

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO, GAS NATURAL Y
PETROQUIMICA



**“CONVERSIÓN A GAS NATURAL SECO DE UNA CALDERA
PIROTUBULAR CON POTENCIA DE 500 BHP QUE
TRABAJA CON DIESEL -2 ”**

TITULACIÓN POR TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO DE PETRÓLEO

ELABORADO POR:

SIXTO ANTONIO MELENDEZ GOMEZ

PROMOCIÓN 1999-0

LIMA - PERU

2006

INDICE

1.- INTRODUCCION

2.- OBJETIVO

3.- CONTENIDO

3.1. Antecedentes

3.2 Marco teórico

4.- LOS COMBUSTIBLES INDUSTRIALES

4.1 Combustibles Líquidos

4.1.1 Clasificación de los combustibles líquidos.

4.1.2 Análisis de mercado de los combustibles.

4.1.3 Operaciones de manipuleo: transporte y almacenamiento

4.2 Combustibles Gaseosos

4.2.1 Clasificación de los combustibles gaseosos

4.2.2 Gas Natural

4.2.2.1 Aspectos Generales

4.2.2.2 Usos del Gas Natural

4.2.3 Característica físico química del Gas Natural Seco

5.- MARCO NORMATIVO

Norma Técnica del Gas Natural Seco

5.1 Instalaciones Internas Industriales NTP 111 010

6.- INGENIERIA DEL PROYECTO

6.1 Cálculo y Diseño del equipo de Gas natural Seco

6.1.1 Uso del vapor o consumo

6.1.2 Cálculo de la potencia del Equipo de la Caldera

6.1.3 Selección del equipo de la Caldera

6.1.4 Selección del Quemador

6.2 Conversión del equipo de la Caldera a Gas natural Seco

6.2.1 Proceso de combustión del Gas natural Seco.

6.2.2 Quemador de Gas Natural seco

6.3 Instalación del equipo para Gas Natural seco

6.3.1 Instalación del tendido de tuberías

6.3.2 Instalación del Quemador en la Caldera

7.- EVALUACIÓN ECONOMICA

7.1 Análisis económico

7.1.1 Costo Fijo

7.1.2 Costo Variables

7.1.3 Gastos operativos

7.1.4 Flujo de caja económico

7.2 Ahorro estimado de la conversión

7.3 Estimación de recuperación de la inversión

7.4 Análisis comparativo con otro combustible liquido

CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

ANEXO

BIBLIOGRAFIA

1.- INTRODUCCION

Nuestro País es gran consumidor de combustibles obtenidos por Hidrocarburos básicamente de Petróleo.

La cantidad que se refina a nivel nacional de combustible de DIESEL-2 es menor que la cantidad que se consume, por lo tanto se tiene que importar combustible y es más alto económicamente. Importamos casi el 40 % del consumo total.

En el presente trabajo se hace un análisis comparativo sobre las ventajas en la sustitución del combustible DIESEL -2 por el GAS NATURAL SECO, para luego convertirlo.

Existen dos formas de convertir:

- Cambiando totalmente el quemador por una que trabaja con gas natural seco .
- Instalando por el sistema DUAL donde puede trabajar con cualquiera de los dos combustibles.

La alimentación del GAS se instala en una tubería del quemador, para realizar la mezcla con el aire y luego producir la combustión.

La idea del proyecto es usar el gas natural seco que se encuentra distribuida por Lima y Callao para poder obtener beneficios económicos y ambientales.

Entre las alternativas energéticas el gas natural es reconocido como una energía con eficiencia, limpieza y precios competitivos.

Es el combustible que menos contamina, encendido rápido y no necesita almacenamiento previo, por lo que proporciona un elevado grado de confort en la Industria.

Existen gastos en los combustibles líquidos, como el Diesel-2, en manejo, preparación, transporte, alta contaminación atmosférica, con respecto al gas Natural.

Entre los cálculos realizados, se demuestra que es una buena alternativa el uso del GAS NATURAL SECO.

2.- OBJETIVOS

El principal objetivo del presente trabajo es hacer una conversión a Gas Natural, de una Caldera que trabaja el quemador con DIESEL-2.

La conversión se realiza sobre un análisis comparativo: de impacto ambiental, económico y técnico.

Para el logro de nuestro objetivo se requiere:

- Analizar un patrón de consumo del DIESEL -2 a nivel Nacional porque actualmente Importamos este combustible.
- Estimar las emisiones asociadas al consumo actual del Diesel-2
- Estimar las emisiones frente a distintos escenarios de sustitución.
- Analizar los costos asociados a la sustitución

Recopilar información técnica y la experiencia en criterio de diseño de redes para Gas Natural, en consumo Industrial.

Evaluar económicamente la factibilidad del proyecto mostrando las ventajas que brinda un sistema con redes para Gas Natural.

Brindar un aporte en el desarrollo de Instalaciones Internas Industriales para Gas Natural, con alternativas para mejorar la calidad de vida, aportando una energía económica, versátil, segura y ecológica, reemplazando paulatinamente hasta donde sea posible a los demás combustibles.

3.- CONTENIDO

3.1 Antecedentes

El GAS NATURAL se viene comercializando en nuestro país desde Agosto del 2004, siendo la única Empresa Distribuidora CALIDDA a nivel de Lima y Callao.

Actualmente se están instalando redes en todo Lima y Callao para poder, instalarse ya sea para uso residencial, comercial e industrial.

Con respecto al combustible Diesel-2 que queremos reemplazar, nuestro país esta importando este combustible, lo cual no abastece la producción a nivel nacional.

El precio del Diesel-2 es alto, comparado con el gas natural.

Nosotros tenemos Reservas Probadas de Gas Natural (CAMISEA) de 8.3 Tfc, sin exportar para 40 años y exportando para 20 años (CAMISEA II).

Además tenemos un contrato con la transportadora (TGP) para consumir un mínimo de 250MMPCD, pero nosotros estamos consumiendo 100 MMPCD, esto significa menor del 50 % de la capacidad instalada.

Crea la cultura del Gas Natural para el consumo interno de nuestro país, por diferentes ventajas que tiene con respecto cualquier combustible.

3.2. Marco Teórico

Para hacer la conversión de un equipo que genera calor el principio teórico es la combustión de los combustibles.

Principio de la Combustión:

Se entiende por combustión, la combinación química violenta del oxígeno (o comburente), con determinados cuerpos llamados combustibles, que se produce con notable desprendimiento de calor y formación de llama.

Para que se produzca la combustión, las 3 condiciones deben cumplirse:

- Una composición química (antes de producir la combustión tenemos combustible y oxígeno)
- Que sea violenta
- Que produzca desprendimiento de calor (depende del tipo de combustibles)

Química de la Combustión:

La Reacción de combustión

- Reactivos: componentes antes de la reacción
- Productos; componentes después de la reacción

Ejemplo:



Los cálculos estequiométricos como:

- Volumen de oxígeno y aire teórico para la combustión
- Exceso de aire
- Productos de combustión
- La relación aire-combustible
- Composición del gas

son puntos para el diseño de hornos, calderas, etc.

Termodinámica de la combustión:

Se refiere al fenómeno físico-químico, relación aire-combustible, contenido calorífico, composición de los gases de combustión, y la cinética de la combustión (mezcla, geometría de la llama, ignición, propagación, estabilidad,)

Tipos de la combustión:

La relación aire – gas combustible (R)

$$R = Q_a / Q_g$$

Donde:

Q_a = Flujo de aire en m³ /h

Q_g = Flujo de gas en m³ /h

Combustión estequiométrica

Es la cantidad mínima de aire necesario para la combustión completa de un combustible (aire teórico).

Combustión incompleta

Combustible no es completamente oxidado en el proceso de la combustión

Combustión real

Mayor cantidad de aire a la estequiometricamente requeridas.

Combustión adiabática

Cuando la reacción de oxidación de los combustible esta totalmente aislada, todo el calor generado sirve para elevar la temperatura.

Condiciones para la Combustión

Para que un combustible arda con una llama auto sostenida se necesitan ciertas condiciones termodinámicas y cinéticas las cuales dependen del combustible y de la atmósfera donde se realiza la combustión.

Estas condiciones son:

- Temperatura de inflamabilidad (temperatura mas baja provoca inflamación en la mezcla)
- Limite de inflamabilidad (concentración de límite de mezcla)
- Temperatura de ignición (la temperatura más baja a la cual una reacción de combustión auto sostiene)
- Fenómeno de inestabilidad de la llama (velocidad de propagación)

Mecanismo del Proceso de la Combustión

Etapas en el proceso de combustión:

- Etapas de precombustión
- Etapas de combustión propiamente dicha
- Etapas de post-combustión

Descripción de los mecanismos del proceso de combustión:

- Atomización
- Vaporización
- Eliminación de humedad en los combustibles
- Etapa de Ignición
- Zona de reacción o llama

Eficiencia de la Combustión

Eficiencia = $\eta = (\text{Calor disponible}) / (\text{Calor total})$

Calor disponible generado en la combustión = Calor Total = $Q = m \times \text{PCS}$

Calor disponible: $Q_g = Q_p$

Donde:

PCS = Poder calorífico superior

Q_g = Calor ganado

Q_p = Calor perdido

4.- LOS COMBUSTIBLES INDUSTRIALES

Clasificación de los Combustibles:

- combustibles sólidos
- combustibles líquidos
- combustibles gaseosos

4.1 Combustibles Líquidos

Son mezcla de hidrocarburos derivados del petróleo por medio de procesos de refinación.

En el petróleo se puede distinguir diferentes compuestos. Además de hidrocarburos (mas de 40 de ellos diferentes) oxígeno, nitrógeno, azufre, vanadio, níquel, hierro, agua y sedimentos

Los hidrocarburos presente en el crudo:

- Parafínico (hidrocarburo saturado en forma de cadena $C_n H_{2n+2}$)
- Naftenico (de estructuras moleculares en forma de anillos $C_n H_{2n}$)
- Aromático (anillos no saturados $C_n H_{2n-6}$)

4.1.1 Clasificación de los Combustibles

Tipos de combustibles líquidos:

De la destilación primaria y secundaria del petróleo se obtiene:

- Gasolina (Nafta)
- Diesel -1
- Gas
- Diesel- 2
- Turbo A
- Alcohol
- Alquitrán de hulla (residual N°5 N°6)
- Bunker (residuo final de la destilación), etc

Propiedades Físicas:

- Gravedad específica
- Viscosidad
- Poder Calorífico
- Curva de destilación
- Punto de inflamación
- Contenido de carbón
- Contenido de ceniza

- Contenido de sedimento y agua
- Contenido de azufre

Clasificación de acuerdo con la seguridad de transporte y manejo:

- Líquidos Combustibles clase I; punto de inflamabilidad por debajo de 100 °F y presión de vapor menor a 40 psi (dividido en IA, IB, IC)
- Líquidos Combustibles clase II; con punto de inflamabilidad entre 100 y 140 °F
- Líquidos combustibles clase III; con punto de inflamabilidad mayor a 140 °F

4.1.2 Análisis de Mercado de los Combustibles

Combustible Líquido que se Comercializan:

Propiedades Físicas del Petróleo Diesel D – 2

INSPECCIONES	DIESEL 2
Viscosidad Cinemática, cst @ 40°C minima	1,9
Viscosidad Cinemática, cst @ 40°C maxima	4,1
Cenizas, % en peso	0.01
Azufre, % en peso	0.5
Residuo de carbón Conradson, 10 % fondos, % masa	0.01
Poder Calorífico, BTU / gl	19 540
BSW, % en volumen	0.02
Punto de inflamación, °C	55
Índice de Cetano	47
Densidad a 15 °C Kg/m3	820 -845
Punto de Fluidez	+ 4

Nota: Datos de la NTP 321.003

Petróleo Industrial N°4

Aplicación industrial:

Es un combustible netamente industrial y es conocido como residual 4.

Este es un producto que se comercializa como mezcla de dos productos.

Es un buen combustible, pues tiene un comportamiento muy similar al petróleo Diesel -2, y que combustiona en condiciones similares a este.

Sus características principales son:

- Sus impurezas son ligeramente superiores al petróleo Diesel N°2, debido al % de Petróleo Industrial N°6 que este posee.
- Su poder calorífico es ligeramente mayor al Petróleo Diesel N°2.

- Es fácilmente reemplazable al Petróleo Diesel N°2 en condiciones normales, ya que no requiere calentamiento para su bombeo, ni para su atomización. En climas muy fríos (debajo de 10°C), podría necesitar de calentamiento, para cumplir sus exigencias en la viscosidad para su correcta atomización, pero no tendría problemas para el bombeo.

