

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



**CONVERSION A GAS NATURAL DE UN CALDERO
PIROTUBULAR DE 500 BHP**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECANICO**

JOSE FRANCISCO PAREDES VICUÑA

PROMOCION 1986 – I

LIMA – PERU

2010

A mi padre Hender . cuya luz desde el cielo me ilumina,
a mi madre Adelaida, gracias por su ejemplo de vida , ellos me dieron la
motivación para conseguir este logro , gracias a mi alma máter ,
la UNI, también a mi hermana Rosario . a mis tíos Irene y Raúl ,
les agradezco por el gran apoyo que me brindaron y
a mi amigo Jesucristo , el que nunca nos falla , por
darme vida y salud , sin las cuales nada hubiera sido posible

TABLA DE CONTENIDO

PROLOGO.....	1
1 CAPITULO 1 INTRODUCCION.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Alcance.....	4
1.4 Justificación.....	4
1.5 Limitaciones.....	4
2 CAPITULO 2 DESCRIPCION DE LA EMPRESA.....	5
2.1 Reseña de la empresa.....	5
2.2 Descripción del proceso productivo.....	5
2.3 Diagrama de flujo.....	10
3 CAPITULO 3 EL GAS NATURAL.....	11
3.1 Definición de gas natural.....	11
3.2 Caracterización de gases combustibles.....	18
3.2.1 Índice de Wobbe.....	18
3.2.2 Fórmula de Knoy.....	21
3.3 Sistema y unidades de medidas usados para el gas natural.....	21
3.3.1 Medición de volumen.....	23
3.3.2 Medición de presión.....	24
3.3.3 Medición de calor.....	26
3.3.4 Medición de potencia calorífica.....	27
3.3.5 Medición de densidad y peso específico.....	28

3.4 Análisis comparativo del Gas Natural con otros combustibles	
industriales.....	30
3.5 Combustión del gas natural.....	35
3.5.1 Mecanismo general de las reacciones de combustión.....	36
3.5.2 Esquema básico de la combustión industrial.....	39
3.5.3 Tipos de Combustión.....	41
3.5.3.1 En función de sus productos.....	41
3.6 Aplicaciones industriales del gas natural.....	47
3.7 Ventajas del uso del Gas Natural.....	51
3.7.1 Ventajas Ambientales.....	51
3.7.2 Ventajas Económicas.....	53
3.7.3 Ventajas Operacionales.....	53
3.7.4 Ventajas de mantenimiento de equipos (Quemadores).....	54
4 CAPITULO 4 CALDERAS DE VAPOR.....	55
4.1 Definición de caldera.....	55
4.2 Componentes de las calderas.....	56
4.3 Clasificación de las calderas.....	56
4.3.1 Por la presión de trabajo.....	56
4.3.2 Por el material de fabricación.....	57
4.3.3 Por la forma de los tubos.....	57
4.3.4 Por el tipo de combustible utilizado.....	57
4.3.5 Por el contenido de los tubos.....	58
4.3.5.1 Pirotubular.....	58
4.3.5.2 Acuotubular.....	60

5	CAPITULO 5 CRITERIOS DE SELECCIÓN Y CALCULO DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACION DE GAS NATURAL.....	63
5.1	Estación de Regulación d presión y medición primaria(ERPMP).....	63
5.1.1	Componentes de la estación de regulación de presión y medición primaria.....	64
5.1.1.1	Filtro de Gas.....	64
5.1.1.2	Válvula de seguridad por bloqueo.....	65
5.1.1.3	Regulador de presión.....	66
5.1.1.4	Medidor de flujo.....	67
5.1.1.5	Válvula de seguridad por venteo.....	69
5.2	Red intema de circulación de gas natural.....	71
5.2.1	Selección del material de la tubería y especificación técnica.....	71
5.2.2	Especificación técnica de los accesorios y bridas.....	73
5.2.3	Especificación técnica de las válvulas.....	73
5.2.4	Especificación técnica de equipos de medición y regulación.....	74
5.2.4.1	Medidores.....	74
5.2.4.2	Reguladores.....	74
5.2.5	Unión de tuberías.....	74
5.2.6	Preparación de la tubería.....	75
5.2.6.1	Limpieza.....	75
5.2.6.2	Arenado.....	76
5.2.6.3	Pintado.....	76
5.2.7	Fórmulas usadas y cálculos realizados para el dimensionado de la red intema de gas natural.....	76

IV

5.2.7.1 Cálculo del diámetro de la tubería.....	77
5.2.7.2 Cálculo de la velocidad de circulación del gas.....	78
5.2.7.3 Cálculo de la caída de presión.....	79
5.2.8 Criterio usado para determinar la distancia entre soportes de las tuberías.....	82
5.2.9 Distancia entre tuberías de gas y tuberías de otros servicios.....	82
5.2.10 Señalización de tuberías.....	83
5.2.11 Prueba de hermeticidad.....	85
5.3 Sub-estación de regulación.....	85
5.3.1 Componentes de la sub-estación de regulación.....	86
5.4 Quemador.....	86
5.4.1 Clasificación de los quemadores.....	87
5.4.2 Selección del quemador.....	89
6 CAPITULO 6 EVALUACION ECONOMICA.....	92
6.1 Costos de la conversión.....	92
6.2 Ahorro por uso del gas natural como combustible.....	92
6.3 Cálculo del VAN.....	93
6.4 Cálculo de TIR.....	94
CONCLUSIONES.....	96
BIBLIOGRAFIA.....	98
PLANOS	
ANEXOS	

PROLOGO

El presente informe tiene por objetivo servir como referencia para los profesionales de la ingeniería que laboren en industrias en las cuales aún el gas natural no es usado como combustible para generar la energía necesaria para los diferentes procesos de producción, siendo por ello factible realizar la sustitución de los combustibles usados, por ejemplo, los residuales, por el gas natural. Consta de seis capítulos. A continuación se hará un breve resumen del contenido de cada capítulo.

En el capítulo 1, se indican los antecedentes, objetivos, alcances, limitaciones y justificaciones del trabajo.

En el capítulo 2, se hace una reseña de la empresa en la cual se realizó el trabajo, así como la descripción del proceso productivo.

El capítulo 3 trata sobre el gas natural, sus principales propiedades, el proceso de combustión, aplicaciones para el uso del gas natural y las ventajas del uso del gas natural en relación a otros combustibles.

El capítulo 4 se refiere a la caldera, sus principales componentes y tipos.

En el capítulo 5, se hace una descripción de los componentes de la instalación de gas natural, especificaciones técnicas pertinentes, las fórmulas utilizadas para determinar el diámetro de las tuberías que se utilizan para trasladar el gas hacia el caldero, también cómo calcular la velocidad de circulación del gas y la pérdida de presión en la

tubería. En este capítulo se describe al quemador, se indica el criterio de su selección y se da la lista de los componentes del kit de conversión dual para calderos pirotubulares Cleaver Brooks, modelo CB, que fue el quemador seleccionado para este caso puntual.

En el capítulo 6, se hace la evaluación económica de la conversión del caldero a gas natural, la inversión realizada para efectuar la conversión, el ahorro conseguido como resultado de la conversión, se calcula el VAN y el TIR para poder discernir si es conveniente o no la conversión.

CAPITULO 1 INTRODUCCION

La sustitución del residual 6 por el Gas Natural como combustible para calderos ha cobrado vigencia a partir del descubrimiento del yacimiento de gas de Camisea

Muchas empresas ya se han dado cuenta de la conveniencia de reemplazar los combustibles residuales por el Gas Natural, es en este contexto que se realiza el trabajo que da origen al presente informe

1.1 Antecedentes

El trabajo sobre el cual trata este informe tiene lugar en una planta textil , la cual utiliza vapor como fuente de energía para sus diferentes procesos productivos . El vapor es generado por un caldero pirotubular de 500 BHP de marca Cleaver Brooks , que tiene el residual 6(R-6) como combustible . El proyecto a realizar implica el cambio del combustible del caldero , el Gas Natural reemplazará al R-6 con los consiguientes beneficios económicos y medio ambientales que ello implica .

1.2. Objetivo

El objetivo del presente trabajo es la conversión a Gas Natural de un caldero pirotubular de 500 BHP , para lo cual será necesario realizar una serie de trabajos , los cuales nos deben garantizar, una vez finalizados , que el caldero quede funcionando en condiciones óptimas con el gas natural como combustible .

1.3 Alcances

El alcance del informe está referido a un caldero pirotubular , a la instalación de la red interna de tuberías de distribución del Gas Natural , los cálculos efectuados para encontrar el diámetro de la tubería , la velocidad de circulación del Gas Natural y las caídas de presión correspondientes .

1.4 Justificación

La justificación de reemplazar el R-6 por Gas Natural tiene que ver con la rentabilidad. En el Perú el costo por unidad energética del gas natural es más bajo que los restantes combustibles . También se justifica por consideraciones medio ambientales , ya que el Gas Natural es un combustible limpio y amigable al medio ambiente

1.5 Limitaciones

El informe está referido a un caldero pirotubular. El tipo de unión para la red de interna de tuberías de circulación del gas es roscado, por tanto no se menciona en el informe los criterios que hay que usar cuando la unión de las tuberías es por soldadura.

CAPITULO 2 DESCRIPCION DE LA EMPRESA

2.1 Reseña de la empresa

La planta textil se encuentra ubicada en la avenida Maquinarias , y está dentro del cluster de la Zona Industrial Av. Argentina / Av. Venezuela .

Se dedica a la fabricación de hilos de algodón y de telas para uso industrial y doméstico . Tiene un área aproximada de 10000 m² y da empleo a 180 trabajadores entre personal operativo y administrativo en las áreas de Hilandería, Tejeduría y Tintorería.

2.2 Descripción del proceso productivo

Para obtener un hilado de excelentes características se debe seleccionar la materia prima y verificar que esté en óptimas condiciones

Con el propósito de obtener una buena regularidad del hilo , es necesario hacer una mezcla adecuada de las diferentes partidas de algodón que se han recibido . Es de suma importancia que esta mezcla sea efectuada con algodones de propiedades físicas similares , ya que los parámetros de longitud , finura y resistencia de las fibras determinan las propiedades físicas del hilo obtenido . Por ello antes de hacer la relación de pacas que deberán mezclarse en la sala de aperturas se realiza un análisis

de las fibras en las diferentes partidas con el propósito de no incurrir en errores que después serán imposibles de subsanar y además poder determinar el porcentaje de pacas que se deben mezclar de las diferentes partidas .

Las pacas de algodón empiezan a ser trabajadas en las máquinas llamadas Pinzadora , Alimentadora y Mezcladora .

La Pinzadora desflora el material comprimido y facilita la eliminación posterior de impurezas y partículas extrañas como cáscaras , semillas , fibrillas y fibras muy cortas tierra y micropolvo . El proceso se efectúa sin maltratar el algodón , sin golpearlo ni producir cordones en las fibras .

La Alimentadora recibe o capta el algodón y le da una primera apertura para alimentar las siguientes máquinas en línea , las mezclas de fardos de algodón se realiza automáticamente.

La Mezcladora efectúa la mezcla íntima de los diferentes materiales fibrosos que han sido entregados por la Alimentadora . Su función es homogenizar el algodón

Luego se inicia el proceso de transformar los flocos de algodón en cintas por medio del Cardado.

Al efectuar el cardado de las fibras para convertirlas en cintas , se debe cumplir con los siguientes pasos

1. Disgregar la napa de la mejor manera posible, lo ideal sería de fibra a fibra.
2. Continuar y terminar la limpieza efectuada en la apertura y, al mismo tiempo, mezclar las fibras lo mejor posible.
3. Transformar la fibra en forma de velo.

4. Transformar el velo en cinta.
5. Plegar la cinta en un bote.

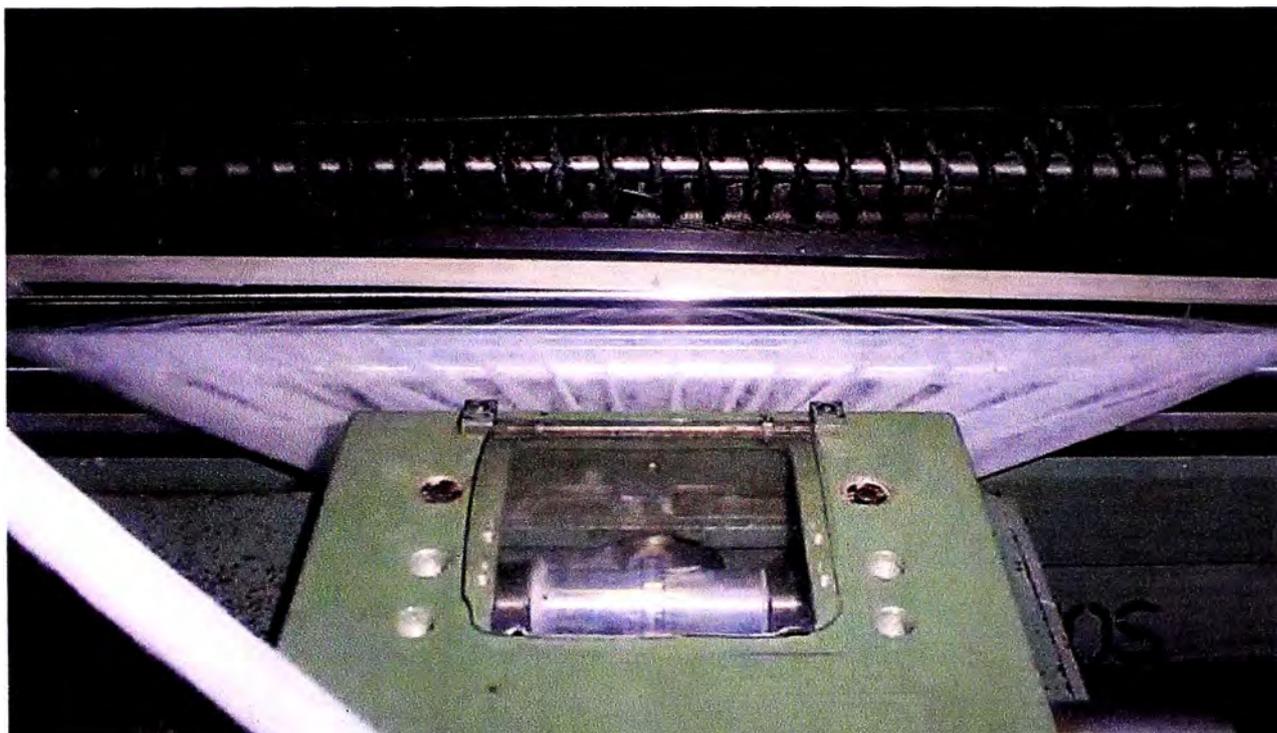


Fig. 2. 1 Velo y cintas de cardas

Las Manuales tienen por misión paralelizar las fibras (eliminando ganchos de cabeza y de cola) y regularizar las cintas mediante el doblado y el estirado

En la preparación se combinan el doblado y el estirado para obtener cintas más regulares .Modernamente, se hacen sólo pasos de manual . En caso de mezclas de diferentes fibras se suele usar un tercer paso de manual para mejorar la uniformidad de las mismas . El material saliente de la manual es una cinta de fibras paralelizadas, más limpias y de un peso por yarda.

El proceso siguiente ocurre en la Mechera , la obtención de la mecha consiste en el afinado de la cinta obtenida en las manuales , transformando la cinta en una

mecha redonda mediante la torsión , la misma que no debe ser grande sino con una disposición adecuada de las fibras , para que posteriormente se pueda dar un nuevo estiraje y torsión definitivos en la máquina continua de hilar.

Luego vienen las Continuas de Hilar , estas máquinas elaboran el hilo con un principio similar al de las mecheras y que consiste en el afinado de la mecha proveniente del proceso anterior mediante un estiraje y una torsión . De este proceso es de donde salen los diferentes productos . Es decir, que con mayor o menor estiraje se pueden hacer hilos gruesos o finos .



Fig. 2.2 Hilo fileta y tren de estiraje

Luego viene el proceso de enconado que se realiza en la Conera , aquí se cambia el formato de hilo a un cono consiguiendo mayor peso y economía del soporte , además el soporte es el idóneo para procesos posteriores con el teñido , también se consigue purgar el hilo , eliminando las imperfecciones que pudiera tener .

Continúa con el urdido en la máquina Urdidora , en este proceso se obtiene la urdimbre arrollada sobre un plegador partiendo de un cierto número de conos. Esta urdimbre es el conjunto de hilos ordenados plegados en forma paralela con una longitud preestablecida

Continúa el proceso de encolar , en el que el hilo que viene del urdido se desenrolla y pasa por una tina donde se impregna con cola , el método es el típico foulard de escurrido con una impregnación previa ; finalmente, los hilos pasan por unos cilindros secadores para luego ser enrollados en el nuevo plegador .

Luego viene el tejido , aquí el tejido es una lámina formada por hilos entrelazados, un conjunto de ellos situados paralelos sigue la longitud del tejido y se denomina urdimbre. Se ligan con otro hilo situado transversalmente al tejido que se llama trama. Luego de tener el tejido en rollos, se pasa a la zona de Lavado , de blanqueo o de teñido que se efectúa en la zona de Tintorería , el tejido se pasa por tinas de acero inoxidable donde se le somete a líquidos a alta temperatura que resultan de la mezcla de agua caliente con blanqueadores o con tintes , luego pasan por rodillos exprimidores y nuevamente se enrolla el tejido , continúa el proceso de secado en un tren de secadoras de cilindros y en la Rama Secadora , finalmente , ya seco , el tejido se vuelve a enrollar en plegadores estos van a la zona de Acabados donde se preparan rollos para luego pasar al Almacén y Despacho.

2.3 Diagrama de Flujo



CAPITULO 3 EL GAS NATURAL

3.1 Definición de Gas Natural

Los depósitos subterráneos de carbón y petróleo son realmente heredados de otras épocas. Los fenómenos geológicos de formación de los continentes, a través de millones de años atraparon vegetales y animales, transformándolos en residuos fósiles que sometidos a la presión de la tierra acumulada sobre ellos, se han desgasificado y concentrado, constituyendo los depósitos de combustibles que abastecen la energía de la mayor parte de los requerimientos energéticos de la vida moderna, estos combustibles fósiles, hidrocarburos y carbones, constituyen los combustibles industriales.

Todos los combustibles son combinaciones de carbono e hidrógeno en una proporción variable; en relación directa con su relación gravimétrica C/H serán gases (metano: C/H=3), líquidos (petróleo: C/H=8) o partículas de carbón mineral.

El azufre y otros componentes minoritarios pueden considerarse como impurezas.

La clasificación de los combustibles industriales en función de su estado físico siempre resulta la más adecuada, considerando al gas natural, petróleo y carbón mineral combustibles primarios alrededor de los cuales se agrupan todos los demás.

El Gas Natural es una mezcla de hidrocarburos parafínicos, que incluye el metano (CH_4) en mayor proporción, y otros hidrocarburos en proporciones menores y decrecientes. Esta mezcla generalmente contiene impurezas tales como vapor de agua, sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono, nitrógeno y helio.

Hasta el presente se presume que el petróleo y el gas se han formado como resultado de variaciones sufridas por la materia orgánica provenientes de animales y vegetales, debido a la acción bacteriológica y a elevadas temperaturas y presiones producidas durante millones de años, por efecto del asentamiento de las capas de sedimentos que la contienen.

El gas, como el petróleo, se encuentra en el subsuelo, contenido en los espacios porosos de ciertas rocas, en estructuras geológicas llamadas yacimientos los cuales pueden ser de tres tipos.

- a) Yacimientos de gas asociado, donde el producto principal es el petróleo.
- b) Yacimientos de gas seco o libre, donde el producto principal o único es el gas mismo.
- c) Yacimientos de condensados, donde el gas se encuentra mezclado con hidrocarburos líquidos y a este tipo de gas se le denomina gas húmedo.

El gas natural proviene de acumulaciones subterráneas, producidas por una prolongada descomposición bacteriana de la materia orgánica. No comprende un solo gas, si no muchos y no necesariamente se presenta en estado gaseoso, si no que en determinadas condiciones, algunos de estos gases se encuentran en estado líquido. La combinación exacta en la que se encuentran los diversos gases depende de la historia

geológica de la zona que contenga el depósito de gas en cuestión. De cualquier forma, se puede decir que siempre el gas natural se presenta o en combinación con petróleo crudo, y entonces se conoce como gas asociado, o en ausencia de petróleo crudo, y es conocido como gas no asociado.

En el caso de un yacimiento de petróleo contenga gas asociado, una parte del gas se halla disuelto en el petróleo crudo y entonces se le conoce como gas en solución. Sin embargo, una proporción del gas asociado forma una capa separada y superpuesta al petróleo crudo, pero es incapaz de filtrarse a la superficie de la tierra por encontrarse cubierto por un denso estrato rocoso y forma una especie de “gorra” o casquete del yacimiento de petróleo.

El gas asociado comprende metano, etano, gases licuados del petróleo (GLP) y algunos compuestos más pesados. El etano y los GLP se denominan conjuntamente gas natural líquido (GNL), mientras que los GLP comprenden fundamentalmente propano y butano. Aunque tanto el gas asociado como el no asociado se caracterizan por una alta proporción de metano con relación al GNL, se puede decir que en el no asociado la proporción de metano contenido es relativamente mayor y menor la de GNL, por lo que el gas no asociado se le conoce frecuentemente como “gas seco” y al asociado como “gas húmedo”. Sin embargo, si la parte de gases naturales líquidos que se presenta con metano en ausencia de petróleo crudo es relativamente alta, los productos se llaman condensados.

El gas natural que se utiliza en plantas industriales es metano con una pequeña proporción de etano, lo que facilita mucho su caracterización, al permitir referirse a tales hidrocarburos para conocer sus principales características y propiedades.

En la tabla 3.1 se presentan algunas composiciones típicas de yacimientos.

Tabla 3.1 Composición aproximada de gases naturales

Composición aproximada de gases naturales:							
	Libia	Francia	Holanda	Gran Bre- taña	Italia	Arge- lia	
	Marsa el Brega	Lacq	St. Faust Meillon	Gro- ningen	Leman Bank	Corte- maggiore	Arzew
Metano	66,2	69,2	77,8	81,5	92,0	95,9	82,1
Etano	19,8	3,3	3,6	2,7	3,5	1,4	12,4
Propano	10,6	1,0	1,2	0,5	0,7	0,4	3,7
Butano	2,3	0,6	0,9	0,1	0,3	0,3	1,4
Hidrocarb. superiores	0,2	0,5	1,7		0,3		0,2
Nitrógeno	0,9	0,6	0,4	14,5	2,9	1,8	0,2
Anhidrido carbónico		9,6	8,5	0,7	0,3		
Acido sulfhídrico		15,2	5,9				
	Alema- nia Occ.	Vene- zuela	U.S.A.	N. Ze- landa	U.R.S.S.		
	Emsmün- dung	Mara- caibo	Gulf Coast	Kapuni	Dachava	Kouiby- chev	
Metano	81,8	78,1	93,5	44,2	98,0	74,6	
Etano	2,8	9,9	3,8	6,1	0,7		
Propano	0,4	5,5	1,2	3,4		10,0	
Butano	0,2	2,8	0,6	1,6		10,5	
Hidrocarb. superiores		2,1		0,4			
Nitrógeno	14,0	1,2		0,1	1,2	3,1	
Anhidrido carbónico	0,8	0,4	0,5	44,2	0,1	0,2	
Acido sulfhídrico							1,6

Fuente : Gas Natural – E.Borrás Brucart

La composición media del gas natural y sus propiedades según CALIDDA son:

Tabla 3.2 Composición del Gas Natural de Camisea

Componente	Fracción molar
N ₂	0,0106
CO ₂	0,0032
H ₂ O	0,0000
Metano	0,8937
Etano	0,0857
Propano	0,0065
i-Butano	0,0002
n-Butano	0,0001

Fuente: Osinergmin

Tabla 3.3 Propiedades del Gas Natural de Camisea

Propiedad	Condición	Unidad	Valor
Peso Molecular	.....	.....	17,7
Gravedad Específica	.....	.....	0,61
Factor de Compres.Z	a 15,6 °C, 1,013 bar(a)	.....	0,9971
Factor de Compres.Z	a 15,6 °C, 100 bar(a)	.....	0,7644
Factor de Compres.Z	a 15,6 °C, 150 bar(a)	.....	0,7262
Viscosidad Dinámica	a 15,6 °C, 1,013 bar(a)	cPo	0,0109
Calor Específico	a 15,6 °C, 1,013 bar(a)	kJ/(kg °C)	2,1
Poder Calorífico Superior	.....	MJ/m ³	39,93
Poder Calorífico Inferior	.....	MJ/m ³	36,04
Indice Wobbe	.....	HHV/(SG) ^{0.5}	46 a 56
Punto de rocío para hidrocarburos, de 1 a 35 MPa	.....	°C	-10

Fuente : Osinergmin

Las propiedades del gas natural se podrán calcular a partir de la proporción metano – etano y las de GLP tomando en cuenta su contenido de propano, isobutano y butano normal, utilizando para todos los casos la siguiente fórmula :

$$P_m = \sum_{j=1}^j P_j \cdot x_j$$

Siendo x_j la fracción molar (volumétrica) del componente "j" y P_j alguna propiedad como el poder calorífico, la densidad, etc.

Aplicando esta fórmula, podemos conocer las características de cualquier gas natural. Utilizando como ejemplo un gas natural con 95% de metano ($x_1=0,95$) y 5% de etano ($x_2=0,05$) tendremos los siguientes resultados para las propiedades que definen su comportamiento a nivel industrial:

- Poder calorífico superior (H_s)*

$$H_s = 39289 (0,95) + 69759 (0,05) = 40813 \text{ MJ/Nm}^3$$

- Poder Calorífico Inferior (H_i)

$$H_i = 35807 (0,95) + 63727 (0,05) = 37203 \text{ MJ/Nm}^3$$

- Densidad relativa (respecto al aire)

$$d_s = 0,5539 (0,95) + 1,0382 (0,05) = 0,578$$

* $\text{Nm}^3 = 1 \text{ m}^3$ a condiciones de 0°C y 760 mm de Hg.

En la misma forma se puede calcular otras propiedades y para facilitar estas determinaciones se pueden elaborar monogramas.

Para el Gas Natural con 95% de metano utilizado como ejemplo, el monograma elaborado que se muestra en la figura 3.1 permite comprobar los cálculos efectuados para los poderes caloríficos y en la figura 3.2 para la densidad.

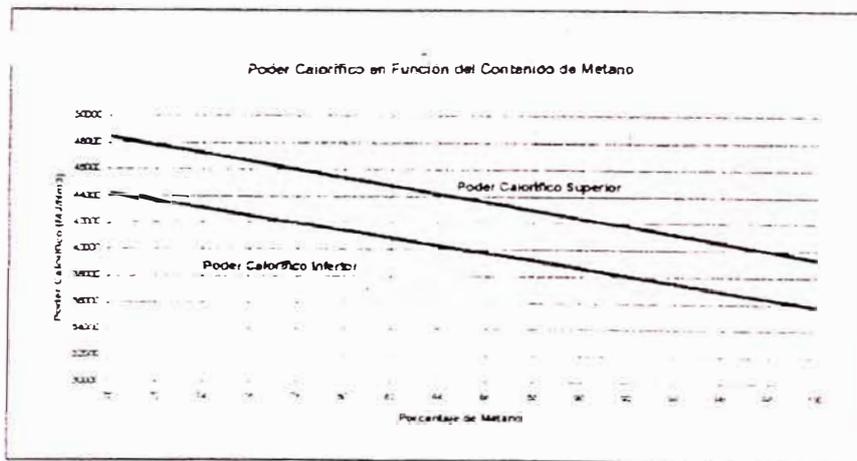


Fig.3.1 Poder calorífico en función del contenido de Metano

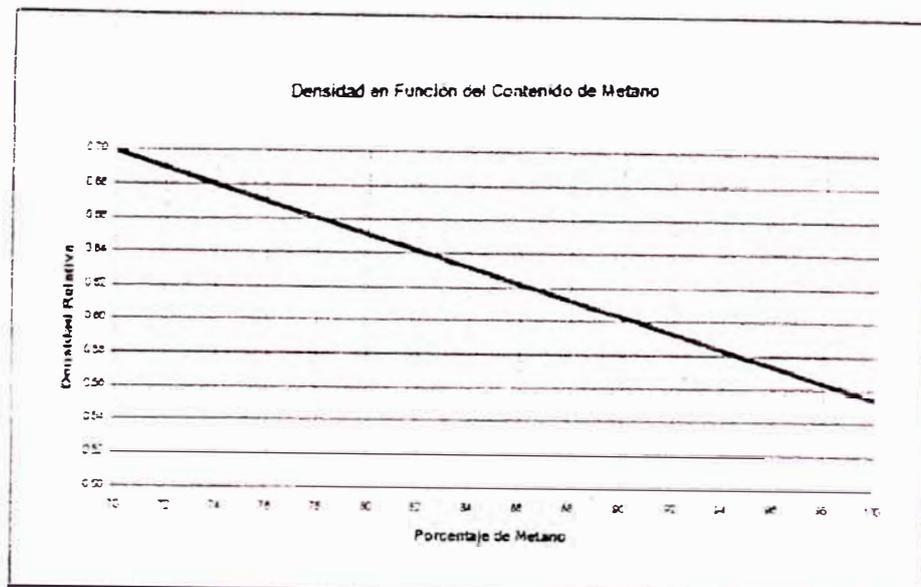


Fig.3.2 Densidad en función del contenido de Metano

3.2 Caracterización de gases combustibles

Dos gases se dice que son intercambiables cuando, distribuidos bajo la misma presión, en la red, alimentando los mismos quemadores y sin cambios de regulación producen los mismos resultados de combustión: flujo calorífico, posición y comportamiento de llama. Siendo la combustión, por naturaleza, una reacción química, no puede existir una intercambiabilidad absoluta. Afortunadamente, dicha rigurosidad no es necesaria. Basta con que ciertas características básicas se conserven de forma aproximada.

Los estudios de intercambiabilidad han conducido a agrupar en familias a gases de características próximas. Para cada familia se ha escogido un gas, llamado de referencia, que se emplea como tipo en los ensayos de normalización.

Los criterios de clasificación de gases en "familias", en función de las características de los gases o mezclas gaseosas y las condiciones de combustión, sirven para expresar índices que resultan indicadores de las posibilidades de utilización de gases y su intercambiabilidad.

Los más empleados son el "Índice de Wobbe" y la "Formula de Knoy".

3.2.1 Índice de Wobbe

Se basa en el Poder Calorífico Superior (H) y la densidad relativa al aire del gas, o mezcla gaseosa (δ_a).

Su expresión es la siguiente:
$$IW = \frac{H}{\sqrt{\delta_a}}$$

Se adapta bien para caracterizar gases naturales secos.

Los gases combustibles son en general agrupados en tres familias, de acuerdo a su índice de Wobbe:

- Primera familia, incluye los gases manufacturados.
- Segunda familia, incluye los gases naturales(en general con subgrupos superior e inferior).
- Tercera familia, incluye los gases licuados de petróleo.

Tabla 3.4 Familias de gases combustibles

Familia	Índice de Wobbe(MJ/Nm ³)	Tipo de gas
1	22,5 -30	Gas de ciudad
2L	39 - 45	Natural
2H	45,5 - 55	Natural
3	73,5 – 87,5	GLP

Fuente : Texto curso “ Combustión y quemadores de gas natural” - TECSUP

Tabla 3.5 Valor del Índice de Wobbe para algunos gases

Gas combustible	Valor (MJ/Nm ³)
Hidrógeno	48,23
Etano	68,19
Etileno	63,82
Propano	81,07
Propileno	77,04
GLP	86,84
Acetileno	61,32
Monóxido de carbono	12,80

Fuente : Texto curso “ Combustión y quemadores de gas natural” - TECSUP

Cuando en la mezcla gaseosa existe productos oxidados (CO_2 , CO) y por otra parte los hidrocarburos superiores influyen, por su viscosidad, en la exactitud del Poder Calorífico Superior, se utiliza en "Índice de Wobbe Corregido", que corrige tales deficiencias con dos coeficientes: K_1 y K_2 , con lo que el IW corregido es :

$$IW^1 = K_1 K_2 (IW).$$

El valor de K_2 es el siguiente:

$$K_2 = \frac{1000 (\text{CO}) + 4(\text{O}_2) - 0.5(\text{CO}_2)}{H}$$

H

En donde (CO), (O_2) y (CO_2) representa las concentraciones de dichos gases.

En cuanto a K_1 , su valor se ha determinado estadísticamente y varía según el poder calorífico aportado por hidrocarburos superiores al metano. Ver figura 3.3

Coeficiente K_1 del índice de Wobbe (2ª familia de gases) Gas Natural

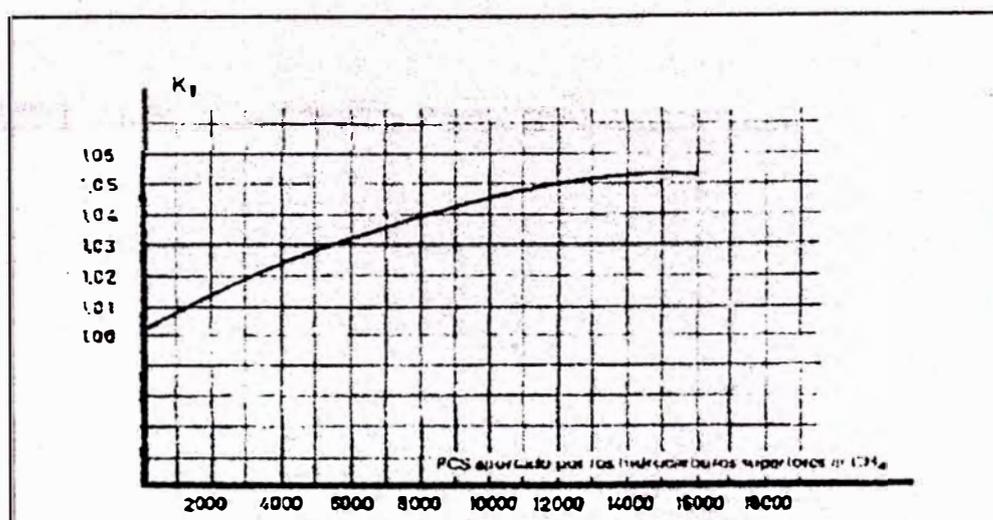


Fig.3.3 Coeficiente K_1 del índice de Wobbe
Referencia: Texto "Combustión y quemadores de gas natural" - TECSUP

3.2.2 Fórmula de Knoy

Se usa frecuentemente en la literatura técnica de EE.UU y pretende corregir las anomalías mencionadas mediante la siguiente fórmula:

$$C = \frac{H - 175}{\sqrt{\delta a}}$$

Donde H se expresa en BTU/ft³

El criterio de intercambiabilidad en este caso es que 2 ó más gases son intercambiables si el cálculo de su número C es igual , con una desviación tolerable de 7,5 %.

