy resistentes a la oxidación pero no se aconseja su aplicación en atmósferas reductoras por su fácil contaminación con el hidrógeno y nitrógeno que modifican la respuesta del instrumento.

✓ TIPO “S” (Platino rodio – Platino)

El conductor positivo es una aleación de 90% de platino y 10% de Rodio mientras que conductor negativo es un alambre de platino. Sus características son casi similares al termopar anterior con la diferencia que no puede usarse a temperaturas elevadas porque los metales no son de alta pureza produciendo alteraciones de la lectura a partir de los 1000° C. en adelante.

✓ Molibdeno-Renio

Fue desarrollado recientemente y se utiliza para temperaturas inferiores a los 1650° C. Se recomienda usarlos en atmósferas inertes, reductoras o vacío ya que el oxígeno destruye al termopar.

✓ Tungsteno-Renio

Al igual que el anterior fue recientemente creado y no tiene datos normalizados de temperatura y mili voltajes. Puede medir temperaturas de hasta 2000° C, el oxígeno y los cambios bruscos de temperaturas destruyen al termopar. Funcionan perfectamente en atmósferas reductoras e inertes si se los protege con funda cerámicas.

✓ Iridio-Iridio Rodio

Puede medir como máximo 2.000°C. Su uso es recomendable en atmósferas oxidantes que contienen oxígeno libre. El Hidrógeno produce alteraciones permanentes en el termopar, reduciendo además su vida útil.

✓ Tungsteno-Tungsteno Renio

Tiene igual utilización que el tungsteno – renio con la única diferencia que genera mayor voltaje por grado. El voltaje generado por los termopares a diversas temperaturas de su junta caliente y con su junta fría a una temperatura de referencia de 32° F o 0°C.

Cabe mencionar que existen tablas para cada tipo de termopares, donde aparece la relación del voltaje en minivolts contra la temperatura deseada o buscada.

Ejemplo de un termopar tipo “K”

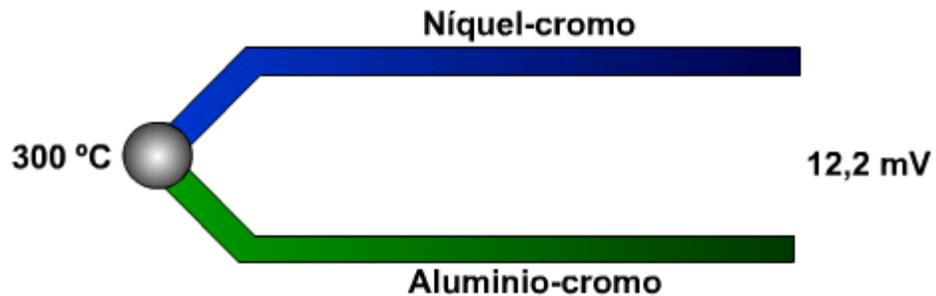


Figura (4): Termopar tipo K

1.3 REGULADOR PROPORCIONAL DE GAS

Un regulador alimentando a un sistema de quemador con premezcla a medida que el flujo del aire se incrementa, el incremento en la succión hace que haya más flujo de gas a través de la válvula de orificio. Esto, en consecuencia, reduce un poco la presión lo cual hace que el regulador se abra y permita mas flujo de gas y mantenga la presión en la descarga igual a la atmosférica (0 manométrica). Ya que una pequeña cantidad de fuerza es necesaria para vencer las fuerzas internas y abrir el regulador.⁴

Los reguladores normalmente son utilizados como instrumento de regulación en una línea de gas, trenes de válvulas en sistemas de combustión y gracias a que su rango de control es muy preciso, la presión máxima de entrada varía dependiendo del modelo, así como su capacidad de flujo y la presión de operación.

Su funcionamiento es por medio de un juego mecánico de diafragma, varillaje y émbolo de cierre obteniendo la presión de muestra del regulador de la línea de gas. Toda la familia de reguladores funciona de manera automática, es posible obtener distintos rangos de operación

⁴ http://www.asconumatics.nl/images/site/upload/_es/tipo_regulador.pdf

con el solo hecho de cambiar el resorte de calibración, con lo que se obtiene un regulador bastante funcional y de exacto funcionamiento.

Existen diferentes tipos de reguladores o diferentes modelos por ejemplo Figura (5): Unos donde el espacio es reducido y se requieren altas capacidades de flujo para utilizarlos con vapor, aire, gas, aceite, agua y otros fluidos. Otros que se utilizan en procesos donde vapor y líquidos son el medio a transportar. Resisten altas presiones, precisos en su operación por medio de piloto, fabricados en acero o hierro forjado, opción de cambiar rangos solo removiendo el resorte de calibración, entre otros. Algunos reguladores operados por piloto, tienen ventaja como operación exacta en el control de rango de presión, equipados con un piloto de baja, alta y extra alta presión integrado, perfectos con sistema de gas natural como calderas industriales, hornos, mezcladores, en general aplicaciones comerciales e industriales.

Su alta capacidad de control los hace para aplicaciones donde la variación de presiones sea vital para el proceso. Máximas presiones de entradas desde 400 psi hasta 1000 psi dependiendo de la aplicación para soportar. “Este registrador de temperatura es para el quemado”.



Figura (5): Regulador proporcional de gas

1.4 MODUTROL O MOTOR ACTUADOR

Se denominan actuadores a aquellos elementos que pueden provocar un efecto sobre un proceso automatizado. Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas.⁵

El actuador llamado accionador o motor (modutrol) Figura (6), puede ser neumático, eléctrico o hidráulico pero los más utilizados son los dos primeros por ser las más sencillas y de rápida actuaciones. La acción rotatoria económica Modutrol es la opción derecha para el momento de rotación inferior. El modutrol es diseñado para la colocación exacta de apagadores y válvulas en hornos industriales y calentadores de proceso.

Existen modutroles que son usados en los sistemas que requieren abrir una válvula de mariposa, válvula de agua o de vapor. Para acoplarse a la válvula se requiere un brazo y una varilla que sirven para ese propósito. La señal de control puede ser de tres tipos: on/off (4-20mA), flotante (2-10 Vac) y modulante (135 Ohms).

El motor proporcional es usado para trabajar con válvulas proporcionales de quemadores, reemplazando a los modutroles. Diseñado para trabajar en aplicaciones contra falla de flama para procesos comerciales o industriales que cuenten con sistemas de combustión, quemadores de gas o combustóleo. Se regula con un control proporcional de tres hilos.



Figura (6): Modutrol

⁵ http://www.lesman.com/unleashd/catalog/actuators/accessor_modutrol.html

1.5 PYROBLOCKS

Dentro de la industria siderúrgica hay empresas consumidoras de refractarios en general y/o recubrimientos como por ejemplo para los hornos donde ocupan productos de fibra cerámica pyroblock que les permite optimizar el aislamiento térmico de acuerdo a la necesidad del mismo, Figura (7).

Las fibras cerámicas son una familia de productos que son fabricados a partir de materiales de alúminas de sílice, en manta, conformado, al vacío de productos, los módulos, a granel, papel, textiles y moldeables. La línea de productos de fibra cerámica tiene un amplio rango de temperaturas.⁶ Estos productos están hechos de fibras de hilado que ofrecen:

- (a) Baja conductividad térmica: las pérdidas de calor se reducen a altas temperaturas.
- (b) Baje la temperatura de almacenamiento: más rápida de calor y enfriamiento para una mayor productividad, reduce el consumo de combustible, reduce costos de operación.
- (c) Resistencia al choque térmico: ligero, permite el cambio de las temperaturas extremas, las campanas más largas de horno, permite la flexibilidad en los ciclos de cocción.
- (d) Excelente manejo de fuerza y absorción de sonido.

Estos productos también ofrecen muy buena estabilidad química y resistencia al ataque químico de la mayoría de los agentes corrosivos.



Figura (7): Pyroblock

⁶<http://pimx.com/pyroblock.html>

Un pyroblock es un sistema de modulo de fibra cerámica monolítica en diferentes medidas Figura (8), fácil y rápido de instalar ya que tiene internamente herraje (acero inoxidable) que lo sostiene tanto en pared como en pisos y techos. Las fibras cerámicas proveen excelente resistencia al ataque químico excepto del ácido fluorhídrico y fosforito. Las propiedades físicas de la fibra son rehabilitadas después del secado y se produce a partir de caolín, en una forma natural de sílice – alumina. El pyroblock da un espesor al horno de acuerdo a como lo solicite el cliente para instalarlo rápidamente en un tiempo corto.



Figura (8): Pyroblock de fibra cerámica

Cuando se colocan módulos hechos a base de block termoaislante pyroblock o equivalentes de fibra cerámica color blanco, normalmente temperatura máxima de operación compuesto de fibras largas con 35% de Alumina, 50% de Sílice, 17% de Zirconio de alta resistencia a la tensión en ambas caras, baja conductividad térmica no combustible, que cumpla con normas de calidad, con densidad de 15 lbs/ft³ y el módulo debe contener características de endurecimiento en la superficie al llegar a cierta temperatura con respaldo de fibra cerámica de 1" de espesor.

Con la fibra cerámica y un sistema de anclaje de retenida de ladrillo flotante para temperaturas de hasta 1800°C (3272 °F) se establecen mínimos mantenimientos, ahorros de combustible y mayor vida útil.

El sistema sin juntas se compone de fibra de cerámica monolítica (pyroblock) módulos diseñados para cubrir paredes completas, puertas y techos de hornos.

Es una construcción de una sola pieza continua con forma de manta de fibra cerámica plegada y anclada, los módulos sin juntas no solo eliminan las juntas entre módulos más pequeños sino también eliminan las brechas normalmente que se encuentran alrededor de los conductos.

Estas juntas / lagunas son generalmente una fuente importante de contaminación para los productos de loza, cerámica.

Para aplicaciones de alta temperatura, el ladrillo conserva sistema de anclaje flotante, utilizando la lengua propia y ranura de ladrillo de diseño, por consiguiente se extiende en gran medida la vida de los revestimientos refractarios, Figura (9).

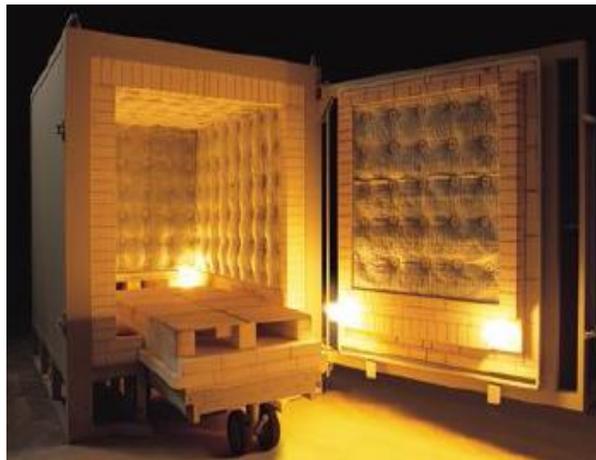


Figura (9): Pyroblock y ladrillo refractario

Los módulos de fibra de cerámica son una línea de productos diseñados para el revestimiento de espesor total en las aplicaciones de horno. Los módulos se fabrican con alta calidad. Con un manejo superior de resistencia característica y de tracción. Se inserta en el módulo de hardware por dos varillas de acero inoxidable que penetran en la manta. Esto proporciona una vida más larga y durabilidad para todas las aplicaciones.

