

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“CONVERSIONES INDUSTRIALES A GAS
NATURAL, MARCO LEGAL, TECNICA Y
EXPERIENCIA EN INDUSTRIAS PERUANAS”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECANICO

VICTOR DANIEL GAMIO BRICEÑO

PROMOCION 2003-II

LIMA-PERU

2007

ÍNDICE

Prologo	01
Introducción	
Capitulo 1	
1.1 Historia del Gas Natural como combustible	04
1.2 El gas natural en el Peru	06
Capitulo 2	
2. Combustión industrial con Gas Natural	10
2.1 Propiedades de los Combustibles:	12
2.1.1 Temperatura de Ignición:	12
2.1.2 Temperatura de Inflamación:	13
2.1.3 Rango de Inflamabilidad:	13
2.1.4 Densidad Relativa:	13
2.1.5 Poder Calorífico:	14
2.1.5.1 Poder Calorífico Superior:	15
2.1.5.2 Poder Calorífico Inferior:	15
2.1.6 Índice de Wobbe:	16

2.2 Tipos de Combustión	17
2.2.1 Combustión perfecta o estequiométrica:	18
2.2.2 Combustión completa con exceso de aire:	18
2.2.3 Combustión incompleta con defecto de aire:	18
2.2.4 Combustión imperfecta o pseudo combustión:	19
2.3 Composición y Características del Gas Natural de Camisea:	20
2.4 Combustión del Gas Natural	21
2.4.1 CALOR DISPONIBLE Y EFICIENCIA DEL PROCESO	22
2.4.2 CONCENTRACIONES DE LOS PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN	26
2.5 Ecuación Práctica en Sistema Imperial:	30

Capítulo 3

3. INSTALACIONES INTERNAS INDUSTRIALES DE GAS NATURAL	31
3.1. Estación de Regulación Primaria y Medición Primaria.	31
3.1.1 Componentes de una ERPMP	33
3.1.1.1 Filtros:	33
3.1.1.2 Reguladores de Presión:	34
3.1.1.2.1 Tipos de Reguladores	39
a. Regulador de Pesos:	40
b. Regulador de muelle	41
c. Reguladores Pilotados	44
De carga pilotada y descarga constante	44
De carga pilotada y descarga variable	45
3.1.1.2.2 Selección de Reguladores	47
3.1.1.3 Válvula de interceptación de seguridad:	50
3.1.1.4 Válvula de seguridad por alivio	52
3.1.1.5 Medidores de Caudal	53
3.1.1.5.1 Tipos de Medidores	54

a. Tipo Volumétrico – Pistones Rotativos	55
b. Tipo No Volumétrico – Turbinas	56
3.1.1.6 Correctores de Volumen por Presión y Temperatura.	58
3.1.1.7 Válvulas	60
a. Válvulas Esféricas	60
b. Válvulas Mariposa	62
3.1.2 Tipos de Estaciones de Regulación y Medición:	63
3.1.2.1 Estación de Medición y Regulación de Simple Ramal	63
3.1.2.2 Estación de Medición y Regulación de Doble Ramal	65
3.1.2.3 Estación de Medición sin regulación.	67
3.2 Red Interna de tuberías.	68
3.3 Estaciones de Regulación Secundarias	71
3.31 Filtros:	71
3.3.2 Válvula de Alivio por sobrepresión:	72

Capítulo 4

4. QUEMADORES A GAS NATURAL	73
4.1 Características de un Quemador:	73
4.1.1 Tumdown:	73
4.1.2 Estabilidad:	74
4.1.3 Forma de Llama:	74
4.2 Tipos de quemadores.	75
4.2.1 Mecanismos de Mezcla Aire Gas	76
4.2.1.1 La energía cinética contenida en la presión del gas produce la mezcla.	77
4.2.1.2 La energía cinética contenida en la presión del aire produce la mezcla.	82
4.2.1.3 La combinación de la presión del gas y del aire son usados para producir la mezcla	86
4.2.2 Quemadores conectados a sistemas de Pre-mezcla	81

4.2.3	El gas y el Aire se mezclan justo en la cabeza del quemador.	
4.2.3.1	Quemadores para aplicaciones de hornos y fundiciones.	92
4.2.3.2	Quemadores Nozzle Mix para Calentamiento de Aire	100
4.2.4	Quemadores tipo Paquete:	104
4.2.5	Trenes de Válvulas de seguridad	105
4.2.5.1	Presostatos de Alta y Baja:	
4.2.5.2	Válvulas Solenoides o Shut Off:	109
4.2.6	Control de Flujo de Gas:	114
4.2.6.1	Control Usando Proporcionadores Fijos:	
4.2.6.2	Control Usando Proporcionadores variables:	115
4.2.6.3	Control Usando Proporcionadores interconectados:	115
4.2.6.4	Control Usando Proporcionadores interconectados con válvula de sangrado:	116
4.2.6.5	Control Usando controladores electrónicos:	116

Capitulo 5

5.	EL PROYECTO DE CONVERSIÓN A GAS NATURAL	117
5.1	Gestión de la Planificación.	120
5.1.1	Desarrollo de la Ingeniería de Detalle.	121
5.1.2	Colocación de Órdenes de Compra	125
5.1.3	Aprobación del Proyecto de Instalación de Gas Natural por la Distribuidora.	127
5.2	Gestión de la Ejecución	127
5.3	Gestión del Cierre	130

	Conclusiones y Recomendaciones	134
--	--------------------------------	-----

	Bibliografía	137
--	--------------	-----

Dedicatoria:

Este trabajo lo dedico a mis padres Víctor y María por el apoyo incondicional que me dieron y me dan para lograr mis objetivos, todo mi esfuerzo, dedicación y ganas de ser mejor día a día es por ellos y para ellos.

PROLOGO

El primer capítulo trata la historia del uso industrial del gas natural y su formación en los reservorios así como la historia del proyecto CAMISEA con datos actualizados.

En el segundo capítulo se expone en forma ordenada los conceptos teóricos de la combustión industrial con Gas Natural, los tipos de combustión y sus características principales.

El tercer capítulo toca el tema de las instalaciones internas industriales de gas natural abarcando desde la estación de regulación y medición, los parámetros de diseño, cálculo y selección de equipos aplicados, el circuito interno de tuberías, los equipos y elementos utilizados en esta, hasta los puntos de bloqueo general para cada aplicación;

El cuarto capítulo toca el tema de los quemadores de gas natural los tipos de quemadores que existen, estudiaremos en forma detalla los quemadores de premezcla , y mas aun los quemadores de mezcla en tobera por ser lo mas utilizado en la industria, expondremos las distintas formas de conseguir la mezcla combustible, los componentes principales de un tren de válvulas de seguridad, exponiendo ejemplo concretos de las distintas marcas existentes en el mercado, y los modo de control de la mezcla aire combustible para quemadores tipo nozzle mix

En el siguiente capítulo, se mostrara en forma práctica la metodología para la elaboración de un proyecto de conversión industrial a Gas Natural, basándonos en el reglamento vigente ,destacado en cada punto la forma como se deben llevar los proyectos de conversión de

forma eficiente y eficaz. Desarrollando para esto los formatos necesarios de control y seguimiento de un proyecto de conversión.

Finalmente, se expondrán las observaciones y conclusiones del trabajo desarrollado, aportando recomendaciones para el desarrollo y evolución de la norma técnica peruana y los reglamentos que pueden hacer de este mercado uno más seguro y estricto a favor de las industrias y las personas.

Tengo que agradecer el apoyo que para este trabajo he tenido de la empresa a la que pertenezco, Tractebel Industrial Services Perú (TIS PERU), y su empresa hermana Gas Natural de Lima y Callao S.A. (Calidda), ambas parte del Grupo SUEZ ENERGY INTERNACIONAL, grupo líder a nivel mundial en Gas Natural y Energía, por la facilidad y la información que me han proporcionado, y la experiencia que me han transmitido desde febrero del 2005 en que ingrese a formar parte de esta empresa.

INTRODUCCION

El uso del Gas Natural en el Perú, como una alternativa para procesos industriales, tiene su inicio a mediados del año 2004 con la conexión del primer cliente industrial en Lima, desde este hito trascendental para la industria nacional, el mercado del Gas Natural a crecido bastante en estos dos últimos años, trayendo consigo desarrollo y nuevas tecnologías a las industrias que han optado por la conversión de sus procesos a esta nueva fuente de energía, pero además ha creado la necesidad de fomentar una nueva cultura energética en la sociedad peruana, basada en el conocimiento técnico, la experiencia extranjera y la idiosincrasia de la industria peruana, en todos los niveles, desde los altos directivos hasta los operadores, envolviendo en esto a las universidades y centros de formación técnica.

El propósito de este informe es mostrar de forma clara y ordenada los conceptos fundamentales para el desarrollo seguro y eficiente de la industria del Gas Natural en el Perú, en base al marco legal existente en el Perú, apoyado en las normas y estándares internacionales que reglamentan el uso del Gas Natural en el mundo, aplicando los conceptos fundamentales de ingeniería necesarios, mostrando el estado del arte en una industria que día a día se desarrolla en busca de aumentar la eficiencia de los procesos de combustión y los que tenemos acceso gracias al mundo globalizado en que nos encontramos.

CAPÍTULO 1

HISTORIA DEL GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE

La mayor parte del gas natural se ha formado a partir del plancton, pequeños organismos acuáticos, incluyendo algas y protozoos acumulado en el lecho oceánico. Esos organismos fueron enterrados y comprimidos lentamente bajo capas de sedimentos. A lo largo de millones de años, la presión y el calor generados por los sedimentos acumulados convirtieron ese material orgánico en gas natural. El gas natural se compone principalmente de metano y otros hidrocarburos ligeros, el gas natural suele emigrar con el petróleo a través de los poros y fracturas de la roca almacén y se acumula en depósitos subterráneo. Debido a su densidad menor que la del petróleo se sitúa por encima de este, el gas natural también se puede formar en depósitos de carbón, donde a menudo se encuentra disperso en los poros y fracturas del lecho de carbón.

El descubrimiento del gas natural data de la antigüedad en el Medio Oriente. Hace miles de años, se pudo comprobar que existían fugas de gas natural que prendían fuego cuando se encendían, dando lugar a las llamadas "fuentes ardientes". En Persia, Grecia o la India, se levantaron templos para prácticas religiosas alrededor de estas "llamas eternas". Sin embargo, estas civilizaciones no reconocieron inmediatamente la importancia de su descubrimiento. Fue en China, alrededor del año 900 antes de nuestra era, donde se comprendió la importancia de este producto. Los chinos perforaron el primer pozo de gas natural que se conoce en el año 211 antes de nuestra era.

En Europa no se conoció el gas natural hasta que fue descubierto en Gran Bretaña en 1659, aunque no se empezó a comercializar hasta 1790. En 1821, los habitantes de Fredonia (Estados Unidos) observaron burbujas de gas que remontaban hasta la superficie en un arroyo. William Hart, considerado como el "Padre del gas natural", excavó el primer pozo norteamericano de gas natural.

Durante el siglo XIX el gas natural fue casi exclusivamente utilizado como fuente de luz. Su consumo permaneció muy localizado por la falta de infraestructuras de transporte que dificultaban el traslado de grandes cantidades de gas natural a grandes distancias. En 1890, se produjo un importante cambio con la invención de las juntas a prueba de fugas en los gasoductos. No obstante, las técnicas existentes no permitieron transportar el gas natural a más de 160 kilómetros de distancia por lo que el producto se quemaba o se dejaba en el mismo lugar. El transporte del gas natural a grandes distancias se generalizó en el transcurso de los años veinte, gracias a las mejoras tecnológicas aportadas a los gasoductos. Después de la segunda guerra mundial, el uso del gas natural creció rápidamente como consecuencia del desarrollo de las redes de gasoductos y de los sistemas de almacenamiento.

En los primeros tiempos de la exploración del petróleo, el gas natural era frecuentemente considerado como un subproducto sin interés que impedía el trabajo de los obreros forzados a parar de trabajar para dejar escapar el gas natural descubierto en el momento de la perforación. Hoy en día, en particular a partir de las crisis petroleras de los años 70, el gas natural se ha convertido en una importante fuente de energía en el mundo.

Durante muchos años, la industria del gas natural estuvo fuertemente regulada debido a que era considerada como un monopolio de Estado. En el transcurso de los últimos 30 años, se ha producido un movimiento hacia una mayor liberalización de los mercados del gas natural y una fuerte desregulación de los precios de este producto. Esta tendencia tuvo como consecuencia la apertura del mercado a una mayor competencia y la aparición de una industria de gas natural mucho más dinámica e innovadora. Además, gracias a numerosos avances tecnológicos se facilitó el descubrimiento, la extracción y el transporte de gas natural hasta los consumidores. Estas innovaciones permitieron también mejorar las

aplicaciones existentes así como creas nuevas aplicaciones. El gas natural es cada vez más utilizado para la producción de electricidad.

1.2 EL GAS NATURAL EN EL PERÚ

La historia de Camisea se inicia hace 24 años, en julio de 1980 el gobierno del Perú y la empresa anglo-holandesa Shell suscribieron el contrato de operaciones petrolíferas por los Lotes 38 y 42. El área de exploración abarcaba un extenso territorio. Sobre uno de los lotes adjudicados, emplazado al sur de cuenca Ucayali, los técnicos e ingenieros de la compañía instalaron 3mil kilómetros de las líneas sísmicas y perforaron cinco pozos exploratorios. Buscaban petróleo en una zona inaccesible de 2 millones de hectáreas. Pero lo que encontraron fueron dos enormes yacimientos de gas natural no asociado¹: San Martín y Cashiriari, así fueron bautizados los prometedores reservorios.

El campo San Martín fue descubierto en 1984 con la perforación del pozo San Martín 1, el Pozo Cashiriari 1 fue descubierto en el campo Cashiriari en el año 1986.

Los yacimientos se encuentran en la selva tropical del Bajo Urubamba y forman parte del distrito de Echarate, ubicado en la provincia cuzqueña de La Convención, a unos 500 kilómetros al este de la ciudad de Lima.

Durante una segunda campaña exploratoria realizada por el consorcio Shell/Mobil entre 1996 y 1998, se perforaron tres pozos de evaluación y se realizaron los estudios necesarios para desarrollar el proyecto de explotación y comercialización del Gas de Camisea.

Los reservorios del área de Camisea son del tipo Gas-Condensado Retrogrado, soportados por impulsión de agua de cuyo acuífero no se conoce la extensión. Adicionalmente los reservorios presentan comportamiento de doble porosidad debido a la presencia de fracturas naturales.

El potencial del Bloque 88, que es el nombre que se le da de forma conjunta a los yacimientos San Martín y Cashiriari, está estimado en 11 trillones de pies cúbicos (TPC) de gas natural (el volumen de gas "in situ" probado + probable.) El estimado de recuperación

¹_ Gas natural que es producido en yacimientos donde no se encuentra conjuntamente con petróleo

final considerando los volúmenes probados + probables es de 8.24 TPC de gas y 482 millones de barriles de líquidos de gas natural. Las reservas de Camisea son diez veces más grandes que cualquier otra reserva de gas natural en el Perú.

Teniendo en cuenta que la ejecución del mencionado proyecto requería de la construcción de una amplia infraestructura productiva y de comercialización, durante mayo de 1999 y diciembre de 2000, la Comisión de Promoción de la Inversión Privada, COPRI, a través del Comité Especial del Proyecto Camisea, CECAM, llevo a cabo el diseño, convocatoria y ejecución de dos Concursos Públicos Internacionales para el desarrollo de este proyecto.

El esquema diseñado comprendió dos módulos que fueron ofrecidos en la modalidad de Proyectos Integrales lo cual significaba la fijación de los parámetros y objetivos a cumplir , dejándose en manos de los inversionistas la decisión y flexibilidad para elegir los detalles técnicos del diseño, construcción y operación, dentro del cumplimiento de las normas vigentes en el país. Así el primer modulo del proyecto fue el de la Explotación de los yacimientos de gas de Camisea; el segundo el de Transporte hasta la costa (incluido los líquidos) además de la distribución del gas en Lima y Callao.

Es así que el Gobierno peruano, mediante una licitación publica internacional en diciembre del 2000, adjudica la licencia para la explotación de los hidrocarburos de Camisea a las empresa Pluspetrol Perú Corporation S.A. con la participación de Hunt Oil Company of Perú L.L.C, SK Corporation y Tecpetrol del Perú S.A.C (100% propiedad del grupo Techint). La licencia fue adjudicada en base a la oferta más alta de regalías presentadas por los postores. La licencia para explotación tiene una duración de 40 años.

En cuánto a las concesiones para el transporte de líquidos y gas natural a la costa y la posterior distribución del gas natural en Lima y Callao, obtuvieron la adjudicación la empresa Tecgas N.V (de integra propiedad de Techint), con la participación de Pluspetrol Resources Corporation, Hunt Oil company, SK Corporation, Sonatrach Petróleo Corporation B.V.I. y GyM.

El 2 de mayo de 2002, se firmó el convenio de Cesión por el cual Transportadora de Gas de Perú (TGP), con autorización del Estado y conforme a lo establecido inicialmente en su contrato de Concesión, cedió a Gas Natural de Lima y Callao, GNLC (hoy Calidda), la

concesión de la distribución del gas natural. Para que esto fuera posible, GNLC debió previamente cumplir con las exigencias del estado con respecto a las calificaciones requeridas.

Ese mismo mes GNLC, firmó contrato "Llave en Mano" con las empresas Techint Compañía Técnica Internacional, Techint Internacional Corporation y GyM responsables del diseño, suministro y construcción, respectivamente, del gasoducto troncal que va desde el City Gate, en Lurín hasta Ventanilla en el Callao.

En julio de 2002, la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas, aprobó a favor de Gas Natural de Lima y Callao el estudio de Impacto Ambiental de la Distribución de Gas Natural en Lima y Callao presentado en diciembre de 2001 por Transportadora de Gas del Perú, y para el cual se llevaron a cabo audiencias públicas con una participación importante de la ciudadanía.

El trazo final del gasoducto troncal, cuya construcción estuvo a cargo de la empresa GyM, atraviesa los distritos de Lurín, Pachacamac, Villa El Salvador, Villa María del Triunfo, San Juan de Miraflores, Santiago de Surco, Santa Anita, El Agustino, San Juan de Lurigancho, Cercado de Lima, San Martín de Porres, Carmen de la Legua Reynoso, Ventanilla y el Callao.

El ducto principal tiene una longitud aproximada de algo más de 60 kilómetros y está construido por tuberías de acero de 20 pulgadas de diámetro, fabricadas en Argentina. Posteriormente, sus ramales atenderían a las áreas industriales de las avenidas Argentina y Universitaria, San Juan de Lurigancho, Lurín, Callao y Ventanilla.

El caudal de diseño de este gasoducto supera los siete millones de metros cúbicos por día, lo que doblaría la capacidad máxima de consumo de los hogares de Lima y Callao, estimado en aproximadamente dos millones.

Los estándares de la obra se basan en la normativa internacional ANSI/ASME B31.8 "Gas Transmission and Distribution Piping Systems" así como en especificaciones propias de SUEZ Energy Internacional llamadas GTS, requerimientos adicionales del Reglamento de Distribución de Gas Natural por Red de Ductos, entre otras disposiciones que certifican y avalan la responsabilidad de Calidda.

Además el gasoducto fue construido bajo la fiscalización permanecen de la gerencia de Fiscalización de Hidrocarburos del Osinerg y por el Ministerio de Energía y Minas, mediante la Dirección General de Hidrocarburos y la Dirección General de Asuntos Ambientales, sin dejar de mencionar la celosa supervisión de los municipios y demás instituciones del Estado que tomaron parte activa en este proyecto.

CAPÍTULO 2

COMBUSTIÓN INDUSTRIAL CON GAS NATURAL

El hombre aprendió a mantener el fuego durante el paleolítico posiblemente 600 000 años atrás, pero no era capaz de iniciarlo, por lo que se dependía de fuentes naturales de encendido como ser rayos, volcanes y combustión espontánea, le tomo a la humanidad más de 500 000 años descubrir como encender un fuego a voluntad lo que realizaba por fricción o percusión.

La combustión ha jugado un papel relevante en el desarrollo tecnológico de la humanidad, por ejemplo en la alfarería, metalúrgica, generación de potencia y en procesos químicos. Sin embargo, durante muchos años la naturaleza del fuego no fue comprendida. Inicialmente se le atribuyo características divinas o sobrenaturales, posteriormente motivó fuertemente a estudiosos y científicos.

Debe tenerse en cuenta que la combustión tiene lugar siempre por emisión de gases inflamables, por lo tanto para obtener la combustión de madera, carbón, petróleo pesado etc., es necesario que el combustible alcance una temperatura suficiente para emitir esos vapores (gases) inflamables.

Por supuesto esta condición no es necesaria para los combustibles que ya se encuentran en estado gaseoso como es el caso del gas natural, y ésta es una de sus grandes ventajas.

Como la combustión tradicional es un fenómeno químico de oxidación del combustible, es indispensable introducir en el hogar, además del combustible, por lo menos la cantidad de oxígeno (comburente) necesaria para que la combustión tenga lugar de manera completa.

La cantidad de oxígeno se consigue introduciendo en el hogar el aire normal del ambiente, en cantidad adecuada, mediante un proceso mecánico (ventilador) o por inducción.

El aire tiene un porcentaje de oxígeno (O₂), en volumen, del 20,9%; el otro 79,1% está formado prácticamente de nitrógeno (N₂), por lo tanto, para poder tener en el hogar la cantidad de oxígeno necesaria, es inevitable introducir también una considerable cantidad de nitrógeno que no participa en la combustión.

Los combustibles hidrocarburos más comunes son el gasoil, fuel oil, metano, propano, butano y están compuestos principalmente por carbono (C) y por hidrógeno (H.).

El contenido por ciento de C y de H es distinto en cada combustible.

La combustión (reacción química de oxidación) tiene lugar según las siguientes fórmulas:



Digamos que el carbono C contenido en el combustible quema combinándose con el oxígeno O₂ del aire transformándose en anhídrido carbónico CO₂ y desarrollando calor. El anhídrido carbónico es un gas incoloro e inodoro y no es tóxico.



Observemos que dos moléculas de hidrógeno 2H₂ se combinan con el oxígeno O₂ del aire transformándose en dos moléculas de agua 2H₂O y desarrollando calor.

En función de la elevada temperatura, el agua que se forma en la combustión está en estado de vapor, por lo tanto incolora e inodora

Los combustibles están formados principalmente por carbono e hidrógeno y el porcentaje de estos dos componentes se puede considerar más o menos constante para un combustible.

Si la combustión es completa (aire de combustión en cantidad suficiente y correctamente mezclado con el combustible) todo el carbono (C) se transforma en anhídrido carbónico (CO₂) y todo el hidrógeno (H) se transforma en agua (H₂O) en estado de vapor.

Según lo que hemos visto es evidente que la cantidad de anhídrido carbónico y de agua (en estado de vapor) que se forman en la combustión conforman una cantidad constante para un determinado combustible que tomemos en consideración.

De todas formas, los conceptos anteriores sólo se cumplen en forma teórica, ya que como en todo proceso real no puede nunca igualarse el rendimiento ideal. En este caso se debe, entre otras razones, a que es imposible lograr un contacto total entre combustible y comburente. Aquí radica la importancia del diseño de un quemador, donde de acuerdo a su aplicación y elección debe cumplir con esta misión con eficiencia óptima.

Cuando la combustión no es completa, es decir, no alcanza el oxígeno para combinarse con el combustible, comienza a aparecer monóxido de carbono (CO) en lugar de dióxido (CO₂). Este gas, a diferencia del CO₂, es tóxico e indeseable.

Debido a que los combustibles sólidos y líquidos deben alcanzar el estado gaseoso para combinarse con el aire, existen mayores dificultades que en los combustibles gaseosos, para lograr una combustión completa.

Generalmente se opera con un cierto porcentaje de exceso de aire para evitar o disminuir todos estos problemas.

2.1 Propiedades de los Combustibles:

Podemos identificar las principales características de los combustibles:

2.1.1 Temperatura de Ignición: Es la temperatura mínima a la que debe ser calentado un material en el aire para que se pueda iniciar y mantener una combustión independiente de la fuente de calor. Este parámetro también se conoce como temperatura de auto ignición o autoencendido.

Tabla 1.- Temperatura de Ignición de diversos Combustibles

Combustible	Temperatura de Ignición
Sólido papel	230 °C
Alcohol Liquido	365 °C
Gasolina	456 °C
Petróleo Industrial N° 5	407 °C
Gas Licuado de Petróleo	405 °C
Gas Natural	700 °C

2.1.2 Temperatura de Flash Point: Temperatura mínima a la cual el material se gasifica, es decir comienza a emitir vapores que pueden inflamarse ante una fuente de calor, este parámetro presenta especial importancia en combustibles líquidos

Tabla 2.- Temperatura de inflamación de diversos Combustibles

Combustible	Temperatura de Inflamación
Alcohol	13 °C
Gasolina	38 °C
Petróleo Diesel	50 °C
Petróleo Industrial N° 5	52 °C

2.1.3 Rango de Inflamabilidad: En el caso de los gases combustibles, además de la temperatura de ignición, deben considerarse los límites de inflamabilidad, es decir, en que proporción se encuentra mezclado el gas combustible con el oxígeno del ambiente, para que pueda inflamarse. Esta proporción se determina por una cantidad mínima, llamada límite inferior, y una cantidad máxima, llamada límite superior de inflamabilidad.

Tabla 3.- Límite de inflamabilidad de gases combustibles

Combustible	Aire		Oxígeno	
	Límite Inferior	Límite Superior	Límite Inferior	Límite Superior
Metano	5.00%	14.00%	5.00%	60.00%
Propano	2.37%	9.50%	2.30%	45.00%
Hidrogeno	4.00%	74.20%	4.00%	94.00%
Gas Natural	5.00%	15.40%		
GLP	1.80%	9.50%		
Gases Gasolina	1.4%	7.40%		

2.1.4 Densidad Relativa: La densidad relativa en los combustibles gaseosos es la relación que existe entre la densidad de un gas y la densidad del aire. Si esta presenta un valor superior a 1 indicará que el gas es más pesado que el aire y, por lo tanto, se acumulará en los niveles bajos.

Por el contrario, si un gas presenta una densidad relativa inferior a 1, éste tenderá a desplazarse hacia niveles altos o a disiparse en la atmósfera rápidamente.

Tabla 4.- Densidad relativa de gases combustibles

Combustible	Densidad (Kg/m3)	Densidad Relativa (1)
Gas Natural	0.756	0.617
GLP	2.168	1.77
Gases de Alcohol	1.960	1.6

2.1.5 Poder Calorífico: El poder calorífico se define como la cantidad de calor que libera la combustión completa de un kilogramo de combustible, cuando éste y el oxígeno se encuentran originariamente a 25°C y los productos terminan a la misma temperatura. El poder calorífico de los combustibles sólidos y líquidos normalmente se mide en una bomba calorimétrica. Esta consiste en una cámara hermética en la cual se quema el combustible en una atmósfera presurizada rica en oxígeno. Posteriormente se enfría el calorímetro y se mide el calor absorbido por el medio que le refrigera.

2.1.5.1 Poder Calorífico Superior (PCS): El poder calorífico superior rara vez se alcanza y se define como la cantidad de calor que libera la combustión completa de un kilogramo de combustible, cuando éste y el oxígeno se encuentran originariamente a 25°C y los productos terminan a la misma temperatura

2.1.5.2 Poder Calorífico Inferior (PCI): El poder calorífico inferior es igual al PCS menos el calor liberado por la condensación del agua en los productos de combustión. Este es realmente el calor que aprovechamos del combustible.

Tabla 5.- Poder Calorífico de Combustibles (Btu/ft³)

Combustible	PCS	PCI
Metano	1014	911
Etano	1773	1622
Propano	2524	2322
Butano	32371	3018

PCS: Poder Calorífico Superior:

PCI: Poder Calorífico Inferior

2.1.6 Índice de Wobbe: Un aspecto importante en cuanto a los combustibles gaseosos es la inter cambiabilidad de gases. Este concepto se refiere a la posibilidad de usar gases distintos, intercambiables, en un mismo quemador. Son varias las condiciones que deben cumplir dos gases distintos para ser completamente intercambiables. Sin embargo, dependiendo del quemador, las condiciones se reducen a un pequeño número. El primer índice de inter cambiabilidad de gases es el índice de Wobbe. Gases con el mismo índice de Wobbe normalmente pueden quemarse en un mismo quemador sin ajuste.

El índice de Wobbe, W , se define como el cociente entre el poder calorífico, ya sea superior o inferior, y la raíz cuadrada de la densidad relativa δ . El índice de Wobbe está relacionado con la potencia calorífica, en Kcal. /h o KW, que un gas produce en un quemador determinado. En otras palabras cuando se alimenta un quemador con una presión de gas fija, la capacidad o potencia que esta genera, depende del índice de Wobbe del gas.

Este índice se usa para analizar la inter cambiabilidad de los gases.

$$W = \frac{PC^{ic}}{\sqrt{\delta}}$$

El índice de Wobbe permite clasificar los gases en tres familias. Para esta clasificación se usa en la mayoría de los casos el poder calorífico superior, a una presión de 1.01325 bar. y una temperatura de 15°C. (condiciones estándar)

En la Tabla 6 se muestra el índice de Wobbe y otras características de algunos gases combustibles, y en la Tabla 7 se resume la definición de las familias de gases.

Tabla 6.- Características de algunos gases combustibles

Tipo de Gas	Gas de Ciudad	Gas Natural	Gas Licuado
PCS, Kcal./m3	4500.0	9300.0	23290.0
KJ/Kg.	21705.8	51504.3	44935.7
PCI, Kcal/m3	4120.0	8400.0	22300.0
KJ/Kg	19872.8	46519.9	43025.6

Densidad Relativa	0.709	0.617	1.77
Densidad Absoluta Kg./m ³	0.868	0.756	2.17
Índice de Wobbe Kcal./m ³	5344.3	11839.7	17505.8

Tabla 7.- Familia de Gases de combustibles

Familia y grupo de gas	Índice de Wobbe superior A 15°C y 1.01325 bar. (Kcal./m ³)	
	Mínimo	Máximo
Primera familia	5350	5923
Grupo A	5350	5923
Segunda familia	9338	13064
Grupo A	10915	13064
Grupo A	9768	13064
Grupo A	9338	10700
Tercera familia	17411	20850
Grupo B/P	17411	20850
Grupo P	17411	18342
Grupo B	19537	20850

Fuente : Norma Italiana 20850

2.2 Tipos de Combustión

El objetivo fundamental de la combustión es el de conseguir la oxidación total del carbono y del hidrógeno para formar dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O) con lo cual se produce la máxima energía en forma de calor y se evita efectos contaminantes.

La combustión podemos clasificarla desde el punto de vista de la calidad de sus productos y por la forma en que se realiza.

En función de sus productos se puede considerar los siguientes tipos de combustión:

- Combustión perfecta o estequiométrica

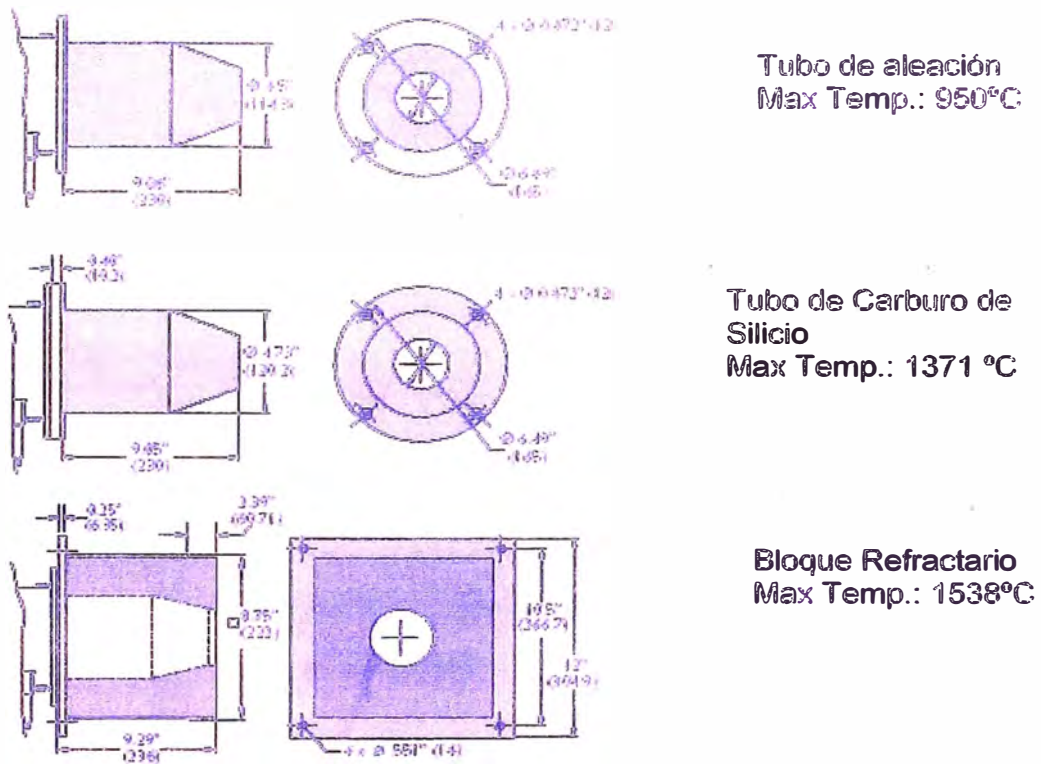


Fig. 25.- Tipos de Combustores o Toberas para Quemadores Nozzle Mix

En algunos casos la aplicación no requiere una alta penetración de la llama, para estas aplicaciones se diseñan quemadores de llama plana tal como el mostrado en la figura siguiente:

2" Series "G" VORTIFLARE® Burner

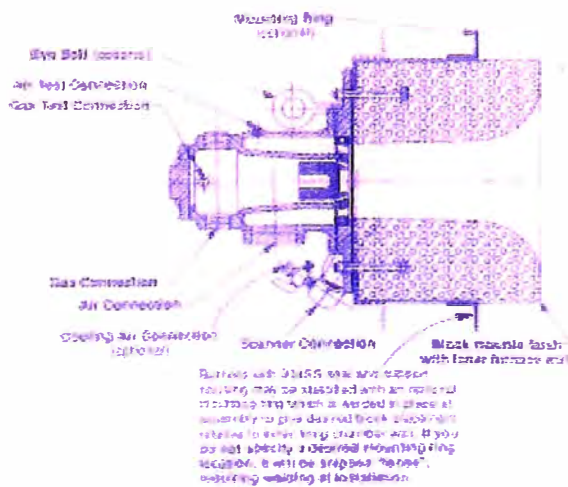


Fig. 26.- Quemador Nozzle Mix de llama Plana

2.2.3 Combustión incompleta con defecto de aire: Cuando el oxígeno presente en la combustión no alcanza el valor teórico necesario para la formación de CO_2 , H_2O y SO_2 la combustión es necesariamente incompleta, apareciendo en los gases de combustión el monóxido de carbono, hidrógeno y partículas sólidas de carbono, azufre o sulfuros.

Considerando que estos componentes de los gases que se eliminarán a la atmósfera contienen aun apreciable contenido calorífico, las pérdidas por combustión incompleta son elevadas cuando se proporciona menos aire del necesario. En la práctica, la presencia de inquemados resulta determinante del exceso de aire necesario.

La presencia de CO en los humos crea además el riesgo de explosión, al llegar a atmósferas súbitamente oxidantes.

Un 1% de CO en los gases produce una pérdida de aproximadamente un 4% del poder calorífico del combustible.

2.2.4 Combustión imperfecta o pseudo combustión: Se produce una combustión imperfecta o pseudo combustión oxidante cuando pese a existir exceso de aire, no se completan las reacciones de combustión, apareciendo en los humos de chimenea productos de combustión incompleta, tales como inquemados, residuos de combustibles sin oxidar, partículas sólidas, etc.

Este tipo de combustión puede producirse debido a las siguientes causas:

- Elevada carga térmica del hogar, es decir, la relación entre la potencia calorífica y el volumen del hogar, ya que existe poco tiempo de permanencia.
- La escasa turbulencia, existiendo por tanto una mala mezcla aire – combustible, lo que en muchos quemadores se produce por cantidad insuficiente de aire o por estar trabajando a una fracción muy pequeña de su potencia nominal.
- La falta de uniformidad de pulverización en los combustibles líquidos, ya que cuando mayor sea el número de gotas de gran tamaño, tanto mas fácil es que se produzcan inquemados, puesto que una gota de gran diámetro necesita un mayor tiempo de permanencia para quemarse por completo.

- El enfriamiento de la llama, lo que puede ocurrir cuando la mezcla aire – combustible incide sobre superficies relativamente frías, como el frente de la cámara de combustión o las paredes de un tubo de llama y también cuando se trabaja con un gran exceso de aire.
- El alto porcentaje de carbono en los combustibles.

En la práctica, este es el tipo de combustión más generalizado por resultar más ajustado a la realidad.

En la medida que se mejore la combustión imperfecta aproximándose a las condiciones teóricas de combustión completa con mínimo exceso de aire, se logrará mejores rendimientos y se evitará efectos contaminantes.

