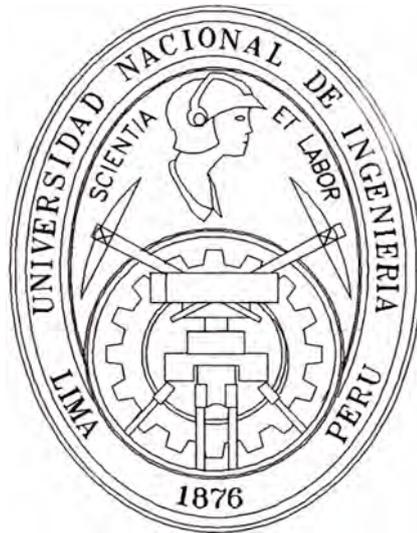


# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

*FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA*



## **ESTUDIO DEL GAS NATURAL PARA USO INDUSTRIAL**

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

**ROGGER ALEXANDER VALVERDE ROCA**

**PROMOCION : 1997 – I**

**LIMA – PERU  
2002**

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres Alejandro e Irene  
por todo el apoyo incondicional para  
lograr mi realización profesional.

**TITULO:**

**ESTUDIO DEL GAS NATURAL PARA USO  
INDUSTRIAL**

## IV

### CONTENIDO

	Página
PROLOGO	01
CAPITULO 1	03
INTRODUCCIÓN	04
CAPITULO 2	05
CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL GAS NATURAL	06
2.1.- DEFINICIÓN	06
2.2.- ORIGEN	06
2.3.- CONSTITUYENTES DEL GAS NATURAL	06
2.4.- ESTADO NATURAL	07
2.4.1.- Gas Asociado	07
2.4.2.- Gas No Asociado	07
2.5.- GAS SECO	07
2.6.- GAS NATURAL COMPRIMIDO	08
2.7.- CONDENSADOS DEL GAS NATURAL	08
2.8.- CONTAMINANTES DEL GAS NATURAL	08
2.8.1.- El Agua	08
2.8.2.- Gases Inertes	09
2.8.3.- Constituyentes Corrosivos	09
CAPITULO 3	10
FUNDAMENTOS BASICO DE A COMBUSTION INDUSTRIAL	11

3.1.- TEORÍA INORGÁNICA DE LA COMBUSTIÓN INDUSTRIAL	11
3.2.- COMBUSTIÓN ORGÁNICA E INORGÁNICA	15
3.3.- ESQUEMA BÁSICO DE LA COMBUSTIÓN INDUSTRIAL	16
3.4.- PROCESOS DE LA COMBUSTIÓN	18
3.5.- TIPOS DE COMBUSTIÓN	18
CAPITULO 4	21
EL GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE INDUSTRIAL	22
4.1.- CRITERIOS GENERALES	22
4.2.- SISTEMAS Y UNIDADES DE MEDIDA	23
4.3.- QUEMADORES A GAS NATURAL	24
4.3.1.- Funciones y Condiciones Básicas	24
4.3.2.- Quemadores con Mezcla Previa	25
4.3.3.- Quemadores Mixtos o Multifuncionales	27
4.3.4.- Adaptación de los Quemadores a los distintos gases y a la Marcha Mixta con Fuel-oil	28
4.4.- ANÁLISIS Y CALCULO PARA DETERMINAR UN QUEMADOR A GAS NATURAL	28
4.4.1.- Determinar la Necesidad Calorífica del Quemador	28
4.4.2.- Determinar el Consumo de Combustible	29
4.4.3.- Determinar el Numero de Inyectores que tendrá el quemador	30
4.4.4.- Determinar el Area de cada Inyector	30
4.4.5.- Determinar el Diámetro de cada Inyector	31
4.4.6.- Demostración	31
4.5.- MEDIDORES Y REGULADORES DE PRESIÓN DE GAS NATURAL	33
4.5.1.- Medidores de gas Natural	33

## VI

4.5.2.- Reguladores de Presión	33
4.6.- INDICE DE WOBBE	37
4.7.- EL GAS NATURAL EN GENERADORES DE VAPOR	39
4.7.1.- Equipos para calderos Industriales	40
4.7.2.- Conversión de calderos Existentes a Gas Natural	41
4.8.- ANÁLISIS DE COSTO DE COMBUSTIBLE EN UNA CALDERA DE VAPOR	44
CAPITULO 5	46
APLICACIONES Y VENTAJAS ENERGÉTICAS	47
5.1.- USOS DEL GAS NATURAL	47
5.1.1.- Insumo Energético	47
5.1.2.- Reinyección a Pozos	50
5.1.3.- Materia Prima	50
5.2.- ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO A OTRO TIPO DE COMBUSTIBLE	52
5.3.- VENTAJAS DEL GAS NATURAL EN EL TRANSPORTE	53
5.4.- VENTAJAS ECONÓMICAS	54
5.5.- VENTAJAS MEDIOAMBIENTALES	55
CAPITULO 6	57
DESARROLLO DEL GAS NATURAL EN EL PERU	58
6.1.- GENERALIDADES	58
6.1.- PROYECTO DE AGUAYTÍA	59
6.2.- PROYECTO DE CAMISEA	60
6.2.1.- Esquema del proyecto	61

## VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	68
APÉNDICE	69

## **PROLOGO**

## **PROLOGO**

El objetivo del presente Informe de Suficiencia es conocer las características, usos y ventajas para el aprovechamiento industrial del gas natural como recurso energético que ha de tener una gran repercusión en el futuro desarrollo del país.

El desarrollo del informe está dividido en seis capítulos; el Primer Capítulo es la Introducción, el Segundo Capítulo las características físico-químicas del gas natural, el tercer Capítulo los fundamentos básicos de la combustión industrial, el Cuarto Capítulo trata del gas natural como combustible industrial. En el Capítulo 5 se menciona las aplicaciones y ventajas energéticas. Finalmente el Capítulo 6 comprende el desarrollo del gas natural en el Perú.

Además de las Conclusiones y Recomendaciones, la bibliografía y los planos se acompañan también el apéndice que comprende el material complementario tales como:

**CAPITULO 1**  
**INTRODUCCIÓN**

# **CAPITULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

El gas natural generalmente ha sido considerado como un derivado o subproducto del petróleo crudo y el desarrollo de su industrialización ha estado relegado a un segundo plano por dificultades técnico-económicas y poco consumo en comparación con el petróleo. Sin embargo, en el mundo la declinación en la producción petrolera y el desarrollo de la tecnología a permitido en pocos años un avance impresionante en la industria del gas natural.

La estructura productiva peruana, tiene una estructura de requerimiento energético fundamentalmente proveniente en forma directa de los derivados del petróleo, cuya escasez altera y pone en riesgo el normal desenvolvimiento de las actividades industriales y rutinarias del país. En este sentido el descubrimiento de grandes reservas de gas natural, tendrá un efecto muy importante que incidirá en el consumo energético futuro del país y también en los niveles de asignación de inversiones; esto implica un gran reto para la planificación de estrategias adecuadas que permitan el mejor aprovechamiento del uso del gas natural en función del desarrollo tendiente al mejoramiento de las condiciones de vida en el país.

## **CAPITULO 2**

# **CARACTERÍSTICAS FISICO-QUIMICAS DEL GAS NATURAL**

## CAPITULO 2

### CARACTERÍSTICAS FISICO-QUIMICAS DEL GAS NATURAL

#### 2.1. DEFINICIÓN

Es una mezcla de hidrocarburos, esencialmente Metano (CH<sub>4</sub>) en una proporción superior al 75% en volumen con proporciones menores de otros gases líquidos y sólidos que dependen de la naturaleza del depósito.

#### 2.2. ORIGEN

Es un energético natural de origen fósil, que se encuentra normalmente en el subsuelo continental o marino. Se formó hace millones de años cuando una serie de organismos descompuestos como animales y plantas, quedaron sepultados bajo lodo y arena, en lo más profundo de antiguos lagos y océanos. En la medida que se acumulaba lodo, arena y sedimento, se fueron formando capas de roca a gran profundidad. La presión causada por el peso sobre estas capas más el calor de la tierra, transformaron lentamente el material orgánico en petróleo crudo y en gas natural. El gas natural se acumula en bolsas entre la porosidad de las rocas subterráneas. Pero en ocasiones, el gas natural se queda atrapado debajo de la tierra por rocas sólidas que evitan que el gas fluya, formándose lo que se conoce como un yacimiento.

#### 2.3. CONSTITUYENTES DEL GAS NATURAL

- Gas Metano (CH<sub>4</sub>) . Usualmente 75 - 95% en volumen.
- Hidrocarburos mas pesados en concentraciones decrecientes:

Etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)

Propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)

Butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>)

Pentano (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>)

- Gases Inertes

Nitrógeno N<sub>2</sub>

Helio

Argón

- Gases Corrosivos

Sulfuros de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S)

Compuestos Sulfurados Orgánicos

Vapor de Agua (H<sub>2</sub>O)

Dióxidos de Carbono (CO<sub>2</sub>)

- Materiales y Sólidos Condensados

Agua (H<sub>2</sub>O)

Hidrocarburos líquidos

Sólidos

## 2.4. ESTADO NATURAL

El gas natural toma diferentes nombres según la naturaleza de su ocurrencia en el reservorio:

**2.4.1. Gas Asociado.-** Cuando proviene de yacimientos de petróleo crudo, formado por:

a) Gas libre en contacto con petróleo crudo

b) Gas disuelto en el petróleo crudo

**2.4.2. Gas No Asociado.-** Cuando proviene de yacimientos de gas. Es decir en ausencia de petróleo crudo.

## 2.5. GAS SECO

Es el gas formado básicamente por metano puro que se obtiene, luego que el gas natural que fluye del subsuelo es sometido a una serie de procesos.