Los tamaños estándar de los módulos son de 12" de ancho x 12" de largo con un espesor de 4" a 12" (en incremento de 1"). Módulos de tamaño especial también están disponibles y es dependiendo de lo que requiera el cliente. Densidades estándar de 8, 9, 3, 10, 7 y 12. Los módulos están comprimidos a la densidad específica para ayudar a prevenir la contracción. Ambos sistemas de fijación para facilitar la instalación rápida y menos tiempo de inactividad para el instalador, Figura (10).



Figura (10): Módulos de Pyroblock

El ladrillo refractario Figura (11), se coloca en lugares donde debe soportar altas temperaturas como hornos o chimeneas.



Figura (11): Ladrillos densos refractarios

1.7 DETECTOR DE FALLA DE FLAMA

El control electrónico de seguridad contra falla de flama Figura (12), es un equipo automático que proporciona seguridad en la operación e ignición de quemadores, calderas y hornos que utilicen gas o diesel.⁷

Mediante este sistema se detecta la correcta ignición del gas o diesel, monitoreando segundo a segundo que el proceso de calentamiento del quemador este funcionando correctamente, si por el contrario, el equipo llega a detectar algún funcionamiento anormal, detendrá el proceso de ignición del quemador y accionara la alarma, la cual deberá ser restablecida manual o automáticamente interrumpiendo el voltaje de alimentación.

Hay una variedad de escáner de llama o flama que con exactitud descubren la presencia o la ausencia de llama en una cámara de combustión. Los escáner incluyen sensores avanzados y algoritmos que pueden discriminar, esto es, la hornilla objetivo de llamas adyacentes en la misma cámara de combustión, pueden ser usados con todos los tipos de combustible y configuraciones de hornilla.

El equipo detecta la falla de flama por medio de una varilla si se utiliza gas o por medio de fotodiodo si es diesel. El detector cuenta con un sistema de seguridad que verifica el correcto funcionamiento en cada paso del proceso de ignición y si la flama no es detectada, este cerrara las válvulas de gas y activara el sistema de alarma. Los indicadores luminosos “LEDS” permiten visualizar el comportamiento de todo el proceso. El detector de falla de flama cuenta con una salida de alarma en la cual se puede conectar un sistema de seguridad ya sea audible o visual como un zumbador o una torreta de luz.



Figura (12): Detector de falla de flama

⁷<http://www.secowarwick.com/spanish/vacuums spanish.html>

1.8 VARILLA DETECTORA DE FLAMA

Las varillas para detectar flama de gas, es un método muy económico, Figura (13).

El sistema de detección de alta resolución por medio de varilla detectora de flama le permite distinguir al sistema de seguridad la diferencia real entre tierra y la autentica ionización del gas, además si la varilla requiere mantenimiento el detector avisa por medio del indicador luminoso (led) indicado como “Varilla”.

Si el quemador enciende momentáneamente y se apaga, tendrá que revisar la línea que va a la varilla detectora de flama, si está bien, se reubica la varilla al centro de la flama para mantener la flama de manera constante. O bien si el quemador sigue sin encender sería necesario revisar módulos de control de falla de flama para reemplazarlos o checar si se requiere todo el control completo.



Figura (13): Varillas detectoras de falla de flama

1.9 TREN DE COMBUSTIÓN

Un tren de combustión es una herramienta analítica para la determinación de la composición elemental de un compuesto químico. Con este conocimiento, se puede derivar formulas químicas. El tren permite determinar pasos del carbono e hidrogeno, por ejemplo: como agente oxidante es la combustión de la muestra a alta temperatura con oxido de cobre, recolección de gas resultante en un agente como (anhidro), recolección del gas restante en una base fuerte como (hidróxido de potasio) para atrapar el dióxido de carbono. ⁸

⁸ Manual "Control valve handbook"
E.U. Emerson, 4ta. Edición

La determinación analítica de las cantidades de agua y dióxido de carbono producido a partir de una cantidad conocida de muestra, da la fórmula empírica. Para cada átomo de hidrogeno en el compuesto, se produce medio equivalentes de agua y por cada átomo de carbono en el compuesto, se produce una equivalente de dióxido de carbono.

Hoy en día, los instrumentos modernos están suficientemente automatizados para permitir hacer estos análisis rutinariamente.

En un quemador de gas o combustión de alto rendimiento, la combinación de una boquilla y la cámara de combustión, junto con una de cuatro puertos de difusión de aire del bloque en un conjunto integrado, el aire secundario (difusión de aire) difunde el quemador gases que emanan de la cámara de combustión, a proporcionar un chorro de alta velocidad uniforme de la temperatura para calentar el producto. El quemador resultante permite el control independiente de las tasas de difusión de aire que afecta a la velocidad del quemador y temperatura de los gases de salida, Figura (16).

El quemador de alta velocidad, es importante para promover la uniformidad de la temperatura en los hornos de grandes cantidades de gases en la corriente en chorro del quemador. Y en las etapas de enfriamiento, el sistema de difusión de aire combinado con el sistema de aire de combustión primaria, va a enfriar el horno con mayor rapidez con un mejor control que cualquier otro sistema.

En un tren de combustión puede haber diversas partes que lo conforman como: un quemador, ventilador, actuador, manómetros, regulador de presión, interruptores; válvulas de mariposa, proporcional, de seguridad, de paso, solenoides, entre otras. Todas estas facilitan la instalación del sistema de combustión que incluyen componentes según sus especificaciones técnicas, Figura (14).

Pero en si los trenes de combustión están compuestos, en el caso de los sistemas residenciales, por válvulas de cierre combinadas con regulador integrado que cuentan con certificación, los sistemas industriales y comerciales de mayor tamaño utilizan válvulas de desfogue, válvulas de cierre de combustible automático, interruptores de presión, reguladores

de presión y válvulas de cierre manual discretas y los trenes de combustible principales y pilotos están compuestos por sistemas de calibración / válvulas de ventilación, válvulas de cierre de combustible automático, manómetros / interruptores de presión, reguladores de presión y válvulas de cierre manual, Figura (15).



Figura (14): Tren de combustión 1



Figura (15): Tren de combustión 2



Figura (16): Tren de combustión 3

1.10 VÁLVULAS DE ORIFICIO

Las válvulas son accesorios que se utilizan para regular y controlar el fluido de un material. Este proceso puede ser desde cero (válvula totalmente cerrada) hasta el flujo (válvula totalmente abierta) y pasa por todas las posiciones intermedias, entre estos dos extremos.

Las válvulas pueden ser de varios tipos según sea el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador o bien, también hay válvulas de movimiento lineal en las que el obturador se mueve en la dirección de su propio eje.

Las válvulas de orificio Figura (17) utilizan una placa que permite recambio del flujómetro de la placa, calidad de sonido, etc. La placa de orificio se utiliza para el flujo que mide en sistemas de pipa. Con la placa se crea la gota de presión. De acuerdo con la magnitud de gota de presión, el flujo puede ser calculado. Este instrumento es muy práctico para los diámetros grandes del tubo y para el líquido sucio cuando las turbinas por ejemplo no son aplicables.⁹

El gas se considera como ideal para esta válvula de orificio.



Figura (17): Válvula de orificio

1.11 MAXITROLES

El regulador de presión de gas o maxitrol a bajas presiones, se utiliza básicamente en los pilotos de los quemadores de gas para mantener la flama y evitar explosiones.

⁹Manual "Control valve handbook"
E.U. Emerson, 4ta. Edición

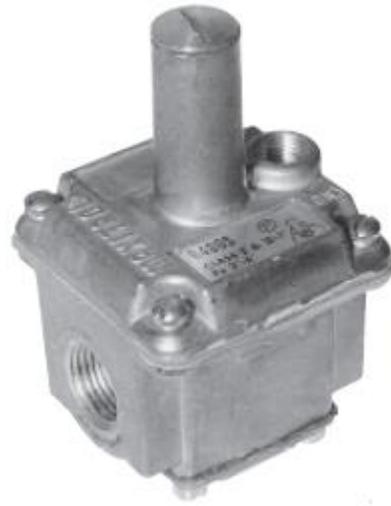
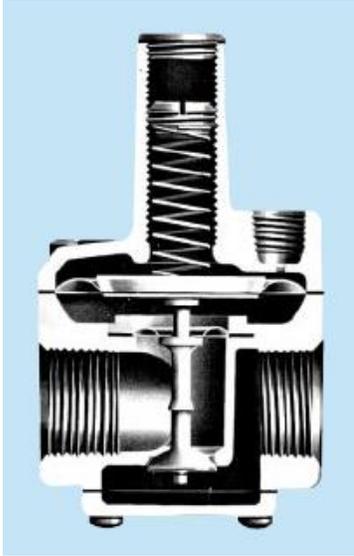


Figura (18): Maxitroles o Reguladores de presión

Los reguladores de presión Figura (18), son dispositivos para vigilar y controlar la cantidad de presión en caliente a través de un sistema. Hay reguladores diseñados para controlar la presión del agua, así como el gas y la presión del combustible.

El regulador de presión típico se puede configurar para alertar a los operadores de los problemas cuando las condiciones de alta presión, es superior a los niveles de seguridad determinados.

Como parte del proceso que se utiliza para regular la presión, un regulador de presión controla el nivel de presión dentro de un sistema, así como la tasa de escape de líquido o gas. Cuando sea necesario, una válvula se abre y se cierra para mantener el nivel de presión dentro de un rango aceptable.

Por ejemplo: un regulador de presión en un sistema de riego que utilizan los requisitos recomendados por goteo asociados con el sistema como el estándar para los niveles adecuados de presión. En el caso de que la presión del agua cae por debajo de cierto nivel, la válvula se cierra y permite que la presión construya hasta límites aceptables. A medida que la presión vuelve a niveles razonable, la válvula se abre y permite que el proceso de riego continúe.

El regulador de presión a veces se emplea como un medio de controlar el flujo de agua de una fuente elevada. Con el fin de asegurarse de que el torrente de agua no supere la cantidad de los equipos situados a una altura menor, un simple tornillo en el regulador de presión es a menudo unido a los receptores de la manguera de agua. El regulador compensa el aumento de la presión y retarda el flujo de agua a un ritmo que el equipo puede procesar sin dañar los componentes del sistema.



Figura (19): Maxitrol o Regulador de presión

La utilización de un regulador de presión o maxitrol Figura (19), lleva a cabo más la prevención de daños a los equipos y asegurarse de que se tenga la presión de aire suficiente en los sistemas para funcionar correctamente. Los reguladores también previenen la acumulación de exceso de presión que pudiera romper el sistema y poner en peligro la vida de las personas en la proximidad inmediata de la infracción. Esto es especialmente cierto con los reguladores para controlar el flujo de sustancias inflamables, como gasolina o gas propano.

1.12 BUJÍAS

La bujía es un componente eléctrico con dos electrodos Figura (22), separados por un pequeño espacio, a través del cual se produce la chispa que inflama la mezcla en los quemadores. Es el eslabón final del circuito secundario, la bujía se atornilla dentro de la cámara de combustión. La corriente fluye a través del electrodo central y salta la abertura hasta el electrodo conectado a tierra, para encender la carga de aire y gasolina.