2.3 Composición y Características del Gas Natural de Camisea:

A continuación mostraremos las características fundamentales del gas natural de Camisea:

Tabla 8.- Composición del gas Natural de Camisea

	Componente	Formula	% Molar (nl)	% Volumen (vi)	% Masa (gl)
1	Nitrogeno	N2	0.723	0.725	1.141
2	Dioxido de Carbono	CO2	0.263	0.262	0.647
3	Metano	CH4	88.091	88.166	79.425
4	Etano	C2H6	10.355	10.284	17.364
5	Propano	C3H8	0.545	0.535	1.324
6	Iso-butano	C4H10 I	0.012	0.012	0.038
7	Normal-butano	C4H10 N	0.013	0.013	0.042
8	Iso-pentano	C5H12 I	0.001	0.001	0.004
9	Normal-pentano	C5H12 N	0.001	0.001	0.003
10	Otros hidrocarburos	C5+	0.002	0.002	0.011
11	Oxigeno	O2	0.000	0.000	0.000
12	Helio	He	0.000	0.000	0.000

100.006 100.0 100.00

Fuente: Comité Especial Proyecto Camisea

Poder Calorífico GN:

Poder Calorífico	Btu/SCF	Mbtu/Nm3	MJ/Nm3	MJ/Mol	MJ/Kg	kcal/Nm3
GHV :	1,093	40.707	42.948	958.083	53.799	10,307
NHV :	988	36.794	38.819	865.941	48.625	9,316

Propiedades Físicas:

Gravedad Especifica	0.7984 Kg/Nm ³	Densidad Relativa :	0.6175
Peso Molecular	17.8082 Kg/kmol	Indice de Wobbe :	1,391 Btu/SCF
Volumen Molar	22.3409 Nm ³ /kmol		51.80 Mbtu/Nm ³
			54.65 MJ/Nm ³
			13,117 kcal/Nm ³

2.4 Combustión del Gas Natural

El modelo utilizado para el análisis de combustión se basa en metano, principal componente el gas natural, y como oxidante el aire, constituido por oxígeno y nitrógeno. Se desprecia el argón y trazas de otros constituyentes. Las condiciones de los reactantes, excepto en el precalentamiento del aire, son 298,15 K y 1 atm. La máxima temperatura que pueden alcanzar los productos de combustión es la temperatura adiabática de la llama. Es la temperatura que se obtiene si todo el calor desarrollado durante el proceso se utiliza integralmente para calentar los productos. El procedimiento de cálculo de la temperatura de llama adiabática, considerando los fenómenos de disociación, se lleva a cabo por iteración de la temperatura de los productos hasta que se cumpla la siguiente expresión:

$$H_{\text{reactantes}} = H_{\text{productos}}$$

En la ecuación (1) la $H_{\text{reactantes}}$ se refiere a la entalpía del combustible y del aire que hacen parte del proceso de combustión. Cuando toda esta energía es empleada para elevar la temperatura de los humos de combustión, sin pérdidas de calor hacia el medio, los productos alcanzarán una entalpía $H_{\text{productos}}$ igual a la de los reactantes, y por ende, obtendrán su máxima temperatura.

La figura 1 presenta la variación de la temperatura máxima de los productos de combustión en función del exceso de aire de la combustión. Se observa que la máxima temperatura ocurre para una condición de mezcla rica o defecto de aire del 3%. Aunque comúnmente se asocia la temperatura adiabática de llama a la condición estequiométrica o de cero exceso de aire, para la condición real de disociación de especies mayores (CO₂, H₂O, O₂, N₂) y

formación de especies menores (CO, HO, NO, NO₂, entre otras) la máxima temperatura adiabática ocurre en una mezcla ligeramente rica porque el calor específico de los productos se reduce permitiendo el incremento de la temperatura.

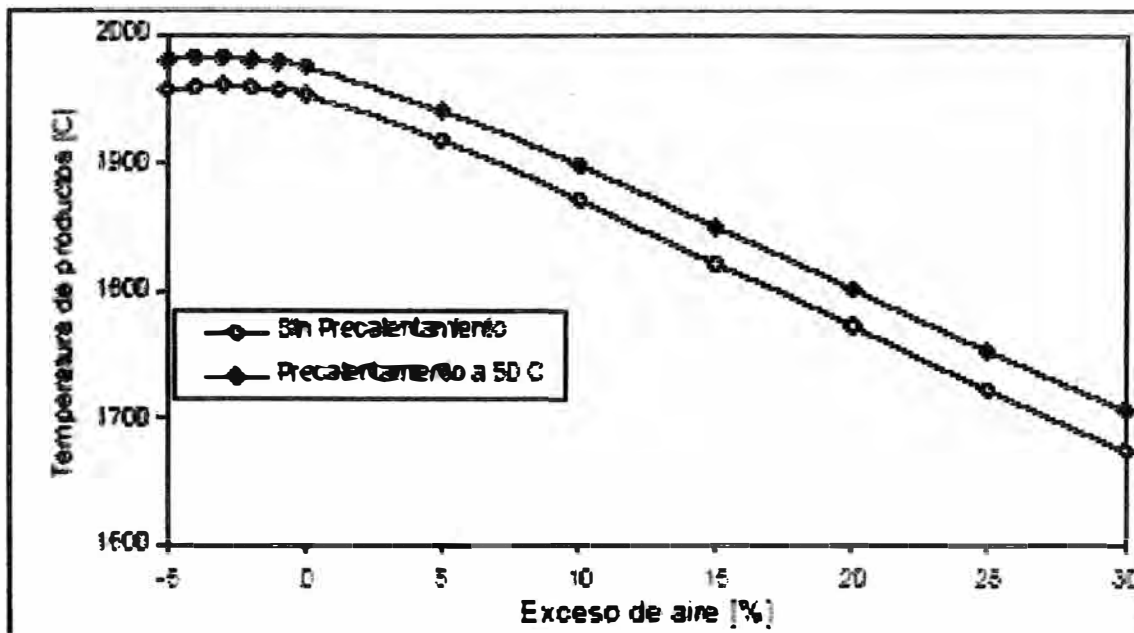


Fig. 1: Influencia del exceso de aire y su precalentamiento en la temperatura de los productos de combustión.

Nótese la influencia del precalentamiento del aire de combustión. Cuando éste aire ingresa no a 25 °C sino a 50 °C, las temperaturas de llama se incrementan, lo que redundará en mayor calor adicionado a la carga y a la reducción en los consumos energéticos del proceso. No menos importante es el control del exceso de aire debido a que un incremento desmesurado de este ocasiona una caída drástica en las temperaturas de llama.

2.4.1 CALOR DISPONIBLE Y EFICIENCIA DEL PROCESO

Los productos de combustión poseen una energía térmica de acuerdo a su temperatura. Esta energía o calor disponible Q_{disp} , entendido como la cantidad de energía que puede ser convertida en energía útil, es tanto mayor, entre más fríos salen los gases de

combustión del proceso de calentamiento de una carga, lo que indica un aprovechamiento notable de la energía térmica. El calor disponible está definido como:

$$Q_{disp} = PCS - Q_{gases}$$

donde:

PCS: es el poder calorífico superior del combustible.

Qgases: es la energía contenida en los gases de combustión, igual a la entalpía de productos a la temperatura de interés $H_{prod@T}$ menos la entalpía de los productos a 298,15 K, $H_{prod@298,15}$.

El gas natural, caracterizado como metano CH₄, tiene un poder calorífico superior de 55528kJ/kg. La figura 2 muestra cual es la relación entre el exceso de aire en el quemador y la temperatura de los gases de combustión sobre el calor disponible del proceso de calentamiento, este último como porcentaje del poder calorífico superior que sería la máxima energía útil. Se puede notar que para un exceso de aire fijo, el calor disminuye a medida que la temperatura de los gases aumenta, lo que indica que no se le está extrayendo toda la energía útil a los humos y está quedando un remanente importante y susceptible de aprovechamiento. Si se considera constante la temperatura de los humos, se nota la clara influencia negativa del exceso de aire, puesto que el calor disponible disminuye debido a que el aire que adicionalmente ingresa a la combustión consume parte de la energía química transformada.

Una consideración importante para disminuir la temperatura de los productos, y de esta manera, incrementar calor disponible es la instalación de recuperadores de calor. Generalmente los recuperadores de calor constituyen alternativas con buena viabilidad técnico-económica. La limitación para reducir la temperatura de los humos es la formación de ácido sulfúrico, pero con el gas natural este inconveniente no tiene importancia

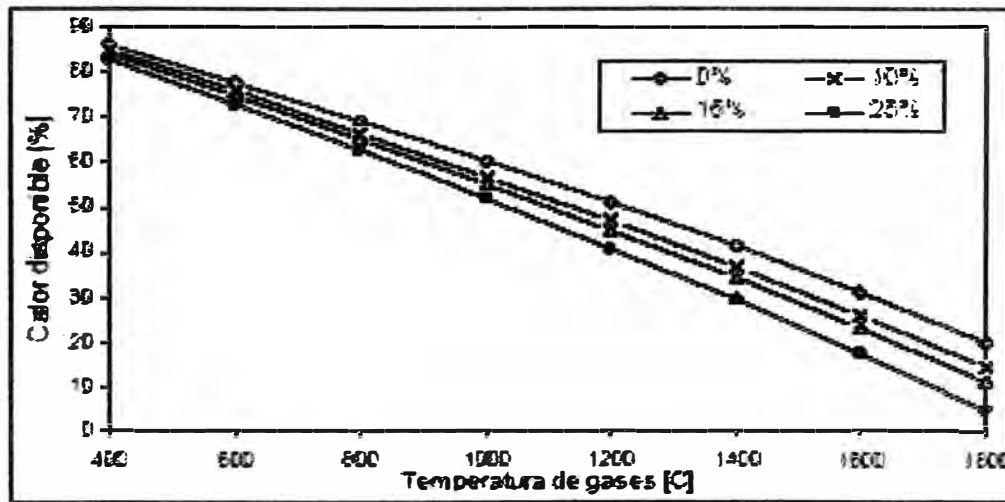


Fig.2: Porcentaje de calor disponible respecto al poder calorífico superior como función de la temperatura de los gases de combustión y el exceso de aire

La eficiencia de un quemador está asociada a la energía química que es posible ser transformada en calentamiento de los productos de combustión, y es el 100% si toda la energía química almacenada en el combustible es convertida en calor disponible para el proceso. Si se conoce la temperatura de los reactantes y su entalpía H_{react} y la temperatura de los productos de combustión inmediatamente a la salida del quemador y su energía contenida H_{prod} , se puede definir la eficiencia como:

$$\eta_{comb} = \frac{PCS - (H_{prod} - H_{react})}{PCS} * 100\%$$

La figura 3 muestra el comportamiento de la eficiencia de combustión de acuerdo a la temperatura que poseen los gases inmediatamente a la salida del quemador. Obsérvese cómo para un exceso de aire definido, la eficiencia incrementa a medida que la temperatura de los gases se eleva. Lo anterior quiere decir que una alta temperatura de los productos de combustión, directamente en la salida del quemador, constituye un indicativo del menor impacto de las pérdidas caloríficas debido a la formación de agua en forma de vapor

H₂O(v), a la disociación de especies a través de reacciones que son endotérmicas y a las pérdidas de calor en la llama radiante.

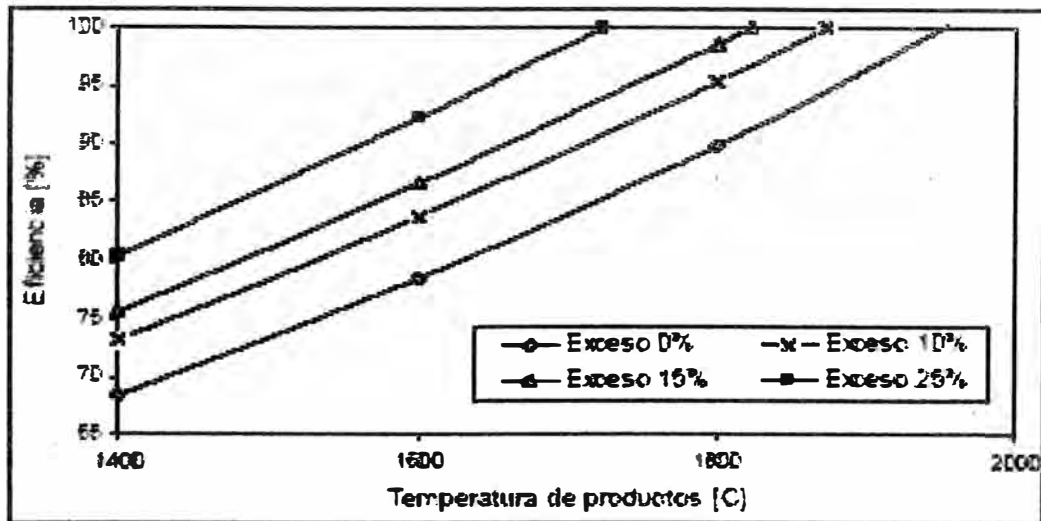


Fig. 3: Eficiencia de combustión vs. temperatura de productos y exceso de aire.

Cuando se comparan a una misma temperatura de productos, las combustiones para diferentes excesos de aire, la interpretación es de la siguiente manera. Una combustión sin exceso, cuyos productos estén a la misma temperatura de una combustión con exceso y bajo la misma adición calórica por unidad de combustible *PCS*, indica que el quemador es más eficiente. Y esto es claro porque el exceso de aire es una carga térmica que igualmente necesita ser calentada hasta el nivel de temperatura analizado, por ende, ocurre una mejor utilización de la energía del portador energético. Se espera entonces, que para quemadores de similar eficiencia y operando con el mismo combustible, la temperatura de los productos sea mayor en el quemador que emplee el menor exceso de aire, ver figura 3.

Obsérvese también cómo las combustiones con exceso no desarrollan niveles de temperatura tan altos como las combustiones estequiométricas. Los quemadores industriales suelen operarse con un exceso de aire del 15% con el fin de minimizar riesgos ante posibles gases inquemados. Utilizar mayores excesos sería desfavorable energéticamente y emplear excesos muy bajos conllevaría a tener mezclas poco íntimas de

aire y combustible con la consecuente generación de inquemados y de riesgos asociados a los combustibles inquemados.

2.4.2 CONCENTRACIONES DE LOS PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN

En la práctica de las pruebas para el análisis de productos de combustión, suelen ser relevantes las mediciones de CO_2 u O_2 , CO y NO_x . Tanto el dióxido de carbono CO_2 , como el O_2 , están relacionados con la eficiencia de combustión junto con la temperatura de los gases. La presencia de monóxido de carbono CO es un indicativo de disminución de eficiencia (la reacción para la generación de monóxido es endotérmica), pero se prefiere su significado en relación con la toxicidad y el riesgo de inflamabilidad. El monóxido de carbono es muy peligroso por cuanto es imposible de detectar sin un instrumento de prueba, y las consecuencias de su concentración y periodo de exposición pueden ir desde ligeros dolores de cabeza hasta la muerte.

Los óxidos de nitrógeno NO_x son responsables de la formación de ácidos en la atmósfera contribuyendo a la creación de lluvia ácida, y han constituido, uno de los aspectos que últimamente más ha aportado al desarrollo tecnológico de los equipos de combustión.

A continuación se presentan los valores de concentración de los mencionados productos de combustión en dependencia de la temperatura de los gases y de diferentes excesos de aire. Los datos contenidos en estas figuras constituyen una referencia para labores de análisis de productos de combustión. Los datos presentados a continuación pertenecen a un estudio realizado en la Universidad Tecnológica de Pereira por JUAN CARLOS SERRANO y YAMID ALBERTO CARRANZA SÁNCHEZ, el proceso de obtención de estas concentraciones se realizó con el programa STANJAN considerando la disociación de especies.

Vale la pena resaltar que los resultados arrojados por el programa están en base húmeda, es decir, considerando el agua en forma de vapor que hace parte de los gases. Por lo tanto, se hace la corrección a base seca, muy comúnmente utilizada por los equipos de análisis de gases, mediante la expresión:

$$X_{i,seca} = X_{i,humeda} \frac{N_{mezcla-humeda}}{N_{mezcla-seca}}$$

Donde:

$X_{i,seca}$ es la fracción molar o concentración en base seca

$X_{i,humeda}$ es la fracción molar en base húmeda.

$N_{mezcla-húmeda}$ es el número de moles total en la mezcla húmeda

$N_{mezcla-seca}$ es el número de moles total en la mezcla seca

La figura 4 presenta la concentración de especies para un exceso de aire nulo o 0%. Es relevante mencionar que los niveles de CO₂ se mantienen alrededor del 12% disminuyendo levemente a partir de los 1200°C y empezando la generación de CO, como consecuencia de los efectos del fenómeno de disociación. Esta concentración con gases de combustión a elevadas temperaturas constituiría un serio problema ambiental debido a que los niveles de CO deberían ser mantenidos en un máximo de 400 ppm de acuerdo a las regulaciones establecidas por Environmental Protection Agency (EPA) y American Gas Association (AGA).

Los niveles de NO_x también se incrementan con la disociación generada por la elevación de la temperatura de los gases. Los niveles de NO_x deben mantenerse en 40 ppm para calderas en el rango de 5-40 MM Btu/h.

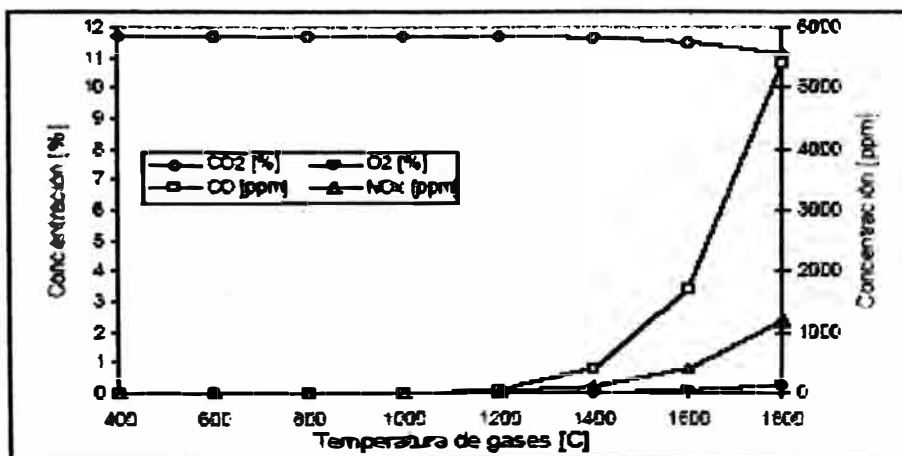


Fig.4: Concentración en base seca vs. Temperatura de productos para un exceso del 0%

En la figura 5 se comienzan a observar los efectos del exceso de aire. Se destaca la reducción de los niveles de CO mejorando las condiciones ambientales en lo que a este contaminante se refiere, pero se nota un incremento notable de los óxidos de nitrógeno respecto al exceso de aire nulo en la figura 4. Debido al exceso se nota ya una concentración de oxígeno alrededor del 2% la cual se disminuye levemente a medida que se aumenta la temperatura y se forman los NOx.

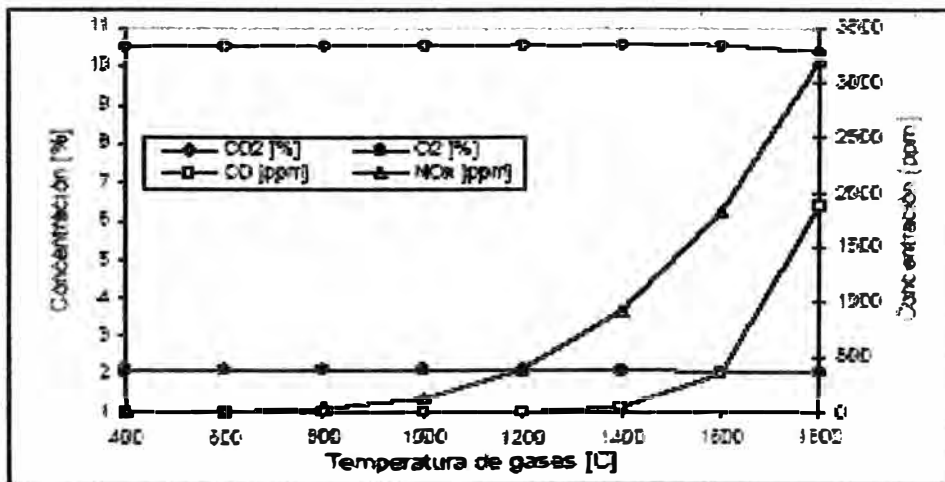


Fig. 5: Concentración en base seca vs. Temperatura de productos para un exceso del 10%

La figura 6 constituye la gráfica de referencia para el análisis de la combustión en quemadores de gas. Lo anterior debido a que los fabricantes recomiendan operar con excesos de aire del 15%. Cuando un equipo es explotado bajo esta recomendación, se deberían obtener concentraciones en base seca de CO2 alrededor del 10%, concentraciones de O2 alrededor del 3%, y concentraciones de CO y NOx variables con la temperatura de los productos de combustión. Se resalta nuevamente el efecto negativo de emitir gases de combustión a temperaturas elevadas debido a las altas concentraciones de los anteriores contaminantes.

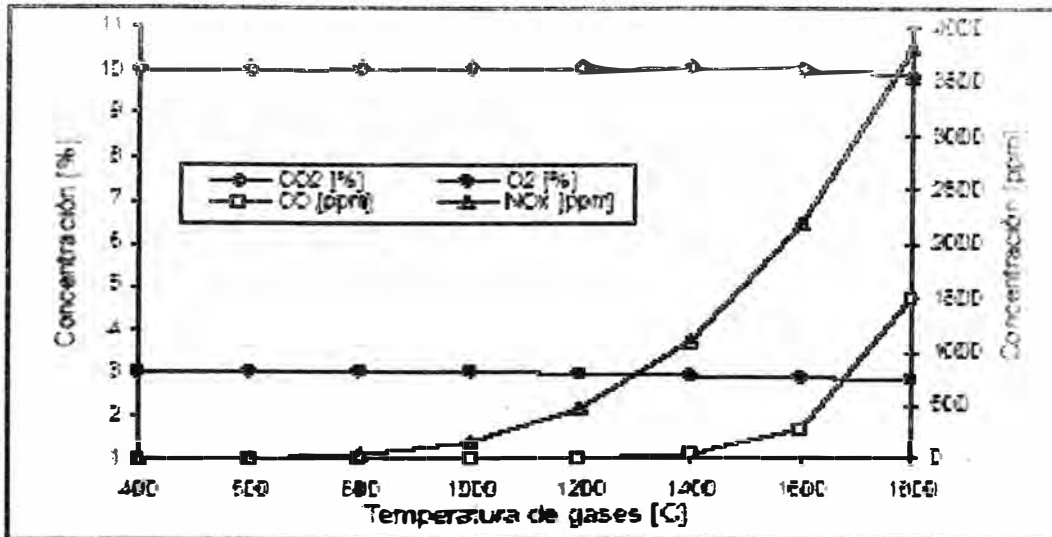


Fig. 6: Concentración en base seca vs. Temperatura de productos para un exceso del 15%

Excesos de aire elevados como lo muestra la figura 7, constituyen un decremento considerable en la eficiencia térmica del proceso como consecuencia de la energía absorbida por el aire en exceso. Y tal como lo señala la tendencia de concentraciones versus excesos de aire, los incrementos de NOx se hacen más notables. Las anteriores figuras son herramientas útiles a la hora de llevar a cabo un diagnóstico de gases, debido a que es posible acceder a ellas con la temperatura de los gases y el porcentaje de O2, CO2 o CO para determinar el exceso de aire con el cual opera el quemador y de esta manera calcular la eficiencia del proceso, o para conocer la concentración de los otros contaminantes.

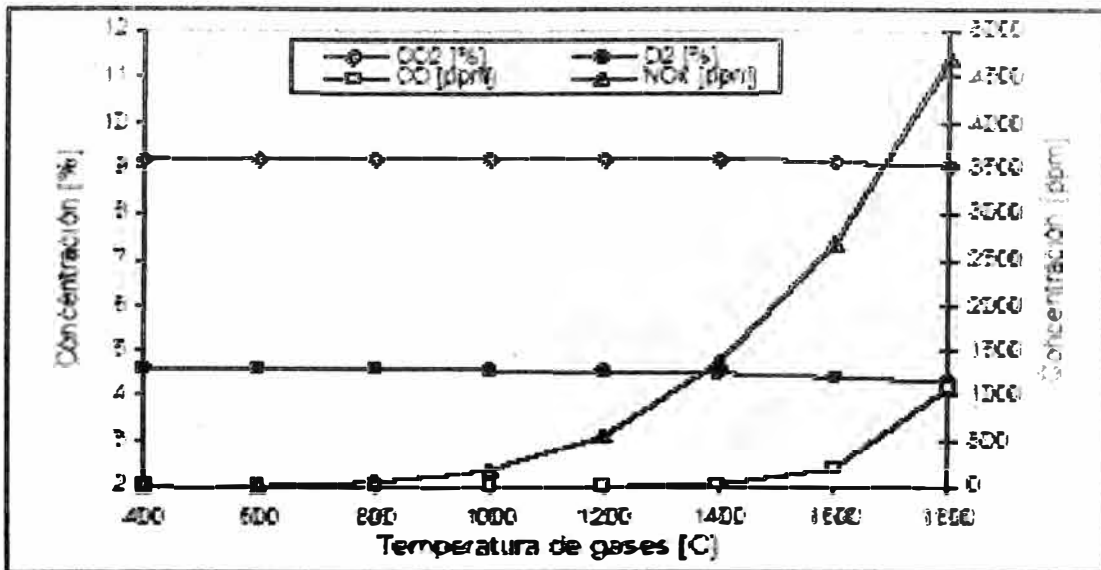


Fig. 7: Concentración en base seca vs. Temperatura de productos para un exceso del 25%.

2.5 Ecuación Práctica en Sistema Ingles:

Considerando que el Gas Natural esta compuesto principalmente por metano CH₄, y el porcentaje de oxígeno en el aire es 21%, es decir que podemos aproximar que una (1) parte de oxígeno en el aire tiene cuatro (4) partes de nitrógeno, según esto podemos plantear:



Para una reacción estequiométrica decimos en forma práctica:

1 pie cúbico de metano + 10 pies cúbicos de aire producen 1,000 btu de calor.

CAPÍTULO 3

INSTALACIONES INTERNAS INDUSTRIALES DE GAS NATURAL

Una instalación interna industrial de gas natural según la Norma Técnica Peruana NPT 111-010 Sistema de Tuberías para Instalación Internas Industriales, comprende desde la salida de la ERPMP (Estación de Regulación Primaria y Medición Primaria) hasta los puntos de conexión de cada equipo. En este capítulo analizaremos cada parte componente de la instalación interna de gas natural incluyendo la ERPMP.

Los componentes de una instalación interna de gas natural son las siguientes:

1. Estación de Regulación Primaria y Medición Primaria ERPMP
2. Red Interna de Tuberías
3. Estaciones de Regulación y/o Medición Secundarias
4. Equipos de Combustión.

En el presente capítulo expondremos los 3 primeros componentes de las instalaciones internas industriales, dejando el estudio de los equipos de combustión para el capítulo 4, donde se expondrán ampliamente.

3.1. Estación de Regulación Primaria y Medición Primaria.

La ERPMP es el conjunto de elementos situados al ingreso de todo consumidor industrial con el propósito de reducir y regular automáticamente la presión del fluido aguas abajo del punto de entrega y medir los volúmenes de gas consumidos, asimismo, asegura que la presión no sobrepase de un límite prefijado ante eventuales fallas.

Las ERPMP se clasifican según la presión suministrada y según sus caudales, para el caso de la distribución en nuestro medio, específicamente en Lima y Callao, la empresa distribuidora, de acuerdo a sus especificaciones técnicas corporativas determina para las estaciones de regulación los siguientes rangos de presión, tanto para la entrada como la salida, indicando la máxima y mínima presión, esto se basa en las consideraciones que se han tenido para dimensionar la red pública.

Estas especificaciones se denominan GTS, y para este caso específico es el documento GD/STA/001, a continuación mostramos los niveles de presión de ingreso y salida contemplados, hay que tener en cuenta que estos han variado de acuerdo a como está creciendo el mercado, más adelante expondremos un cuadro mas específico.

Tabla 1.- Niveles de presión de ingreso y salida

denomination	Inlet pressure (bar)			outlet pressure (bar)		
	nomlnal	maxlimum	mlnimum	nomlnal		
4 bar	4	5	2	1	0.1	0.02
10	9	10	6	4		
15 bar	14	15	10			
19 bar	18	19	8			
22 bar	21	22	16			
35 bar	34	35	27			

Para el caso de medición:

denomination	# lines	capacity (Nm ³ /h)		
4 bar	1&2	1000		
10	2	2000	5000	10.000
15 bar	2			
19 bar	2			
22 bar	2			
35 bar	2			

En el proyecto de las ERPMP, se deberá tener en cuenta los siguientes extremos:

- Presión Mínima del gas suministrado.
- Presión máxima del gas suministrado.
- Perdidas de carga en tuberías y elementos que integran la instalación
- Presión de Utilización.

Estos extremos determinaran la capacidad y tipo de todos los aparatos.

3.1.1 Componentes de una ERPMP

Los elementos comunes en una ERPMP son los siguientes:

3.1.1.1 Filtros:

De acuerdo con las especificaciones de Tractebel EGI *para los filtros de gas natural estable dos categorías:

3.1.1.1. A: Para Presión de Ingreso de Hasta 5.0 Bar y capacidad de hasta 100 Nm³/h:

Para estaciones pequeñas, tal como se definen estas, el filtro deberá tener la capacidad de retener le 98% de las partículas mayores a 5 micras a todo rango de flujo.

3.1.1.1. B: Para Presión de Ingreso mayor a 5.0 Bar y capacidad superior a 100 Nm³/h:



Fig.1: Esquema Típico Filtro de Gas Natural

Deberán ser siempre cilindros, unidos a la línea mediante bridas, y diseñados de acuerdo al Código ASME VIII División 1 o 2, deberán tener flecha indicadora del sentido de flujo, válvula de purga de ¼" NPT, deberá contar con una tapa de registro que permita sacar el cartucho filtrante fuera del mismo para su limpieza.

El cartucho filtrante propiamente dicho esta constituido por dos cilindros concéntricos de chapa perforada en medio de los cuales se adapta el material filtrante formado por papel celulósico.

La capacidad del recipiente debe ser de 2 cm³ por Nm³/h del máximo flujo, el cartucho debe poder retener el 98% de las partículas mayores a 5 micras.

Se recomienda instalar entre la entrada y la salida del filtro un manómetro diferencial del tipo DP5

3.1.1.2 Reguladores de Presión:

Un regulador es un elemento cuya misión es la de reducir la presión de llegada del gas a un valor de presión de salida, previamente determinado, de tal manera que permanezca estable independientemente de las oscilaciones de presión que existan en la entrada y de las variaciones de caudal debidas a la demanda.

Para entender como se consigue un comportamiento con el descrito vamos a partir de un esquema de un regulador básico, figura 2, el cual está constituido por tres elementos fundamentales:

- 1.- elemento de carga
- 2.- elemento de control o membrana
- 3.- elemento limitador, clapeta u obturador

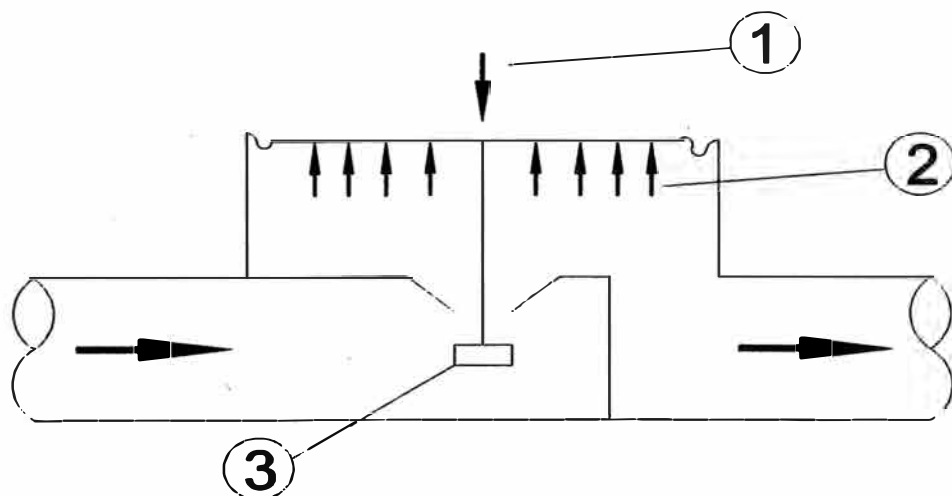


Fig.2: Esquema de un regulador básico

El elemento de control no es más que una membrana que se ve solicitada por un lado por una fuerza ejercida por el elemento de carga y por el otro por la fuerza resultante del producto de la presión de salida por la superficie de dicha membrana. Tal y como se puede ver en la figura 2 solidario a la membrana se tiene un vástago cuyo extremo es una clapeta formado un conjunto móvil conocido como elemento limitador.

Descritos los elementos fundamentales se pasa a continuación a analizar el sistema partiendo de un estado de equilibrio con una cierta abertura de la clapeta.

Si aumenta el caudal, la caída de presión que se produce entre la clapeta y el orificio aumentara y en consecuencia el valor de presión de salida disminuirá. Si la presión de salida disminuye la fuerza que ejerce esta sobre la membrana también disminuirá y por lo tanto no habrá equilibrio y la membrana y clapeta descenderán. Esto traerá consigo un aumento de la sección de paso de gas por lo que disminuirá la pérdida de carga y aumentara el valor de la presión de salida hasta que se vuelva a conseguir el equilibrio.

De la misma forma se comportaría en el caso de que el caudal disminuyera provocando una subida de presión de la membrana y la clapeta hasta que se alcance el equilibrio.

Tras conocer las partes integrantes de un regulador básico y su funcionamiento es necesario decir que la relación entre caudal y la presión de salida no es una recta horizontal como indica la figura 3 sino que se dan una serie de efectos que provocan una desviación, obteniéndose la representada en la figura 4.

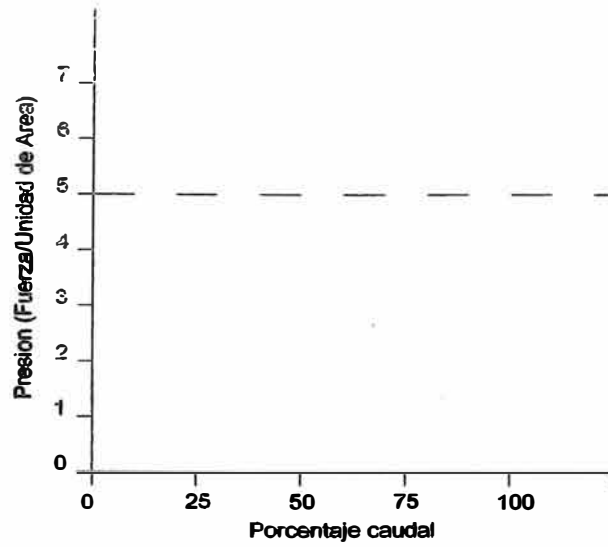


Fig.3: Relación caudal – presión de salida de un regulador ideal

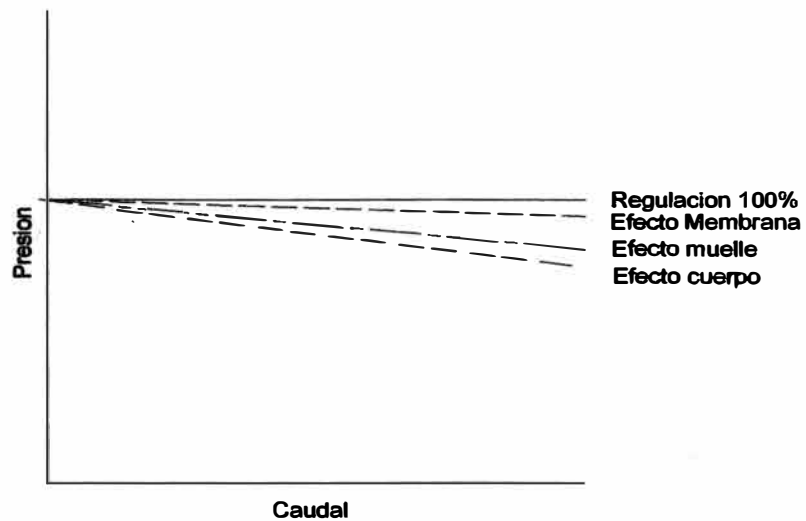


Fig.4: Relación caudal – presión de salida de un regulador real

Dichos efectos son los que relacionan a continuación:

- Efecto membrana.
- Efecto muelle
- Efecto Cuerpo

Efecto membrana El efecto membrana es debido a que el área de ésta cambia con la posición por lo que la fuerza que ejerce el gas de salida es función de la posición en la que se encuentra dicha membrana.

Para minimizar el problema existen varios procedimientos entre los que cabe destacar los indicados en las figuras 5, 6, 7 y que se describen a continuación.

Como se puede comprobar en las figuras 5 y 6, cuando el caudal aumenta, y por lo tanto el regulador está más abierto, la superficie de la membrana aumenta, lo que produce un equilibrio de fuerzas con una presión a la salida más pequeña, como se indica en la figura 4

$$F = P \downarrow \cdot S \uparrow = \text{constante}$$

Los procedimientos para minimizar el problema son:

- Limitar la carrera de la membrana una distancia mínima por encima o por debajo de la junta de fijación de la misma.