## **2.6. GAS NATURAL COMPRIMIDO**

El gas natural comprimido (GNC) se obtiene al ser comprimido el gas seco; para ser utilizado principalmente en el transporte.

El GNC presenta un octanaje mayor de 90 que permite lograr un alto rendimiento al ser usado en motores de combustión interna y en motores especiales gas-diesel de los vehículos.

## **2.7. CONDENSADOS DEL GAS NATURAL**

Son los líquidos del gas natural: etano, propano, butano, pentano y más pesados que son separados del metano. Estos condensados se envían a una planta fraccionadora para su separación. La mezcla propano y butano se conoce como gas licuado de petróleo (GLP).

## **2.8. CONTAMINANTES DEL GAS NATURAL**

### **2.8.1. EL Agua**

El agua puede ser arrastrada con el gas como vapor de agua o en forma de gotas, sin embargo a cada presión y temperatura dada existe una máxima cantidad de vapor de agua que el gas es capaz de contener. En este caso, se dice que el gas esta saturado.

El vapor de agua es generalmente el contaminante más importante del Gas natural.

Su eliminación o reducción es importante para:

- Evitar formación de hidratos que originan taponeos de tubos.
- Evitar acumulación de agua en tuberías porque reduce el diámetro efectivo y la capacidad de flujo.
- Evitar corrosión interna de tuberías, conexiones (codos, reducciones, etc.) equipos, especialmente si el agua contiene dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) o Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S).

### **2.8.2. Gases Inertes**

Reducen la eficiencia de los sistemas de transporte de gas y de las plantas de tratamiento y fraccionamiento (ocupan volumen y consumen calor innecesariamente). No son corrosivos.

Los principales son:

#### **a) Nitrógeno**

Se encuentra en amplio rango, hasta 34% en volumen. Probablemente su origen es atmosférico.

Su separación de otros contaminantes es complicada porque no se ha encontrado un solvente selectivo.

Su eliminación tiene ventaja económica por el incremento de la potencia calorífica del gas natural.

#### **b) Helio**

Se encuentra en cantidades pequeñas, menores de 1% en volumen. El helio es un producto de la desintegración radiactiva.

Se extrae del gas por un sistema combinado de refrigeración y fraccionamiento. Su principal uso es el llenado de dirigibles, como refrigerante industrial y en laboratorios para obtener temperaturas muy bajas.

Se forma como producto de la desintegración radiactiva de elementos pesados y como tal se encuentra en cantidades importantes atrapadas en la Tierra.

### **2.8.3. Constituyentes Corrosivos**

Se encuentran en el gas natural desde trazas hasta 10% en volumen.

Los principales son:

#### **a) Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S)**

Es muy corrosivo, olor desagradable característico. Se separa del gas natural por absorción con dietalmina (DEA) mediante el proceso Girbotol.

#### **b) Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

#### **c) Sulfuro de Carbonilo (COS)**

## **CAPITULO 3**

# **FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA COMBUSTIÓN INDUSTRIAL**

## CAPITULO 3

### FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA COMBUSTIÓN INDUSTRIAL

#### 3.1. TEORÍA INORGÁNICA DE LA COMBUSTIÓN INDUSTRIAL

La combustión es una reacción química, la reversibilidad de la misma y las múltiples posibilidades de reacciones secundarias e intermedias, establecen una serie de fenómenos no estacionarios que sólo podrían lograrse en condiciones artificiales realizadas en el laboratorio.

Esta concepción de la combustión, aplicada a la práctica industrial, resulta inmanejable y explica los deficientes aprovechamientos del poder calorífico de los combustibles industriales, producto de una combustión ineficiente y descontrolada.

La Teoría Inorgánica de la Combustión Industrial no representa solamente un intento de simplificar la tecnología de la combustión, sino que constituye la manera correcta de interpretar la forma en que se desarrolla la combustión como reacción química y como proceso fisicoquímico en el ámbito industrial. Los postulados que definen y fundamentan esta teoría son los siguientes:

#### **POSTULADO 1: Todos los combustibles industriales son lo mismo: Combinaciones Hidrógeno-Carbono**

En su concepción más simple, la combustión puede definirse como la acción de arder o quemarse de cualquier forma de materia combustible, por efecto de la reacción de sus elementos componentes con el oxígeno, formando nuevos compuestos y liberando energía en forma de luz y calor.