Las bujías transmiten energía eléctrica que convierten al combustible en un sistema de energía. Una cantidad suficiente de voltaje se debe de proveer al sistema de ignición para que pueda generar la chispa a través de la calibración de la bujía.¹⁰

Las bujías Figura (20), pueden usarse para encendido, detección de llama o para alarma de nivel en calderas. Tienen un cierto parecido con las usadas por los automotores y su característica primordial es que poseen un cuerpo metálico roscado o una base metálica fija para ser acoplados al proceso. Pueden ser con una sola varilla central Figura (21), y una de masa o pueden ser multifuncionales conteniendo varilla de masa, varilla de encendido y varilla de detección de llama aunada en una sola base.

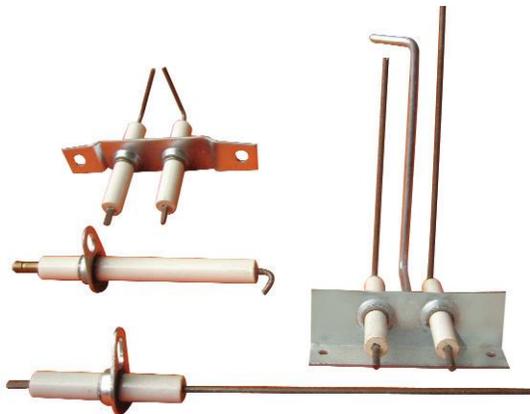


Figura (20): Bujías

Los Contactos cable-bujía deben ser de bronce con seguro a resorte, (Debidamente cadmiado y deshidrogenado) con fijación del cable con tornillo para asegurar que las vibraciones del quemador no afecten la seguridad del contacto, sobre todo, en la bujía o electrodo de detección, ya que ésta trasmite una señal de escasos miliamperios, que ante cualquier micro corte puede enviar a falla el equipo y lo que es más grave, puede abortar el proceso térmico ante la presencia de falta de llama.



Figura (21): Bujía de simple electrodo

¹⁰ Thelwing, H.B. Bofors HandbookSteel and its Heat Treatment, Butterworth, 1ª Ed. Ingles, 1975



Figura (22): Bujía de doble electrodo

1.13 TRANSFORMADOR DE IGNICIÓN

Son indicados para el encendido de quemadores de gas de cualquier talla o quemadores de gasóleo hasta talla media. Se fabrican con una o dos salidas de alta tensión. Los de una salida se emplean normalmente en quemadores de gas, ya sean con ventilador o atmosféricos, debiendo saltar el arco entre el electrodo de ignición y la masa del quemador, Figura (23).



Figura (23): Transformador de ignición

1.14 CHIMENEA

Una chimenea es un sistema usado para evacuar gases calientes y humo de calderas, calentadores, estufas, hornos, etc.

Como norma general son completamente verticales para asegurar que los gases calientes puedan fluir sin problemas, moviéndose por convección térmica (diferencia de densidades).

Como los gases de combustión siguen calientes después de ceder calor a la pieza, se suelen instalar intercambiadores de calor para aprovechar esa energía residual en precalentar los gases alimentados a los quemadores, Figura (24)



Figura (24): Horno con chimenea

1.15 TURBOSOPLADOR

Un turbocompresor (o turbosoplador) es en esencia un ventilador centrífugo diseñado para producir una presión muy elevada con un flujo reducido. La placa de soporte del impulsor constituye una única pieza metálica.¹¹

El impulsor, que no tiene placa lateral, canaliza el gas que está siendo presurizado a una cámara en espiral. Pueden emplearse registros variables de admisión y escape para controlar el volumen de salida. El impulsor, que puede trabajar a velocidades superiores a 6 000 RPM, va montado directamente sobre el eje de salida de un reductor.

Los turbosopladores, turboventiladores o compresores centrífugos se emplean para mover grandes volúmenes de gas con elevaciones de presión desde unos 5 kPa hasta varios miles de kPa, Figura (25)

¹¹ Motores Modutrol, E.U. Serie 90, Ed. 2002 Honeywell, Ed. North American



Figura (25): Turbosopladores o turboventiladores

1.16 MANÓMETROS

El manómetro es un instrumento que se emplea para la medición de la presión en los fluidos y que generalmente procede determinando la diferencia que hay entre la presión del fluido y la presión local. Para éste caso particular los manómetros nos permiten visualizar la presión con que se esta controlando el aire y gas proporcionado a un horno de tratamiento térmico, Figura (26).¹²

En el mundo de la mecánica, por ejemplo, la presión es considerada como una fuerza por unidad de superficie que es ejercida en un determinado líquido o gas, de manera perpendicular y sobre dicha superficie. La medición de la presión suele realizarse en atmósferas, mediante el Sistema Internacional de Unidades.

En el caso de los manómetros, cuando éstos deben indicar fluctuaciones sumamente rápidas de presión, tienen que usar unos sensores, que bien pueden ser piezoeléctricos o electrostáticos. Dichos sensores proporcionan una solución más que eficaz al problema de las fluctuaciones inusitadas, que se suscitan con mucha velocidad.

¹² <http://www.manometro.com/tipos de manómetros.htm>

Cabe mencionarse que la mayoría de estos instrumentos miden la diferencia que se produce entre la presión con la que cuenta el fluido y la presión de la atmósfera local.

Por esta razón, a esta última presión hay que sumarla al valor que indica el manómetro. Con esto se logra hallar la presión absoluta. En aquellos casos en los cuales se obtiene una medida negativa en el instrumento, hay que adjudicarla a una situación de vacío parcial

Las presiones medidas con los manómetros pueden variar y tener distintos rangos, por ejemplo, hay presiones que oscilan entre los 10^{-8} y 10^{-2} mm de mercurio de presión absoluta en aquellas aplicaciones consideradas como de alto vacío; hasta también arribar a miles de atmósferas en prensas y controles hidráulicos. Mediante la persecución de fines de índole experimental se han podido obtener presiones pertenecientes al orden de millones de atmósferas.

Por otra parte, en la atmósfera el peso de la columna de aire a medida – que aumenta la altitud – es cada vez menor, razón por la cual se produce de manera consecuente una disminución de la presión atmósfera local. De esta manera, la presión baja de su valor de 101.325 Pa al nivel del mar hasta 2.350 Pa a 10.700 m. En cuanto a otra variedad de presión, la denominada “presión parcial”, se trata de una clase de presión efectiva que ejerce un componente gaseoso, que haya sido previamente determinado en una mezcla de gases. En cuanto a la “presión atmosférica total”, la misma es el resultado de la suma de las presiones parciales de todos sus componentes: el oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono y los gases nobles.



Figura (26): Manómetros

1.17 ELECTROVÁLVULAS DE CONTROL

En el control automático de los procesos industriales, la válvula de control juega un papel muy importante porque realiza la función de regular en forma parcial o en forma total el caudal de un elemento que circula a través de una tubería, mediante la señal de los sensores que llegan a los controladores, estos analizan y procesan información para regular este flujo.

En pocas palabras en lugar de tener una llave de accionamiento manual ya sea de globo, esfera o cualquier otro tipo, las electroválvulas lo hacen en forma automática (eléctricamente).

Las partes principales de una electroválvula Figura (27), que la componen son: el cuerpo de la válvula (color beige), electroimán o bobina (color negro) y los orificios de entrada y salida (ubicados en el cuerpo de la válvula).¹³



Figura (27): Electroválvula

1.18 MIRILLAS

Consiste en un pequeño trozo de vidrio o plástico transparente que adopta la forma de lente gran angular, de modo que la persona que observa consigue una amplia visibilidad para ver si la flama es correcta o bien existe algún detalle o problema. El ángulo suele alcanzar una gran visión periférica, aunque existen mirillas más amplias, dependiendo del tamaño del horno para observar el tratamiento térmico, Figura (28).



Figura (28): Mirilla

1.19 CABLE CON RECUBRIMIENTO DE FIBRA DE VIDRIO (F.V.)

Este cable está diseñado con un recubrimiento de fibra de vidrio, para soportar exposiciones continuas a altas temperaturas que van de 500 a 1000°C aproximadamente. Además esta característica no afecta la flexibilidad del cable. Toda la señalización de horno, control de válvulas se hacen con este tipo de cable, sino se utiliza con este recubrimiento este conductor ocasiona que las fallas sean constantes y difíciles de detectar, Figura (29).

Se debe de tener mucho cuidado ya que este tipo de conductor al estar en contacto con el agua o humedecido puede generar corto circuito o señales erróneas



Figura (29): Cable recubierto de fibra de vidrio

1.20 VÁLVULA GLOBO

Las válvulas de globo pueden ser de simple asiento, de doble asiento y de obturador equilibrado respectivamente, Figura (30)

Las válvulas de simple asiento (a), precisan de un actuador de mayor tamaño para que el obturador cierre en contra de la presión diferencial del proceso, por lo tanto se emplean cuando la presión del fluido es baja y se precisa que las fugas en posición de cierre sean mínimas.

En las válvulas de doble asiento (b) o de obturador equilibrado (c), la fuerza de desequilibrio desarrollada por la presión diferencia a través del obturador es menor que en la válvula de simple asiento.

Por este motivo se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. En posición de cierre las fugas son mayores que en una válvula de simple asiento.

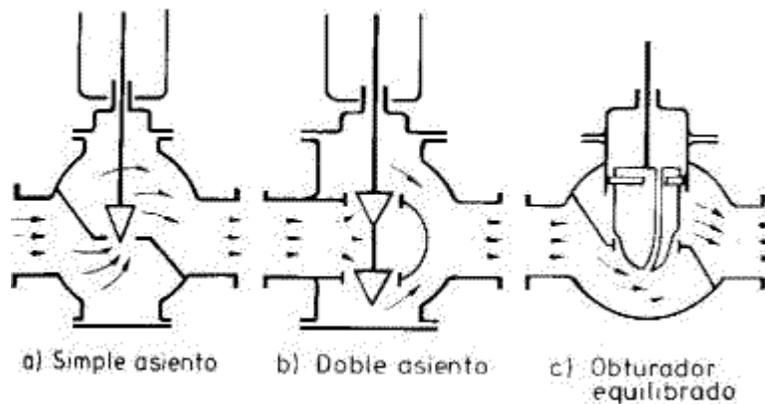


Figura (30): Válvula de globo asientos

Las válvulas de globo son probablemente las más comunes en existencia, son llamadas así por la forma esférica de su cuerpo. Si bien actualmente algunos diseños ya no son tan esféricos, conservan el nombre por el tipo de mecanismo.

El obturador de la válvula se desplaza con un movimiento lineal. En la mayoría de los casos, el mecanismo de avance es la de un "tornillo". El vástago del obturador va roscado al bonete de la válvula de globo. En cuanto se le da vueltas al vástago, ya sea mediante un volante o un actuador de giro múltiple, el obturador avanza linealmente. Las válvulas de globo automatizadas pueden tener vástagos sin rosca, y el desplazamiento lineal viene directamente proporcionado por el actuador.