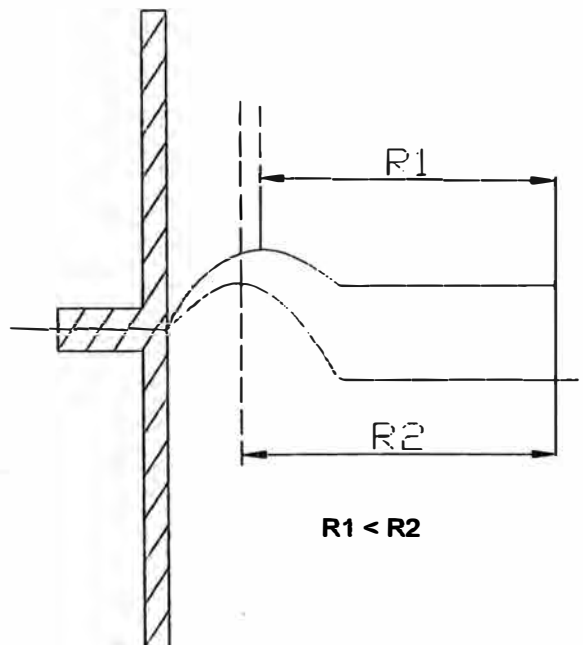


Fig.5: Efecto Membrana. Solución I

- Conservar la holgura mínima entre la caja y el disco del diafragma

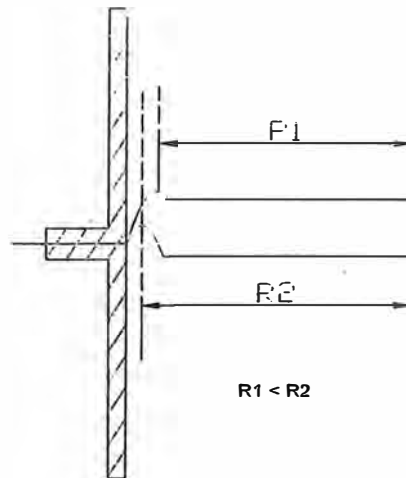


Fig.6: Efecto Membrana. Solución II

- Dar a la parte superior de la caja del diafragma la forma precisa para mantener un radio constante.

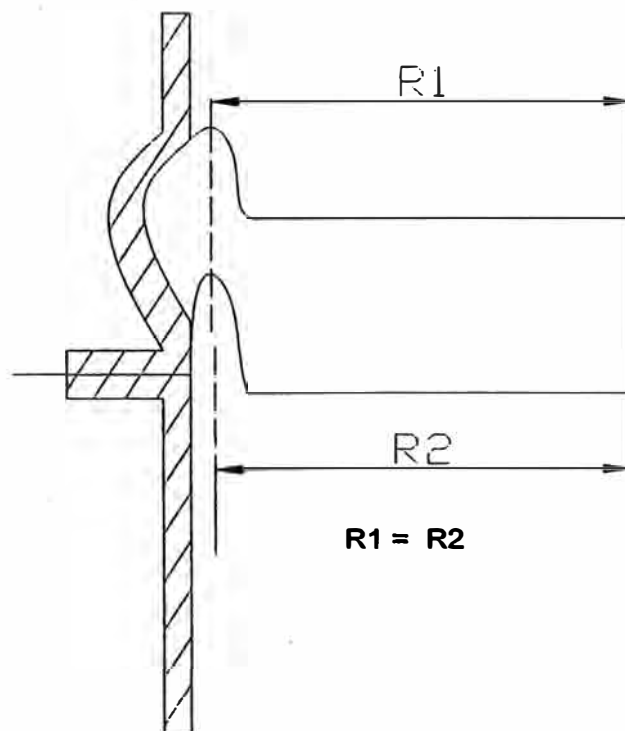


Fig.7: Efecto Membrana. Solución III

Efecto muelle: En el caso de que el elemento de carga esté formado por un muelle, aparecerá dicho efecto el cual es debido a que éste ejerce una fuerza dependiendo de la posición en la que se encuentre o dicho de otra forma de su grado de compresión.

Al igual que en el caso anterior, cuando el caudal aumenta, y por lo tanto el regulador está más abierto, el muelle está más distendido y por consiguiente la fuerza que ejerce sobre la membrana disminuye consiguiéndose el equilibrio con una presión de salida más pequeña como se indica en la figura 4

$$\downarrow F = \downarrow P \cdot S$$

$$S = \text{constante}$$

Efecto cuerpo: Es debido a la pérdida en el interior del regulador causado por la reducción necesaria para la conexión de salida.

La forma de reducir estas pérdidas es trabajar con contornos internos lisos evitando cambios en la dirección del caudal y obstrucciones que provocan turbulencias.

3.1.1.2.1 Tipos de Reguladores

Los reguladores se pueden clasificar por la actuación de diversos dispositivos que suministran la energía necesaria para el desplazamiento de la membrana, así se tiene:

- a. Masas o pesos
- b. Resortes o muelle
- c. Presión auxiliar de mando

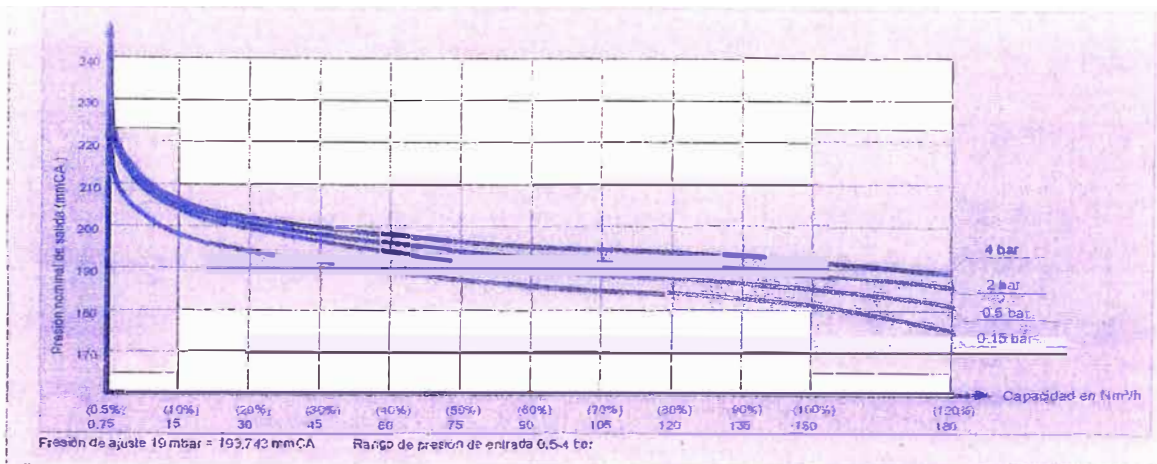


Fig.11: Regulador de Acción directa. Curva Presión de salida – Caudal

Los límites de funcionamiento de un regulador en cuanto a caudal vienen fijados por Q_{max} y Q_{min} .

El caudal debe ser, evidentemente, inferior al caudal Q_{max} que corresponde a la apertura total para la presión de entrada considerada.

Por otra parte con caudales muy bajos se observa una subida de la presión de salida denominada sobrecompresión de cierre y representada por las siglas SG. Esta sobrecompresión, que queda reflejada en la figura 11 a caudal 0, es debida a que cuando cesa el consumo en forma rápida (centésimas de segundo) el regulador responde cerrando con un pequeño retardo (décimas de segundo). Hay en consecuencia un exceso de aporte de gas que genera una sobrecompresión sobre el valor de seteo.

La existencia de esta sobrecompresión, conduce en la práctica a un caudal mínimo Q_{min} de funcionamiento por debajo del cual la característica ya no es lineal. Además, para caudales bajos se pueden dar fenómenos de inestabilidad denominados "bombeos"

Al despejar se obtiene el valor de la masa a colocar para obtener una determinada presión de salida.

$$M = (S2 \cdot P_s + S1 \cdot (P_e - P_s)) / g - m$$

Se podría conseguir eliminar la fuerza de la presión sobre la parte superior de la clapeta si colocamos dos clapetas de misma superficie según se indica en la figura

9

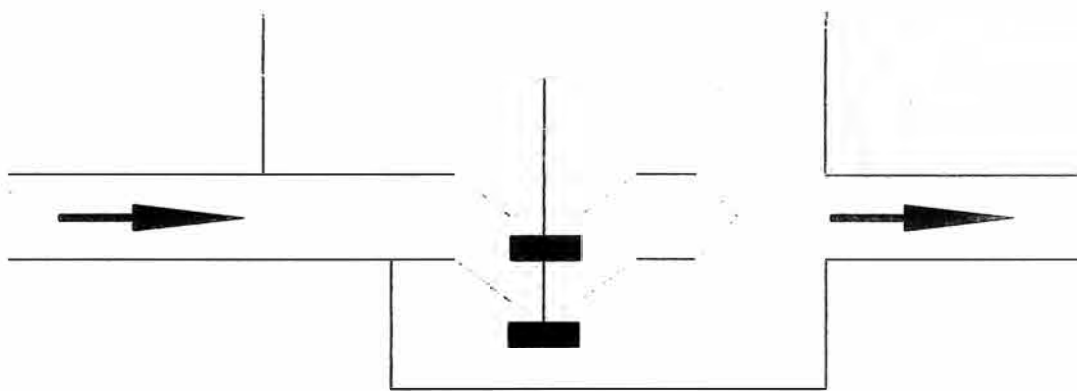


Fig9: Doble Capleta

b. Regulador de muelle

El principio de funcionamiento de estos reguladores es idéntico al explicado para los reguladores de pesos. La fuerza aplicada en la parte superior de la membrana es suministrada por un resorte en lugar de un peso. Se tiene un claro inconveniente que es el efecto de muelle anteriormente explicado.

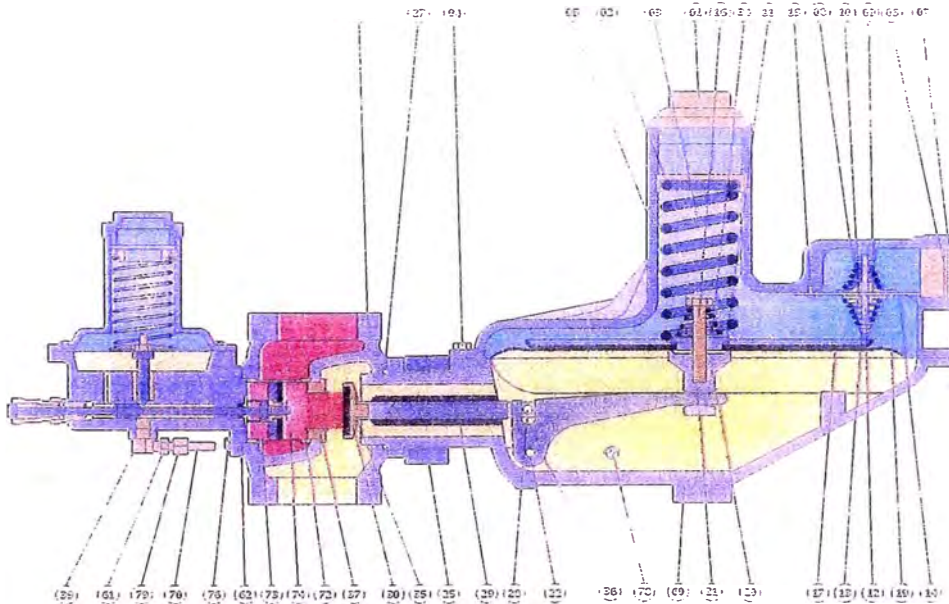


Fig.10: Esquema del regulador de acción directa

- | | |
|--|--|
| 02 - Empuja resorte | 41 - Caja diafragma |
| 03 - Resorte principal | 42 - Empuja resorte |
| 04 - Tornillos 5/16"x1¼ hex. | 43 - Resorte de corte |
| 05 - Tapa de diafragma | 44 - Tapón del resorte |
| 06 - Malla del venteo | 45 - Diafragma |
| 07 - Seeger del venteo | 46 - Portadiafragma |
| 08 - Resorte del venteo | 47 - Eje principal |
| 09 - Obturador superior de venteo | 48 - Buje del eje principal |
| 10 - Obturador inferior de venteo | 49 - Prensa O'Ring |
| 11 - Sujeción de diafragma | 50 - Obturador de corte |
| 12 - Eje del venteo | 51 - Goma del obturador |
| 13 - Tuerca ciega 3/16"W | 52 - Resorte del obturador |
| 14 - Arandela sujeción del venteo | 53 - Soporte del obturador de corte |
| 15 - Tornillos cab. tanque 5/32"Wx1/4" | 54 - O'Ring del obturador de corte (2-109) |
| 16 - Tornillo prensadiafragma | 55 - Seguer del obturador de corte |
| 17 - Discos de diafragma | 56 - Guía del eje principal |
| 19 - Diafragmas de goma | 57 - Buje guía del eje principal |
| 20 - Porta disco diafragma | 58 - Reset |
| 21 - Palanca | 59 - Tuerca del reset |
| 22 - Perno de palanca | 60 - Caja diafragma |
| 23 - Tuerca 5/16"W | 61 - Entrerroscas restringida |
| 25 - Bridas | 62 - O'Ring del acople (2-132) |
| 26 - Tornillos 7/16"x3½" | 63 - Buje de acople de caja de corte |
| 27 - Sello O'Ring (2-227) | 64 - Arandela del obturador |
| 28 - Perno de eje del obturador | 65 - Buje de caja |
| 29 - Eje del obturador | 66 - Eje portadiafragma |
| 30 - Obturador | 67 - O'Ring del eje y reset (2-008) |
| 31 - Asiento del obturador | 68 - O'Ring del reset (2-012) |
| 34 - Resorte de alivio | 69 - O'Ring del eje principal (2-106) |
| 35 - Arandela del obturador | 70 - Caño de cobre |
| 36 - Tornillos 1/4"Wx1/2" | 71 - Chapa diafragma |
| 37 - Inyector de 1-3/16" (30,2mm) | 72 - Anillo del elemento filtrante |
| 38 - Cuerpo | 73 - Malla filtrante del filtro |
| 39 - Codo macho hembra 1/8" GAS | 74 - Malla refuerzo del filtro |
| 40 - Tapa diafragma | 75 - Tornillo Tapa-Caja |
| | 76 - Tornillo Caja-Cuerpo |
| | 77 - Seguer del eje |
| | 78 - Entrerroscas 1/8"x1/8" |

El regulador debe mantener la presión aguas abajo a un valor constante aunque haya variaciones en la presión de la entrada y caudales variables dentro del rango de trabajo del regulador. En caso de caudal nulo, el regulador se cierra y debe ser absolutamente estanco.

El Diafragma de goma (19) está sometida a la carga del resorte principal (3) y transmite sus movimientos al obturador (30) a través de la palanca (21). El valor de la presión, que se desea tener, se logra dando la tensión necesaria al resorte a través de la tuerca de regulación (2)

En ausencia de gas el regulador se encuentra totalmente abierto.

En condiciones de funcionamiento normal, el obturador se encontrará en una posición intermedia dada por el equilibrio que existe entre la fuerza que ejerce el resorte y la ejercida por la presión de aguas abajo.

Si el caudal tiende a disminuir esto provoca un aumento de la presión de salida y consecuentemente la membrana se mueve comprimiendo el resorte y haciendo que el obturador se desplace cerrando el paso de gas hasta conseguir una nueva posición de equilibrio.

Si lo que se tiene es un aumento del consumo, la presión de salida tiende a disminuir, lo que provoca un movimiento de la membrana que a su vez hace que el obturador se abra hasta conseguir una nueva posición de equilibrio.

La presión de salida regulada, P_{as} , es una función decreciente con el caudal. La pendiente de la curva característica (teóricamente una recta) es tanto más baja cuanto la presión de entrada P_e sea elevada y la constante del muelle sea pequeña.

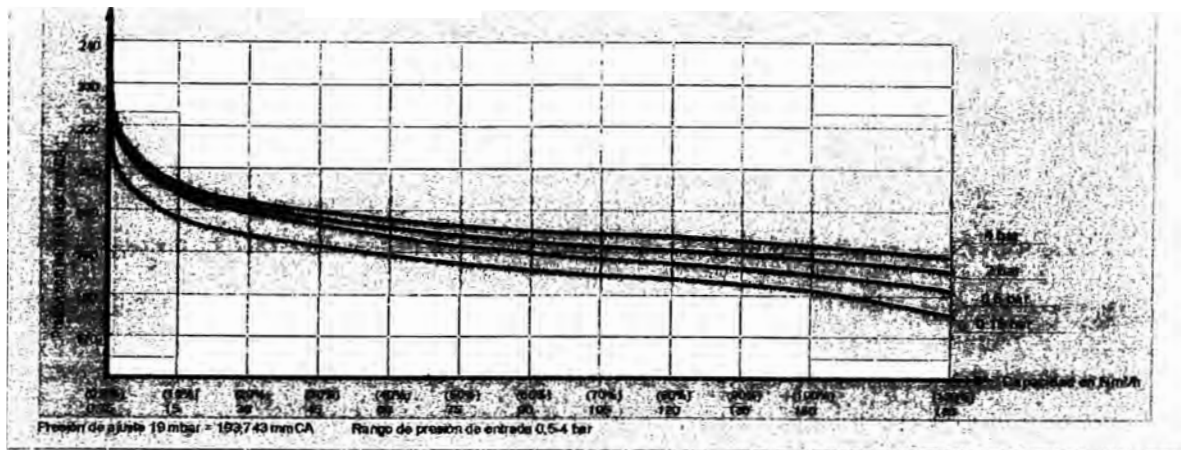


Fig.11: Regulador de Acción directa. Curva Presión de salida – Caudal

Los límites de funcionamiento de un regulador en cuanto a caudal vienen fijados por Q_{max} y Q_{min} .

El caudal debe ser, evidentemente, inferior al caudal Q_{max} que corresponde a la apertura total para la presión de entrada considerada.

Por otra parte con caudales muy bajos se observa una subida de la presión de salida denominada sobre presión de cierre y representada por las siglas SG. Esta sobre presión, que queda reflejada en la figura 11 a caudal 0, es debida a que cuando cesa el consumo en forma rápida (centésimas de segundo) el regulador responde cerrando con un pequeño retardo (décimas de segundo). Hay en consecuencia un exceso de aporte de gas que genera una sobre presión sobre el valor de seteo.

La existencia de esta sobre presión, conduce en la práctica a un caudal mínimo Q_{min} de funcionamiento por debajo del cual la característica ya no es lineal. Además, para caudales bajos se pueden dar fenómenos de inestabilidad denominados "bombeos"

c. Reguladores Pilotados Se caracterizan porque, en este caso, la presión que actúa sobre la membrana oponiéndose a la presión de salida, es proporcionada por un pequeño regulador auxiliar llamado piloto.

Estos reguladores están compuestos además del piloto y del regulador principal por un preregulador que tiene como misión que la calidad de regulación sea independiente de las variaciones de la presión de entrada proporcionando al piloto una presión modulada de valor fijo.

Existen diferentes tipos de reguladores pilotados:

De carga pilotada y descarga constante

De carga pilotada y descarga variable

De carga pilotada y descarga constante Se caracterizan por tener una parte del flujo de gas proporcionado por el piloto a una presión P_m se deriva a la salida, lo que permite, a través de la válvula de descarga, ajustar la acción proporcional.

Figura 12

Cuando el caudal aumenta, la presión de salida disminuye, y a través del tubo de impulsión hace que la membrana del piloto suba y su clapeta tiende a cerrarse, la presión motriz P_m es evacuada por el tubo de descarga sobre la salida.

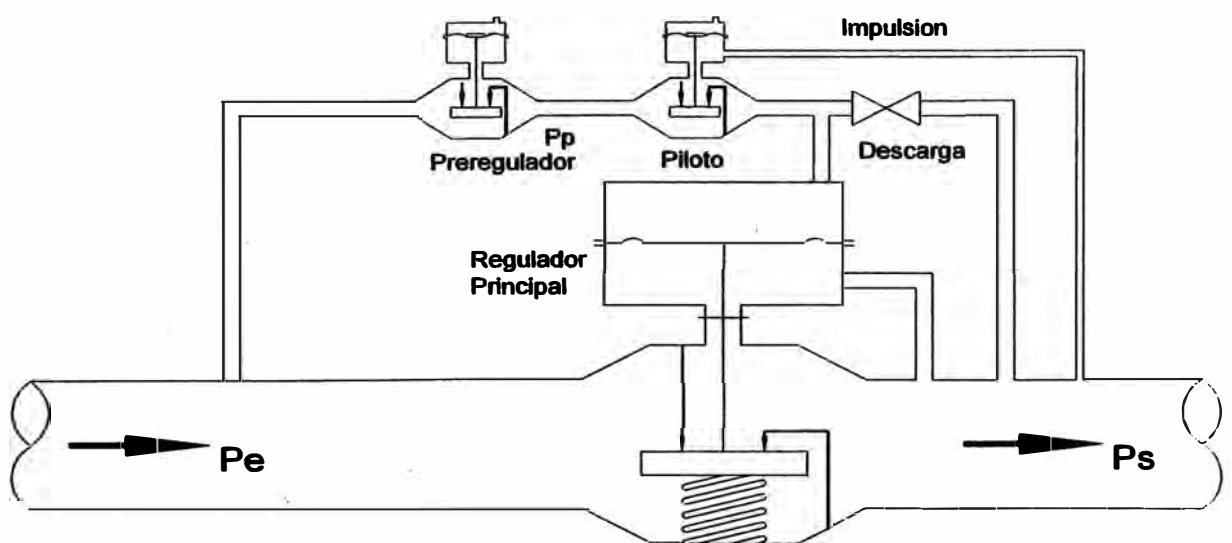


Fig.12: Regulador de carga pilotada y descarga constante

De carga pilotada y descarga variable

Se caracterizan porque sólo hay

admisión o escape de gas cuando se requiere un desplazamiento del obturador del regulador principal figura 13

Cuando el caudal aumenta, la presión de salida disminuye y a través del tubo de impulsión hace que la membrana del piloto descienda y la clapeta 1 tienda a cerrarse disminuyendo el caudal de descarga. A su vez, la clapeta 2 tiende a abrirse con lo que P_m aumenta. La membrana del regulador principal desciende y su clapeta se abre aumentando el valor de la presión de salida.

Cuando el caudal disminuye, la presión de salida aumenta y a través del tubo de impulsión hace que la membrana del piloto suba cerrándose la clapeta 2, abriéndose la clapeta 1 y, por lo tanto, descomprimiéndose la parte inferior de la membrana del piloto P_m . La membrana del regulador principal subirá igual que su clapeta, disminuyendo la presión de salida.

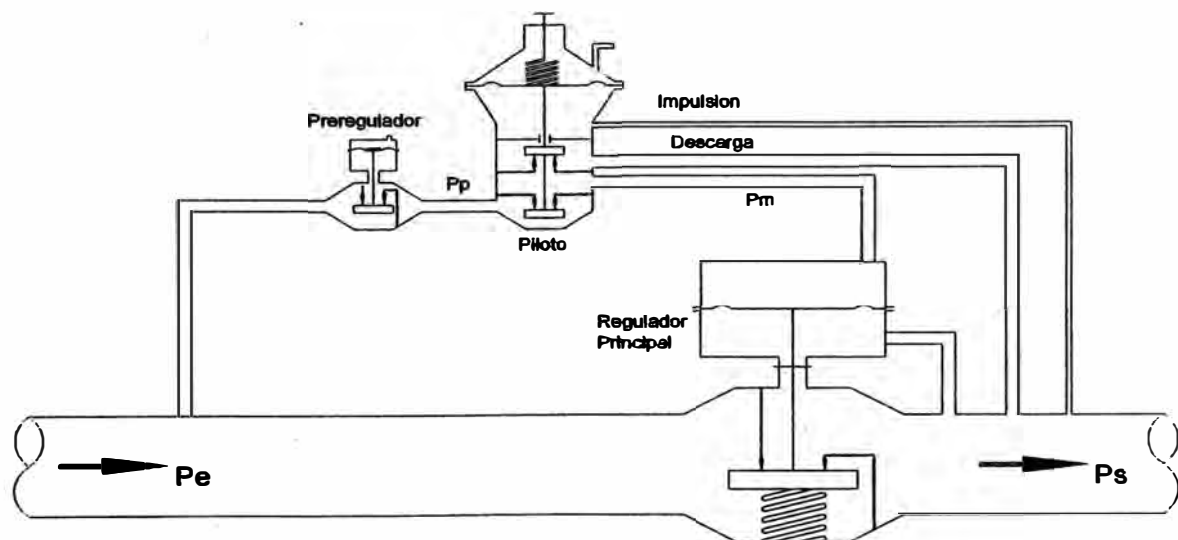


Fig.13: Regulador de carga pilotada y descarga variable

totalmente abierto, medido en scf/h o m³(n)/h respectivamente, con unas presiones absolutas de entrada de 11 psi para el primero y 11 bar para el segundo.

Presión de Salida

Posible rango de presiones a utilizar en la instalación que alimenta.

Presión de Entrada

Tanto el valor máximo como el de las condiciones más desfavorables.

Ruido

Según el lugar de su ubicación, en ciertos casos, será necesario el uso de los llamados reguladores silenciosos que proporcionan un nivel sonoro sensiblemente menor que los reguladores convencionales.

Esto se consigue con diseños especiales de la válvula de reglaje que evitan la generación del ruido o con dispositivos de insonorización que impiden la transmisión del mismo.

Además es necesario definir las exigencias que debe cumplir.

Repetibilidad

Para un valor de consigna fijado P_s y con idénticas condiciones de presión aguas arriba P_e y de caudal Q , el regulador debería dar siempre en régimen permanente la misma presión de salida P_s .

De hecho, como el aparato no es perfecto, para cada caso se obtendrán una serie de valores próximos que definen la "no repetibilidad" (Figura 15)

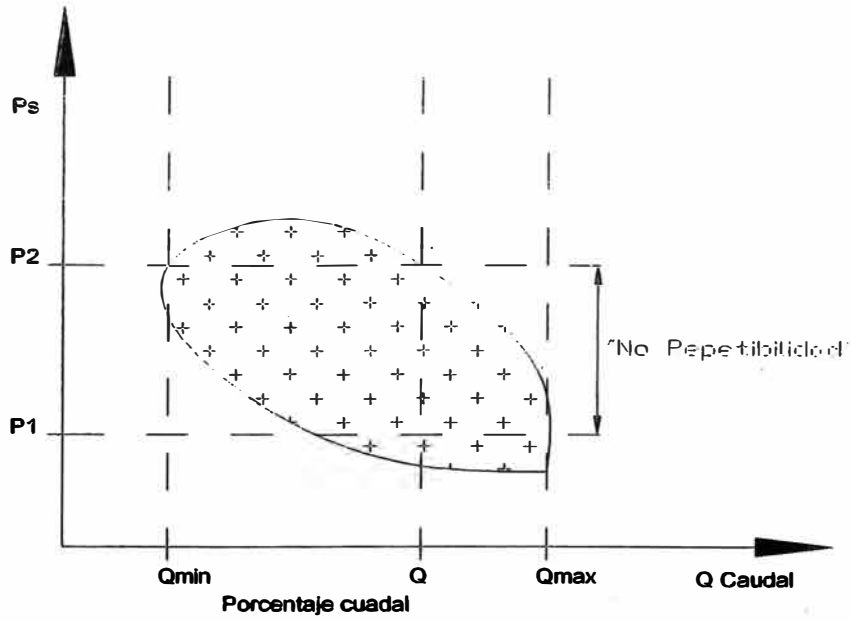


Fig.15: Repetibilidad

Precisión:

Es la diferencia entre los valores máximos y mínimos de la presión regulada en régimen permanente para un punto de consigna P_s del aparato, cuando se varía la presión de entrada P_e y el caudal Q entre los límites del campo de trabajo del mismo. (Figura 16)

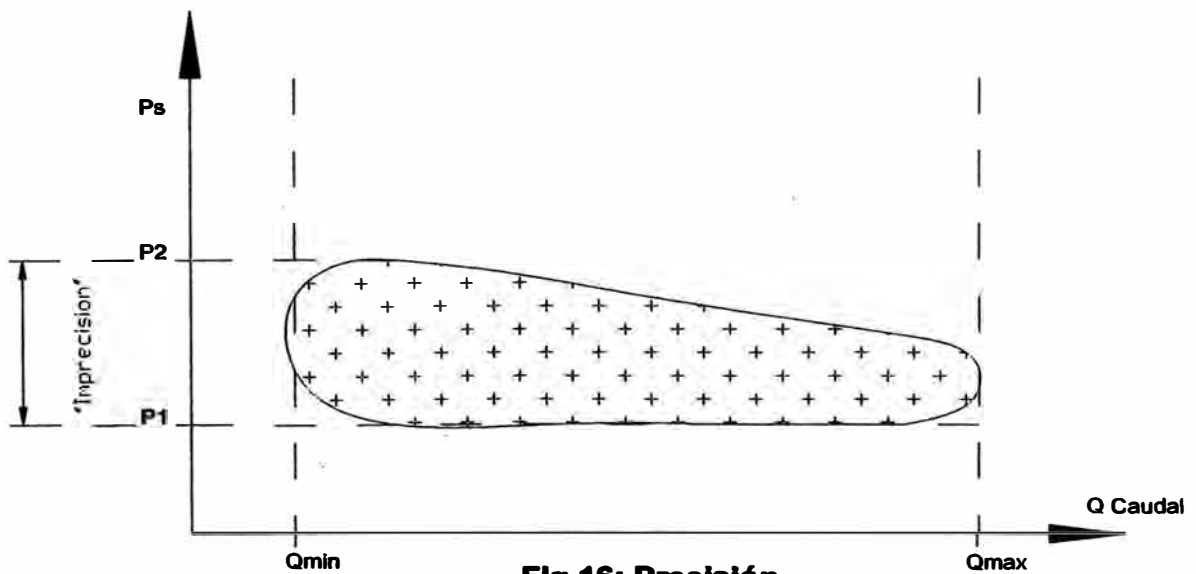


Fig.16: Precisión

3.1.1.3 Válvula de interceptación de seguridad:

Tiene como función principal interceptar el paso del gas en el caso de un exceso de presión aguas abajo del regulador, protegiendo así la red e instalaciones internas.

Se sitúa antes del regulador, pudiendo estar no obstante, incorporada en la entrada del mismo con toma de control de la presión a la salida del regulador. Pueden asimismo actuar por detección de mínima presión.

El cierre se asegura por resorte o contrapeso y debe ser rearmada manualmente, con el objeto que haya intervención humana y control de las causas del cierre.

El funcionamiento de la válvula es:

Por exceso de presión en la salida: Como puede verse en el esquema de la figura 17, cuando la presión en la salida aumenta, la membrana (13) se deforma hacia abajo empujando el eje (14) que le es solidario y a la guía cilíndrica (15). El muelle (R) se comprime. Si la presión sobrepasa el punto de consigna de máxima, regulado por la tuerca (16); el rodillo (17), fijado sobre el eje (14) empuja al rodillo (S) que le es perpendicular. Este último libera entonces los gatillos (18) y (19).

El obturador de la válvula de seguridad (20) es entonces empujado por el muelle (21) contra su asiento.

Por falta de presión en la salida Cuando la presión en la salida disminuye, la membrana (13), empujada por el muelle (r), se deforma hacia arriba.

Si la caída de presión supera el punto de consigna de mínima, regulado sobre este muelle por el tomillo (22), el rodillo (23) empuja al rodillo (5), que libera los gatillos (18) y (19), provocando el cierre de la válvula de seguridad.

Para volver a rearmar nuevamente el dispositivo, es necesario maniobrar sobre la palanca (24).

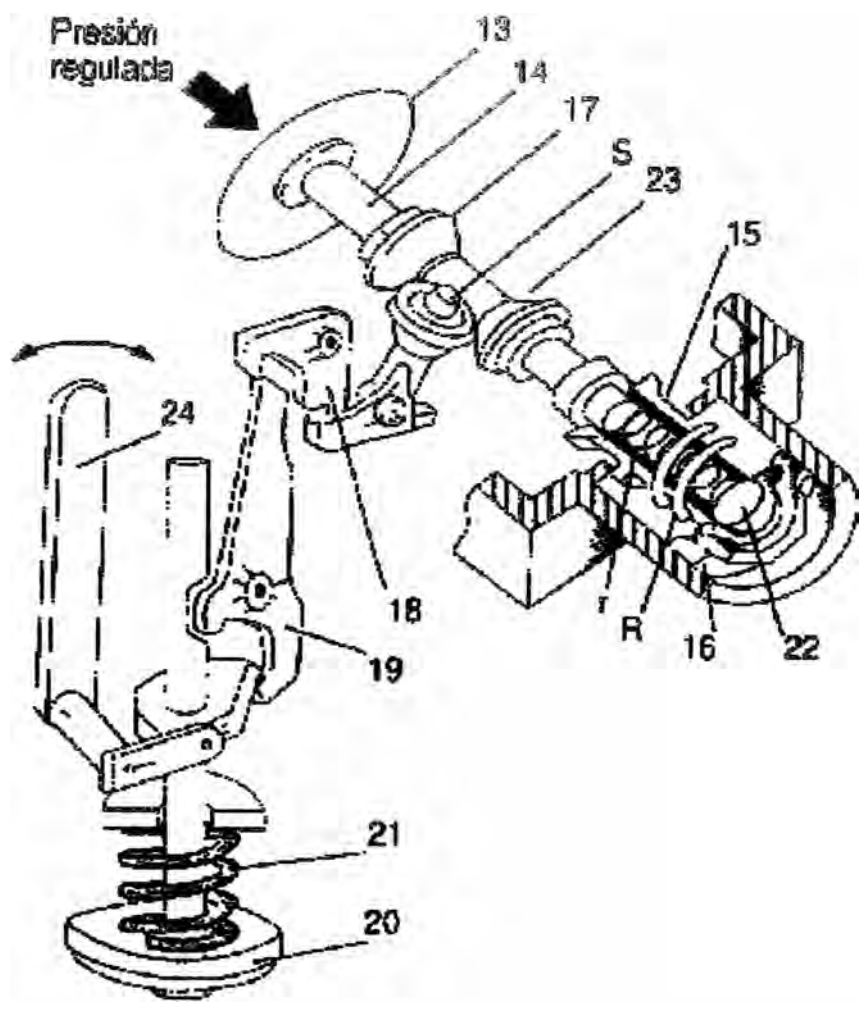


Fig.17: Esquema de válvula de Intercepción por seguridad

3.1.1.4 Válvula de seguridad por alivio

Su finalidad es evitar sobrepresiones que se puedan producir después de a línea de regulación, por eventuales fallos en el funcionamiento del regulador principal y de la válvula de interceptación de seguridad.

En las denominadas de tipo resorte la presión del gas actúa sobre un obturador, oponiéndose a dicha presión la actuación de un resorte debidamente setsado.

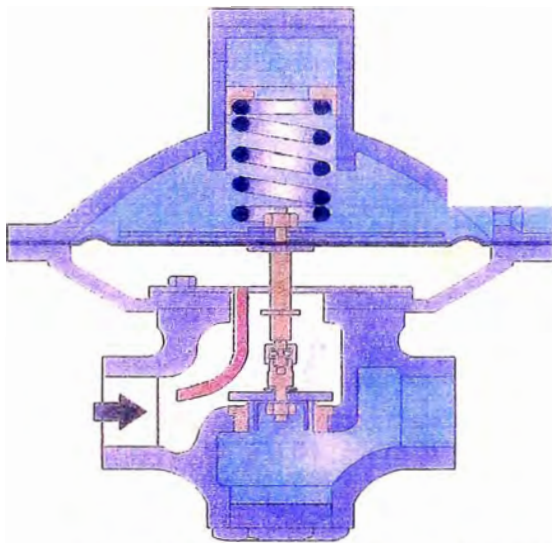


Fig. 18: Esquema de la Válvula de Seguridad por Alivio

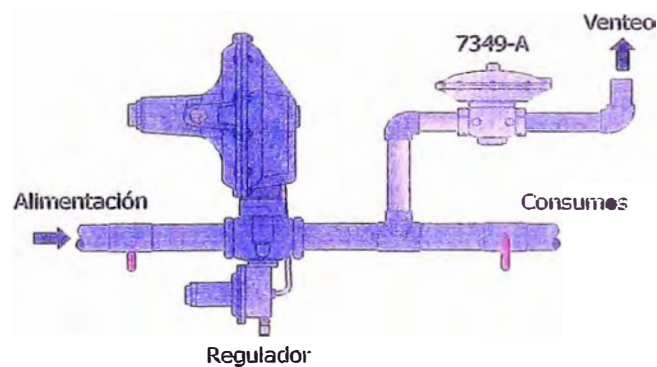


Fig. 19: Esquema de Instalación de la Válvula de seguridad por alivio

También se utilizan las pilotadas y en este caso la energía necesaria para la apertura es aportada por un piloto que compara la presión de salida con la tensión del resorte de seteo.

3.1.1.5 Medidores de Caudal

La medida de caudal es muy importante en la mayor parte de operaciones realizadas en los procesos industriales. La cantidad de fluido que pasa por el medidor viene determinada por los contadores. Se destacan a continuación los más usuales:

- **Deprimógenos**
- **Turbinas**
- **Vortex**
- **Paredes Deformables**
- **Pistones Rotativos.**

La clasificaciones de los medidores de caudal puede hacer en tres tipos, los volumétricos como el de paredes deformables y pistones rotativos que determinan el caudal en volumen del fluido, los no volumétricos como los deprimógenos, turbinas y vortex que determinan el caudal mediante la medida de una variable auxiliar y los de masa que determinan el caudal másico del fluido.