Propiedades Físicas

INSPECCIONES	RESIDUAL 4
Viscosidad Cinemática, cst @ 100°F	19.5
Viscosidad Cinemática, cst @ 122°F	8.7
Viscosidad SSU @ 100°F	96
Cenizas, % en peso	0.01
Azufre, % en peso	0.5
Poder Calorífico, BTU / gln	143 151
BSW, % en volumen	0.02
Punto de inflamación, °C	66
Vanadio, ppm	50
Grado API @ 60°F	26.7
Punto de Fluidez	+7

Petróleo Industrial N°5

Aplicación Industrial

Este es un combustible netamente industrial usado para la producción de energía en hornos y calderos, y es conocido como Residual 5.

Este combustible podría sustituir al Petróleo Diesel N°2, sólo con algunos cambios en el calentamiento para la atomización, puesto que generalmente no necesita calentamiento para su bombeo.

Sus principales características son:

- o Por la alta proporción de Petróleo Industrial N°6, se debe de tener en cuenta el contenido de metales en sus cenizas (vanadio por ejemplo), así como el azufre por los problemas de corrosión, también es importante considerar el porcentaje de agua de esta mezcla, sobre todo en el almacenamiento.
- o No requiere calentamiento para el bombeo, salvo en climas muy fríos (temperaturas < 6°C), pero sí requiere ser calentado para su atomización.
- o Su poder calorífico es mayor que el Petróleo Diesel N°2 y el Petróleo Industrial N°4.

Por la proporción de mezcla indicado, tiene un menor precio que el Petróleo Diesel N°2 y Petróleo Industrial N°4.

Nota: Al Petróleo Industrial N°5 se le podría llamar **Residual 40**, ya que su viscosidad como máximo debe alcanzar 40 SSF @ 122°F.

Propiedades Físicas

INSPECCIONES	RESIDUAL 5
Viscosidad Cinemática, cst @ 100°F	150
Viscosidad Cinemática, cst @ 122°F	76.4
Viscosidad SSU @ 100°F	680
Cenizas, % en peso	0.03
Azufre, % en peso	0.9
Poder Calorífico, BTU / gln	147 370
BSW, % en volumen	0.05
Punto de inflamación, °C	75
Vanadio, ppm	105
Grado API @ 60°F	18.9
Punto de Fluidez	+10

Petróleo Industrial N°6

Este combustible se comercializa directamente como Petróleo Industrial N°6. Antes de ser puesto a la venta en refinería es preparado a partir de fracciones más pesadas del petróleo (productos que ya no se pueden destilar). A estas fracciones pesadas se le adicionan fracciones cuyos componentes son livianos, con el objeto de satisfacer los requerimientos de viscosidad del producto que se encuentra normado por INDECOPI.

Aplicación Industrial

Posee características muy diferentes a los destilados.

En la industria es conocido como Residual 6.

En cuanto a la combustión por ser este combustible un producto residual, su eficiencia depende mucho de las impurezas que contengan, por eso cuando se trabaja con combustibles residuales se debe tener cuidado con el mantenimiento de los equipos, por los problemas que los contaminantes e impurezas podrían

ocasionar durante los procesos de combustión, así por ejemplo, la corrosión en el tanque de almacenamiento de agua, la erosión de la boquilla del quemador, la obturación y taponamiento de los filtros y tuberías, etc.

En cuanto a su composición química depende del crudo que proviene y de los procesos de refinación usados para su obtención.

Sus principales características como combustible industrial son:

Su poder calorífico es mayor en 7 – 8 % más que el Diesel N°2

- Su manejo es más complejo y debe tenerse en cuenta al azufre por los problemas de corrosión, aunque la composición de este elemento en el residual se halle normalizado (<3.5 % en peso).
- La fluidez es muy importante en climas fríos (Temp. <15°C).
- El contenido de agua y sedimentos se encuentra normalizado en <2% del volumen.
- Este residual sí requiere de ser calentado para su bombeo (45°C), y también para su atomización (110°C).

Este combustible muy bien podría llamarse un **Residual 300**, ya que su viscosidad no debe exceder a las 300 SSF (Segundos Saybolt Furol) a la temperatura de 122°F.

Aunque presente los problemas ya mencionados, su uso es justificado en cuanto al precio, ya que tiene uno muy bajo en el mercado, y está más disponible que los destilados.

Propiedades Físicas

INSPECCIONES	RESIDUAL 6
Viscosidad Cinemática, cst @ 100°F	613
Viscosidad Cinemática, cst @ 122°F	290
Cenizas, % en peso	0.045
Azufre, % en peso	1.3
Poder Calorífico, BTU / gln	150 430
BSW, % en volumen	0.05
Punto de inflamación, °C	102
Vanadio, ppm	150
Grado API @ 60°F	13.5
Punto de Fluidez	+12

Petróleo Industrial R 500

Se le conoce comercialmente así a este residual, porque su viscosidad no debe exceder a los 500 SSF (Segundos Saybolt Furol), a la temperatura de 122°F.

La diferencia de este producto con el Petróleo Industrial N°6 muy pequeña, y normalmente, si se le adiciona un 5% de Petróleo Diesel N°2 al Residual 500, podríamos obtener un combustible con propiedades del Petróleo N°6.

Este combustible se obtiene o se prepara mezclando los residuales obtenidos de las diferentes operaciones de refinación cuyas viscosidades son muy superiores a los 500 SSF a 122°F, y los destilados más ligeros, reduciendo de esta forma su viscosidad hasta viscosidades menores o iguales a 500 SSF a 122°F como lo indican las normas vigentes.

Aplicación Industrial

Siendo su aplicación netamente industrial, este residual es usado ampliamente en los equipos de producción de energía (hornos y calderos).

Sus características principales son:

- Su poder calorífico es mayor al Residual 6 en aproximadamente 6%, a pesar que su precio es el de menor costo en el mercado.
- Es necesario ser calentado en aproximadamente 5 – 10 °C más que el Petróleo Industrial N°6, tanto para su bombeo y su atomización.
- Se debe tener cuidado en la operación de combustión al igual que el Residual 6, ya que se tiene relativamente más impurezas que este (aproximadamente 7%).

Propiedades Físicas

INSPECCIONES	RESIDUAL 500
Viscosidad Cinemática, cst @ 100°F	1033
Viscosidad Cinemática, cst @ 122°F	487
Cenizas, % en peso	0.06
Azufre, % en peso	1.36
Poder Calorífico, BTU / gln	151 700
BSW, % en volumen	0.08
Punto de inflamación, °C	112
Vanadio, ppm	160
Grado API @ 60°F	13.0
Punto de Fluidez	+15

4.1.3 Operación de Manipuleo: Transporte y Almacenamiento

Los combustibles líquidos necesitan transportarse desde la planta de ventas hacia el lugar de consumo, para luego almacenarlo, y finalmente usarlo

Es cuando que tenemos que pagar esta operación y a la vez se incrementa el precio del combustible líquido.

Por último en esta operación se tiene que tener cuidado por los problemas de impacto ambiental

en el manipuleo y de seguridad como cualquier otro combustible.

En el caso del Gas Natural Seco no sucede esto, el transporte es por tubería, pero, siempre con la seguridad respectiva.

4.2 Combustible Gaseoso

Un combustible gaseoso, en comparación con los líquidos, es más fácil de manejar y su combustión es limpia y sin problema de operación.

El gas es un combustible de fácil quemado, ya que para su combustión solo requiere ser mezclado con determinada cantidad de aire a condiciones óptimas de temperatura

4.2.1 Clasificación de los Combustibles Gaseosos

Los gases combustibles de diferente origen y característica se agrupan en grupos o familias, que se pueden dividir en grupos de acuerdo con el valor del Número Wobbe.

En la Tabla N° 1 se indican las familias y grupos de gases .

Clasificación según origen:

Primera Familia: Se incluyen los gases manufacturados, cuyo principal componente es el hidrógeno.

Segunda Familia: Se incluye el Gas Natural, cuyo principal componente es el metano.

Tercera Familia: Propano, Butano y GLP

Clasificación de los Gases
Tabla N° 1

Familias y grupos de gases	Número Wobbe Bruto a las condiciones Standard de 15°C y 1013.25 mbar.	
	Mínimo (Mj/m ³)	Máximo (Mj/m ³)
Primera familia (Gas de Ciudad) Grupo A	22.4	24.8
Segunda familia (Gas Natural) Grupo H Grupo L Grupo E	39.1 45.7 39.1 40.9	54.7 54.7 44.8 54.7
Tercera familia (GLP) Grupo B/P Grupo P Grupo B	72.9 72.9 72.9 81.8	87.3 87.3 76.8 87.3

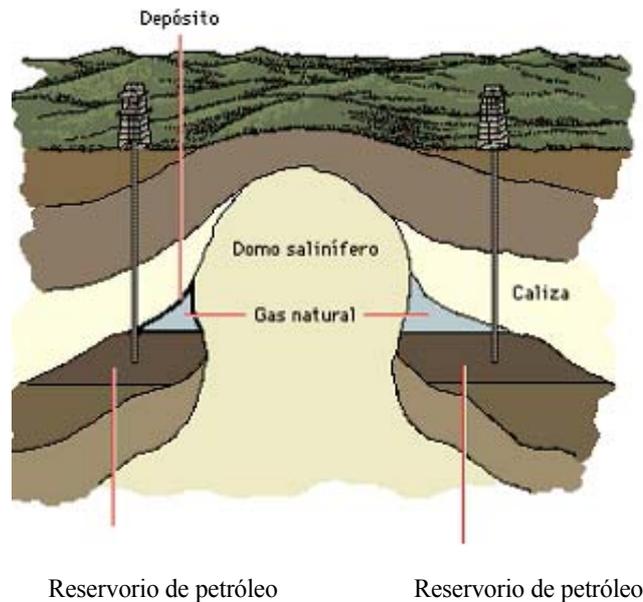
Nota: En el Perú únicamente se comercializan gases de la segunda y tercera familia Según NTP 111 027

4.2.2 Gas Natural

4.2.2.1 Aspectos Generales:

Reservorio de Gas Natural

Se encuentra en la naturaleza bajo tierra en los denominados reservorios de gas. Su formación es similar al de la formación de petróleo.



Extracción del Gas Natural

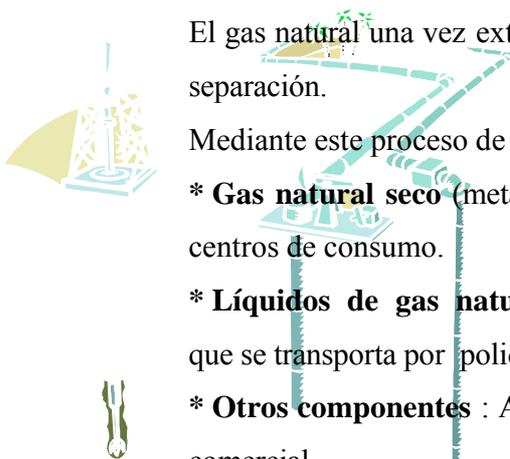
El gas natural se extrae de los reservorios que se encuentran bajo la superficie a profundidades que van desde los 500 m hasta los 3500 m.

Procesamiento del Gas Natural

El gas natural una vez extraído de los reservorios se somete a un proceso de separación.

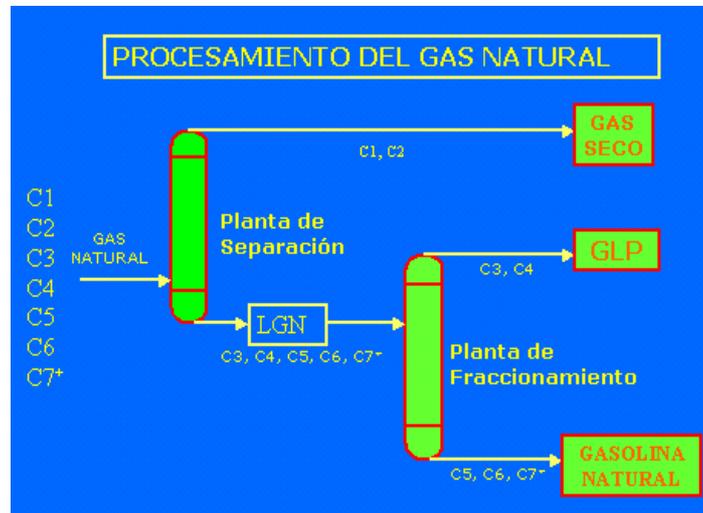
Mediante este proceso de separación se obtiene:

- * **Gas natural seco** (metano y etano) que se transporta por gasoductos a los centros de consumo.
- * **Líquidos de gas natural** (propano, butano, pentano y mas pesados) que se transporta por poliductos hasta una planta de fraccionamiento.
- * **Otros componentes** : Agua, azufre y otras impurezas que no tiene valor comercial.