Según la disposición geométrica de los puertos de entrada y el eje del obturador podemos clasificar las válvulas de globo en: asiento recto, inclinado y angular.

La válvula de globo es muy utilizada en la regulación de fluidos. La geometría del obturador caracteriza la curva de regulación, siendo lineal para obturadores parabólicos. Son de uso frecuente gracias a su poca fricción y pueden controlar el fluido con la estrangulación al grado deseado.¹⁴

El cierre puede ser metal-metal lo cual permite su uso en condiciones críticas. Las válvulas de globo de grandes tamaños requieren de grandes actuadores. El ensamblaje de la válvula de globo permite su reparación sin tener que desmontarla de la instalación, Figura (31).

¹⁴ <http://www.valvias.com/tipo-valorula-de-globo.php>



Figura (31): Válvula de globo

La válvula es cerrada Figura (32), dando vuelta al vástago de válvula hacia adentro hasta que el disco se apoye en el asiento de válvula. Esto evita que el líquido atraviese la válvula. El borde del disco y su asiento están trabajados a máquina de manera que cuando la válvula es cerrada encastan en forma muy precisa.

Cuando la válvula está abierta Figura (32), el líquido atraviesa el espacio entre el borde del disco y el asiento. Dado que el fluido se desplaza igualmente en todos los lados del centro de apoyo cuando la válvula está abierta, no existe ninguna presión sin balancear sobre el disco que cause un desgaste desigual. El régimen al cual el líquido atraviesa la válvula es regulado por la posición del disco en relación con el asiento.

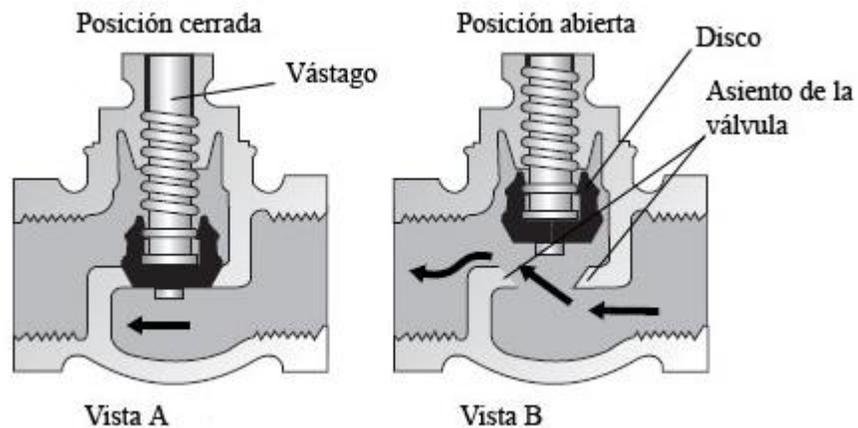


Figura (32): Válvula de globo cerrada y abierta

Esta válvula es comúnmente usada completamente abierta o completamente cerrada, pero se puede utilizar como válvula reguladora. Sin embargo puesto que la superficie del asiento es un área relativamente extensa, no es conveniente su uso con esta función, ya que requiere ajustes finos para controlar el régimen.

La válvula de globo nunca debe atascarse en la posición de abierta. Después de que una válvula se abra completamente, el volante se debe dar vuelta hacia la posición de cerrada aproximadamente una mitad vuelta. A menos que se haga esto, la válvula es probable que se trabe en la posición abierta, haciendo difícil, si no imposible, volver a cerrarla. Muchas válvulas se dañan de este modo.

Otra razón de no dejar las válvulas de globo en la posición completamente abierta es que en ocasiones es difícil determinar si la válvula está abierta o cerrada. Si la válvula se atasca en la posición abierta, el vástago puede ser dañado o roto por alguien que piensa que la válvula está cerrada, e intenta abrirla.

Es importante que las válvulas globo sean instaladas con la presión contra la cara del disco para mantener la presión de sistema lejos de la empaquetadura del vástago cuando se cierra la válvula.

Esta válvula se puede recomendar para accionamiento frecuente, para corte positivo de gases o aire, cuando es aceptable cierta resistencia a la circulación. Y como ventaja es carrera corta del disco y pocas vueltas para accionarlas, lo cual reduce el tiempo y desgaste en el vástago y el bonete, hay control preciso de la circulación, disponible con orificios múltiples. Pero como desventaja es que es gran caída de presión y su costo es relativamente elevado.

1.21 VÁLVULA DE ESFERA O BOLA

En este tipo de válvula la esfera se apoya y gira sobre los anillos de asiento, transfiriendo sobre estos, los esfuerzos que soporta por acción de las presiones de servicio. El inserto de material resiliente en los anillos de asiento, asegura un bajo torque de operación al igual que un sellado perfecto. Las válvulas son sometidas a pruebas de fuego lo cual provee un sello efectivo metal-metal, en caso de que las altas temperaturas destruyan los insertos de material resiliente en los anillos de asiento.

El vástago posee un doble sello de teflón, del cual el interno es comprimido por éste contra el asiento en el cuerpo, debido al efecto de la presión interna en la válvula, aumentando así su acción sellante. La válvula de bola flotante puede ser fabricada de paso completo o paso reducido y puede ser operada con palanca y con operadores mecánicos, electromecánicos, hidráulicos o neumáticos. La variedad de aceros al carbono y aleados utilizados, nos permiten suministrar válvulas apropiadas para una amplia gama de servicios.

Las aplicaciones más frecuentes de la válvula de bola son de obertura/cierre. No son recomendables usarlas en servicios de parcialmente abiertas por un largo tiempo bajo condiciones de alta caída de presión a través de la válvula, ya que los asientos blandos pueden tener tendencia a salir de su sitio y obstruir el movimiento de la bola. Dependiendo del tipo de cuerpo la válvula, su mantenimiento puede ser fácil. La pérdida de presión en relación al tamaño del orificio de la bola es pequeña.

El uso de la válvula está limitada por la resistencia a temperatura y presión del material del asiento, metálico o plástico. Se emplean en vapor, agua, aceite, gas, aire, fluidos corrosivos, pastas aguadas y materiales pulverizados secos. Según que abrasivos o fluidos fibrosos pueden dañar la superficie de la bola y asiento.

Por consiguiente como su nombre lo indica, las válvulas de bola son de parada que utilizan una bola para cortar o para iniciar un flujo de líquido. La bola realiza la misma función que el disco en otras válvulas. En la siguiente Figura (33), se aprecia en forma de esqueleto la válvula bola con las partes que la integran.

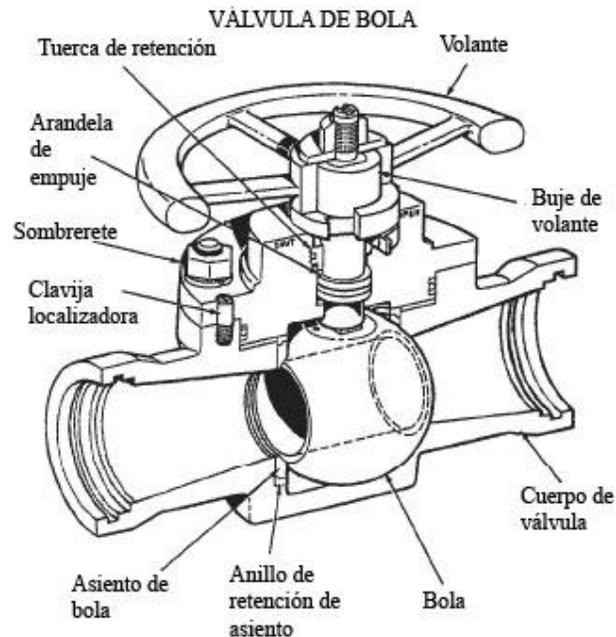


Figura (33): Válvula de esfera o bola

A medida que la manija de la válvula se da vuelta para abrir la válvula, la bola gira a un punto donde el agujero a través de la bola está alineado en parte o del todo en la entrada y la salida del cuerpo de válvula, permitiendo que el líquido atraviese la válvula. Cuando se gira la bola de manera que el agujero sea perpendicular a las aberturas de flujo del cuerpo de la válvula, el flujo de fluido se detendrá.

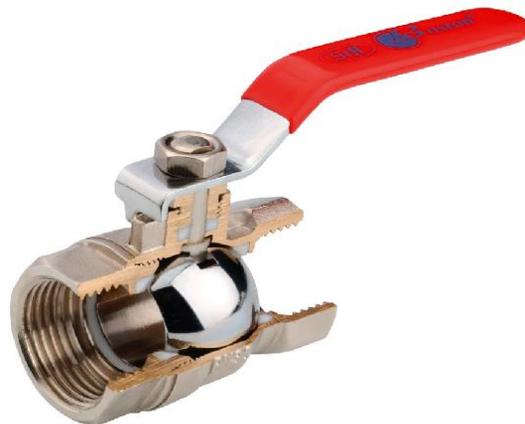


Figura (34): Válvula de esfera o bola

Las válvulas de bola son de $\frac{1}{4}$ de vuelta, en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto, Figura (34).

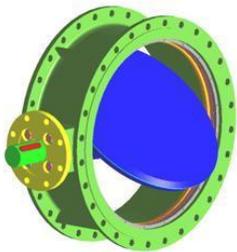
Esta válvula se recomienda cuando se requiere apertura rápida, para temperaturas moderadas, cuando se necesite resistencia mínima a la circulación y otras. Y tienen la ventaja de ser de bajo costo, alta capacidad, corte bidireccional, circulación en línea recta, pocas fugas, poco mantenimiento, se limpia por sí sola, no requiere lubricación, cierre hermético con baja presión. Pero también tienen de desventaja que existe alta torsión para accionarla, es susceptible al desgaste de sellos o empaquetaduras y propensa a la cavitación.

Estas válvulas pueden variar dependiendo de la entrada por la parte superior, el cuerpo o entrada de extremo dividido, tres vías, orificio de tamaño total y orificio de tamaño reducido.

1.22 VÁLVULA DE MARIPOSA

Están diseñadas para su utilización tanto en gas como en aire. El sistema de obturación es el de un disco mariposa no estanco, ejerciendo la función de regulación del caudal similar a los discos de orificio fijo. En las válvulas de mariposa puede variarse el paso en caso de cambios dentro de la aplicación.

Su disco de mariposa es biselado ajustado al diámetro interno, minimizando la fuga en posición cerrada.



Las válvulas de mariposa son unas válvulas muy versátiles. Tiene una gran capacidad de adaptación a las múltiples solicitaciones de la industria, tamaños, presiones, temperaturas, conexiones, etc. a un coste relativamente bajo. El desarrollo de la válvula de mariposa es más reciente que en otro tipo de válvulas, Figura (35).

Figura (35): Válvula mariposa

Una mayor concienciación en el ahorro energético de las instalaciones favoreció su introducción, ya que su pérdida de carga es pequeña. En un principio se usaba en instalaciones a poca presión de servicio, pero mejoras tecnológicas permitió evolucionar la válvula de mariposa a usos de altas presiones.

El funcionamiento básico de las válvulas de mariposa es sencillo pues sólo requiere una rotación de 90° del disco para abrirla por completo. La operación es como en todas las válvulas rotativas rápidas, Figura (36).