3.3 Sistemas y unidades de medida utilizados para el gas natural

En el mundo existen tres sistemas de unidades, válidos en distintos países, para la medición de gases. El sistema inglés, utilizado en EE.UU, Gran Bretaña, Canadá y demás países de la Commonwealth; el sistema métrico, usado en el continente europeo, Japón, América Latina y algunos países; finalmente, el Sistema Internacional de Unidades, de acuerdo con la resolución tomada en la 11va. Conferencia Internacional de Pesas y medidas de 1960. Algunas de las medidas fundamentales de los tres sistemas son los siguientes:

Tabla 3.6

	Sistema Inglés	Sistema Métrico	Sistema Internacional
Longitud	Pie (pie)	Centímetro (cm)	Metro (m)
Masa	Libra (lb)	Gramo (g)	Kilogramo (kg)
Tiempo	Segundo (s)	Segundo (s)	Segundo (s)
Temperatura	°Fahrenheit (°F)	°Centígrado (°C)	°Kelvin (k)

Además de la unidades básicas, sus múltiplos y submúltiplos, cada sistema tiene una extensa gama de unidades derivadas. Las más importantes relacionadas con la industria del gas son las unidades de:

- Volumen
- Presión
- Calor
- Poder calorífico
- Densidad

3.3.1 Medición de volumen

El volumen de un gas varía considerablemente con su temperatura y presión. Por otra parte, varían también las condiciones de su medición; unas veces se mide el volumen de un gas seco, y otras, saturado con vapor de agua.

Las tres unidades volumen métricas más comúnmente empleadas son las siguientes:

Metro cúbico estándar m^3 (S)

Medido seco a 15 °C y presión de 760 mm de columna de mercurio.

Metro cúbico normal m^3 (N)

Medido seco a 0 °C y presión de 760 mm de columna de mercurio.

Pie cúbico estándar (SCF)

Medido saturado con vapor de agua a 60 °F y presión de 30 pulgadas de columna de mercurio.

La tabla siguiente facilita los factores necesarios para convertir volúmenes de un sistema de unidades a otro.

Tabla 3.7 Factores de conversión

UNIDAD DE VOLUMEN	FACTOR (x)	UNIDAD DE VOLUMEN
Metro cúbico a 0°C 760 mm Hg seco	37,89	Pies cúbicos a 60°F y presión de 30" de Hg
Metro cúbico a 15 °C 760 mm Hg seco	35,92	Pies cúbicos a 60°F y presión de 30" de Hg
Pies cúbicos a 60°F y presión de 30" de Hg	0,02639	Metro cúbico a 0°C 760 mm Hg seco
Pies cúbicos a 60°F y presión de 30" de Hg	0,02784	Metro cúbico a 15 °C 760 mm Hg seco

3.3.2 Medición de presión

Presión es la fuerza ejercida por unidad de superficie. Dado que la presión puede medirse por comparación con la presión estándar atmosférica (al nivel del mar) o respecto al vacío, es necesario precisar, en cada caso, si se trata de presión relativa o absoluta. La diferencia entre ambas será siempre de una atmósfera.

Determinado número de unidades son empleadas en los tres sistemas de medidas. Dichas unidades están basadas en la medición en milímetros o pulgadas de la columna de mercurio o agua, como el TOR, equivalente a la presión de un milímetro de columna de mercurio, o como el BAR, presión ejercida por 1 millón de dinas en la superficie de un centímetro cuadrado.

Las unidades preferentes para la medición de presión son:

Kilógramo por centímetro cuadrado (en los sistemas métrico e internacional).

Libra por pulgada cuadrada (en el sistema inglés).

Pascal = Newton/m² (sistema internacional SI).

Tabla 3.8 Factores de conversión correspondientes a unidades de presión

Unidades / Símbolos	G	atm	kg/cm ²	PSI	tor	In.Hg	mm c.d.a	Pa
Bar	1	0,98692	1,01972	14,5038	750,062	29,53	1,0197x10 ⁴	10 ⁵
Atmósfera	1,01325	1	1,03323	14,6959	760	29,9213	1,0332x10 ⁴	1,01325x10 ⁵
Kilogramos por centímetro cuadrado	0,98066	0,967841	1	14,2233	733,559	28,9590	10 ⁻⁴	0,98066x10 ⁵
Libra por pulgada cuadrada	0,06895	0,068046	0,070307	1	51,715	2,03602	703,7	6,895
Milímetro c.d.mercurio	0,00133	1,3158x10 ⁻³	1,3595x10 ⁻³	0,019337	1	0,03037	13,5951	133,273
Pulgada c.d.mercurio	0,03386	0,033421	0,034532	0,491154	25,4	1	345,55	3,386
Milímetro c.d.agua 15°C	0,9806x10 ⁻⁴	0,9678x10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	1,4223x10 ⁻³	0,07355	0,00289	1	9,80665
Pascal	10 ⁻⁵	0,9869x10 ⁻⁵	1,0197x10 ⁻⁵	14,5038x10 ⁻⁵	750,062x10 ⁻⁵	2953x10 ⁻⁵	1,0197x10 ⁻⁹	1

3.3.3 Medición de calor

Las unidades de medida de calor igualmente son función de las condiciones de medición. Vienen determinadas, bien en términos absolutos, como el trabajo realizado para mover una masa contra una fuerza, o bien como la cantidad de energía requerida para elevar las temperaturas de una masa específica de agua en una cierta cantidad.

En los tres sistemas de medida, las unidades preferentes son:

Kilocaloría (kcal) o cantidad de calor necesaria para elevar de 14 °C a 15 °C la masa de un kilogramo de agua.

British Thermal Unit (BTU) o 180 avas partes del calor requerido para elevar de 32 °F a 212 °F la masa de una libra de agua.

Joule Internacional o cantidad de calor disipado por un vatio durante un segundo (trabajo producido por una fuerza de 1 Newton cuyo punto de aplicación se desplaza 1 m en la dirección de la fuerza).

Frecuentemente se utilizan en la industria del gas otras dos unidades, una en el continente europeo, la otra en la Gran Bretaña.

Son respectivamente: Termia (te) equivalente a 1 Mcal = 1 000 kcal.

- Therm equivalente a 100 000 BTU o 1 055,06 kilojulios.

En la tabla adjunta figuran los factores de conversión correspondientes:

Tabla 3.9 Factores de conversión

Unidades /simbolos	kcal	BTU	te	Therm	kWh	J
Kilocaloría	1	3,9683	$1,00031 \times 10^{-3}$	$3,9683 \times 10^{-5}$	0,00163	4186,84
British Thermal Unit	0,25199	1	$0,2521 \times 10^{-3}$	10^{-5}	$2,931 \times 10^{-4}$	1055
Termia	999,69	3967,09	1	3967×10^{-2}	1163	$4,187 \times 10^{-3}$
Therm	$0,252 \times 10^{-6}$	10^{-5}	25,207	1	29,307	$105,5 \times 10^{-6}$
Kilowatio-hora	859,845	3412,14	0,8601	$3,412 \times 10^{-2}$	1	$3,6 \times 10^{-6}$
Joule	$0,2388 \times 10^{-3}$	$9,48 \times 10^{-4}$	$0,2388 \times 10^{-6}$	$9,48 \times 10^{-9}$	$0,278 \times 10^{-6}$	1

3.3.4 Medición de potencia calorífica

Potencia calorífica o poder calorífico de un gas es la cantidad de calor desprendido por la combustión completa a presión constante de 1,013 bar (atmosférica) de la unidad de volumen de dicho gas (m^3 normal, es decir, a 0 °C y a presión de 760 mm Hg) tomando los elementos de la combustión y los productos de la misma a igual temperatura (temperatura ambiente).

El poder calorífico de un gas se expresa en $kcal/m^3$ (N). Con las unidades del sistema internacional (SI), el poder calorífico se expresa en kJ/m^3 .

El poder calorífico de un gas se llama superior (P.C.S.) cuando el agua resultante de la combustión de los átomos de hidrógeno inicialmente contenidos en el gas, se supone líquida (condensada) en los productos de la combustión.

El poder calorífico de un gas se llama inferior (P.C.I.) cuando el agua resultante de la combustión del hidrógeno y de los productos hidrogenados inicialmente contenidos en el gas, se supone en estado de vapor en los productos de la combustión.

La diferencia entre el P.C.S. y P.C.I. es igual, por definición, al calor de condensación del vapor de agua resultante de la combustión del hidrógeno del combustible. Esta relación puede considerarse, aproximadamente.

$$\text{P.C.I.} = 0,9 \text{ P.C.S.}$$

Los factores de conversión de valores de potencias caloríficas expresadas en distintas condiciones de presión y temperatura, son los siguientes:

Para obtener Multiplicar por	kcal/m³ a 0 °C y 760 mm c.d. H.g. seco	kcal/m³ a 15 °C y 760 mm c.d.Hg. seco
kcal/m ³ a 0 °C 760 mm c.d.Hg. seco	1	0,9480
kcal/m ³ a 0 °C 760 mm c.d.Hg. seco	1,0549	1

3.3.5 Medición de densidad y peso específico

El peso específico de un gas se define como la relación entre su masa y su volumen, en

los 3 sistemas de medida, viene expresado en gramos (métrico), en libras (inglés) o kilogramos (internacional), y no requiere definir condiciones. El volumen, por otra parte, viene respectivamente definido en cm^3 , pies^3 y m^3 , y precisa, en el caso de gases, mayores detalles, tal como se indico anteriormente en la medición e volúmenes.

La utilización de factores de conversión resulta necesaria si se desea expresar el peso específico en distintos sistemas de medida con diferentes temperaturas de referencia, presiones y contenido en agua.

Las unidades preferentes para expresar el peso específico de un gas son:

Kilogramos por metro cúbico estándar:

Peso específico definido para un gas seco a 0 °C y 760 mm Hg

Kilogramo por metro cúbico normal:

Peso específico definido para un gas seco a 0 °C y 760 mm Hg

Libras por pie cúbico estándar:

Peso específico definido para un gas saturado de agua a 60 °F y 30" de columna de mercurio.

Existe, sin embargo, un sistema que evita la definición de las condiciones de medición en la fijación del peso específico, es la introducción del concepto de "densidad".

La densidad de un gas es definida como la relación entre la masa de cualquier volumen del mismo y el de un mismo volumen de un gas de referencia, generalmente el aire. Puesto que la mayoría de gases considerados están próximos a las condiciones de un gas perfecto, pueden despreciarse las diferencias en compresibilidad, cambios de volumen con la temperatura y contenido en vapor de agua.

3.4 Análisis comparativo del Gas Natural con otros combustibles industriales

Al tener que competir el gas natural con otros combustibles en la práctica industrial, para constituir la mejor opción de suministro energético en términos técnicos y económicos, resultará de mayor importancia disponer de criterios adecuados de comparación de las características que condicionan su disponibilidad, suministro, pre combustión, combustión y post-combustión.

Los combustibles que podríamos considerar alternativas elegibles para efectuar una comparación adecuada y útil en la práctica son, además del gas natural, Gas Licuado de petróleo (GLP), Diesel 2, Petróleo Residual 6 (Bunker C), Carbón mineral bituminoso (Hulla) y Carbón mineral Antracítico (<10% de volátiles).

Para realizar una comparación objetiva hemos elegido un sistema consistente en la designación de 10 parámetros de comparación vinculados directamente con los circuitos de combustión industrial, elaborando con ello un cuadro de valoración con calificación de 1 a 5, correspondiendo el valor más alto a su mejor comportamiento. Para establecer un análisis específicamente adecuado para cada caso particular, se deberá otorgar un peso de valoración para cada parámetro individual, asignándole un factor de 0,1 a 1,0.

En esta forma, se tendrá un factor de utilización de cada uno de los combustibles que constituyan alternativas elegibles para una determinada planta industrial. Este factor de carácter técnico deberá compararse directamente con su costo de empleo, permitiendo definir opciones.

Los 10 parámetros elegidos son los siguientes:

- **Suministro:** involucra las posibilidades de adquisición, seguridad de suministro y la forma de facturación. La disponibilidad de gas natural por tubería y la facturación posterior al consumo determinan una excelente calificación al gas natural. El suministro de combustibles líquidos, incluyendo como tal al GLP, resulta una posición intermedia y las dificultades propias del suministro de carbón le otorgan una baja calificación a las hullas y antracita.

- **Precombustión:** se refiere al circuito de preparación de los combustibles y todo el circuito de pre-combustión, desde su ingreso a planta hasta el momento mismo de su ignición. También en este campo la ventaja de manipuleo de gas resulta decisiva, no requiriendo ningún acondicionamiento para su empleo en los quemadores. En la misma forma, los líquidos representarán una condición intermedia, con ligera ventaja para el GLP para utilizarse como gas. La molienda y/o clasificación por tamaños de los carbones y las dificultades para transportar sólidos, le otorgan mucha desventaja a los carbones.

- **Inversión:** Incluye todo el circuito de pre-combustión, quemadores, sistemas de seguridad y regulación, registro de parámetros de combustión y post-combustión. También la inversión resulta definida totalmente por la simplicidad del manejo.

- **Mantenimiento:** La facilidad de desarrollar un efectivo mantenimiento también resultará influenciado por la simplicidad de las instalaciones. En este caso, el GLP pierde las ventajas de utilizarse como gas debido a la necesidad del vaporizador y las posibilidades de depósitos de olefinas.

- **Control sobre la llama:** aunque la facilidad de inyección del gas natural y su energía cinética representan una gran posibilidad, ésta aparente ventaja resulta minimizada por el escaso aprovechamiento del impulso del gas y los requerimientos de llamas más emisivas para algunos procesos, exigiendo al diseño del quemador la posibilidad de demorar la combustión. Los combustibles bien atomizados permiten un buen control sobre las características de la llama y el manejo adecuado de la finura de los carbones bituminosos permiten un aceptable control de llama, contando con quemadores adecuados. En la combustión sobre parrillas, adecuado para las antracitas, el manejo de llama resulta muy limitado pero factible de conseguir.

- **Limpieza:** La presencia de residuos de combustión resulta determinante para juzgar su comportamiento en los equipos, resulta ideal en el caso del gas natural y parecido en el GLP; los combustibles líquidos se complican algo en el caso de los petróleos residuales y se toman más complicados en el caso de los carbones con cenizas variables.

- **Emisividad de llama:** Parámetro importante en la práctica por establecer las condiciones de transferencia de calor a los equipos y procesos. En este caso la facilidad de combustión del gas natural representa una desventaja compensable sólo en forma limitada por el diseño del quemador. La posibilidad es mayor en forma proporcional al incremento de la relación Carbono / Hidrógeno, llegando al punto máximo la alta emisividad de llamas de carbón.

- **Volumen de gases de combustión:** También la relación carbono / hidrógeno resulta definida en este caso, como se apreció anteriormente y resulta importante para las posibilidades de transferencia de calor por convección.

- **Seguridad:** la circunstancia de que el gas natural no pueda percibirse por la vista o el olfato determina ciertos riesgos que afectan el gas natural y al GLP, con el agravante para este último de resultar más pesado que el aire. En este caso las mayores ventajas las tiene el Diesel 2 y Residual 6, resultando menos seguras las condiciones de manejo del carbón, debido al riesgo de explosiones de polvo de carbón en suspensión; mayor en el caso de las hullas con altos contenidos de volátiles y mínimo en el caso de antracitas.

- **Contaminación ambiental:** La limpieza y facilidad para quemarse marcan una diferencia notable en el uso de gases, menor en el caso de GLP, diesel 2, residual y carbones sucesivamente. En esta consideración se considera la necesidad de conseguir siempre combustión completa.

En la tabla 3.9 se presenta el resultado del análisis efectuado, en el cual obtienen las siguientes puntuaciones para cada combustible:

Tabla 3.10 Análisis Comparativo de Combustibles Industriales

Parámetros	Gas Natural	G.L.P.	Diesel 2	Residual 6	Hulla	Antracita
Suministro	5	4	4	3	1	1
Pre-combustión	4	3	3	2	1	1
Inversión	5	3	4	3	2	1
Mantenimiento	4	3	3	2	1	1
Control de llama	4	3	4	4	3	1
Limpieza	5	4	3	1	2	2
Emisividad de llama	1	2	3	4	4	5
Volumen gases de combustión	2	3	3	4	4	4
Seguridad	4	3	4	3	2	3
Contaminación ambiental	5	4	4	2	2	2
TOTAL	39	32	35	28	22	21

De acuerdo con este resultado, el precio de facturación de estos seis combustibles resultarían opciones equivalentes, tomando como base un precio de 3 US\$/MM BTU para el gas natural, si tuviesen los siguientes precios en US\$/millón de BTU.

Gas natural	: 39	>	3,00 US\$/MM BTU
GLP	: 32	>	2,46 US\$/MM BTU
Diesel 2	: 35	>	2,69 US\$/MM BTU
Residual 6	: 28	>	2,15 US\$/MM BTU
Hulla	: 22	>	1,69 US\$/MM BTU
Antracita	: 21	>	1,62 US\$/MM BTU

Para poder aplicar este modelo con objetividad para cada caso específico, tendrá que establecerse el peso específico que corresponde a cada parámetro para cada uso particular de los combustibles en plantas industriales.

Así, su aplicación en el caso de una industria textil que utiliza procesos a relativamente baja temperatura, con mayor utilización de transferencia de calor por convección otorgará menor importancia a la emisividad de llama y mayor a la limpieza que factibiliza el empleo de gases de combustión en forma directa para el calentamiento y secado.

En la industria del cemento, por el contrario, resultará fundamental la emisividad de la llama y menos importante la limpieza, dado que las cenizas serán parte del producto.

Resulta importante observar que existiendo siempre una ventaja respecto al uso del gas natural frente a los otros combustibles, lo que establecería un margen de conveniencia en su empleo aún si su precio fuese mayor en diferentes niveles respecto a los otros combustibles industriales, en la práctica, el hecho de que resulte impracticable su almacenamiento, cuando no existen problemas de escasez, establece precios normalmente inferiores para el gas natural. Esta situación permite apreciar claramente la gran conveniencia técnica y económica del gas natural.

3.5 Combustión del gas natural

La combustión es una reacción que se realiza rápidamente con la conversión de energía química a energía térmica. Las características de formación de llama permiten explicar el comportamiento de la combustión de mezclas de gases combustibles con el aire en cuanto al encendido, el desarrollo y la estabilidad de la combustión, lo cual resulta de particular importancia en las aplicaciones industriales de gas natural.

3.5.1 Mecanismo general de las reacciones de combustión

El carbono e hidrógeno contenidos en cualquier combustible sólido, líquido o gaseoso, sea cual fuere la forma química en que se encuentren combinados, se disociarán a su forma elemental antes de reaccionar con el oxígeno disponible. En la tabla 3.11 se muestran las principales reacciones de combustión que se presentan en la práctica industrial, mostrando los reactantes en la forma que se encuentran en la naturaleza y las cantidades de calor liberadas al transformarse en los únicos productos finales de combustión, esto es, CO₂ y H₂O.

En realidad, las reacciones de combustión del carbono y del hidrógeno con el oxígeno, son siempre elementales y únicas:

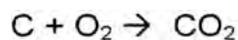


Tabla 3.11

CARBONO	$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 97600 \text{Kcal por Kmol}$
CARBONO	$\text{C} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 29400 \text{Kcal}$
MONOXIDO DE CARBONO	$\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 68200 \text{Kcal}$
HIDROGENO	$\text{H} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 58200 \text{Kcal (vapor)}$ $+ 69100 \text{Kcal (liquido)}$
AZUFRE	$\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + 138600 \text{Kcal}$
METANO	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 192500 \text{ Kcal}$ $(\text{vapor}) + 214300 \text{ Kcal (liquido)}$
ETANO	$\text{C}_2\text{H}_6 + 7/2 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}_2 + 3 \text{ H}_2\text{O} + 342000$ $\text{Kcal (vapor)} + 373600 \text{ Kcal (liquido)}$
PROPANO	$\text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{ O}_2 \rightarrow 3 \text{ CO}_2 + 4 \text{ H}_2\text{O} + 485100 \text{ Kcal}$ $(\text{vapor}) + 528700 \text{ Kcal (liquido)}$
BUTANO	$\text{C}_4\text{H}_{10} + 13/2 \text{ O}_2 \rightarrow 4 \text{ CO}_2 + 5 \text{ H}_2\text{O} +$ $625700 \text{ Kcal (vapor)} + 680200 \text{ Kcal}$ (liquido)

Sea cual fuere el compuesto químico que se encuentre en el combustible, se disociará en C y H reaccionando en la forma elemental.

Esta concepción simple y básica, pero a la vez práctica y efectiva de las reacciones de combustión; permite efectuar con rapidez y precisión los cálculos estequiométricos que facilitarán su adecuado manejo y control.

Sea un combustible que tenga una composición (por kg) de C kg de carbono y H₂ kg de hidrógeno.

Para la combustión de 12 kg de carbono se necesitan 22,4 m³ de oxígeno; para C kg de carbono se necesitarán:

$$22,4 \times (C/12) = 1,87 \times C \text{ m}^3 \text{ de O}_2$$

Para la combustión de 2 kg de hidrógeno, se necesitan 11,2 m³ de oxígeno.

Luego para H₂ kg de hidrógeno se necesitarán:

$$11,2 \times (H_2/2) = 5,6 \times H_2 \text{ m}^3 \text{ de O}_2$$

Por consiguiente, para la combustión de 1 kg de combustible, el oxígeno mínimo necesario estequiométrico, sería la suma del necesario para la combustión del carbono y el hidrógeno, es decir:

$$O_{2m} = 1,87C + 5,6 H_2 \text{ m}^3 \text{ de oxígeno}$$

Como la composición en volumen del aire es aproximadamente del oxígeno y 79% de nitrógeno, se tiene que el aire mínimo necesario será:

$$A_m = 100/21 O_{2m} = 4,76 O_{2m}$$

Por lo tanto, el aire estequiométrico necesario por kg de combustible será:

$$A_m = 8,90 C + 26,67 H_2 \text{ (m}^3 \text{ de aire)}$$

Este volumen de aire está referido a condiciones normales (0°C y 760 mm Hg. de presión)

Sea por ejemplo un combustible que tenga 88% de carbono y 12% de hidrógeno, es decir:

$$C = 0,88 \text{ y } H = 0,12$$

El aire estequiométrico requerido para la combustión será:

$$A_m = 8,90 (0,88) + 26,67 (0,12) = 11,03 \text{ m}^3 \text{ de aire.}$$

En la Tabla 3.12 se presentan los poderes caloríficos que corresponden a cada combustible en función de su relación gravimétrica carbono / hidrógeno, para los combustibles más conocidos y utilizados en la práctica industrial.

Tabla 3.12 Poder calorífico de combustibles en función de la relación C/H

Combustible	Relación (C / H)	P.C.I. (kJ / kg)
Metano	3	50120
	4	47570
Propano	4,5	46448
	4,8	45820
	5	45431
Diesel 2	5,5	43861
	6,5	42199
	7,5	40637
Residual	8,1	40570

3.5.2 Esquema básico de la combustión industrial

Los procesos de combustión en instalaciones industriales siempre obedecen a un esquema básico, cuyo conocimiento y comprensión resultan la llave maestra para acceder a cualquier proceso de combustión que se desee conocer y mejorar.

En la Figura 3.4 se muestra el esquema básico de la combustión industrial, en el cual se establece que una buena combustión requiere 3 puntos fundamentales.

- a) Proporción correcta aire–combustible
- b) Mezcla adecuada de aire combustible
- c) Ignición inicial y sostenida de la mezcla

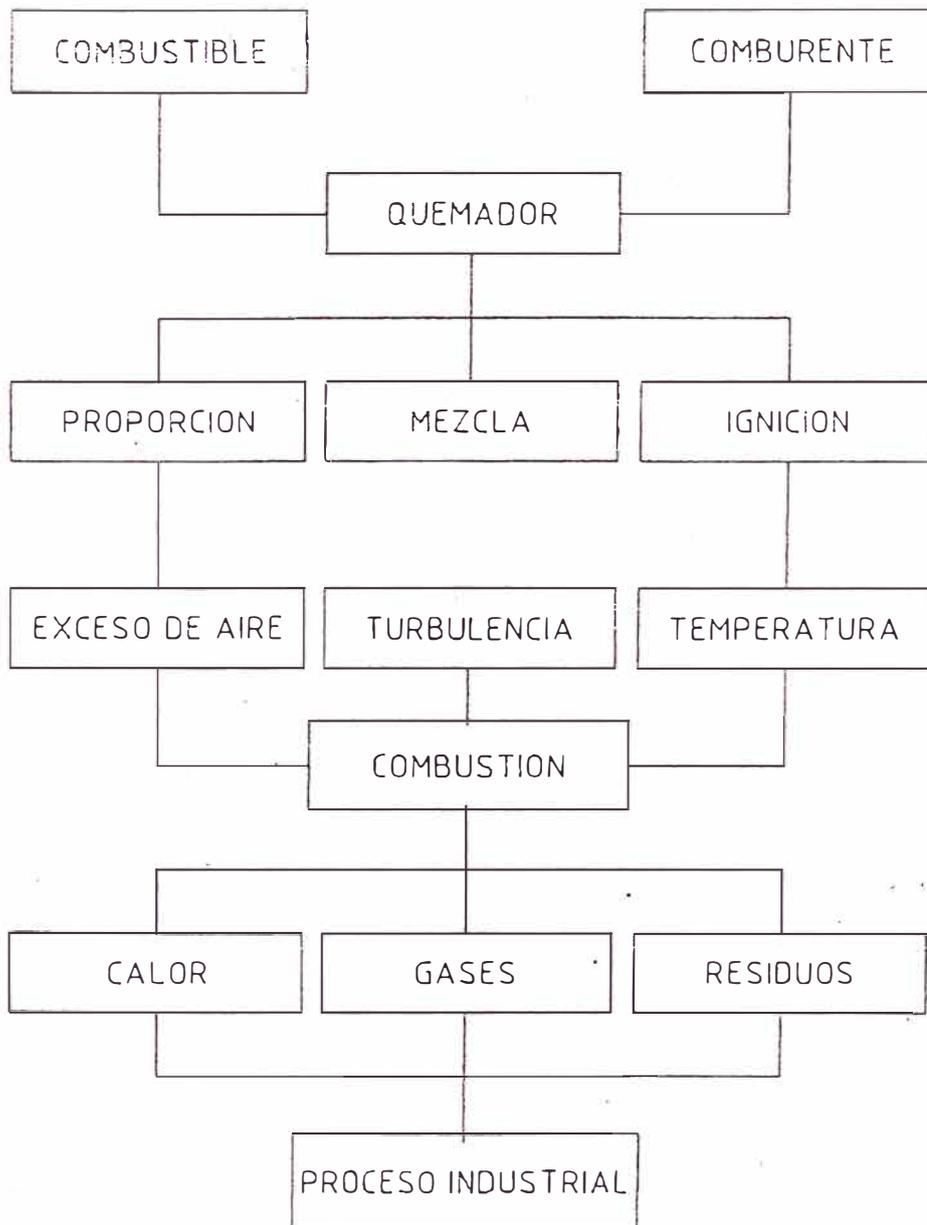


Fig.3.4 Esquema básico de la combustión industrial

El cumplimiento de estos requerimientos permitirán:

- Lograr el máximo aprovechamiento del poder calorífico del combustible utilizado.
- Aportar el calor requerido por el sistema con el menor consumo de combustible y las condiciones operativas técnica y económicamente más adecuadas.

Esta condición de máxima eficiencia, sin embargo, siempre resultará inestable por depender de una serie de variables interdependientes entre sí e influenciadas por factores externos, por lo cual el verdadero nivel de eficiencia del sistema dependerá de la existencia de un sistema de control adecuado y efectivo, orientado a mantener niveles permanentes de eficiencia del proceso

3.5.3 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 (CO_2) y agua (H_2O) 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. Analizaremos la combustión en función de sus productos.

3.5.3.1 En función de sus productos

Se puede considerar los siguientes tipos de combustión:

- ◆ Combustión perfecta (estequiométrica)
- ◆ Combustión completa (con exceso de aire)
- ◆ Combustión incompleta (con defecto de aire)

♦ Combustión imperfecta (pseudo combustión)

a. **Combustión Perfecta Estequiométrica (Figura 3.5)**

Este tipo de combustión se consigue mezclando y quemando las cantidades exactamente requeridas de combustible y oxígeno, los cuales se queman en forma completa y perfecta.

Esta combustión completa está sin embargo, fuertemente limitada por condiciones químicas y físicas, ya que sólo en teoría podemos hablar de reacciones perfectamente estequiométricas.

Se plantean para realizar los cálculos teóricos de la combustión, etc. en función de la composición del combustible y el comburente empleados.

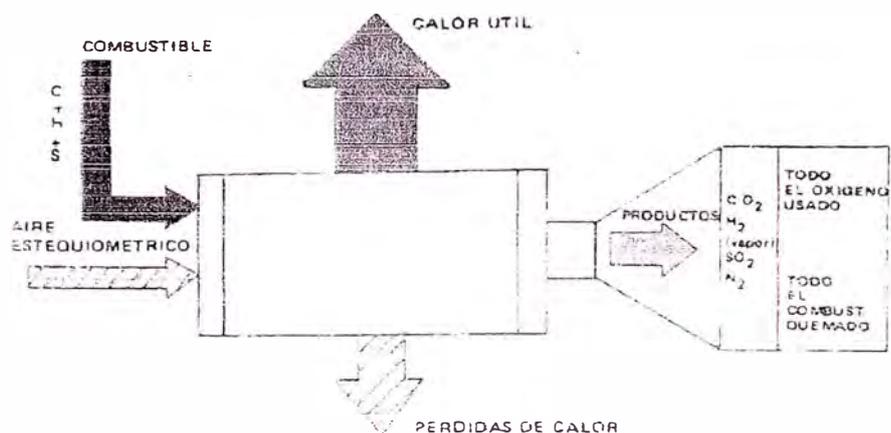


Fig. 3.5

b. **Combustión completa con exceso de aire (Figura 3.6)**

Para tener una combustión completa, es decir, sin presencia de monóxido de carbono

en los humos de chimenea, es necesario emplear una proporción de oxígeno superior a la teórica. Este exceso de aire conlleva especialmente 2 efectos importantes en cuanto al proceso de la combustión:

- ◆ Disminución de la temperatura máxima posible al aumentar la cantidad de gases en la combustión.
- ◆ Variación sensible en cuanto a la concentración de los óxidos formados respecto al nitrógeno, lo que se traduce en una disminución de la eficiencia de la combustión.

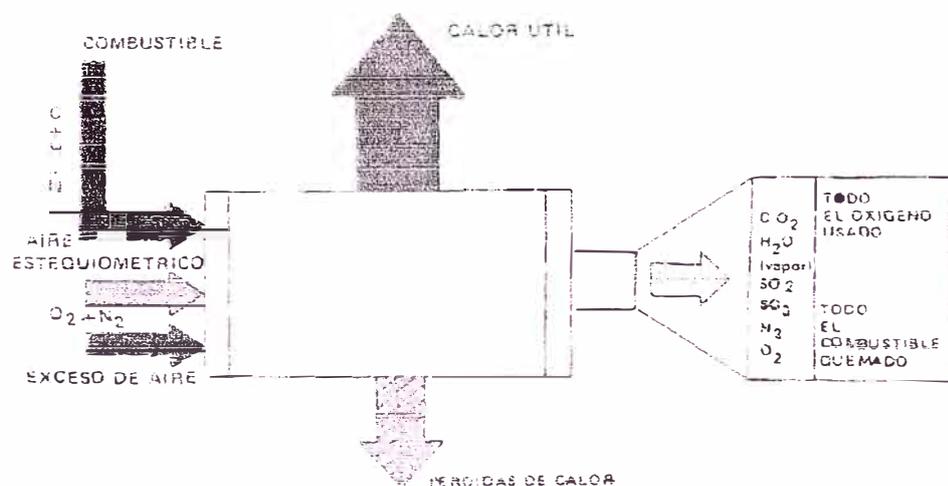


Fig. 3.6

El exceso de aire se expresa en porcentaje, restándole el teórico estequiométrico, el cual corresponde al 100%; es decir, una cantidad de aire de combustión del 120% respecto al estequiométrico, se expresará como 20% de exceso

de aire. El índice de exceso de aire (λ), también empleado en la práctica, será en este caso: $\lambda = 1,2$.

c. **Combustión incompleta con defecto de aire (Figura 3.7)**

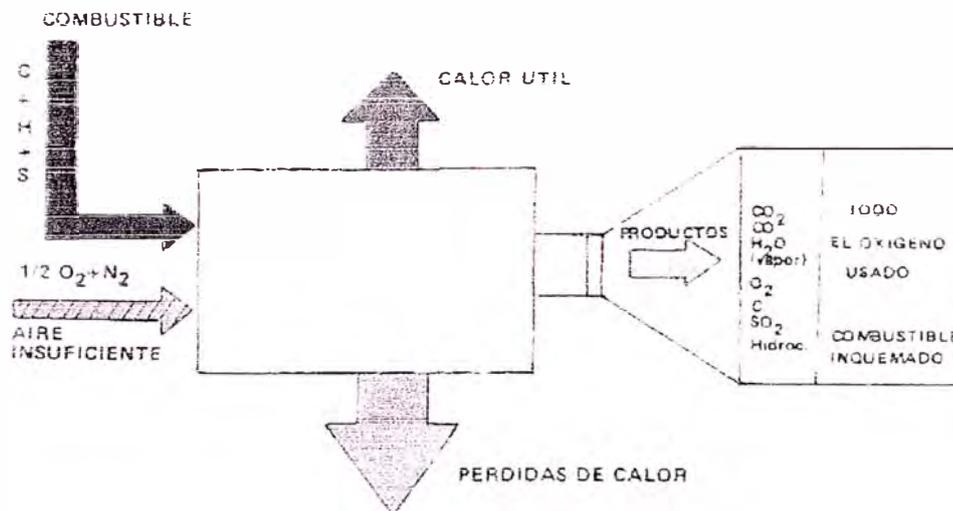


Fig. 3.7

Cuando el oxígeno presente en la combustión no alcanza el valor del teórico necesario para la formación de CO₂, H₂O y SO₂, 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 eliminan a la atmósfera contienen aún 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 determinada por el defecto de aire.

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.

d. Combustión imperfecta (Figura 3.8)

Se produce una combustión imperfecta o pseudocombustión 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.