Los rangos de medida normalizados para los contadores en general se representan con la letra G de acuerdo con la tabla 2 en la que se relaciona el valor G y el caudal máximo en m³/h. el valor de caudal mínimo y por tanto la dinámica del contador es característica de cada modelo.

Tabla 2.- Relación entre el valor G y el caudal máximo en m³/h

Designación G	Qmax m³/h
1.6	2.5
2.5	4
4	6
6	10
10	16
16	25
25	40
40	65
65	100
100	160
160	250
250	400
400	650
650	1000
1000	1600
1600	2500

3.1.1.5.1 Tipos de Medidores

A continuación detallaremos los mas utilizados de cada tipo en la industria nacional, estos son:

- a) Tipo Volumétrico – Pistones Rotativos
- b) Tipo No Volumétrico – Turbinas

a) Tipo Volumétrico – Pistones Rotativos

Los instrumentos medidores volumétricos de pistones rotativos o cicloidales están basados en la integración de volúmenes separados de fluido.

Estos medidores dependen de dos lóbulos en forma de ocho. Los lóbulos giran al pasar el gas natural, de manera que, durante su rotación, cada uno de ellos aísla

entre él y el cuerpo un volumen fijo de gas, que es evacuado a través de la salida del contador. Los contadores rotativos son adecuados para controlar caudales importantes de gas, por ello su aplicación industrial.

La presión de los contadores de pistones según UNE 60510 debe ser de $\pm 1\%$ y por debajo de $0.2 Q_{max}$ debe ser de $\pm 2\%$. La precisión de los

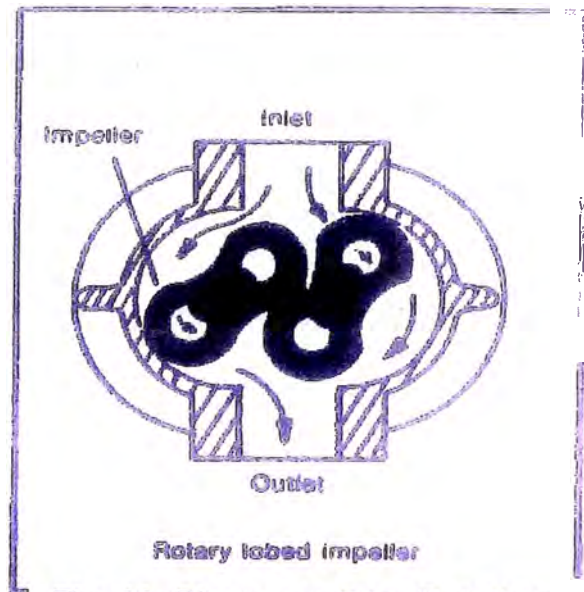


Fig. 20: Planta medidor Rotativo

contadores de paredes deformables es la misma que la especificada para los de pistones.

En 1994 se presentó un nuevo diseño de contadores de pistones rotativos, cuya principal característica es que los pistones estaban alojados en un cartucho extraíble, el cual era a su vez la cámara de medición en vez del cuerpo como había sido tradicionalmente.

Esta característica permitió eliminar las repercusiones en la medición, debido a las tensiones de las tuberías de la ERM, y entre otras ventajas, la de aumentar la relación de caudal máximo/mínimo de 20/1 a más de 100/1, llegándose incluso de 150/1, como también la de incorporar un by-pass interno para dar continuidad de suministro en caso de bloqueo.

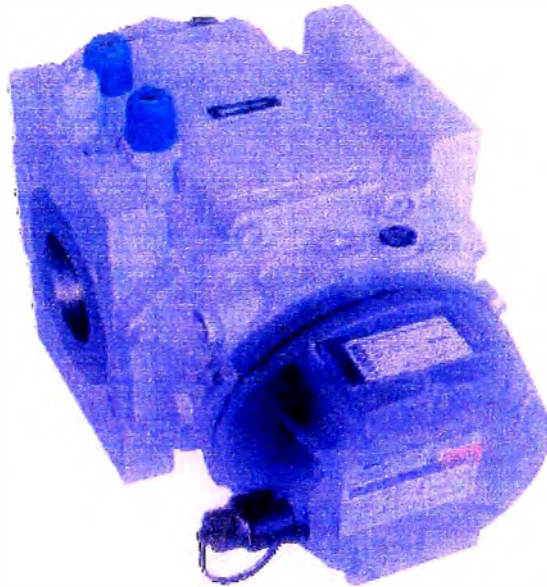


Fig. 21: Medidor Rotativo

b) Tipo No Volumétrico – Turbinas

Se denominan turbinas y constan de un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad angular directamente proporcional al caudal.

La transmisión de giro del rotor puede hacerse directamente mediante un tren de engranajes y un acoplamiento magnético a un contador exterior, o bien mediante convertidores de reluctancia e inductivos.

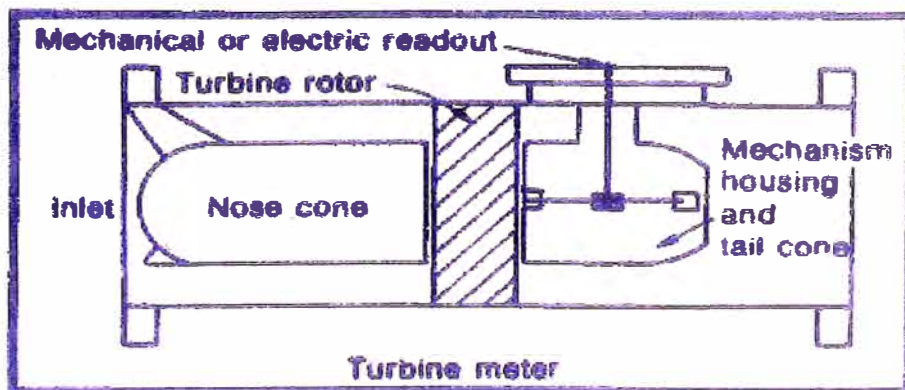


Fig. 22: Esquema Medidor Turbina

En el convertidor de reluctancia, el paso de cada pala varia la reluctancia de un campo magnético cambiando el flujo de una bobina captadora e induciendo una corriente alterna, que es proporcional al giro de la turbina. En el convertidor inductivo el rotor lleva incorporado un imán permanente y el campo magnético giratorio que se ocasiona induce una corriente alterna en una bobina captadora exterior.

Dos limitaciones del contador turbina son la viscosidad del fluido y el arrastre de sólidos por parte del fluido. Cuando la viscosidad del fluido es elevada, el fluido se mueve más lentamente en las paredes que en el centro del medidor, por lo cual, las

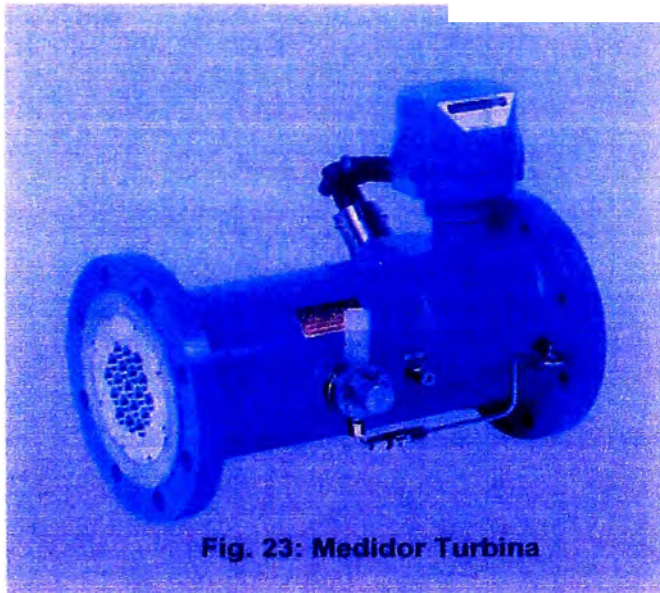


Fig. 23: Medidor Turbina

puntas de las palas no pueden girar a mayor velocidad. El arrastre de sólidos se soluciona con filtros dispuestos aguas arriba de la turbina.

La precisión es elevada del orden del $\pm 0.5\%$ / $\pm 1\%$. El sistema requiere la instalación del elemento en un tramo recto de la tubería unos 5 diámetros aguas arriba y unos 3 diámetros aguas abajo como mínimo, al objeto de conseguir en la medición, un régimen laminar. En los casos en que sea imposible respetar estas distancias y en cualquier caso para mejorar la medida se recomienda la instalación en tramo recto de enderezadores de flujo ubicados aguas arriba o incorporados en la entrada del propio contador.

3.1.1.6 Correctores de Volumen por Presión y Temperatura.

La corrección de volumen es necesaria para pasar el gas a condiciones normales y presión y temperatura.

La determinación del caudal consumido en las condiciones de referencia, a partir del valor de las variables que intervienen en la fórmula de los gases perfectos es:

$$V_c = (V \cdot P \cdot T_r) / (P_r \cdot T) \times Z_r / Z$$

En la que:

V_c: Volumen en condiciones normales, expresado en m³ (n)

V: Volumen contabilizado por contador, en m³

P: Presión absoluta de servicio.

T_r: Temperatura de referencia.

P_r: Presión de referencia 1.01325 bar.

T: Temperatura en grados Kelvin

Z_r: Factor de compresibilidad en condiciones de referencia (273.15K y 1.0132 bar.)

Z: Factor de compresibilidad en condiciones de medida (P bar. y T K)

La norma UNE 60.520-88 define las características a cumplir por los

correctores.

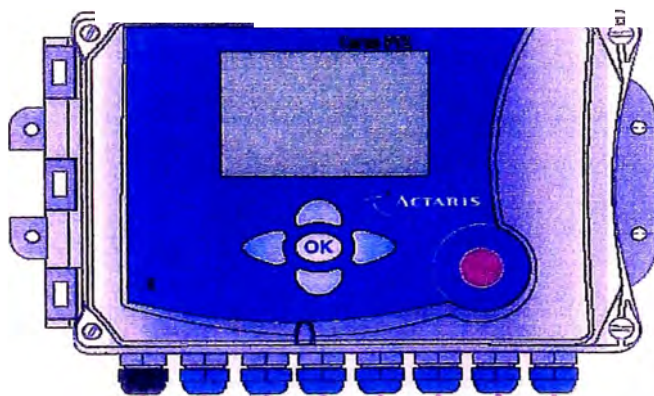


Fig. 24: Corrector de Volumen

Los correctores de volumen de gas pueden ser de dos tipos:

- a) Correctores Mecánicos:
- b) Correctores electrónicos

Los correctores mecánicos con errores máximos admisible de 1.5%, actualmente no se utilizan y han sido desplazados por los correctores electrónicos, los cuales se pueden clasificar en las siguientes clases:

Clase	Error máximo admisible (% sobre el valor medido)
A	± 1.00
B	± 0.75
C	± 0.50

El corrector de caudal es un computador capaz de captar señales de salida de los elementos deprimógenos, turbinas, tubo de Pitot, tubo Annubar, valores de la densidad y presión y temperatura, realizar los correspondientes cálculos de corrección y determinar el caudal volumétrico compensado, o el caudal en peso, o el caudal energético.

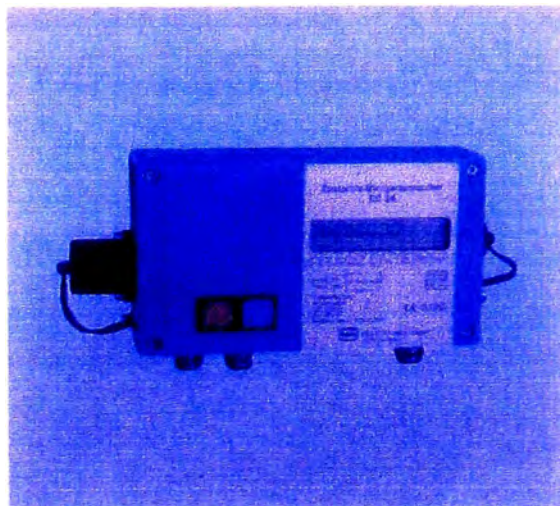


Fig. 25: Corrector de Caudal

3.1.1.7 Válvulas

Además de los componentes antes descritos debemos mencionar también las válvulas utilizadas en las estaciones de regulación primaria y medición primaria así como en instalaciones internas industriales, los tipos de válvulas comúnmente utilizadas son:

- a) Válvulas Esféricas
- b) Válvulas Mariposa

a) Válvulas Esféricas: Estas válvulas se denominan también válvulas de $\frac{1}{4}$ de vuelta o de cierre rápido, las válvulas que se utilizan en una instalación interna y/o en el diseño de una estación de regulación primaria y medición primaria deben cumplir con las siguientes normas:

Diseño: Deben estar de acuerdo a API 6D – ASME B5 5351 - ANSI 16.34

Extremos: De acuerdo a ANSI B 16.5

Largo: De acuerdo a ANSI B.16.10

Ensayo Antifuego: De acuerdo a API 607

De acuerdo a la presión a la que se utilizara podrán ser de clase S150, S300 o S600, comúnmente se utilizan las válvulas clase S150 de acuerdo con las presiones de suministro que establece la distribuidora.

Existen 4 tipos de válvulas esféricas principales, estos son:



Fig. 25: Válvula de Cuerpo Partido y Esfera Flotante



Fig. 26: Válvula de Cuerpo Unitario y Esfera Flotante



Fig. 27: Válvula de Cuerpo Partido y Esfera Guiada



Fig. 28: Válvula de Cuerpo Unitario y Esfera Guiada.

b) Válvula Mariposa: Estas podrán usarse en el lado de baja presión de la estación, esto es después del regulador, y dentro de la instalación interna.

Las características recomendadas serán:

Cuerpo: Hierro Fundido (Fundición Nodular) ASTM A536 Gr. 65-45-12

Disco: Acero inoxidable ASTM A351 gr CF8M

Asiento: Buna N

Clase: 125/150



Fig. 28: Válvula mariposa

3.1.2 Tipos de Estaciones de Regulación y Medición:

Hemos revisado anteriormente todos los componentes por separado de las instalaciones internas industriales así como de la estación de regulación y medición primaria, ahora vamos a ver el conjunto de la ERMP y los tipos que existen.

Existen 3 tipos principales de Estaciones de Regulación y medición primaria utilizados en nuestro medio, estos son:

- a) **Estación de Medición y Regulación de Simple Ramal**
- b) **Estación de Medición y Regulación de Doble Ramal**
- c) **Estación de Medición sin regulación.**

La elección del tipo mas apropiado de estación para una industria en particular, dependerá de:

- ✓ **Nivel de seguridad de suministro que se requiera.**
- ✓ **Aspecto Económico.**
- ✓ **Presión de la red externa.**

3.1.2.1 Estación de Medición y Regulación de Simple Ramal

En este caso el esquema típico es como lo muestra la figura 29, vemos que consta de un solo ramal de filtración y regulación, el filtro tiene un by-pass para mantenimiento, la válvula de bloqueo por sobre presión puede estar o no incorporada en el regulador de presión. Por lo general este tipo de estaciones se usan para consumos industriales pequeños y medianos.

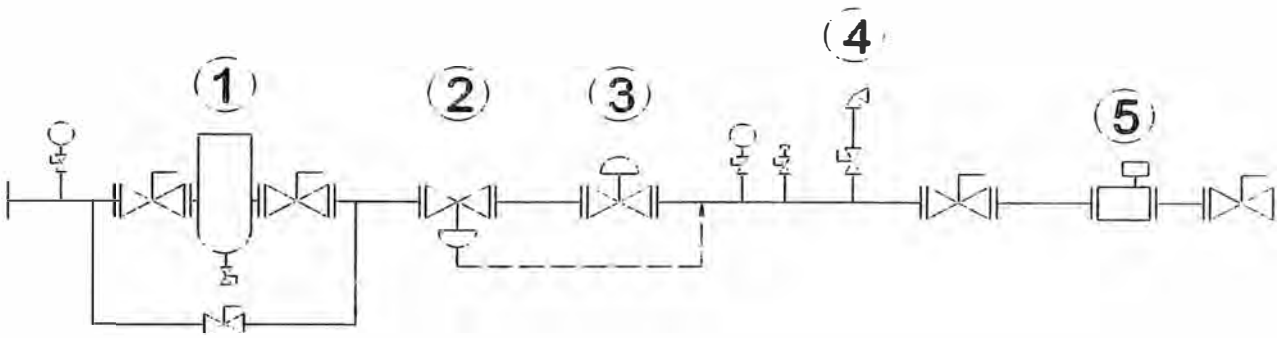


Fig. 29: Estación de Medición y Regulación de Simple Ramal

Ante una emergencia por una sobrepresión en la salida del regulador de presión (3), se activa la válvula de alivio por sobrepresión (4), si el flujo de esta restablece la normalidad de la operación, el regulador siguiera entregado el caudal determinado a la presión seteada; si por el contrario la sobrepresión es tal que sobrepasa la capacidad de la válvula de alivio, el incremento de la presión obligara a actuar a la válvula de bloqueo (2), con lo que se cortará el suministro de gas a la instalación.

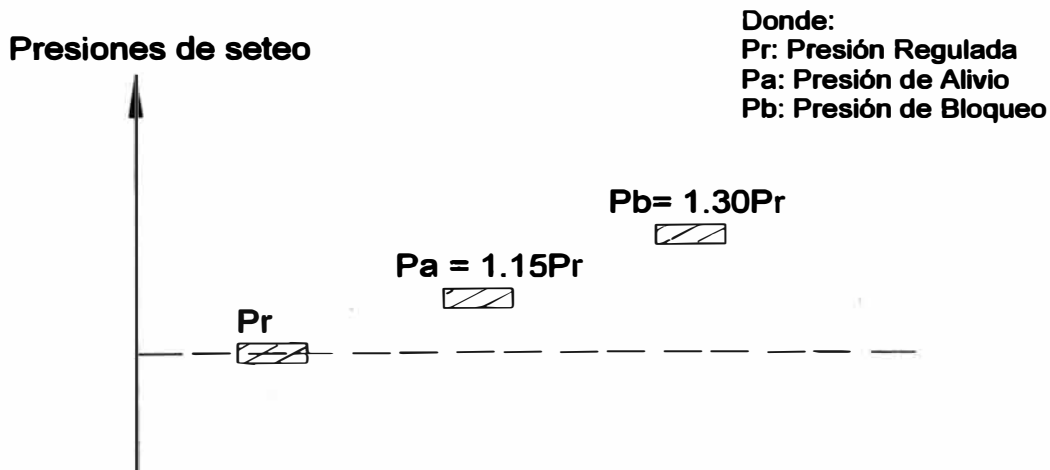


Fig. 30: Presiones de Seteo

3.1.2.2 Estación de Medición y Regulación de Doble Ramal

En este caso notamos, según la figura que existen 2 ramales de filtración y regulación y uno de medición, en este caso el medidor tiene un by-pass para mantenimiento.

Se tiene para esta configuración 2 ramales de regulación, uno llamado activo y otro llamado monitor, ambos se encuentran operativos durante el normal funcionamiento de la estación.

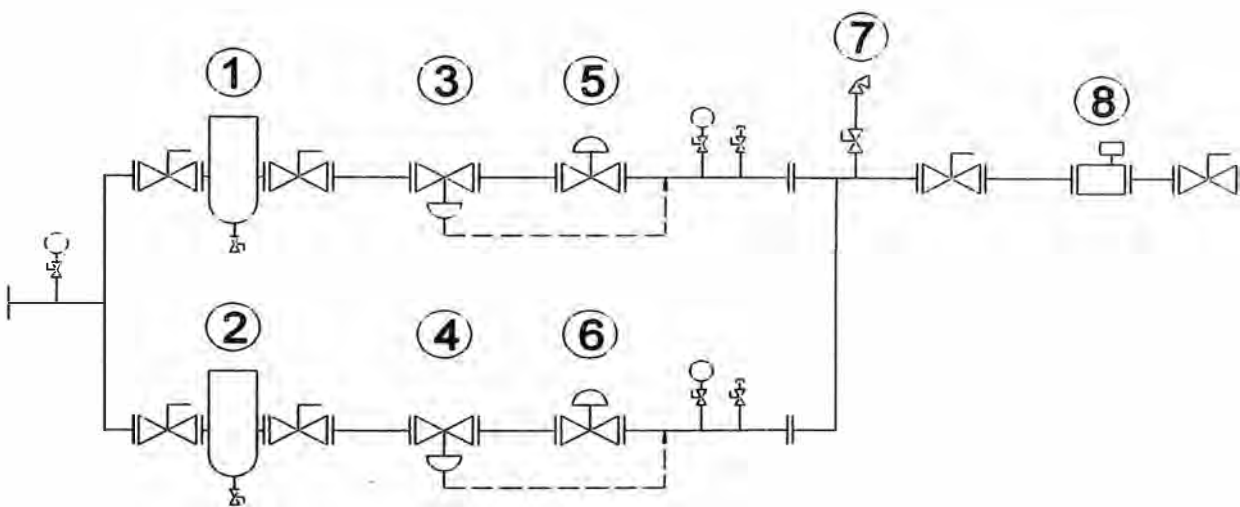


Fig. 31: De Doble Ramal

La secuencia de operación es la siguiente:

El regulador activo (5) está seteado a una presión mayor que el regulador monitor (6), de esta manera el regulador monitor permanece cerrado por su obturador cuando el regulador activo está operando, vale recalcar que cada uno de los reguladores puede abastecer por sí solo el consumo de la instalación.

Ante una sobre presión a la salida del regulador activo (5), la válvula de bloqueo de éste (3) se activa en primera instancia bloqueando de esta manera el regulador activo, puesto que el consumo de la instalación continúa hay una reducción de la presión hasta el valor de seteo del regulador monitor (6), presión a la cual la instalación continuará operando en caso desaparezca la sobre presión.

3.1.2.3 Estación de Medición sin regulación.

Este caso sólo se da cuando la distribuidora lo permite y cuando la presión de la red externa esta en 3 bar como máximo.

En este caso se puede presentar la opción de tener simple o doble ramal de filtración.

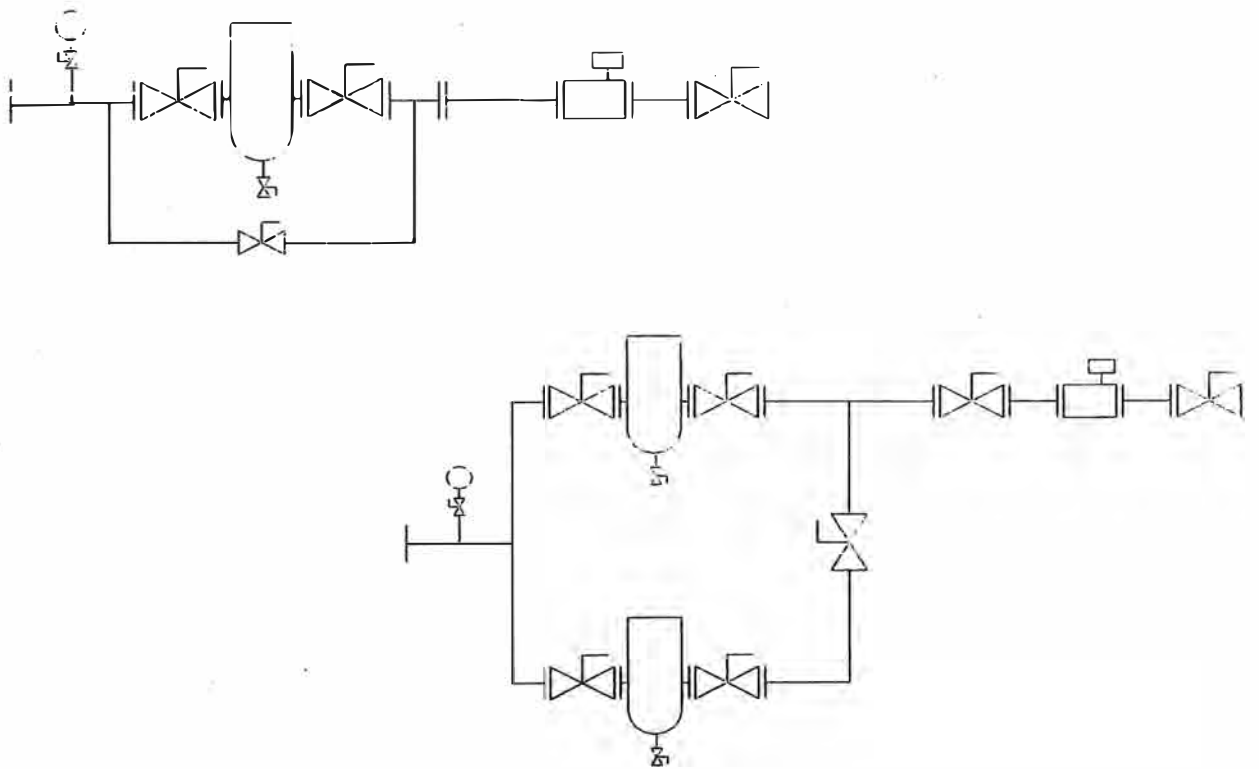


Fig. 33: Estación de Medición de Doble y Simple Ramal

3.2 Red Interna de tuberías.

La red interna de Gas Natural contempla la instalación de toda la red de tuberías que alimentaran de Gas Natural desde la ERPMP hasta cada uno de los trenes de válvulas ubicados antes de cada uno de los equipos que consumen gas, incluyendo las estaciones de regulación y medición secundarias.

Para el diseño de la red interna de gas natural se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

En la red se instalará una válvula de corte general para poder cortar el suministro de gas natural a toda la planta (válvula de corte general), así como válvulas para aislar cada uno de los equipos de combustión y válvulas de sectorización. Estas válvulas son parte del sistema de seguridad que se contempla en caso de fuga de gas natural con o sin fuego, en casos de mantenimiento, o en los casos donde amerite (a criterio del usuario) el cierre de las mismas.

Para el dimensionamiento de la red interna de gas natural se toma en cuenta las capacidades y la ubicación de los diferentes equipos de combustión. Toda la instalación está dimensionada para conducir el caudal requerido por los equipos y las ampliaciones futuras previstas, teniendo en cuenta las limitaciones en la pérdida de carga y velocidad.

Los elementos de la instalación aguas abajo de los reguladores de la ERPMP se han diseñado considerando la presión máxima a que puedan estar sometidos teniendo en cuenta el valor de las sobrepresiones que puedan ocurrir ante defectos de funcionamiento de las respectivas válvulas de regulación, y la acción de los sistemas de protección previstos (válvulas de seguridad por alivio o por bloqueo) en la ERPMP.

Los tramos de la red interna de tuberías de gas natural comprendidos entre dos etapas de regulación se han calculado teniendo en cuenta que la máxima caída de presión permisible es del 20 % de la presión regulada al comienzo de dichos tramos.

Los tramos de la red interna de Gas Natural que alimentan directamente equipos de consumo de gas natural, se han calculado de tal manera que la caída de presión entre el regulador que los abastece y el equipo de consumo de gas no exceda el 10 % de la presión regulada.

En la red interna de gas natural no se deberá superar 30 m/seg. La presión mínima obtenida en el extremo de la red es ampliamente suficiente para que los reguladores previstos puedan entregar sus caudales nominales.

Para el cálculo de caída de presión (perdida de carga) se usan las siguientes fórmulas:

Para presiones de 0 a 50 mbarg la fórmula de Poole

$$Q = \sqrt{\frac{D^5 \times h}{2 \times S \times l}}$$

Donde:

Q: caudal en m³/h (condiciones estándar)

D: diámetro en cm.

h: pérdida de carga en mm. de columna de H₂O

S: densidad relativa del gas

l: longitud de tubería en metros, incluyendo la longitud equivalente de los accesorios que la componen.

Para presiones mayores a 50 mbarg se calcularán según la fórmula de Renouard que relaciona de un modo práctico las pérdidas de carga cuadráticas con los caudales circulantes, las distancias recorridas por el gas, sus características físicas, y los diámetros de las tuberías., valida para: $Q/D < 150$

$$P_A^2 - P_B^2 = 48600 \times S \times L \times \frac{Q^{1.82}}{D^{4.82}}$$

Donde.

- P_A y P_B : presiones absoluta en ambos extremos del tramo, en kg/cm²
- S : densidad relativa del gas.
- L : longitud del tramo en km, incluyendo la longitud equivalente de los accesorios que la componen.
- Q : caudal en m³/h (condiciones estándar)
- D : diámetro en mm.

Para el cálculo de velocidad del fluido se utilizara la siguiente fórmula:

$$V = \frac{365.35 \times Q}{D^2 \times P}$$

Donde:

- V: Velocidad lineal
- Q: Caudal en m³/h (condiciones estándar)
- P: Presión Absoluta de calculo, en Kg/cm²
- D: Diámetro interior de la tubería, en mm

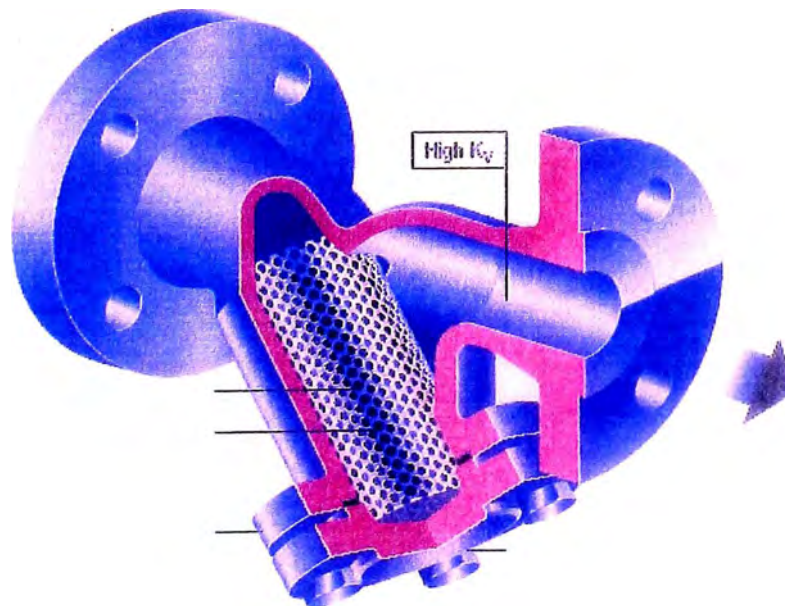
3.3 Estaciones de Regulación Secundarias

Las estaciones de regulación

secundaria son aquellas que están se encuentran dentro de la instalación y que tienen por objetivo reducir la presión desde el valor de salida de ERMP hasta la presión requerida en el tren de válvulas de los equipos de combustión, por lo general las presiones de salida de las Estaciones de Regulación Secundaria están comprendidas entre 20 y 300 mbar, dependiendo esto del tren de válvulas de los equipos de combustión.

Los elementos utilizados en las estaciones de regulación secundaria son en principio los mismos anteriormente descritos para las ERMP, sin embargo hay algunos elementos que pueden o no ser utilizados dependiendo de la capacidad del equipo:

3.31 Filtros: Para el caso de estaciones de regulación secundaria se acepta el uso de filtro tipo Y o strainers, Antes del regulador, el uso de filtros tipo cartucho es opcional y se deben utilizar siempre y cuando se tenga un medidor tipo rotativo para el equipo de combustión.



3.3.2 Válvula de Alivio por sobrepresión: El uso de una válvula de alivio por sobrepresión se debe considerar en una estación de regulación secundaria cuando se tenga consumos mayores a 400 m³/h, en este caso hay que destacar que algunas legislaciones en otros países no permiten el uso de estas válvulas en aplicaciones internas, esto para evitar la emisión de CH₄ al ambiente de manera continua, como política medio ambiental, para esto se dimensiona un tramo de la tubería entre el regulador y el tren de válvulas de tal manera que se pueda absorber las sobrepresiones y no se active el bloqueo de los reguladores ni se tenga necesidad de instalar una válvula de alivio.

CAPÍTULO 4

QUEMADORES A GAS NATURAL

El quemador es la componente de un sistema de combustión, que tiene por función, mezclar homogéneamente el aire de combustión y el gas, y proporcionar una mezcla gas / aire para una continua y correcta ignición.

4.1 Características de un Quemador:

4.1.1 Turndown: El rango de capacidad máximo y mínimo en el cual un quemador puede operar es especificado por el *turndown*; éste es una relación entre la máxima y mínima capacidad de salida de un quemador con el que este puede operar satisfactoriamente. Para cualquier quemador con un orificio de aire fijo, el *turndown* es también la raíz cuadrada de la relación entre la máxima y mínima caída de presión a través del orificio. Por ejemplo si la máxima presión de suministro es 22 mbar y la mínima es 0.6 mbar, entonces el turndown es $\sqrt{22/0.6} = 6$ a 1.

La máxima capacidad de salida es limitada por el fenómeno de “despegue” de la llama, el cual resulta cuando la velocidad de la mezcla gas aire excede la velocidad de la llama, y por el costo de los equipos para desarrollar altas presiones. La mínima capacidad de salida es limitada por el fenómeno de retroceso de llama, el cual resulta cuando la velocidad de la llama excede la velocidad de la mezcla y por el mínimo flujo con el cual el control del equipo puede trabajar. Estas limitaciones son aplicadas a los quemadores tipo premezcla pero no a los quemadores tipo “nozzle mix”.

Un alto *turndown* es particularmente importante en los hornos tipo *batch* donde se requiere un alto ingreso de calor durante el calentamiento inicial o inmediatamente después de cargado, pero donde este alto requerimiento de calor no es usado durante el ciclo de calentamiento. Considerablemente menos *turndown* es necesario para el proceso continuo que cuando se requiere iniciar desde frío.

4.1.2 Estabilidad: Es otra importante característica de un quemador. Un quemador estable es aquel que mantiene la ignición cuando está frío y a presiones y ratios comúnmente usados.

4.1.3 Forma de Llama: Dado un quemador, un cambio en las variables operativas como la presión de mezcla o el aire primario afectarán la forma de la llama. Para la mayoría de quemadores un incremento en la presión de mezcla producirá una llama más larga, y una reducción en el porcentaje de aire primario reducirá la longitud de la llama. El espesor de la llama es reducido por altas presiones de la cámara y quemadores de alta velocidad.

El diseño del quemador, el cual determina la velocidad relativa del combustible y el aire tiene mucho más efecto sobre la longitud de la llama y su forma que cualquier otra variable operativa.

Una buena mezcla, producida por un alto grado de turbulencia y altas velocidades, producen una corta y espesa llama cuando la mezcla es pobre y bajas velocidades dan como resultado llamas largas y laminares.



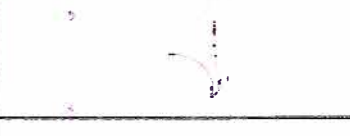
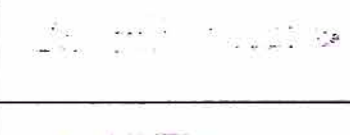
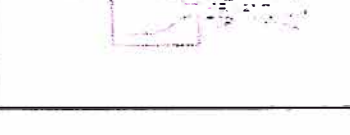
Forma	Tipo de Llama	Velocidad (fuerza de la llama)	Recirculación	Descripción	Ratio de Mezcla
	Llama convencional adelantada	caída nula, solo en el centro	poca	axial	moderada
	llama lanza ancha	poca	entre el aire primario y secundario	jet principal penetrante y jet secundario flujo reverso	moderada
	Llama plana	muy alto	minima	radial contenida por las paredes del refractario	rapida
	larga luminosa	ninguna	ninguna	alta velocidad de gases	mazda retrazada
	Alta Velocidad	bajo	pequeña escala internamente, grande escala externa	flujo contenido por bloque refractario y la forma del quemador dentro y fuera de este	rapida

Fig. 1.- Tipos de forma de Llama

4.2 Tipos de quemadores.

Podemos clasificar a los quemadores en dos grupos:

- Quemadores que no requieren aire inducido por un ventilador.
- Quemadores que requieren aire inducido por un ventilador.

En el primer grupo tenemos los quemadores atmosféricos y todas sus variedades, y en el segundo grupo podemos aun dividir más la clasificación:

Quemadores de Premezcla

Quemadores de Mezcla en Tobera o Nozzle Mix

Quemadores Tipo Paquete

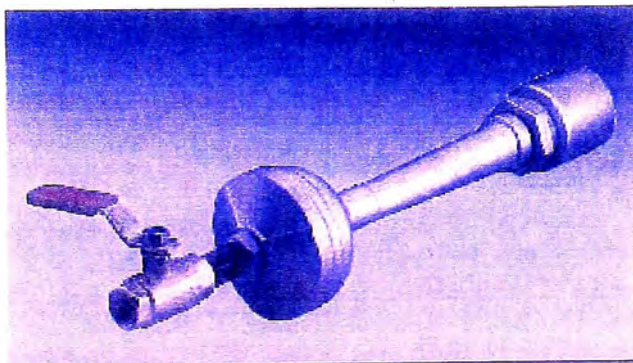


Fig.2.- Quemador Atmosférico



Fig.4.- Quemador Nozzle Mix

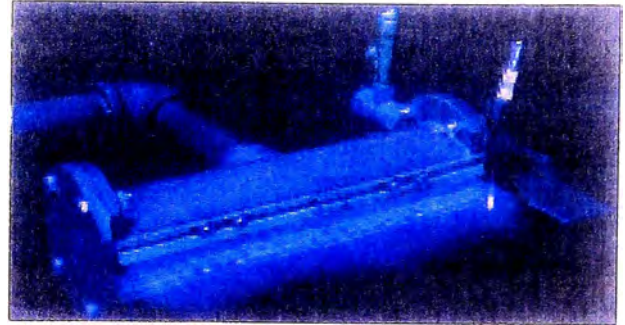


Fig.-3 Quemador de Premezcla

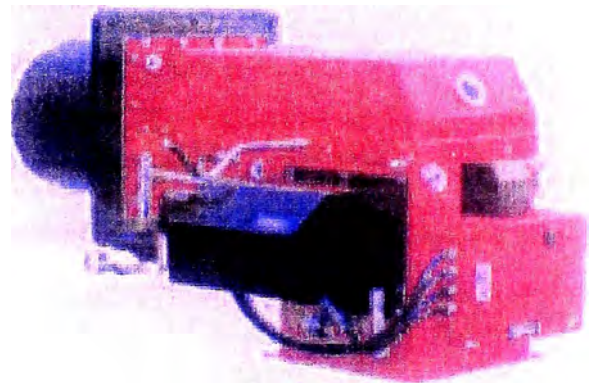


Fig. 5.- Quemador Tipo Paquete

Notamos que de acuerdo a como se induce la mezcla aire combustible se puede clasificar los distintos tipos de quemadores, es por eso que expondremos a continuación las formas más comúnmente utilizadas para formar una mezcla combustible, la mezcla combustible se realiza en elementos denominados "mezcladores" o "mixer".