Poco desgaste del eje, poca fricción y por tanto un menor par, que resulta en un actuador más barato. El actuador puede ser manual, oleo hidráulico o motorizado eléctricamente, con posibilidad de automatización. La geometría de la válvula de mariposa es sencilla, compacta y de revolución, por lo que es una válvula barata de fabricar, tanto por el ahorro de material como la mecanización.¹⁵



Figura (36): Válvula mariposa, giro 90°.

El menor espacio que ocupan facilita su montaje en la instalación. En este sentido, las válvulas de compuerta y globo resultan muy pesadas y de geometría compleja. Por todo ello, las válvulas de mariposa son especialmente atractivas en grandes tamaños respecto otro tipo de válvulas.

¹⁵ Manual "Control valve handbook", E.U. Emerson, 4ta. Edición

La pérdida de carga es pequeña. Cuando la válvula está totalmente abierta, la corriente circula de forma aerodinámica alrededor del disco, y aunque la pérdida de carga es ligeramente superior a las válvulas esféricas o de compuerta, ya que éstas tienen la sección totalmente libre de obstáculos, es claramente inferior a la válvula globo.

Las válvulas de mariposa Figura (37), pueden estar preparadas para admitir cualquier tipo de fluido gas, líquido y hasta sólidos. A diferencia de las válvulas de compuerta, globo o bola, no hay cavidades donde pueda acumularse sólidos impidiendo la maniobrabilidad de la válvula.

La presión y temperatura de diseño son factores relacionados, a una misma presión, con el aumento de la temperatura, baja la presión de la válvula por la menor capacidad que tienen los materiales a altas temperatura.

De la misma forma que las válvulas de compuerta, globo, y bola, admite asientos metálicos que pueden soportar grandes presiones y temperaturas extremas



Figura (37): Válvula de mariposa

CAPÍTULO 2 “OPERACIÓN BÁSICA DEL HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO”

2.1 CONTROL AIRE

En un horno de combustión Figura (38), donde el combustible es gas natural requiere una mezcla adecuada con aire para poder generar la combustión adecuada, el cual va a ser proporcionado a los hornos de tratamiento térmico por los turbosopladores, su velocidad y presión será controlada por los reguladores proporcionales; este aire puede ser recogido o reciclado por las chimeneas del horno para aprovechar el calor y no desperdiciar energía, la presión depende del tipo de quemador el cual se tiene instalado.

Se pueden tener quemadores de baja o alta velocidad los cuales requerirán diferente rango de presión, si no se tiene la relación correcta en el quemador y en el piloto en la cámara del horno se tendrán flamas de muy poco poder calorífico o se apagaran constantemente los quemadores pilotos, por esta razón debemos de tener mucho cuidado para controlar la mezcla adecuada, el volumen afecta la calidad directa de la flama consecuentemente de la temperatura que se tenga dentro de la cámara del horno.



Figura (38): Horno de tratamiento térmico

Para controlar el flujo del aire en el horno vamos ocupar los reguladores proporcionales, los cuales nos darán la relación de mezcla adecuada. Estos dependerán del tipo de quemador a instalar, la secuencia típica es del turbosoplador se conduce el aire por tuberías Figura (38) en las cuales encontraremos, válvulas mariposas accionadas automáticamente por un modutrol que recibe la señal del controlador de temperatura, cuando la temperatura es más abajo del set-point el controlador manda la señal para abrir proporcionalmente la válvula mariposa dejando pasar más aire a través de las tuberías, esta cantidad de aire acciona al regulador proporcional dejando pasar la cantidad necesaria de gas para esa cantidad de aire, mezclándose después del regulador proporcional para llegar al quemador.

Esta es la parte fundamental en la cual podemos tener por ejemplo tres columnas de agua en presión de aire por una de gas para tener una mezcla adecuada.

La siguiente imagen Figura (39), es para el control piloto.

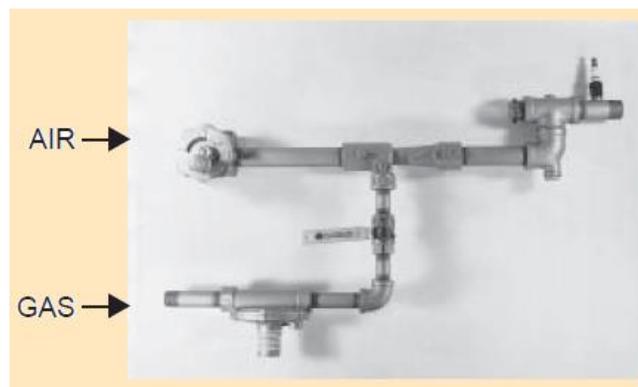


Figura (39): Tubería de presión aire-gas

Algunos problemas que se han encontrado se refieren principalmente a componentes mecánicos, como válvulas y quemador, que pueden producir un indeseado aumento de concentración de carbono y bióxido en la chimenea. En los casos en que ha sido posible se ha procedido a la correcta puesta a punto o incluso sustitución de puntos críticos.

La dinámica de los fluidos en la cámara de combustión es un factor muy importante que a menudo no se tiene en consideración. En la mayor parte de los estudios realizados sobre instalaciones existentes, se observa zonas frías en la cámara de combustión que reduce sensiblemente la eficiencia de la combustión.

Normalmente la solución más simple que se adopta es suplir las carencias elevando la temperatura de combustión, para soluciones sofisticadas se introduce mezclas específicas en el interior de la cámara, que aumentan la turbulencia y mejoran la distribución del aire y del calor, reduciendo emisión de carbono y bióxido en la chimenea.

Una dimensión errónea o utilización de la planta en condiciones fuera de los límites de proyecto, podrían causar una pérdida de la eficiencia de depuración, debida a una distribución de la temperatura no homogénea. Se verifica para que produzca una optimización de la combustión que permite mejorar la emisión en chimenea y reducir costes de gestión de instalación.

En un quemador el suministro de aire óptimo requiere que el aire este templado al llegar al quemador para realizar una combustión completa. Con un flujo mínimo de gas, en caso de que se requiera una determinada velocidad se debe tener un soplador que cumpla con esas características, la relación óptima aire gas debe de ser la adecuada químicamente, esto se obtiene usualmente para obtener la máxima eficiencia calorífica del combustible.

Para tener una combustión con exceso de aire sería necesario elevar la cantidad de gas requerido para la combustión. El aire caliente es lo que le va a dar la temperatura a las piezas a ser tratadas dentro del horno, a mayor temperatura que se requiera el set-point se va a requerir mayor cantidad de aire (exceso de aire), para que esté caliente toda la cámara o lugar del horno y las piezas a tratar tengan la misma temperatura desde el exterior hacia su centro, por efecto de intercambio de calor, logrando de esta manera que la temperatura sea homogénea.

La flama si da directamente a las piezas que se van a tratar en el horno las quemará y eliminara sus propiedades generando cascarilla como se muestra en la Figura (40), ocasionando la reducción de sus dimensiones significativamente y puede generar carburación del material, lo cual en muchos casos no es aceptable.



Figura (40): Material con cascaquilla

2.2 CONTROL GAS

La mezcla correcta de gas en combinación con el aire nos proporcionara el poder calorífico necesario para que el aire que sale del quemador pueda calentar las piezas a tratar en forma homogénea desde su centro a la capa exterior, cuando se tiene una mezcla muy pobre de gas la flama se verá muy rojiza lo cual nos indicara que calienta muy poco el aire, cuando se tiene exceso de gas Figura (42), la combustión no va hacer la adecuada y en los gases que salen por la chimenea se estará desperdiciando gran cantidad. Una flama correcta con buena relación aire / gas será aquella que en su punta se ve una flama azul con pequeños bordes naranjas, como se puede apreciar en la Figura (41).¹⁶

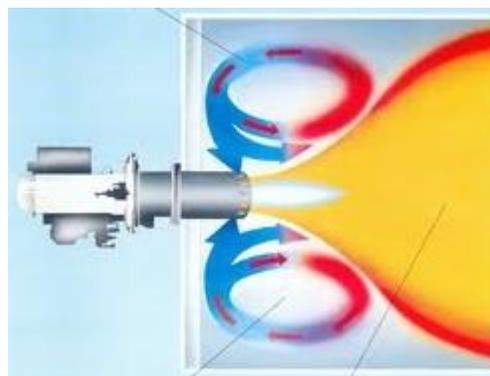


Figura (41): Flamas azules correctas

¹⁶ Catálogo general de quemadores y reguladores proporcionales, North American



Figura (42): Flama con exceso de gas

2.3 MEZCLA CORRECTA

La longitud del piloto de la flama (a) llega a más de 7" con una mezcla de La presión, producida por aire.

La longitud del piloto de la flama (b) 7" es la mezcla presión con aire/gas Con exceso de aire del 25%.

La longitud del piloto de la flama (c) igual a 7" es con mezcla de presión y la proporción aire/gas con exceso de combustión de 15%

La longitud del piloto de la flama (d) a 1" es solo mezcla de presión.

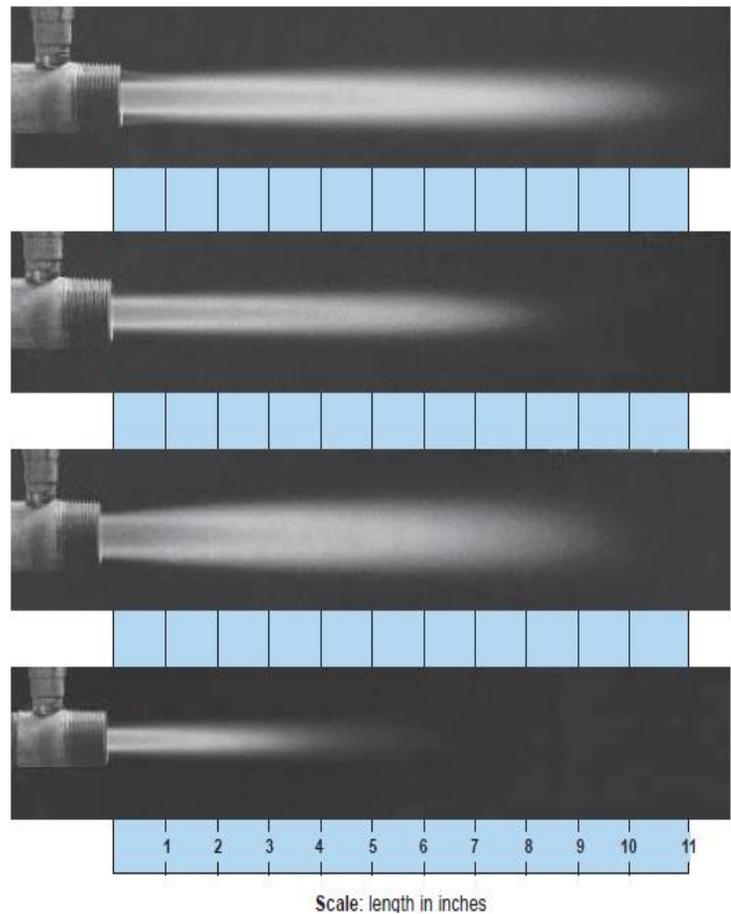


Figura (43): Mezcla de flamas

El ajuste empotrado de gas del mezclador es una guja de la válvula de presión, que usa catorce vueltas de cerrado hacia abierto. Esto permite el flujo de gas con presiones de cero hasta veinticuatro psi. La válvula ayuda al piloto para que encienda. La llave de aire de admisión o mezclador aire/gas podría ser conectado al piloto del regulador para que la proporción del aire/gas no se afecte por cambios en la punta del piloto.