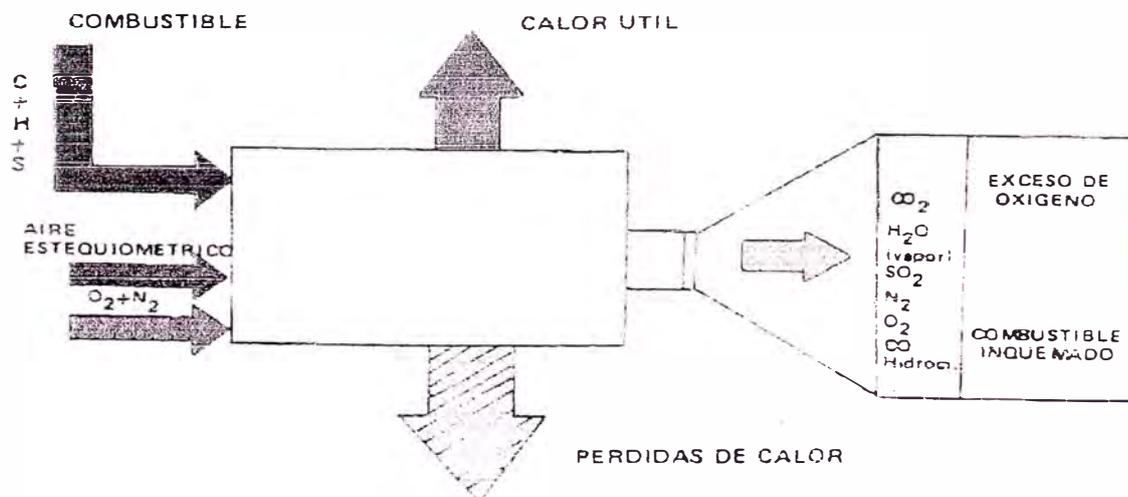


Fig. 3.8

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

- La 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 cuanto mayor sea el número de gotas de gran tamaño, tanto más fácil es que se produzcan inquemados, puesto que una gota de gran diámetro necesita un tiempo mayor 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

3.6 Aplicaciones industriales del gas natural

El gas natural es el mejor combustible que pueden utilizar las industrias que usan hornos y calderos en sus procesos productivos . Por sus características reemplaza ventajosamente a otros combustibles .

El gas natural puede sustituir a los siguientes combustibles:

- Diesel.
- Residuales.
- Gas licuado de petróleo (GLP).
- Kerosene.
- Carbón.
- Leña.

1. Industria del Vidrio

Las propiedades físico químicas del gas natural han hecho posible la construcción de quemadores que permiten una llama que brinda la luminosidad y la radiación necesarias para conseguir una óptima transmisión de la energía calórica en la masa de cristal . Asimismo, es importante mencionar que con el gas natural el producto final (el vidrio) sale limpio .



Fig.3.9

2. Industria de alimentos

En la producción de alimentos el gas natural se utiliza en los procesos de cocimiento y secado. El gas natural es el combustible que permite cumplir las exigencias de calidad ISO, que son requerimientos para ciertos productos de exportación.



Fig.3.10

3. Industria de cerámicas

El uso del gas natural en esta industria es muy ventajoso debido a que se consigue un ahorro económico y permite la obtención de productos de mejor calidad.

Cabe indicar que los productos acabados de esta industria requieren de mucha limpieza y con el gas natural se consigue esta exigencia.

4. Industria del cemento

Los hornos de las cementeras que utilizan gas natural son más eficientes y tienen mayor vida útil; no requieren de mantenimiento continuo y los gases de combustión no contaminan el ambiente como los demás combustibles.

5. Fundición de metales

El gas natural ofrece a la industria metalúrgica variadas aplicaciones. Sus características lo hacen apto para todos los procesos de calentamiento de metales, tanto en la fusión como en el recalentamiento y tratamientos térmicos.



Fig.3.11

6. Generación de electricidad

El gas natural es el combustible más económico para la generación de electricidad y el que produce menor impacto ambiental. Estas ventajas pueden conseguirse tanto en grandes como en pequeñas centrales termoeléctricas.

La generación de electricidad con gas natural es posible mediante turbinas.

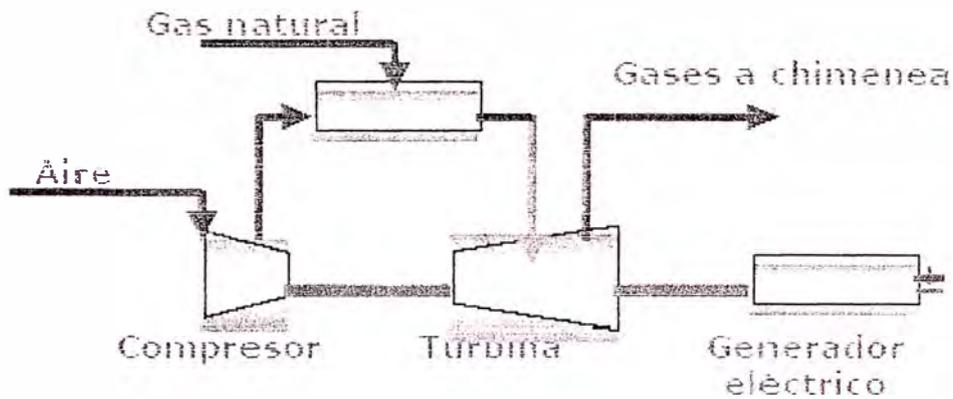


Fig.3.12 Central térmica de tipo simple

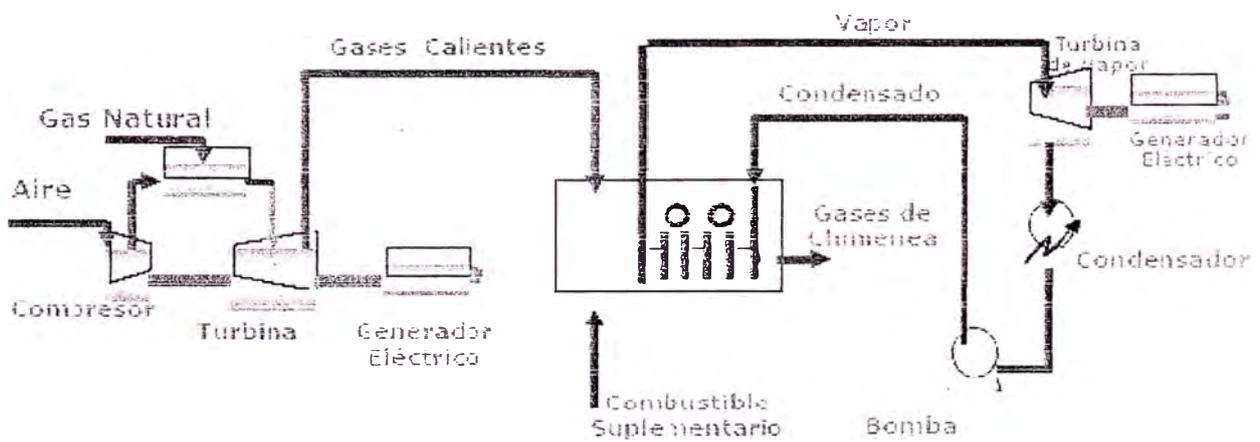


Fig.3.13 Central térmica de ciclo combinado

7. Cogeneración

Se denomina cogeneración a la producción conjunta de energía eléctrica y energía calorífica aprovechable, en forma de gases calientes.

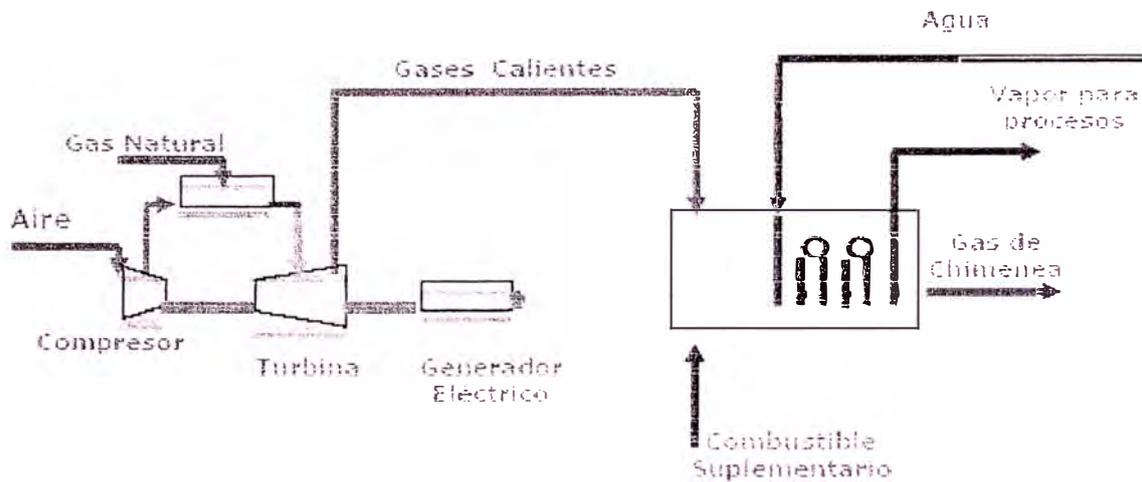


Fig.3.14 Cogeneración simple con turbina a gas

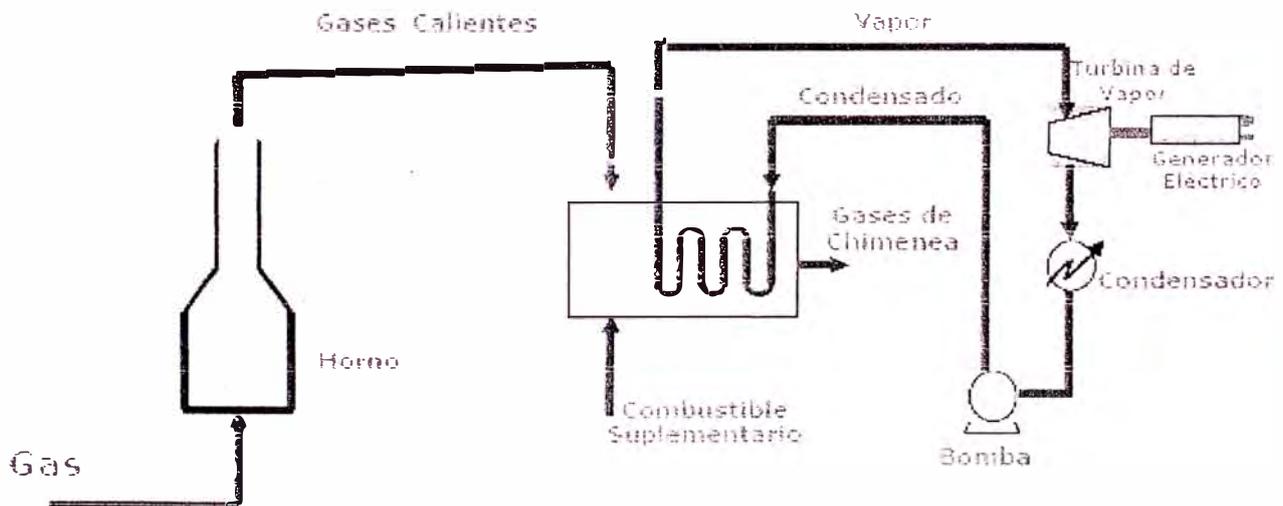


Fig.3.15 Cogeneración aprovechando los gases de combustión del horno

3.7 Ventajas del uso del Gas Natural

3.7.1 Ventajas Ambientales

El gas natural es un combustible muy limpio comparado con los combustibles tradicionales lo que facilita el cumplimiento de exigentes normas ambientales. Una de

las grandes ventajas del gas natural respecto a otros combustibles es la baja emisión de contaminantes en su combustión.

Para entender mejor sobre las emisiones producidas por los combustibles se presenta el siguiente cuadro comparativo :

Tabla 3.13 Emisiones producidas por los combustibles

Combustible	MP Material Particulado	SOx Óxido de Sulfuro	NOx Óxido de Nitrogeno
Gas Natural	1	1	1
GLP	1,4	23	2
Kerosene	3,4	269	1,5
Diesel	3,3	1209	1,5
Residual N° 5	15	4470	4
Residual N° 6	39,4	4433	4
Carbón	157	5783	6

Referencia :Pag.web del Ministerio de Energía y Minas

En la generación de una determinada cantidad de energía calórica, el gas natural es el que tiene menos emisiones.

Tabla 3.14 Efectos de los contaminantes

Contaminante	Efectos sobre	
	Las personas	El ambiente
MP (Material Particulado)	Disminución de la visibilidad. Aumento de afecciones respiratorias crónica ronquera Síntomas respiratorios nocturnos bronquitis Acceso de asma bronquial	Daño directo en la vegetación (dificultad en la fotosíntesis)
SOx (Dióxido de Sulfuro)	Altamente nocivo en presencia de humedad	Lluvia ácida
NOx (Óxido de Nitrógeno)	Irritante Potencialmente cancerígeno	Lluvia ácida Efecto invernadero

Referencia :Pag.web del Ministerio de Energía y Minas

3.7.2 Ventajas Económicas

El gas natural es el combustible de menor precio y permite obtener importantes ahorros en relación a otros combustibles.

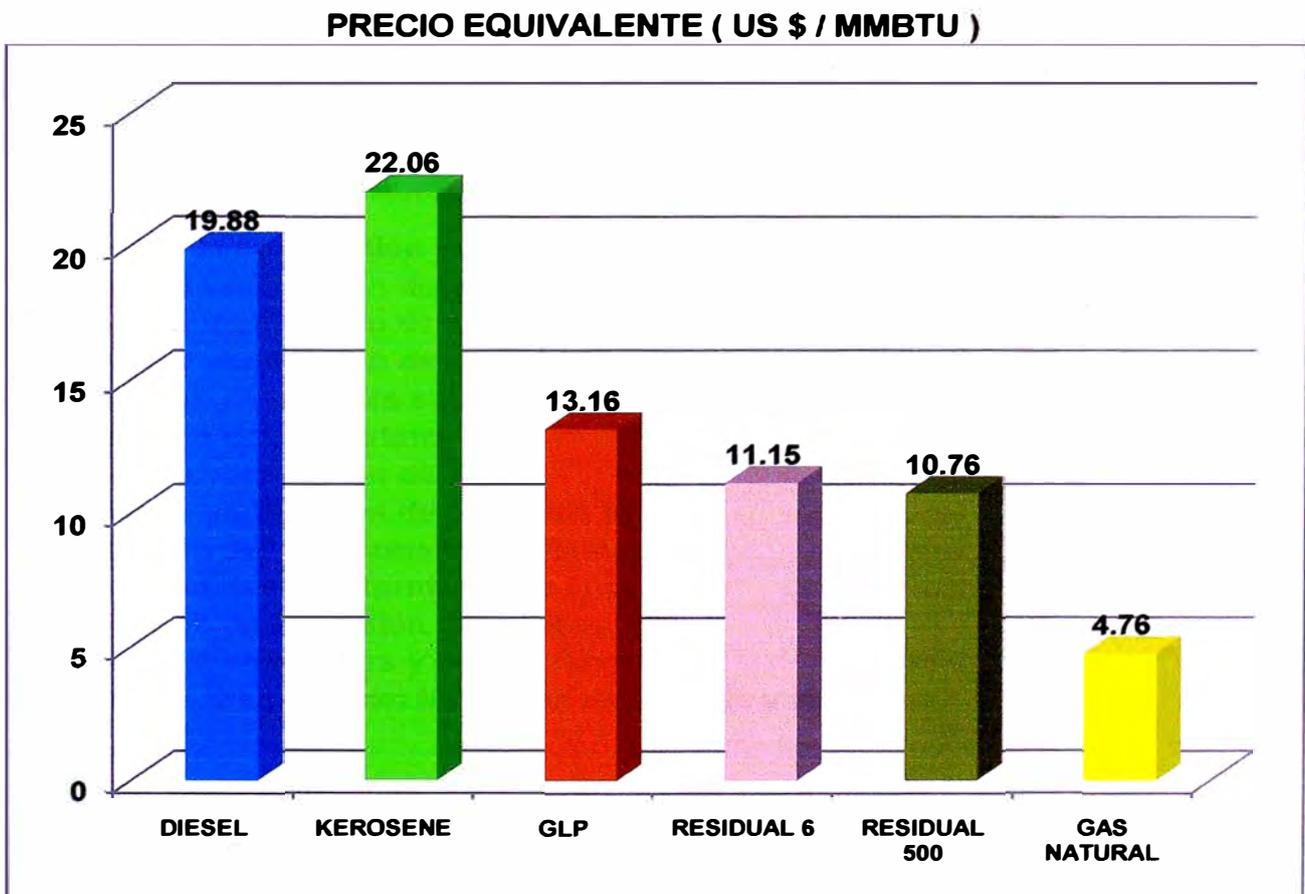


Fig.3.14

Precio Ex – Planta Petroperú (vigente al 31-05-08).

3.7.3 Ventajas Operacionales

El gas natural está disponible en forma continua, no requiere tanques de almacenamiento, disminuyendo los riesgos que ello implica y también los costos financieros. No requiere preparación previa a su utilización como, por ejemplo, calentarlo, pulverizarlo o bombearlo como ocurre con el petróleo o el carbón.

Los equipos y quemadores de gas natural son fáciles de limpiar y conservar.

La regulación automática es sencilla y de gran precisión, manteniendo constante la temperatura o la presión al variar la carga.

3.7.4 Ventajas de mantenimiento de equipos (Quemadores)

Tabla 3.15 Ventajas de mantenimiento de equipos

Mantenimiento Preventivo en el quemador	Tipo de combustible	
	Residuales	Gas Natural
Control de la combustión y la eficiencia	Quincenal	Semestral
Limpieza y verificación del filtro de combustible	Quincenal	Semestral
Limpieza y verificación de electrodos	Quincenal	Semestral
Limpieza y verificación de las boquillas	Quincenal	Semestral
Verificación de válvulas solenoides	Quincenal	Semestral
Verificación de presostatos	Quincenal	Semestral
Limpieza y verificación de mirilla	Quincenal	Semestral
Limpieza y verificación de fotocelda IR/UV	Quincenal	Semestral
Verificación del programador de llama	Quincenal	Semestral
Verificación del transformador de encendido	Quincenal	Semestral
Verificación de la presión de combustible	Diario	Semestral
Limpieza de chimeneas y ductos de gases	Semestral	Anual

Referencia :Pag.web del Ministerio de Energía y Minas

CAPITULO 4 CALDERAS DE VAPOR

4.1 Definición de caldera

Equipo en el que se produce intercambio térmico entre la llama y los humos de combustión con el fluido que posteriormente debe transportar este calor a los puntos de utilización. Es, en otras palabras, un generador de vapor a diferentes presiones , pudiendo ser éste seco o saturado .Las calderas son muy versátiles y se construyen de acuerdo a las necesidades existentes ,la avanzada tecnología electromecánica y electrónica las hacen más seguras y confiables .

En una caldera se realiza

- La combustión , y
- La transferencia de calor

La combustión es la combinación del carbono y el hidrógeno del combustible con el oxígeno del aire produciendo calor.

La energía se transfiere por 3 maneras:

- Conducción
- Convección
- Radiación

Por conducción a través de sus componentes, por convección a través del agua y por radiación directamente entre las superficies calientes y frías.

4.2 Componentes de las calderas

Para entender la operación de una caldera es necesario observar lo que sucede con las corrientes que intervienen en el proceso

- Ciclo de calor → combustible y gases de combustión
- Ciclo de agua → circulación y alimentación al sistema
- Ciclo de vapor → generación y sobrecalentamiento
- Ciclo de condensado → agua formada por el enfriamiento del vapor producido después de realizar su trabajo .
- Hogar → liberación de calor por reacción de combustión . Su diseño se basa en tiempo – turbulencia – temperatura.
- Sección de la caldera → área de intercambio de calor con los gases de combustión calientes
- Sobrecalentador → área de intercambio de calor con los gases de combustión para incrementar la temperatura del vapor.
- Calentadores de aire → para el incremento de la eficiencia térmica
- Chimenea → punto de salida de los gases de combustión

4.3 Clasificación de las calderas

Las calderas se pueden clasificar de la siguiente manera

4.3.1 Por la presión de trabajo

- Calderas de calefacción de baja presión : Comprende todas las calderas de vapor que no exceden de $1,05 \text{ kg/cm}^2$ y todas las calderas de agua caliente que

operan a presiones que no exceden de $11,25 \text{ kg/cm}^2$ y cuyas temperaturas no sobrepasen los 121° C .

- Calderas de baja y media presión

0 – 200 PSI (0 – 13,79 bar → baja presión)

201 – 500 PSI (13,85 – 34,47 bar → media presión)

- Calderas de alta presión y supercríticas

501 – 2000 PSI (34,54 – 137,89 bar → alta presión - grandes industrias)

2001 – 3209 PSI (137,9 - 221,25 bar → muy alta presión - centrales eléctricas)

más de 3209 PSI (más de 221,25 bar → calderas supercríticas)

4.3.2 Por el material de fabricación

- Aceros especiales (caldera para generación de fuerza)
- Hierro colado o acero al carbono
- Cobre y acero

4.3.3 Por la forma de los tubos

- Calderas de tubos horizontales
- Calderas de tubos verticales
- Calderas de tubos rectos
- Calderas de tubos doblados
- Calderas de tubos curvos

4.3.4 Por el tipo de combustible utilizado

- Calderas de carbón , bagazo

- Calderas de petróleo residual
- Calderas de gas natural

4.3.5 Por el contenido de los tubos

4.3.5.1 Piro-tubular

Se denominan piro-tubulares por ser los gases calientes procedentes de la combustión de un combustible, los que circulan por el interior de tubos cuyo exterior está bañado por el agua de la caldera.

El combustible se quema en un hogar, en donde tiene lugar la transmisión de calor por radiación, y los gases resultantes, se les hace circular a través de los tubos que constituyen el haz tubular de la caldera, y donde tiene lugar el intercambio de calor por conducción y convección. Según sea una o varias las veces que los gases pasan a través del haz tubular, se tienen las calderas de uno o de varios pasos. En el caso de calderas de varios pasos, en cada uno de ellos, los humos solo atraviesan un determinado número de tubos, cosa que se logra mediante las denominadas cámaras de humos. Una vez realizado el intercambio térmico, los humos son expulsados al exterior a través de la chimenea.

Una presión de 250 psig (17,2 bar), una capacidad de hasta 25000 lb/h(11339,8 kg/h) y una producción de hasta 1000 BHP, es considerada un tope práctico para este tipo de calderas.

Son de bajo costo inicial, fácil construcción. Gran capacidad de almacenaje de agua, lo que determina:

- Compensar los efectos de las grandes y repentinas fluctuaciones en la demanda de vapor.
- El tiempo que necesita para alcanzar su presión de trabajo, partiendo de un arranque en frío, es considerablemente mayor que en la caldera acuotubular.
- Requiere limpieza interna de los tubos ,su frecuencia depende del tipo de combustible utilizado y la limpieza con que se realiza la combustión.

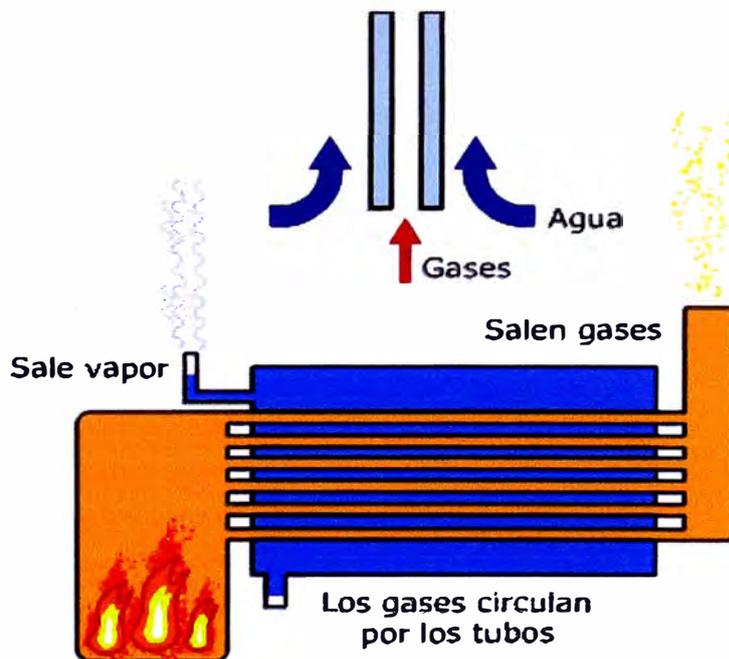


Fig.4.1 Esquema de funcionamiento de calderas pirotubulares

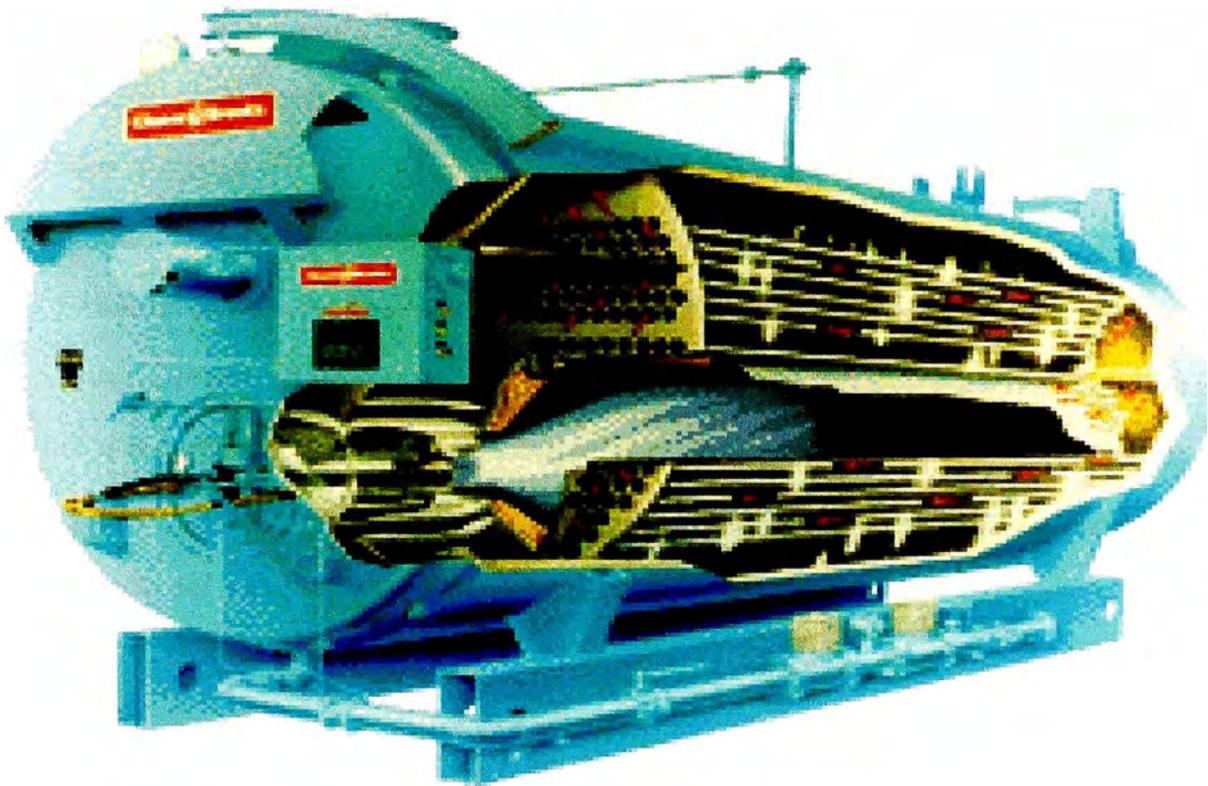


Fig.4.2 Caldera pirotubular – Hogar interior de 4 pasos

4.3.5.2 Acuotubular

En estas calderas, al contrario de lo que ocurre en las pirotubulares, es el agua la que circula por el interior de tubos que conforman un circuito cerrado a través del “calderín” o calderines que constituye la superficie de intercambio de calor de la caldera.

Adicionalmente, pueden estar dotadas de otros elementos de intercambio de calor, como pueden ser el sobrecalentador, recalentador, economizador, etc.

Estas calderas, constan de un hogar configurado por tubos de agua, tubos y

refractario, o solamente refractario, en el cual se produce la combustión del combustible y constituyendo la zona de radiación de la caldera.

Desde dicho hogar, los gases calientes resultantes de la combustión son conducidos a través del circuito de la caldera, configurado éste por paneles de tubos y constituyendo la zona de convección de la caldera.

Finalmente, los gases son enviados a la atmósfera a través de la chimenea.

Con objeto de obtener un mayor rendimiento en la caldera, se las suele dotar de elementos, como los ya citados, economizadores y precalentadores, que hacen que la temperatura de los gases a su salida de la caldera, sea menor, aprovechando así mejor el calor sensible de dichos gases.

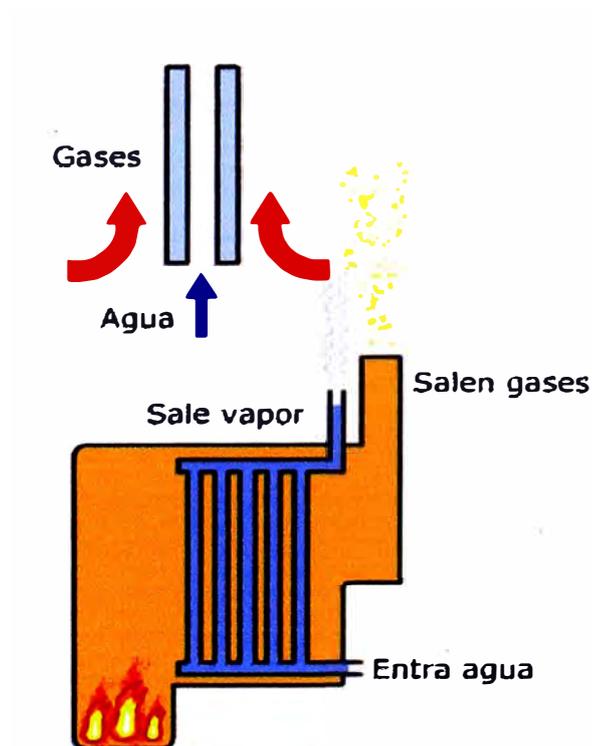


Fig.4.3 Esquema de funcionamiento de calderas acuotubulares

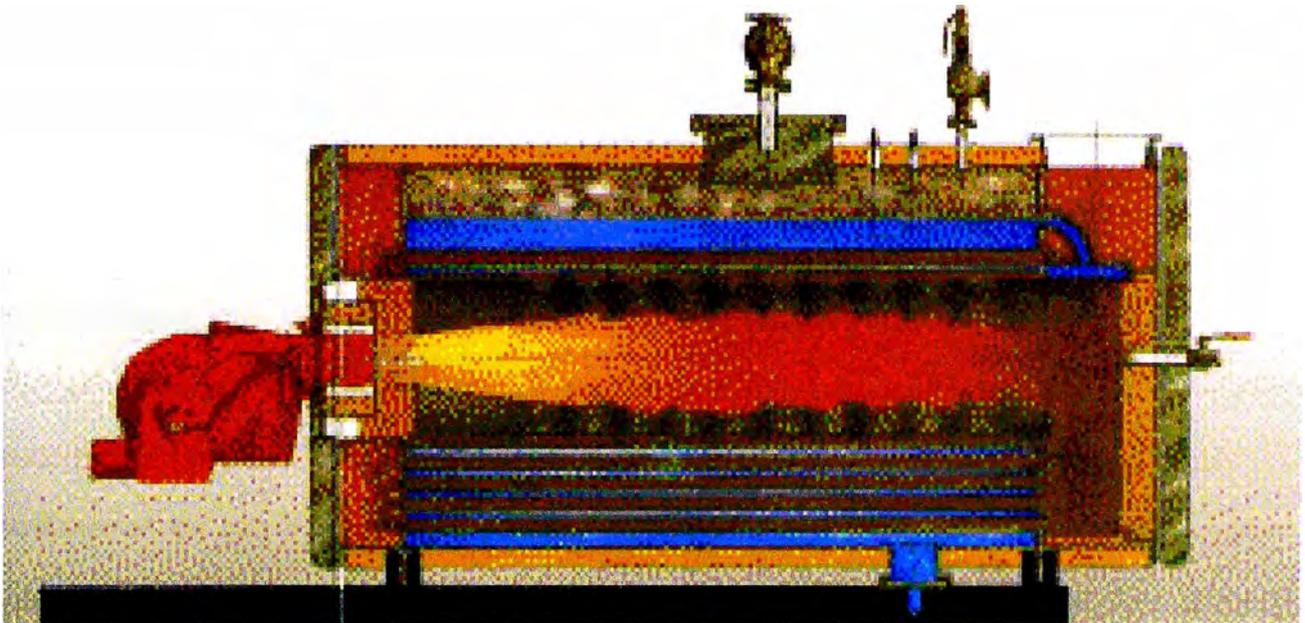


Fig.4.4 Caldera acuotubular

CAPITULO 5 CRITERIOS DE SELECCIÓN Y CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DE LA INSTALACION DE GAS NATURAL

5.1 Estación de Regulación de presión y medición primaria (ERPMP)

Es el conjunto de elementos instalados 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 fallas eventuales.

Para el dimensionamiento de la ERPMP se debe considerar que deberá estar diseñada para suministrar simultáneamente gas natural a todos los equipos que consumen gas natural (trabajando a su capacidad nominal) y a las futuras ampliaciones que defina el cliente.

Los parámetros considerados para el diseño son los siguientes:

- Presión de entrada
- Presión de salida
- Flujo de gas natural máximo y mínimo

En este caso los valores considerados son:

Presión de entrada = 10 barg

Presión de salida = 2 barg

Flujo de gas = 600 Sm³/ h (máximo) – 44 Sm³/ h (mínimo)

En la sección 5.6.6.1 se realiza el cálculo del flujo de gas requerido por el caldero Cleaver de 500 BHP, a este caudal hay que sumarle $44 \text{ Sm}^3/\text{h}$ de una futura ampliación para alimentar a una secadora, de allí se obtiene el total de $600 \text{ Sm}^3/\text{h}$.

5.1.1 Componentes de la estación de regulación de presión y medición primaria

La estación de regulación de presión y medición primaria está generalmente compuesta por los siguientes elementos

- Filtro de gas
- Válvula de seguridad por bloqueo
- Regulador de presión
- Medidor de flujo
- Válvula de seguridad por venteo (válvula de alivio)

5.1.1.1 Filtro de Gas

El filtro tiene por objeto eliminar las impurezas arrastradas por el gas natural en su circulación, evitando así el depósito de cualquier impureza en los asientos del regulador, medidor y válvulas .Este se coloca antes del regulador de presión.