4.2.1 Mecanismos de Mezcla Aire Gas

Estudiaremos de acuerdo a la forma como se realiza la mezcla los tipos de quemadores antes expuestos, comenzaremos por los que utilizan mezcladores atmosféricos y de premezcla, y luego estudiaremos los quemadores de mezcla en tobera o nozzle mix, los quemadores tipo paquete se expondrán de manera sencilla y no se profundizara mucho en el presente trabajo.

Hay que tener en cuenta que existen 5 formas por las que se puede mezclar total o parcialmente el gas con el aire para formar la mezcla combustible.

Estas son:

- a) La energía cinética contenida en la presión del gas produce la mezcla.
- b) La energía cinética contenida en la presión del aire produce la mezcla.
- c) La combinación de la presión del gas y del aire son usados para producir la mezcla.
- d) El gas y el aire se mezclan justo en la cabeza del quemador. (Nozzle Mix)

A continuación expondremos los 3 primeros casos para quemadores tipo atmosféricos y premezcla.

4.2.1.1 La energía cinética contenida en la presión del gas produce la mezcla.

La energía en el gas es utilizada para inducir el aire primario en proporción al flujo de gas. El aire requerido para la combustión es inyectado debido a la alta velocidad del gas, en este caso no se requiere de ventiladores o sopladores.

En la industria estos quemadores se clasifican en 2 tipos:

Quemadores Atmosféricos de baja presión de gas

Quemadores de alta presión de aspiración.

Quemadores Atmosféricos de baja presión de gas:

Estos quemadores operan con presiones de gas entre 5 y 25 milibares, utilizando estas presiones para inducir o aspirar una proporción de aire necesario para la combustión.

Un ejemplo de este tipo de quemadores es el comúnmente utilizado en las aplicaciones domésticas donde el gas se suministra a baja presión, el cual pasa a través de una tobera para arrastrar el aire requerido para la combustión, luego la mezcla llega hasta la boquilla para la ignición.

El total del aire atmosférico aportado debido al arrastre suma usualmente entre el 40 y 60% del total de aire requerido para la combustión completa del gas, el resto del aire es aportado debido al arrastre de la llama en la punta del quemador.

Es por esta característica, que en una instalación u operación de un quemador atmosférico, se debe asegurar que exista suficiente aire para mantener la llama, debido a que la mezcla

de gas y aire que sale de la boquilla del quemador no es suficientemente rica para la combustión.

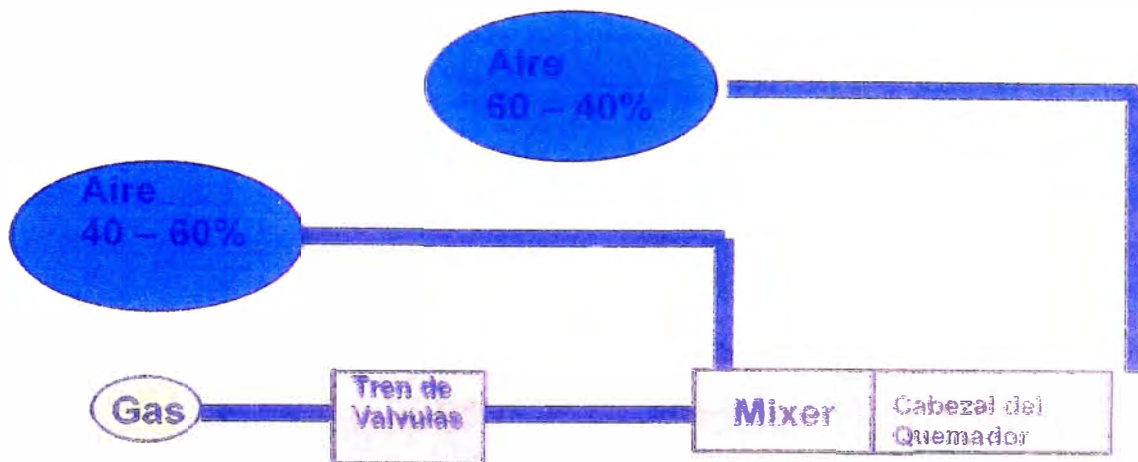
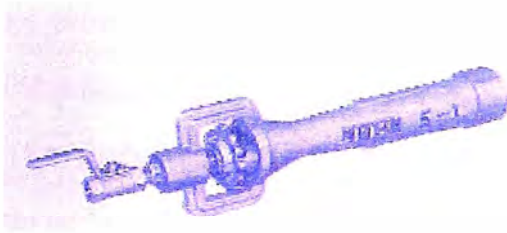


Fig. 5 .- Esquema de un Quemador Atmosférico

Quemadores de alta presión de aspiración.

Estos quemadores operan con presiones de gas desde 0.07 bar para adelante, dependiendo del poder calorífico del gas. Estos son similares a los quemadores atmosféricos donde es deseable que se produzca una correcta mezcla proporcional de aire y gas para una completa combustión.

Una elemento ajustable para el aire provista en el mezclador puede asegurar la relación de flujo de aire y gas y mantenerla fija, manteniendo la apropiada relación de aire y gas para la máxima capacidad del quemador.

En este tipo de quemadores la energía cinética del gas debe ser suficientemente alta para inducir a través del elemento restrictor el 100% de aire de combustión necesario.

La presión de gas requerida en este tipo de quemadores está en proporción al poder calorífico del gas utilizado. Por ejemplo, un quemador de alta presión utilizando un gas de 11 MJ/m³ debe requerir aproximadamente 0.35 bar de presión de gas. Un gas de 20 MJ/m³ de poder calorífico requiere aproximadamente 0.7 bar de gas, de forma similar 37 MJ/m³ de poder calorífico debe tener alrededor de 1.5 bar de presión de gas para operar.

El control de estos quemadores, sea manual o automático, está asegurado por una válvula en la línea de gas hacia el mezclador, tal que el aire inducido por el gas varía en proporción al flujo de gas dentro del rango del mezclador.

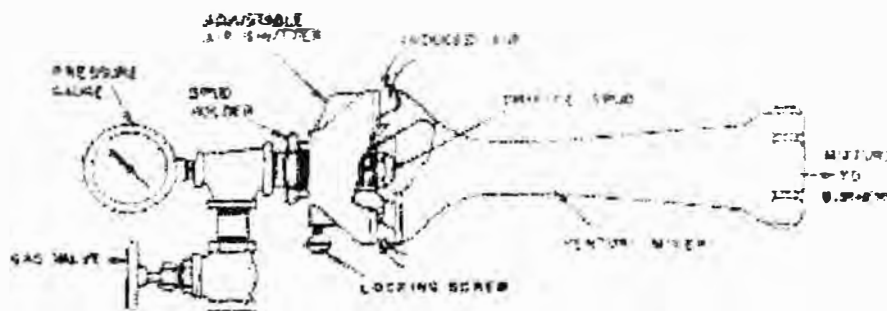


Fig. 6.- Esquema de un Quemador alta presión de aspiración.

Para seleccionar el tamaño de la boquilla del quemador de alta presión de aspiración, el diagrama de la figura 7 siguiente puede ser consultado, el cual indica la capacidad permisible de MJ / cm² de una boquilla para varias presiones de ingreso.

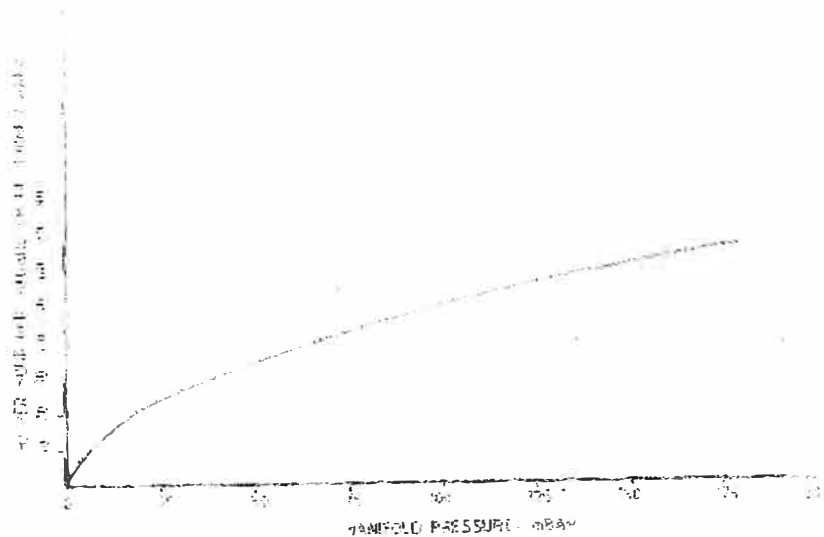


Fig. 7.- Seleccionar el tamaño de la boquilla del quemador de alta presión de inspiración

Algunas Sugerencia para la aplicación

La presión de suministro a estos quemadores debe ser constante para eliminar la necesidad de reajustar la válvula de gas ante fluctuaciones de presión.

Para obtener mínimas caídas de presión de la mezcla, se debe colocar la menor cantidad posible de codos en la tubería de mezcla a la salida del quemador.

La capacidad de estos quemadores se ve seriamente afectada por la presión existente n la cámara de combustión. La capacidad de un quemador de aspiración está basada normalmente sobre la base de una presión cero en la cámara de combustión. Cuando la presión en la cámara está bajo una presión de 0.6 mbar, la capacidad del quemador puede reducirse en un 50%, de la misma manera si la presión de la cámara de combustión induce una presión negativa de 0.6mbar la capacidad puede incrementarse en un 50%.

Algunos ejemplos:



Quemador de premezcla ECLIPSE con bloque refractario, y ajuste de aire primario y secundario.

Fig. 8.- Quemador con premezcla parcial para media velocidad

Quemador de Premezcla ECLIPSE con boquilla para aplicaciones de tubos sumergidos.

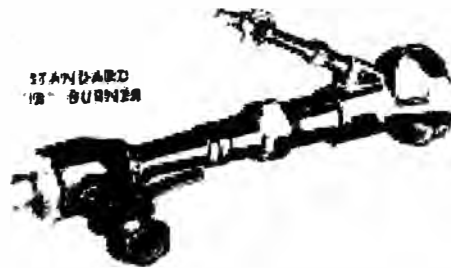


Fig. 9.- Quemador premezcla para aplicaciones sumergidas

Aplicación en Tubos sumergidos.

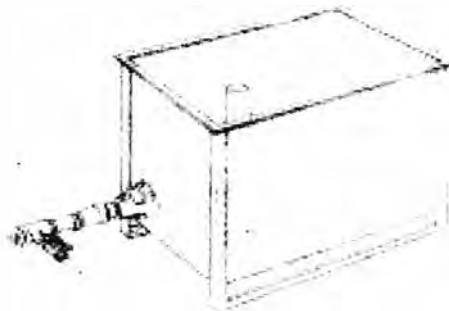


Fig. 10.- Quemador premezcla para aplicaciones sumergidas

4.2.1.2 La energía cinética contenida en la presión del aire produce la mezcla.

En este caso la presión del aire es utilizada para inyectar el gas, para este tipo de mezcladores se requiere un soplador con una presión de aire de por lo menos 200 mbar. La cantidad de aire que ingresa varía en proporción a la presión del aire en la tobera del quemador.

En la industria estos mezcladores son llamados mezcladores proporcionales de baja presión.

Los sistemas de mezcla proporcional de baja presión utilizan la baja presión del aire de un soplador o ventilador, alrededor de 210 mbar, para aspirar gas a baja presión, el cual es mantenido a una presión constante, usualmente cero, por un gobernador. El gas es automáticamente introducido y mezclado con el aire en una correcta proporción gas / aire en todo el rango de operación.

La presión de aire que debe proveer el ventilador dependerá del rango de turndown requerido y variará de acuerdo a la aplicación, pero en general la presión de aire necesaria para este tipo de mezcladores es aproximadamente de 3.5 a 4 veces la presión de mezcla.

Una válvula ajustable entre el gobernador cero (Zero Governor) y la cámara de aspiración se provee para ajustar la relación aire combustible, cuando esta válvula está apropiadamente seteada, la mezcla mantendrá esta relación sobre el rango de la capacidad del mezclador. Esta válvula también hace posible el uso de este tipo de mezcladores con una amplia variación de gases de distinto poder calorífico.

Este tipo de mezcladores puede ser usado en muchas diferentes tipos de aplicaciones. Es relativamente barato, de fácil control y solo requiere de un soplador de baja presión el cual debe ser instalado tan cerca como sea posible del punto de consumo de gas. Tiene una excelente flexibilidad de capacidad con una precisa y automática proporcionalidad de aire / gas, como una de su principales ventajas. Gases de cualquier capacidad calorífica pueden ser usados con este mezclador, sin embargo, la relación entre el área de descarga del quemador, la garganta de inspiración y la dimensiones del jet de aire son altamente importantes y deben estar dentro del rango especificado para cada gas.

Este sistema es controlado por una simple válvula de control de aire, que puede ser manual o automática, y así se obtiene un muy preciso control de temperatura. Este sistema elimina la necesidad de regular las válvulas de gas y aire cuando los requerimientos de calor cambian. Este mezclador puede ser usado para suplir prácticamente cualquier tipo o forma de "nozzle" de quemador que se requiera para una específica operación de calentamiento, pero cuando aplicamos este mezclador a quemadores que tienen una descarga restringida, el flujo característico de está, o su coeficiente de descarga deben ser tomadas en consideración para determinar el mezclador apropiado para cada quemador.

El mixer consiste de una válvula mariposa manual, un venturi y un jet de aire combinados para crear succión, una válvula de precisión tipo cono para ajustar la relación aire combustible, un "zero governor" y una válvula de corte manual de gas.

La válvula de corte manual proporciona un cierre seguro al sistema cuando éste no está operando, puesto que el "zero governor" no es estrictamente una válvula de cierre.

Refiriéndonos al esquema, cuando el aire fluye a través del jet "B" dentro del tubo venturi "C" se crea una succión en la tee "A". Esta succión variará con la velocidad del aire a través del jet. El gas es introducido y mezclado dentro de la manga del venturi. El flujo dentro de la tee está seteado por la válvula de ajuste de proporción "D" y variara directamente proporcional con el flujo de aire. Si el gas varía su poder calorífico o su densidad relativa, un simple cambio en el seteo del cono de la válvula "D" proveerá la correcta mezcla.

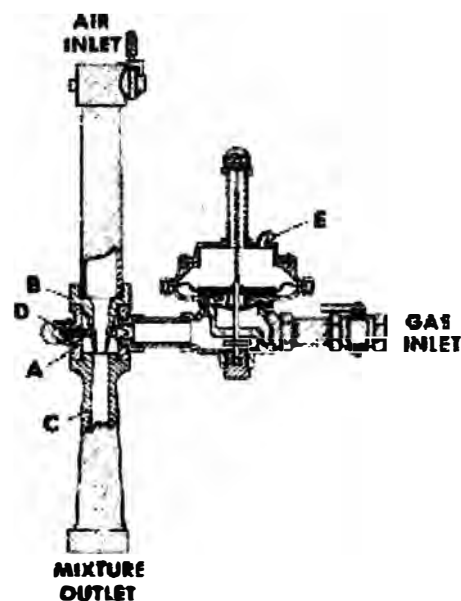


Fig. 11.- Esquema de un mezclador de baja presión de aspiración.

Para asegurar un correcto y preciso control de la proporción gas / aire, la presión del gas debe reducirse a la presión atmosférica o a la misma presión de la cámara de combustión. Si el quemador a ser usado está quemando a presión atmosférica el "governador" es usado con el senso "E" abierto a la atmósfera. Si existe una condición de succión o presión en la cámara, se deberá conectar el senso "E" con la cámara de combustión. El gobernador entregará gas sólo cuando exista flujo de aire a través del mixer. Si solo se dispone de una muy baja presión de aire de alrededor de 18 mbar, la succión en la cavidad tee "A" no es suficiente para inducir el suficiente gas a través del gobernador para mantener la apropiada relación gas / aire. En este caso, se debe instalar una línea con válvula de sangrado entre la línea de aire aguas abajo de la válvula de control y la parte superior del diafragma del "zero governor". Como resultado cualquier cambio en el flujo de aire es transmitido al "zero governor" y la relación gas/aire es mantenida dentro del rango de operación.

Otros mezcladores proporcionales como el mostrado en la figura siguiente combinan una garganta ajustable y un venturi ajustable.

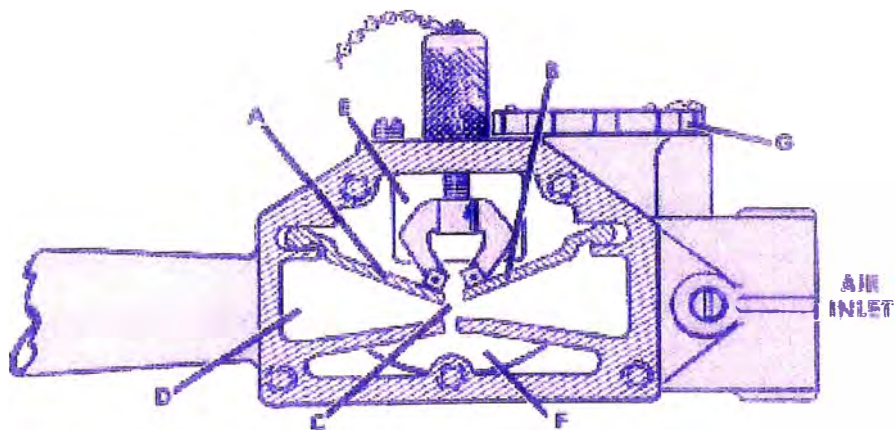


Fig. 12.- Esquema de un Mezclador de alta presión de aspiración.

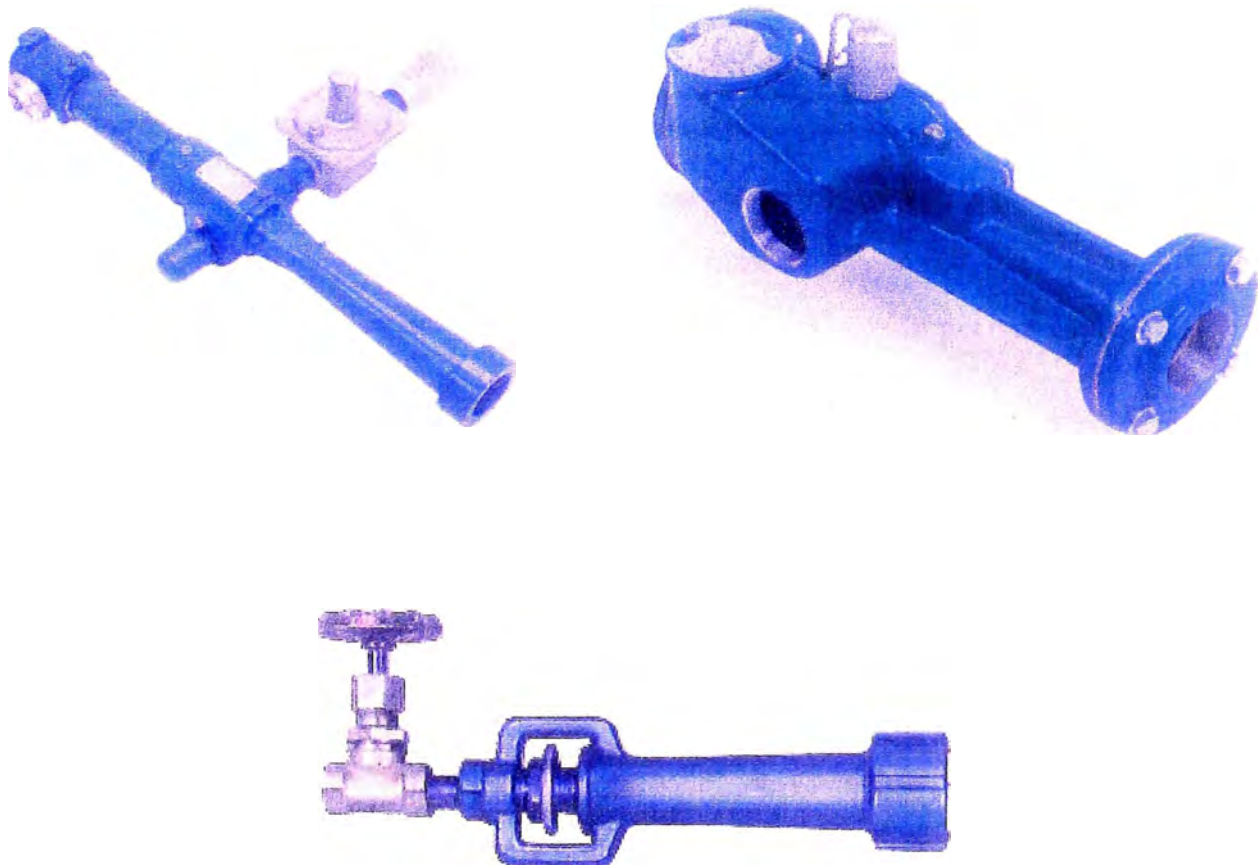


Fig. 13.- Algunos Mezcladores Proporcionales existentes en el mercado

4.2.1.3 La combinación de la presión del gas y del aire son usados para producir la mezcla.

Dependiendo de la presión de gas disponible se debe seleccionar el mezclador apropiado, para una presión de mezcla aire/gas, esta presión de mezcla es aproximadamente 25mbar.

Con una alta presión de gas requerimos una baja presión de aire para inducir la mezcla de la misma manera con una baja presión de gas se requieren altas presiones de aire.

El uso de altas presiones de aire trae consigo altos costos de consumo de energía para lograrlas, es por eso que debemos procurar trabajar con bajas presiones de aire.

La figura 14 siguiente muestra en promedio o la energía consumida por los ventiladores para entregar una determinada presión de aire:

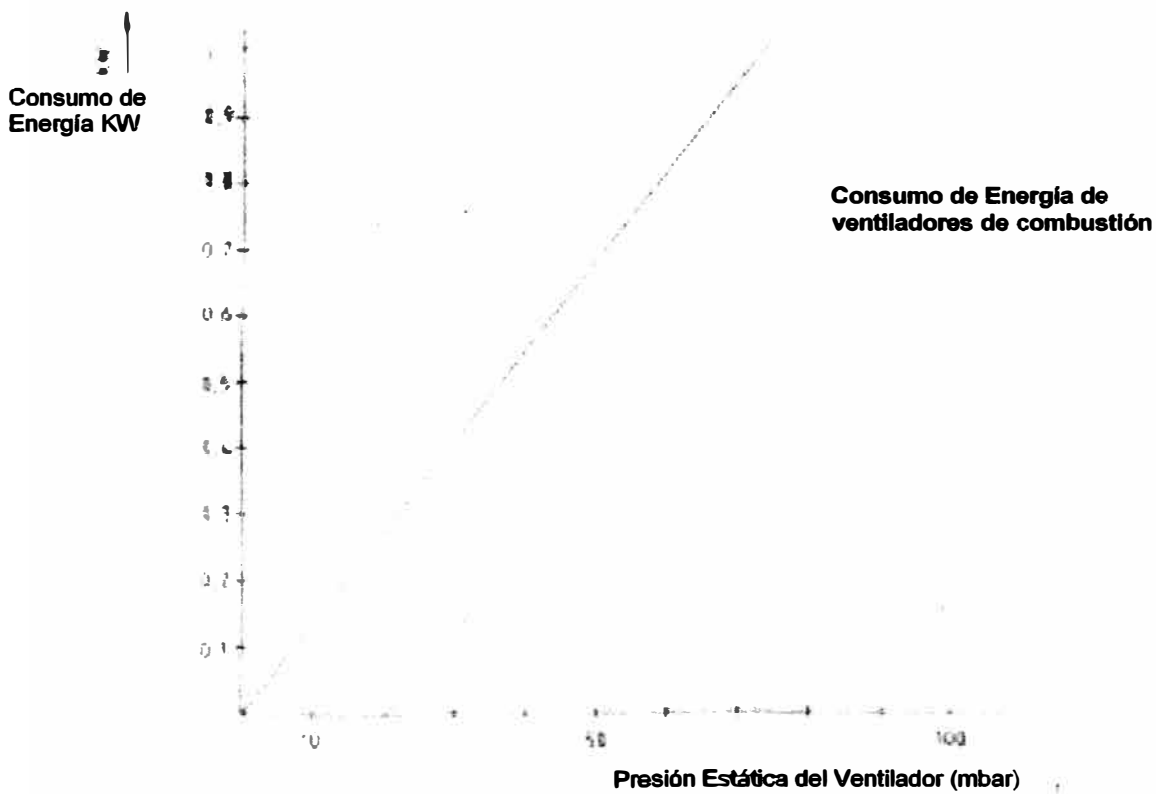


Fig. 14.- Energía consumida por los ventiladores para entregar una determinada presión de aire

Un tipo de mezclador descrito a continuación es el Mezclador Proporcional de baja presión Multi-ratio de Maxon que utiliza baja presión de aire de un ventilador para inspirar en baja presión el gas que se mantiene a una presión constante entre 8 y 35 mbar dependiendo del tipo de gas.

Para lograr la correcta relación aire/gas dentro del rango de operación estos mezcladores están provistos con un sistema de control de aire y gas una precisa proporcionalidad del aire y el gas es mantenido por una ajustable leva provista en la válvula de gas que mantiene constante la relación aire/gas dentro de todo el rango de operación del mezclador.

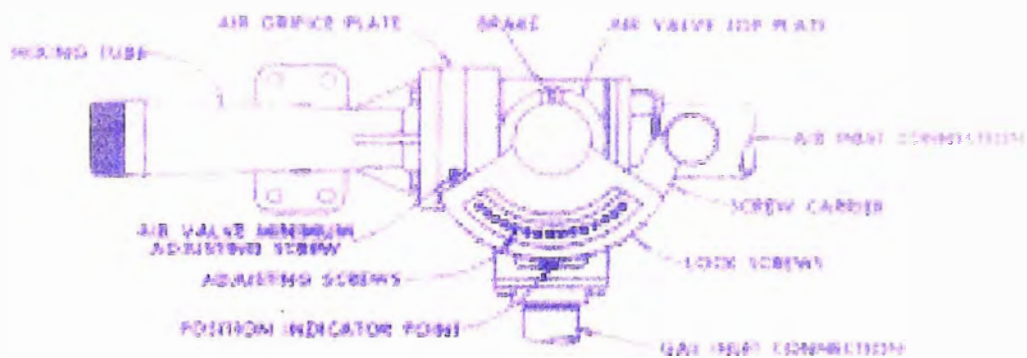


Fig. 15.- Mezclador Proporcional

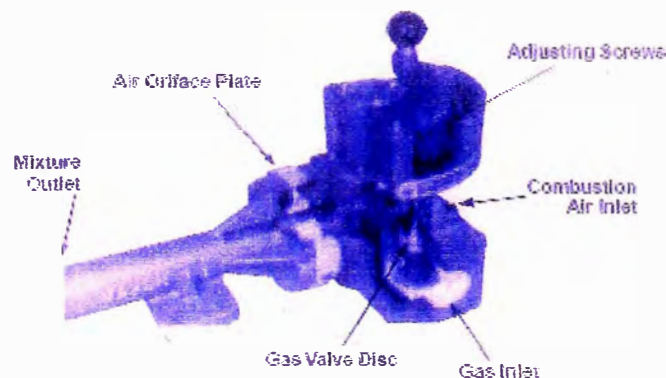


Fig. 16.- Mezclador Proporcional

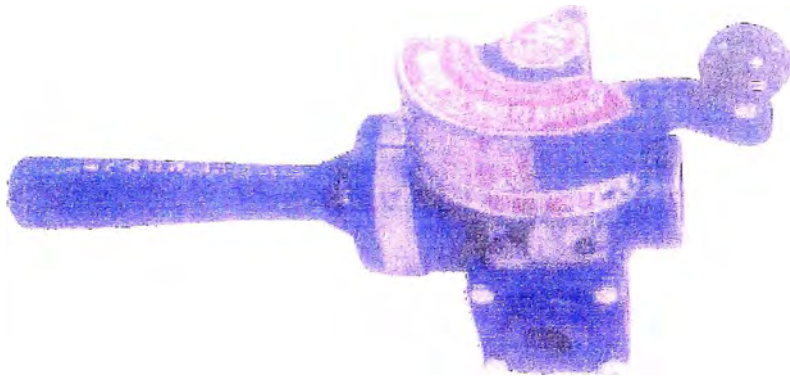


Fig. 17.- Mezclador proporcional MAXON MULTIRATIO

Tenemos también otros dos casos importantes de estos mezcladores, los de baja presión y los de alta presión, los de baja presión tienen un principio de trabajo similar a los mezcladores proporcionales pero sin la válvula proporcionadora por esta razón estos mezcladores se deben utilizar con una válvula proporcionadora tipo micro-ratio para garantizar una correcta relación aire – combustible.

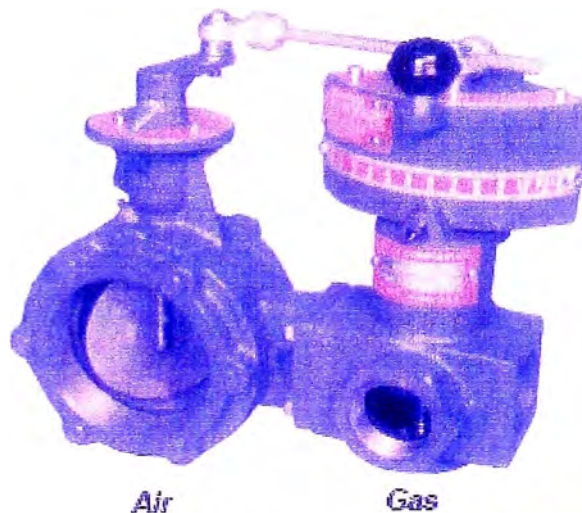


Fig. 18.- Mezclador proporcional MAXON MicroRatio

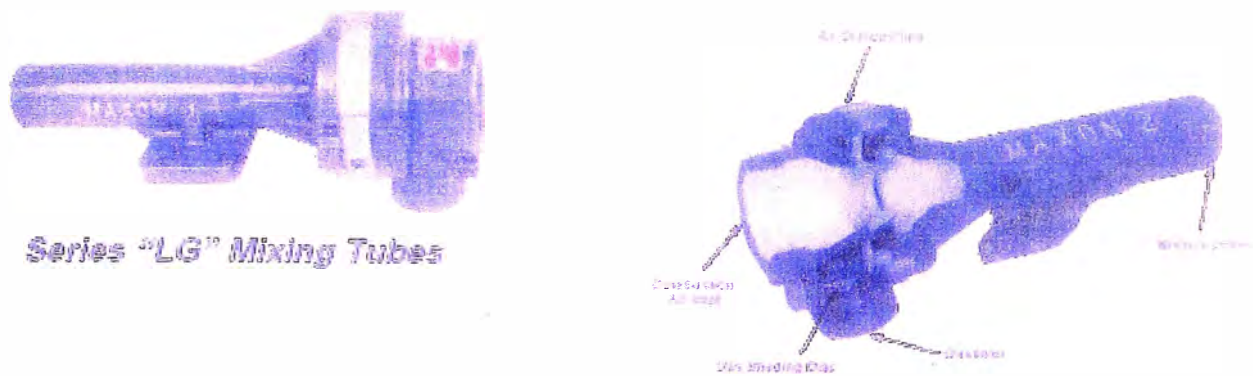


Fig. 19.- Mezcladores Maxon de Aspiración

Para los mezcladores de baja presión se tiene un flujo de aire a través de de la garganta manteniendo una succión constante en la cámara de ingreso de gas, inyectando y mezclando gas proporcionalmente de acuerdo con la válvula micro-ratio; existe en este tipo de mezcladores una válvula de ajuste en la entrada de gas para compensar las caídas de presión que puedan existir cuando para varios mezcladores se utiliza una válvula multi-ratio común.

Los mezcladores de baja presión se deben usar cuando los manifolds de tuberías para varios quemadores son complicados, esto asegura una máxima presión de mezcla en los quemadores puesto que una tubería descarga directamente en cada ingreso de los quemadores.

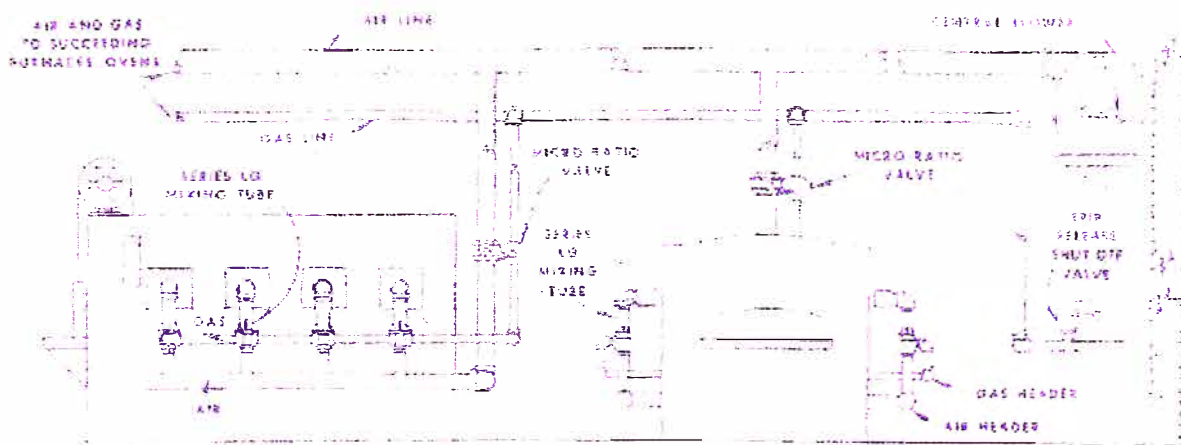


Fig. 20.- Aplicación Típica de mezcladores de baja presión MAXON

Los mezcladores de alta presión están diseñados para dar una precisa presión de mezcla, con una baja presión de aire de combustión, esto en comparación con otros mezcladores y una alta presión de gas. Comúnmente la presión de gas en el mezclador debe ser 150mbar o 70mbar por encima de la presión de aire. La presión de aire de combustión debe ser 35mbar para producir 20 a 25 mbar de presión de mezcla, es decir, la presión de aire de combustión es aproximadamente 1.3 veces la presión de mezcla.

Estos mezcladores se seleccionan cuando tenemos disponible la suficiente presión de gas, lo cual es muy frecuente, puesto que este mezclador no es un venturi, se debe combinar, al igual que los mezcladores de baja presión con una válvula micro-ratio.

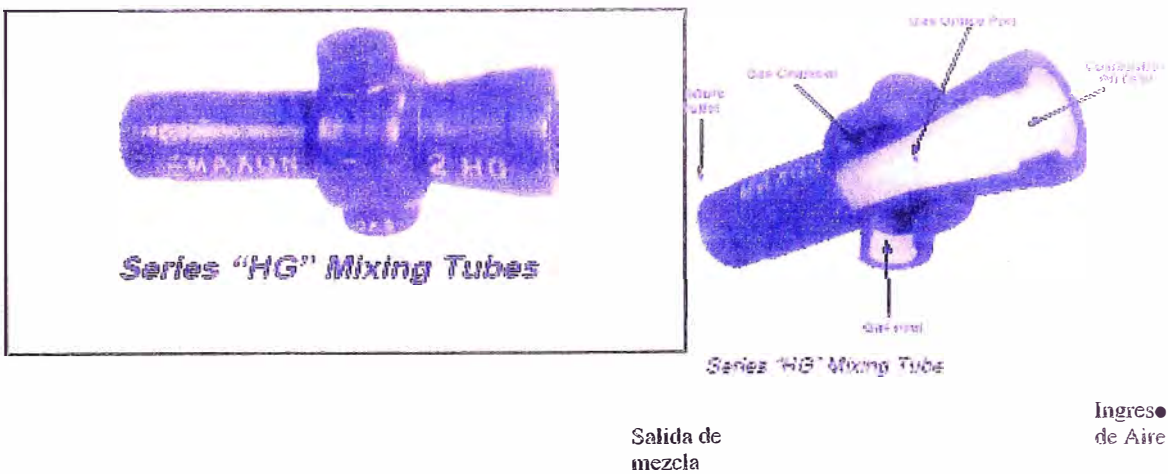


Fig. 21.- Mezcladores Maxon de alta presión

Ingreso de Gas

4.2.2 Quemadores conectados a sistemas de Pre-mezcla

Es importante un buen diseño de las dimensiones de garganta - difusor - tobera y un excelente mecanizado para obtener una óptima combustión.