Con la mezcla de gas/aire se produce una agudo y poderosa llama con un cono bien definido de color azul claro interior y una llama más profunda de color azul en el exterior, Figura (44). La flama y/o llama produce pequeñas cantidades y sin ruido, las cuales van decreciendo cuando se ajusta hacia el límite. También de largo, espeso, amarillo o naranja sobre la llama o verde coloreado denota que la proporción es rica. Mas sin en cambio una flama corta, pálida azul o violeta indica que la proporción es pobre o menor.

Por lo tanto las proporciones ricas o pobres pueden hacer que el piloto tenga una longitud de llama insuficiente o suficiente para satisfacer al detector de flama y/o encender el combustible principal.

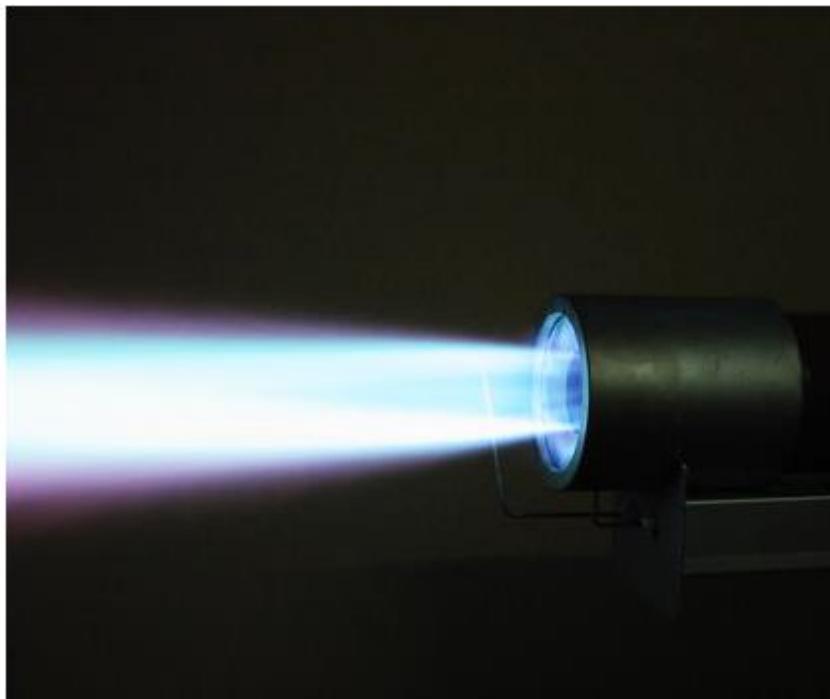


Figura (44): Flama excelente, mezcla aire-gas

2.4 CHIMENEAS

La chimenea es parte fundamental de los hornos de tratamiento térmico, ya que está encargada de agregar el exceso de presión atmosférica que se encuentra dentro de la cámara de combustión, si no se tiene lugar para sacar los gases de la combustión estos ejercerán una fuerza muy importante contra las paredes del horno; lo que puede ocasionar que se perforo o el tiempo de vida sea reducido del material con el cual fue construido, cabe aclarar y mencionar que para la mejor eficiencia de un horno de tratamientos térmicos, debe ser sellado en todas sus áreas de la cámara de combustión, para evitar que la entrada de aire frío de sus alrededores provoque alteración en las piezas a ser tratadas, considerando que va a hacer sellado de la mejor manera, tenemos que ubicar las chimeneas en forma estratégica y calcular sus dimensiones en forma cuantitativa para liberar únicamente el exceso de gases de combustión.

Para operar la salida de estos gases se debe tener en el tablero de control, un instrumento que se encargue de censar la presión interna del horno y la pueda comparar con la atmosférica o externa del horno. Esto con la finalidad de liberar presión cuando se llegue al set-point establecido.

El controlador mandará una señal al modutrol el cual abrirá la puerta de la chimenea en forma proporcional a la presión que se quiere liberar, por la ley de la física los gases calientes tienden a subir y los gases fríos tienden a quedar abajo, por esta razón al tener abierta una chimenea jamás entrara aire frío, de igual manera no se puede tener abierta la compuerta de la chimenea ya que recordemos que lo que da el tratamiento a las piezas es el aire caliente no la flama. Si se deja escapar mucho aire caliente se puede originar un problema de homogeneidad en el tratamiento térmico de las piezas, por esta razón es fundamental instalar las chimeneas correctamente de acuerdo al área de la cámara de combustión. Además de controlar generalmente en forma proporcional la liberación de gases de combustión.

2.5 CONTROL DE LA PRESIÓN INTERNA

Esta debe de ser calculada de acuerdo a la capacidad de la cámara de combustión, ya sea en metros o en centímetros cúbicos y mantener la constante para lograr la homogeneidad de calor en toda la cámara, estas pruebas se pueden efectuar únicamente con la inyección del aire sin la mezcla de gas y aire, sin flama para probar la capacidad de presión con aire frio posteriormente, efectuar el estudio trabajando todos los quemadores a plena carga y realizar los cálculos necesarios para dictaminar el rango de presión en el cual la operación del horno sea la correcta, para eso debemos tener instalados sensores, instrumentos de medición que nos den la presión interna en tiempo real y forma real para corregir la presión abriendo y cerrando las compuertas de las chimeneas mediante los controladores modutroles operados en forma automática.

Para estos cálculos se deben tener en cuenta el nivel del mar, la altitud en que se encuentra instalado el horno respecto al mar ya que la presión del aire varia con la altitud, al no tomar en cuenta este factor al realizar la mezcla para los quemadores y presión interna del horno puede ser erróneo. Esto es fundamental para evitar accidentes ya que cuando no se tiene controlado ese parámetro en hornos recubiertos de pyroblock o fibra cerámica, origina huecos donde salen las flamas generando accidentes. O donde entra aire frio y el resultado es que las piezas obtienen dureza diferente en diferentes secciones de su área total.

CAPÍTULO III “TRATAMIENTOS BÁSICOS DE LOS METALES ”

3.1 COMPOSICIÓN DEL ACERO

Acero es una aleación de hierro y carbono que contiene otros elementos de aleación, los cuales le confieren propiedades mecánicas específicas para su utilización en la industria metalmeccánica.

Los otros elementos de la composición son: el cromo, tungsteno, manganeso, níquel, vanadio, cobalto, molibdeno, cobre, azufre y fosforo. Estos elementos, según su porcentaje, ofrecen

características específicas para determinadas aplicaciones, como herramientas, cuchillas y soportes.

3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO

El hierro proviene principalmente del mineral hematites (Fe_2O_3) u óxido férrico. En los altos hornos se trata de carbón para quitarle el oxígeno y liberar el metal de hierro o arrabio de primera fusión. En el proceso de dióxido de carbono (CO_2), también se le añade caliza (CaCO_3 , carbonato de calcio) para liberar las impurezas.

Las propiedades de los aceros son:

➤ Resistencia al desgaste

Es la resistencia que ofrece un material a dejarse erosionar cuando está en contacto de fricción con otro material.

➤ Tenacidad

Es la capacidad que tiene un material de absorber energía sin producir fisuras (resistencia al impacto)

➤ Maquinabilidad

Es la facilidad que posee un material de permitir el proceso de mecanizado por arranque de viruta.

➤ Dureza

Es la resistencia que ofrece un acero para dejarse penetrar. Se mide en unidades Briney (HB) o unidades Rockwell (HR).

3.3 TRATAMIENTOS TÉRMICOS

El tratamiento térmico es la operación de calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas. Con el tratamiento térmico adecuado se puede reducir los esfuerzos internos, tamaño de grano, incrementar tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil.¹⁷

❖ ¹⁷ Manual "Combustion de Hornos", Lic. Ángel Garay, Ing. Graciela López, Ing. Viviana vila, Ed. 2006

El tratamiento térmico en el material es uno de los pasos fundamentales para que pueda alcanzar las propiedades mecánicas para las cuales está creado. La clave consiste en las reacciones que se producen en el material, tanto en los aceros como en las aleaciones no férricas y ocurren durante el proceso de calentamiento y enfriamiento de las piezas, con unas pautas o tiempos establecidos.

La finalidad del tratamiento térmico es la de conferir al metal, propiedades particulares adecuadas a su transformación posterior o empleo, originando modificación en la naturaleza de los constituyentes, sin variar la composición química, modificación estructural de dimensión forma y distribución de los constituyentes, utilizar acciones químicas o físico-químicas para aumentar o reducir el contenido de ciertos elementos en la aleación y conferir propiedades particulares a las capas superficiales de la pieza tratada. El tratamiento térmico es general cuando se aplica a toda la pieza y local cuando solo afecta a una parte de la pieza.

El tratamiento térmico, forma parte de la ciencia de la metalurgia y es el término genérico que se da a todos los actos de calentamiento y enfriamiento utilizados para cambiar propiedades características a los aceros. Solo un buen tratamiento térmico se podrá exigir de una pieza, el rendimiento de acuerdo a la calidad del acero elegido.

Utilizando técnicas adecuadas se puede mejorar en los aceros las propiedades de dureza, maquinabilidad, resistencia a la tracción, al choque, al desgaste, entre otras.

El tratamiento térmico está íntimamente ligado a todas las actividades humanas y la mayoría de los equipos o herramientas que utilizamos día a día, las máquinas que los producen han sido sometidas a un tratamiento térmico, componentes para la industria automotriz, del plástico, del vidrio, de la cerámica, agrícolas, química, aeronáutica y más. Todo funciona mejor y por más tiempo por éstos beneficios.

3.4 CICLO TÉRMICO

El ciclo térmico es el conjunto de variaciones entre límites determinados de temperatura del metal en función del tiempo.

Cada proceso de tratamiento térmico consiste en varios pasos individuales como: calentamiento que es elevar la temperatura de la pieza a tratar, precalentamiento es seguido de un mantenimiento a una o más temperaturas por debajo de la temperatura máxima seleccionada. El objetivo del precalentamiento es reducir las tensiones de fisuras ocasionadas por tensiones térmicas. El mantenimiento es mantener cierta temperatura sobre toda la sección. Y finalmente viene el enfriamiento que es disminuir la temperatura de una pieza, este sucede más rápidamente que aquel que se presenta al aire quieto denominado temple.