La energía liberada en cualquier proceso de combustión es exclusivamente exceso de energía que las nuevas moléculas formadas son forzadas a liberar, debido a su reordenamiento interno.

La gran mayoría de elementos químicos conocidos pueden combinarse con el oxígeno y casi todas las reacciones de oxidación son exotérmicas. Los combustibles industriales se

encuentran constituidos fundamentalmente por el carbono, hidrógeno y azufre, siendo el resto impurezas y componentes minoritarios.

El azufre presente en pequeñas proporciones, tiene mayor importancia como formador de agentes corrosivos, por lo cual es considerado como impureza.

En cuanto a comburentes se refiere, únicamente nos interesa el oxígeno; principalmente el aportado por el aire, el cual también se considera para efectos prácticos como constituido únicamente por oxígeno y nitrógeno.

Así, tenemos que las reacciones de combustión que nos interesan son única y exclusivamente las que se producen entre el carbono e hidrógeno del combustible con el oxígeno del aire.

**POSTULADO 2 : Todos los Combustibles Industriales se queman en la misma forma**

Para efectos prácticos hemos definido que los combustibles industriales son combinaciones variables de carbono e hidrógeno con un contenido, también variable, de impurezas.

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.

Las principales reacciones de combustión que se presentan en la práctica industrial, son las del carbono y del hidrógeno con el oxígeno, las cuales son siempre elementales y únicas:



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

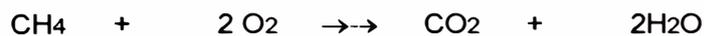
El diferente comportamiento del Carbono y el Hidrógeno al reaccionar con el Oxígeno determinará la forma característica de la combustión de cada combustible en particular.

Mientras el hidrógeno reacciona violentamente con el oxígeno en fase gaseosa formando directamente H<sub>2</sub>O, la reacción del Carbono elemental con el Oxígeno se produce en dos etapas:

- Reacción sólido-gas entre el carbón elemental y el oxígeno formando CO.
- Reacción gas-gas entre el CO y el oxígeno formando CO<sub>2</sub>.

En términos generales, se puede definir que la facilidad con que se combustiona el hidrógeno como gas y la dificultad con que se produce la combustión de las partículas sólidas de carbono, resultan determinantes en el comportamiento de cualquier elemento combustible, siendo los factores determinantes su proporción de hidrógeno y la forma de combinación en que se encuentra el carbono.

Analicemos como un ejemplo típico el caso de la combustión del Metano:



En la cámara de combustión el CH<sub>4</sub> se disociará en 2H<sub>2</sub> y C elemental. El H<sub>2</sub> reaccionará violentamente aportando importantes cantidades de calor y formando H<sub>2</sub>O.



El carbono atómico producto de la disociación, en presencia de oxígeno, formará rápidamente CO y completará la reacción de combustión en fase gaseosa, formando CO<sub>2</sub> como producto final de combustión aportando la cantidad correspondiente de calor.



La cantidad total de calor liberada será la suma de las aportadas por la combustión de ambos en forma individual, menos la invertida para disociar su composición original de acuerdo a la siguiente reacción:



**POSTULADO 3 : La partícula elemental de carbono representa el núcleo básico de la combustión industrial**

En la práctica, la combustión del carbono resulta mucho más importante que la del hidrógeno por 2 razones fundamentales:

- La proporción del carbono respecto al hidrógeno en los combustibles es sensiblemente mayor.

El combustible más liviano es el metano ( $\text{CH}_4$ ) con una relación C/H igual a 3 lo que significa que tiene un 75% en peso de carbono.

La proporción en peso del carbono en todos los combustibles industriales varía entre 75 y 100%.

- La combustión del hidrógeno es prácticamente instantánea en cualquier condición, mientras que el tiempo de reacción de la partícula de carbono puede ser de varios segundos, efectuándose en 2 etapas: combustión heterogénea sólido-gas desprendiendo CO y la de éste con el  $\text{O}_2$  para completar el  $\text{CO}_2$ .

De esta forma, el control sobre la llama resulta casi exclusivamente dependiente de la combustión de la partícula de carbono.

Siendo que todos los combustibles se disocian en hidrógeno como gas y partículas de carbono de diferentes características y tamaño, la cinética de la reacción resultará determinada por estas últimas y sólo influenciadas por el hidrógeno.

La partícula de COQUE es el paso ineludible por el cual tienen que transcurrir todos los combustibles en el camino a convertirse en gases de combustión y calor. Sus características dependen de su procedencia:

- Si provienen de carbón mineral o cualquier combustible sólido, de la naturaleza y características del carbón original, condiciones de molienda y comportamiento de la partícula durante el calentamiento.