Estos quemadores son muy utilizados en procesos metalúrgicos (fusión, tratamientos térmicos, secado de cucharas), fusión de vidrio, hornos de cerámica y cualquier proceso que necesite una alta temperatura final de proceso.

Para un sistema de premezcla se deben tener las siguientes consideraciones de flujo:

Límites de Inflamabilidad

Velocidad de llama

Presión de mezcla

Tumdown

El límite de inflamabilidad limita el porcentaje mínimo y máximo de mezcla aire/combustible a la cual se quemara el gas.

La velocidad en un quemador premezcla es limitada y muy baja, lo cual limita el uso de estos quemadores cuando se requieren alta uniformidad de temperaturas en una aplicación.

La presión de mezcla tiene un mínimo por debajo del cual existe un alto riesgo de retomo de llama, para el gas natural es 0.25 "H₂O (0.6 mbar)

El turndown en los quemadores de premezcla es limitado, normalmente es 5:1, pudiendo en caso especiales llegar hasta 10:1.

Actualmente la tecnología de los quemadores Premix, esta quedando obsoleta debido al desarrollo de los quemadores Nozzle mix, los cuales tienen mayores rangos de tum down y mejor estabilidad de llama.

4.2.3 El gas y el Aire se mezclan justo en la cabeza del quemador. (Nozzle Mix)

Los quemadores tipo mezcla en tobera o "nozzle mix" son aquellos en los cuales la mezcla aire combustible se produce justo cuando éstos dejan el quemador, una de las ventajas de este sistema es la seguridad que no existirá un retroceso de llama como en el caso de los sistema premezcla. Los quemadores tipo nozzle mix pueden dividirse en dos grupos principales:

Quemadores para aplicaciones de hornos y fundiciones.

Quemadores para calentamiento de aire.

4.2.3.1 Quemadores para aplicaciones de hornos y fundiciones.

Todos los quemadores nozzle mix para aplicaciones de hornos y fundiciones son de "una llama" o llamados quemadores "forward flame", puesto que el gas y el aire llegan por separado a la tobera de mezcla e ignición, la posibilidad de un retroceso de llama está anulada, por esta razón no hay necesidad de limitar la mínima presión de aire o gas dentro del quemador tal como es necesario para los quemadores tipo premezcla.

Los quemadores nozzle mix pueden tener muy altos turndown cerca de, 40:1.

A continuación mostramos un típico quemador nozzle mix:

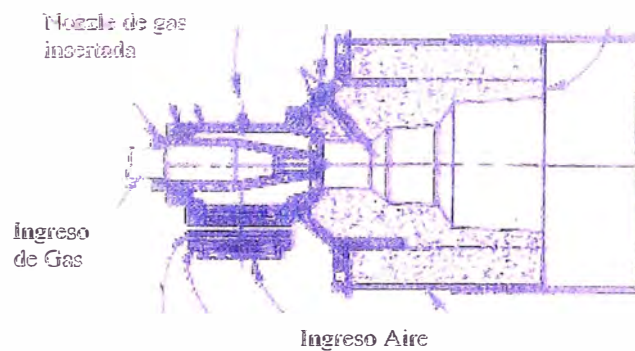


Fig. 22.- Esquema típico de quemador Nozzle Mix

En este quemador la retención y la estabilidad de llama están aseguradas por el súbito ensanchamiento de la cavidad del quemador o llamado también diseño de múltiples etapas internas.

El aire de combustión y el gas combustible deben ser suministrados al quemador en la correcta proporción dentro del todo el rango de trabajo, es por eso que se requieren sistema de válvulas proporcionadoras de aire / combustible.

La mayoría de quemadores nozzle mix tiene el ingreso de gas por el centro y el aire de combustión alrededor, esta configuración asegura una llama estable.

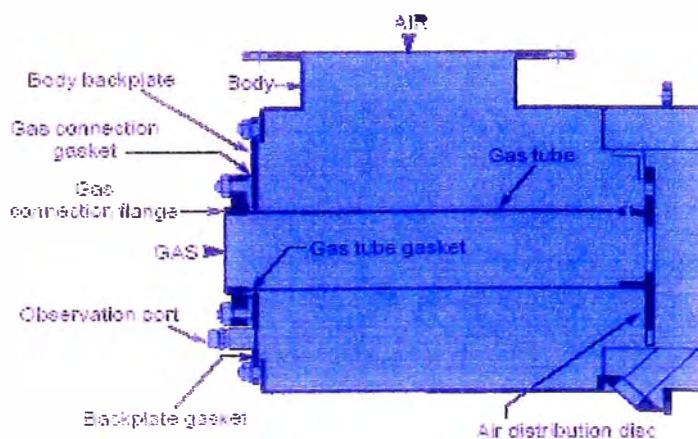


Fig. 23.- Quemador Nozzle Mix con ingreso axial de gas

Existen, sin embargo, quemadores nozzle mix que tienen el suministro de aire por el centro, puesto que el flujo de aire es mucho mayor que el de gas, es posible diseñar este tipo de quemadores nozzle mix logrando que el aire induzca parcialmente el gas, el cual debe estar a muy baja presión.

Un ingreso por el centro concentra el aire en un simple jet y produce altas velocidades de llama y alta penetración dentro de la cámara de combustión.

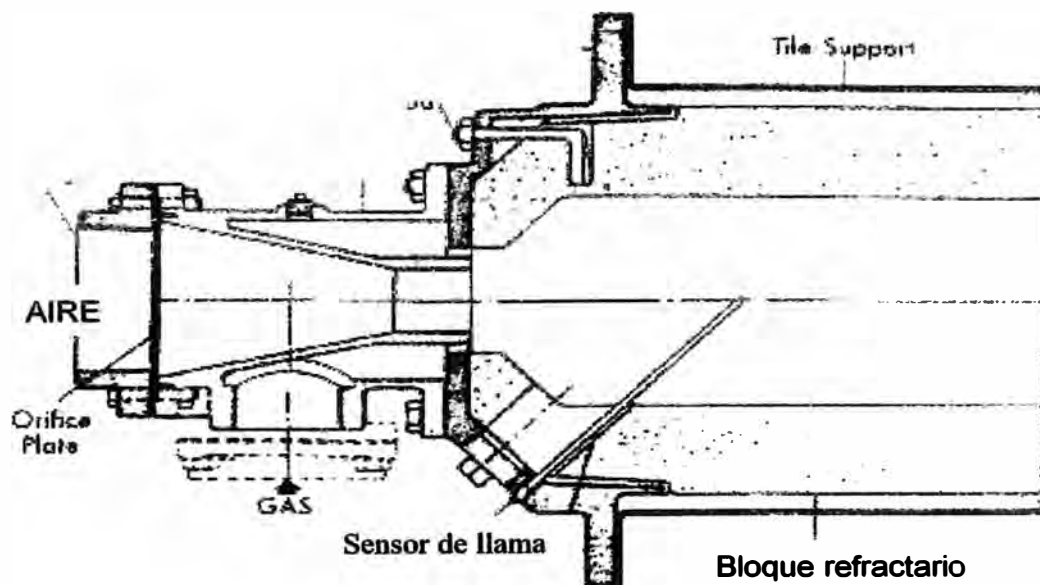


Fig. 24.- Quemador Nozzle Mix con ingreso axial de aire

Para el combustor se pueden tener diferentes opciones de acuerdo a la temperatura a la que trabajara el quemador por ejemplo:

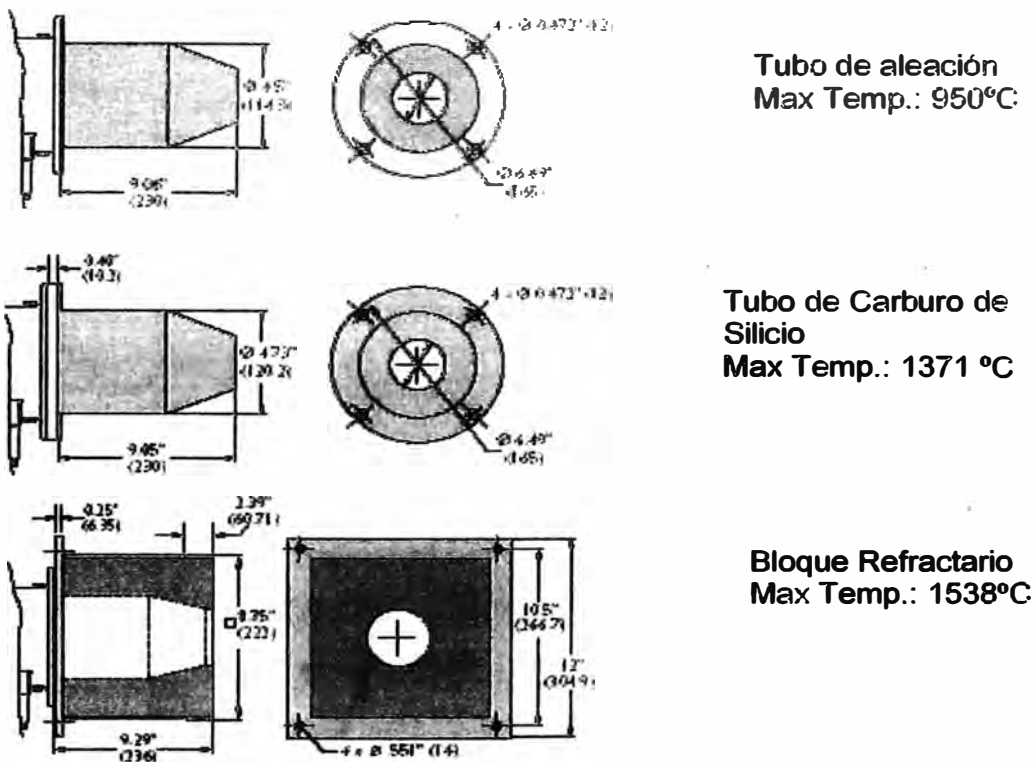


Fig. 25.- Tipos de Combustores o Toberas para Quemadores Nozzle Mix

En algunos casos la aplicación no requiere una alta penetración de la llama, para estas aplicaciones se diseñan quemadores de llama plana tal como el mostrado en la figura siguiente:

2" Series "G" VORTIFLARE® Burner

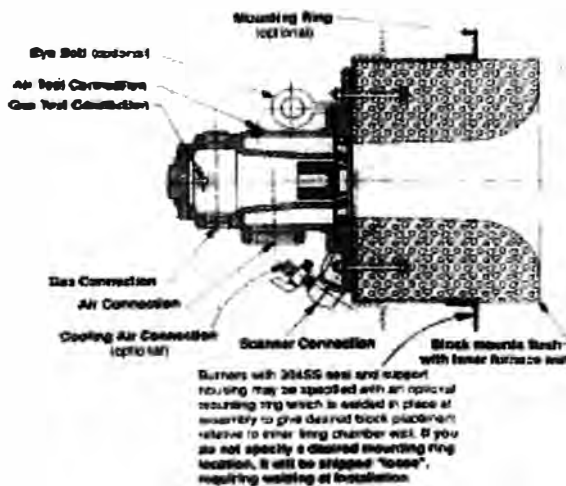


Fig. 26.- Quemador Nozzle Mix de Llama Plana

Esta forma de llama es muy difícil de lograr con quemadores de premezcla, la llama plana es producida por la acción de remolino que tiene el aire al ingresar, y por la forma del combustor o bloque refractario, la acción de este en la forma de la llama se muestra en la figura siguiente:

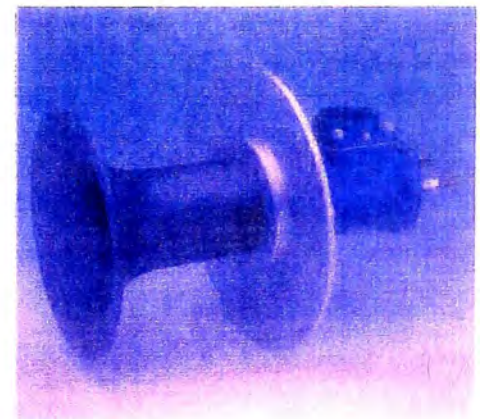
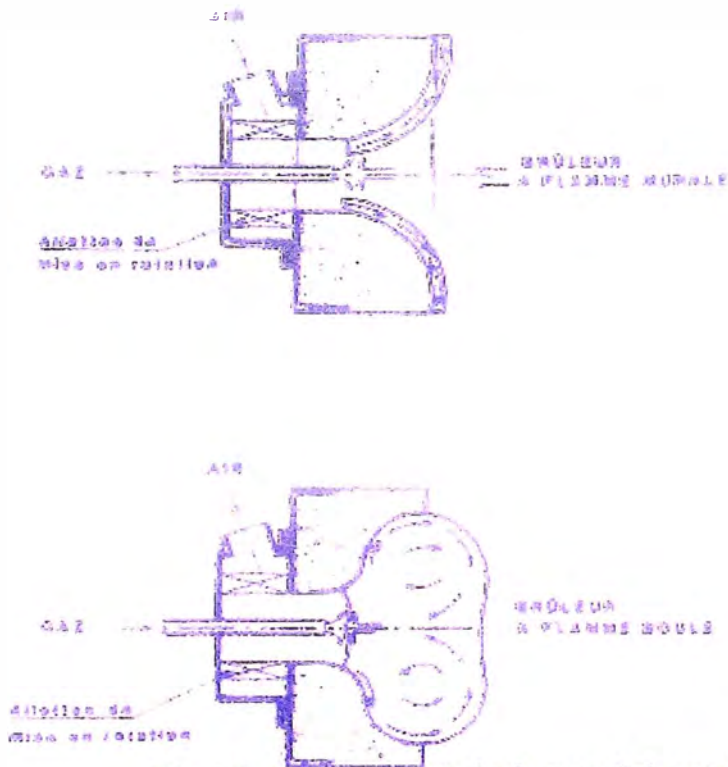


Fig. 27.- Influencia de la forma del combustor sobre la forma de llama

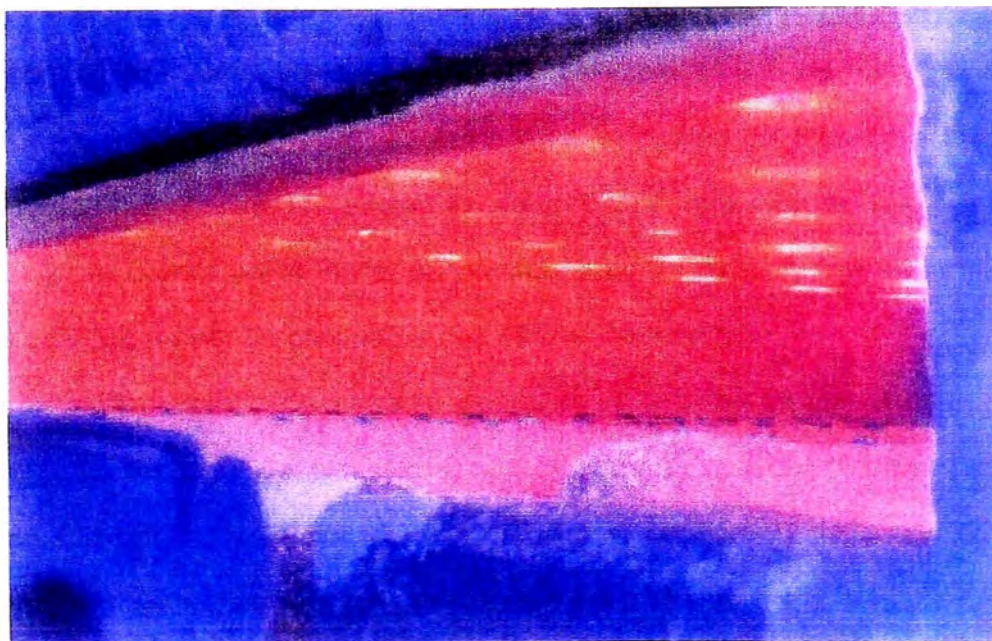


Fig. 28.- Quemadores de llama plana en un horno de fundición de Aluminio

En algunos casos se requiere una buena distribución de temperatura con alta transferencia de calor por convección al producto, esto se puede lograr con quemadores nozzle mix de alta velocidad, tal como se muestra a continuación:

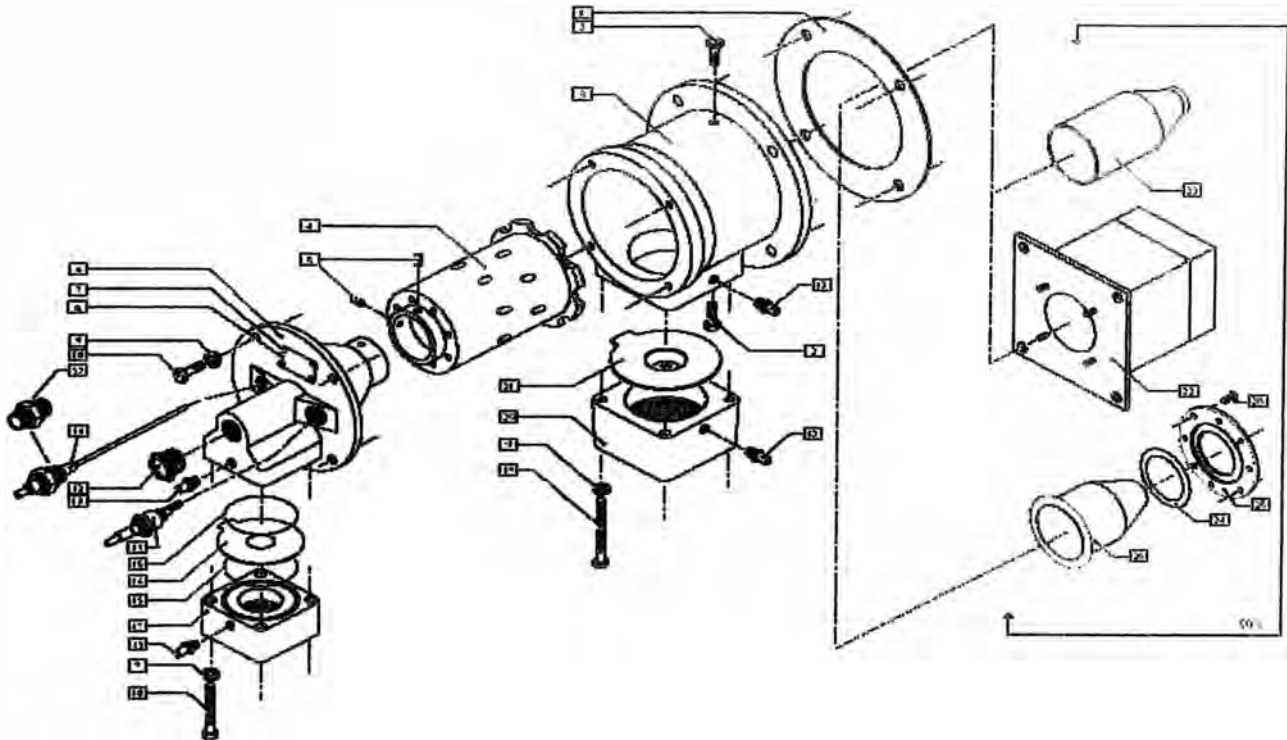


Fig. 29.- Quemadores nozzle mix de alta velocidad

Este diseño sigue la tendencia mundial de mejorar los procesos y ha obligado a reconsiderar muchos sistemas de trabajo. Su principio básico es entregar un chorro de gases a media o alta temperatura con una gran velocidad de ingreso a la cámara. Esto permite incrementar la transferencia de calor por convección a valores nunca antes alcanzados y por consiguiente lograr una uniformidad de temperatura en toda la cámara y en el producto que no puede obtenerse con ningún otro método.

Aunque la inversión inicial generalmente es mayor se justifica su uso al bajar los costos de producción y de rechazo de productos que no reúnen las condiciones deseadas. Sus aplicaciones (siempre que el horno lo permita) son en hornos de cerámica, tratamiento térmico, enlozado, galvanización, tubos radiantes para bateas.

Hay dos tipos de quemadores de alta velocidad en el mercado:

- Quemadores con velocidades de salida por encima de 210m/s, que requieren presiones de aire de combustión de 80 mbar aproximadamente.

Quemadores con velocidades de salida alrededor de 100m/s, o llamados quemadores de media velocidad.

Algunas configuraciones permiten el uso de aire precalentado para el ingreso de estos quemadores de hasta 500 °C.

Algunos Quemadores de alta velocidad:



Eclipse ThermJet Burner

Fig. 30.- Quemador Nozzle Mix THERM JET ECLIPSE

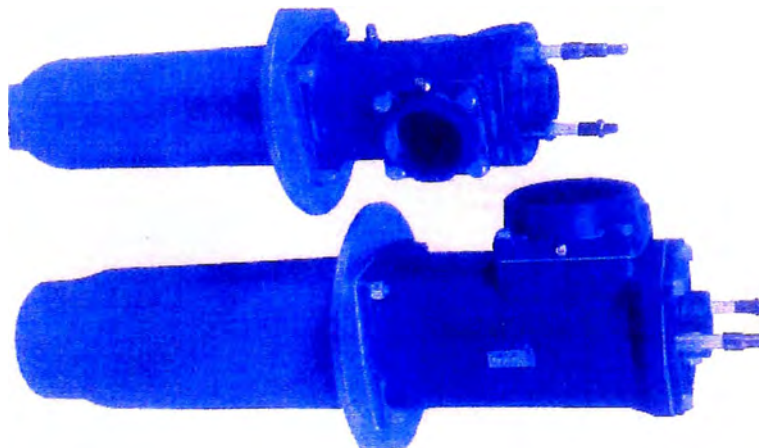


Fig. 31.- Quemadores Nozzle Mix de alta velocidad – NORTH AMERICAN

RAMFIRE® Burners

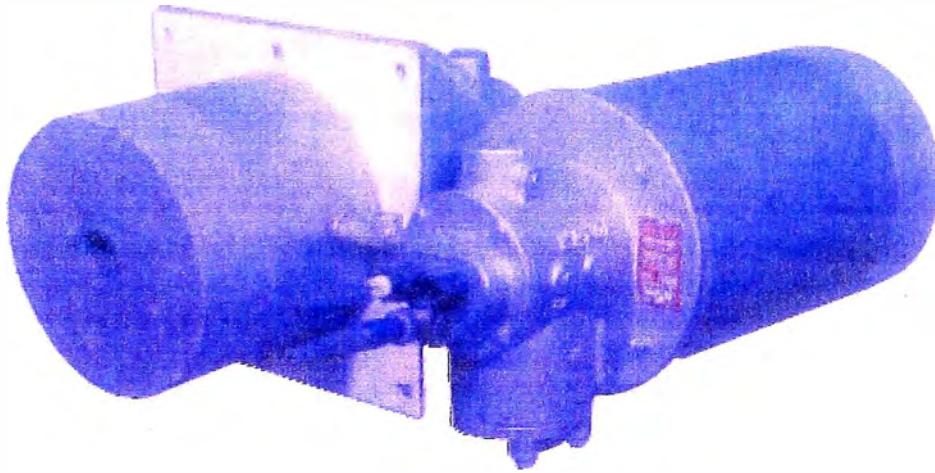


Fig. 32.- Quemador Nozzle Mix de alta velocidad RAMFIRE - MAXON

En algunas aplicaciones se desea tener una llama larga y luminosa que irradie calor a una gran área, esto ocurre principalmente en hornos muy largos o muy anchos donde se no se puede obtener una buena distribución con un quemador de alta velocidad.



"EB" External Blower version

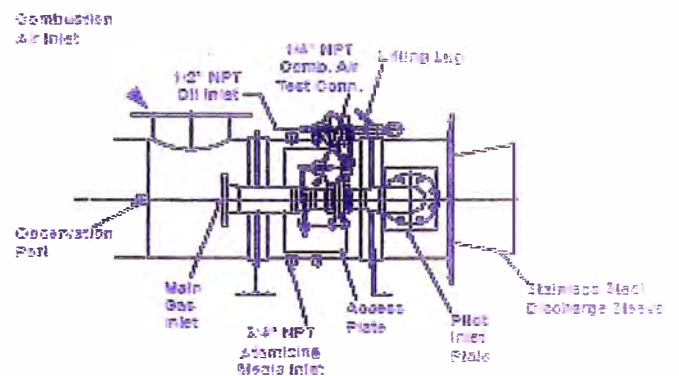


Fig. 33.- Quemador Nozzle Mix de llama larga

4.2.3.2 Quemadores Nozzle Mix para Calentamiento de Aire

Los quemadores nozzle mix para aplicaciones de calentamiento de aire forman un grupo aparte de quemadores, estos quemadores son utilizados. Principalmente en procesos de calentamiento a fuego directo, esto es cuando los productos de la combustión se mezcla con aire frío y esta mezcla incide directamente sobre el producto a secar, esto es posible con gas natural porque el gas natural no contiene sulfuro, sólo produce en la combustión CO_2 y H_2O y algunas ppm de CO y NO_x .

Comparado con los proceso de calentamiento indirecto se puede tener ahorros de combustible de alrededor de 15% o más.

Cuando se utiliza secado de fuego directo para el secado de producto alimenticios se debe tener un bajo nivel de NO_x , esto es porque los NO_x reaccionan con las amidas asociadas en las proteínas de los alimentos formando toxinas que pueden ser altamente dafinas para la salud, la concertación de NO_x debe estar en el orden de 50ppm, esto significa que se debe producir no más de 1.5mg NO_x por MJ de calor aportado.

Los quemadores nozzle mix para calentamiento de aire por fuego directo pueden clasificarse de la siguiente manera:

Quemadores lineales sin suministro de aire de combustión.

Quemadores lineales con suministro parcial de aire de combustión.

Quemadores lineales con suministro total de aire de combustión.

Quemadores lineales con suministro estequiométrico de aire de combustión.

Quemadores de llama adelantada para calentamiento de aire.

Quemadores lineales para incineradores.

4.2.3.2.1 Quemadores lineales sin suministro de aire de combustión.

Muchos fabricantes de quemadores industriales han desarrollado quemadores lineales exclusivos para calentamiento de aire, estos diseños hacen posible operar los quemadores sin suministro de aire por parte de un ventilador.

Este tipo de quemadores pueden ser instalados en el ducto de ingreso de un ventilador, tal como se muestra en la figura siguiente, el aire de combustión es inducido a través de los orificios de las placas del quemador. La presión de ingreso al quemador es de aproximadamente 20 mbar por lo general para trabajo con gas natural, el exceso de aire que atraviesa los orificios de la placas es aproximadamente más del 60% de aire de combustión a máxima capacidad. Este tipo de quemadores se utiliza principalmente para calentar volúmenes constantes de aire.

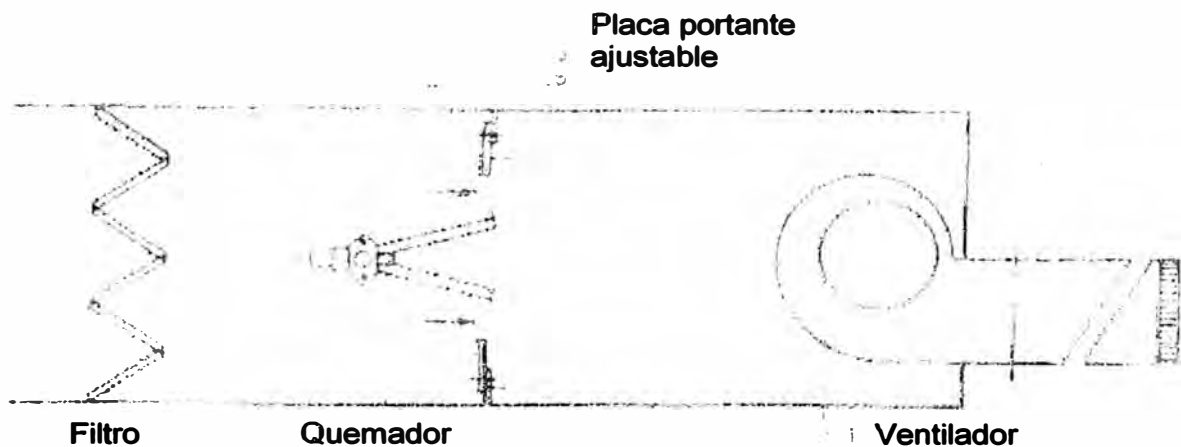


Fig. 34.- Quemador Nozzle Mix para calentamiento de aire sin suministro de aire

4.2.3.2.2 Quemadores lineales con suministro parcial de aire de combustión.

El principio de operación de estos quemadores es similar a los quemadores lineales antes descritos con la diferencia que parte del aire de combustión es premezclado con el gas y suministrado a un manifold, en muchos de los casos no más del 30% del aire de combustión necesario es premezclado.

Esto hace que los quemadores lineales sean prácticamente independientes del oxígeno contenido en la corriente de aire que pasa para ser calentada, esto es, que estos quemadores pueden ser aplicados en sistemas de secado con corrientes de aire que contengan hasta 20.8% de oxígeno, pero siempre más de 16%.

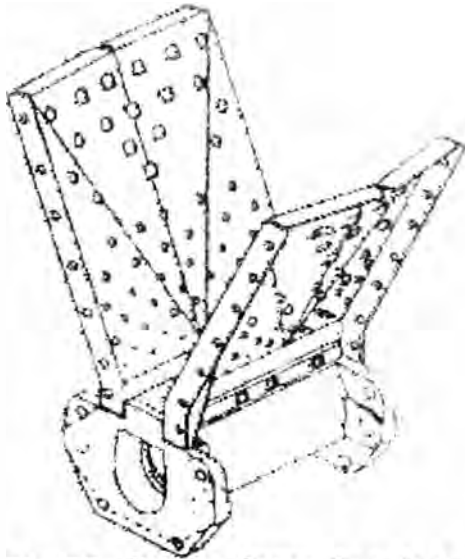


Fig. 35.- Quemadores lineales con suministro parcial de aire de combustión.

4.2.3.2.3 Quemadores lineales con suministro total de aire de combustión.

Estos quemadores son en principio iguales que los tipos descritos anteriormente, con la diferencia que el aire es suministrado por un ventilador que puedes estar instalado dentro o fuera del ducto de calentamiento, en estos quemadores la capacidad es controlada por una válvula mariposa a la entrada del gas, el aire no es controlado y es el máximo para todo el rango de operación.

Algunas características de estos quemadores son:

Capacidad de hasta 230KW/ft con una longitud de llama de aproximadamente 700mm.

Tum down promedio de 25:1

Amplia variedad de configuraciones y capacidades.

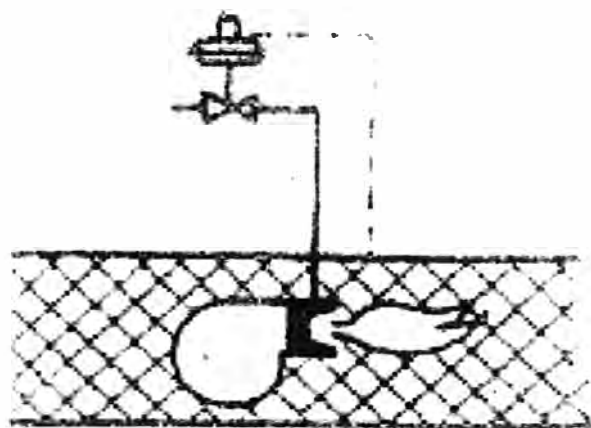


Fig. 36.- Quemadores lineales con suministro total de aire de combustión.

4.2.3.2.4

combustión.

Quemadores lineales con suministro estequiométrico de aire de

Los sistemas modernos de secado requieren el mínimo posible de reemplazo de aire para trabajar económicamente, por esta razón es necesario que los productos de la combustión que ingresan al secador sean los mínimos, esto se puede lograr suministrando al quemador el aire estequiométrico o menos, a veces el oxígeno para la combustión es tomado de la corriente de aire recirculado, si este existe en la cantidad suficiente podemos optar por un quemador lineal sin suministro de aire, una menor dependencia de la recirculación de aire tienen los quemadores lineales con suministro parcial de aire, y una dependencia casi nula de la corriente de recirculación de aire tienen los quemadores con suministro de aire estequiométrico.

Los quemadores con suministro de aire estequiométrico son también utilizados en sistemas de recirculación de aire en los que el contenido de oxígeno o el flujo total de aire deben estar delimitados.

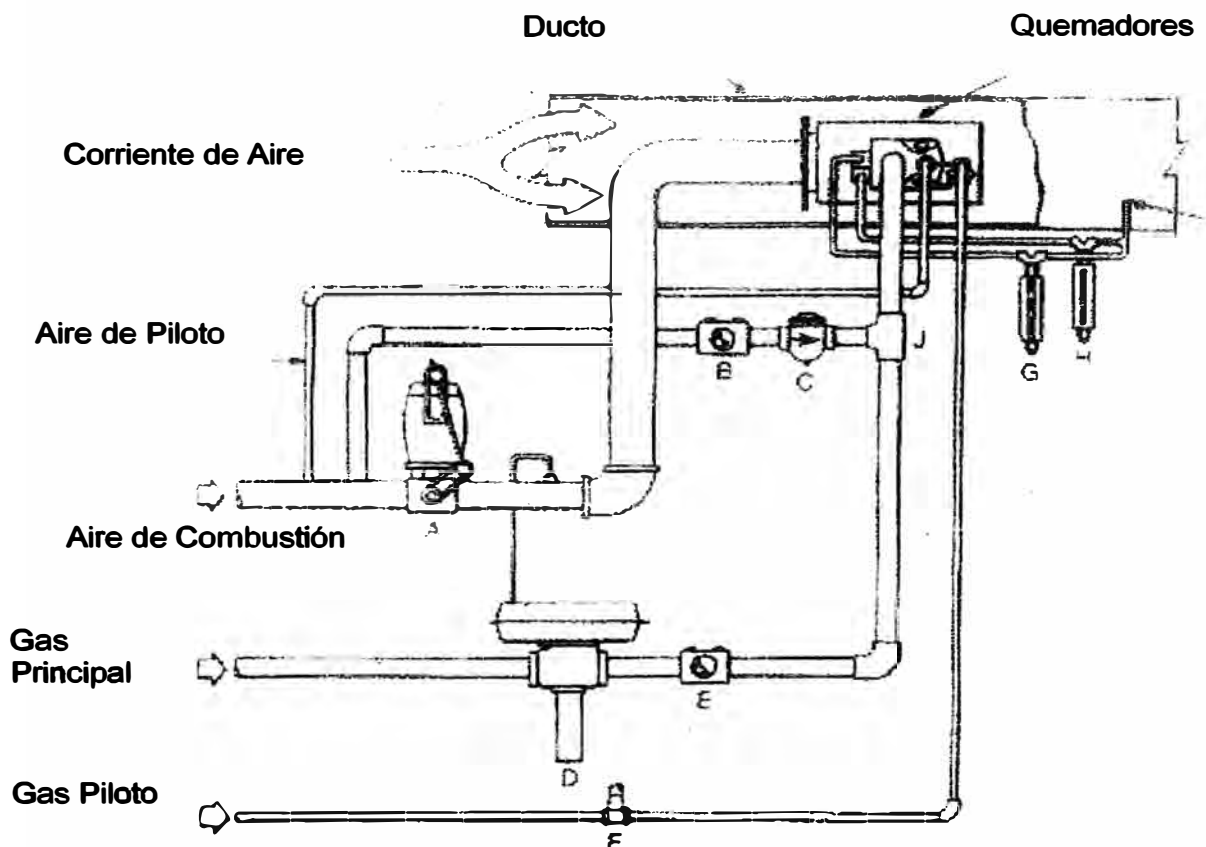


Fig. 37.- Quemadores lineales con suministro estequiométrico de aire de combustión.

4.2.3.2.5 Quemadores de llama adelantada para calentamiento de aire.

Estos quemadores para calentamiento de aire son a menudo los más fáciles de instalar en un ducto que la mayoría de quemadores lineales.

El principio de operación de estos quemadores nozzle mix para calentamiento de aire es

como sigue, el aire es suministrado por un ventilador de combustión y transportado tangencialmente a

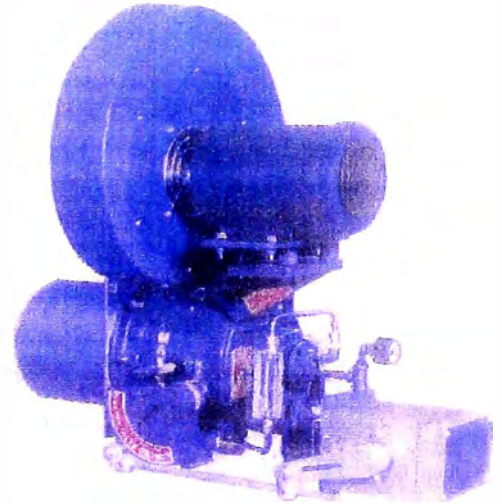


Fig. 36.- Quemadores de llama adelantada para calentamiento de aire.

través del cono del quemador donde es mezclado con el gas suministrado a través de un anillo de agujeros o difusor en el centro del quemador.