La siguiente Figura (45), muestra el ciclo térmico comprendido por varios tratamientos térmicos que son aplicados con temperaturas y tiempos determinados dependiendo de la pieza a tratar.¹⁸

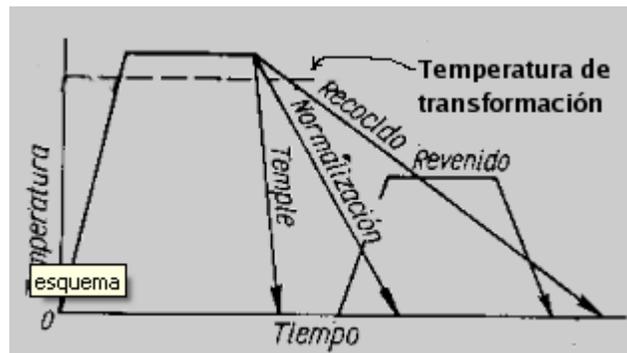


Figura (45): Ciclo térmico

3.5 TEMPLE

Tiene por objeto endurecer y aumentar la resistencia de los aceros. Templar una pieza o herramienta de acero, significa endurecerla totalmente. Una pieza dura es quebradiza, para darle tenacidad suficiente se efectúa después del temple un revenido. El temple y revenido pueden ser aplicados de una manera general a cualquier tipo de acero cuyo tenor supere un 0.30% de carbono.

¹⁸ <http://tecnotic.wordpress.com/2009/11/08/tratamientos-termicos-y-termoquimicos/>

El envejecimiento es un tratamiento térmico a relativa baja temperatura que produce endurecimiento adicional del material tratado en solución.

Los factores que influyen en la práctica del temple son: El tamaño de la pieza cuanto más espesor tenga la pieza más hay que aumentar el ciclo de duración del proceso de calentamiento y de enfriamiento, la composición química del acero en general los elementos de aleación facilitan el temple, el tamaño de grano influye principalmente en la velocidad crítica del temple, tiene mayor templabilidad el de grano grueso, el medio de enfriamiento es el más adecuado para templar un acero que consiga una velocidad de temple ligeramente superior a la crítica utilizando varios medios como aire, aceite, agua , baño de plomo de mercurio y de sales fundidas.

3.6 NORMALIZADO

Es un tratamiento térmico en el cual las aleaciones de acero que dependiendo del % de carbono se calientan sobre un rango crítico, sosteniendo esta temperatura por el tiempo requerido y enfriándola a la temperatura del medio ambiente.

Este tratamiento térmico se realiza calentando el acero a una temperatura superior, después se deja enfriar al aire tranquilo. La velocidad de enfriamiento es más lenta que en el temple y más rápida que en recocido. Con este tratamiento se consigue afinar y homogeneizar la estructura.

A medida que aumenta el diámetro de la barra, el enfriamiento será más lento y por tanto la resistencia y el límite elástico disminuirán y el alargamiento aumentara ligeramente. Esta variación será más acusada cuanto más cerca del núcleo realicemos el ensayo.

3.7 RECOCIDO

Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. También facilita el mecanizado de las piezas al homogeneizar la estructura, afinar el grano y ablandar el material, eliminando las tensiones internas.

Los recocidos no proporcionan generalmente las características más adecuadas para la utilización del acero y casi siempre el material sufre un tratamiento posterior con vistas a obtener las características óptimas del mismo. Cuando esto sucede el recocido también se llama “tratamiento térmico preliminar” y al tratamiento final como “tratamiento térmico de calidad”.

3.8 REVENIDO

Es un tratamiento complementario del temple, que generalmente sigue de éste. Al conjunto de dos tratamientos también se le denomina “bonificado”.

El tratamiento revenido consiste en calentar el acero después de normalizado o templado, a una temperatura inferior a la crítica, seguido de un enfriamiento controlado que puede ser rápido cuando se pretenden resultados altos en tenacidad, o lento para reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar deformaciones.

En conclusión consigue disminuir la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada.

Por consiguiente este tratamiento su fin es mejorar los efectos del temple, llevando al acero a un estado de mínima fragilidad, disminuir las tensiones internas de transformación que se originan en el temple, modificar características mecánicas en la piezas templadas, disminuir la resistencia a la rotura por tracción, el límite elástico y dureza. Aumentar características de ductilidad, alargamiento, estricción y tenacidad.

El acero templado se vuelve frágil, siendo inútil en estas condiciones por eso vamos al revenido. Esta operación viene para que las tensiones generadas en el acero no tengan tiempo de actuar provocando deformaciones o grietas. Este proceso hace más tenaz y menos quebradizo al acero aunque pierde algo de dureza.

CAPÍTULO 4 “CONTROL DE COMBUSTIÓN EN EL HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO”

4.1 COMBUSTIÓN

La combustión es el proceso mediante el cual un combustible orgánico se oxida para generar CO₂ (cuando la combustión es completa), y agua liberándose grandes cantidades de energía. Esta energía es la que es cedida al material a calentar en los hornos de gas, produciendo su calentamiento. Los combustibles utilizados en hornos suelen ser combustibles fósiles o gases generados como subproducto de otros procesos (gas de agua). Los combustibles gaseosos empleados en los quemadores son el gas natural y el propano comercial. La descarburación y recarburación es la disminución o aumento respectivamente del contenido de carbono no deseado, debido a la acción de una temperatura elevada y un medio exterior.

4.2 FLAMA O LLAMA

La forma de la llama depende principalmente del combustible y de la potencia del quemador y resulta determinante tanto para la buena marcha operativa de un horno, como para la consecución de un rendimiento energético óptimo.

Se puede modificar con:

- El grado de turbulencia: A mayor turbulencia llamas más cortas e intensas.
- La velocidad de mezcla: A mayor velocidad, llama más corta.
- El exceso de aire: Tiende a acortar la llama.
- La presión del aire de combustión: Acorta la llama y la hace más tensa.
- El grado de pulverización: en los casos de los combustibles líquidos.
- El grado de atomización: A mayor atomización, llama más corta.

4.3 QUEMADORES

Un quemador está compuesto de dos conductos, por uno llega el aire carburante y del otro el gas combustible, que se mezclan antes de llegar a la cabeza de combustión, Figura (46).¹⁹

Dependiendo del estado del combustible que se vaya a quemar y del tipo de llama que se quiera conseguir tenemos diferentes tipos de quemadores.

La utilización eficiente de los quemadores y equipos de combustión en los hornos industriales debe ser un objetivo prioritario para:

1. Obtener la máxima eficiencia de la combustión.
2. Operar con consumos específicos mínimos.
3. Calentar las cargas en el grado y tiempo adecuados.
4. Mejorar las condiciones de trabajo y ambientales.

Los quemadores con mayor eficiencia en su operación y rendimiento energético empleados en los hornos de tratamiento térmico actuales para obtener mayores resultados y tratamientos térmicos muy especiales son ejemplificados por los siguientes:

- Quemadores de alta velocidad. Aumentan la transferencia de calor por convección a la carga consiguiendo mayor uniformidad de temperatura.
- Quemadores de llama plana. Desarrollan la llama en forma de disco para calentar por radiación desde la bóveda. Reducen los tiempos de calentamiento para laminación del acero en un 20 %-25%.
- Quemadores recuperativos: Llevan incorporado un recuperador para precalentar el aire de combustión a partir del calor de los humos.

¹⁹ Catálogo general de quemadores y reguladores proporcionales, North American

- Quemadores regenerativos: Funcionan por pares que trabajan alternativamente, precalentando bolas de material cerámico en uno de ellos con los humos de la otra.
- Quemadores Oxigas: Utilizan oxígeno puro como comburente

Estos no son los únicos quemadores existentes ya que se tienen una gran variedad, tamaños, velocidades y operaciones, pero se plantean éstos por ser los más empleados.



Figura (46): Quemadores

4.4 COMO CONTROLAR LA PRESIÓN AIRE-GAS

Como primer punto se debe de controlar la presión máxima que se va a tener en las tuberías tanto de aire como de gas, esto se logra con válvulas de esfera y manómetros generalmente glicerina, se tiene un manómetro antes de la válvula y uno después para estar corroborando como varia la presión de aire y de gas. Esta presión estará dada por las características del quemador que este instalado en el horno de tratamiento térmico, cada quemador tiene sus propiedades diferentes, presión alta para tener una flama intensa y presión baja para mantener una pequeña flama en el quemador, en el momento que se prenda verificar que no se tenga acumulación de gases y no encienda en forma de explosión.

Ya teniendo las presiones máximas y mínimas en las tuberías se van encontrar las válvulas mariposa las cuales van a ser movidas por el motor actuador o modutrol, este recibe la señal del controlador de temperatura cuyo sensor es el termopar y está dentro de la cámara del horno, colocados estratégicamente para sensar todas las temperaturas posibles las cuales deben ser homogéneas, nunca se deben de colocar los sensores termopar enfrente de un quemador ya que esto puede originar errores en la toma de temperatura de la cámara.

Cuando la temperatura del horno este por debajo del set-point o temperatura del control, el controlador de temperatura mandara al modutrol mantener abierta la válvula mariposa al máximo para permitir el paso de presión máxima tanto de aire y gas y tener así una flama fuerte que suba rápidamente la temperatura, cuando la temperatura interna del horno sea mayor del set-point el controlador mandara la señal al modutrol para que cierre.

El cierre no será total ya que podría originar que apague totalmente el quemador, se dejara un valor mínimo de presión de aire recomendado por el fabricante para mantener una flama muy pequeña en el bloque de retención del quemador. (bloque de retención: es un cubo cerámico donde se incrusta el quemador y lo une a la cámara del horno de tratamiento térmico, por donde sale directamente la flama del quemador, para evitar que la flama toque las partes metálicas del quemador y lo deteriore rápidamente). Este ejemplo es solo para un control (todo o nada), pero se puede configurar el controlador para tener controles proporcional, proporcional derivativo (en este caso el controlador de temperatura le pedirá al modutrol que vaya abriendo o cerrando las válvulas mariposa con una diferencial de tiempo respecto a la temperatura), proporcional integral (es la variación integral de un periodo cerrado de tiempo respecto a la temperatura), proporcional derivativo integral (combinación de ambas y es el mejor control que se tiene ya sea en el tiempo entre pequeños limites que uno determina).

En este mismo punto, se colocaran electroválvulas de seguridad para el paso de gas, estas están colocadas para el suceso, cuando hay un corte de energía, cierran inmediatamente el flujo de gas y no se acumulen dentro de la cámara del horno, de igual manera habrá otra válvula que recibirá la señal directa del controlador, pero en el punto de exceso de temperatura de set-point, cuando se llegue a este punto, actuará esta válvula cortando el suministro de gas.

Exceso del set-point es una temperatura de seguridad que si se logra alcanzar por alguna causa, debe de mandar cortar el suministro del gas y así apagar el horno, este será un controlador totalmente independiente en el cual se programa el set-point. Estos son dos sistemas redundantes.

4.5 IMPORTANCIA DEL REGULADOR PROPORCIONAL

Dependiendo de la presión de aire que este fluyendo por la tubería después de la válvula mariposa sensara este valor y mandará abrir la proporción similar en la tubería de gas, para que la relación aire gas que llegue al quemador sea la adecuada y nos proporcione una combustión correcta, esto se logra conectando un tubo de un diámetro inferior a la de la tubería principal de la línea de aire al regulador proporcional que estará colocado en la tubería principal de gas y dependiendo de la presión de aire recibida, los diafragmas internos que serán abiertos para permitir el paso de gas.

Está constituido de esta manera debido a que el movimiento de la válvula mariposa no es instantáneo por lo que la presión de aire ira incrementándose lentamente y si no se tuviera este regulador proporcional por las dimensiones de las tuberías, la cantidad de gas seria mucho mayor que la de aire originando explosiones en el horno de tratamiento térmico. En resumen la finalidad del regulador proporcional es que cuando la flama va creciendo en el quemador la inyección de aire gas sea la proporción correcta para tener una combustión adecuada.