- Si provienen del petróleo residual o cualquier combustible líquido, de la naturaleza y características de las fracciones de hidrocarburos que los conforman, la calidad de atomización y proporción del combustible que se craquea en fase líquida (decenas de micras) o fase gaseosa (centenas de Angstrom).

- Si provienen del craqueo del gas natural o cualquier gas combustible, las partículas serán microscópicas (centenas de Angstrom) y muy homogéneas.

**POSTULADO 4: Las partículas de carbón siempre combustionan en forma elemental y heterogénea**

Definida la reacción heterogénea como el punto de convergencia ineludible de todas las formas de combustión industrial y representando el factor fundamental de control del proceso, resultará de la mayor importancia conocer el mecanismo a través del cual se produce la oxidación de la partícula de carbón.

La reacción se inicia en la superficie de la partícula al ponerse en contacto los átomos de carbono y las moléculas de oxígeno, generalmente contenido en el aire, que actúa como comburente y se alcanzan las condiciones mínimas para desencadenar la reacción.

A temperatura ambiente, el carbón en contacto con el aire ya se encuentra reaccionando y liberando calor, aunque en forma imperceptible debido a la escasa cinética de la reacción.

La oxidación completa se produce en 2 etapas:

**Etapas 1**

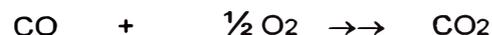
La reacción heterogénea propiamente dicha:



Al reaccionar el C con el O<sub>2</sub> forma CO que se desprende como gas.

**Etapas 2**

La reacción entre el CO desprendido y el O<sub>2</sub> disponible en el medio



La condición térmica inicial de la partícula depende del combustible original.

### **3.2. COMBUSTIÓN ORGÁNICA E INORGÁNICA**

Existen dos formas de combustión, las cuales podríamos identificarlas como Orgánica e Inorgánica precisamente, pueden considerarse similares en términos generales, pero establecen diferencias fundamentales en la práctica en cuanto a los niveles térmicos y la forma en que se realizan en la práctica.

En cuanto a los niveles térmicos, en la combustión inorgánica es mucho mayor. La diferencia entre ambas escalas la haremos mediante la siguiente comparación: mientras la

energía de los alimentos la manejamos en calorías, en el ámbito industrial se administran miles y hasta millones de kilocalorías.

Respecto a la forma en que se realiza la combustión, la diferencia fundamental la representa la ignición. En la combustión industrial la ignición de la mezcla combustible resulta imprescindible para iniciar y sostener la llama. En la combustión orgánica no podría producirse ignición ni llama, por lo cual la naturaleza ha dispuesto otra forma de reacción apropiada.

La vinculación de la combustión industrial con la combustión inorgánica se inicia al producirse la conversión de las plantas y organismos vivos en yacimientos de recursos combustibles que deshidratados y desgasificados a través de los siglos han llegado a constituir los combustibles utilizados industrialmente aprovechando el alto poder calorífico concentrado.

### **3.3. ESQUEMA BÁSICO DE LA COMBUSTIÓN INDUSTRIAL**

Los procesos de combustión en instalaciones industriales siempre obedecen a un esquema básico.

El esquema básico de la combustión industrial, establece que una buena combustión requiere 3 puntos fundamentales:

**a) Proporción correcta Aire - Combustible**

- El diseño del quemador deberá asegurar el suministro de las cantidades adecuadas de aire combustible en el sistema, estableciendo márgenes de regulación adecuados para ambos.
- Para asegurar la combustión completa deberá proporcionarse un exceso de aire, procurando que sea lo mínimo que resulte posible.
- El análisis de los gases de combustión permitirá conocer el exceso de aire y la eficiencia de la combustión.
- El análisis de los gases de combustión permitirá conocer el exceso de aire y la eficiencia de la combustión.

- En función del análisis de gases en forma manual o automatizada, se deberá efectuar ajustes en las variables de operación, controlando los resultados obtenidos.
- Manejando correctamente los puntos anteriores se logrará una combustión completa.

#### b) Mezcla adecuada Aire- Combustible

- El diseño del quemador deberá proporcionar las condiciones de mezcla aire combustible más adecuadas para cada caso.
- La mezcla debe ser uniforme y permanente para cada punto de regulación dentro de los márgenes de operación.
- El objetivo principal de la mezcla será el lograr el máximo contacto superficial entre el oxígeno y el combustible.
- El estado físico del combustible determinará las condiciones operativas que permitan preparar el combustible (pulverización, atomización, vaporización) en el caso de sólidos y líquidos, y efectuar la mezcla en forma conveniente para cada caso.
- Manejando correctamente los puntos anteriores se logrará una combustión óptima.