La capacidad del filtro depende de la presión de operación y el diferencial permitido. Los filtros de las ERPMP que trabajan a la presión de la red de alimentación son siempre cilindros con el elemento filtrante en forma de «cartucho».El cuerpo exterior del filtro está formado por un cilindro de acero, provisto de las tuberías de entrada y salida del gas, de una tapa o registro que permite sacar el cartucho filtrante fuera del mismo para su limpieza y de un grifo de purga(y de descompresión) para extraer la posible agua de condensación. El gas penetra en el filtro entre el cuerpo

exterior y el cartucho filtrante, y sale por el centro del mismo después de filtrado. El elemento filtrante debe tener una capacidad mínima de 2cm^2 por cada Sm^3 de capacidad horaria de la línea. El filtro debe retener en función de la granulometría de las impurezas:

Polvo : 98% hasta 5 micras

Agua : 100% hasta 20 micras

El calibre del filtro se determina por el tipo de gas, por la presión de servicio máxima y mínima, por el caudal máximo a filtrar, por la pérdida de carga admisible y por el tamaño de las partículas de impurezas.

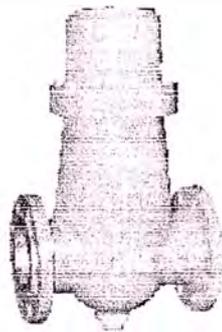
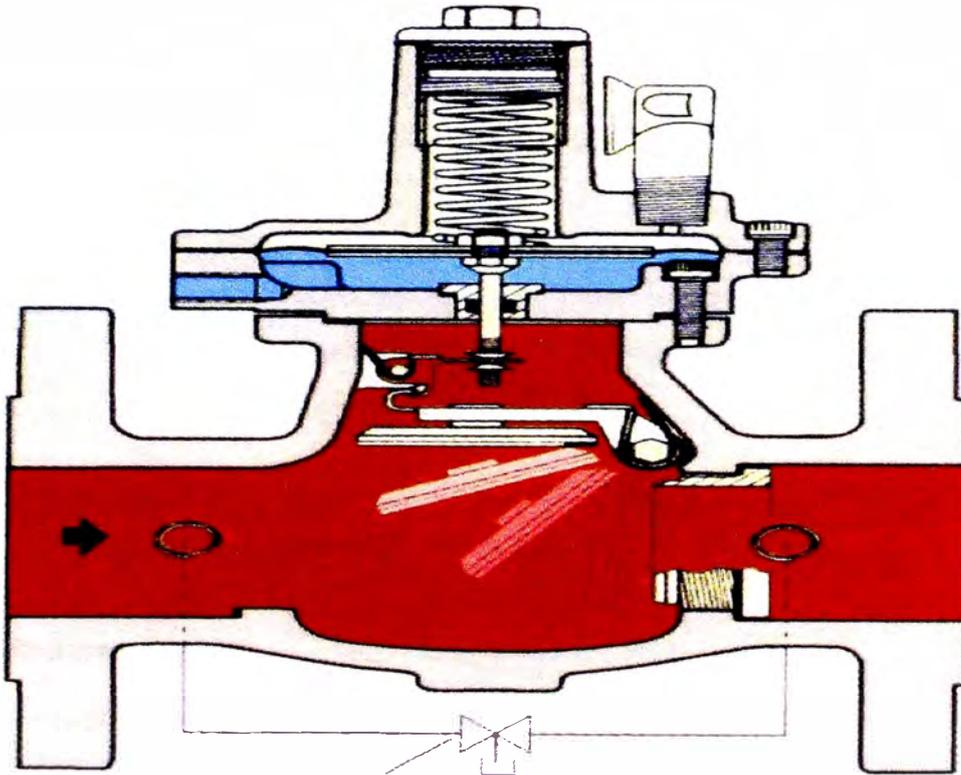


Fig.5.1 Filtro de gas

5.1.1.2 Válvula de seguridad por bloqueo

Esta válvula tiene por misión cortar totalmente el flujo de gas natural que circula por la tubería cuando la presión regulada supera el valor admisible. En caso de sobrepresión la presión de corte menos la presión máxima de trabajo debe ser menor al 10% de la máxima de trabajo. Esta válvula debe instalarse aguas abajo del regulador.



Botón de presión
(normalmente cerrado)

Fig.5.2 Válvula de seguridad por bloqueo

5.1.1.3 Regulador de presión

Dispositivo que permite reducir la presión del gas natural y mantener un suministro a una presión constante.

La selección del regulador se hace considerando la presión de entrada, la presión de salida y la capacidad de flujo.

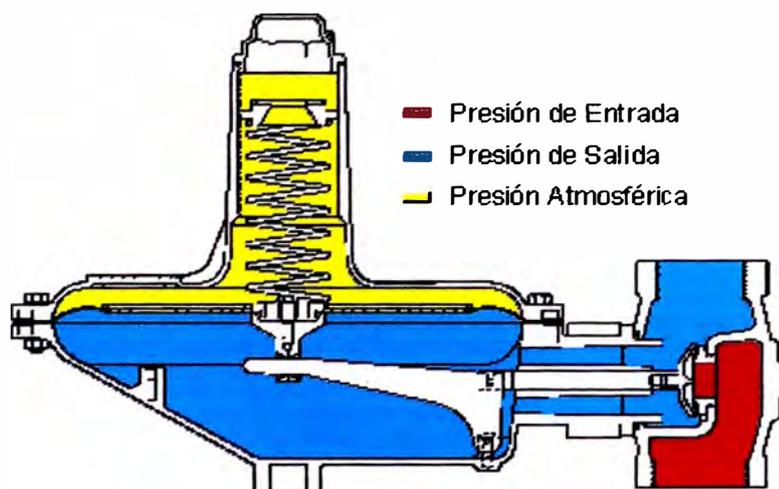


Fig.5.3 Esquema del regulador de presión

5.1.1.4 Medidor de flujo

Sirven para medir el consumo de gas natural consumido por el usuario. Los medidores normalmente usados son

- Volumétrico → medidor de membrana y medidor rotativo
- Velocidad → turbina

Medidores de Membrana

Estos medidores tienen en su interior un diafragma que es presionado por el gas natural que penetra. El volumen ocupado es indicado por el contador que lo expresa en m^3/h . Son económicos para bajos caudales y presiones.

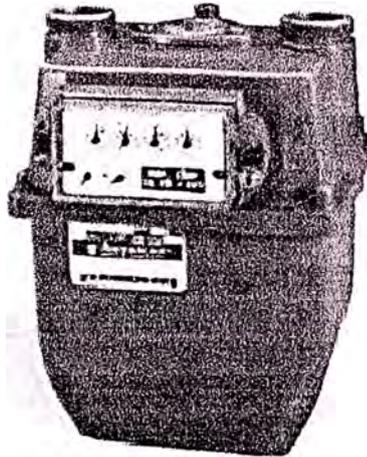


Fig.5.4 Medidor de membrana

Medidores Rotativos

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.



Fig.5.5 Medidor rotativo

Medidores de turbina

Estos medidores se basan en la medición de la velocidad del gas natural dentro del contador. Permiten medir grandes caudales.

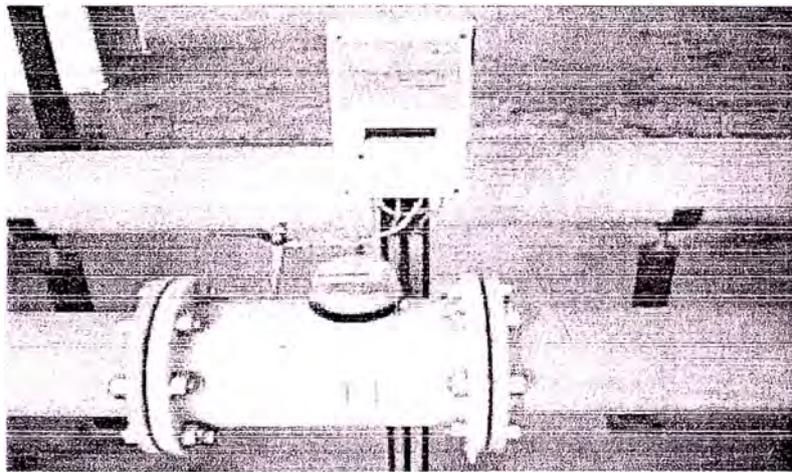


Fig.5.6 Medidor de turbina

La información del medidor de flujo es recogida por el **corrector de volumen**, para medir la presión y temperatura y expresar la cantidad de gas que ha pasado en m^3 a condiciones estándar. De esta manera se obtiene una medición de gas regulada. Con estos equipos se obtiene una precisión de hasta 6,25%.

5.1.1.5 Válvula de seguridad por venteo

Esta válvula evacua un porcentaje del caudal nominal de la ERPMP con el fin de evitar sobrepresiones a la salida del regulador evacuando a la atmósfera a través de un conducto adecuado. La presión de apertura ,es decir, el valor de la presión en la cual se verifica el inicio de la descarga debe ser menor a la máxima presión de trabajo admisible del sistema de medición.



Fig.5.7 Válvula de seguridad por venteo



Fig.5.8 ESTACION DE REGULACION DE PRESION Y MEDICION PRIMARIA

5.2 Red interna de circulación de gas natural

Se denomina así al conjunto de tuberías, válvulas y accesorios destinados a llevar el gas natural desde la ERPMP hasta un equipo de consumo.

5.2.1 Selección del material de la tubería y especificación técnica

En las instalaciones internas industriales se podrán usar los siguientes tres materiales: acero, cobre y polietileno (PE).

La selección del material se hará de acuerdo a:

- El lugar en que se ubicará la tubería
- La presión
- El diámetro necesario
- Los riesgos de corrosión específicos
- Disponibilidad del material en el mercado local

No se podrán usar otros materiales tales como: caucho, policloruro de vinilo(PVC), asbesto-cemento, hierro fundido, plomo y tuberías de polietileno destinadas a aplicaciones distintas que no cumplan con normas específicas para gas natural(por ejemplo, distribución de agua)

Las tuberías y los accesorios retirados de una instalación de gas natural seco, o de una instalación que ha transportado gas licuado de petróleo (GLP) pueden ser vueltos a emplear para conducir gas natural seco, siempre que:

- Se determine que las tuberías y los accesorios que se van a reutilizar cumplan con las exigencias de la presente norma técnica; y

- Las tuberías y los accesorios que van a ser reutilizados hayan sido limpiados, inspeccionados, probados y cumplan con los requerimientos de la norma técnica.

Las instalaciones industriales existentes cuyo sistema de tuberías está transportando GLP, pueden ser vueltos a usar para conducir el gas natural seco, siempre que las tuberías y accesorios cumplan con las exigencias normativas y consideraciones para los materiales y las pruebas de hermeticidad indicadas en la norma técnica.

La tabla siguiente nos indica el material de la tubería en función de su ubicación espacial.

Tabla 5.1 Material de la tubería en función a su ubicación

Tubería subterránea	Tubería de superficie
Acero revestido / PE / cobre revestido	Acero pintado / cobre

En relación al diámetro en las tuberías de PE y acero no se especifican límites, sin embargo, éstas deberán tener dimensiones y características que cumplan con las normas técnicas referenciadas en la norma técnica peruana.

De manera general, se evitará para las tuberías metálicas, el uso de diámetros muy pequeños { inferiores a 12,7 mm (½ ") } que podrían ser susceptibles de ser involuntariamente dañados o doblados.

En lo concerniente a las especificaciones técnicas, para tuberías de acero rígido, éstas deberán cumplir con la última edición de las normas : API 5L, ASTM A53, ASTM A106 ó ANSI/ASME B 36.10 o equivalente.

Las tuberías tendrán rosca tipo NPT, según la norma B1.20.1.

En la juntas roscadas se usará el sellador con teflón Loctite 567.65.

5.2.2 Especificación técnica de los accesorios y bridas

Mencionaremos las especificaciones para las tuberías de acero que son las utilizadas en el trabajo que originó el presente informe .

Todos los accesorios roscados deberán tener rosca cónica conforme a las normas ISO 7.1, ISO 228.1, ANSI/ASME B 1.20.1 ó equivalente.

Para asegurar la estanqueidad de la rosca, se usará un sello de fibra no orgánica, cinta de teflón o sello líquido(tipo Loctite o similar). El asbesto; el cáñamo u otras fibras orgánicas están prohibidos.

Las fibras deben cumplir con ANSI/ASME B16.1 ó ANSI/ASME B16.20. Las juntas de estanqueidad no deben contener asbesto y deben ser resistentes a temperaturas elevadas.

Los espárragos y sus tuercas correspondientes deberán cumplir con las normas ASTM A 193 y ASTM A 194.

5.2.3 Especificación técnica de las válvulas

Las válvulas deberán ser aprobadas para su uso con gas. La tecnología y los materiales de las válvulas deberán estar de acuerdo a la presión y condiciones de trabajo. El material de la válvula deberá estar en concordancia con el de la tubería en la cual se instala.

Las válvulas para aplicaciones esféricas deberán ser enteramente metálicas, incluyendo el cuerpo, elemento sellante, etc. Asimismo, deberán ser resistentes a altas temperaturas.

Las válvulas deberán ser fabricadas con materiales aprobados y de acuerdo a la última edición de normas como API 6D, ISO 14313, ASME B 16.4, CEN prEN 1555-4. Las características de la válvula deberán ser marcadas de acuerdo a la norma técnica MSS SP-25 ó equivalente.

5.2.4 Especificación técnica de equipos de medición y regulación

La Estación de Regulación de Presión y Medición Primaria (ERPMP) usada para la regulación y medición centralizada del consumo de gas del usuario deberá ser instalada de acuerdo a normas técnicas reconocidas internacionalmente tales como CEN EN 12279, CEN EN 12186, CEN EN 1776 y AGA reportes 2, 7 y 9, respectivamente.

5.2.4.1 Medidores

Los medidores para la medición del gas natural seco de un equipo de consumo en particular deberán cumplir con normas reconocidas tales como CEN EN 1359 ó ANSI B109(partes 1 y 2) para medidores a diafragma y CEN EN 12480 ó ANSI B109.3 para medidores rotativos o equivalentes y ser aprobados.

5.2.4.2 Reguladores

Los reguladores de las estaciones de regulación de presión secundaria deberán cumplir con normativas internacionales reconocidas tales como CEN EN 334 ó ANSI B109.4 y ser aprobados.

Los reguladores deberán ser ubicados de tal forma que las conexiones sean fácilmente accesibles para operaciones de servicio y mantenimiento.

5.2.5 Unión de tuberías

La siguiente tabla recomienda las técnicas que deben utilizarse para las uniones

en la construcción de los nuevos sistemas de tuberías.

Tabla 5.2 Técnicas para las uniones de las tuberías

Material de la tubería	Técnica de empalme		
Cobre	Soldadura fuerte(temperatura de fusión > 450° C)		
Poliétileno	Unión de tope por termofusión o cuplas de electrofusión		
Acero	diámetro ≤ 5,08 cm (2 pulg)	diámetro > 5,08 cm (2 pulg)	
Acero negro	Junta roscada o soldada	Soldadura	Bridas
Acero galvanizado	Junta roscada	-----	-----

En tuberías enterradas sólo se podrán usar uniones soldadas.

5.2.6 Preparación de la tubería

La preparación de la tubería implica la correcta preparación de la superficie y la aplicación de pintura de base como el acabado para las tuberías.

5.2.6.1 Limpieza

Previo al arenado se asegurará de que las tuberías se encuentren libres de residuos de aceite, escoria, etc, para asegurar una buena limpieza.

Las superficies metálicas deben prepararse desengrasándolas adecuadamente utilizando para ello solventes del tipo aguarrás o bencina.

El método más común para la limpieza es hacerlo con disolvente seguido de la limpieza en seco con trapos limpios. La limpieza en seco es imprescindible, porque si no se lleva a cabo minuciosamente el resultado del lavado con disolvente se reducirá a extender la contaminación a una zona más amplia.

El objetivo principal de la preparación de la superficie es eliminar toda la contaminación para reducir la posibilidad de iniciar la corrosión, de forma que se cree

un perfil de la superficie que permita la adherencia satisfactoria del recubrimiento que se va aplicar.

5.2.6.2 Arenado

El tipo de arenado que se recomienda y se alcanzara es el arenado casi al metal blanco, de acuerdo con la especificación SSPC-SP10, asegurándose de eliminar todo el "mil scale" de la superficie.

Debiendo estar todo el perfil de rugosidad entre 1.5 a 2. Mils.

5.2.6.3 Pintado

La protección superficial de la tubería será una capa de pintura esmalte anticorrosivo y 2 capas de pintura epóxica. El color de acabado será el RAL 1004(amarillo canario).

CAPA	PINTURA	ESPESOR
1ra	Esmalte anticorrosivo	3 mils
2da	Epóxica	5 mils
3ra	Epóxica	2 mils
Total		10 mils

5.2.7 Fórmulas utilizadas y cálculos realizados para el dimensionado de la red interna de gas natural

La instalación será dimensionada para conducir el caudal requerido por los equipos de consumo en el momento de máxima demanda.

Las dimensiones de las tuberías están en función de los siguientes valores:

- Máxima cantidad de gas natural seco requerido por el o los equipos de consumo.
- Velocidad permisible del gas < 30 m/s

- Caída de presión permitida entre el punto de suministro y los equipos de consumo será como máximo el 50% de la presión regulada al comienzo de cada tramo analizado.

5.2.7.1 Cálculo del diámetro de la tubería

Para poder calcular el diámetro de la tubería previamente calcularemos el caudal de gas natural seco requerido por el caldero de 500 BHP.

El flujo de gas natural se calcula usando la siguiente fórmula:

$$Q = P_n / PC \text{ ----- } 5.1$$

Donde :

P_n = Potencia nominal del equipo

PC = Poder calorífico superior del gas natural

Para un caldero de 500 BHP → 20,925 MMBTU/h

$$Q = 20,925 \text{ MMBTU/h} \div 0,03784 \text{ MMBTU/m}^3$$

$$Q = 552 \text{ Sm}^3 / \text{h}$$

Una vez determinado el consumo de gas natural del caldero podemos determinar el diámetro de la tubería que se usará para llevar el gas hasta el caldero, para eso usaremos la siguiente fórmula (**Ref. Norma Técnica Peruana NTP 111.010**):

$$V = \frac{365,35 \times Q}{D^2 \times P} \text{ ----- } 5.2$$

Donde:

Q = Caudal en m^3 / h

P = Presión de cálculo en bara (presión absoluta)

D = Diámetro interior de la tubería en mm.

V = Velocidad lineal en m / s

Para calcular el diámetro de la tubería asumiremos una velocidad lineal del gas, sabemos que ésta tiene que ser $< 30 \text{ m / s}$, asumiremos 25 m / s .

$$P = 2 \text{ bar} + 1,01396 \text{ bar} = 3,01396 \text{ bar}$$

$$Q = 552 \text{ Sm}^3 / \text{h}$$

Reemplazando valores en la fórmula 5.2 obtenemos el valor del diámetro:

$$D^2 = \frac{365,35 \times 552}{25 \times 3,01396}$$

$$D = 51.7 \text{ mm}$$

La tabla siguiente nos permitirá seleccionar el diámetro adecuado de la tubería.

Tabla 5.3 Diámetro interior de tuberías de acero

Diámetro nominal		Diámetro interior	Espesor mínimo de
mm	Pulgadas	mm	la pared (mm)
10,3	1/8	6,90	1,7
13,7	1/4	9,30	2,2
17,1	3/8	12,52	2,3
21,3	1/2	15,80	2,8
26,7	3/4	20,93	2,9
33,4	1	26,64	3,4
42,2	1 1/4	35,05	3,6
48,3	1 1/2	40,89	3,7
60,3	2	52,50	3,9

De la tabla seleccionamos una tubería de diámetro 2".

5.2.7.2 Cálculo de la velocidad de circulación del gas

Para calcular el diámetro de la tubería asumimos una velocidad de 25 m / s , con el valor del diámetro ya calculado procederemos a calcular la velocidad real de circulación del gas.

Reemplazando valores en la fórmula 5.2:

$$V = \frac{365,35 \times Q}{D^2 \times P}$$

$$V = \frac{365,35 \times 552}{(52,5)^2 \times 3,01396}$$

$$V = 24,27 \text{ m / s}$$

5.2.7.3 Cálculo de la caída de presión

Para el cálculo de la caída de presión entre los diferentes tramos de la tubería de circulación del gas natural usaremos la fórmula de Renouard simplificada para presiones en el rango de 0 Kpa a 400 Kpa(0 bar a 4 bar);válida para $Q/D < 150$ (Ref. Norma Técnica Peruana NTP 111.010):

$$P_1^2 - P_2^2 = 48600 \times S \times L \times \frac{Q^{1,82}}{D^{4,82}} \quad 5.3$$

Donde:

P_1 y P_2 = presión absoluta en ambos extremos del tramo(bar).

S = Densidad relativa del gas natural

L = Longitud del tramo en km, incluyendo la longitud equivalente de los accesorios que la componen. (1)

Q = Caudal en Sm^3/h (condiciones estándar)

D = Diámetro en mm.

(1) Para hallar la longitud equivalente de accesorios y válvulas remitirse a la tabla resistencia de codos, accesorios y válvulas para gas natural expresada en longitud equivalente de tubería recta en metros en Anexos(anexo 2).

Como ejemplo, calcularemos la pérdida de presión en el tramo que va desde el punto A hasta el punto B(ver plano isométrico):

$$P_1 = 1,96 \text{ bar} + 1,01396 \text{ bar} = 2,97396 \text{ bar}$$

$$S = 0,65$$

$$L = 8 + L_{\text{equiv.}}(2 \text{ Codos roscados de } 2'') = 8 + 2 \times 1,58 = 11,16 \text{ m} = 0,01116 \text{ km}$$

$$Q = 552 \text{ Sm}^3/\text{h}$$

$$D = 52,5 \text{ mm}$$

$$(2,97396)^2 - (P_2)^2 = 48600 \times 0,65 \times 0,011116 \times \frac{(552)^{1,82}}{(52,5)^{4,82}}$$

$$P_2 = 2,944 \text{ bar}$$

En la tabla 5.4 se muestra la planilla de cálculo para toda la instalación interna de tuberías.

Tramo	Caudal (Sm ³ /h)	Longitud(m)		Presiones(barg)			Diámetro		Velocidad (m/s)
		Real	Cálculo	P ₁	P ₂	P ₁ -P ₂	Cálculo	Adoptado	
ERPMP - A	600	9,3	14,2	2	1,96	0,04	52,5 mm	2"	26,38
A - B	552	8	11,16	1,96	1,93	0,03	51,7 mm	2"	24,6
B - C	552	12,8	14,38	1,93	1,892	0,038	51,7 mm	2"	24,85
C - D	552	10	11,58	1,892	1,86	0,032	51,7 mm	2"	25,17
D - E	552	27,2	28,78	1,86	1,78	0,08	51,7 mm	2"	25,45
E - F	552	29,7	31,28	1,78	1,69	0,09	51,7 mm	2"	26,18
F - G	552	27,9	31,06	1,69	1,60	0,09	51,7 mm	2"	27

Tabla 5.4 Planilla de cálculo de la red de tuberías

5.2.8 Criterio usado para determinar la distancia entre soportes de las tuberías

Las tuberías deberán contar con soportes intermedios en intervalos regulares, de acuerdo a su peso y diámetro.

Tabla 5.5 Soportes de tuberías

Tamaño nominal de la tubería rígida (pulgadas)	Distancia entre soportes		Tamaño nominal de la tubería flexible (pulgadas)	Distancia entre soportes	
	m	pies		m	pies
½	1,85	6	½	1,25	4
¾ ó 1	2,45	8	5/8 ó ¾	1,85	6
1 ¼ ó mayores (horizontales)	3,0	10	7/8 ó 1	2,45	8
1 ¼ ó mayores (verticales)	Una en cada nivel o piso				

5.2.9 Distancia entre tuberías de gas y tuberías de otros servicios

No deben instalarse tuberías en las inmediaciones de cables eléctricos, tuberías de calefacción u otras instalaciones que puedan causar daños. En la tabla 5.4 se indica las distancias mínimas entre las tuberías que conducen gas y las tuberías de otros servicios.

Tabla 5.6 Distancias mínimas entre tuberías que conducen gas y tuberías de otros servicios

Tubería de otros servicios	Curso paralelo	Cruce
Conducción agua caliente	3 cm	1 cm
Conducción eléctrica	3 cm	1 cm
Conducción de vapor	5 cm	5 cm
Chimeneas	5 cm	5 cm

5.2.10 Señalización de tuberías

La tubería aérea debe ser señalizada de acuerdo a las siguientes recomendaciones:

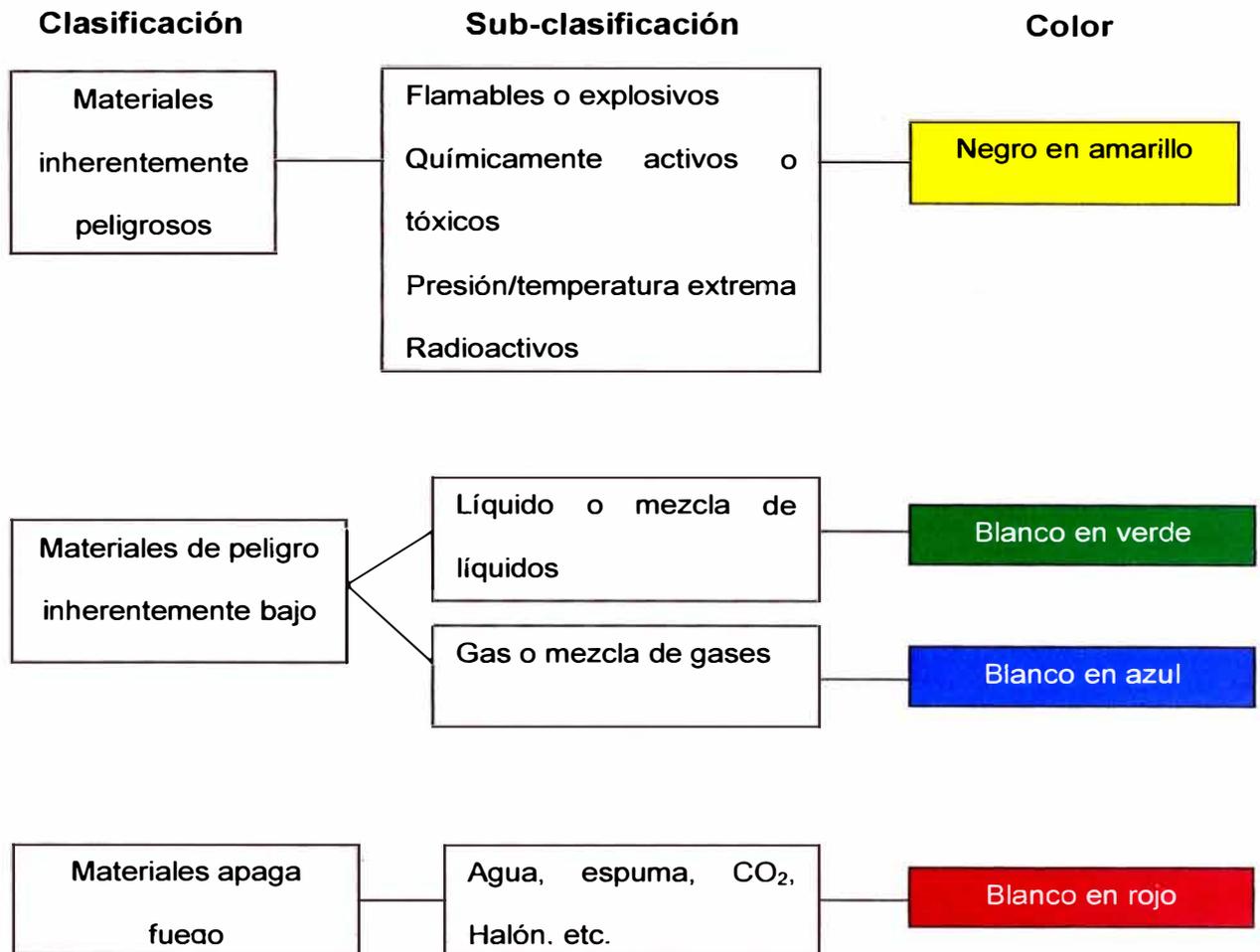
Texto para identificación

Los rótulos de la tubería se colocarán de tal manera que sean fácilmente visibles por el personal de la planta. El texto que se debe leer en las tuberías debe hacer referencia al fluido que circula por la tubería y la dirección del flujo y si el fluido es peligroso o seguro y la presión la cual viaja el fluido. De acuerdo a lo dicho anteriormente, el rótulo en cada tubería debe ser " PELIGRO GAS NATURAL 2 BAR ". A continuación de esta indicación debe ir una flecha que indique el sentido del flujo del gas.

Color

La norma ASME A13.1 recomienda usar colores distintivos para cada tipo de fluido que circula por las tuberías, por lo que las letras de los rótulos deben ser de un color que contraste y permita una fácil identificación de la tubería. Para ello la norma ASME recomienda 3 clasificaciones que agrupan a la mayoría de fluidos que se distribuyen a través de tuberías a partir de dichas clasificaciones se tienen sub-clasificaciones a las que se les ha asignado un tipo de señalización adecuado dependiendo del riesgo que representa el fluido contenido en las tuberías.

El siguiente esquema muestra el cuadro de clasificación que recomienda la norma ASME A 13.1 – 1996



Según estos criterios el rótulo tendrá las siguientes características:

PELIGRO GAS NATURAL 2 BAR

La norma ASME A13.1 recomienda también el alto de las letras y el largo de los rótulos de acuerdo al diámetro de la tubería. Los tamaños recomendados se listan en la tabla 5.5.

Tabla 5.7 Dimensiones de rótulos

Diámetro exterior De la tubería \varnothing	Alto del rótulo H	Largo del rótulo L
$\frac{3}{4}$ " a $1 \frac{1}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	8"
$1 \frac{1}{2}$ " a 2"	$\frac{3}{4}$ "	8"
$2 \frac{1}{2}$ " a 6"	$1 \frac{1}{4}$ "	12"
8" a 10"	$2 \frac{1}{2}$ "	24"
Más de 10"	$3 \frac{1}{2}$ "	32"

Ubicación de los rótulos

La norma ASME A 13.1 recomienda colocar los rótulos adyacentes a válvulas, cambios de dirección, inmediatamente antes y después de un cruce a través de una pared y en tramos extensos de tubería se colocarán los rótulos espaciados una distancia que puede oscilar entre 7,5 m(25 pies) y 15 m(50 pies).

5.2.11 Prueba de hermeticidad

Finalizada la construcción del sistema de tuberías, deberá ser probada para verificar su hermeticidad, utilizando como fluidos el aire, nitrógeno o cualquier gas inerte, en ningún caso, oxígeno o un gas combustible. El propósito es localizar y eliminar toda pérdida en la instalación.

La prueba de presión de hermeticidad deberá ser de 1,5 veces la presión máxima admisible de operación (MAPO) por un lapso no menor a 2 horas. En el caso de sistemas de tuberías con una MAPO de 60 mbar o menos, la presión de prueba de hermeticidad deberá ser de 100 mbar como mínimo.

5.3 Sub-estación de regulación

Conjunto de elementos instalados con el propósito de reducir y regular automáticamente la presión del fluido aguas debajo de la Estación de Regulación de

Presión y Medición Primaria. Su utilización se requiere cuando la presión de trabajo de consumo difiere de la presión de ERPMP regulada y asignada.

5.3.1 Componentes de la sub-estación de regulación

La sub-estación de regulación cuenta con los siguientes elementos:

Válvula de cierre manual

Estas válvulas serán del tipo esféricas, de cierre rápido tipo palanca($\frac{1}{4}$ de vuelta).

Las válvulas esféricas son necesarias para separar los sistemas y cortar el paso del gas cuando sea necesario por razones de mantenimiento preventivo o correctivo.

Filtro tipo Y

El filtro tiene por objeto eliminar las impurezas arrastradas por el gas natural en su circulación, se coloca antes del regulador de presión.

Válvula reguladora de presión

La válvula reguladora de presión de funcionamiento automático instalada aguas abajo del filtro Y. Esta válvula debe ser capaz de reducir la presión y eliminar fluctuaciones.

Manómetro

Los manómetros permiten conocer las presiones de entrada en la ERS y la presión regulada aguas debajo de la válvula reguladora de presión.

5.4 Quemador

El quemador representa el corazón de cualquier sistema de combustión industrial y su diseño, montaje y funcionamiento, factores determinantes para lograr el aprovechamiento racional del potencial calorífico del combustible.

En el caso particular de la utilización de gas natural, su importancia en el proceso es

aún mayor, por resultar su diseño un factor fundamental para aprovechar las ventajas y compensar las desventajas que ofrece el gas natural respecto a otros combustibles.

Cualquier quemador debe cumplir 5 funciones en el proceso de combustión; analicemos su comportamiento para el caso del gas natural:

Aportar combustible en las condiciones adecuadas para su adecuado encendido y combustión

Aportar parcial o totalmente, el aire con el oxígeno necesario para la combustión

Mezclar aire y combustible, aportando la energía cinética para formar la llama que resulte adecuada a la cámara de combustión y el proceso

Encender y quemar la mezcla

Desplazar los productos de la combustión, cuando se trabaja con tiro forzado.

5.4.1 Clasificación de los quemadores

Los quemadores de gas natural pueden clasificarse de acuerdo a los siguientes parámetros:

Presión de trabajo

- Baja presión: 8,6 mbar – 21,6 mbar
- Media presión : 34 mbar – 0,138 bar
- Alta presión: > 0,138 bar – 3,45 bar

Forma de incorporación del aire

- Atmosférico: cuando el aire de la combustión es tomado en forma directa de la atmósfera (ver figura 5.9).