4.6 IMPORTANCIA DE LAS VÁLVULAS

Válvulas mariposa manual o de esfera, serán colocadas justo antes de la llegada del quemador con manómetros antes y después de ellas para dar un último ajuste fino de la entrada de aire al mismo y poder regular en estas la proporción exacta de aire que se requiere en dicho quemador. De igual manera es recomendable tener un manómetro y una válvula de esfera justo antes al dispositivo para estar verificando las presiones exactas de gas que llegan al quemador.²⁰

²⁰Manual "Combustion de Hornos", Lic. Ángel Garay, Ing. Graciela López, Ing. Viviana vila, Ed. 2006

Las válvulas de orificio serán colocadas antes del quemador para proporcionar la velocidad y flujo adecuado que requiere el mismo, la placa y el diámetro de orificio serán cambiados de acuerdo a los requerimientos del quemador y del usuario, esta placa de orificio le proporciona mayor velocidad al gas ya que limita el diámetro interior de la tubería en el valor que se desea, por ejemplo si se limita al 50% el diámetro de tubería la velocidad del gas será mucho mayor pero el flujo se mantendrá.

4.7 RELACIÓN PILOTO-QUEMADOR-BUJÍAS

Los pilotos que tendrán cada quemador serán encendidos por bujías que reciben una chispa eléctrica de los transformadores de ignición, que generalmente son de 127 V primario y de 15 a 25, 000 V secundario. El arco eléctrico que tendrá la bujía, originará la chispa necesaria para prender la relación aire gas que se tendrá en el piloto, la detección de que el piloto fue encendido está determinada por los sensores infrarrojos o varillas detectoras, siendo estas las que manden una señal al módulo de seguridad el cual si percibe que el piloto ha sido encendido mandará la señal a una electroválvula colocada en el tren de gas que permita el flujo de gas necesario para encender el quemador a su máxima capacidad.

Las líneas de gas y aire que alimentan a los pilotos son sacadas de ramificaciones independientes al tren de combustión general del quemador en los cuales podemos encontrar maxitroles (regulador de la mezcla aire-gas para el piloto) electroválvula de seguridad (para encendido del piloto) y válvulas manuales tanto de esfera como mariposa (para regular la mezcla adecuada en forma manual).

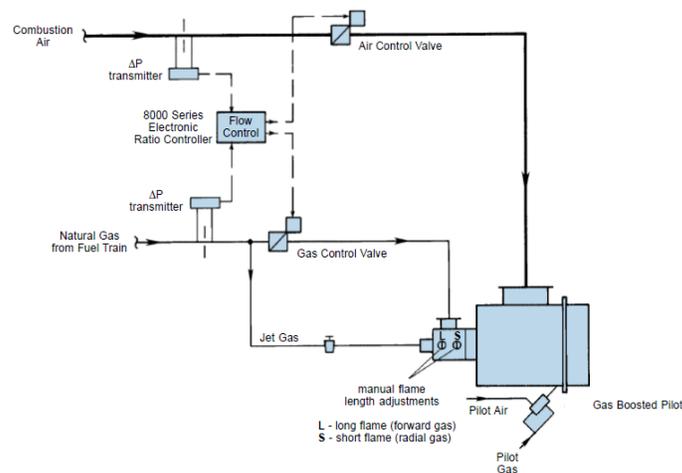


Figura (47): Diagrama de mezcla aire-gas para piloto tratamiento continuo

CONCLUSIONES

Lo más esencial de ésta investigación, es dar a conocer que es un horno de tratamiento térmico cuyo combustible es el gas, sus usos, aplicaciones y las partes que lo integran, así como realizar la mezcla correcta aire gas para obtener una buena combustión.

Está enfocado a todas aquellas personas que carezcan de conocimientos básicos de éstos equipos o máquinas ya que son utilizados ampliamente en la industria. Es una guía general para entender la operación de cualquier tipo de horno de tratamiento térmico a gas, tomando en cuenta las características propias de sus equipos de control, poder calorífico dimensiones, construcción y algunas más.

El horno de tratamiento térmico está constituido por diferentes partes mecánicas, neumáticas, eléctricas, entre otras, de las cuales se da referencia general de su operación y uso. Además se indica su función dentro del horno y su aplicación.

Actualmente para darle las propiedades mecánicas a los metales, durante los diferentes procesos de producción, es necesario hacerlo en hornos de tratamiento térmico, ésta monografía, se enfoca a los que emplean gas. De igual manera un punto crítico, es la operación segura y correcta de éste tipo de máquinas, ya que el control o monitoreo puede originar una acumulación de gas, lo que genera explosiones, ocasionando graves daños a la infraestructura y al personal operario que esté cerca de dicho equipo. Es de importancia mencionar que la fuerza explosiva de un centímetro cúbico de gases es similar a un cartucho de TNT lo que da una idea de la magnitud de una explosión con gas acumulado.

Las cámaras de combustión se encuentran en diferentes tamaños, desde muy pequeñas como son en hornos fijos, medianas en hornos de carro o grandes en hornos continuos, por consiguiente, se debe tomar en cuenta la seguridad como punto fundamental en operación, diseño y mantenimiento, considerando una capacitación previa en la operación de los hornos.

Se explica en forma más amplia los equipos fundamentales del registro, control y operación de la temperatura, los cuales son: registrador, control de temperatura y reguladores proporcionales.

Se hace mención de diferentes tipos de tratamientos térmicos que se les da a los metales, únicamente como referencia de los trabajos que se pueden realizar en los hornos de tratamientos térmicos, no siendo la finalidad del presente trabajo explicar o dar a conocer detalle de cada uno de ellos, debido a que es un tema diferente y no es la fin de este trabajo explicar.

Finalmente la información para realizar esta monografía fue tomada de proveedores directos de equipos y materiales, así como de hornos de tratamiento térmico y catálogos generales de productos, se obtuvo de experiencia de quienes han trabajado en ello y diseñadores del mismo.

En la actualidad la información disponible es muy escasa y no está al alcance tan fácilmente. Esperando que esta investigación sea de utilidad para todas aquellas personas que tengan el requerimiento de trabajar con estos equipos y contribuya como guía para el conocimiento y operación básico de los hornos de tratamiento térmico a gas.

GLOSARIO

Set-point: Punto de control de temperatura o temperatura a la que se requiere estandarizar el horno.

Cámara de combustión: Área interna del horno que debe de alcanzar la misma temperatura en todo su volumen.

Electroválvula: Válvula accionada por una señal eléctrica que llega a una bobina y genera un campo eléctrico.

Maxitrol: Regulador proporcional de aire-gas para pilotos.

Transformador de ignición: Transformador que eleva el voltaje de 115 a 25,000 o 15,000 volts con una baja corriente.

Regulador proporcional: Mediante diafragmas regula el gas que tiene de entrada para mezclarlo con la parte proporcional requerida y obtener una salida mezclada en forma proporcional.

Modutrol: Motor actuador a pasos mediante señal eléctrica.

Pyroblock: Fibra de vidrio cerámica refractaria.

Termopar: Sensor de temperatura formado por dos elementos, uno conductor y otro resistivo, que al contacto con el calor genera una diferencial de potencial.

Mirilla: Vidrio tratado térmicamente que resiste altas temperaturas y esfuerzos mecánicos que permite observar dentro del quemador.

Censar: Tomar lecturas de algún parámetro requerido.

Sensor: Equipo que permite tomar lecturas de algún parámetro.

Manómetro: Instrumento de medición de presiones.

Turbosoplador: Motor eléctrico acoplado ventilador para generar un flujo y presión de aire.

Tenacidad: Capacidad que tienen los metales para recibir golpes y no fracturarse.

Estricción: Capacidad que tienen los metales para contraerse en cambios de temperatura.

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Catálogo general
Ed. Grupo termoindustrial E C A
- ❖ Catálogo general de aislamientos térmicos
Ed. Mutec
- ❖ Catálogo general de equipos para hornos de tratamiento térmico
Ed. Fisher
- ❖ Catálogo general de válvulas
Ed. Eclipse
- ❖ Catálogo general de equipos de control de automatización
Ed. Honeywell
- ❖ Catálogo general de quemadores y reguladores proporcionales
North American
- ❖ North American
Combustion handbook, vol. 1 y 2
- Motores Modutrol
E.U. Serie 90, Ed. 2002 Honeywell
Ed. North American
- Manual “Control de temperatura”
Ing. Roberto gibbons, Ed. 2007
- ❖ Manual “Combustion de Hornos”
Lic. Ángel Garay, Ing. Graciela López, Ing. Viviana vila, Ed. 2006

- ❖ Manual “Control valve handbook”
E.U. Emerson, 4ta. Edición
- ❖ Centro de asesorías metalúrgicas, S.A.
Tratamientos térmicos de aceros,
Dr. Enrique Martinez, Ing. Claudio Ovando Sanchez, Francisco Herrera
- ❖ Thelwing, H.B. Bofors Handbook
Steel and its Heat Treatment, Butterworth, 1ª Ed. Ingles, 1975

CYBERGRAFÍA

- <http://www.venemet.com/tratamientos.html>
- <http://tecnotic.wordpress.com/2009/11/08/tratamientos-termicos-y-termoquimicos/>
- <http://www.secowarwick.com/spanish/vacuumspanish.html>
- <http://www.arqhys.com/tuberias-valvulas.html>
- <http://www.valvias.com/tipo-valvula-de-globo.php>
- http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1_VI.html
- http://www.solomantenimiento.com/m_termicos-acero.htm
- http://www.tecnologiaindustrial.info/index.php?main_page=document_general_info&products_id=401
- <http://www.manometro.com/tipos de manómetros.htm>
- <http://www.emison.com/220.htm>
- <http://ipimx.com/pyroblock.html>
- http://www.asconumatics.nl/images/site/upload/_es/tipo_regulador.pdf
- http://www.lesman.com/unleashd/catalog/actuators/accessor_modutrol.html
- <http://www.directindustry.es/prod/eclipse/quemador-de-alta-velocidad-21978-453069.html>

ANEXOS

A continuación se ilustran algunas figuras de diferentes tipos de hornos de tratamientos térmicos.



Figura (48): Horno de tratamiento continuo

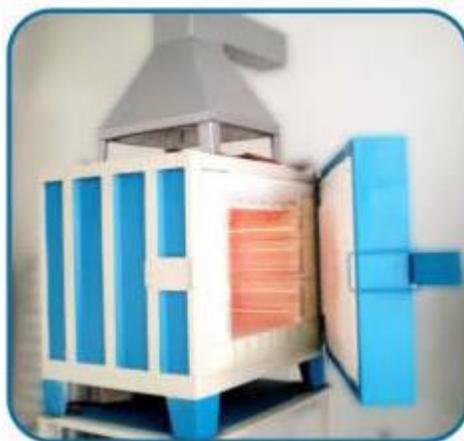


Figura (49): Horno de tratamiento térmico



Figura (50): Horno de tratamiento térmico de carro



Figura (51): Horno de tratamiento térmico de carro