Proceso de fraccionamiento

es un proceso que consiste en separar los líquidos del gas natural (LGN) en gas licuado de petróleo (GLP) y gasolina natural.



Transporte del Gas Natural

El gas natural se transporta principalmente a través de gasoductos y como gas natural licuado (GNL) en los llamados buques metaneros y camiones criogénicos, asimismo se puede transportar en cilindros de alta presión (como gas natural comprimido-GNC).



Transporte por gasoductos



Transporte por buques metaneros

Gas Natural Licuado (GNL)

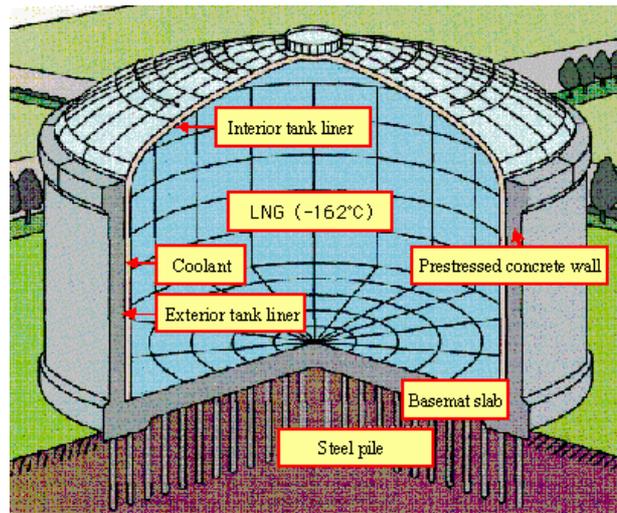
Se trata de gas natural (principalmente metano) reducido o licuado mediante un proceso criogénico donde se disminuye su temperatura a -160°C , reduciendo su volumen unas seiscientas veces y de esta forma facilitando su almacenamiento y el transporte a través de buques metaneros hasta las plantas de regasificación.

Almacenamiento del Gas Natural

El gas natural puede ser almacenado en reservorios en el subsuelo que generalmente son cavernas de sal y también como gas natural licuado- GNL (en buques metaneros y tanques de gran capacidad). Como otra forma de almacenaje puede considerarse a los cilindros de GNC donde se almacena gas natural a alta presión para uso automotor.



Tanques de almacenamiento de GNC



Tanque de almacenamiento de GNL

Ventajas del Gas Natural

Comodidad: Al ser una energía de suministro continuo esta siempre disponible en la cantidad y en el momento que se le necesite.

Limpieza: El gas natural es menos contaminante que los combustibles sólidos y líquidos.

Por un lado, como cualquier otro combustible gaseoso, no genera partículas sólidas en los gases de la combustión, produce menos CO_2

(reduciendo así el efecto invernadero), menos impurezas, como por ejemplo azufre (disminuye la lluvia ácida), además de no generar humos. Por otro lado, es el más limpio de los combustibles gaseosos.

Seguridad: El gas natural, a diferencia de otros gases combustibles, es más ligero que el aire, por lo que, de producirse alguna fuga, se disipa rápidamente en la atmósfera. Únicamente, se requiere tener buena ventilación.

Economía: Es la energía de suministro continuo más barata.

4.2.2.2 Usos del gas natural

Se usa para la generación eléctrica, como combustible en las industrias, comercios, residencias y también en el transporte.

SECTOR	COMBUSTIBLE QUE PUEDE SUSTITUIR	APLICACIÓN / PROCESO
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Carbón • fuel Oil • Gas Licuado • Kerosene • Leña 	<ul style="list-style-type: none"> ? Fundición de metales ? Hornos de Fusión ? Secado ? Industria del cemento ? Industria de alimentos ? Generación de vapor ? Tratamientos térmicos ? Temple y recocido de metales ? Cogeneración ? Cámaras de combustión ? Producción Petroquímicos ? Sistema de Calefacción
Generación Eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Carbón • fuel Oil 	<ul style="list-style-type: none"> ? Centrales térmicas ? Cogeneración eléctrica
Comercial	<ul style="list-style-type: none"> • Carbón • Gas ciudad • Gas licuado 	<ul style="list-style-type: none"> ? Aire acondicionado ? Cocción/preparación alimentos ? Agua caliente ? Calefacción central
Residencial	<ul style="list-style-type: none"> • Gas Ciudad • Gas licuado • Kerosene • Leña 	<ul style="list-style-type: none"> ? Cocina ? Calefacción ? Agua Caliente ? Aire Acondicionado
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Gasolina • Diesel 	<ul style="list-style-type: none"> ? Taxis ? Buses

Gas Natural para la Generación Eléctrica

El gas natural se ha constituido en el combustible mas económico para la generación de electricidad, ofrece las mejores oportunidades en términos de economía, aumento de rendimiento y reducción del impacto ambiental. Estas ventajas pueden conseguirse tanto en las grandes centrales termoeléctricas así como en las pequeñas.

Gas Natural para la Industria

Reemplaza ventajosamente a otros combustibles. Ideal para procesos industriales, como la industria de la cerámica, del cemento y la fabricación de vidrio. En la fabricación del acero puede ser usado como reductor siderúrgico en lugar del coque (Hierro esponja). Es también utilizado como materia prima en la industria petroquímica y para la producción de amoníaco, urea en la industria del fertilizante.

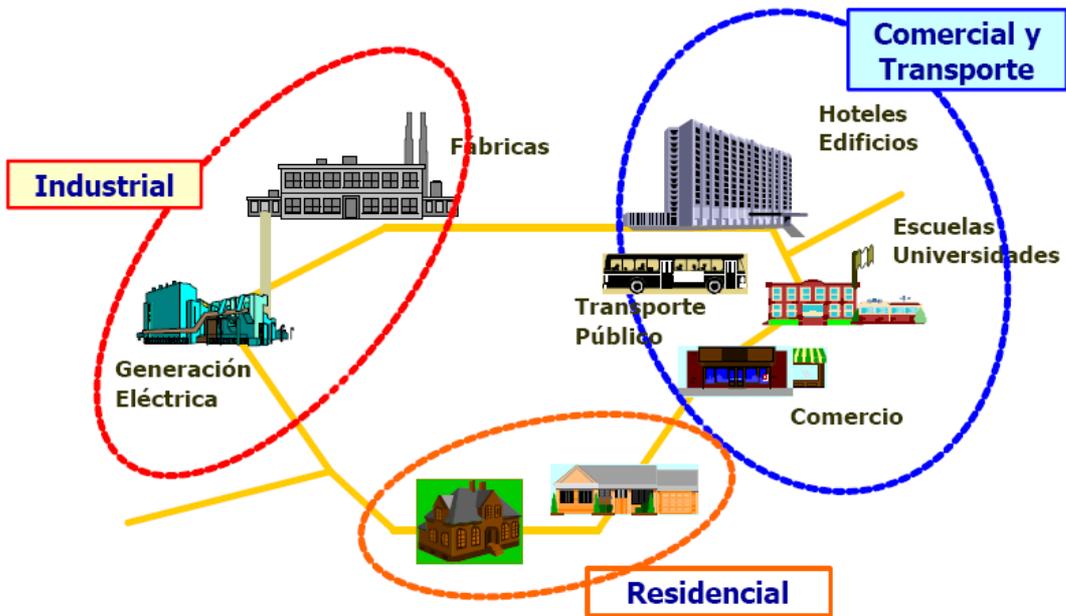
Gas natural para uso comercial y doméstico

A.- En el Sector Comercial: Se utiliza como combustible en restaurantes, panaderías, lavanderías, hospitales y demás usuarios colectivos para cocción de alimentos, servicio de agua caliente, y calefacción.

B.- En el Sector Doméstico: Se utiliza en los hogares, para la cocina, servicio de agua caliente y calefacción.

4.2.2 Mercado del Gas Natural

Los Segmentos del Mercado



4.2.4 Característica del Gas Natural Seco

El gas natural es un combustible compuesto por un conjunto de hidrocarburos livianos, el principal componente es el **metano (CH₄)**

La composición del gas natural varía según el yacimiento:

<u>Componente</u>	<u>Nomenclatura</u>	<u>Composición (%)</u>	<u>Estado Natural</u>	
Metano	(CH ₄)	95,08	gas	
Etano	(C ₂ H ₆)	2,14	gas	
Propano	(C ₃ H ₈)	0,29	gas licuable	} GLP
Butano	(C ₄ H ₁₀)	0,11	gas licuable	
Pentano	(C ₅ H ₁₂)	0,04	líquido	
Hexano	(C ₆ H ₁₄)	0,01	líquido	
Nitrógeno	(N ₂)	1,94	gas	
Gas carbónico	(CO ₂)	0,39	gas	

Las impurezas son: helio, oxígeno, vapor de agua.

Las propiedades del gas natural según la composición del cuadro anterior son:

Densidad relativa: 0,65 Poder calorífico: 9,032 kcal/m³

C_p (presión Cte): 8,57 cal/mol.°C C_v (volumen Cte): 6,56 cal/mol.°C.

5.- NORMA TECNICA PERUANA DEL GAS NATURAL

5.1 Instalaciones Internas Industriales NTP 111010

Diseño y Dimensiones del Sistema de Tuberías

Toda la instalación deberá estar dimensionada para conducir el caudal requerido por los equipos de consumo en el momento de máxima demanda. Asimismo, para las ampliaciones futuras previstas; se debe tener en cuenta las limitaciones en la pérdida de carga y la velocidad, indicadas más adelante.

El diseño debe incluir la ubicación y trazado del sistema de tuberías de la instalación con todos los accesorios, las dimensiones de los diferentes tramos y derivaciones, la capacidad necesaria para cubrir la demanda y la ubicación del punto de entrega de gas, entre otros.

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

Condiciones básicas para las dimensiones.

* Las dimensiones de la tubería de gas natural seco depende entre otros de los siguientes factores:

- a) Máxima cantidad de gas natural seco requerido por los equipos de consumo.
- b) Demanda proyectada futura, incluyendo el factor de simultaneidad.
- c) Caída de presión permitida entre el punto de suministro y los equipos de consumo.
- d) Longitud de la tubería y cantidad de accesorios.
- e) Gravedad específica y poder calorífico del gas natural seco
- f) Velocidad permisible del gas.

* Los rangos de caída de presión considerados debido a los accesorios y en general todos los elementos intermedios en el tramo de tubería incluyendo a esta.

* El tramo de tubería comprendida entre la válvula de bloqueo de servicio del distribuidor de gas y la entrada a los reguladores de la Estación de Regulación de

presión y medición primaria, se calculará con una caída de presión máxima no superior al 10% de la presión mínima de suministro.

* Los tramos de la red interna comprendidos entre dos etapas de regulación se calcularán con una caída máxima del 50% de la presión regulada al comienzo de esos tramos. El cálculo de estos tramos deberá garantizar las condiciones mínimas de presión y caudal requerido por los equipos de consumo ubicados aguas abajo.

* Los tramos de tubería que alimentan directamente los equipos de consumo, serán calculados de la misma forma y el cálculo de estos tramos deberá garantizar las condiciones mínimas de presión y caudal requerido por el equipo de consumo.

* En todos los puntos de la instalación la velocidad de circulación del gas deberá ser siempre inferior a 30 m/s, para evitar vibraciones y ruidos excesivos en el sistema de tuberías.

* Para las dimensiones de las tuberías, se admitirán fórmulas de cálculo reconocidos, las cuales deben considerar el rango de presión de cálculo. Los datos obtenidos deberán responder por lo menos, a las exigencias de:

- a) La fórmula de Poole para presiones hasta un máximo de 5 kPa (50 mbar)

$$Q = \sqrt{\frac{D^5 \cdot h}{2 \cdot s \cdot l}}$$

Donde:

Q caudal en m³/h (condiciones normales)

D diámetro en cm.

h pérdida de carga en mm. de columna de H₂O

s densidad relativa del gas

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

b) La fórmula de Renouard simplificada para presiones en el rango de 0 kPa a 400 kPa (0 bar a 4 bar); válida para $Q/D < 150$

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

Donde:

P_A y P_B presión absoluta en ambos extremos del tramo, en kg/cm^2 A

s densidad relativa del gas.

L longitud del tramo en km, incluyendo la longitud equivalente de los accesorios que la componen.

Q caudal en m^3/h (condiciones normales)

D diámetro en mm.

c) Para el cálculo de velocidad de circulación del fluido se utilizará la siguiente fórmula:

$$v = \frac{365,35 \cdot Q}{D^2 \cdot P}$$

Donde:

Q Caudal en m^3/h (condiciones normales)

P Presión de cálculo en kg/cm^2 absoluta

D Diámetro interior de la tubería en mm.

v velocidad lineal en m/s

Definido el diámetro, material de tubería y presión de diseño, se debe especificar el espesor de pared, de manera que cumpla con las pruebas de estanqueidad y condiciones operatorias.