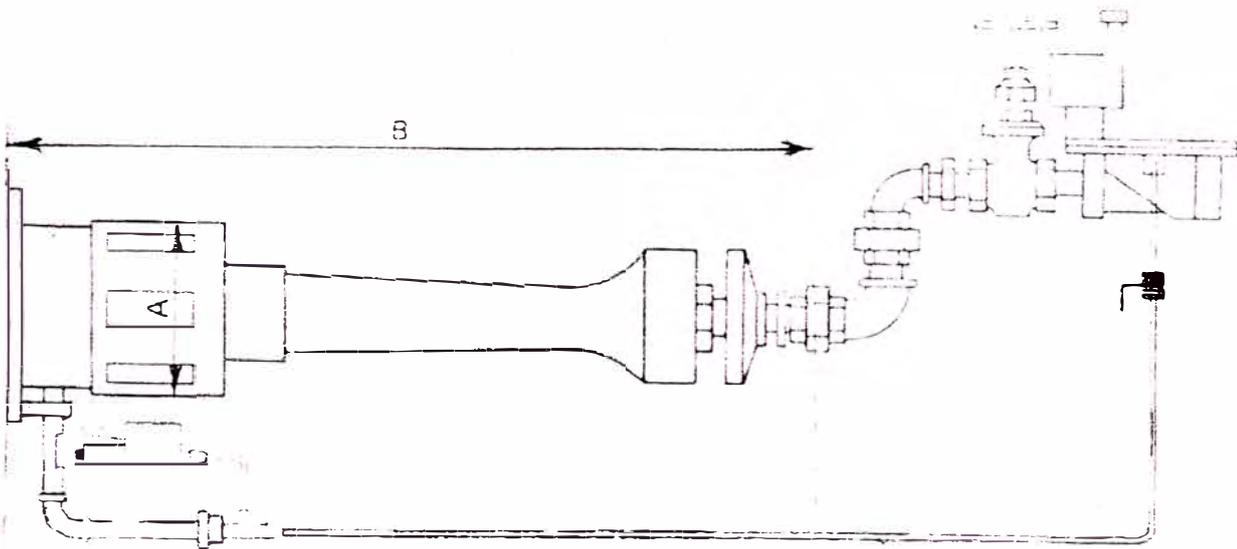


Fig.5.9 Quemador atmosférico

- Aire a presión: cuando cuenta generalmente con un ventilador centrífugo para proporcionar el aire indispensable para producir la combustión. Se denomina quemador de gas/aire(ver figura 5.10).

Quemador Gas – Aire

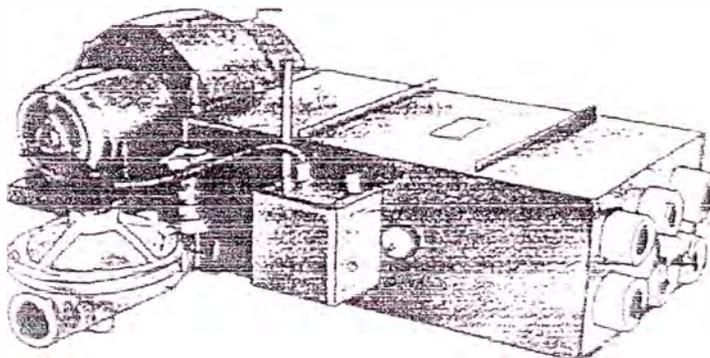


Fig.5.10 Quemador gas - aire

Grado de automatismo

- Automático: cuando están provistos de dispositivos de control de llama, encendido, mando y regulación de acción automática.
- Semiautomático: el encendido se efectúa manualmente.
- Manual: la regulación y el encendido se efectúan manualmente.

5.4.2 Selección del quemador

El quemador se selecciona considerando los valores de la potencia del equipo (caldero) y el flujo de combustible, para este caso específico por tratarse de un caldero Cleaver Brooks, se optó por escoger el Kit de conversión dual de combustible (gas natural-residual 6) para calderos Cleaver Brooks

El kit de conversión viene completo y ensamblado de fábrica para el caldero Cleaver. El quemador a gas natural es instalado en la parte delantera de la caldera, siendo el flujo de la llama orientado a lo largo del flue por el aire forzado a través de un difusor para lograr una alta eficiencia de combustión.

El quemador con el kit de conversión de combustible quedará listo para trabajar con Residual 6 y Gas Natural. El kit incluye los siguientes componentes :

- Bumer Housing(cámara del quemador)
- Complete Burning Drawer(caja completa del quemador)
- Tren principal de gas
- Tren piloto de gas
- Varillaje de conexión para los controles y moduladores del ingreso de gas.
- Leva de modulación

- Programador CB780

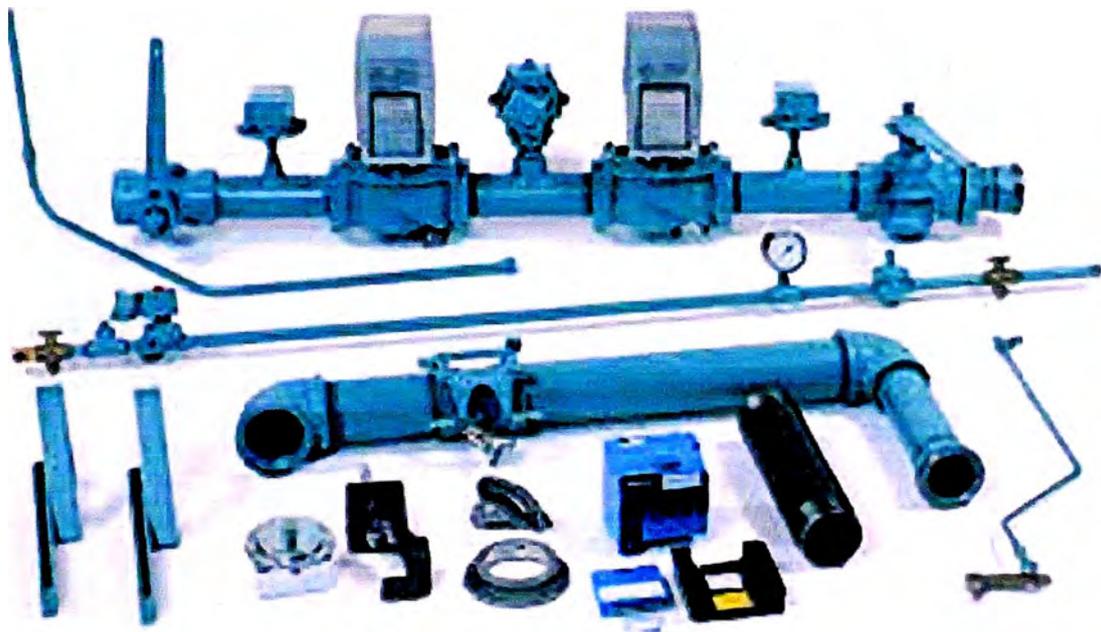


Fig.5.11 Kit de conversión dual de combustible (gas natural-residual 6)

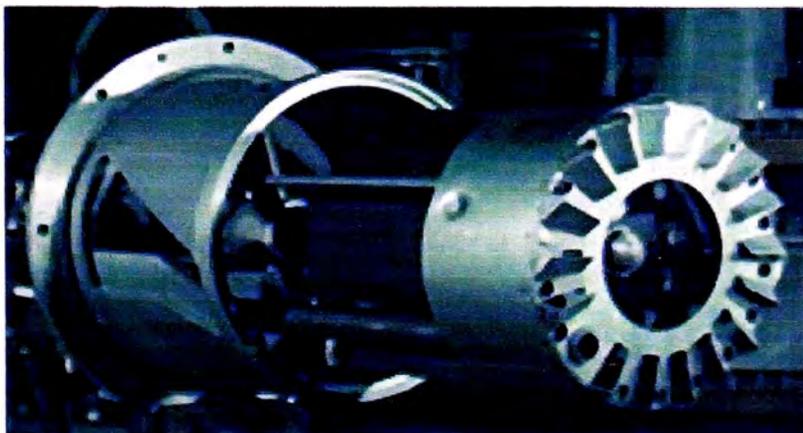


Fig.5.12 Caja completa del quemador

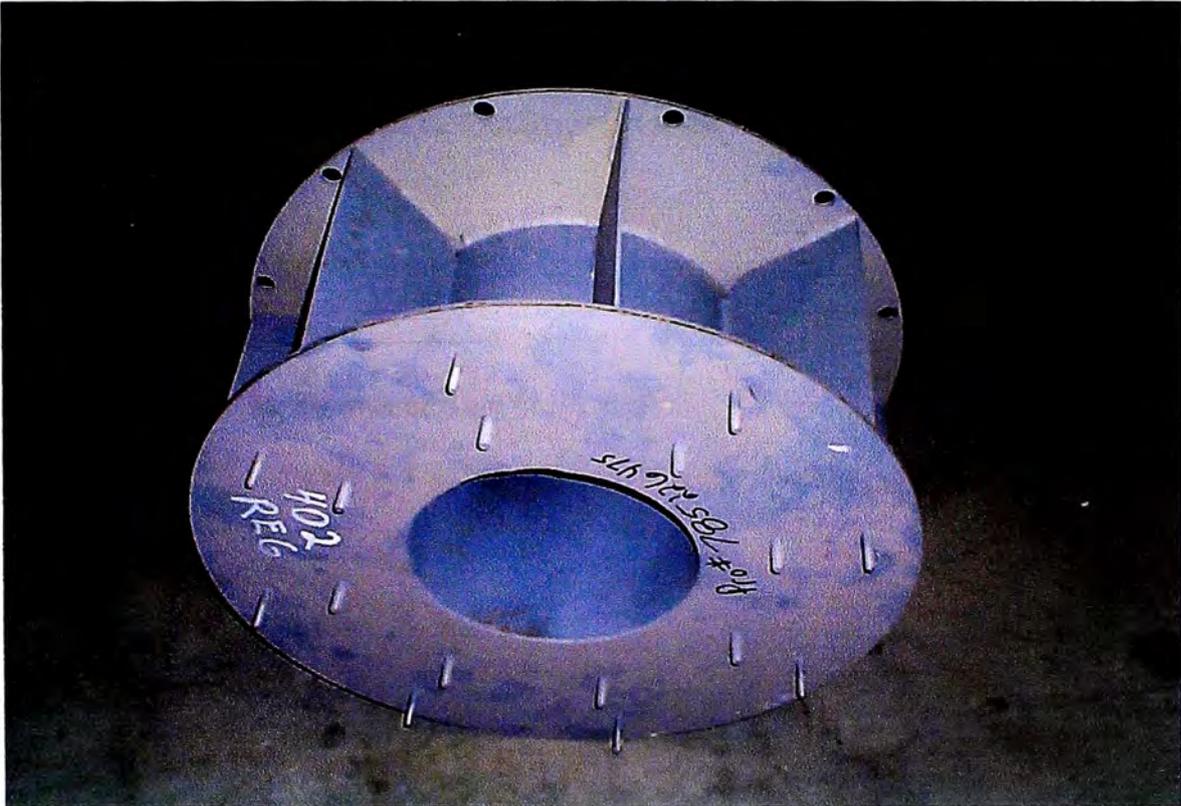


Fig.5.13 Cámara del quemador

CAPITULO 6
EVALUACION ECONOMICA DE LA CONVERSION

6.1 Costos de la conversión

Para poder realizar la conversión del caldero de 500 BHP a gas natural hay que hacer una inversión, la cual se muestra en la tabla 6.1

Tabla 6.1 Costos para realizar la conversión

ITEM	DESCRIPCION	Und.	Cant.	Costo Parcial (US \$)
1.0.0	Estación de Regulación	glb	1	24236
1.1.0	Estación para caudal de 600 m ³ /h			
1.2.0	Montaje de ERPMP			
1.3.0	Sistema de puesta a tierra			
1.4.0	Loza de concreto reforzada			
2.0.0	Sistema de tuberías internas	glb	1	7725
2.1.0	Tuberías y accesorios			
2.2.0	Soportes metálicos			
2.3.0	Montaje e instalación de tuberías internas			
2.4.0	Pintura y acabados			
3.0.0	Sistema de combustión	glb	1	22782
3.1.0	Kit de conversión dual			
3.2.0	Arranque y puesta en marcha			
4.0.0	Prueba	glb	1	200
4.1.0	Prueba de hermeticidad			
Total				54943

6.2 Ahorro por uso del gas natural como combustible

El hecho de reemplazar al residual 6 por gas natural como combustible del caldero implica un ahorro, en la tabla siguiente se indica el monto mensual y anual de dicho ahorro:

Tabla 6.2 Ahorro por conversión de caldero de 500 BHP

	Consumo diario	Consumo mensual	Costo del Combustible US\$/MMBTU	Costo Mensual (US \$)	Costo Anual (US \$)
Residual 6	1000 gal.	26000 gal.	6,45	25356,24	304274,88
Gas natural	3800 m ³	98800 m ³	3,65	13645,86	163750,32
				Mensual	Anual
Ahorro				11710,38	140524,56

6.2.1 Cálculo del VAN

En el proceso de toma de decisiones tenemos que acondicionar en unidades comparables las alternativas factibles para poder juzgarlos en términos del criterio de selección propuesto. El análisis del valor presente se puede usar para medir la rentabilidad de una inversión y también para jerarquizar distintas opciones de inversión, o sea hallar el ranking de rendimiento de las alternativas.

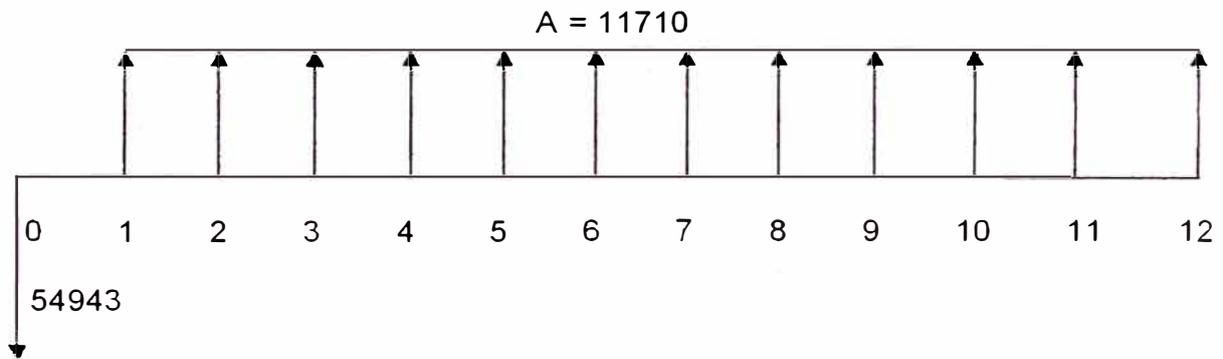
Por Valor Actual Neto (VAN) de una inversión se entiende la suma de los valores actualizados de todos los flujos netos de caja esperados del proyecto, deducido el valor de la inversión inicial

Para el cálculo del VAN se considerará un periodo de 12 meses y un interés de 2% mensual.

Representamos el flujo de caja:

A= ahorro mensual por conversión a gas natural= US\$ 11710

Inversión para la conversión= US\$ 54943



Si

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{VAN} = \text{VP beneficios} - \text{VP costos} \\ \text{VAN} \geq 0 \quad \text{Se acepta la inversión} \\ \text{VAN} < 0 \quad \text{Se rechaza la inversión} \end{array} \right.$$

$$\text{VAN} = 11710 (P/A, 2\%, 12) - 54943$$

$$\text{VAN} = 11710 \times 10.575 - 54943$$

$$\text{VAN} = 68890,25 \rightarrow \text{Se acepta la inversión}$$

6.2.2 Cálculo de TIR

Para entender esta técnica, comenzaremos definiendo el concepto de la tasa interna de retomo:

“ La tasa interna de retorno es la tasa de descuento que hace que la suma de los flujos descontados sea igual a la inversión inicial “

Para calcular TIR usaremos la siguiente ecuación:

$$\text{V.P. de los beneficios} - \text{V.P. de los costos} = 0 \quad \text{-----} \quad 6.1$$

La tasa de interés para la cual esta ecuación se cumpla será TIR.

Usaremos el diagrama de flujo anterior, donde el costo es igual a la inversión inicial y los beneficios son los ahorros mensuales obtenidos al realizar la conversión.

Seleccionamos i por ensayo y error

Para $i = 15\%$, en la ecuación 6.1:

$$11710 (P/A, 15\%, 12) - 54943$$

$$11710 (5,421) - 54943 = 8536,91$$

Para $i = 18\%$

$$11710 (P/A, 18\%, 12) - 54943$$

$$11710 (4,793) - 54943 = 1183,03$$

Extrapolando:

$$15 \text{ ————— } 8536,91$$

$$18 \text{ ————— } 1183,03$$

$$i \text{ ————— } 0$$

$$\frac{i - 15}{18 - 15} = \frac{0 - 8536,91}{1183,03 - 8536,91}$$

$$i = 19\%$$

También usando Excel, llevando los valores de la inversión inicial y los ingresos podemos calcular TIR y también obtenemos el valor de 19%.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

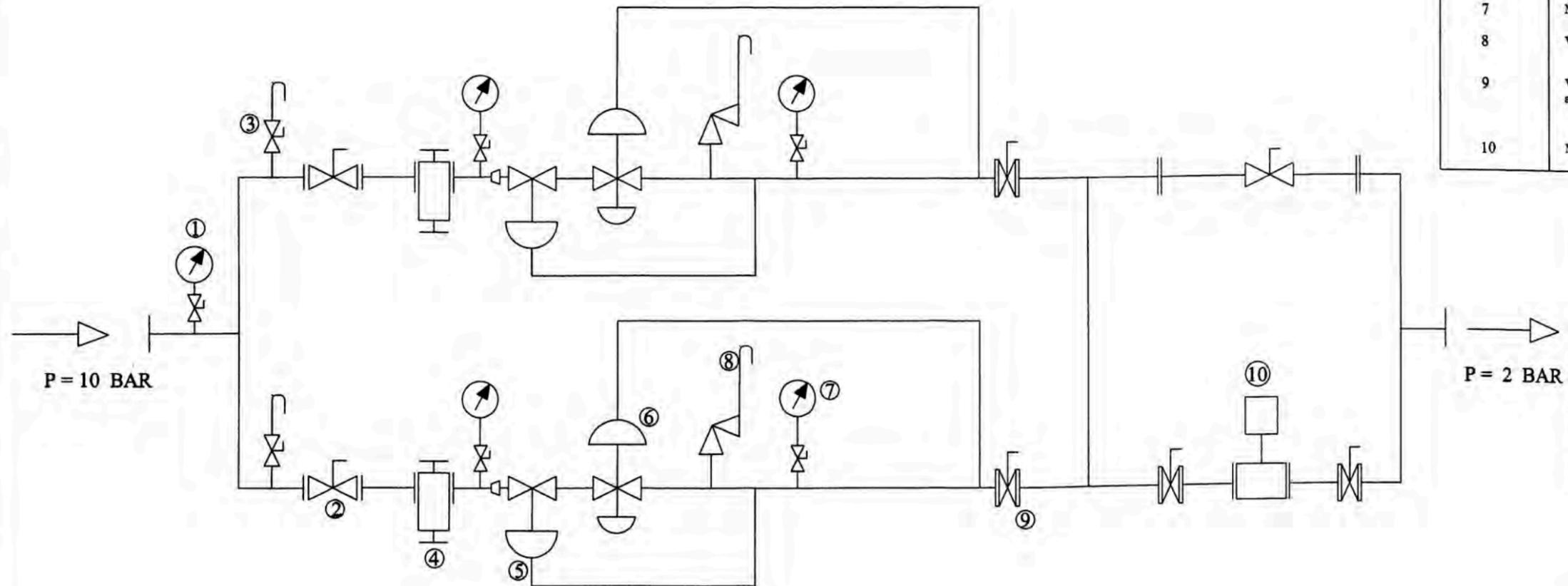
1. La conversión del caldero Cleaver Brooks de 500 BHP para que use gas natural proporcionó una tecnología limpia y eficiente, con ahorros muy significativos, disminuyeron también los costos de mantenimiento. En este caso particular, el retorno de la inversión realizada para el cambio de combustible del caldero a gas natural, resultó menor a un año.
2. El gas natural es considerado como uno de los combustibles fósiles más limpios y respetuosos con el medio ambiente. Su ventaja comparativa en materia ambiental en comparación con el carbón o con el petróleo reside en el hecho de que las emisiones de dióxido de azufre son ínfimas y que los niveles de óxido nitroso, monóxido de carbono y dióxido de carbono son menores. Una mayor utilización de esta fuente de energía permitiría particularmente limitar los impactos negativos sobre el medio ambiente.
3. Si bien este informe trata sobre una planta textil y la conversión de un caldero pirotubular, las fórmulas usadas para determinar el diámetro de la tubería, la velocidad de circulación del gas y la caída de presión a lo largo de la tubería, son de aplicación general y son las exigidas por la normativa peruana vigente.
4. Una de las ventajas más importantes del gas natural es que está disponible instantáneamente, sin necesidad, como ocurre con otros combustibles, de bombearlo, calentarlo o pulverizarlo; no hace falta adquirirlo con antelación, ni

formar un stock de reserva para su empleo. Ello libera a la industria de importantes movilizaciones y gastos adicionales.

BIBLIOGRAFIA

- **Problemas de Ingeniería Económica – Walter Andía Valencia.
Año 2000**
- **Gas Natural Características , distribución y aplicaciones industriales –
E.Borrás Brucart.
Editores Técnicos Asociados
Año 1987**
- **Curso “ Generadores de Vapor “ – José Huapaya Barrientos.**
- **Gas Cálculo y diseño de instalaciones – A.L.Miranda Barreras – R.Oliver
Pujol.
Editorial Ceac
Año1994**
- **Análisis Económico en Ingeniería – Donald Newman.
Editorial Mc Graw Hill
Año 1990**
- **Operación de Calderas Industriales – Gonzalo Rodríguez Guerrero.
Editorial Ecoc
Año 2001**
- **Norma Técnica Peruana NTP 111.010 – Gas Natural Seco – Sistema de
tuberías para instalaciones industriales.
INDECOPI
Año 2003**
- **Página web del Ministerio de Energía y Minas : www.minem.gob.pe.**
- **Página web del Osinergmin : www.osinergmin.gob.pe.**
- **Texto del curso “Combustión y quemadores de gas natural “ – TECSUP.
Año 2009**
- **Texto del curso “Instalaciones industriales de gas natural” – Ing. Angel
Chávez**

ESTACION DE REGULACION DE PRESION Y MEDICION PRIMARIA DE GAS NATURAL



LEYENDA	
ITEM	DESCRIPCION
1	Manómetro Dial 4" rango 0-20 bar conexion 1/2 NPT
2	Válvula de esfera bridada RF ANSI B16.5 150 lbs ASTM A216 WCB API 607 6D DN2"
3	Válvula esfera roscada \varnothing 1/2"
4	Filtro separador tipo cartucho 5 micras GASCAT DN 2"
5	Válvula shutt off Gascat GIPS H \varnothing 2"
6	Regulador de presión bridado GASCAT Argos DN 2"
7	Manómetro Dial 4" Rango 0-4 bar conexion 1/2 NPT
8	Válvula de alivio tipo Junior GASCAT
9	Válvula mariposa de 3" en acero al carbono ASTM A-216 asiento RTFE, disco SS316 accionamiento con palanca montaje entre bridas tipo Wafer ANSI B 16.5 , CL 150
10	Medidor de gas type SM-RI-X-K-G160 con electrocorrector

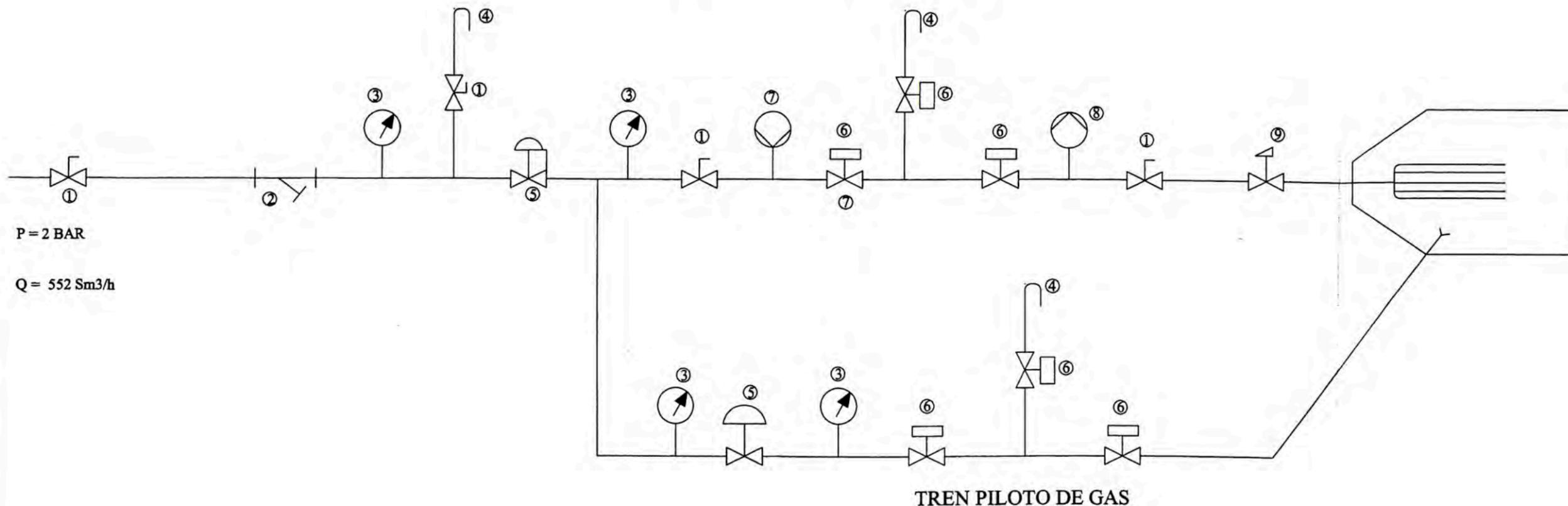
PRESION DE ENTRADA : 10 BAR
 PRESION DE SALIDA : 2 BAR
 FRUJO : 600 Sm³/h
 FLUIDO : Gas Natural

TITULO :
 ESTACION DE REGULACION DE PRESION Y
 MEDICION PRIMARIA ERPMP

PROYECTO :
 CONVERSION A GAS NATURAL DE UN
 CALDERO PIROTUBULAR DE 500 BHP

DISEÑO:	ESCALA:	FECHA:	LAMINA:
J.F.P.V	S/N	ENERO 06	PCGN - 001

TREN PRINCIPAL DE GAS



P = 2 BAR

Q = 552 Sm³/h

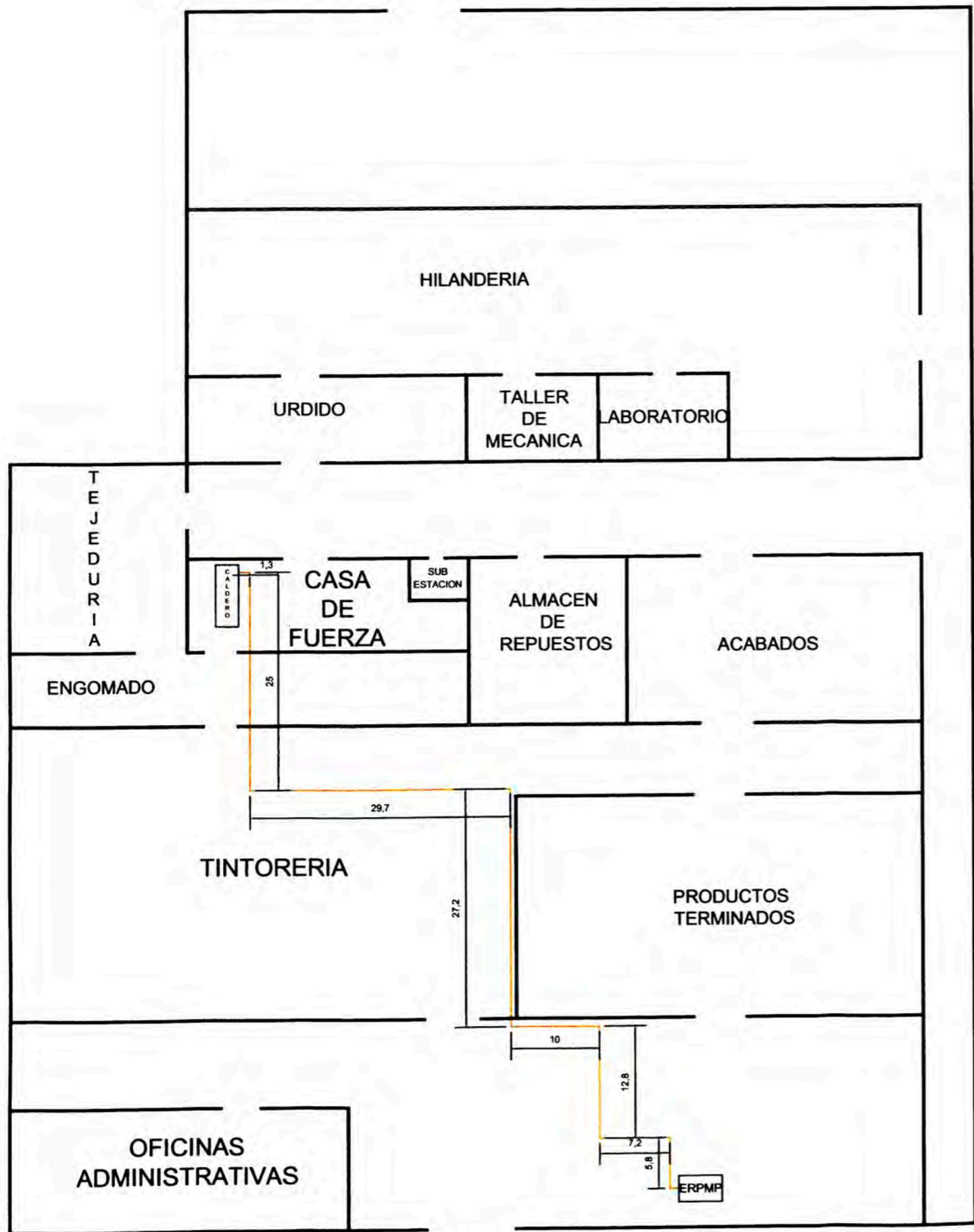
ITEM	DESCRIPCION
1	VALVULA DE BOLA
2	FILTRO TIPO Y
3	MANOMETRO
4	VENTEO
5	VALVULA REGULADORA DE PRESION
6	ELECTROVALVULA
7	SWITCH DE BAJA PRESION DE GAS
8	SWITCH DE ALTA PRESION DE GAS
9	VALVULA DE MARIPOSA MODULANTE

PRESION DE LOS REGULADORES	
REGULADOR DEL TREN PRINCIPAL DE GAS	29,5"H ₂ O
REGULADOR DEL TREN PILOTO DE GAS	18"H ₂ O

TIEMPOS DE SEGURIDAD EN SECUENCIA DE ARRANQUE Y PARADA	
TIEMPO DE SEGURIDAD EN SECUENCIA DE ARRANQUE (PREPURGA)	30 seg.
TIEMPO DE SEGURIDAD EN SECUENCIA DE PARADA (POSTPURGA)	15 seg.

TITULO: PLANO P&ID DEL TREN DE VALVULAS DEL QUEMADOR			
PROYECTO: CONVERSION A GAS NATURAL DE UN CALDERO PIROTUBULAR DE 500 BHP			
DISEÑO: J.F.P.V	ESCALA: S/N	FECHA: ENERO 06	LAMINA: PCGN - 002

AV.ARGENTINA



AV.MAQUINARIAS

TUBERIA AEREA

	TITULO		
	PLANO LAYOUT		
PROYECTO			
CONVERSION A GAS NATURAL DE UN CALDERO PIROTUBULAR DE 500 BHP			
DISEÑO:	ESCALA:	FECHA:	LAMINA:
J.F.P.V.	S/E	ENERO 06	PCGN- 003

CALCULO DE TUBERIA

RED DE DISTRIBUCION DE ERPMP A PUNTOS DE CONSUMO

PODER CALORIFICO - 0,0379MMBTU/m³
DENSIDAD DEL GAS NATURAL - 0,65

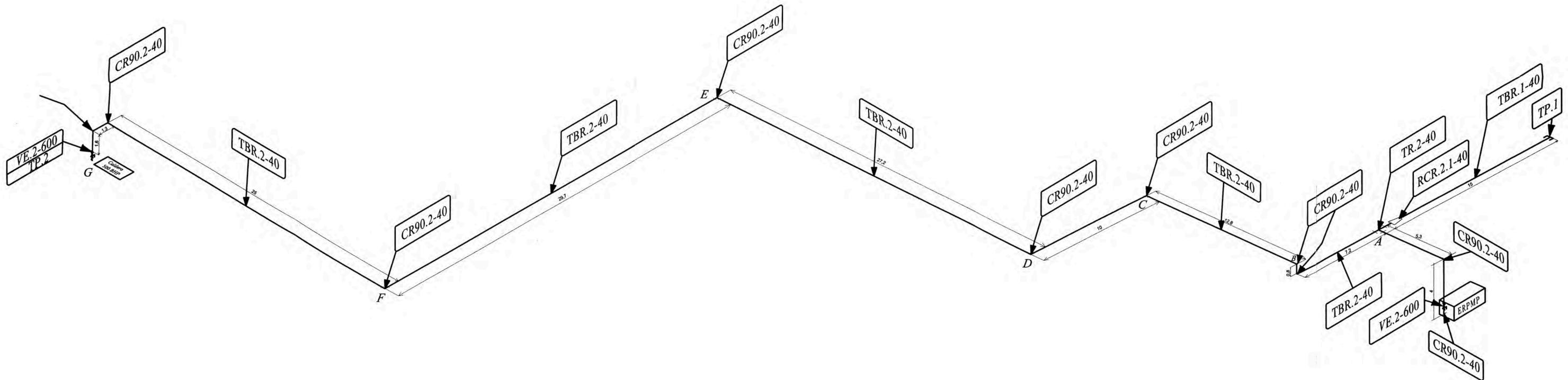
Tramo	Caudal (Sm ³ / h)	Longitud (m)		Presiones (barg)			Diámetro		Velocidad (m/s)
		Real	Cálculo	P ₁	P ₂	P ₁ - P ₂	Cálculo	Adoptado	
ERPMP - A	600	9,3	14,2	2	1,96	0,04	52,5 mm	2"	26.38
A - B	552	8	11,16	1,96	1,93	0,03	51,7 mm	2"	24.6
B - C	552	12,8	14,38	1,93	1,892	0,038	51,7 mm	2"	24.85
C - D	552	10	11,58	1,892	1,86	0,032	51,7 mm	2"	25.17
D - E	552	27,2	28,78	1,86	1,78	0,08	51,7 mm	2"	25.45
E - F	552	29,7	31,28	1,78	1,69	0,09	51,7 mm	2"	26.18
F - G	552	27,9	31,06	1,69	1,60	0,09	51,7 mm	2"	27

VERIFICACIONES

VERIF.CAIDA PRES. < 0.5*P1	VERIF. VELOC. < 30m/s	VERIF. Q/D <150
VERIFICA	VERIFICA	VERIFICA

LEYENDA

CODIGO	DESCRIPCION	NORMA
CR90.2-40	Codo acero sch 40 , Roscado de 90 x 2"	ASME B16.11
TP.2	Tapón acero sch 40,Roscado de 2"	ASME B16.11
TR.2 - 40	Tee acero sch 40,Roscado de 2"	ASME B16.11
TBR.2 - 40	Tubería ASTM A53 sch 40,Roscada de 2"	ASTM A53
VE.2 - 600	Válvula esférica de 2" x 600 WOG	API 6D
RCR.2.1 - 40	Reducción Concéntrica sch 40,Roscada de 2"x1"	ASME B16.4
TP.1	Tapón acero sch 40 roscado de 1"	ASME B16.11
US.2	Unión Simple ,Roscada de 2"	ASME B16.4



TITULO:			
PLANO ISOMETRICO			
PROYECTO:			
CONVERSION A GAS NATURAL DE UN CALDERO PIROTUBULAR DE 500 BHP			
DISEÑO:	ESCALA:	FECHA:	LAMINA Nº:
J.F.P.V.	S/E	ENERO 06	PCGN - 004

ANEXO 1

GLOSARIO DE TERMINOS TEXTILES

ANEXO 1

GLOSARIO DE TERMINOS TEXTILES

FIBRA Hebra elemental, de longitud definida, de origen químico o natural

FOULARD Máquina que está provista de rodillos los cuales ejercen una presión determinada sobre la tela para quitar la humedad que contiene luego que ha pasado por una tina de agua que la moja.