#### c) Ignición Inicial y sostenida de la mezcla

- El encendido o ignición inicial de la mezcla requiere el aporte de calor de una fuente externa.
- Resulta necesario aplicar mucho calor a un área localizada para acelerar la reacción.
- La mezcla se encenderá sólo al alcanzar su temperatura mínima de ignición, variable para cada combustible.
- al producir las reacciones de combustión más calor del que se pierde a los alrededores, se mantendrá la combustión sin necesidad de la fuente externa.
- Manejando correctamente los puntos anteriores se logrará una combustión auto sostenida y estable para las condiciones del proceso.

El cumplimiento de estos 3 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.

### 3.4. PROCESO DE LA COMBUSTIÓN

El proceso de la combustión implica la oxidación de los componentes en el combustible capaces de ser oxidados y puede, por lo tanto, ser representado por una ecuación química. Durante el proceso de la combustión, la masa de cada elemento permanece inalterable. Consideremos, primero, la reacción del carbono con el oxígeno.



Esta ecuación nos dice que un mol de carbono reacciona con un mol de oxígeno, para formar un mol de dióxido de carbono. Esto también significa que 12 kg. de carbono reaccionan con 32 kg. de oxígeno para formar 44 kg. de dióxido de carbono. Las sustancias que figuran al principio del proceso de la combustión se llaman REACTIVOS y las que resultan de dicho proceso se llaman PRODUCTOS.

### 3.5. TIPOS DE COMBUSTIÓN

El proceso de combustión tiene como objetivo fundamental conseguir la oxidación total del carbono y del hidrógeno para formar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O) con lo cual se produce la máxima energía en forma de calor y se evita efectos contaminantes.

La combustión se puede clasificar desde el punto de vista de la calidad de sus productos.

Se pueden 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

Este tipo de combustión se consigue mezclando y quemando las cantidades exactamente requeridas de combustible y oxígeno, las cuales se queman en forma completa y perfecta. Esta combustión se podría realizar solo en teoría donde se puede hablar de reacciones perfectamente estequiométricas.

#### b) Combustión Completa (con exceso de aire)

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 a 2 efectos importantes: disminución de la temperatura máxima posible al aumentar la cantidad de gases en la combustión; y 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.

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 expresa como 20% de exceso de aire.

#### c) Combustión Incompleta (con defecto de aire)

Cuando el oxígeno presente en la combustión no alcanza el valor teórico necesario para la formación de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{SO}_2$  la combustión es necesariamente incompleta, apareciendo en los gases de combustión el Monóxido de carbono (CO), hidrógeno y partículas sólidas de carbono, azufre o sulfuros.

Las pérdidas por combustión incompleta son elevadas cuando se proporciona menos aire del necesario. Por ejemplo un 1% de CO en los gases produce una pérdida de aproximadamente un 4% del poder calorífico del combustible.

#### d) Combustión Imperfecta

Se produce una combustión imperfecta o pseudo combustión 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.

## **CAPITULO 4**

### **EL GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE INDUSTRIAL**

## **CAPITULO 4**

### **EL GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE INDUSTRIAL**

#### **4.1. CRITERIOS GENERALES**

El gas natural ofrece la posibilidad de sustituir un gran porcentaje del consumo de petróleo en la industria, especialmente el que se consume como residual. El gas puede ofrecer múltiples ventajas a los industriales en función a sus cualidades inherentes, aparte del costo de producción.

En un gran número de industrias existen al menos dos formas dominantes de energía, la eléctrica y la térmica. Comúnmente ellas se tratan en forma separadas, es decir, la energía eléctrica se contrata con la red de distribución local y la térmica, se produce en generadores de vapor (calderas).

En el campo de la producción de energía eléctrica el gas natural ofrece una gran ventaja económica y financiera para la generación de energía eléctrica; especialmente si no se cuenta con capitales suficientes de inversión para proyectos hidroeléctricos importantes. Para producir electricidad se utilizan Turbinas hidráulicas, Turbinas a Vapor, Turbinas a gas o Motores de Combustión Diesel.

El uso de Turbinas que funcionen usando gas natural representa una alternativa muy importante no solo en centrales donde se produce energía eléctrica utilizando turbinas a gas; sino también en centrales hidroeléctricas donde se puede optimizar y mejorar el aprovechamiento de la capacidad total de electricidad instalada.

En el campo de producción de energía térmica tienen muchas aplicaciones no solo porque presenta ventajas económicas y financieras sino también operacionales y medioambientales. Una de sus usos más importantes es en los quemadores de diferentes tipos que son usados, a nivel industrial (hornos, calderos, etc.) y domestico.