El espesor mínimo de la paredes de las tuberías de acero roscadas; o soldadas de diámetro $< 2''$, debe ser conforme a otras características.

En la tabla 2, tabla N° 3 y tabla N° 4, se indica los espesores mínimos para tuberías de acero, polietileno y cobre respectivamente.

TABLA N° 2 – Tubería de acero

Diámetro nominal		Espesor mínimo de la pared (mm.)
mm.	Pulgadas	
10.3	1/8	1.7
13.7	1/4	2.2
17.1	3/8	2.3
21.3	1/2	2.8
26.7	3/4	2.9
33.4	1	3.4
42.2	5/4	3.6
48.3	1 1/2	3.7
60.3	2	3.9

REF. ANSI/ASME B36.10

El espesor mínimo de la pared de las tuberías de polietileno se indica en la tabla 3:

TABLA N° 3 - Tubería de polietileno SDR 17,6 serie métrica

Tamaño nominal (mm)	Espesor de la pared (mm)
32	2.3
40	2.3
63	5.8
110	6.3
160	9.1
200	11.4
250	14.2

REF. ISO 4437/ CEN prEN 1555

TABLA N° 4 – Tubería de cobre

Diámetro externo		Espesor de pared	
Pulgadas	milímetro	pulgada	milímetro
5/8	15.9	0.040	1.02
3/4	19.1	0.042	1.07
7/8	22.3	0.045	1.014
1 1/8	29	0.050	1.27

REF. ASTM B837

El espesor mínimo de la pared de las tuberías de cobre deberá ser de 1 mm.

Construcción del Sistema de tuberías.

* Las tuberías de gas deben instalarse, en la medida de lo posible, en líneas rectas, debiéndose evitar los cambios de dirección innecesarios.

* Las tuberías deberán ser instaladas de manera que sean fácilmente accesibles para la inspección y el mantenimiento. Asimismo, que su operación no presente dificultades ni implique riesgos, debiendo para tal fin instalarse cuando resulte necesario pasarelas, plataformas, conductos, etc. Se deberán prever elementos de unión suficientes tales como bridas, uniones dobles, otros, que permitan el cambio de los elementos y/o aparatos que componen la instalación.

* Las tuberías deberán ser instaladas de tal manera de evitar tensiones. Los cambios de dirección en las tuberías metálicas se deberán realizar por medio de accesorios normalizados, no pudiendo en consecuencia efectuarse doblado de tuberías. En el caso de tuberías de polietileno, los cambios de dirección por medio de curvas se podrán efectuar con un mínimo de 25 veces el diámetro nominal de la tubería, siempre en acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes.

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

* No deben instalarse tuberías en las inmediaciones de cables eléctricos, tuberías de calefacción u otras instalaciones que puedan causar daños. En la **figura N° 1** se indica las distancias mínimas entre las tuberías que conducen gas y las tuberías de otros servicios.

* Está prohibido instalar tuberías de gas en el interior de otros conductos o canalizaciones utilizadas para fines distintos como, por ejemplo, las tuberías de ventilación o los conductos para la evacuación de desperdicios, pozos de ascensores, desagües, sistemas de alcantarillado, etc.

* Las tuberías que cruzan pisos o paredes deberán contar con una camisa protectora o “pasamuro”.

* Si las tuberías están instaladas en ductos, estos deberán tener uniones soldadas. Así mismo, deberán contar con ventilaciones inferiores y superiores, y ser accesibles para el mantenimiento y la inspección.

* No se podrán instalar tuberías en pasadizos donde vehículos o personas puedan dañarlas, tropezando, golpeándolas o ejerciendo presión sobre ellas.

* Se evitará en la medida de lo posible instalar tuberías en cavidades, cielo rasos, o empotrados en paredes.

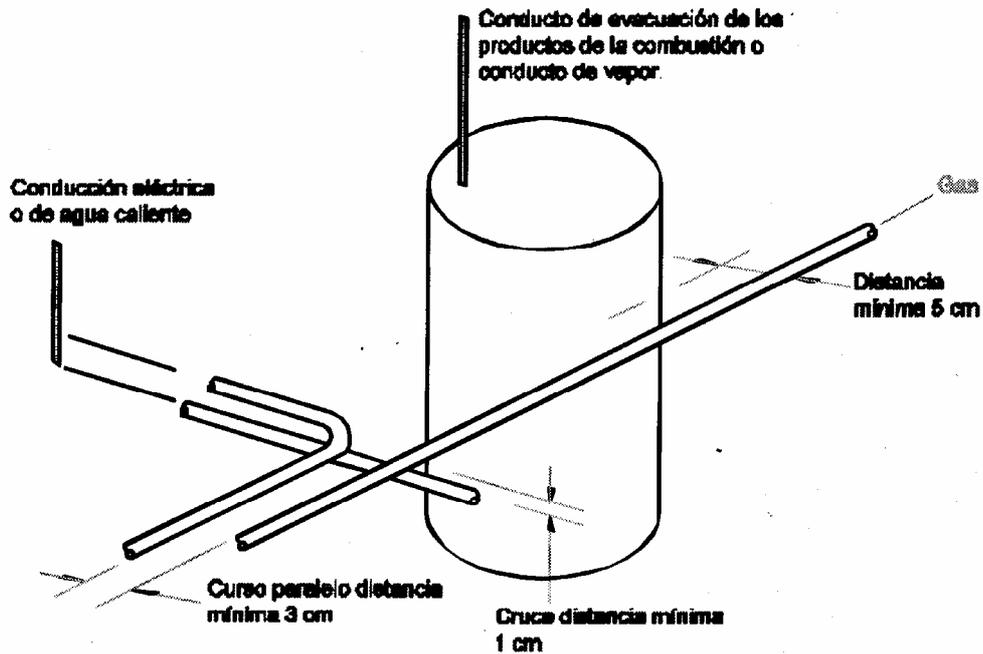


Figura N° 1

En la tabla N° 5 se encuentra la distancias mínimas entre tuberías que conducen gas instaladas a la vista o embebidas y tubería de otros servicios.

Tabla N° 5

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

Técnicas para Realizar Las Uniones de Tuberías.

La siguiente tabla N°6 recomienda las técnicas que deben utilizarse para las uniones en la construcción de nuevos sistemas de tuberías.

TABLA N° 6 – Técnicas para las uniones de tuberías

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

En tuberías enterradas sólo se podrán usar uniones soldadas.

Los accesorios de transición subterráneo-aéreo para tuberías enterradas de polietileno hacia tuberías aéreas de acero o cobre, pueden ser utilizados donde sean requeridos. Estos últimos deberán ser fabricados de acuerdo a estándares reconocidos y aprobados.

Construcción de Tuberías Subterráneas.

* Los materiales que se pueden utilizar son el acero revestido, el polietileno y el cobre revestido, según la especificación de materiales anteriormente definida.

* Esta norma técnica solo recomienda uniones soldadas para el acero y el cobre, y uniones por fusión para el polietileno.

* La instalación de las tuberías de polietileno, sus accesorios, así como la transición entre este y otros materiales debe ser conforme a UNE- EN 12007-2 ó normativa equivalente como la ASTM D 2774.

* Se recomienda usar los siguientes SDR para las presiones de operación descritas en la Tabla N° 7.

TABLA N° 7

Resina	SDR 17,6	SDR 11
PEMD PE 80	-----	4 Bar
PEAD PE 100	6 Bar	6 Bar

PEMD Polietileno de media densidad

PEAD Polietileno de alta densidad

* Los tres materiales acero, polietileno y cobre deben depositarse a cierta profundidad en zanjas. La zanja y el material de relleno deben estar exentos de objetos cortantes (por ejemplo piedras) a fin de evitar daños en las tuberías o el deterioro de su revestimiento. Las tuberías deben instalarse sobre un lecho de arena y la profundidad mínima de la capa de recubrimiento deberá ser de 60 cm.

Dentro de la zanja, la distancia con respecto a otras tuberías o cables debe ser, como mínimo, de 20 cm en los tramos paralelos y 10 cm en los puntos de cruce.

* No deben instalarse tuberías subterráneas debajo de edificios o construcciones.

* Las uniones metálicas deberán ser revestidas de manera de asegurar la continuidad del revestimiento de las tuberías. En el caso de las tuberías metálicas se recomienda aplicar la técnica de los tres componentes (capa de imprimación/cinta de butilo/cinta de PE). El método que se aplique deberá ser Aprobado.

* El recubrimiento de las tuberías de acero debe inspeccionarse cuidadosamente antes de instalar las mismas en las zanjas. Todo deterioro del recubrimiento debe repararse con la técnica de los tres componentes.

* Antes de ingresar las tuberías en el recinto industrial, deberá efectuarse la transición de PE a acero/cobre a 1 metro de distancia del muro exterior.

* Se deberán instalar carteles o una señalización adecuada para advertir la ubicación de la tubería enterrada.

* Para mayores alcances de tuberías enterradas, revisar también el Reglamento de Distribución de Gas Natural por Red de Ductos D.S N° 042-99-EM.

Construcción de tuberías de Superficie.

* Las estructuras en las que se fijen las tuberías deben ser sólidas. Las tuberías no deben estar sujetas a ningún tipo de tensión.

* Las uniones y los accesorios mecánicos deben quedar visibles.

* Las tuberías que pasen a través de un muro o un suelo, deberán hacerlo instalando una camisa o tubo plástico alrededor de las mismas. Se recomienda plásticos con buenas características mecánicas como el PVC o PE.

* El contacto con productos químicos o humedad constante debe evitarse instalando las tuberías como mínimo, a 5 cm por encima del nivel del suelo o piso.

* Si la tubería se instala en un conducto, deberán cumplirse los siguientes requisitos:

- El conducto deberá ser recto.
- Sus paredes deberán ser ignífugas.

* La ventilación se efectuará por medio de dos aberturas, la más baja deberá ser de 200 cm² y la superior de 250 cm².

* Todas las tuberías expuestas deberán pintarse de amarillo canario.

* La tubería de gas deberá estar conectada con la puesta a tierra de la instalación eléctrica.

* No deben instalarse tuberías en pasadizos donde podrían ser objeto de golpes o daños por personas, vehículos o similar.

Soportes, Anclajes y Ganchos.

Las tuberías deben ser soportadas con ganchos, abrazaderas, soportes colgantes o soportes de escuadra, de una resistencia y configuración adecuada, localizados en intervalos de espacio adecuados para prevenir o amortiguar una vibración excesiva. La tubería debe ser anclada para prevenir esfuerzos indebidos sobre los equipos conectados y no debe ser soportada por otras tuberías. Los ganchos y soportes de la tubería deben cumplir con la norma ANSI-MSS SP58.

El espaciamiento de los soportes en la tubería de gas no debe ser mayor que el indicado en la tabla 8.

TABLA N° 8 – 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	1/2	1,25	4
¾ o 1	2,45	8	5/8 o ¾	1,85	6
1 1/4 ó mayores (horizontales)	3,0	10	7/8 o 1	2,45	8

Los soportes, ganchos y anclajes deben ser instalados de manera que no interfieran con la libre expansión y contracción de la tubería entre los puntos de anclaje. Todas las partes del sistema de soporte deben ser diseñadas e instaladas de tal manera de evitar la corrosión y que no se desenganchen por el movimiento de la tubería.

Si la tubería que contiene el gas natural seco debe ser desmontada, la línea debe desconectarse de todas las fuentes de gas y ser purgada totalmente con aire, agua o un gas inerte antes de efectuar cualquier corte o soldadura.

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 deberá efectuarse aumentando la presión gradualmente y tomando las medidas de seguridad que corresponda.

La prueba de presión de hermeticidad deberá ser de 1,5 veces la presión máxima admisible de operación (MAPO) por un lapso no menor 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 100 mbar como mínimo,

Se elaborará el ACTA DE HERMETICIDAD que deberán incluir como mínimo los siguientes datos:

- Identificación de la instalación comprobada, con su plano correspondiente
- Resultados de las pruebas de comprobación, que incluye presiones antes y después de las pruebas, duración, resultados
- Nombre y fecha de la empresa que efectúa la prueba
- Nombre y fecha del verificador.

Plano Conforme a Obra

Tras la construcción de un sistema de tuberías internas para gas natural seco, el propietario de la instalación deberá presentar un plano detallado del mismo a la Autoridad Competente. Dicho plano deberá archiversse y estar disponible a lo largo de toda la vida útil de la instalación. Asimismo deberá incluir, por lo menos, los datos siguientes:

- Ubicación de las tuberías, con referencias claras a su posición (plano isométrico) con respecto a objetos fijos exteriores.
- Profundidad de las tuberías subterráneas
- Diámetro y material de las tuberías.
- Accesorios e instrumentos complementarios.