HILO Conjunto de fibras textiles, que convenientemente paralelizadas y torcidas forman un producto delgado y de longitud indefinida.

NAPA Conjunto de las fibras textiles que se agrupan, al salir de una máquina cardadora, para formar un conjunto continuo de espesor constante y de igual anchura que la máquina.

PACA Fardo o lío, especialmente de lana o de algodón.

PLEGADOR Cilindro en el cual se enrollan los hilos.

TORSION Característica técnica del hilo definida por el número de vueltas que posee por unidad de longitud. Estas vueltas conferidas al hilo durante su hilatura continua en las continuas de hilar, tienen por misión evitar que las fibras puedan resbalar una sobre otras: si el hilo tiene poca torsión, resulta elástico, flexible, esponjado y de poca resistencia a la rotura, ya que sus fibras tienen gran facilidad de deslizamiento; por el contrario, si el hilo tiene mucha torsión, las fibras están más apretadas entre sí, resultando un hilo de menor diámetro, duro y poco elástico.

TRAMA Conjunto de hilos que, cruzados y enlazados con los de la urdimbre forman una tela.

URDIMBRE Conjunto de hilos que se colocan en el telar longitudinal y paralelamente para formar un tejido.

ANEXO 2

TABLA PARA EL CALCULO DE LA LONGITUD EQUIVALENTE

- Resistencia de codos, accesorios, y válvulas para gas natural expresada en Longitud Equivalente de tubería recta en metros *

Nominal pipe size (Schedule 40)	Threaded fittings*				Valves (threaded, flanged, or welded)				90° welding elbows and smooth bends†			Welding tees		
	Elbows		Plug	Globe	Angle	Swing check	R/dg = 1-1/2	Forged	Mitre**	R/dg = 1-1/2	Forged	Mitre**	Forged	Mitre**
	45°	90°													Tees	90°
k factor =	0.42	0.9	1.8	0.9	10	5	25	0.36	1.35	1.8				
n = L/D reflow†† =	14	30	60	30	333	167	83	12	45	60				
														
	0.18	0.37	0.75	0.37	4.18	2.09	1.04	0.15	0.50	0.75	0.50	0.75	0.50	0.75
3/8	0.22	0.47	0.94	0.47	5.27	2.64	1.29	0.19	0.17	0.94	0.17	0.94	0.17	0.94
1/2	0.29	0.61	1.26	0.63	6.98	3.47	1.74	0.23	0.24	1.26	0.24	1.26	0.24	1.26
3/4	0.37	0.80	1.60	0.80	8.87	4.45	2.22	0.27	0.30	1.60	0.30	1.60	0.30	1.60
1	0.49	1.05	2.10	1.05	11.67	5.82	2.91	0.42	0.42	2.10	0.42	2.10	0.42	2.10
1-1/4	0.49	1.23	2.45	1.23	13.62	6.83	3.41	0.49	0.54	2.45	0.54	2.45	0.54	2.45
1-1/2	0.73	1.58	3.14	1.58	17.30	8.75	4.39	0.63	0.63	3.14	0.63	3.14	0.63	3.14
2	0.88	1.88	3.75	1.88	20.88	10.45	5.21	0.75	0.75	3.75	0.75	3.75	0.75	3.75
2-1/2	1.09	2.34	4.66	2.34	25.97	12.98	6.49	0.94	0.94	4.66	0.94	4.66	0.94	4.66
3	1.23	3.08	6.16	3.08	34.14	17.07	8.53	1.23	1.23	6.16	1.23	6.16	1.23	6.16
4	1.79	3.84	7.68	3.84	42.67	21.33	10.61	1.34	1.34	7.68	1.34	7.68	1.34	7.68

ANEXO 3 - FOTOS

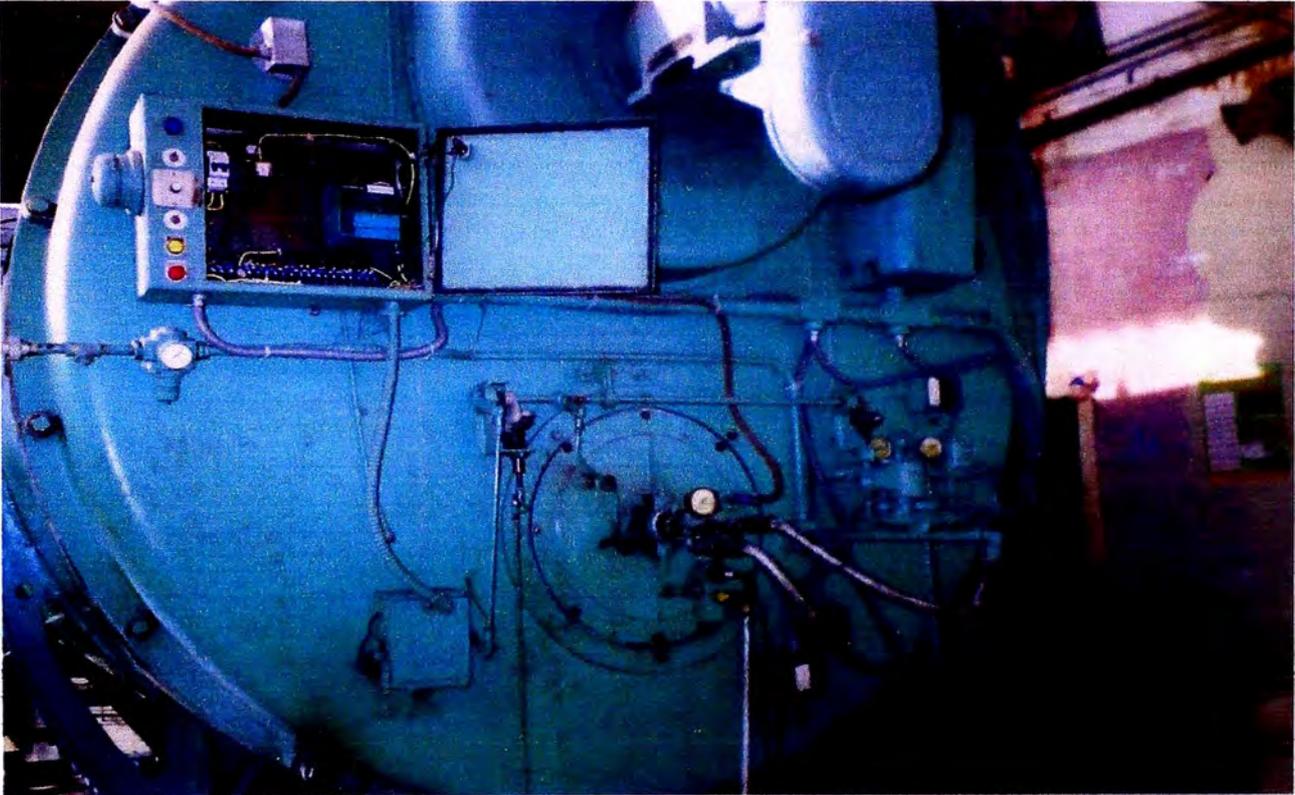
RED INTERNA DE TUBERIAS



TREN PRINCIPAL Y PILOTO DE GAS

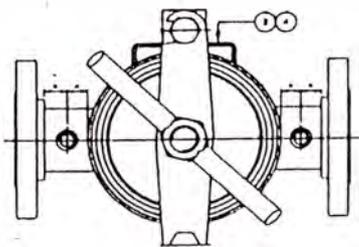
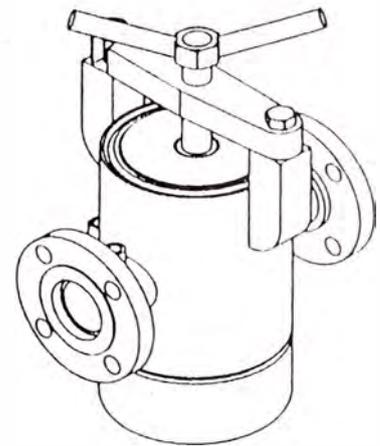
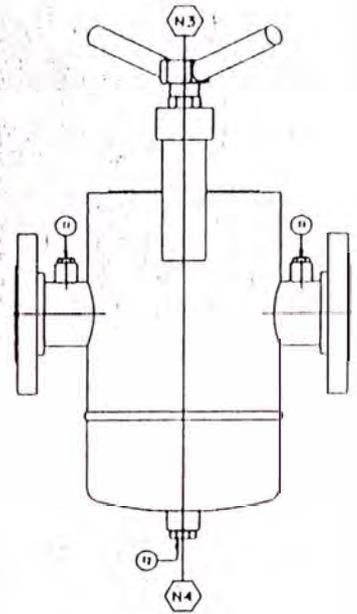
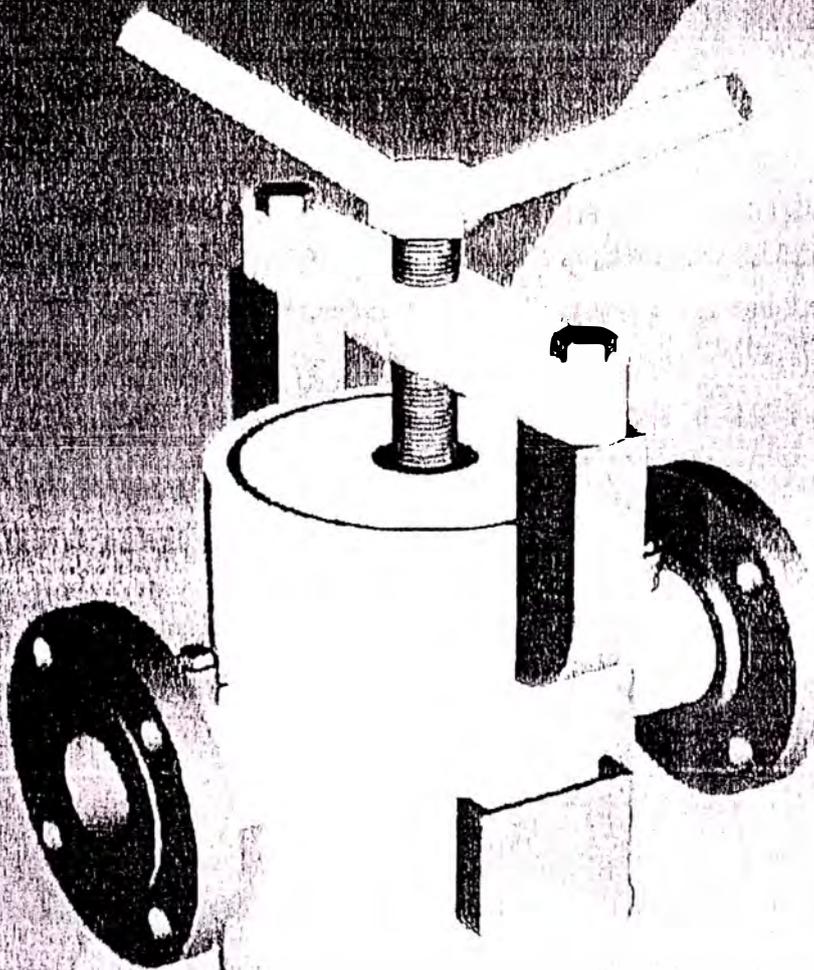


CALDERO CLEAVER BROOKS



ANEXO 4 - CATALOGOS

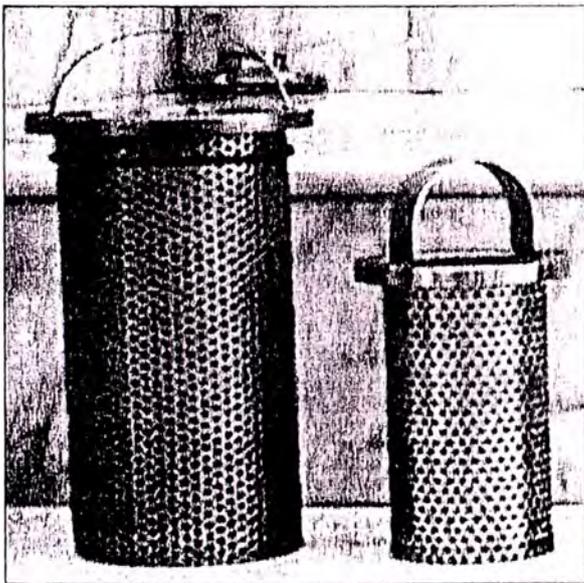
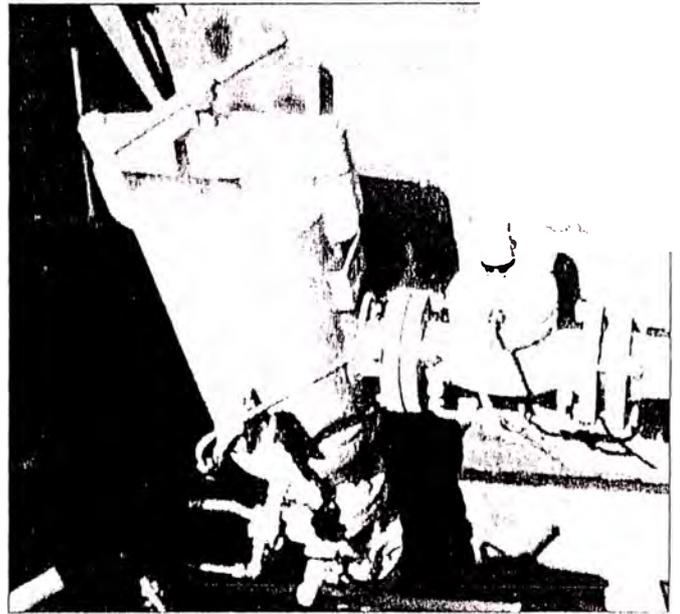
BASKET TYPE SEPARATOR FILTER



GASCAT

DESCRIPTION

The Gascat basket type filter separators are designed for the filtration of solids from gas flows, using a metallic mesh basket, whose design and construction offers maximum filtering area and large capacity to hold and accumulate the filtered solids, while the basket outflow assures that all contaminants are retained in the filter. Of normalized construction it is compact and employs a fast opening system, that allows for a simple and easy change of the filtering element with no need for special tools. Operating with great efficiency and at pressure drop, they offer excellent protection for regulators and pressure gauges, minimizing maintenances and extending equipment useful life.



FILTERING ELEMENTS

The Gascat basket type filter separators use standardized filtering elements, built in metallic stainless steel mesh and externally reinforced with a perforated stainless steel foil that provides excellent mechanical resistance to the basket. Optionally, the baskets can be built with the mesh in synthetic material.

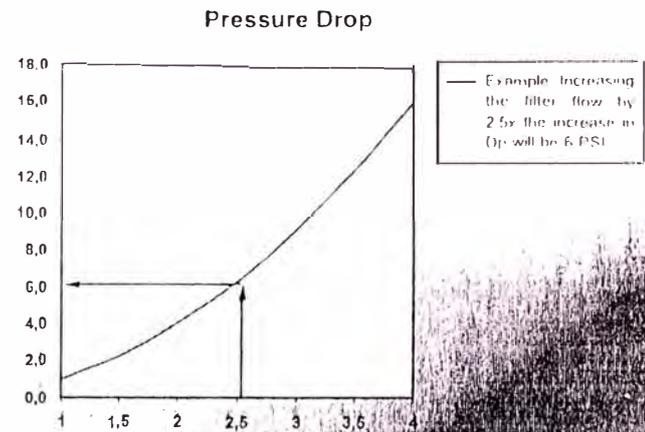
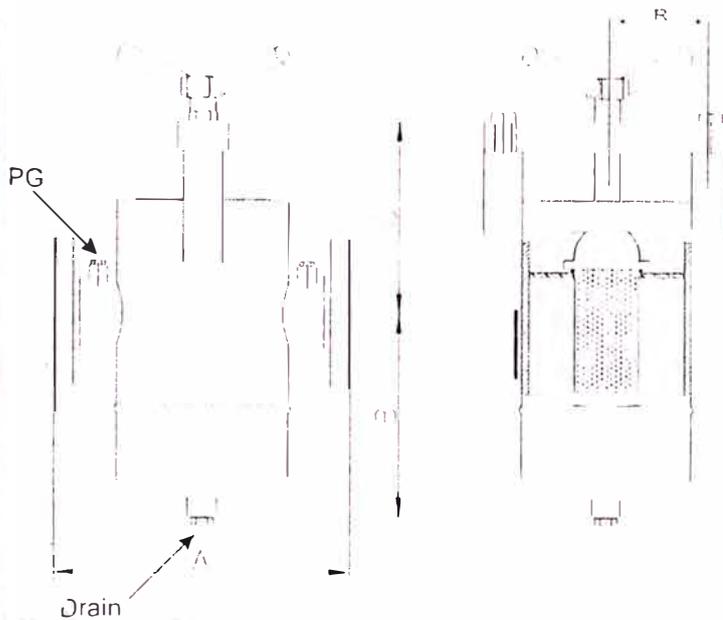
A great advantage of the baskets is that the same can be cleaned and reused.

Gascat basket type filtering elements have nominal 20...m filtration degree and can be supplied flat or pleated, according to specific applications.

BUILDING CHARACTERISTICS

- Designed and built according to ASME VIII Div I
- Building materials according to ASTM
- Pressure classes #150, #300 & #600 pounds (other values under request)
- Flanged connections ANSI B16.5 - 1" to 12" inches (other values under request)
- Quick open and close (QOC)
- Compact construction and simple operation
- Filters do not require special maintenance tools
- Filter operation from inside to outside of the element, therefore facilitating filtering action and element cleaning
- Baskets of standardized dimensions and immediate replacement
- 100% hydrostatically tested
- Standard mouthpieces orientation is in-line or 180° (other assemblies configurations under request)
- Painted and identified according to Gascat STD.

BASKET FILTER SEPARATOR



DIMENSIONS (mm)																		
DN	150 #					300#					600#					FITTING		ELEMENT AREA cm ²
	A	B	C	D	R	A	B	C	D	R	A	B	C	D	R	DRAIN	TP	
1	292	210	290	-	86	300	210	320	-	86	300	240	340	-	86	1/2	1/4	90
1.1/2	292	210	310	-	125	410	210	350	-	125	490	240	340	-	125	1/2	1/4	160
2	292	210	310	-	125	410	210	350	-	125	490	240	340	-	125	1/2	1/4	260
3	358	350	320	-	150	460	360	370	-	150	540	380	400	-	150	1	1/4	540
4	425	340	390	-	156	520	350	410	-	156	630	470	450	-	156	1	1/4	980
6	584	425	490	-	230	630	450	520	-	230	760	470	550	-	230	1	1/4	2060

ABOVE 6" UNDER REQUEST
APPROXIMATE DIMENSIONS - FOR EXECUTIVE PROJECTS PLEASE REQUEST CERTIFIED DRAWINGS

Notes

- 1- Drain and pressure gauge connections are tapped for NPT 3000 #, optionally can be flanged.
- 2- Flanges for 150# filters are SORF type, but for 300#, 600#, and 900# classes are WNRF.
- 3- Longitudinal and circumferential welds are PL inspected for the 150# class, for other classes they are Xray and/or US inspected.
- 4- Optionally additional tests can be performed.
- 5- GASCAT filters are supplied packed in cardboard boxes or in wood crates.
- 6- Optionally can also be supplied differential pressure gauge meters, differential pressure switch, pressure transmitters, level transmitters, level viewfinder, and automatic purge drains.



Head / Office Factory

Rodovia SP 73, nº 1141 - Bairro Pimenta

Indaiatuba - SP - CEP 13.347-390

Tel: (0 55 19) 3875-7511 - Fax: (0 55 19) 3894-5374

<http://www.gascata.com.br>

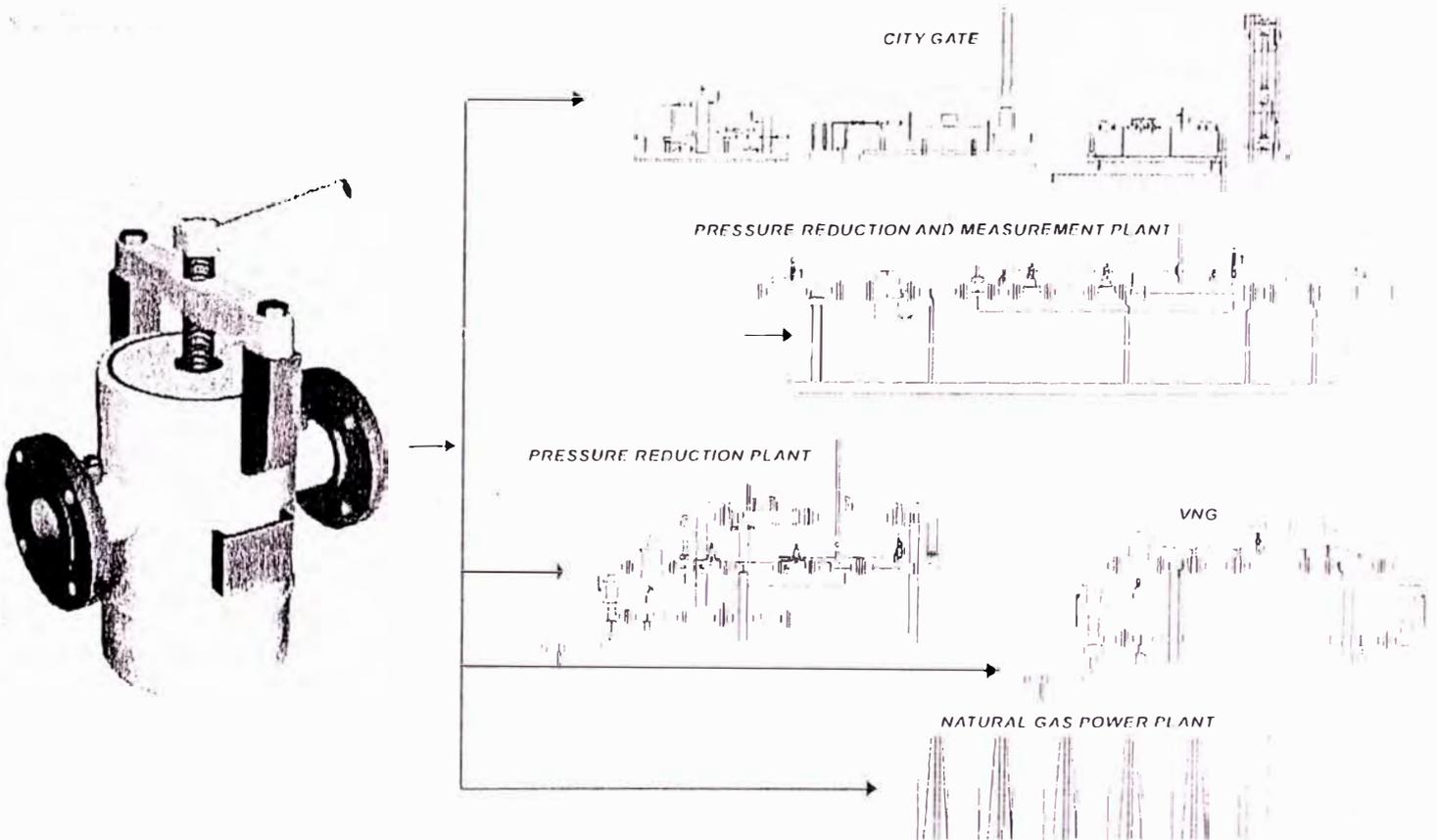
e-mail: vendas@gascata.com.br

BASKET FILTER SEPARATOR

TYPICAL APPLICATIONS

- Protection of Compressors
- Protection of Gas Turbines - To avoid corrosion, erosion, impact, and adhesion of solids to the equipment internal components
- Treatment of gas for instrumentation
- Pressure Reduction Stations (PRS) - To protect the station, measurement and control equipment, besides assuring gas quality to the end user
- In Drying Columns and Molecular Sieves - To protect desiccants and sieve beds from solid contaminants generated in compressors
- Efficient in removing black powder (oxides and sulfides) in piping (Particles > 20 μ m).

APPLICATIONS

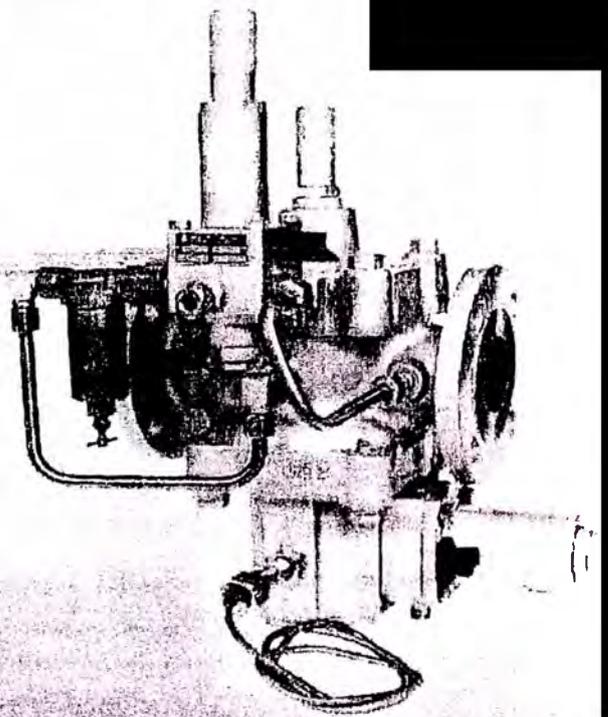
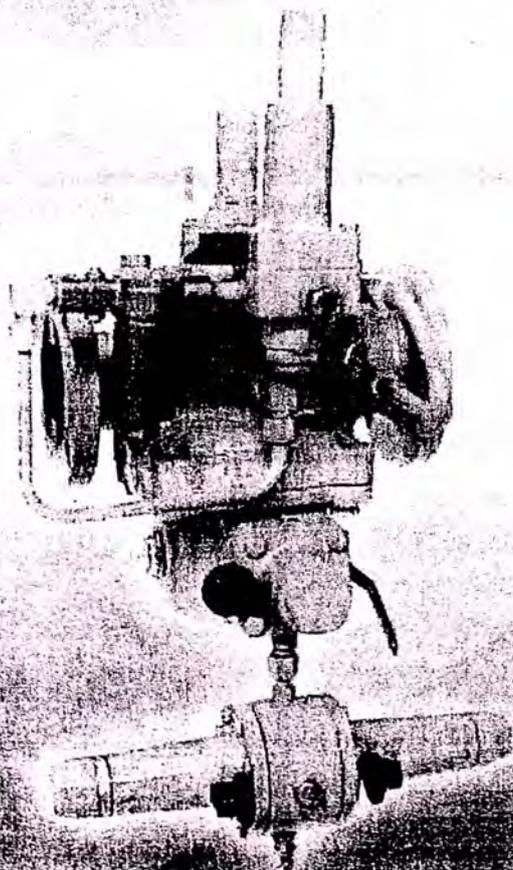
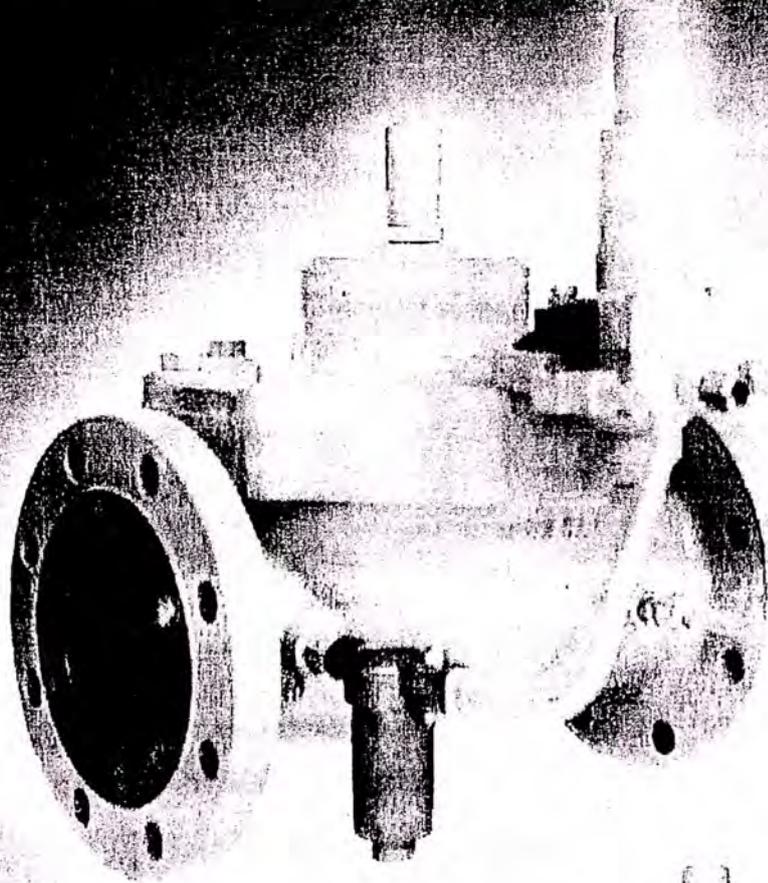


MAIN ADVANTAGES OF GASCAT FILTERS

- Do not require special tools usage for maintenance
- Quick open and close system for easy access to filter inside
- Exclusively designed and manufactured it for use with natural gas
- Equipment entirely built at Gascat premises, under ISO 9000 certification
- Standardized dimensions facilitating substitution of already installed filters
- Filter elements in stock with of-the-shelf replacement
- Filtering element in 304 and 316 stainless steel mesh
- As an option, baskets can be supplied for high pressure drop
- Gascat has 22 years of experience in manufacturing and installation of equipment for use in the natural gas industry
- Technical support throughout Brazil by a staff of engineers and expert technicians
- Availability of a Training Center for training and qualifying our products' users

Argos

Pilot Operated
Pressure Regulator



GASCAP
Industria e Comercio Ltda

Introduction

The GIPD/GDPS Series of Automatic Shut-off Valves are safety devices designed to stop the gas flow when the pressure downstream reaches values larger than and/or smaller than preset trigger values.

The valves remain open while the installation pressure is within the normal operation limits.

After triggered actuated (either due to overpressure or underpressure) the valves remain closed therefore warranting the installation integrity.

The valves can only be reset (re-opened) after the installation operation pressure returns to the normal range

Application

The GIPD/GDPS Series of Automatic Shut-off Valves are applied as the main safety device for transmission, distribution and measurement nat gas or LPG gas systems protection, and for non-corrosive gases systems in general.

They are also applicable in pressure regulating systems of industrial and commercial installations.

Operation Principle

The Automatic Shut-off Valves are actuated (shut-off) by the pressure increase and/or fall at the lower actuator chamber.

An impulse tubing carries the system operation pressure to the actuator lower chamber.

An actuator regulating screw allows to adjust the valve setpoint.

Valves actuated by pressure increase (GIPS): When the system operating pressure reaches the setpoint value, a forces unbalance occurs at the actuator, causing the displacement of the diaphragm (or piston) that presses the actuator regulating spring, and consequently uncouples the system that keeps the shutter in the open position.

Therefore, the shutter displaces against the valve seat cutting the gas flow.

The system operating pressure itself works to close the disk and to keep the disk and seat assembly tight closed

To reset (open) the disk it is necessary to open the by-pass valve, which will equalize pressures upstream and downstream of the disk.

Valves actuated by pressure decrease (GDPS): When the system operating pressure reaches the setpoint value, a forces unbalance occurs at the actuator, because the regulation spring force acting on the diaphragm (or piston) is larger than the force applied by the system pressure on the diaphragm (or piston) the same is displaced, and consequently uncouples the system that keeps the disk in the open position.

Therefore, the disk displaces against the valve seat cutting the gas flow.

The system operating pressure itself works to close the disk and to keep the disk and seat assembly closed

To reset (open) the disk it is necessary to open the by-pass valve, which will equalize pressures upstream and downstream of the disk.