## 4.2. SISTEMAS Y UNIDADES DE MEDIDA

Además de las unidades básicas: longitud, masa, tiempo y temperatura; existe una extensa gama de unidades derivadas. Las más importantes relacionadas con la industria del gas natural son:

- Volumen
- Presión
- Densidad
- Calor
- Poder Calorífico

### a) Medición de Volumen

Las tres unidades de volumen métricas, mas comúnmente empleadas son las siguientes:

- Metro cúbico standard  $m^3$  (s)      Medido seco a 15°C, 760 mmHG
- Metro cúbico normal  $m^3$  (n)      Medido seco a 0°C, 760 mmHG
- Pie cúbico standard (SCF)      Medido saturado con vapor de agua a 60°F y 30pulg. Hg.

### b) Medición de Presión

Las unidades preferentes para la medición de presión son:

$Kg/m^2$ ,  $lb/pulg^2$ ,  $N/m^2$ .

### c) Medición de Densidad

Se define como la relación entre la masa de un cuerpo y su volumen. Las unidades preferentes para expresar la densidad de un gas son:  $Kg/m^3$ ,  $lb/pie^3$ .

### d) Medición de Calor

Las unidades preferentes son:

- Kilocoría (kcal) o cantidad necesaria para elevar en un grado Celsius la masa de un kilogramo de agua.

- British Thermal Unit (BTU) o cantidad de calor para elevar en un grado farenheit la masa de una libra de agua.
- Julio (J) o cantidad de calor disipado por un vatio durante un segundo.

#### e) Medición de Poder Calorífico

El 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<sup>3</sup> normal).

El poder calorífico de un gas se expresa en kcal/m<sup>3</sup> o en KJ/ m<sup>3</sup>.

Un gas presenta dos valores de poderes caloríficos; el Poder Calorífico Superior (PCS) y el Poder Calorífico Inferior (PCI).

La diferencia entre PCS y PCI 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:

$$\text{PCI} = 0.9 \text{ PCS}$$

### 4.3. QUEMADORES A GAS NATURAL

#### 4.3.1. Funciones y Condiciones Básicas

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 de gas natural:

- **Aportar combustible en las condiciones adecuadas para su adecuado encendido y combustión:** En el caso del gas natural que llega con su propio impulso y no requiere pulverización ni atomización, esta función se limita al control y regulación del flujo a través de la presión del propio gas, en función del impulso requerido a la salida de la tobera.

- **Aportar parcial o totalmente, el aire con el oxígeno necesario para la combustión:** Al disponer el gas natural de energía cinética los quemadores podrían prescindir de aire primario, actuando el chorro de gas como flujo dominante de succión del 100% de aire secundario..

- **Mezclar el aire y combustible, aportando la energía cinética para formar la llama que resulte adecuada a la cámara de combustión y el proceso:** Esta es la principal función de los quemadores; en el caso del gas natural resulta particularmente importante, porque al contrario de los quemadores de carbón y petróleo, en los cuales la cinética de la reacción depende de la turbulencia y la intensidad de mezcla, en la combustión del gas se tiene que demorar la mezcla cuando se requiere aumentar la emisividad de la llama.

- **Encender y quemar la mezcla:** Se efectúa mediante un quemador auxiliar piloto o ignitor con Diesel o gas, que debe mantenerse hasta que el calor liberado sea mayor que el absorbido por el medio, manteniéndose estable la llama por encima del punto de ignición.

- **Desplazar los productos de la combustión, cuando se trabaja con tiro forzado:** En el caso de gas natural, siendo mayor el volumen de gases de combustión, la exigencia de impulso será mayor.

#### **4.3.2. Quemadores con Mezcla Previa**

Los quemadores de este tipo, más usados son los de Inducción del aire por el gas, llamados también **quemadores atmosféricos**, son utilizados principalmente para uso domiciliario. No es posible sustituir los diferentes gases combustibles con los que funcionan por gas natural, sin modificar los inyectores y las presiones, a fin de mantener el mismo flujo o caudal calorífico.

Estos quemadores funcionan del siguiente modo:

Una fracción de ese aire utilizado para provocar la combustión, se hace mezclar primero con el gas, constituyendo el llamado **aire primario**.

El resto del aire, denominado **aire secundario**, lo recibe la llama directamente de la atmósfera.

En general, los quemadores se componen básicamente de un **inyector** o una perforación calibrada.

Los inyectores poseen una sección que puede ser fija o graduable, por el que sale el gas a presión con un caudal y una velocidad previamente calculados. Este gas es el llamado **fluido inductor**. Al pasar desde el inyector, el fluido inductor crea dentro del cuerpo del quemador un vacío (depresión) que produce la entrada del aire primario o **fluido inducido**.

Un dispositivo regula el paso del aire primario. Este dispositivo puede ser un disco que al girar se acerca o aleja del quemador, obstruyendo más o menos el fluido de aire.

En el mezclador se produce la turbulencia que asegura una mejor mezcla del gas y el aire.