Recomendaciones Generales para el Diseño, la Ejecución y la Puesta en Marcha.

Recomendaciones Generales para el Diseño:

- * Contratar una Empresa Instaladora de Gas para el diseño de la instalación interna de gas natural seco.
- * Dibujar un “lay out” general de la instalación (ver ejemplo en figura 2 y 3).
- * Especificar los materiales y métodos de unión, así como los accesorios adecuados y los equipos de consumo.
- * Calcular los diámetros de las tuberías (ver ejemplo de plantilla en tabla 9).
- * Solicitar la aprobación del diseño a la Autoridad Competente.

Recomendaciones generales para la ejecución:

- * Contratar una Empresa Instaladora de Gas para ejecutar/instalar la instalaciones internas de gas natural seco.
- * Ceñirse al plano de “lay out”.

- * Usar los materiales anteriormente especificados
- * Trabajar la construcción del sistema de tuberías respetando las medidas de seguridad.

Recomendaciones generales para la puesta en marcha de la instalación:

- * Realizar la prueba de presión de hermeticidad, mínimo 1.5 x MAPO
- * Solicitar la aprobación del Distribuidor para la habilitación de la instalación interna
- * Habilitar el servicio en presencia del Distribuidor
- * Purgar la instalación hasta alcanzar 100% de gas natural seco en el sistema de tubería
- * Habilitar los equipos de consumo

6. INGENIERIA DE PROYECTO

6.1 Cálculo y Diseño del Equipo de Gas Natural Seco

6.1.1 Uso del vapor o consumo

La caldera será usada para genera vapor para 7 Marmitas, el consumo de estas se encuentran en la siguiente Tabla N° 9

TABLA N° 9 : Marmitas de Vapor VOSS (Alemania)

Capacidad (Litros)	Kw	Kcal/ h	MMBTU/h
50	27.00	23 212. 67	0.0928
100	35.00	30 090. 55	0.1203
150	41.00	35 248. 93	0.1762
200	54.00	46 425. 42	0.1857
300	56.00	48 144. 88	0.1925
400	70.00	60 181. 10	0.2407
450	76.00	65 339. 48	0.2613

6.1.2 Calculo de la potencia del equipo

Según los cálculos:

Son marmitas de capacidad de 450 litros = 65 339, 48 Kcal/h

Carga Térmica = 65 339.48 x 07 = 457 376. 36 Kcal/ h
= 1. 81498 MMBTU/ h

Consideramos un F.S. (factor de seguridad) = 1.3

Carga Térmica Total = 1.3 x 1.81498 = **2.35947 MMBTU /h**
= **67.4134 m3/hr**
= **599278.68 Kcal/hr**

6.1.3 Selección del equipo: Caldera

Según la Carga Térmica obtenida y la Tabla N° 10 le corresponde una **Caldera de 60 – 150 BHP**

Especificaciones de consumo y producción de caldera piro tubulares

TABLA N° 10

Caldera BHP	Producción de vapor lb/hr	Carga Termica MMBTU/hr	Potencia de bombeo HP
60 – 150	2070 - 5175	2.01 - 5.02	1
150 – 300	5175 – 10350	5.02 – 10.0	1
300 – 350	10350 – 12075	10.0 – 11.7	1
350 - 400	12075 – 13800	11.7 – 13.4	1.5
400 - 700	13800 - 24150	13.4 – 23.4	1.5

6.1.4 Selección del Quemador

TABLA N ° 11

MODELO	CAPACIDAD Kcal/ h	POTENCIA DEL MOTOR HP
91-55	550 000	1.5
91-75	750 000	1.5
91-125	1 200 000	2.0
91-180	1 800 000	4.0
91-240	2 500 000	5.5
91-280	3 000 000	10.0

Seleccionamos:

MODELO 91-75

Capacidad: 750 000 Kcal/h
Potencia del motor: 1.5 HP

POTENCIA DE EQUIPOS A GAS
Tabla N° 12

EQUIPO	DESCRIPCIO N	PRESION DE TRABAJO	BTU/h	Mcal/h	Kw	G.N m3/h	GLP m3/h
COCINA BASICA	4 hornillas +horno	B.P.	38 000	9.50	11.05	1.007	0.395
COCINA INDUSTRIAL	4 hornillas + horno	MP. BP.	90 000	22.50	26.16	2.386	0.935
COCINA INDUSTRIAL	6 hornillas + horno	MP. BP.	120 000	30.00	34.88	3.181	1.246
COCINA INDUSTRIAL	6 hornillas + horno + plancha	MP. BP.	180 000	45.00	52.33	4.772	1.869
COCINA INDUSTRIAL	8 hornillas + 2 hornos +planchas	MP. BP.	320 000	80.00	93.02	8.484	3.323
CALEFON	5 lpm	BP.	30 000	7.50	8.72	0.795	0.312
CALEFON	10 lpm	BP.	60 000	15.00	17.44	1.591	0.623
CALEFON	13 lpm	BP.	78 000	19.50	22.87	2.066	0.810
CALEFON	16 lpm	BP.	96 000	24.00	27.91	2.545	0.997
TERMO GAS	50 lt.	BP.	24 000	6.00	6.98	0.636	0.249
TERMO GAS	80 lt.	BP.	32 000	8.00	9.30	0.848	0.332
TERMO GAS	130 lt.	BP.	36 000	9.00	10.47	0.954	0.374
TERMO GAS	190 lt.	BP.	40 000	10.00	11.63	1.060	0.415
TERMO GAS	220 lt.	BP.	88 000	22.00	25.58	2.333	0.914
TERMO GAS	260 lt.	BP.	104 000	26.00	30.23	2.757	1.080
SECADORA	9 kg	BP.	36 000	9.00	10.47	0.954	0.374
ESTUFA	Radiante	BP.	14 760	3.69	4.29	0.391	0.153
ESTUFA	Tiro Balanceado	BP.	18 800	4.70	5.47	0.498	0.195
ESTUFA	Exteriores	BP.	48 000	12.00	13.95	1.273	0.498
FREIDORAS	Canastilla 30 lt.	BP.	60 000	15.00	17.44	1.591	0.623
HORNO	Pizero	BP.	30 000	7.50	8.72	0.795	0.312
PARRILLA	0.3 x 0.4 m2	BP.	25 000	6.25	7.27	0.663	0.260
PARRILLA	0.3 x 0.8 m2	BP.	50 000	12.50	14.53	1.326	0.519
PLANCHA	0.3 x 0.4 m2	BP.	20 000	5.00	5.81	0.530	0.208
PLANCHA	0.3 x 0.8 m2	BP.	40 000	10.00	11.63	1.060	0.415
CALDERO	10 BHP	BP.	337 360	84.34	98.07	8.944	3.503
CALDERO	20 BHP	BP.	674 720	168.68	196.14	17.888	7.006
CALDERO	30 BHP	BP.	1012 080	253.02	294.21	26.831	10.509
CALDERO	50 BHP	BP.	1686 800	421.70	490.35	44.719	17.515
CALDERO	100 BHP	BP.	3373 600	843.40	980.57	89.438	35.030
CALDERO	150 BHP	BP.	5060 400	1265.10	1471.05	134.158	52.544
CALDERO	200 BHP	BP.	6747 200	1686.80	1961.40	178.876	70.059
CALDERO	300 BHP	BP.	10120 800	2530.20	2942.09	268.314	105.089

6.2 Conversión del Equipo de la Caldera a Gas Natural Seco.

6.2.1 Proceso de combustión del Gas natural Seco.

La composición química del Gas Natural Seco:

Metano (CH ₄)	= 85 %
Etano (C ₂ H ₆)	= 10 %
Propano (C ₃ H ₈)	= 3 %
Otros	= 2 % (no considerados)

Reacción de Combustión

La ecuación general para la combustión de un combustible es la siguiente expresión:



Donde n y m son el numero de átomos de carbono e hidrogeno, respectivamente en el combustible.

La cantidad mínima de oxígeno (del aire) que se necesita para poder quemar un combustible (n + m / 4).

Se observa en la reacción que por cada volumen de gas C_n H_m se necesita (n + m / 4) volúmenes de oxígeno. Si se toma el oxígeno del aire, cuya composición contiene 21% en volumen de Oxígeno y 79 % en volumen de nitrógeno tenemos entonces.

$$\text{Volumen de oxígeno} = 0.21 \text{ volumen de aire}$$

El volumen del aire teórico será:

$$\text{V. aire} = 4.76 \text{ V. de oxígeno}$$

Finalmente en forma general se tiene para cualquier combustible

$$\text{V. aire} = 4.76 (n + m / 4) \text{ V. aire} / \text{V. C}_n \text{H}_m$$

Entonces para la composición del Gas Natural Seco, se aplica la expresión anterior se tiene:

$$\text{V CH}_4 = 4.76 (2) = 9.52 \text{ V. aire} / \text{V. metano}$$

$$\text{V C}_2\text{H}_6 = 4.76 (3.5) = 16.66 \text{ V aire} / \text{V. etano}$$

$$V_{C_3H_8} = 4.76 (5) = 23.80 \text{ V. aire / V. propano}$$

Aplicando la segunda expresión para la mezcla de gases combustibles :

$$V_{am} = \{ 0.85 (9.52) + 0.10 (16.66) * 0.03 (23.8) - 4.76 (0) \}$$

Donde la expresión $4.76 (0) = 0$, cantidad de oxígeno que pudiera haber en la mezcla

Desarrollando la expresión se tiene :

$$V_{am} = 10.472 \text{ V. aire / V. combustible}$$

Esto quiere decir si lo expresamos los volúmenes en metros cúbicos,; diremos que por cada 1 m³ de gas natural seco (mezcla de combustible), se necesita 10.472 m³ de aire para una combustión.

TABLA N° 13
Relación de Aire / Combustible para la Combustión

COMBUSTIBLE	V. O ₂ / V. COMBUSTIBLE	V.AIRE/ V. COMBUSTIBLE
Metano	2.0	9.52
Etano	3.5	16.66
Propano	5.0	23.80
Butano	6.5	31.10
Gas Natural seco	2.2	10.47
G.L.P	6.0	28.78

6.2.2 Quemador de Gas Natural Seco

Los quemadores que mayormente se usan para GNS y GLP son tipo atmosférico, particularmente para calentar a bajas temperaturas, fácil ajuste y poco mantenimiento.

Existen muchos modelos o tipos de quemadores, pero todos operan bajo el mismo principio según figura N° 1 (ver en instalación del Quemador).

Clasificación General de Quemadores

Clasificación de quemadores de acuerdo a su sistema de mezcla aire- gas.

- a) Quemadores atmosférico de baja presión, en el cual el gas succiona a través de un ventura parcialmente el aire para su combustión, aproximadamente el 30 y 70 % del mismo y su presión de operación normalmente varia desde 15 gr/ cm² mínimo a un máximo de 250 gr/ cm².
- b) Quemadores atmosférico alta presión, es aquel que emplea la energía cinética del gas para succionar parcial o totalmente el aire requerido para la combustión a través de un venturi y su presión de operación varia de los 250 gr/ cm² hasta un máximo de 2 Kg / cm²
- c) Quemador de mezclador proporcional. Se entiende por mezclador proporcional aquel artefacto que emplea la energía cinética del aire para succionar el gas a través de un venturi, la presión del gas a la entrada del gas a la entrada del mezclador deberá ser la atmosférica. El aire de combustión que pasa a través del mezclador proporcional puede ser total o parcial.
- d) Mecanismo de premezclado. Es aquel en el que por medio de un carburador, se succiona el gas a la presión atmosférica o ligeramente superior a ella (nunca mayor de 10 gr/cm²), y el aire requerido para la combustión en la proporción que se desee. El carburador succiona la mezcla a la presión desea de trabajo.
- e) Mecanismo de relación para mezclar el aire y el gas en la boca del quemador.

Dentro de esta clasificación están comprendidos aquellos sistemas que:

- Tengan una válvula o regulador de presión que regule la presión de salida del gas de acuerdo a la presión de salida del aire.
- Esten conectados mecánicamente la válvula del aire con la válvula de gas
- Midiendo la cantidad de aire que pasa a través del quemador y de acuerdo con esta demanda, relaciona la cantidad de gas que pasa hacia el quemador por medio de la medición de este ultimo. La presión de entrada del gas depende de las caídas de presión del quemador y del tren de válvulas

Clasificación de Quemadores de acuerdo a su condición de operación.