El turn down de estos quemadores es máximo 40:1, tienen llama muy estable y velocidades de aire arriba de los 10m/s

El aire y el gas son controlados juntos, a máxima capacidad tienen un exceso de aire aproximadamente de 25%, mientras que a mínima capacidad el exceso de aire puede ser cerca de 1000%, este tipo de quemadores pueden aplicarse en muchos procesos de secado donde el aire recirculado debe ser calentado.

4.2.4 Quemadores tipo Paquete:

Es un quemador de diseño compacto de gran utilización en Europa, donde muchas veces reemplaza a otros equipos por su facilidad de montaje y mantenimiento. Se trata de un quemador de mezcla en boquilla, con un ventilador incorporado al mismo cuerpo donde se montan los elementos de control. Su principal uso es en calderas aunque se ha extendido a hornos de panadería, tubos radiantes, lavadoras y algunos procesos especiales.

4.2.5 Trenes de Válvulas de seguridad

El tren de válvulas de seguridad de un equipo de combustión es la parte principal del sistema de seguridad del equipo, este debe garantizar el cierre rápido y seguro ante cualquier anomalía en el funcionamiento del equipo.

El diseño del tren de válvula dependerá de la norma aplicable que se este utilizando pero en general podemos mostrar los siguientes ejemplos de trenes de válvulas y sus respectivos componentes:

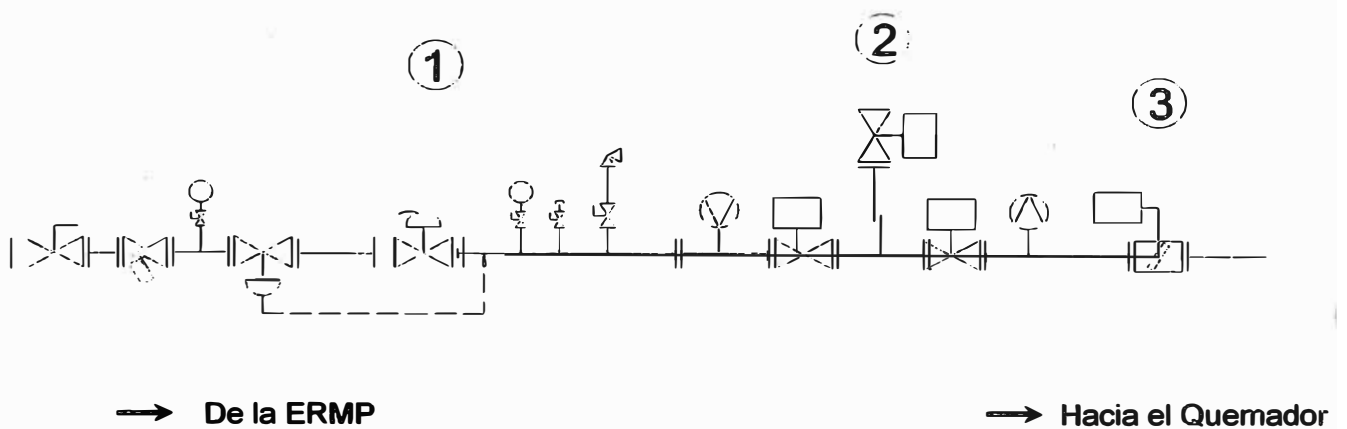


Fig. 39.- Sistema de Gas de un Quemador

Donde:

- 1 Tren de Regulación (Estación de Regulación Secundaria)
- 2 Tren de Válvulas de Seguridad
- 3 Control de flujo de Gas

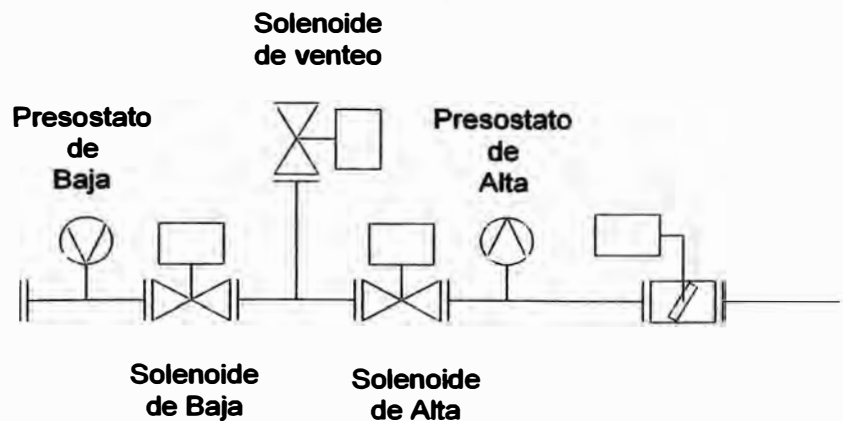
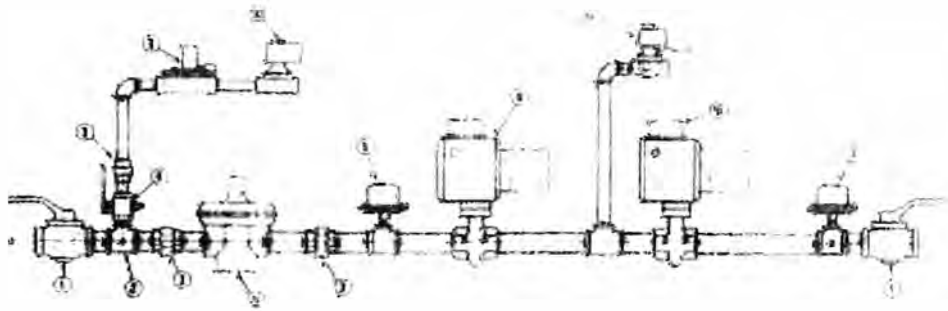


Fig. 40.- Tren de válvulas de seguridad



Componentes:

- 1.- Válvula de corte
- 2.- Toma para gas piloto de encendido
- 3.- Union Universal
- 4.- Regulador Principal de gas
- 5.- Presostato de baja presión
- 6.- Válvula solenoide de corte rapido
- 7.- Presostato de alta presión
- 8.- Válvula de corte de gas piloto
- 9.- Regulador de presión de encendido
- 10.- Válvula solenoide de piloto
- 11.- Válvula solenoide de venteo.

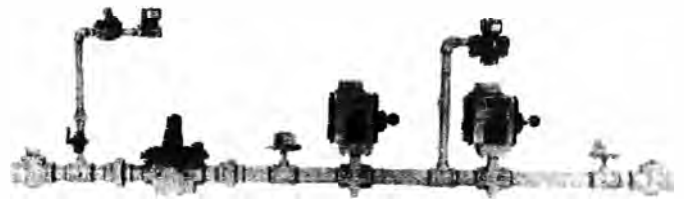
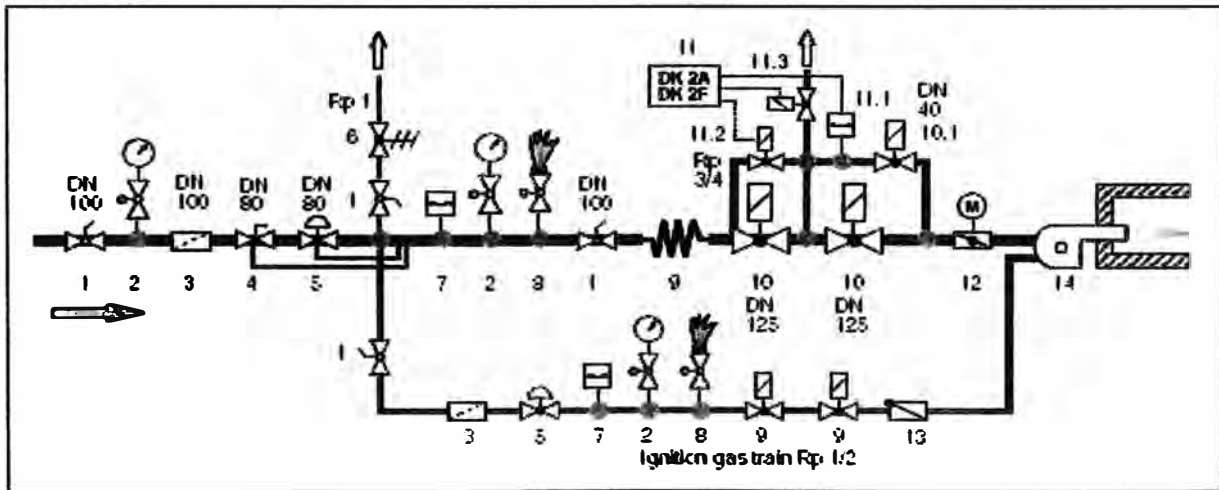


Fig. 41.- Tren de válvulas de seguridad MAXON



- | | | | | | |
|---|--|------|--------------------------|------|-------------------------|
| 1 | Ball valve | 7 | Min. pressure switch | 11.2 | Test solenoid valve |
| 2 | Manometer with pressure pushbutton valve | 8 | Test burner | 11.3 | Leak gas solenoid valve |
| 3 | Filter | 9 | Compensator | 12 | Gas control valve |
| 4 | Safety shut-off valve (SAV) | 10 | Solenoid valve | 13 | Reset device |
| 5 | Gas pressure regulator | 10.1 | Bypass solenoid valve | 14 | Firing |
| 6 | Safety blow-off valve (SBV) | 11 | Leak tester, DK 2 system | | |
| | | 11.1 | Test pressure switch | | |

Fig. 42.- Tren de válvulas de seguridad DUNGS

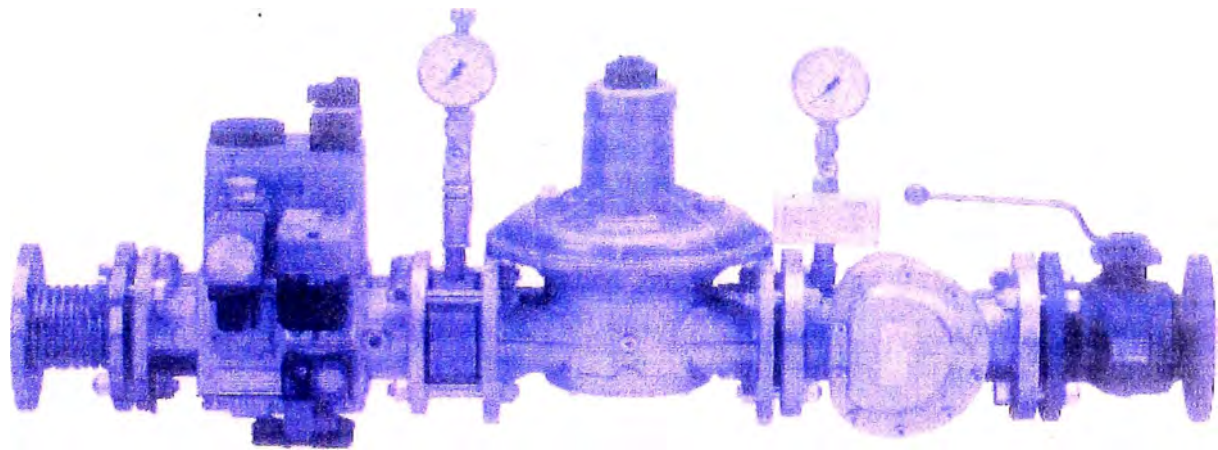


Fig. 43.- Tren de válvulas de seguridad DUNGS

Las válvulas, filtros y reguladores fueron expuestos ampliamente en el capítulo anterior, los componentes adicionales que aparecen un tren de válvulas son:

Presostatos de Baja y Alta.

Válvulas Solenoides o Shut Off

4.2.5.1 Presostatos de Alta y Baja: Estos elementos tiene por función indicar mediante su cambio de estado una anomalía en el sistema de regulación de gas al controlador de llama del equipo, y en su estado de operación constituyen parte del protocolo de seguridad antes del encendido.

Dependiendo de la norma aplicable y la capacidad del equipo se puede prescindir del presostato de baja presión.

El presostato de baja presión indica cuando existe una caída muy grande de presión en el



Fig. 44.- Presostato

presión en la línea de gas, por ejemplo ante la rotura de un diafragma de un regulador de presión. Al igual que el presostato de baja es parte del protocolo de seguridad antes del encendido.

La ubicación del presostato de baja antes del primer solenoide y el presostato de alta después del segundo solenoide es necesario para el correcto protocolo de encendido, es decir, si ubicásemos el presostato de alta antes del primer solenoide, y el presostato de baja después del segundo solenoide, durante el protocolo de encendido el presostato de alta daría pase para el encendido puesto que no estaría sensando una sobre presión de gas, sin embargo el presostato de baja no permitiría el encendido puesto que estaría sensando una presión nula después del segundo solenoide.

El presostato de baja se instala normalmente cerrado mientras que el presostato de alta se instala normalmente abierto.

tren de válvulas al programador de llama cerrara las válvulas, esto puede darse por el cierre de la válvula de gas a la entrada del tren de regulación o bloqueo de éste por una sobre presión que no sea superior al seteo del presostato de alta.

El presostato de alta se instala después del segundo solenoide y más cerca del quemador, éste cambia de estado ante una excesiva sobre

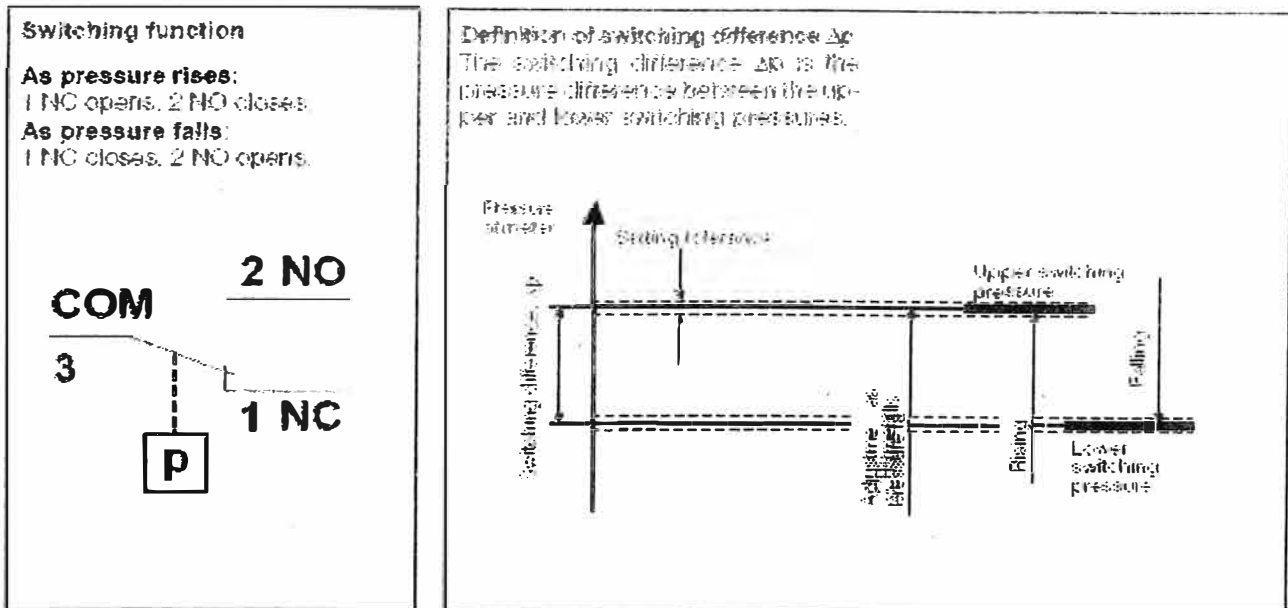


Fig. 45.- Esquema de funcionamiento Presostato

4.2.5.2 Válvulas Solenoides o Shut Off:

Las válvulas solenoides o Shut Off son las encargadas de cerrar y abrir del paso de gas hacia el quemador, son la parte más importante del sistema de seguridad del equipo de combustión, éstas deben permitir un cierre rápido y seguro del gas ante cualquier problema, existen diferentes tipos de válvulas solenoides para gas natural, su aplicación y uso depende de la norma aplicable y la capacidad del equipo, tenemos. por ejemplo, válvulas tipo cuchilla accionadas eléctricamente, que soportan alta presión, en este caso la norma permite utilizarlas sin necesidad de instalar válvulas de bloqueo por sobre presión en los reguladores, puesto que ante una eventual falla de estos, la presión máxima de la línea puede ser soportada por esta válvulas, dentro de esta configuración pueden tener o no reseteo automático o manual.



*2.5" Series STO-9CF
position "R"*



*1.5" Series STO-9I
position "L"*

Fig. 46.- Válvulas Shut Off MAXON

Existen válvulas solenoides diseñadas para trabajar con presiones máximas admisible por debajo de la presión de suministro de la red interna, es decir, con presiones máximas de 300 a 500 mbar, en este caso es necesario el uso de reguladores con bloqueo por sobre presión incorporado, igualmente existen las válvulas de apertura lenta y cierre rápido y de apertura rápida y cierre rápido, en este caso la válvula de apertura lenta se ubica más cerca del quemador para abrir en forma gradual el paso de gas hacia el equipo; dependiendo la norma puede ser necesario la válvula de venteo.

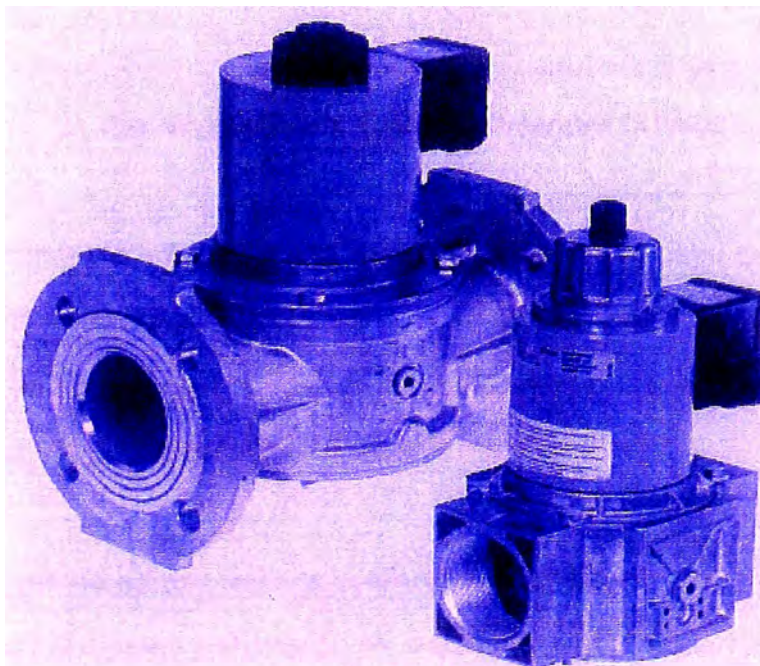


Fig. 47.- Válvulas de apertura rápida y lenta DUNGS

Type MVD 100

Type MVDLE 6

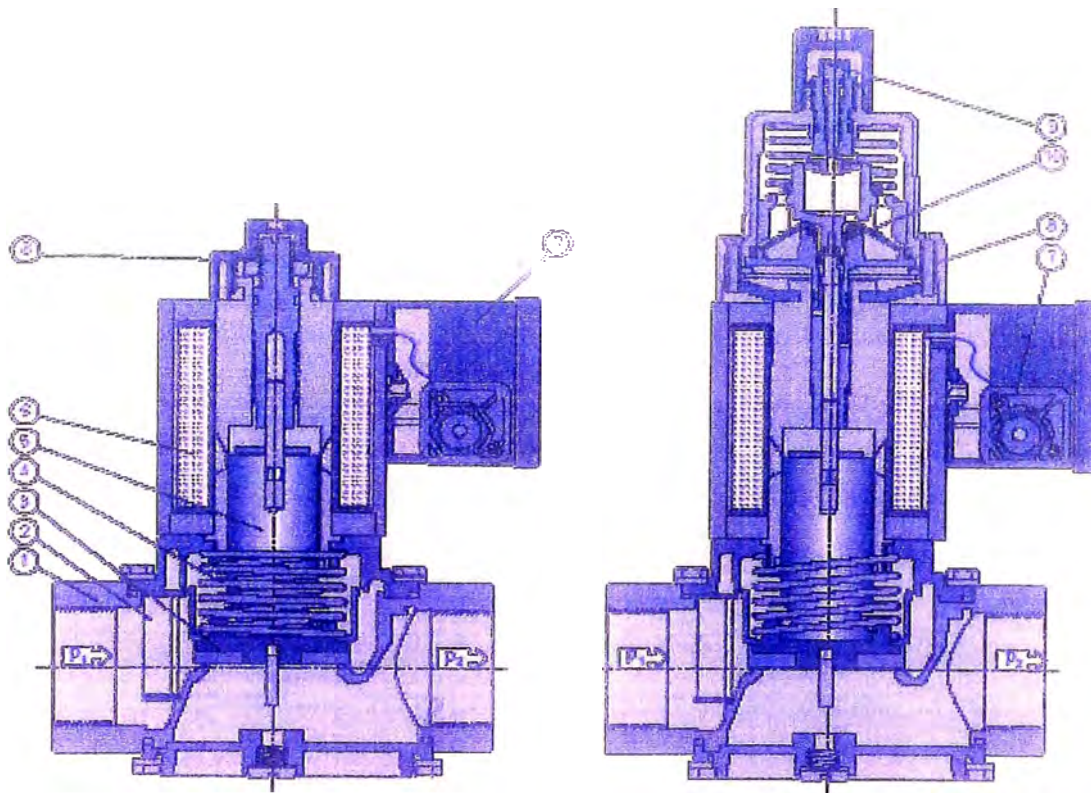


Fig. 47.- Esquema Interno de válvulas DUNGS

En este caso tenemos válvulas de la marca DUNGS en el caso de la válvula MVD estas tienen un tiempo de apertura de menos de 1 segundo y para la misma capacidad la válvula MVDLE tiene un tiempo de apertura de hasta 20 segundos, en ambos casos el tiempo de cierre es menor a 1 segundo.

La válvula de venteo es una válvula solenoide normalmente abierta que se ubica entre las dos solenoides principales y su misión es evacuar el gas cuando hay una parada brusca del equipo y en caso de existir un pase entre las válvulas principales evacuar el gas hacia el

exterior mientras el equipo está apagado evitando de esta forma que pueda existir la posibilidad que ingrese gas a la cámara de combustión estando el equipo apagado.

De acuerdo a la capacidad y la norma aplicable se puede tener válvulas integradas con dos solenoides incorporadas, una de apertura rápida y otra de apertura lenta pero ambas de cierre rápido.

Sectional drawing of MB-DLE...

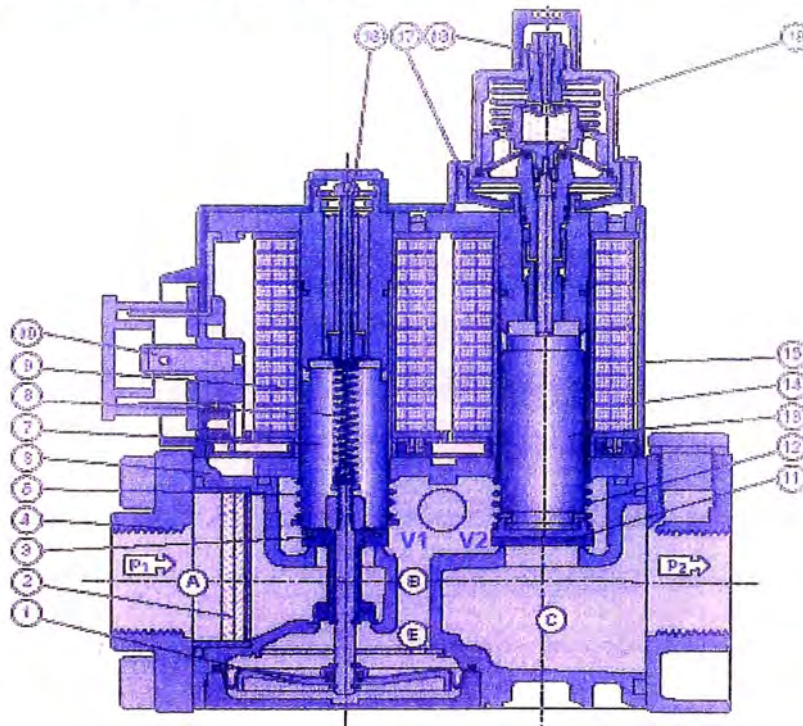


Fig. 48.- Válvula Integrada Combi Block DUNGS

En este caso se tiene la posibilidad de tener incorporados los puertos para los presostatos en el cuerpo de la válvula, haciendo de esta manera la instalación más compacta.

Como notaremos en el caso de tener válvulas independientes es mas facil y sencillo verificar si existe algún pase entre la primera y segunda válvula, con una inspección periódica, conectando una manguera de prueba en uno de los puertos aguas debajo de las válvulas podemos ver mediante la prueba de la burbuja si existe pase en la primera o en la segunda válvula solenoide.

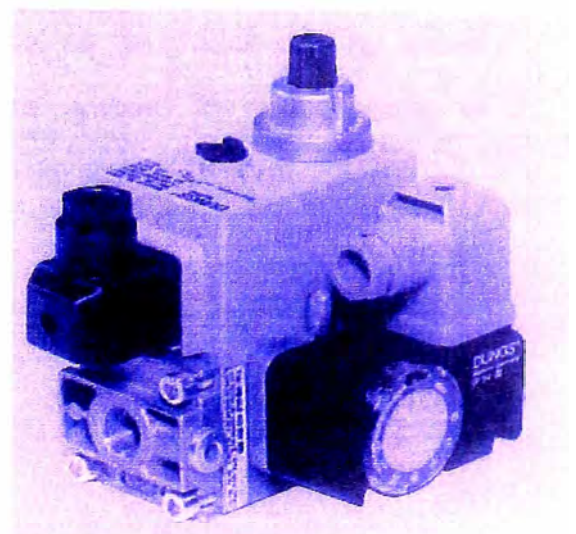


Fig. 49.- Válvula Integrada Combi Block DUNGS

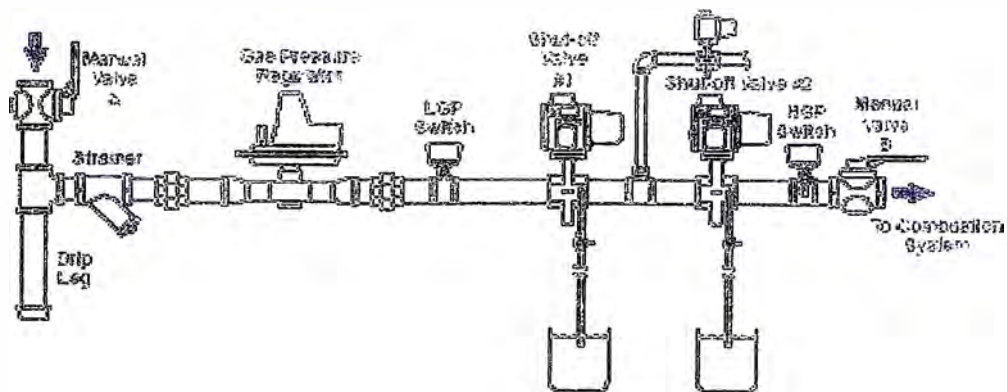


Fig. 49.- Esquema de prueba válvulas Shut Off MAXON

En el caso de las válvulas integradas notamos que es un poco más difícil hacer esta verificación, es por eso que se utilizan sistema de verificación de presión en las válvulas integradas, Estos sistema por sus siglas en ingles son comúnmente llamados VPS (Valve Proof System)

El sistema consiste en un mini compresor que realiza una prueba de verificación de estanqueidad cada vez que el sistema empieza la secuencia de encendido, tomando para esto gas de aguas arriba del primer solenoide e inyectándolo entre ambos solenoides y verificando durante un tiempo que se programa que no existe pase entre ambos, lo cual permite el encendido del equipo de combustión.

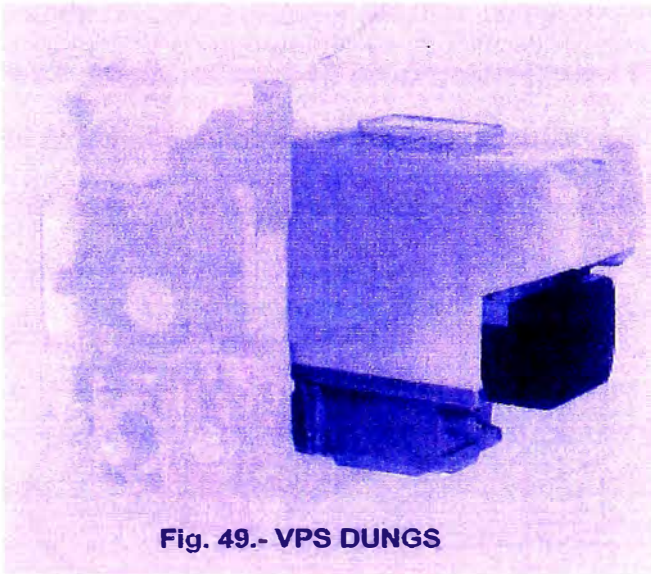


Fig. 49.- VPS DUNGS

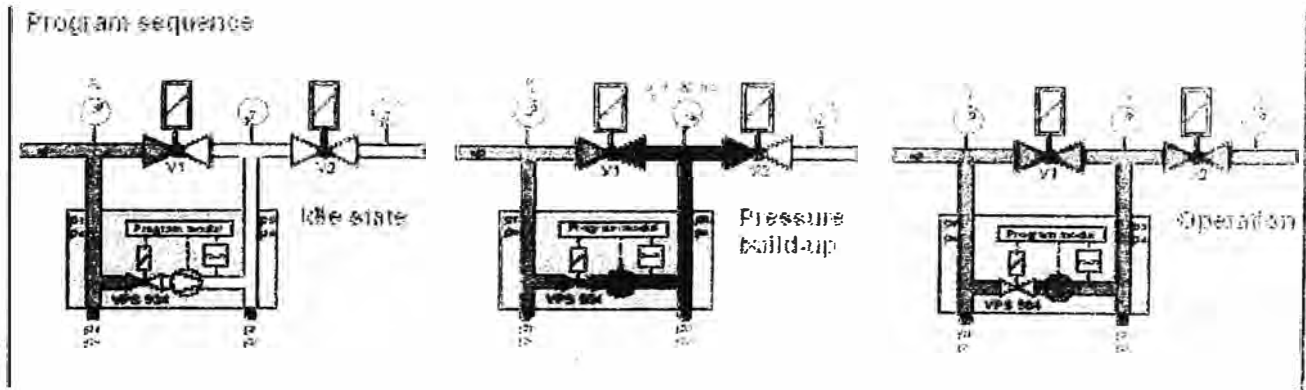


Fig. 49.- Funcionamiento VPS DUNGS

4.2.6 Control de Flujo de Gas:

El control o modulación del flujo de gas en un quemador es esencial para garantizar la correcta relación aire combustible a todo lo largo del rango de trabajo.

Esta proporción es relaciona el flujo de gas con el flujo de aire, y la modulación de gas se realiza luego del tren de válvulas, existen diferentes formas de controlar y variar la proporción de aire y gas para quemadores industriales, principalmente para quemadores nozzle mix expondremos las más comúnmente usadas.

4.2.6.1 Control usando proporcionadores Fijos:

El aire y el gas ingresan al quemador en una proporción fija controlada por dos válvula tipo mariposa conectadas por una varilla y actuadas por un servomotor.

Tiene la ventaja de su fácil operación y es ideal para sistema que trabajan en dos posiciones de fuego, es decir, alta y baja.

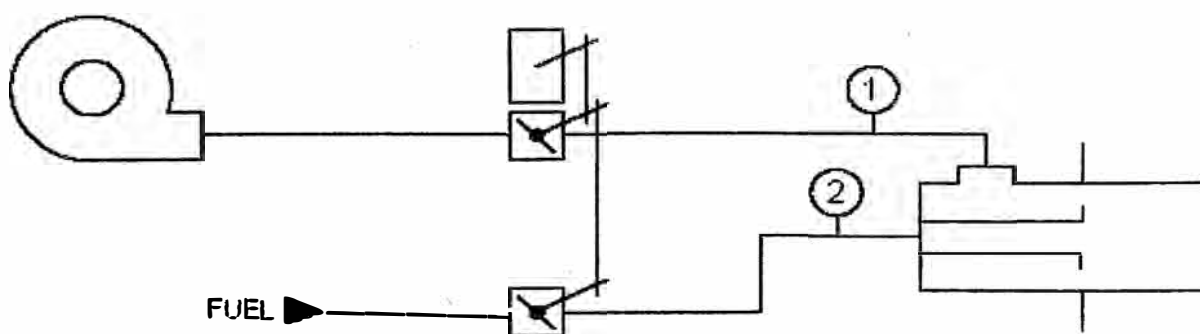


Fig 50.- Control Usando Proporcionadores Fijos

4.2.6.2 Control usando proporcionadores variables:

Este caso es similar al anterior con la diferencia que la válvula de gas tiene una leva W que facilita y da mayor rango de proporcionalidad y regulación,

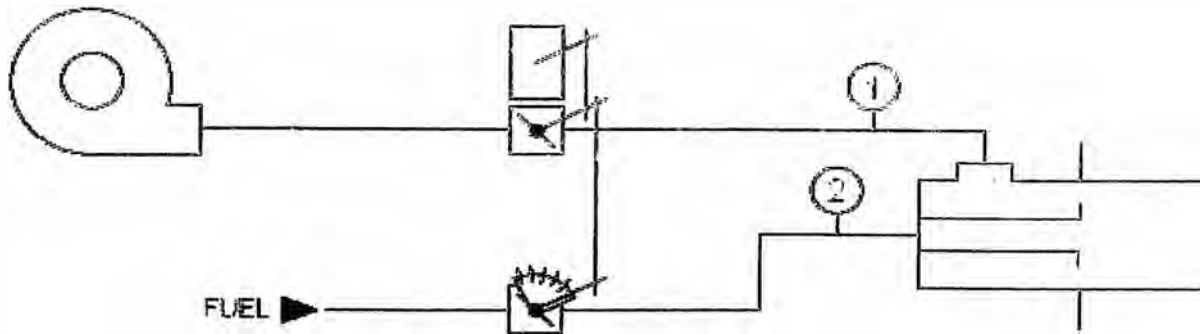


Fig 51.- Control Usando proporcionadores variables

4.2.6.3 Control usando proporcionadores interconectados:

En este caso el flujo de aire es variado directamente por una válvula servo operada, la presión del aire de combustión actúa sobre una válvula proporcional en la línea de gas, la cual se abre o cierra en forma proporcional a la presión de aire, y el flujo de gas esta limitado por un orificio en la línea de gas.

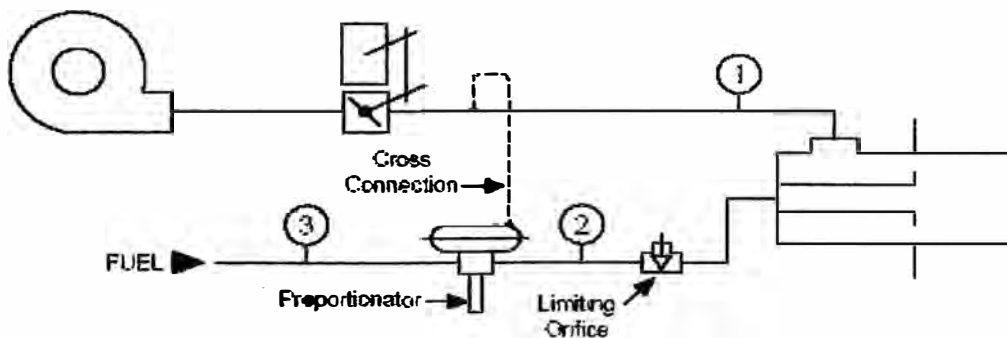


Fig 52.- Control usando proporcionadores interconectados

4.2.6.4 Control usando proporcionadores interconectados con válvula de sangrado:

Este tipo de control se utiliza cuando se requiere usar un proporcionador pero se tiene que la presión de aire es superior a la máxima presión admisible por el proporcionador, o cuando la presión de aire a máxima carga es superior a la presión de suministro de gas.

En este caso se instala una válvula de sangrado en la línea de conexión, la cual es una válvula tipo aguja cuyo objetivo es reducir la presión por lo menos 2 pulgadas de agua por debajo de la presión de ingreso de gas para que el proporcionador trabaje correctamente.

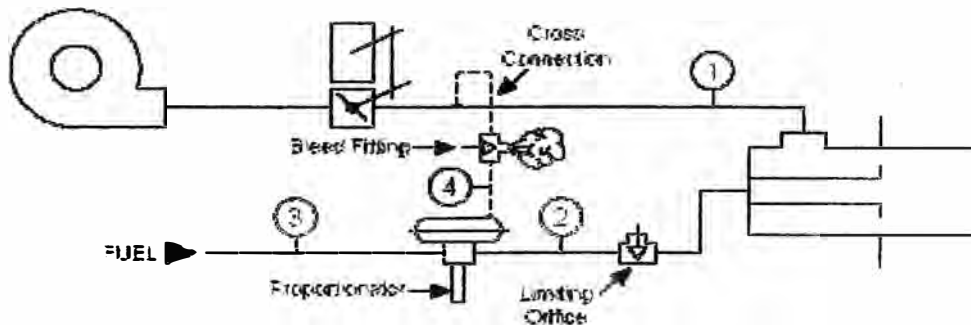


Fig 53.- Control usando proporcionadores interconectados con válvula de sangrado

4.2.6.5 Control usando controladores electrónicos:

Este es el tipo de control mas sofisticado, consiste en una válvula servo operada en la línea de aire que responde a una control de temperatura, y un controlador electrónico conectado a un medidor de flujo en la línea de aire y una medidor de flujo en la línea de gas, se programa las relaciones aire combustible optimas para cada punto de operación y el controlador varia una válvula en la línea de gas en función a los datos captados de los medidores de flujo.