Technical Characteristics

Component	Material
Body	Carbon Steel - ASTM A 216 Gr. WCB Nodular Iron - ASTM A 536 Gr. 60.45.12
Shaft	Stainless Steel
Shutter	Brass/Stainless Steel/Polyurethan
Seat	Brass/Stainless Steel
Elastometers	Buna N / Viton / EPDM

Nominal Diameter	Fitting
1"	NPT Thread / ANSI B2.1 Flanges according to ANSI B.16.5, Classes 150"RF, 300"RF and 600"RF, or RTJ
2"	
3"	
4"	Flanges according to ANSI B.16.5. Classes 150"RF, 300"RF and 600"RF, or RTJ
6"	
8"	

Maximum Operating Pressures			
MATERIAL	CL. 150 [#]	CL. 300 [#]	CL. 600 [#]
Carbon Steel	19,7 bar	51 bar	102 bar
Nodular Iron	18 bar	45 bar	-----

Note: from 0° to 38°C (according to ANSI B16.5A-1998)

Model	Function	Operation Range
GIPS-L GDPS-L	Overpressure Blocking Underpressure Blocking	Low Pressure (20 mbar to 260 mbar)
GIPS-H GDPS-H	Overpressure Blocking Underpressure Blocking	Medium Pressure (0,2 bar to 16 bar)
GIPS-PH GDPS-PH	Overpressure Blocking Underpressure Blocking	High Pressure (12,2 bar to 56 bar)
GIDPS-H GIDPS-PH	Overpressure and Underpressure Blocking Overpressure and Underpressure Blocking	0,2 bar to 16 bar 12,2 bar to 56 bar

Pressure Range	Precision (DIN 3381)	%
	0,02 – 0,16 bar	AG 10 / 10%
0,15 – 0,5 bar	AG 5 / 5%	
0,3 – 16 bar	AG 2,5 / 2,5%	
15 – 55 bar	AG 1 / 1%	

Note: Operation Time < 2 seconds

GIPS/GDPS

Valves' Regulating Spring Ranges (GIPS and GDPS)

Code	Color	Regulation Range	Application	ND
01.49.23	Green	20 a 50 mbar	GIPS-L e GDPS-L	1" 2" 3" e 4"
01.49.25	Black	45 a 160 mbar	GIPS-L e GDPS-L	
01.49.49	White	150 a 260 mbar	GIPS-L e GDPS-L	
01.49.11	Blue	0,2 a 0,5 bar	GIPS-H e GDPS-H	
01.49.10	Green	0,3 a 1,5 bar	GIPS-H e GDPS H	
01.49.09	Brown	1,0 a 4,0 bar	GDPS-H	
01.49.09	Brown	1,0 a 5,0 bar	GIPS-H	
01.49.08	Black	4,2 a 10,2 bar	GIPS-H e GDPS-H	
01.49.12	Yellow	2,0 a 16,0 bar	GIPS-H e GDPS-H	
01.49.08	Black	12,2 a 20,4 bar	GIPS-PH e GDPS-PH	
01.49.12	Yellow	18,4 a 31,7 bar	GIPS-PH e GDPS-PH	
01.49.07	Silver	30,6 a 56 bar	GIPS-PH e GDPS-PH	
01.49.10	Green	0,3 a 1,3 bar	GIPS-H		6" e 8"
01.49.09	Brown	0,6 a 3,6 bar	GIPS-H	
01.49.08	Black	0,8 a 7,7 bar	GIPS-H e GIPS-PH	
01.49.12	Yellow	1,5 a 16,5 bar	GIPS-H e GIPS-PH	
01.49.07	Silver	2,4 a 16,5 bar	GIPS-H e GIPS-PH	
01.49.10	Green	0,8 a 1,8 bar	GDPS-H	
01.49.09	Brown	1,0 a 3,6 bar	GDPS-H	
01.49.08	Black	1,5 a 7,0 bar	GDPS-H e GDPS-PH	
01.49.12	Yellow	1,5 a 12,0 bar	GDPS-H e GDPS-PH	
01.49.07	Silver	2,4 a 16,5 bar	GDPS-H e GDPS-PH	

GIDPS Valves' Regulating Spring Ranges (with Hi-Lo Pilot)

Spring Range for Pressure Elevation			
CODE	COLOR	H MODEL	PH MODEL
01.49.11	Blue	0,2 - 0,4 bar	---
01.49.10	Green	0,3 - 1,5 bar	---
01.49.09	Brown	1,0 - 5,5 bar	---
01.49.08	Black	4,2 - 9,2 bar	12,2 - 20,4 bar
01.49.12	Yellow	8,0 - 16,0 bar	18,4 - 31,7 bar
01.49.07	Silver	---	30,6 - 56 bar

Spring Range for Pressure Reduction			
CODE	COLOR	H MODEL	PH MODEL
01.49.10	Green	0,2 - 1,5 bar	---
01.49.09	Brown	1,0 - 5,0 bar	---
01.49.08	Black	4,2 - 9,2 bar	12 - 19 bar
01.49.12	Yellow	8,0 - 15,0 bar	18 - 31 bar
01.49.07	Silver	---	30,6 - 55 bar

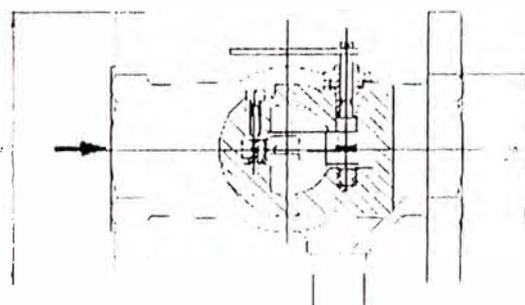
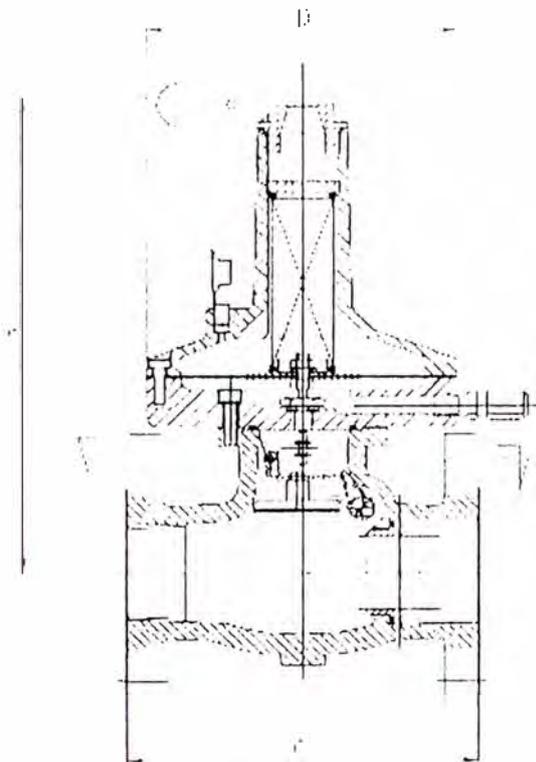
Note: the GIDPS valve model, beside the Hi-Lo pilots springs, has a spring used only for loading assembled at its upper side, which changes according to the desired operating conditions.

Loading Springs			
NOMINAL DIAMETER	CODE	COLOR	MAXIMUM INPUT (bar)
1" - 4"	01.49.43	Chromed	10
	01.50.97	Black/Orange	48
	01.49.11	Blue	90
6" - 8"	01.50.97	Black/Orange	20
	01.50.21	White	50
	01.51.09	Black	90

Dimensions (mm) and Weights (Kg)

	A			B			C				D			E			Weights (kg)		
	150'	300'	600'	150'	300'	600'	150'	300'	600' RF	600' RTJ	150'	300'	600'	150'	300'	600'	150'	300'	600'
GIPS-L/GDPS-L	1"	108	124		277	283	163		182		167	---	---	5.6	7.4	9			
	2"	152	165				190		211	214				10	12	15			
	3"	190	210		333	335	283		25	27				34					
	4"	229	254	273	338	345	304	317	320	41				45	59				
GIPS-H/GDPS-H	1"	108	124		277	283	163		182		92	---	---	5.6	7.4	9			
	2"	152	165				190		211	214				10	12	15			
	3"	190	210		333	335	283		25	27				34					
	4"	229	254	273	338	345	304	317	320	41				45	59				
	6"	279	318	356	395	395	470	505	508	107				125	169				
	8"	343	381	419	461	486	543	568	610	613				440	157	184	248		
GIPS-PH/GDPS-PH	1"	108	124		277	283	163		182		92	---	---	5.6	7.4	9			
	2"	152	165				190		211	214				10	12	15			
	3"	190	210		333	335	283		25	27				34					
	4"	229	254	273	338	345	304	317	320	41				45	59				
	6"	279	318	356	395	395	470	505	508	107				125	169				
	8"	343	381	419	461	486	543	568	610	613				440	157	184	248		
GIDPS-HiLo	1"	108	124		194	200	163		182		92	207	207	8.6	10.4	12			
	2"	152	165			206	190	211	214	13				15	18				
	3"	190	210		237	254	283		283					28	30	37			
	4"	229	254	273	244	281	304	317	320	44				48	62				
	6"	279	318	356	342		470	505	508	356				110	128	172			
	8"	343	381	419	461	486	543	568	610	613				440	157	184	248		

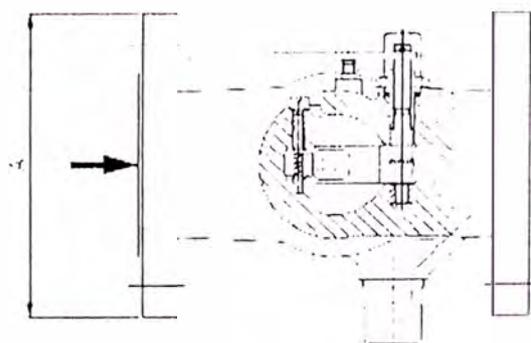
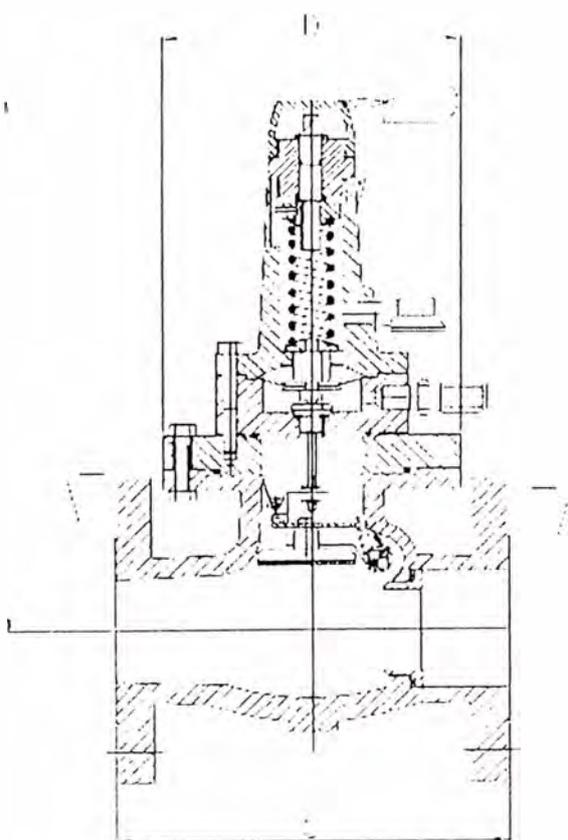
Dimensional Drawing GIPS-L/GDPS-L



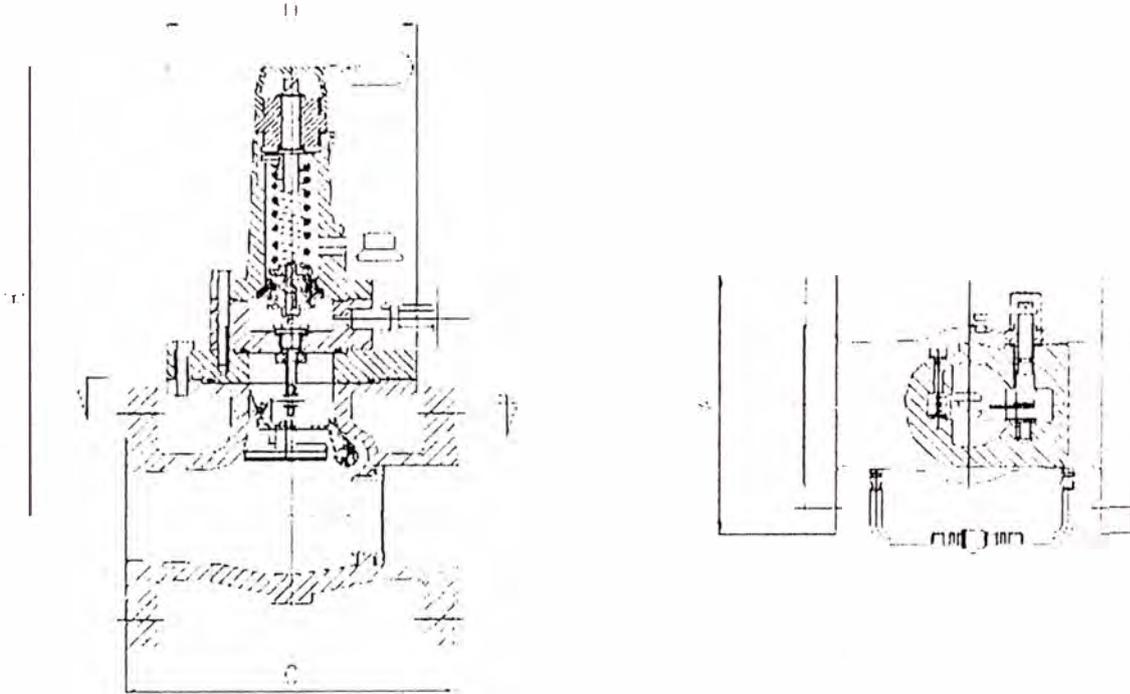
NOTA:

- DIMENSÃO VÁLIDA PARA VALVULA DE Ø 1" BORNADA 15 MM

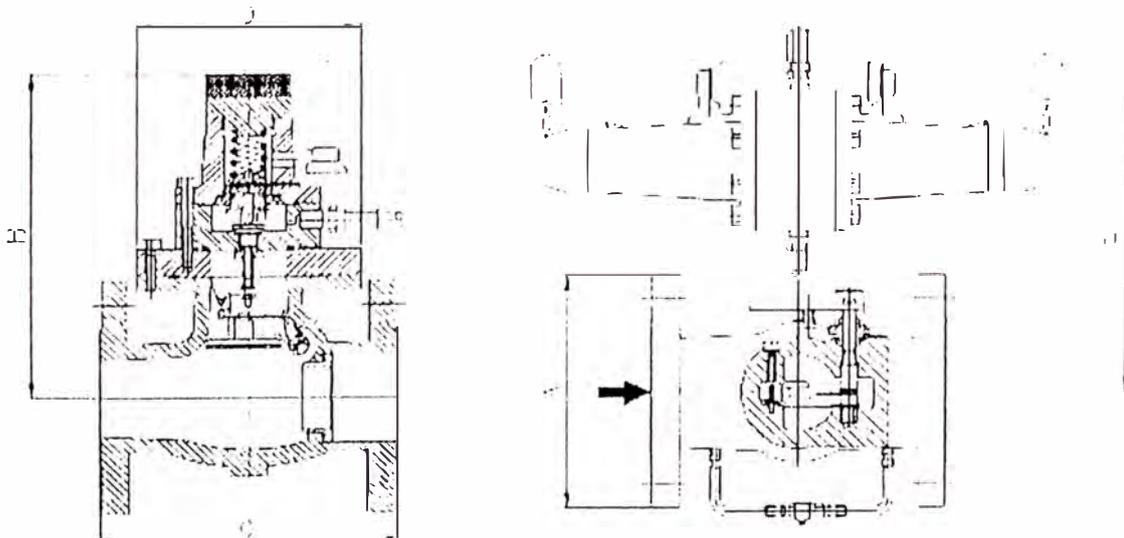
GIPS-H/GDPS-H



GIPS-PH/GDPS-PH



GIDPS-HILO



Valves' Head Loss Calculation (P)

$$p = \frac{Q^2}{K^2} \times \frac{1}{P_2}$$

Where:

$\Delta p = p_1 - p_2$ (bar)

Q = Gas Flow (Sm³/hr)

P₁ = Valve upstream pressure (bar abs)

P₂ = Valve downstream pressure (bar abs)

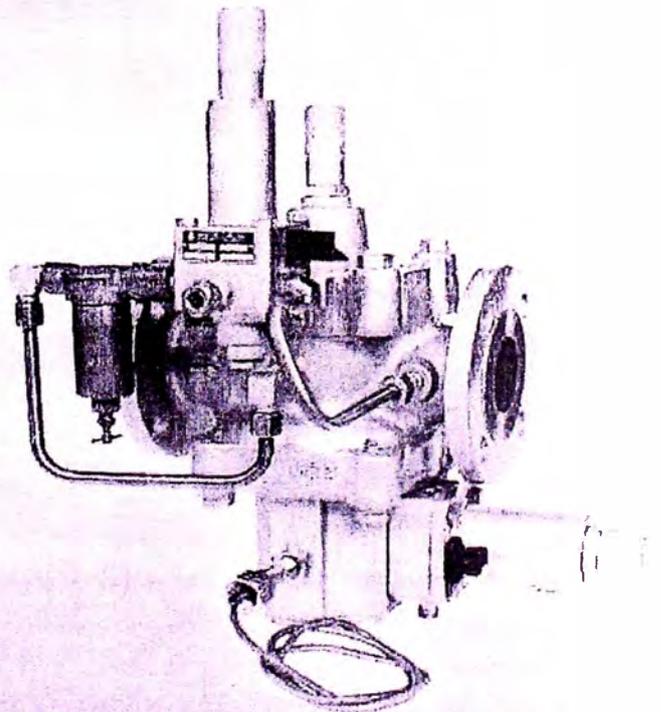
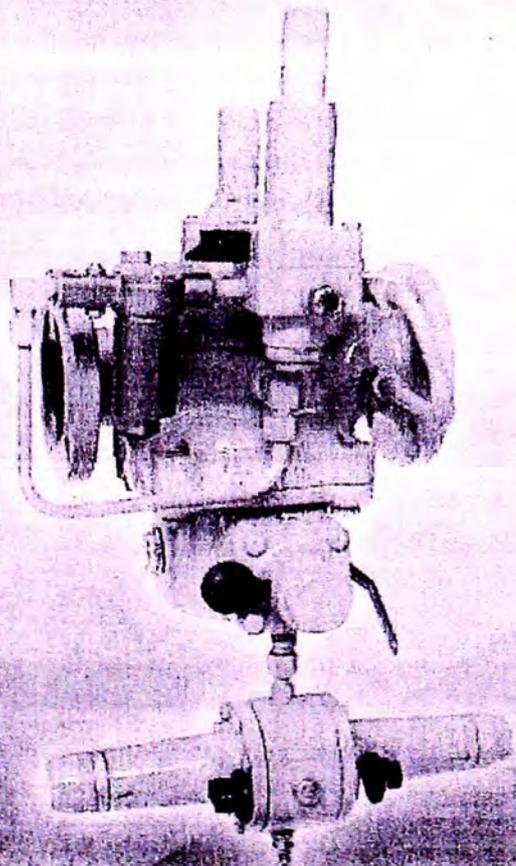
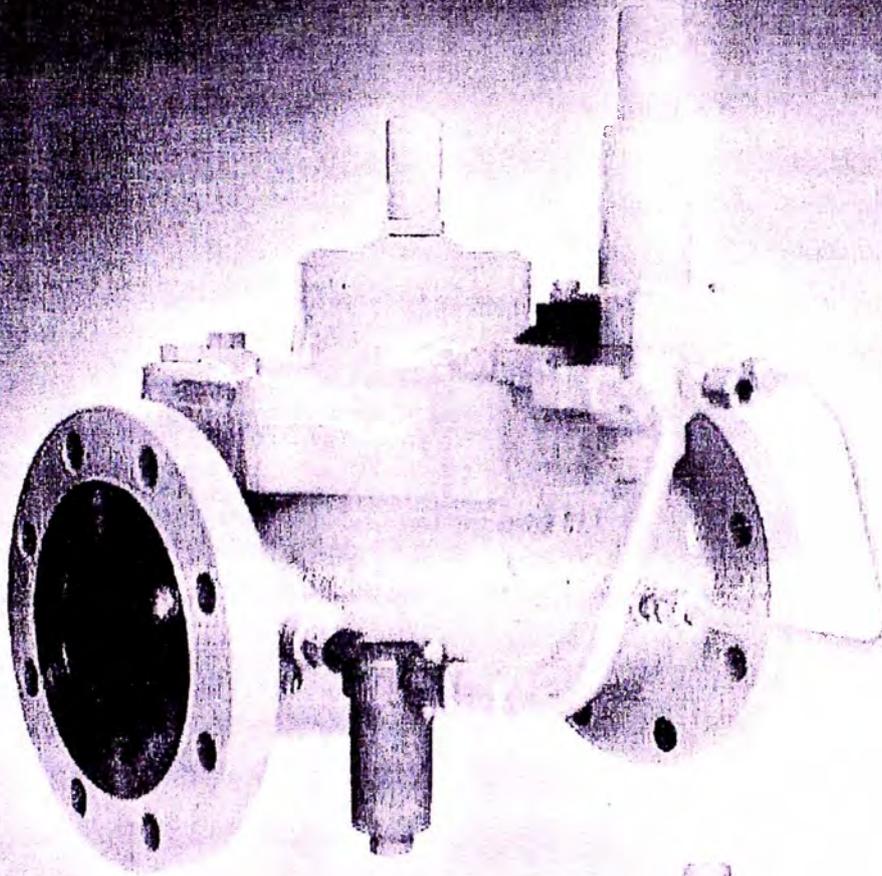
K - Valve flow coefficient

(see table)

DN	Coefficiente de Vazão (K)
1"	451
2"	3050
3"	9640
4"	18450
6"	45130
8"	71800

Argos

Pilot Operated Pressure Regulator



GASCAT
Indústria e Comércio Ltda.

Introduction

ARGOS is a pilot operated pressure regulator developed by GASCAT Engineering Dpt. for use with nat gas and for non-corrosive gases general applications.

Its main application is in natural gas transmission and/or distribution systems. It is also applied in several others industrial processes.

It's "top entry" construction allows for maintenance and/or cleaning operations without removing the equipment from the installation.

As an option, the equipment is also available with a built-in shut-off valve, incorporated in same body.

For overpressure protection associate ARGOS + IPS-H/PH.

For simultaneous protection of overpressure and underpressure: ARGOS + Hi-Lo Pilot.

The ARGOS pilot operated pressure regulator outstanding characteristics are:

- ✓ High accuracy
- ✓ High rangeability
- ✓ Large flows
- ✓ Low noise level
- ✓ Perfect tightness
- ✓ Easy, fast and inexpensive maintenance
- ✓ Low in the aquisition

Operation Principle

ARGOS regulator works on the pressure fall principle at the pilot chamber (the upper diaphragm chamber.) If there is no gas flow consumption, the regulator remains closed, because the pressure in the upper diaphragm chamber (supplied by the pilot), added to the regulator closing spring force, are higher than the pressure acting on the diaphragm.

If there is a gas flow consumption, the pressure at the pilot sensor intake will start to drop, causing the pilot to open and, therefore, reducing the pressure at the diaphragm upper chamber.

Thus, the pressure on the Argos diaphragm will be larger than in its upper chamber, allowing the regulator to open and consequently the gas to pass.

The desired control pressure is adjusted at the adjusting screw of the pilot sensor.

The regulator response speed and sensibility can be adjusted by the restriction block that controls the gas flow that feeds the pilot sensor.

Technical Characteristics

	Component	Material
Regulator	Body/Cover	Carbon Steel - ASTM A 216 Gr. WCB Ductile Iron - ASTM A 536 Gr. 60.45.12
	Diaphragm	Buna-N/Viton
	Cage	Stainless Steel
Shut-off	Disk	Brass/Stainless Steel
	Seat	Brass/Stainless Steel
	Elastometers	* Buna-N/Viton

Note: * Other materials under request

Maximum Pressures		
CL. 150 #	CL. 300 #	CL. 600 #
19,7 BAR	51 BAR	102 BAR

Lock-up group (DIN 3380)	SG 10
Regulation Group (DIN 3380)	RG 2.5
Tightness (ANSI.B 16.104)	Total

NOTES

- 1) For ductile iron body the maximum operating pressure is 18 bar.
- 2) Max. regulation deviation is 1%
- 3) Max. lock-up deviation is 5%
- 4) Flanges according to ANSI B.16.5, Classes 150# RF, 300# RF and 600# RF, or RTJ
- 5) Maximum operating pressures from 0°C to 38°C (according to ANSI B.16.5.a-1998)

Regulator Spring Range (pilots G-30 and G-32)

Code	Color	Regulation Range	Application
01.49.61	Silver	0,7 a 2,8 bar	G-30
01.49.65	Green	1,7 a 6,3 bar	G-30
01.49.64	Red	4,2 a 14 bar	G-30
01.49.33	Brown	7,0 a 18,3 bar 14,0 a 36,6 bar	G-30 G-32
01.49.59	Black	14,0 a 32 bar 28 a 63,5 bar	G-30 G-32

Spring Range for Built-in Shut-off Valves (IPS-H/PH)

Code	Color	Regulation Range	Application
01.49.10	Green	0,3 a 1,5 bar	IPS-H
01.49.09	Brown	1,0 a 5,0 bar	IPS-H
01.49.08	Black	4,2 a 10,2 bar	IPS-H
01.49.12	Yellow	2,0 a 16,0 bar	IPS-H
01.49.08	Black	12,2 a 20,4 bar	IPS-PH
01.49.12	Yellow	18,4 a 31,7 bar	IPS-PH
01.49.07	Silver	30,6 a 52 bar	IPS-PH

Spring Range with HI-LO Pilot

The high operation range the Hi-Lo Pilot can attend conditions ranging from medium to high pressures by simply selecting the correct spring for the desired operating conditions

Spring Range for Pressure Increase

Code	Color	Mod. H	Mod. PH
01.49.10	Green	0,3 – 1,5 bar	---
01.49.09	Brown	1,0 – 5,5 bar	---
01.49.08	Black	4,2 – 9,2 bar	12,2 – 20,4 bar
01.49.12	Yellow	8,0 – 16,0 bar	18,4 – 31,7 bar
01.49.07	Silver	---	30,6 – 56 bar

Spring Range for Pressure Decrease

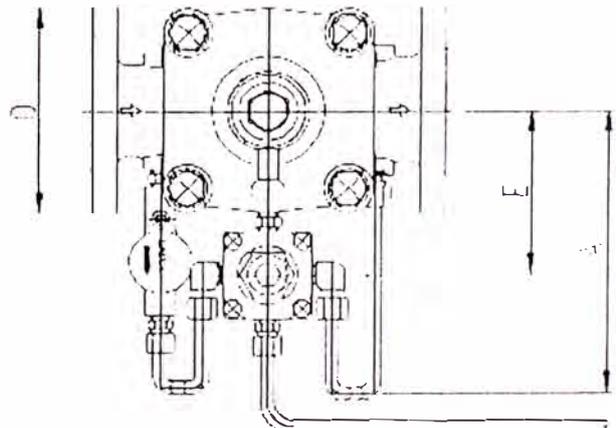
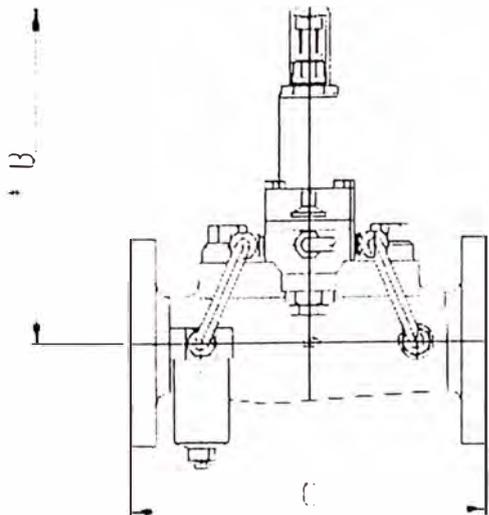
Code	Color	Mod. H	Mod. PH
01.49.10	Green	0,2 – 1,5 bar	---
01.49.09	Brown	1,0 – 5,0 bar	---
01.49.08	Black	4,2 – 9,2 bar	12 – 19 bar
01.49.12	Yellow	8,0 – 15,0 bar	18 – 31 bar
01.49.07	Silver	---	30,6 – 55 bar

Dimensions Table

		Dimensions (mm) and Weights																				
		A			B			C			D			E			F			Weight (kg)		
		150'	300'	600'	150'	300'	600'	150'	300'	600'	150'	300'	600'	150'	300'	600'	150'	300'	600'	150'	300'	600'
Argos without shut-off	1"	179	179	179	230	230	239	184	197	209	108	124	124	109	109	109	-	-	-	11	11,5	12,6
	2"	202	202	202	246	246	262	254	267	286	152	165	165	132	132	132	-	-	-	15,4	16	21
	3"	225	225	225	277	277	290	298	317	336	190	210	210	155	155	155	-	-	-	28	29	43
	4"	253	253	253	304	304	318	353	368	394	229	254	273	183	183	183	-	-	-	42	44	67
	6"	219	219	219	475	475	511	451	473	508	279	318	356	149	149	149	-	-	-	91	109	180
Argos with shut-off	1"	218	218	-	230	230	-	184	197	-	108	124	-	109	109	-	230	230	-	15	15,5	-
	2"	218	218	-	246	246	-	254	267	-	152	165	-	132	132	-	270	270	-	19	19,5	-
	3"	268	268	-	277	277	-	298	317	-	190	210	-	155	155	-	300	300	-	32	33	-
Argos with Piloto Hi-Lo	1"	179	179	-	230	230	-	184	197	-	108	124	-	109	109	-	342	342	-	18	18,5	-
	2"	202	202	-	246	246	-	254	267	-	152	165	-	132	132	-	382	382	-	22	22,5	-
	3"	225	225	-	277	277	-	298	317	-	190	210	-	155	155	-	412	412	-	35	38	-

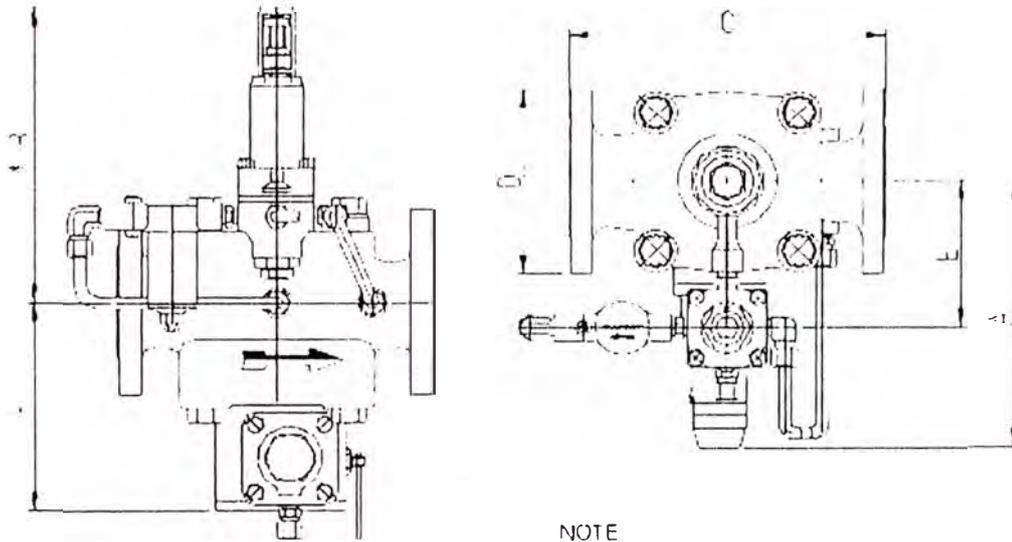
Dimensions

Argos without Shut-off



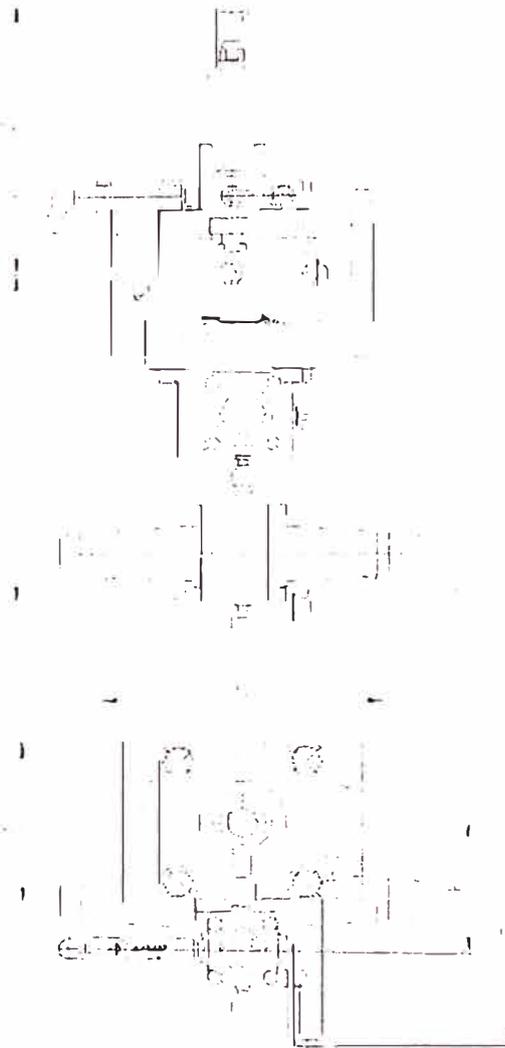
NOTE
FOR G32 PILOT ADD 5mm

Argos with Shut-off



NOTE
*FOR G32 PILOT ADD 5mm

Argos with Shut-off and Piloto Hi-Lo

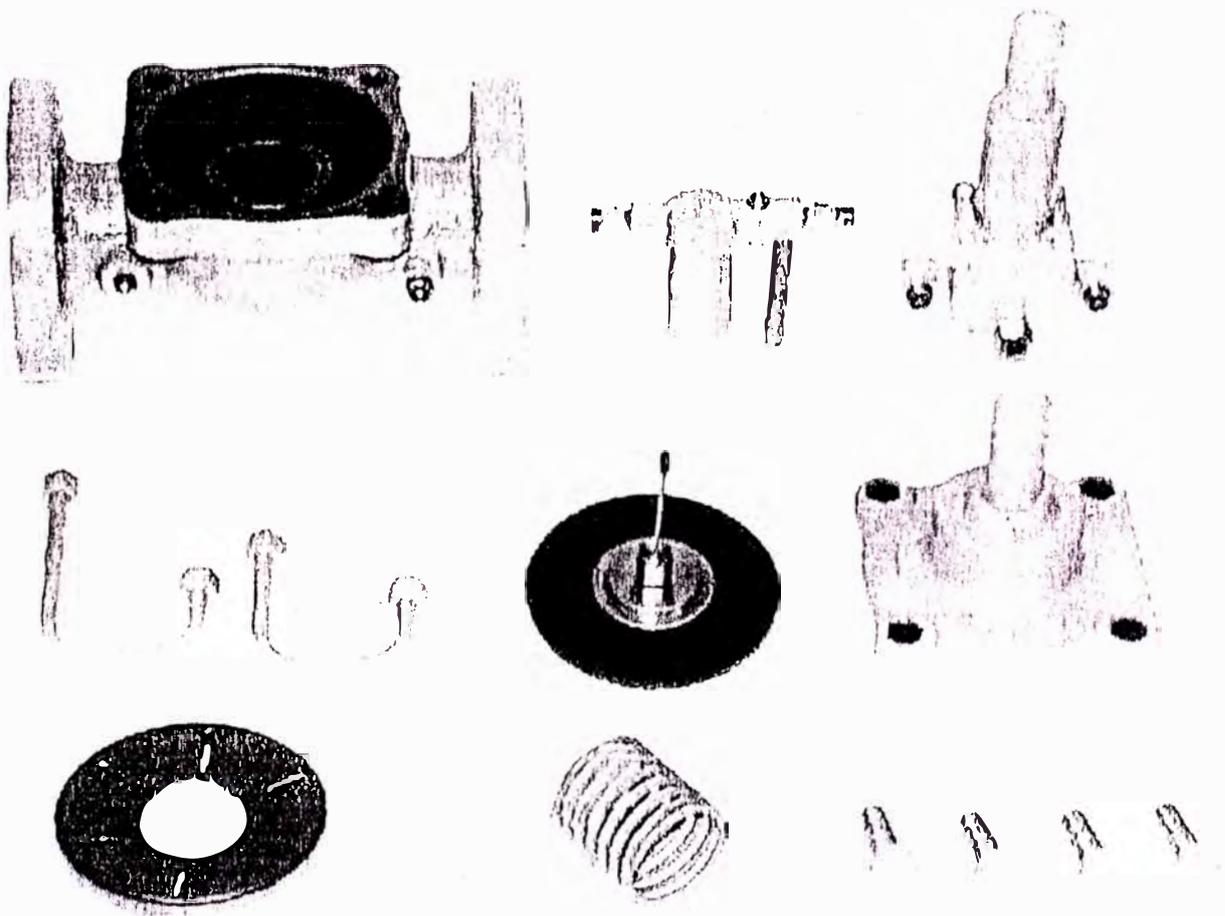


NOTE
*FOR G32 PILOT ADD 5mm

Low Cost and Easy Maintenance

Due to its Top Entry construction and to the small number of parts (the main valve basically comprises body, cover, seat, diaphragm, closing spring and bolts) ARGOS is a one man maintenance equipment, for any kind of cleaning and/or maintenance service.