- a) Quemador abierto de tiro inducido. Es aquel que para poder operar requiere de un tiro negativo que le permita succionar el faltante del aire de combustión.
- b) Quemador abierto atmosférico. Es aquel que no puede operar en cámara de sobre presión sino solamente en el medio atmosférico y que emplea o no el aire atmosférico para terminar su combustión.
- c) Quemador sellado de tiro forzado de pre-mezclado. Bajo esta clasificación quedan cubiertos aquellos quemadores que puedan quemar la mezcla aire-gas sin requerir del aire del medio ambiente dentro de una cámara.
- d) Quemador de mezclado en boquilla. Dentro de esta clasificación se encuentran aquellos quemadores en los que el aire y el gas son mezclado en el quemador y que no requieren de aire del medio ambiente para realizar su combustión.

Clasificación de quemadores de acuerdo a su aplicación:

a) Quemadores abiertos de tiro inducido atmosférico

- Quemadores tubular o circular multiperforado
- Quemadores tubulares o circular tipo listón
- Quemador lineal o circular con retención de llama
- Boquillas de retención de llama
- Quemador atmosférico de cerámica perforada
- Quemador infra-rojo de cerámica porosa
- Quemador infra-rojo de cerámica abierta

b) Quemador sellado de tiro premezclado.

Dentro de esta clasificación están agrupados aquellos quemadores que emplean la mezcla aire-gas para quemar dentro de una cámara de combustión con presión positiva.

c) Quemador sellado de mezclado en boquilla de tiro forzado

- Quemador de llama semiluminosa
- Quemador de llama luminosa en flujo laminar
- Quemador de llama variable

- Quemador de giro de llama semiluminosa
- Quemador de tubos radiantes
- Quemador con exceso de aire
- Quemador con exceso de aire de alta velocidad
- Quemador de exceso de aire, para calentamiento de gases o de aire de fuego directo
- Quemador de llama plana
- Quemador tipo cañón

6.3 INSTALACIÓN DEL EQUIPO PARA GAS NATURAL SECO

Para hallar el tendido de tubería tenemos que ver donde esta instalado la caldera y a donde se va instalar la acometida, donde está el sistema de medición, con su regulador y llave general de corte.

6.3.1 Instalación del tendido de tuberías

Según la NTP 111 010 nos dice que debemos usar:

- a) La fórmula de Poole para presiones hasta un máximo de 5 kPa (50 mbar)

$$Q = \sqrt{\frac{D^5 \cdot h}{2 \cdot s \cdot l}}$$

Donde:

- Q caudal en m³/h (condiciones normales)
- D diámetro en cm.
- h pérdida de carga en mm. de columna de H₂O
- s densidad relativa del gas
- l longitud de tubería en metros, incluyendo la longitud equivalente de los accesorios que la componen.

EQUIPO	Descripción	Presión Trbj.	BTU/h	Mcal/h	Kw	G.N m3/h	GLP m3/h
CALDERO	100 BHP	BP.	3373 600	843.40	980.57	89.438	35.030

Reemplazando datos para:

$$Q = 89.438$$

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$S = 0.62$$

$$L = 80 \text{ mt}$$

$$(89.438)^2 = \frac{(D)^5 \times 100}{2 \times 0.62 \times 80}$$

$$D_5 = 7935.162$$

$$D = 6.02 \text{ cm} = 2.37 \text{ pulgadas}$$

Diámetro Comercial = 2 ½ pulgadas

- b) La fórmula de Renouard simplificada para presiones en el rango de 0 kPa a 400 kPa (0 bar a 4 bar); válida para $Q/D < 150$

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

Donde:

P_A y P_B presión absoluta en ambos extremos del tramo, en kg/cm^2 A

s densidad relativa del gas.

L longitud del tramo en km, incluyendo la longitud equivalente de los accesorios que la componen.

Q caudal en m^3/h (condiciones normales)

D diámetro en mm.

Reemplazando datos:

$$\begin{aligned} (P_A)_2 - (P_B)_2 &= 48600 \times 0.62 \times 0.080 (89.43)^{1.82} / (60.2)^{4.82} \\ &= 0.0175 \text{ (kg/cm}^2\text{)}_2 \end{aligned}$$

- d) Para el cálculo de velocidad de circulación del fluido se utilizará la siguiente fórmula.

Según la Norma Técnica Peruana NTP 111.011. La presión Máxima es hasta 34 Kpa (340mbar) y la presión Mínima hasta 2.3 Kpa (23 mbar)

$$v = \frac{365,35 \cdot Q}{D^2 \cdot P}$$

Donde:

Q Caudal en m^3/h (condiciones normales)

P Presión de cálculo en kg/cm^2 absoluta

D Diámetro interior de la tubería en mm.

v velocidad lineal en m/s

Datos:

$Q = 89.43 \text{ m}^3/\text{hr}$

$D = 60.2 \text{ mm}$

P = 21 mbar (2.205 Kg/cm²) presión mínima de entrega de la distribuidora CALIDDA

Reemplazando datos:

$$V = \frac{365.35 (89.43)}{(60.2)^2 \times (2.205)}$$

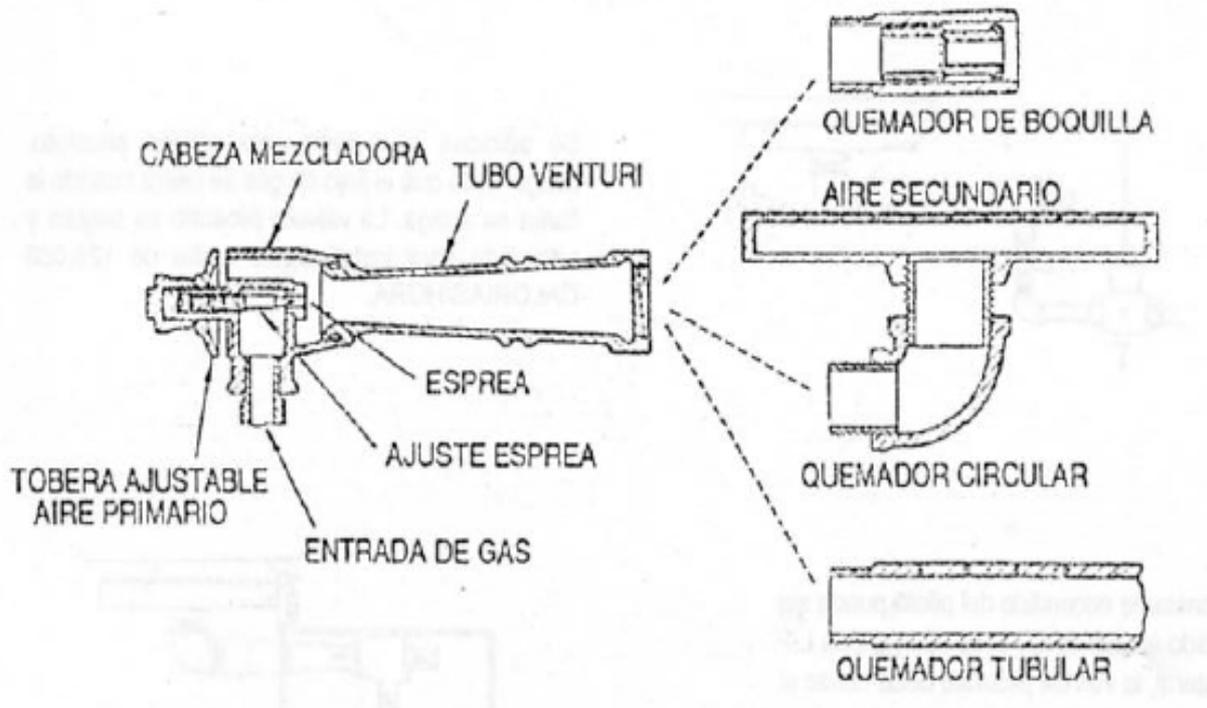
$$V = 4,09 \text{ m/s}$$

Según la Norma NTP 111.011 la velocidad de circulación del gas natural seco en la línea interior será menor o igual a 7 m/seg

6.3.2 Instalación del quemador en la caldera

Existen muchos diferentes tipos de quemadores, pero todos operan bajo el mismo principio que pueden fácilmente entenderse por el dibujo adjunto.

Figura N° 1



7.- EVALUACION ECONOMICA

7.1 Ahorro Estimado de la Conversión

7.1.1 Conversión de diesel a gas natural

Datos:

Para una caldera de 100 BHP de potencia tipo pirotubular con consumo de 8 GPH de Diesel y con un factor de servicio de 0.6 (70 horas de operación por semana) el almacenamiento de combustible para 30 días será de 11000 galones.

7.1.2 Consumo Energético de la Caldera por mes:

$$Q = m P.C.$$

P.C. = poder calorífico del combustible

m = masa del combustible

El consumo del petróleo DIESEL

$$M \text{ diesel} = 8 \times 70 \times 4 \times 0.6 = 1344 \text{ gal} / \text{mes}$$

$$P.C. \text{ del petróleo DIESEL} = 143150 \text{ BTU} / \text{gal}$$

$$Q = 1344 \text{ gal/mes} \times 143150 \text{ BTU} / \text{gal} = \mathbf{192.393 \text{ MMBTU} / \text{mes}}$$

El consumo de Gas Natural

$$P.C. = 1000 \text{ BTU} / \text{pie}^3$$

$$192.32 \text{ MMBTU} / \text{mes} = 1 \text{ MBTU} / \text{pie}^3 \times M \text{ gas}$$

$$M \text{ gas} = (192.393 \text{ MMBTU} / \text{mes}) / (1 \text{ MBTU} / \text{pie}^3)$$

$$M \text{ gas} = (192393 \text{ MBTU} / \text{mes}) / (1 \text{ MBTU} / \text{pie}^3)$$

$$M \text{ gas} = 192393 \text{ PC} / \text{mes}$$

Consumo equivalente del Gas natural en la caldera: 192.393 MPC/ mes

7.2.3 Beneficio Económico

Precio de los Combustibles con IGV

US\$ / BI	Combustible
89.8.....	GLP
173.6.....	Gasolinas 97
166.3.....	Gasolinas 95.
148.5	Gasolinas 90
132.1	Gasolinas 84
117.8	Diesel.

Precio del Diesel = \$ 2.80 / gal

Facturación por mes de Diesel = 1344 gal/ mes * \$ 2.80 / gal.
= \$ **3 763.2 / mes**

Precio del G.N. = \$ 10.00 /MMBTU

Facturación por mes de GNS = \$ 10. 00/ MMBTU * 192.39 MPC/ mes
= \$ **1 923.9/ mes**

Beneficio del Gas Natural

\$ 3 763.2 / MES – \$ 1923.9 / MES = \$ 1839.3 / MES

Ahorro en la Facturación Mensual por uso de Gas Natural:

USD 1839.3 / MES

7.2 Análisis económico

7.2.1 Gastos Operativos

ITEM	Material /Accesorios	Caracteristicas	P.Unitario.	P.Total (\$)
01	Tubo de acero de 2 ½”	80 mts.lineal	50	4,000
02	Instalación completo, mano de obra			4,000
03	Quemador			2,000
04	Medidor de Gas			500
05	Regulador de Presión			500
07	Mantenimiento		80/mes	960.0
			Total	11 960

7.2.2 Flujo de Caja Económico

Ingreso = 1839 \$/mes = 22068 \$/anual

Gastos Operativos = 11 960 \$/anual

Flujo de Caja = Ingresos – Gastos Operativos

Flujo de Caja = 22068 – 11960 = 10108 \$/anual

VAN = - 11 960 + (FC / (1+r)ⁿ)

Donde:

r = Tasa de descuento promedio (12%)

n = años

r = Considerando 12% (variable en el mercado)

FC = Flujo de caja

Evaluando para n=2 , tenemos:

$VAN = - 11960 + (FC1 / (1+r)^n) + (FC2 / (1+r)^2) +$

$VAN = -11960 + (10108 / (1.12)) + (20216 / (1.12)^2)$

VAN = 13 182 \$

7.2.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

El TIR es cuando el VAN es cero

$$\text{VAN} = -11960 + \frac{\text{FC1}}{(1+r)} + \frac{\text{FC2}}{(1+r)^2}$$

Donde:

FC1, FC2 , son conocidos anteriormente

Resolviendo cuando VAN = 0

r = 78 % > tasa de descuento (12%) , por lo tanto es rentable el proyecto

7.2.4 Tiempo de recuperación.

1 año 10108

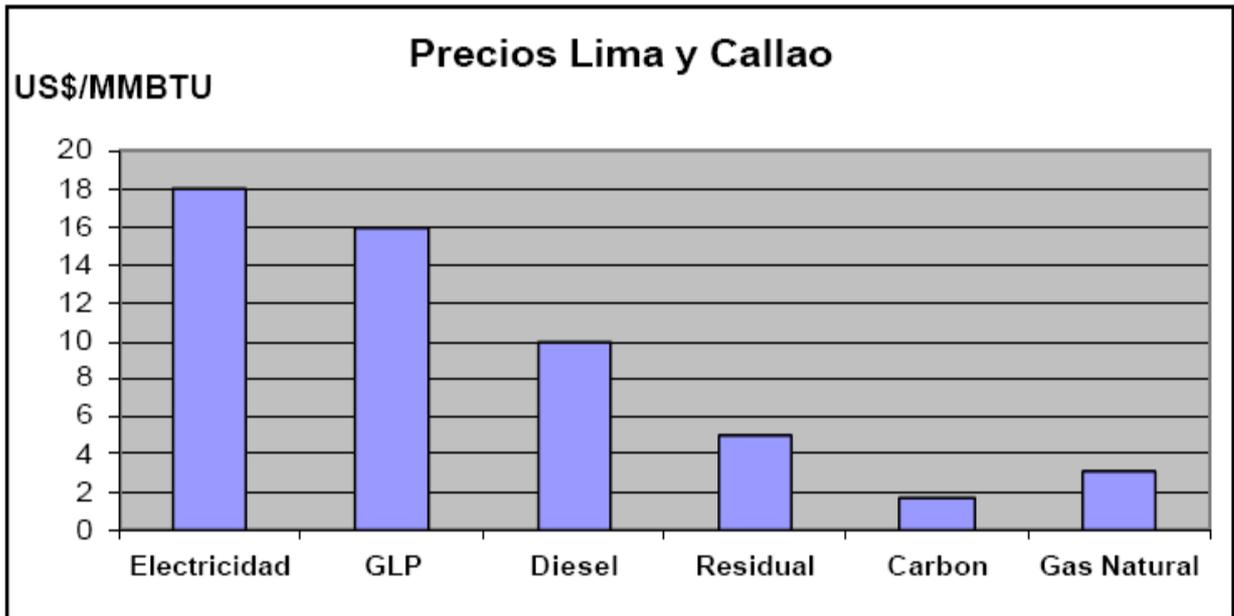
X año 13182

2 año 20216

Hallando X: Interpolando tenemos :

X = 1 año 3 meses 20 días

7.2 Análisis Comparativo con Otros Combustibles Líquidos



Fuente: OSINERG-GART, Publicación semanal de precios de combustibles

CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

1.- La experiencia en el sistema de generación y distribución de vapor, así como en múltiples referencias y ensayos, hay que tomar en cuenta que una caldera que hasta ahora trabajaba con residual, al convertirse a GN y para la misma liberación de calor, caldera y exceso de aire, disminuye su eficiencia y capacidad, ello debido a la diferente composición (y mayor volumen) de sus productos de combustión, que hace que la corriente de gases tenga un menor tiempo de permanencia y por tanto un efecto disminuido de transferencia de calor en todas las superficies, lo que a carga plena hace que para la misma liberación de calor se genere menor cantidad de vapor que con combustibles líquidos o sólidos, particularmente cuando no se cuenta con equipo de recuperación de calor (economizador o precalentador de aire).

2.- En el caso de grandes calderas de potencia, incluso varían las tasas de absorción de calor en los diferentes elementos del generador de vapor, pudiendo acarrear problemas operativos, de capacidad o de calidad del vapor, de no hacer las adecuaciones necesarias adicionales a las de cambio de combustible.

3.- Desde luego esto es una condición que debe considerarse en calderas que operan actualmente a altas cargas, pues en bajas cargas, el tiempo será suficiente aún convirtiendo a gas e incluso podría tener el beneficio de la superficie de transferencia más limpia.

4.- En particular, debe hacerse una buena elección del kit de conversión y tomar en cuenta los planes industriales futuros, pues esta disminución en capacidad real podría ser significativa al requerir mayor cantidad de vapor la instalación.

5.- Algunas soluciones si el problema se presenta son:

Incrementar la superficie de recuperación de calor residual o equipar a la caldera con dispositivos de recuperación. Operar a menor exceso de aire que con Diesel-2 Quemadores tipo "tilting" o inclinables para modificar la distribución de calor en el hogar y sobrecalentador primario

6.- Recordemos que el gas nos permite operar a temperaturas de salida de gases de combustión un poco más bajas, lo cual se traduce en un mayor potencial de recuperación de calor que con Diesel-2

7.- Lo anterior no lo mencionan generalmente quienes se dedican a la conversión de equipos, tal vez debido a que en la mayoría de los casos las calderas están sobredimensionadas y por tanto el efecto no es tan notorio. Como en nuestro caso porque la Potencia de placa es de 500 BHP y trabaja a media carga; también porque tiene mas de 50 años de funcionamiento, por lo tanto su eficiencia de operación es de 60 %

8.- Pero el ahorro esta en el pago del consumo de combustible, mensualmente un promedio de \$ 1 800 DOLARES AMERICANOS, en el año \$ 21 600 DOLARES AMERICANOS.

9.-También sabemos que el mantenimiento se hace en tiempo mas largos y ayuda la combustión porque es mas limpio en el Gas Natural Seco.

10.-Con respecto a la equivalencia exacta entre GLP Y GNV en unidades energética es de 1 galón de GLP = 2.5 metros cúbicos estándar de gas natural, en razón de que para aportar 1 millón de BTU se necesita 11 galones de GLP y 27.5 metros cúbicos de gas natural-

11.- El precio de un galón de GLP es de 6.51 (1.72 soles/litro x 3.785 litros/galón). El precio de GLP en unidades energéticas será:

$$6.51 \times 11 / 3.2 = \mathbf{22.4 \text{ US\$/MM BTU.}}$$

12.- El galón equivalente de GLP a 4 soles, representará un costo de cada metro cúbico de gas natural a 1.6 soles.

En unidades energéticas: 1.6 soles/metro cúbico x 27.5 metros cúbicos/MM BTU x US\$/3.2 soles =**13.75 US\$/MM BTU.**

13.- Si analizamos el precio anterior por energía existe la diferencia entre usar GLP o GNS y es más conveniente el uso del GNS.

Se ha inventado el galón equivalente para compararlo con nuestro GLP caro, aunque barato comparado con el Diesel con más del 100% de impuestos, evitando comparaciones con el precio en US\$/MM BTU o simplemente en soles (US\$)/ metro cúbico en los países vecinos.

ANEXO

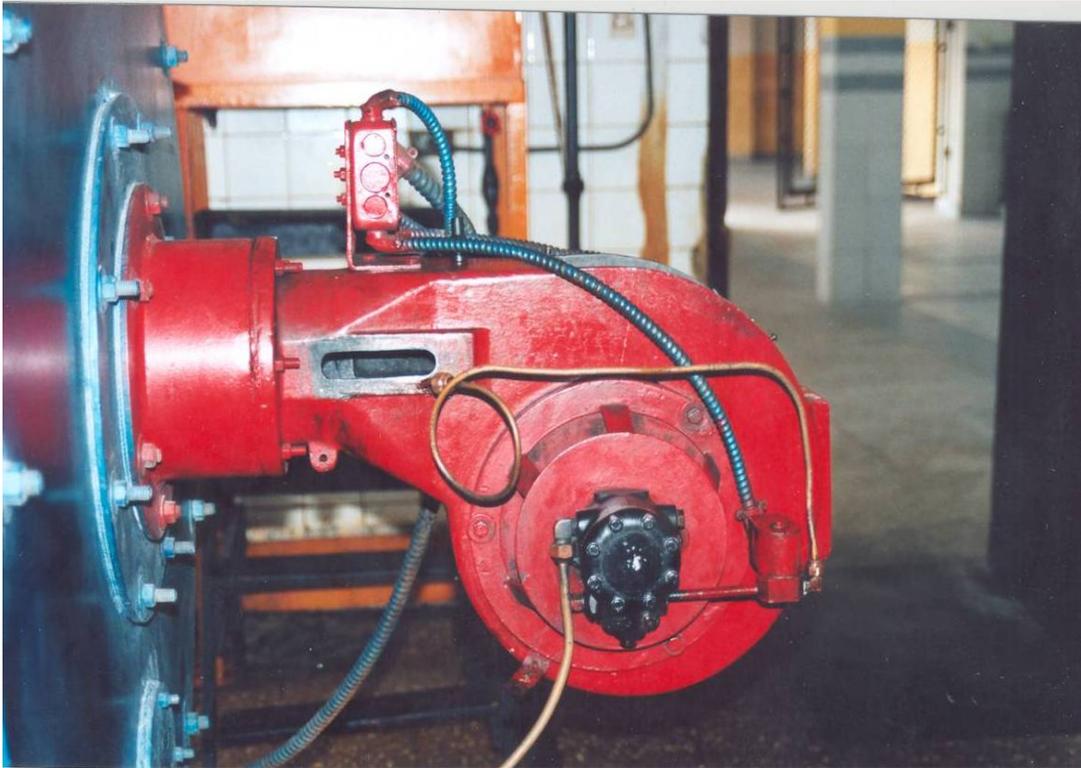
Conversión de Energía
TABLA N°

Gas natural	BTU	Kcal
1 pie cúbico	1000	252
1 metro cúbico	35 314	8 899.12

Comparativa de los combustibles por contenido energético
TABLA N°

	GNS	GLP	D 1	D 2	RESIDL 6	RESIDL 500	CARBON	LEÑA	E.E.
1 MM BTU	1000 P.C.	10.43 gal.	7.87 gal.	7.63 gal.	6.98 gal.	6.97 gal.	34.4 kg.	69.6 Kg	290.7 Kw-h

QUEMADOR DE LA CALDERA



VISTA DE LA CALDERA



LA CALDERA CON SU QUEMADOR



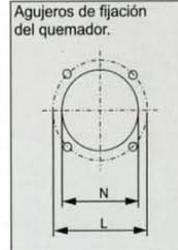
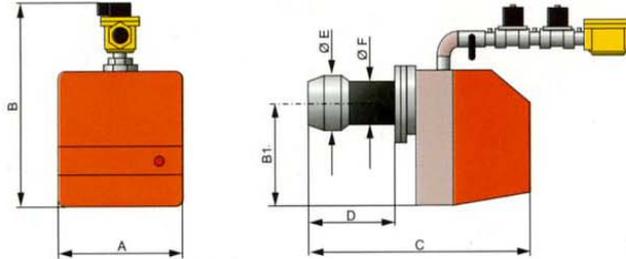
CALDERA CON SU QUEMADOR Y SU CHIMENEA



MODELOS DE QUEMADORES:

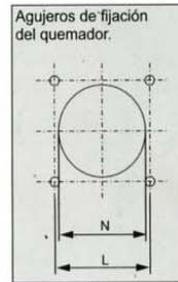
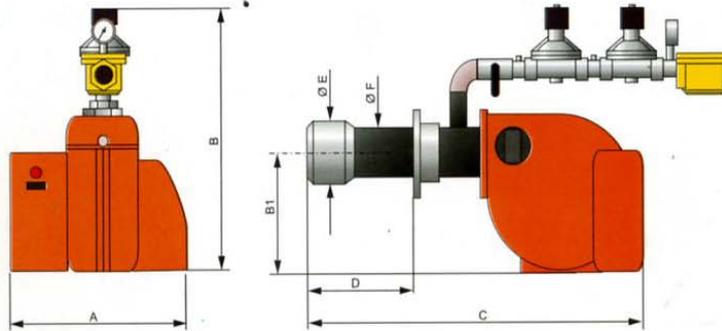
Quegador MONOTOBERA EQA-91 con carcasa de protección