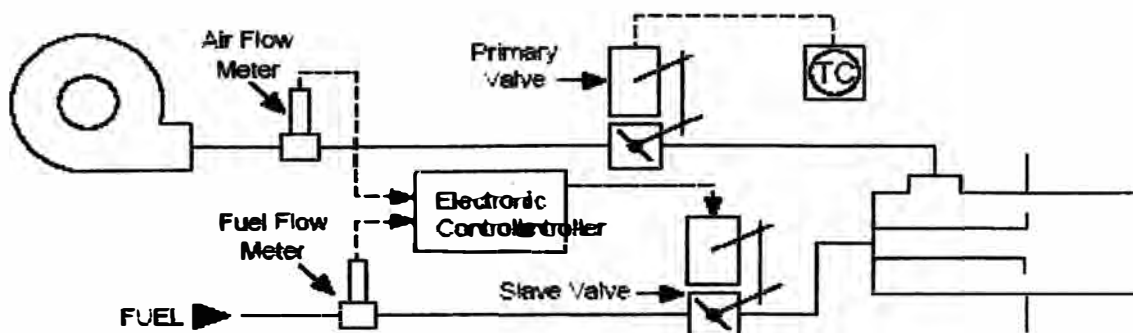


Fig 54.- Control usando controladores electrónicos

CAPÍTULO 5

EL PROYECTO DE CONVERSIÓN A GAS NATURAL

Osinerg ha aprobado el "Procedimiento para la Habilitación de suministros en Instalaciones Internas de Gas Natural" mediante Resolución Osinerg N°164- 2005-OS/CD, con fecha del 13 de Julio del 2005, este reglamento da las pautas mínimas necesarias en las que se debe enmarcar un proyecto de conversión a gas natural.

En el presente capítulo tiene por objetivo explicar las pautas se deben seguir para llevar satisfactoriamente la ejecución de un proyecto de conversión a gas natural.

Para empezar tenemos vamos a enunciar los requisitos del reglamento nacional para la habilitación de una empresa con gas natural.

El procedimiento es de aplicación para todas las labores de habilitación de suministros de gas natural en instalaciones internas residenciales, comerciales, industriales y de consumidores independientes que se ejecuten a nivel nacional, exceptuando las instalaciones de los "Establecimientos de Venta al Público de Gas Natural Vehicular - Gasocentros de GNV" y Consumidores Directos de GNV. Los instaladores registrados que realicen labores de construcción, reparación, mantenimiento o modificación de instalaciones internas de gas natural, deberán regirse por las normas contenidas en el presente cuerpo normativo.

Durante todo el proceso de las actividades contempladas en el presente procedimiento, el instalador a cargo de las mismas deberá encontrarse debidamente inscrito en el Registro de Instaladores de Gas Natural y no encontrarse suspendido en dicho registro.

Requisitos del Proyecto de Instalación de Gas Natural (P.I.G.)

El P.I.G. presentado por el Consumidor o el Instalador registrado deberá contener la siguiente información y documentación:

- a) Cronograma de obras y actividades.
- b) Plano de ubicación del predio incluyendo recorridos en planta de las tuberías de la instalación interna y la ubicación de la estación de medición y regulación primaria.
- c) Planos Generales de la instalación en formato A1, debiendo tomarse en consideración lo siguiente:
 - El isométrico deberá contener la planilla de cálculos donde se especifique: la longitud de la tubería incluyendo la longitud equivalente de accesorios, las presiones de diseño y de cálculo, la velocidad y caída de presión las características de las tuberías y los accesorios incluyendo normas de fabricación y del fabricante.
 - El "lay-out" deberá contener los recorridos en planta de las tuberías de la instalación interna y la ubicación de la estación de medición y regulación secundaria.
- d) Planos mecánicos de la(s) "Estación(es) de Regulación y Medición Secundaria(s)" en formato A1 o A2; planos de elevación y planta indicando distancias de seguridad, los cuales deberán contener la lista de los componentes especificando para cada uno de ellos, materiales, normas con las que cumple, y el fabricante (los planos constructivos conteniendo aspectos mecánicos y civiles de la estación de regulación y medición primaria, deberán ser solicitados al Concesionario e incorporados al P.I.G.).
- e) Diseño de protección catódica (criterios de diseño, datos y resultados).
- f) Procedimientos de soldadura y especificaciones de las juntas soldadas.

g) Consideraciones generales para el dimensionamiento y selección de materiales y equipos:

- Carga térmica de equipos.
- Consumo de gas natural.
- Características del consumo: demanda máxima y mínima.
- Criterios de caída de presión permitidos y velocidades máximas.

Entregar durante y/o al final de la construcción al Concesionario, para el caso de tuberías de acero al carbono, polietileno, cobre, y equipos de combustión, los siguientes documentos:

a) Certificados de Calidad de los materiales y equipos empleados, los que deberán cumplir con la normativa correspondiente.

b) Plano P&ID de la(s) Estación(es) de Regulación Secundaria incluyendo detalles del tren de válvulas de regulación y seguridad y de los sistemas de combustión, para cada punto de consumo. En los citados planos se deberá indicar los valores de calibración de reguladores, válvulas de seguridad, presostatos, tiempos de seguridad en secuencia de arranque y parada y planilla de cálculo de la velocidad y caída de presión en el tren de válvulas.

c) Certificados de homologación de soldadores / fusionistas.

d) Registro de los Ensayos No Destructivos realizados a las tuberías soldadas.

e) Resultado de las pruebas hidráulicas y/o neumáticas en lo que corresponda y, de acuerdo a la normatividad nacional y/o internacional aplicable (ASME B31.3). Las pruebas, deberán ser presenciadas por el Concesionario.

f) Plano isométrico conforme a obra.

g) Registro de comisionado de equipos.

h) Registro de los parámetros de los equipos empleados en soldaduras de polietileno por electrofusión y soldadura de acero al arco (incluyendo de trazabilidad de los accesorios).

i) Procedimiento para la puesta en marcha de las instalaciones internas.

El Consumidor o el Instalador registrado deberán presentar al Concesionario la siguiente documentación:

- a) Estudio de Riesgo de las instalaciones internas de gas natural, donde se considerará todos los riesgos que surjan del proceso y de las actividades relacionadas al trabajo.
- b) Manual de Operaciones de las instalaciones.
- c) Plan de Contingencias.
- d) Programa de Mantenimiento.
- e) Planos conforme a la obra de la instalación interna.
- f) Certificación de Obra Bien ejecutada de las instalaciones internas, expedida por una empresa certificadora acreditada ante INDECOPI. Dicha certificación, a cargo del Consumidor, deberá incluir los resultados de las inspecciones y pruebas técnicas que resulten necesarias.

El desarrollo de todo proyecto tiene tres fases fundamentales las cuales son:

- 1.- Planificación
- 2.- Ejecución
- 3.- Cierre.

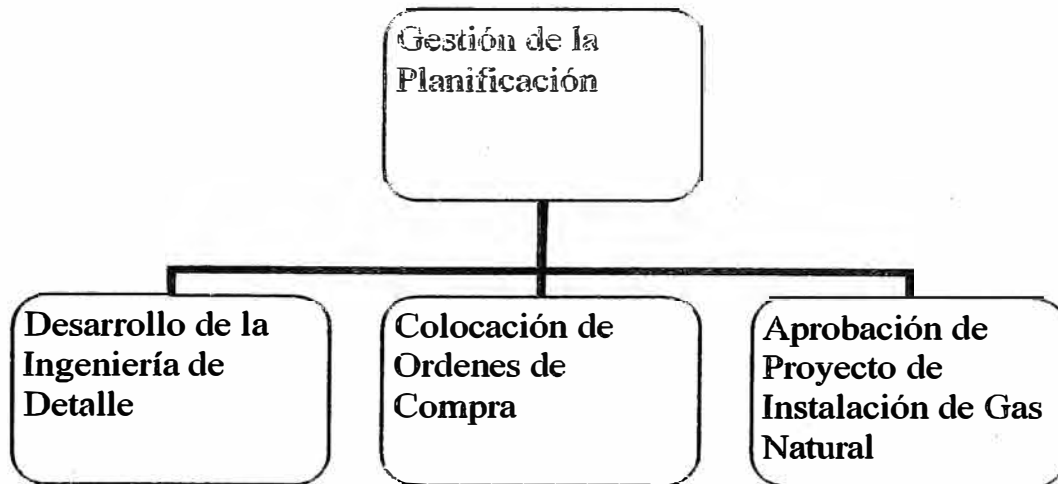
En el marco de estas tres fases fundamentales desarrollaremos la metodología de ejecución de un proyecto de conversión a gas natural.

5.1 Gestión de la Planificación.

Es la fase inicial de todo proyecto, una vez asignado el proyecto de conversión debemos tomar en cuenta que debemos tener entradas de datos y se debe concluir la fase de planificación con tres entregables principales:

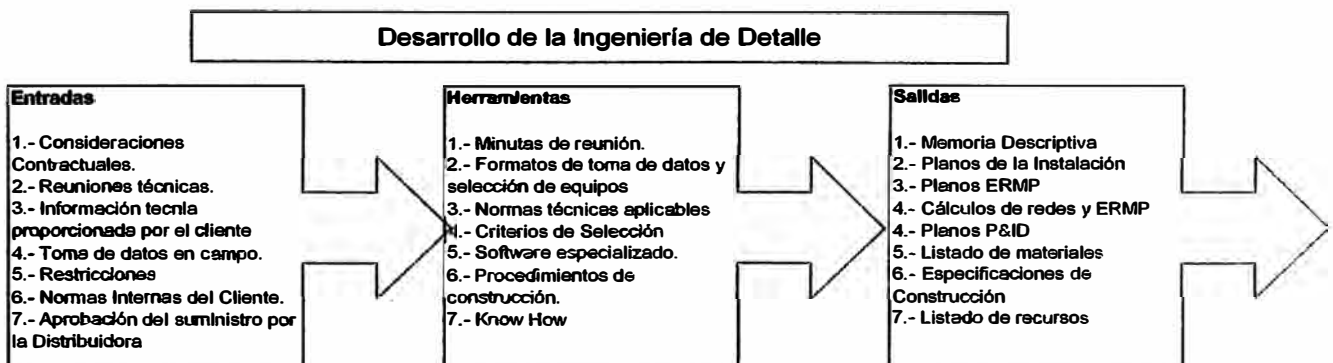
1. Desarrollo de la Ingeniería de Detalle
2. Colocación de Ordenes de Compra de Materiales y suministros.
3. Aprobación del Proyecto de Instalación de Gas Natural por la Distribuidora.

Cada uno de estos entregables de la fase de planificación tiene tareas internas de interdependencia, así por ejemplo:



5.1.1 Desarrollo de la Ingeniería de Detalle.

Para el desarrollo de la ingeniería de detalle de un proyecto de conversión debemos tener en cuenta las siguientes entradas y herramientas.



Entradas al desarrollo de la Ingeniería de Detalle.

Consideraciones Contractuales

Las consideraciones contractuales son la base del proyecto, el contrato es base sobre la cual se deben realizar los trabajos, y se debe procurar que sea lo más explícito posible en temas que puedan generar controversia entre el instalador y el cliente, estos temas son los siguientes:

- 1.- **Marcas de equipos y componentes a instalar, cuando sea posible se debe especificar modelos y/o números de parte, esto se aplica para equipos tales como quemadores, reguladores y medidores.**
- 2.- **Alcance de los trabajos, sobretodo cuando el proyecto no es completamente un "llave en mano", es decir, cuando toda la instalación no será realizada por un solo instalador, en este caso es recomendable considerar también los tiempos máximos de entrega de información técnica específica por todas las partes involucradas.**

Reuniones técnicas:

Las reuniones técnicas deben ser efectuadas en base a una agenda, y propuestas por cualquiera de las partes, se debe buscar la claridad de conceptos y expectativas, y ser lo más breves posibles.

Información técnica proporcionada por el cliente

La información técnica que el cliente proporcione sobre cualquiera de los aspectos del proyecto debe ser lo más explícitas y reales, esta se debe solicitar en la reunión de inicio de proyecto. Existe el caso donde el cliente no cuenta con la información mínima de sus equipos, sobretodo de los sistemas de combustión, y mucho menos certificados de los mismos, en estos casos, se debe plantear la búsqueda de información por Internet de todos los componentes y una verificación de cumplimiento de normas de seguridad, es decir, se debe contrastar lo existen frente al requerimiento de una norma de seguridad del equipo,

esta norma se puede asumir en función del país de procedencia del equipo, en este caso se debe también hacer partícipe a la certificadora de este hecho de manera formal.

Toma de datos en campo

La toma de datos en campo abarca el levantamiento de planos, datos de placa de equipos existentes, presiones de operación en caso de tener instalaciones que trabajen con GLP, y consideración varias que se consideren relevantes para el desarrollo del proyecto.

Normas Internas del Cliente:

La ingeniería de detalle de la instalación de gas natural debe estar de acuerdo con los estándares del cliente, y cuando exista una incompatibilidad de la norma técnica aplicable con las normas internas del cliente; en el caso que estas últimas sean más exigentes se deberán tomar en consideración para la elaboración de la misma.

Aprobación del suministro

Para el desarrollo de la ingeniería de detalle se debe considerar siempre el tipo de suministro que esta aprobado por la distribuidora, esto es consideraciones de caudal y presión que están plasmadas en el documento llamado Solicitud de Factibilidad de Suministro firmado entre la distribuidora y el cliente.

Herramientas

Minutas de Reunión

Es un documento que se debe llenar obligatoriamente con los acuerdos, compromisos y responsables asignados para cada tema de la agenda de la reunión planteada, y debe hacerse llegar a todas las partes involucradas con las respectivas firmas de los responsables del proyecto.

Modelo de Acta de reunión

Logotipo		Proyecto	NOMBRE DEL PROYECTO				Registro N°	CODIGO		
		Cliente	NOMBRE DEL CUENTE				Revisión N°	001		
		Contrato	N° DE CONTRATO	Centro de Costo	N° CENTRO COSTO	Hoja	01	de 01		
Reunión N°	Fecha:	MINUTA DE REUNION					Lugar de Reunión			
Minuta N°	Hora						Solicitada por:			
Participantes	Por el Cliente			Por el Instalador			Otros			
		Nombre	Cargo		Nombre	Cargo		Nombre	Cargo	Entidad
	1.			1.			1.			
	2.			2.			2.			
3.			3.			3.				
Agenda	Descripción								Tiempo	
	1.									
	2.									
	3.									
4.	Otros									
Acuerdos						Responsable	Fecha	Observaciones		
1.										
2.										
3.										
4.										
Observaciones Generales:										
Notas Generales:		Jefe de Proyecto:	Día	Cliente	Día	Adjunto 1	Día	Adjunto 2	Día	
			Mes		Mes		Mes		Mes	
			Año		Año		Año		Año	

Formato de Toma de datos

Los formatos de tomas de datos deben desarrollarse para cada aplicación que se tenga que convertir a gas natural, en este formato se debe especificar los siguientes puntos:

- Nombre del equipo
- Fabricante y Año de Fabricación
- Modelo y Número de Serie
- Número de Quemadores
- Fabricante y Año de Fabricación de quemadores
- Modelo y Número de Serie de Quemadores
- Capacidad y Combustible usado
- Tipo de Control
- P&ID del Tren de Válvulas

Marca y modelo de componentes

Norma con la que cumple

Las normas técnicas aplicables, el criterio de selección de equipos, los procedimientos de construcción y el software utilizados son recursos que pueden variar y su uso queda determinado por el proyectista.

5.1.2 Colocación de Órdenes de Compra



Las entradas principales para este proceso son las salidas del proceso de Desarrollo de la Ingeniería de Detalle, como son el listado de materiales y las especificaciones de construcción:

El listado de materiales debe contener:

Nombre del Equipo

Especificaciones técnicas

Normas con las que debe cumplir

Marcas y Fabricante

Cantidad

Las consideraciones contractuales influyen en la marca que se debe comprar, la procedencia y sobre todo el tiempo de entrega ofrecido, puesto que al haber componentes

que necesariamente se debe importar tenemos que considerar los tiempos de transporte y plazo de entrega.

Las solicitudes de cotización deben ser enviadas a los proveedores, y se debe tener en cuenta la siguiente información mínima requerida:

Precio

Condición de Entrega

Garantía

Plazo de entrega

Forma de Pago

Todas las cotizaciones que se acepten deben estar de acuerdo a las especificaciones técnicas solicitadas en la lista de materiales, no se procesarán cotizaciones que no cumplan con los requerimientos técnicos solicitados.

El cuadro comparativo de cotización es una herramienta para la toma de decisión de compra de los componentes del proyecto, y ésta debe indicar comparativamente por lo menos dos cotizaciones efectuadas para cada ítem del listado de materiales,

Se debe buscar el equilibrio entre todos los aspectos para tomar una decisión de compra, para esto debemos asignar puntajes para cada ítem: una recomendación es la siguiente:

Puntaje <input type="text"/>	Puntaje	Precio	Plazo de entrega	Forma de Pago	Garantía	Confiability del Proveedor
Excelente	5					
Bueno	4					
Regular	3					
Malo	2					
Pésimo	1					

En base al estudio de los cuadros comparativos debemos estar en condiciones de emitir todas las órdenes de compra correspondientes al proyecto de una sola vez, evitando de esta manera compras de "urgencia" que encarecen el proyecto.

5.1.3 Aprobación del Proyecto de Instalación de Gas Natural por la Distribuidora.



Las entradas para este proceso son principalmente el desarrollo de la ingeniería de detalle y los plazos de entrega de los suministros, equipos y servicios contemplados en las órdenes de compra, para la aprobación del PIG (Proyecto de Instalación de Gas) tal como lo hemos enunciado al inicio del capítulo, necesitamos a parte de la ingeniería de detalle, el cronograma del proyecto, el cual debe tener concordancia entre las consideraciones contractuales y los plazos de entrega de las órdenes de compra.

5.2 Gestión de la Ejecución

Una vez aprobado el Proyecto de Instalación de Gas, se debe dar por concluida la fase de planificación y nos debemos concentrar completamente en las dos fases siguientes de l proyecto, que son la ejecución y el cierre.

La etapa de ejecución se traslapa con la etapa de planificación y con la etapa de cierre, los entregables que debemos tener son los siguientes:

Planos As Built, Welding Map y registros de Calidad correspondientes.

Registros de Interlock Test de los equipos instalados.

La etapa de construcción de una instalación interna de gas natural tiene los siguientes procesos:

- 1.- Recepción de Materiales
- 2.- Selección de Personal especializado
- 3.- Trazo y replanteo en campo
- 4.- Obras de Metalmecánica
- 5.- Obras Civiles
- 6.- Obras Eléctricas
- 7.- Pruebas a la instalación

Cada uno de estos procesos tiene un entregable que es parte de los requisitos de habilitación de la instalación, así:

Proceso	Entregable
Recepción de Materiales	Registro y certificados de calidad de materiales
Selección de Personal especializado	Registro y Calificación de soldadores y fusionistas
Trazo y replanteo en campo	Planos AS Built
Obras Metalmecánicas	Welding Map y Welding Book
Obras Civiles	Planos As Built
Obras Eléctricas	Planos As Built
Pruebas a la instalación	Registro de medición de espesores de Pintura Ensayos No Destructivos Pruebas de Hermeticidad Interlock Test.

Cada uno de estos procesos deben tener un procedimiento dentro del marco del control y aseguramiento de la calidad de la instalación, así debemos tener para la ejecución los siguientes procedimientos:

N°	Código	Descripción	Fecha de emisión	Requerido	Observaciones
1	XXX-NT-015	Procedimiento de Recepcion de materiales y equipos para fabricacion	01/02/2006	X	Procedimiento
2	XXX-RC-001	Registro de Recepcion de Materiales y Equipos	01/02/2006	X	Registro
3	XXX-NT-016	Procedimiento de Arenado de tuberías para fabricacion de	01/02/2006	X	Procedimiento
4	XXX-NT-017	Procedimiento de Pintura para fabricacion de	01/02/2006	X	Procedimiento
5	XXX-NT-018	Procedimiento de Toma de Espesores de Pintura para fabricacion de	01/02/2006	X	Procedimiento
6	XXX-RC-006	Registro de Preparacion de Superficie y Arenado	01/02/2006	X	Registro
7	XXX-NT-008	Procedimiento de Soldadura de Tuberías de Acero al carbono	01/02/2006	X	Procedimiento
8	XXX-WPS-001	Especificacion de Procedimiento de Soldadura	29/04/2005	X	Especificacion
9	XXX-WPS-002	Especificacion de Procedimiento de Soldadura	29/04/2005	X	Especificacion
10	XXX-PQR-001	Registro de Calificacion de Procedimiento de Soldadura	29/04/2005	X	Registro
11	XXX-PQR-002	Registro de Calificacion de Procedimiento de Soldadura	29/04/2005	X	Registro
12	XXX-RC-002	Registro de Soldadores Calificados	01/02/2006	X	Registro
13	XXX-NT-022	Procedimiento de Inspeccion Visual de Soldaduras para fabricacion	01/02/2006	X	Procedimiento
14	XXX-RC-003	Registro de Control de Montaje de Tuberías	01/02/2006	X	Registro
15	XXX-NT-021	Procedimiento para Ejecucion de ensayos por liquidos penetrantes para fabricacion	01/02/2006	X	Procedimiento
16	XXX-NT-019	Procedimiento para ejecucion de prueba de Hermeticidad	01/02/2006	X	Procedimiento
17	XXX-NT-020	Procedimiento para ejecucion de prueba de Resistencia	01/02/2006	X	Procedimiento
18	XXX-RC-004	Registro de Prueba de Hermeticidad	01/02/2006	X	Registro
19	XXX-RC-005	Registro de Prueba de Resistencia	01/02/2006	X	Registro

El procedimiento de Interlock Test requerido para la habilitación del suministro es un documento que debe ser comprobado para todos los sistemas de combustión, es potestad de la distribuidora pedir estar presente durante la ejecución de la misma.

Este documento es un check list de las condiciones de seguridad que tiene el tren de válvulas de un equipo de combustión, en general, lo mínimo que debe contener son las siguientes verificaciones

- 1.- Verificación de Presostatos.
- 2.- Verificación de Válvula de bloqueo por sobre presión y alivio.
- 3.- Verificación de sensores de llama
- 4.- Verificación de cierre hermético de válvulas solenoides
- 5.- Verificación de tiempo de purga de la cámara de combustión.

:

5.3 Gestión del Cierre

El cierre del proyecto de instalación de Gas Natural tiene como entregable la aprobación del expediente final de obra.

Se debe incluir en este proceso los documentos de Análisis de Riesgos y Plan de Contingencia, plan de mantenimiento y operaciones, como adjuntos a los entregables de la ejecución del proyecto.

La elaboración de los estudios de Análisis de Riesgos y el Plan de Contingencia deben ser realizados por profesionales expertos en el área de seguridad para que sean documentos consistentes y cumplan sus funciones.

El plan de mantenimiento y operaciones debe ser desarrolla tomando como entradas los manuales de los equipos instalados y las buenas prácticas de mantenimiento.

Un ejemplo típico de plan de mantenimiento para una instalación interna de gas natural se muestra en las siguientes páginas.

SISTEMA	ELEMENTO	CONTROL	MEDIO	FRECUENCIA	FALLA	OPERACION DE MANTENIMIENTO
RED INTERNA DE TUBERIAS	TUBERIAS	Estanquidad	Puesta en presión manómetro Agua jabonosa Medidor de metano	1 año	Fuga	Localización de la fuga y reparación (elemento de calización, junta, soldadura, racor, etc.)
	VALVULAS	Estanquidad externa	Puesta en presión manómetro Agua jabonosa Medidor de metano	1 año	Fuga	Sustitución de juntas o prensa-estopa
		Estanquidad interna	Manómetro	1 año	Fuga	Sustitución de juntas y <<clapets>> internos o sustitución del elemento
		Libre funcionamiento de los órganos	Manual	1 año	Imposibilidad de manobra	Desatamiento o sustitución del elemento.
	FILTROS	Estanquidad externa	Puesta en presión manómetro Agua jabonosa Helio	1 año	Fuga	Sustitución de las juntas
		Obstrucción	Visual Manométrico	Filtro gas: 1 año Filtro aire: según situación	Pérdida de presión	Limpieza o sustitución
	REGULADORES DE PRESION	Presión de salida	Manómetro	6 meses	Perturbación de la presión de salida	Regular
		Estado de la membrana	Visual	1 año	Regulación defectuosa	Sustitución
		Estanquidad interna	Manómetro	1 año	Fuga	Limpieza o sustitución del <<clapet>> y asiento
		Estanquidad externa	Agua jabonosa	1 año	Fuga	Sustitución de juntas
		Libre funcionamiento de los órganos	Manómetro	1 año	Regulación defectuosa	Limpieza de los órganos de regulación
	PLACA CON ORIFICIO, MEDIDOR	Presión diferencial	Manómetro	Según pureza de fluido	Obstrucción	Limpieza

SISTEMA	ELEMENTO	CONTROL	MEDIO	FRECUENCIA	FALLA	OPERACION DE MANTENIMIENTO
QUEMADORES Y ELEMENTOS DE CALDEO Y SUS ACCESORIOS	Quemador	Aspecto de la llama	Visual	1 día	Desprendimiento de la llama, inestabilidad, propagación al interior, ruido, calor	Puesta en estado del sistema de mantenimiento de la llama (llama piloto, cono de combustión refractario, boca del quemador, etc.)
		Calidad de la combustión	Visual Analizador Caudalímetro	Según utilización	Pérdida de rendimiento, sobrecalentamiento, Emisión de hollín o inquemados	Regulación de la combustión por ajuste de los caudales de aire y de gas
	Piloto o quemador testigo de premezcla	Aspecto de la llama	Visual	1 día	Desprendimiento de la llama, llama demasiado larga, llama amarilla, etc.	Regulación de la combustión por ajuste de los caudales de aire y gas
	Tubo radiante en presión	Estanquidad	Indirecto, por constatación de anomalías en los productos	Según temperatura de utilización	Defecto sobre los productos calentados o tratados.	Cambio de tubo
		Limpieza interior	Visual	Según utilización	Pérdida de potencia	Limpieza Regulación del quemador
	Tubo radiante en depresión	Estanquidad	Caudalímetro Manómetro	Según temperatura de utilización	Pérdida de gas de atmósfera. Depresión en el horno	Cambio de tubo
		Limpieza interior	Visual	Según utilización	Pérdida de potencia	Limpieza Regulación del quemador
	MEZCLADOR AIRE-GAS	Composición de la mezcla	Analizador de gas	1 mes	Combustión defectuosa	Limpieza y regulación del mezclador a partir del análisis aire-gas y de los productos de combustión
	VENTILADOR	Obstrucción del filtro o de la parrilla de aspiración	Visual Manómetro Caudalímetro	Según atmósfera ambiente	Disminución de la presión	Limpieza
		Estado de las palas	Manómetro Caudalímetro	1 año	Disminución de la presión	Limpieza en caso de obstrucción Sustitución si es necesaria
		Velocidad de rotación	Cuenta velocidades	1 año	Disminución de la presión	Comprobar la tensión de las conchas Comprobar la conexión eléctrica Comprobar los rodamientos
	Registro de aire	Eficacia	Visual o análisis de humos o caudalímetro	Según atmósfera ambiente	Mala combustión o ausencia de llama	Limpieza del órgano de obturación (mariposa, opérculo, persiana, etc.)
		Libre funcionamiento	Visual	3 meses	Mala combustión Puesto en seguridad	Limpieza-desbloqueo de los registros
		Conexión órgano de mando-obturador	Visual	1 año	Mala combustión Puesto en seguridad	Reparación de la conexión
	Supresor de gas	Estanquidad	Manómetro	6 meses	Fuga de gas Caudal insuficiente	Localización de la fuga y reparación
		Obstrucción del filtro	Visual Manómetro Caudalímetro	1 año	Disminución de la presión	Limpieza o sustitución
Estado de las palas y rotores		Manómetro Caudalímetro	1 año	Disminución de la presión	Limpieza en caso de obstrucción Sustitución si es necesaria	
Velocidad de rotación		Cuenta velocidades	1 año	Disminución de la presión	Comprobar la tensión de las conchas Comprobar la conexión eléctrica Comprobar los rodamientos	
Tubo inmerso	Estanquidad	Visual	Según utilización	Puesta en seguridad, fuga de agua, obturación por el agua.	Cambio de tubo	
	Limpieza interior	Visual	Según utilización	Pérdida de potencia Retroceso de llamas	Limpieza Regulación del quemador	

SISTEMA	ELEMENTO	CONTROL	MEDIO	FRECUENCIA	FALLA	OPERACION DE MANTENIMIENTO
EQUIPO DE REGULACION	Captador de temperatura	Verificación-contraste del captador Estado de la funda de protección del captador	Visual Comparación con aparatos patrón	3 a 6 meses	Deterioro del captador Regulación defectuosa	Cambiar el elemento defectuoso
	Captador de presión	Paso libre de los Manómetros contactos del captador	Manómetro	Según utilización	Regulación defectuosa	Limpieza de los conductos del captador
	Servomotor	Regulación de las bielas de accionamiento de las válvulas	Manómetro o Analizador	3 a 6 meses	Combustión defectuosa a ciertos regimenes	Regulación de las bielas
		Tiempo de respuesta	Visual Cronómetro	3 a 6 meses	Tiempo de respuesta demasiado largo o demasiado corto	Ajuste
	Válvula	Libre funcionamiento y eficacia	Manómetro Manual	3 a 6 meses	Defecto de regulación y (o) de combustión	Desajustado, desbloqueado, limpieza, reparación
	Electroválvula	Estanquidad interna	Manómetro	3 a 6 meses	Fuga	Limpieza o sustitución del elemento defectuoso
	Regulador de presión	Limpieza de las tomas de presión	Manómetro	3 a 6 meses	Regulación defectuosa	Limpieza (ver alimentación de fluidos)
Registro de evacuación de humos	Libre funcionamiento y eficacia	Visual Manual	3 a 6 meses	Sobrepresión o depresión anormal	Ajuste	
EQUIPO DE SEGURIDAD	Electrodo de ionización	Desgaste	Control de la corriente de ionización por un micro-amperímetro	1 mes	Señal de detección en ausencia de la llama Puesta en seguridad intempestiva	Sustitución
		Posición		1 mes	Idem.	Colocación en posición correcta
		Limpieza	Visual	1 mes	Idem.	Limpieza
	Célula	Desgaste	Control de la corriente por amperímetro o minivoltímetro	1 mes	Señal de detección en ausencia de la llama Puesta en seguridad intempestiva	Sustitución
	Armario de mando (programador de encendido)	Temporización	Visual Cronómetro	3 meses	Secuencias demasiado largas o demasiado cortas	Colocación en estado correcto Sustitución

CONCLUSIONES

1.- La primera conclusión de este trabajo que he realizado radica en la importancia que tiene el uso del gas natural en nuestro país, no sólo es un combustible nuevo, sino que representa el futuro de nuestra matriz energética, y ahí radica la importancia que tiene la formación de profesionales en este campo, que tengan la mente abierta para aprender de la experiencia extranjera y agudeza mental para aplicar los conocimientos en nuestra sociedad.

2.- Las reservas de Gas Natural en el Perú están en el orden de los 8.24 TPC, esta cifra nos debe hacer ver la verdadera magnitud de las cosas, las reservas en el mundo de gas natural son del orden de 6,337.4 TPC, es decir que el Perú tiene tan solo el 0.13% de las reservas probadas mundiales, esto nos debe llevar a la conclusión que no tenemos todo el gas del mundo y nos debe llevar al compromiso con las generaciones futuras que los que ahora estamos trabajando lo hagamos de manera eficiente con un recurso que no lo tenemos asegurado para siempre.

3.- El índice de Wobbe es una propiedad muy importante para el cálculo y selección de los equipos de back up, que son muy importantes en procesos donde es crítico el tiempo de respuesta ante un eventual corte de suministro de gas natural.

4.-La combustión imperfecta o pseudo combustión es el tipo de combustión más cercano a al realidad, debemos entender sus causas y los factores limitantes en el diseño de los equipos de combustión existentes en el mercado.

5.- En los procesos de combustión con gas natural debemos controlar principalmente el exceso de aire y cuando sea posible técnica y económicamente debemos buscar ingresar con el aire a la mayor temperatura, para buscar una mayor eficiencia de combustión.

6.- Las altas temperaturas de llama y el exceso de aire, son los causantes principales de la formación de los Óxidos Nitrosos (NOx), los cuales son unos de los responsables de la contaminación atmosférica.

7.- El comportamiento práctico de un equipo de regulación dista mucho del comportamiento teórico debido a las limitaciones de fabricación que se tienen, es por eso que debemos tener en cuenta las curvas experimentales mostradas por los fabricantes, y debemos tener el criterio suficiente para valorar las tecnologías aplicadas para la fabricación de los mismos, esto es importante porque el desarrollo de equipos de regulación de presión de gas, va acompañado de práctica experimental y desarrollo de modelos matemáticos, no simplemente de los procesos de manufactura aplicados en su fabricación.

8.- Los quemadores tipo pre – mezcla son una alternativa técnico – económica atractiva en sistema que no requieren alta velocidad de llama y alto turndown.

9.- Los quemadores tipo Nozzle – Mix son la alternativa moderna para los sistemas de combustión industriales, con alta flexibilidad y mejores eficiencias, sin embargo, su uso siempre debe ser el resultado de una evaluación técnico – económica.

10.- La selección de los componentes de un tren de válvulas debe estar en el marco de la norma técnica aplicable al sistema de combustión; no existe una norma técnica superior a otra, simplemente criterios distintos que se basan en argumentos diferentes, puede ser en base a experiencia de los fabricantes, cuestiones de seguros y manejo de riesgo y buenas practicas de ingeniería.

RECOMENDACIONES

1.- No existe un tipo de regulador más preciso que otro, el uso de un regulador pilotado o de acción directa se debe evaluar de acuerdo a la aplicación en que se va a utilizar, se debe tener en cuenta el caudal a suministrar y las variaciones de éste a través del tiempo, así como el tiempo de respuesta necesario antes estos cambios.

2.- La selección del tipo de estación de regulación y medición primaria debe ser el resultado de una evaluación técnico económica del tipo de suministro que se requiere para un determinado proyecto, no hacemos una instalación más segura incrementando innecesariamente los costos.

3.- Debemos tener en cuenta que una estación de regulación y medición primaria trabaja permanentemente con los dos ramales de regulación, teniendo uno de ellos, el que está seteado a menor presión en condición de monitor.

4.- El uso de reguladores tipo Falla Cerrado no se justifica para el uso industrial mediano como es el caso de la gran mayoría de empresas nacionales, debido a la existencia de las válvulas de seguridad y alivio instaladas en cada ERMP. Se puede justificar su uso en estaciones de regulación y medición primaria conectadas al ducto principal de alta presión o en estaciones de servicio de GNV.

5.- La selección del sistema de control para un determinado quemador determina la precisión que se pueda tener de los parámetros de combustión, y se debe tener en cuenta la necesidad de esta precisión con respecto a las necesidades del proyecto.

BIBLIOGRAFIA**1. Manual de Instrumentación para la Industria del Gas**

SEDIGAS – España

2da Edición – 1997

2. Introduction to Industrial Combustion Technology

A.N. Bogtstra – USA

2da Edición - 1960

3. Eclipse Combustion Engineering Guide

Eclipse INC – USA

1era Edición - 1986

4. Maxon Catalog

Maxon Corporation - USA

2002

5. Norma Técnica Peruana NTP 111.010 - Gas Natural Seco – Sistema de Tuberías para instalaciones Internas industriales

Indecopi – Perú

3era Edición – 2006

6. II Programa de Especialización – Ingeniería de Combustibles Gaseosos en la Industria.

Facultad de Ciencias e Ingeniería - Pontificia Universidad Católica del Perú

Apuntes de Clase - 2006

7. Calidda – Un Proyecto hecho Realidad.

Gerencia de Comunicaciones y Relaciones Institucionales Suez Energy Perú S.A.

Memoria Anual – 2005

8. Conversion from LPG or Oil to Natural Gas

Axel Beuren – Gas Seminar Lima

Tractebel EGI - 2003

9. Industrial Applications with Natural Gas

Axel Beuren – Gas Seminar Lima

Tractebel EGI - 2002

10. Natural Gas : Units, Definitions & Properties, Advantages

Axel Beuren – Gas Seminar Lima

Tractebel EGI - 2002

11. Natural Gas : Safety Requirements For Industrial applications

Axel Beuren – Gas Seminar Lima

Tractebel EGI - 2003

12. Gerencia de Proyectos

Programa de Titulación Profesional – Actualización de Conocimientos

Ing Eduardo Morales - Facultad de Ingeniería Mecánica – UNI – 2005

13. Una Guía a los Fundamentos de la Dirección de Proyectos – PMBOK Guide

Project Management Institute – 2000

14. Comportamiento de los Reservorios de Gas Condensado

Lucio Carrillo Barandiaran – UNI FIP

2006

15. Análisis Teórico de la Combustión en Quemadores de Gas Natural

Juan Carlos Serrano – Yamid Alberto Carranza

Universidad de Pamplona - Universidad Tecnológica de Pereira

2005