Any component of the main valve can be changed without removing the equipment from the installation.

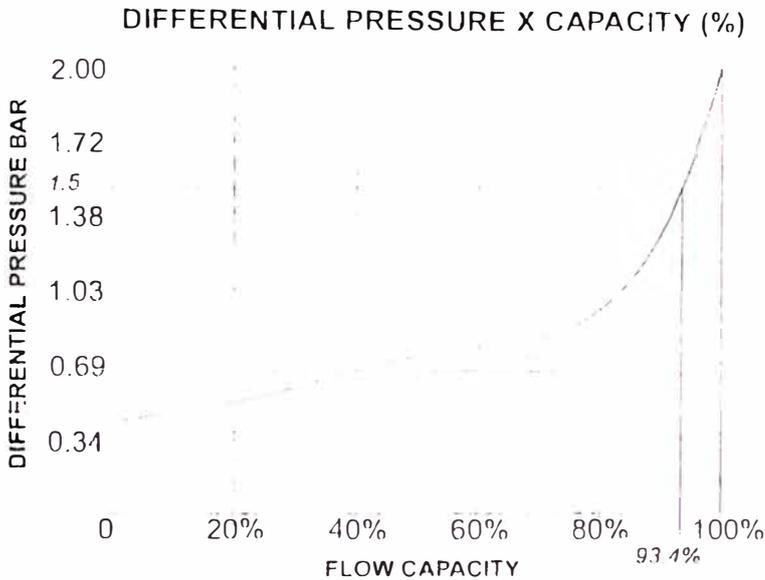


Flow Coefficient

Ø	CV	Kg	Restriction %
1"	14,5	450	25,50,75,100
2"	54,8	1700	25,50,75,100
3"	106,4	3300	25,50,75,100
4"	185,7	5760	25,50,75,100
6"	403	12500	25,50,75,100

NOTES:

Due to the design characteristics of this regulator type, for applications where $P_1 - P_2 < 2$ bar the flow capacity is smaller than the ones given in the flow coefficients table, according to the picture below:



Example:
When the minimum differential pressure is 1.5 bar, only 93.4% of the capacity obtained from the calculation can be considered.

Dimensioning Formulas

<p>Sub-Critic Flow</p> <p>$P_2 / P_1 \geq 0,53$</p> <p>$Q = KG \cdot \sqrt{P_2 \cdot (P_1 - P_2)}$</p>	<p>Critic Flow</p> <p>$P_2 / P_1 < 0,53$</p> <p>$Q = (KG \cdot P_1) / 2$</p>
---	--

Where:

- Q = Maximum regulator flow (Nm³/hr)
- KG = Regulator coefficient (See table)
- P₁ = Regulator input pressure (bar - abs)
- P₂ = Regulator output pressure (bar - abs)

NOTES:

1. We suggest that the regulator dimensioning considers a minimum safety factor of 20% above the calculated value.
2. For application with other gases, the calculated flow shall be converted to an equivalent flow in natural gas, considering the table below:

Gas	Specific Gravity (Kg/m ³)	Correction Factor	Other Gases
Air	1,29	0,77	Correction Factor = $\sqrt{\frac{0,78}{\text{Spec Gravity}}}$
Nitrogen	1,25	0,79	
Propane	2,02	0,62	
Butane	2,70	0,53	

BRISE 3"

PRESSURE REGULATOR

Application

When pressure regulators for combustion application are submitted to high and quick flow variation, a fast response and low lock up (less than 10%) is required even in cases where the gas goes down from its totally capacity to zero flow, for example when you have solenoid valves downstream to shutoff the process in less than one second.

These installations related are normally known as "gas train burners" and in case the pressure regulator does not meet these requirements you can have inconvenient disengaging shutoff devices or inconvenient alarms.

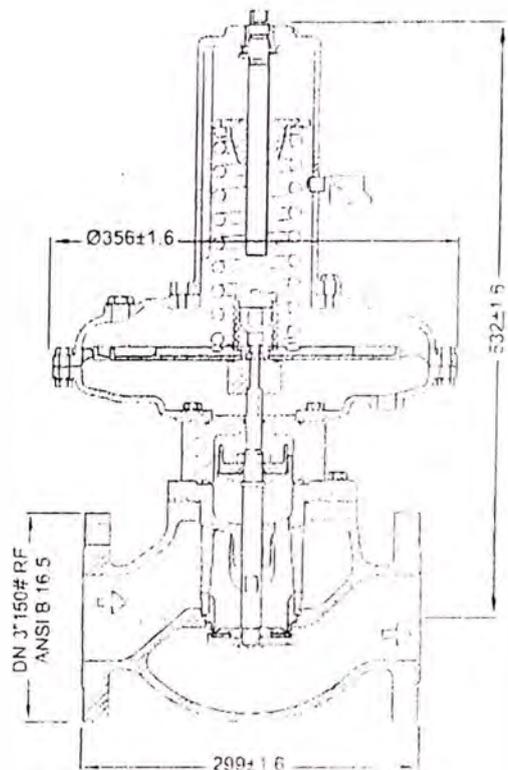
The BRISE pressure regulator is the result of many years of research on how to work with these applications.

Features

- Internal type construction, allowing easy unit access (4 bolts) of all working parts ensuring easy maintenance without removing the body from the pipeline
- Balanced Valve gives excellent control over large variation of inlet pressure range
- Excellent control throughout entire working range
- Tight shut-off on zero flow (positive lock-up)
- Quick response and precision control
- Diaphragm assembly provided with safety relief valve
- Max. Inlet Pressure: 10 bar (g)
- Actuator: Spring loaded
- Fail to open
- External sense line

Materials

Body: Ductile Iron ASTM A-536 Gr.60-45-12
Cover and Spring case: Aluminium Alloy
Orifice: Brass, Aluminium or Stainless Steel
Diaphragm: Buna N
Valve Seat: Buna N



Dimensions - mm



GASCAT

BRISE - 3"

PRESSURE REGULATOR

Outlet pressure - bar(g)

0,02	0,05	0,075	0,10	0,25	0,50	0,75	1.0
730,0	835,0	1050,0	1150,0				
1055,0	1175,0	1400,0	1590,0	1600,0			
1250,0	1415,0	1650,0	1960,0	2200,0	1625,0		
1580,0	1705,0	1870,0	2285,0	2550,0	2100,0	1820,0	
1790,0	2075,0	2325,0	2780,0	2935,0	2980,0	3175,0	3200,0
2160,0	2330,0	2565,0	3100,0	3350,0	3515,0	3580,0	3610,0
2160,0	2500,0	2670,0	3455,0	3500,0	3600,0	3900,0	4200,0
2160,0	2500,0	2820,0	3650,0	3700,0	3800,0	3900,0	4775,0
2160,0	2500,0	2820,0	3650,0	3850,0	4400,0	4530,0	4775,0
2160,0	2500,0	2820,0	3650,0	3850,0	4400,0	4800,0	5970,0
2160,0	2500,0	2820,0	3650,0	3850,0	4400,0	4800,0	5970,0
2160,0	2500,0	2820,0	3650,0	3850,0	4400,0	4800,0	5970,0
2160,0	2500,0	2820,0	3650,0	3850,0	4400,0	4800,0	5970,0

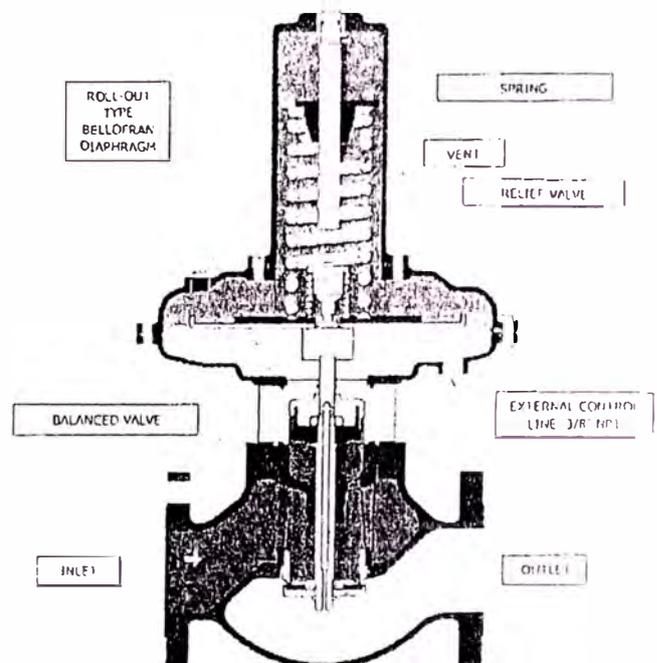
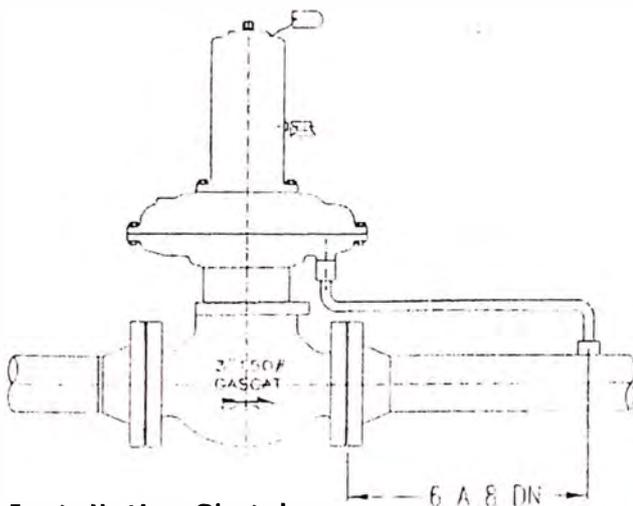
Accuracy Pressure Range			
Outlet Pressure mbar (g)	RG(+/-)	SG(+)	Tightness
20 - 30	15	20	Total
30 - 100	10	15	
100 - 500	10	10	
500 - 1000	5	10	

orifice 65 mm

Spring Selection

outlet pressure mbar	wire Ø mm	color
20 - 50	6,0	gray
45 - 100	7,0	yellow
90 - 200	8,0	brown
150 - 300	9,0	blue
250 - 400	10,0	white
320 - 550	11,0	red
450 - 650	12,0	purple
550 - 850	13,0	green
680 - 1100	14,0	black


 Inlet Pressure
 Outlet Pressure
 Atmospheric Pressure




GASCAT
 Indústria e Comércio Ltda.

Head Office / Factory

Rodovia SP 73, nº 1141 - Bairro Pimenta

Indaiatuba - SP - CEP 13.347-390

Tel: (0XX19) 3875-7511 - Fax: (0XX19) 3894-5374

<http://www.gascata.com.br>

e-mail: sales@gascata.com.br

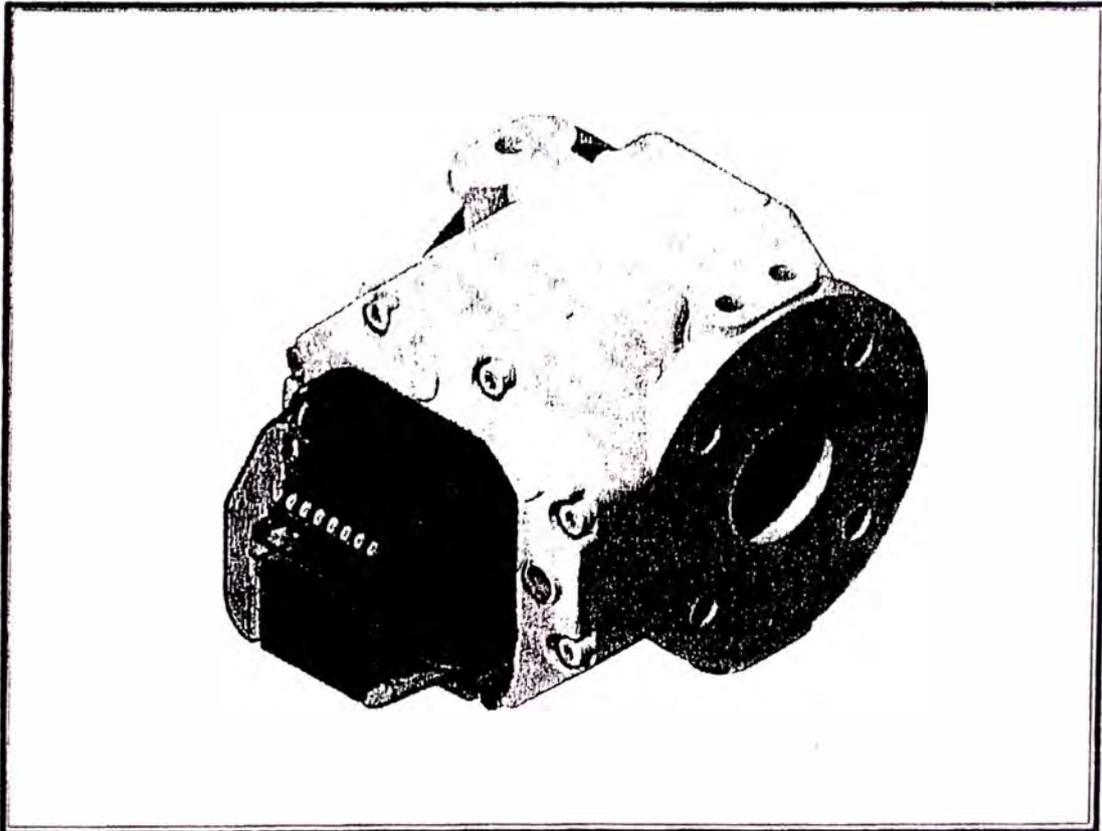


The R&D and manufacturing company for innovative and Modular Gas Metering Solutions

ROTARY GAS METER

SERIES *i*M-RM

METERING AND MEASUREMENT



*i*Meter BV, the Creative Meter Company

The solutions to connect you into the world of real-time gas measurement

iMeter

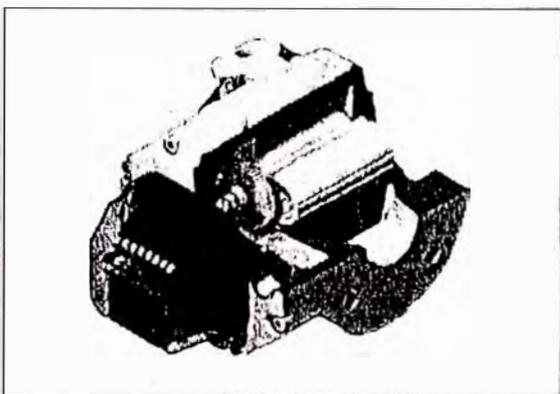
The R&D and manufacturing company for innovative and Modular Gas Metering Solutions

THE STATEMENT

iMeter continues to improve on gas metering and control equipment with innovative ideas, sophisticated technology, modular designs resulting in reduced purchase cost and reduced cost-of-maintenance. This modular concept allows local manufacturing and allows for maintainable metrology. iMeter aims for cross border joined production arrangements

OPERATING PRINCIPLE

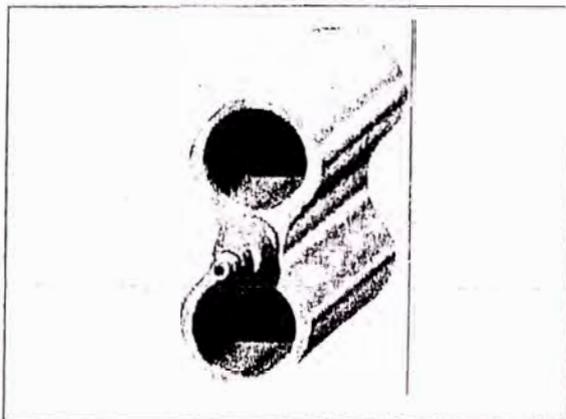
The principal of the Rotary Gas Meter is well known. It is a positive displacement type of meter, passing pre-determined volumes of gas by means of two counter-rotating impellers. Four times per each revolution a fixed unit of volume is displaced through the measurement chambers. The flowing gas volume is proportional with the number of revolutions of the output. The output of this model Rotary Gas Meter is a special designed magnetic coupling where one part is fitted inside the meter body and the associated part is in the read-out unit. The read-out unit can either be a mechanical index or an electronic index with or without volume conversion and communication functions.



THE iM-RM STRIKING FEATURES

The shape of the meter body, the square shape of the impellers and the rigid supporting front plate makes this meter fully insensitive for

pipe-line stresses caused by misalignments. With conventional type of rotary meters, pipe-line stresses often causes the impellers to block or serious degradation in performance



The typical asymmetric design of the impeller tips allows considerable increased turn down ratios. Since the shape of the impeller tip is at least two times larger compared to conventional impeller tips, the unregistered leakage through the meter is significantly reduced resulting in an enlarged turn down ratio without making the meter more sensitive to installation stress or dirty gas.

The larger tip also means that the clearance at the tip can be enlarged allowing larger machine tolerances of the measuring chamber of the meter body. Except for the impeller and the timing gears, the remaining parts like meter body, front cover, coupling, etc. can be manufactured locally according to local applicable directives and quality standards. Since tolerances of the meter body become less important due to the use of asymmetric impellers, the quality of the locally produced and assembled meter will still meet the highest requirements.

ROBUST DESIGN of the iM-RM

The robust design of the iM-RM is quite visible:

- the shape of the meter body
- the shape of the impellers
- the design of the main shafts and its bearings

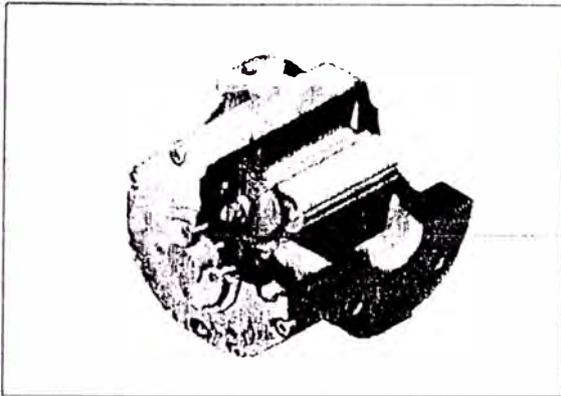
iMeter BV, the Creative Meter Company

The solutions to connect you into the world of real-time gas measurement

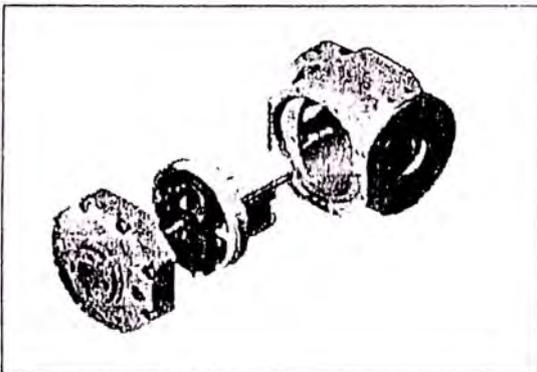
iMeter

The R&D and manufacturing company for innovative and Modular Gas Metering Solutions

- the material selected for the meter body
- the overall dimensions of the meter
- No bending, no twisting, no torque, no vibrations.



The bearings are placed on the outside of the timing gears, which allows the connection between the impellers and the timing gears to be much stronger than conventional type of rotor meters. Consequently, these rotor meters are far less sensitive for improper start up.



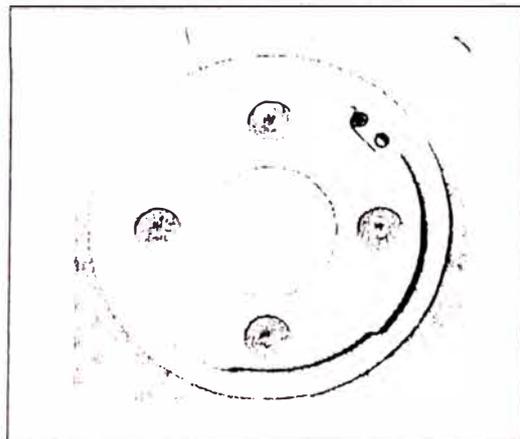
The *iM-RM* series rotary meters are designed to provide maximum comfort for the user.

All functions, like index, oil glasses and oil filling plugs are accessible from the front side. This also makes it possible to install the meter with the back against the wall, and as such saving space in, for instance basements installations.

ONE-CLICK MULTI FUNCTIONAL COUPLING

NEW & PATENT PENDING!

To eliminate all restrictions for future upgrades of any kind, the *iMeter* rotary and turbine meters as well as equipped with a hybrid magnetic coupling. Using a special designed magnet inside the meter, the reading of the meter can be changed from "mechanical" (magnet is used to drive the follower magnet of the mechanical index) to "electronically" (magnetic field orientation is used to activate pulse wires for detecting the rotation, direction and position of the impellers) by just "one click".



This means that the most basic meter version is already prepared for upgrades to a fully sophisticated electronic meter including conversion (PTZ) and communication (GSM, ISDN, PSTN, Ethernet, etc) features. The *iMeter* range of conversion devices *MEVC's* is designed to fit on the meter using this hybrid coupling.

From a standardization point of view, the couplings of the *iMeter* series rotary meters as well as its series turbine meters are similar, meaning that all the mechanical and electrical features are similar, reducing inventory and increasing modular flexibility to its fullest extent.

iMeter BV, the Creative Meter Company

The solutions to connect you into the world of real-time gas measurement

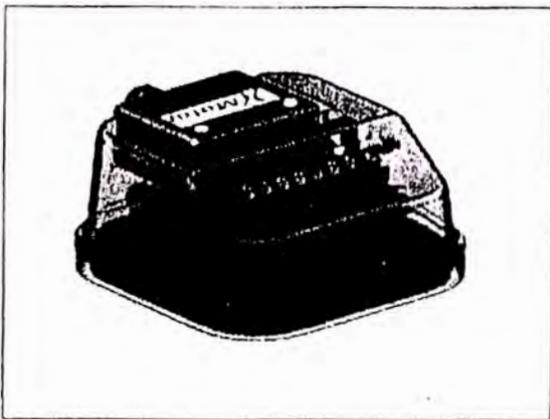
iMeter

The R&D and manufacturing company for innovative and Modular Gas Metering Solutions

MULTI FUNCTIONAL INDEX

Mechanical index. The mechanical index is equipped with a slot to allow maximum flexibility. By changing the slot, the meter can be fitted on-site with several types of Low Frequency pick-ups (reed switches or Wiegand sensors) and/or a state-of-the-art encoder.

Encoder. The encoder is using three pulse wires to digitize the mechanical reading and make the meter suitable for remote reading. The encoder can be programmed to make the meter intelligent, meaning that several security and maintenance functions will be managed by the meter.



Intelligence such as:

Pulse logic

This checks the condition and validity of the generated pulses to avoid under- or over reading.

Security logic

That registers all attempts for tampering in an event list with date and time stamp.

Meter Data

Such as Serial Number, date of manufacture, G-rating and other relevant technical data. On request even a recommended-spare parts list can be programmed.

Calibration Data

Such as the established Low Pressure or High Pressure meter curve after a calibration as well

as the linearization parameters. The Encoder can pre-announce the date for re-calibration

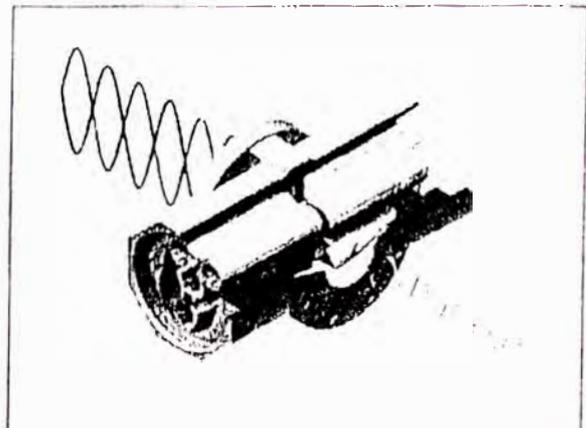
Scheduled Maintenance Logic

As a management tool for cost savings, implementing predictive maintenance.

DUO IMPELLER PRINCIPLE

A typical phenomenon with Rotary meters is the cause of pulsating flow at the outlet of the Rotary Meter as gas passes through the set of impellers.

The effect of such pulsations increases with pressure and flow and hence can produce such strong pulsations that their related resonance can become destructive in the metering station. These pulsations actually will limit the achievable Q max of the Rotary Meter. Also the accuracy is affected by pulsations since the pressure in the measuring chambers, and as such the displaced volume, is varying.



Pulsation is indicated as a sine wave (blue and green sine wave). To compensate for the pulsation sine wave, the flow is divided in the meter and measured by two measuring chambers 45 degree (180 degrees in terms of the sine wave) phase shifted. The result is that nearly 100% of the pulsation is compensated (superposition of to 180 degrees shifted sine waves). The result of the compensation is indicated by the yellow sine wave. The residual sine wave is significant smaller compared to pulsation generated by Rotary Meters with just

iMeter BV, the Creative Meter Company

The solutions to connect you into the world of real-time gas measurement

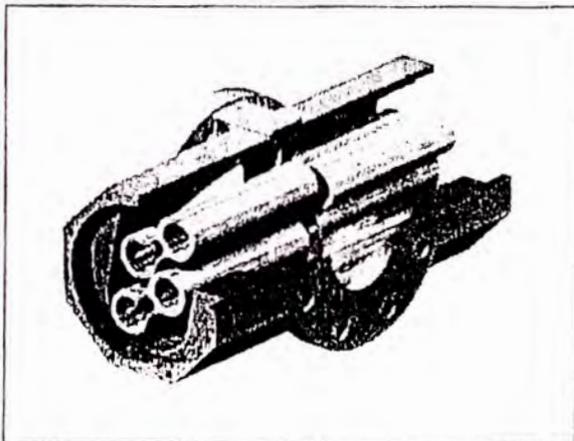
iMeter

The R&D and manufacturing company for innovative and Modular Gas Metering Solutions

one measuring chamber. The elimination of the pulsation increases the lifetime of the meter, reduces the noise and improves the accuracy significantly

Another advantage of this dual impeller concept is that the meter becomes very rigid by the additional double bearing support between the impellers. The combination of dual impeller, square impellers and the improved position of the timing gears make the meter very suitable for high pressure applications.

An encoder controlled and battery operated oil system guarantees long life time of the timing gears and eliminates the traditional oil loss under high pressure conditions (draw back of conventional rotary meters used under high pressure natural gas conditions).



iMeter, skillfully using this invention, by coupling the two pairs of impellers in the same body and in the same particular way, has achieved a remarkable result of this invention.

THE ADVANTAGES of the iM-RM

The advantages of the iM-RM are obvious.

- 1) reduced cost of production, reflecting in product price
- 2) reduced weight of the meter
- 3) reduced overall dimensions, allowing to build compact metering stations

- 4) reduced pressure drop due to the typical shape of the impellers.
- 5) reduced total cost of ownership TCO by reducing the cost of maintenance
- 6) reduced sensitivity for installation stresses due to the robust design of the meter body.
- 7) Reduced sensitivity for overloading, gas impurities, and pressure shocks due to the robust design of the meter.
- 8) **Suitable for local manufacturing, assembly and production according to local directives and quality levels still maintaining the highest reliability, performance and accuracy**

TECHNICAL DATA

Pressure ratings:

- Pressure ratings for PN16
- High Pressure version is under development
- Various flanges are available on request (DIN Flanges, ANSI Flanges, JIS Flanges and others).

Nominal diameters:

1 1/2" and 2" to 8" (DN 40 – DN 200).

Measuring range:

100:1 minimum or even better at atmospheric conditions.

Flow rates :

For the 6" (DN 150) meter G-650: 1.000 m³/h

Repeatability: 0,1 %

Measuring accuracy:

0,2 Q max to Q max : ± 0,5 % or better
Q min to 0,2 Q max : ± 1 % or better

Temperature range :

Standard: -30 °C to + 60 °C
On request: -40 °C to + 80 °C

STANDARD FEATURES

The standard mechanical meter index is filled with a LF output. Additional LF, HF outputs or smart electronics can be fitted.

iMeter BV, the Creative Meter Company

The solutions to connect you into the world of real-time gas measurement

iMeter

The R&D and manufacturing company for innovative and Modular Gas Metering Solutions



The meters are fitted as well with a number of Pr-points and a number of thermo wells suitable for easy connection of electronic gas volume conversion devices such the iMeter MEVC

APPROVALS

The iMeter series iM-RM is designed in accordance with all relevant and international published and accepted standards such as EC Directives, DIN 33800 (prEN 12480), AGA 7, ISO 9951, OIML R6 and R32, CEN 237 draft. A number of national standards are based on these standards.

VERIFICATION & CALIBRATION

iMeter series iM-RM are supplied complete with a calibration certificate.

The initial verification and the calibration are done at the iMeter-factory on an NMi and/or PTB approved calibration bench. When the meters are assembled and produced elsewhere under a joined production arrangement, the verification and calibration will be done at the premises of the local assembly company, using a similar approved calibration bench.

For the Duo-Impeller Rotary Meters high pressure calibrations at certified installations can be done as well, on customer's request.

INSTALLATION

Recommendations for installation

iMeter series iM-RM rotary meters are in full compliance with the European and major International Directives and guidelines such as the OIML, ISO and DVGW.

The design permits very compact M/R stations without scarifying the meter accuracy.

The meter is designed for outdoor installation. Gas pipes must be clean and free from foreign impurities such as sand, dirt, welding slacks and other particles and liquid.

Generally it is recommended to install a gas filter upstream of the gas turbine meter, with a 160 μ filtration level

Check the flow direction of the meter against the required installation. The oil reservoir should be filled once the meter has been installed in to the installation. A container with sufficient lubrication oil is standard supplied with the meter.

The oil reservoir should be filled until the oil level reached the middle level of the sight glass.

The iMeter series iM-RM is clearly designed for natural gas measurement applications (and not only for laboratories as most conventional meters), meaning that the design is able to withstand typical starting up operations without degradation of performance or quality. However, to guarantee an extended lifetime, care must be given pressurizing the meter to prevent extreme over-speeding and damaging the rotating parts.

METER FUTURE

iMeter has a continuing program of product research and development. Technical specifications and constructions may change due to improvements.

iMeter BV, the Creative Meter Company

The solutions to connect you into the world of real-time gas measurement



The R&D and manufacturing company for innovative and Modular Gas Metering Solutions

TABEL 1: MEASUREMENT RANGES & PULSE DATA

G-rating	Comparable USA rating	Size		Q-max Rated Capacity m ³ /h	Range ability		Low Frequency pulse m3 1 pulse/m3
		inch	mm		@ ±1%	@ ±2%	
G 16	1.5 M	1 ½ & 2"	40 & 50	25	11	11	10
G 25	1.5 M	1 ½ & 2"	40 & 50	40	11	11	10
G 40	2 M	1 ½ & 2"	40 & 50	65	11	11	10
G 65	3 M	2"	50	100	11	11	10
G 100	5 M / 7 M	3"	80	160	11	11	10
G 160	7 M / 11 M	3"	80	250	11	11	10
G 250	16 M	4"	100	400	11	11	10
G 400	23 M	4"	100	650	11	11	1
G 400	23 M	6"	150	650	11	11	1
G 650	38 M	6"	150	1000	11	11	1

11. Rangeability depending on the final local production, but in any case better then 1 : 100

TABEL 2: DIMENSIONS & WEIGHTS

G-rating	Number Of bolts	Size		Overall flange-to-flange dimensions	Height & Depth		Overall weight In kg Approx values
		inch	mm		in mm	in mm	
	4	1 ½ & 2"	40 & 50	171	180	220	10
G 25	4	1 ½ & 2"	40 & 50	171	180	220	10
G 40	4	1 ½ & 2"	40 & 50	171	180	220	10
G 65	4	2"	50	171	180	220	10
G 100	8	3"	80	171	200	280	13
G 160	8	3"	80	241	200	315	27
G 250	8	4"	100	241	225	400	30
G 400	8	4"	100	241	225	510	43
G 400	8	6"	150	260	285	510	50
G 650	8	6"	150	260	285	680	61

iMeter BV, the Creative Meter Company
The solutions to connect you into the world of real-time gas measurement



The R&D and manufacturing company for innovative and Modular Gas Metering Solutions

Products & Services:

Turbine Gas Meters

Rotary Gas Meters

Electronic Gas Volume Conversion Devices (MEVC)

Flow Computer Systems

Modular Intelligent Station Interface (MISI)

Supervisory Control Systems and Software

Meter Calibration Installations

Complete Gas Measurement and Control Stations

Commissioning, training and servicing

Consultancy and Seminars

**For your nearest Sales Office or
Representative, please contact:**

**iMeter B.V.
Snelliusstraat 24
7102 ED Winterswijk
The Netherlands**

**Tel : +31 543 531 000
Fax: +31 543 550 009**

**E-mail: info@imeter.nl
Internet: www.imeter.nl**

Your sales office or representative.

iMeter has agents and representatives worldwide
iMeter has a continuing program of product research and development.
Technical specifications and construction may change due to improvements
This publication serves as general information only, and all specifications are subject to confirmation by iMeter

iMeter BV, the Creative Meter Company
The solutions to connect you into the world of real-time gas measurement