Modelos
91-5
91-10
91-18
91-19



Quegador MONOTOBERA EQA-91 sin carcasa de protección

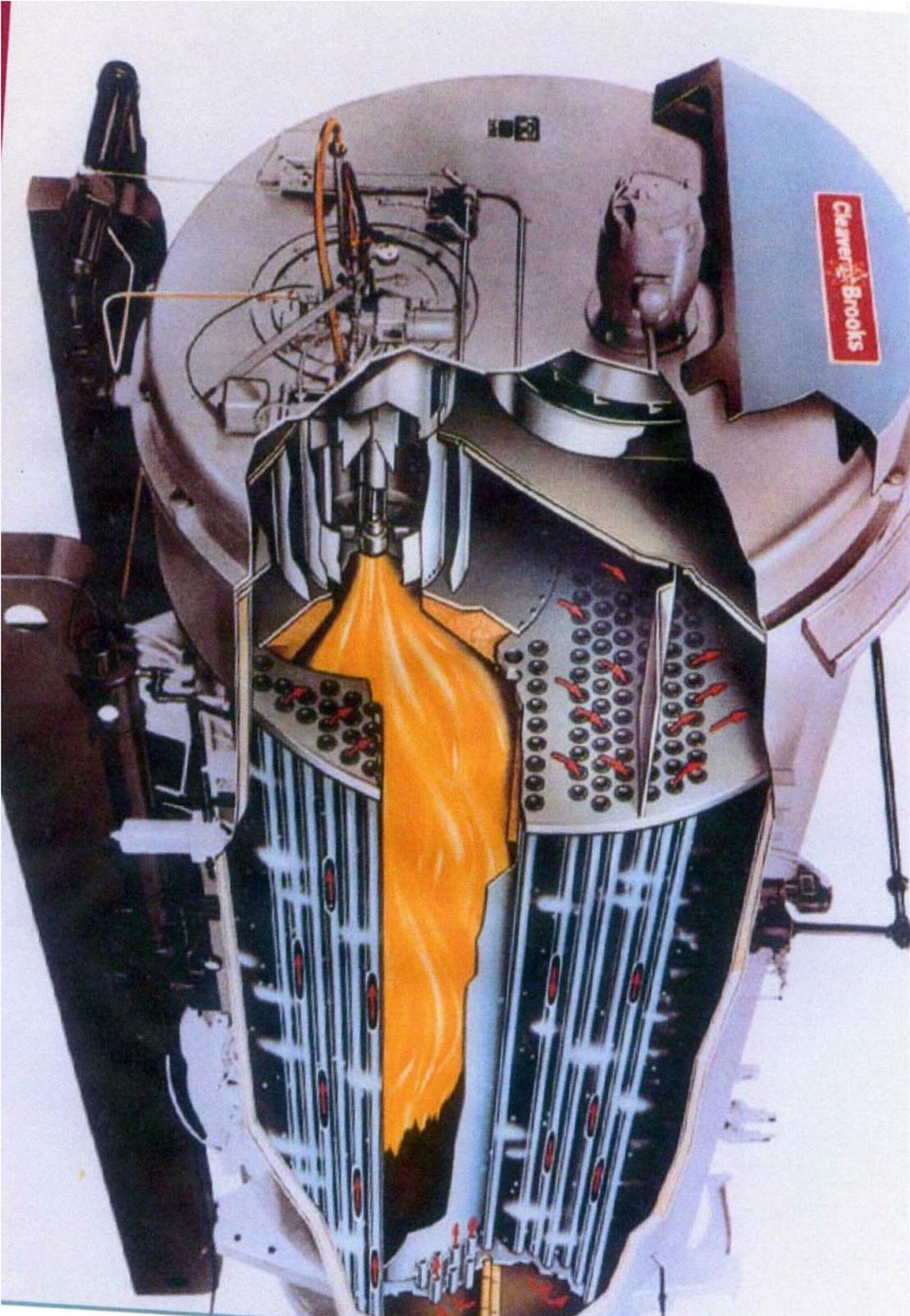
Modelos
91-21
91-22
91-25
91-28
91-45
91-55
91-75
91-125
91-180
91-240
91-280



Quegador MONOTOBERA EQA-91 - Tabla de medidas y capacidades

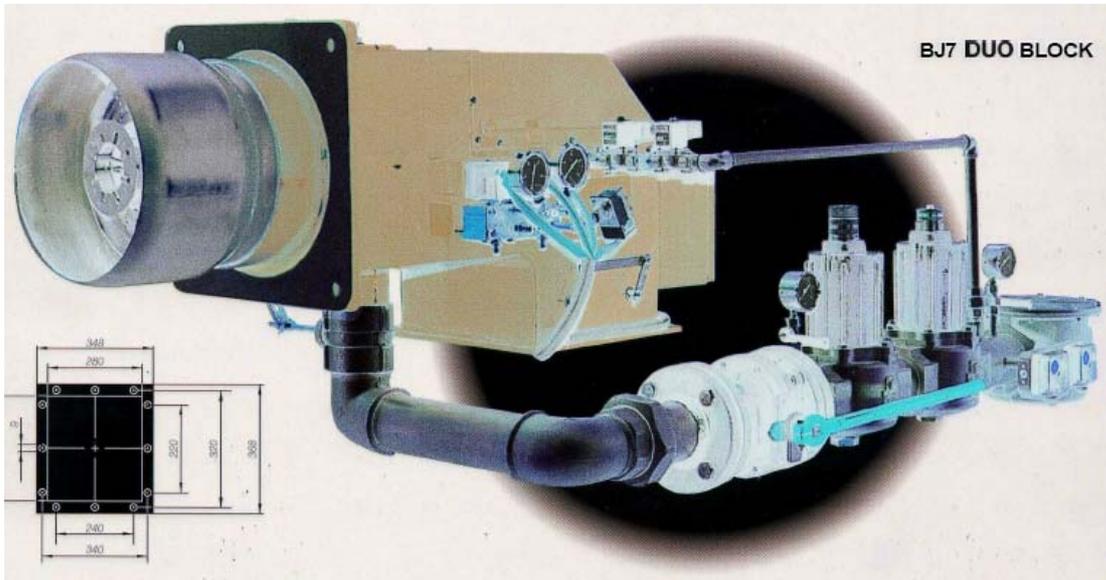
Modelo	A	B	B1	C	D min.	D max.	E	F	L min.	L max.	N	Capacidad Máxima (*)	Potencia motor	
91-5	248	461	214	425	50	105	85	85	130	155	95	60.000 Kcal/H	130 W	MONOFASICO
91-10	248	461	214	425	50	105	85	85	130	155	95	100.000 Kcal/H	130 W	
91-18	248	540	214	447	90	105	108	85	130	155	95	180.000 Kcal/H	130 W	
91-19	338	550	205	464	50	108	85	85	130	155	95	200.000 Kcal/H	130 W	
91-21	335	550	225	464	50	108	85	85	130	155	95	200.000 Kcal/H	130 W	
91-22	440	582	295	580	120	180	93	93	140	175	130	220.000 Kcal/H	0,5 HP	
91-25	429	637	270	746	120	161	126	93	140	175	130	250.000 Kcal/H	0,5 HP	TRIFASICO
91-28	490	655	280	825	150	170	155	133	140	175	165	300.000 Kcal/H	0,5 HP	
91-45	531	655	280	825	150	170	155	133	140	175	165	400.000 Kcal/H	1 HP	
91-55	531	655	280	825	150	170	155	133	140	175	165	550.000 Kcal/H	1,5 HP	
91-75	531	720	345	905	210	190	170	133	140	175	180	750.000 Kcal/H	1,5 HP	
91-125	531	720	345	1055	140	340	230	156	165	---	190	1.200.000 Kcal/H	2 HP	
91-180	551	720	345	1183	220	415	270	191	195	---	220	1.800.000 Kcal/H	4 HP	
91-240	830	1000	580	1500	300	620	320	220	240	---	240	2.500.000 Kcal/H	5,5 HP	
91-280	858	1010	580	1600	300	620	320	220	240	---	240	3.000.000 Kcal/H	10 HP	

(*) CAPACIDADES: Estos quemadores pueden otorgar una capacidad calorífica que depende de las condiciones del hogar y del proceso. Consultar a nuestros especialistas para determinar el modelo adecuado de acuerdo a la contrapresión del hogar.



TIPOS DE QUEMADORES - SEGÚN MODELOS

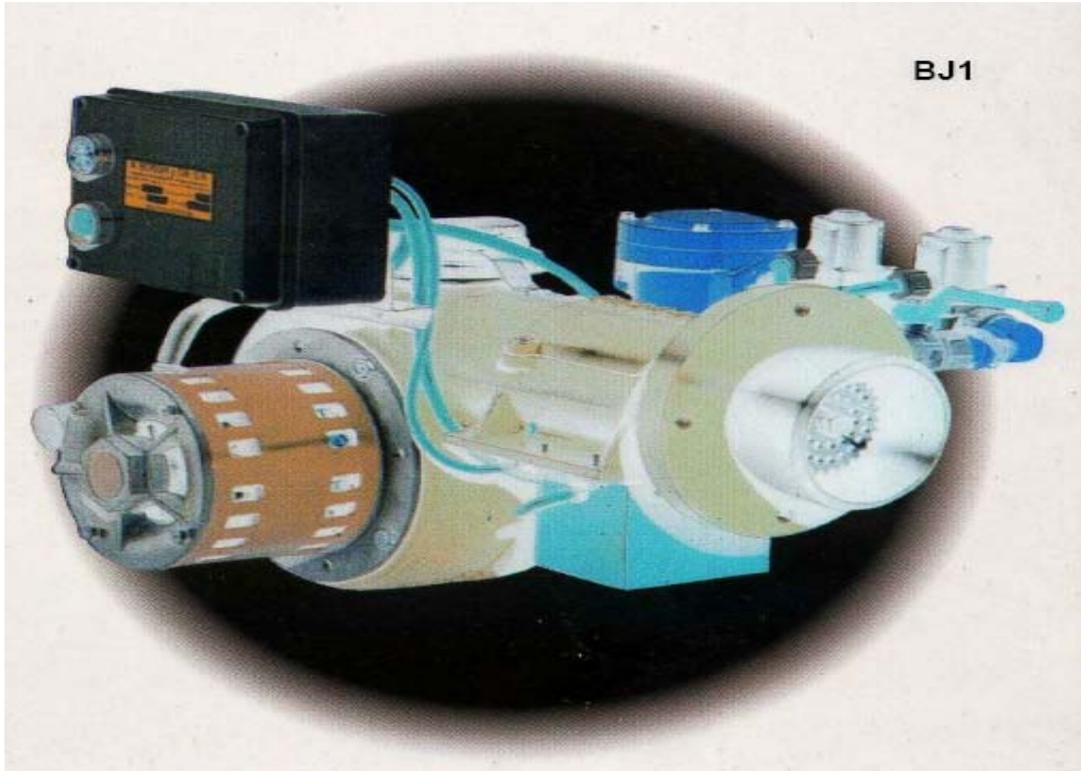
MODELO BJ 7 DUO BLOCK



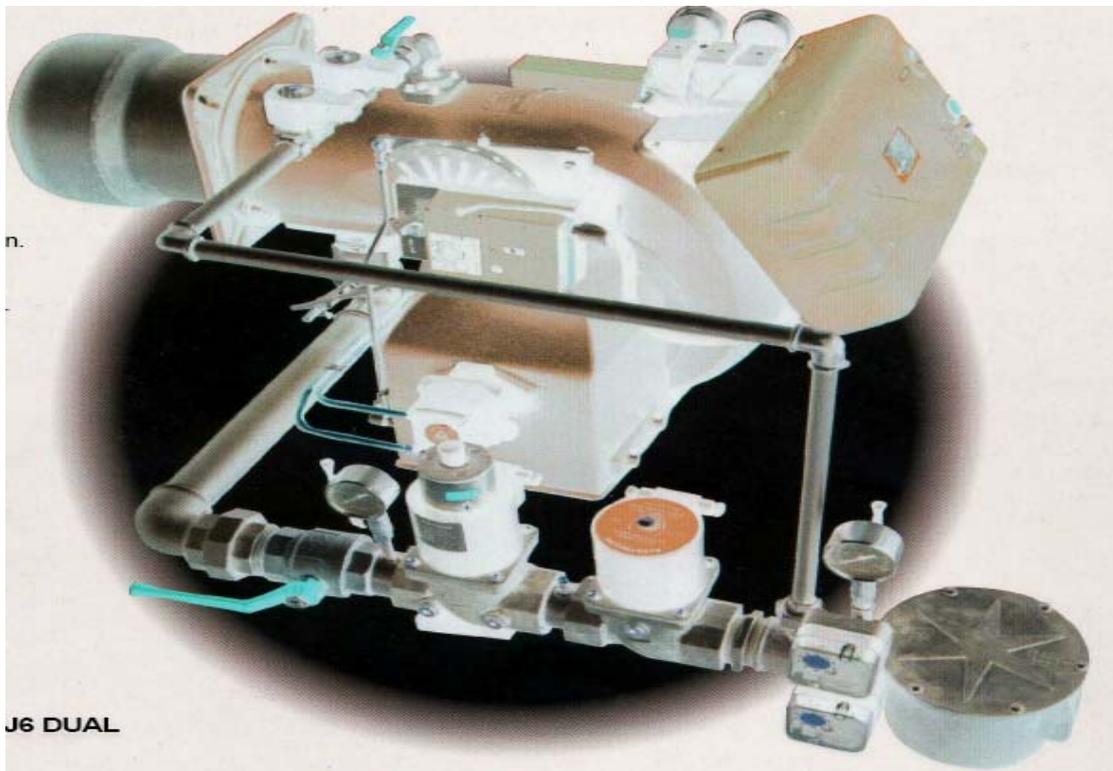
MODELO BJ 2



MODELO BJ 1



MODELO BJ 6 DUAL



Quemadores para gas



BIBLIOGRAFIA

- * **NTP 111.010**
- * **NTP 111.027**
- * **NTP 321.003**
- * **ETE ESCUELA TÉCNICA DEL EJERCITO – CALDERA QUEMADOR D-2**