En la cabeza del quemador se produce la salida de la mezcla hacia la atmósfera y es en ella donde tiene origen la o las llamas, según el número de orificios de salida de la mezcla.

## INYECTORES

Para la conversión de gas licuado (GLP) a gas natural, los inyectores de los quemadores como los del piloto, deben tener mayor área transversal en la perforación, ya que es necesario que dejen pasar mayor cantidad de gas para mantener los mismos requerimientos energéticos. Para estos efectos se pueden perforar los mismos inyectores de gas licuado al diámetro necesario para gas natural, o reemplazar por otro inyector con el diámetro y la sección transversal adecuada.

En el criterio conversión de gas manufacturado a gas natural, se requiere que el área transversal de la perforación sea menor, ya que el poder calorífico es mayor.

### 4.3.3. Quemadores Mixtos o Multicombustibles

Los quemadores de este tipo son muy usados en la industria. Los quemadores mixtos funcionan con varios combustibles simultáneos o alternativamente. Generalmente se usan quemadores mixtos de gas natural y fuel-oil. La utilización de gas natural y fuel-oil ofrece las siguientes posibilidades:

- a) La combustión simultánea de fuel-oil y gas es una solución sencilla para obtener una llama luminosa radiante. Basta una proporción limitada de fuel-oil para elevar el factor de emisión global de la llama. Los quemadores mixtos, quemando conjuntamente los dos combustibles, encuentran aplicación en hornos de alta temperatura, en los cuales la transmisión de calor por radiación es preponderante.
- b) La combustión de una débil proporción de gas con fuel-oil puede permitir mejorar la combustión de este último, especialmente en el caso del fuel-oil pesado, difícil de quemar bien en ciertos equipos. Este principio está llamado a encontrar aplicaciones a medida que se desarrolle la lucha contra la contaminación atmosférica.
- c) La combustión simultánea o alterna de gas y fuel-oil se utiliza, independientemente de toda consideración técnica, cuando se desea, por motivos económicos, hacer que el caudal de gas sea independiente de las variaciones de carga térmica del aparato u horno donde se emplea. Es decir que el caudal sea constante y las modulaciones de la carga repercutan únicamente sobre el caudal de fuel-oil. También por motivos económicos o de seguridad, se desea a veces funcionar alternativamente todo el gas o todo el fuel-oil. Los quemadores mixtos, son casi siempre, sin mezcla previa de aire y gas.

En los quemadores de gas, deben introducirse algunas modificaciones:

- El encendido eléctrico debe hacerse obligatoriamente por chispa entre dos electrodos aislados, necesitando una tensión más elevada.
- La detección de llama se hace bien por electrodo de ionización durante el funcionamiento a gas y célula sensible al infrarrojo durante el funcionamiento con fuel-oil; o bien por célula sensible a los rayos ultravioleta para los dos combustibles.

#### **4.3.4. Adaptación de los Quemadores a los Distintos Gases y a la Marcha Mixta con Fuel-oil**

La adaptación de los quemadores a los distintos gases es sólo el aspecto práctico de la intercambiabilidad de gases.

Dos gases se dice que son **intercambiables** cuando son susceptibles de dar el mismo flujo calorífico, posición y comportamiento de la llama, en un mismo quemador, sin modificar nada del mismo, ni variar la presión de alimentación. Así el gas natural no es intercambiable, es decir, no puede sustituir, sin modificación del quemador a los gases manufacturados: gas ciudad, gas pobre, gas integral y gas de coquería, ni a los gases líquidos del petróleo: propano y butano.

Pero así como el estudio de intercambiabilidad tiene por objetivo definir las características de los gases susceptibles de ser utilizados indistintamente en un quemador determinado, el estudio de la adaptación de un quemador funcionando con un gas de diferente familia a su funcionamiento con gas natural, tiene por objeto determinar las condiciones de sustitución de un equipo determinado.

#### **4.4. ANÁLISIS Y CALCULO PARA DETERMINAR UN QUEMADOR A GAS NATURAL**

A continuación se analizará las características tecnológicas, y las modificaciones que se tendrían que realizar para el funcionamiento a base de gas natural de un Quemador con Mezcla Previa, para uso doméstico.

El procedimiento de cálculo para determinar el quemador a usar para determinadas condiciones es el siguiente:

##### **4.4.1. Determinar la Necesidad Calorífica del Quemador**

En base a la fórmula de calentamiento de los cuerpos, se calcula la cantidad de calorías:

$$Q = \frac{P * (Tf - Ti) * 60}{n * t}$$

Donde:

Q : Cantidad de calorías necesarias (kcal/hr)

P : Peso del cuerpo a calentar (kg)

Tf : Temperatura final del proceso (°C)

Ti : Temperatura inicial del proceso (°C)

n : Rendimiento o eficiencia del gas (0,75 = 75%)

t : Tiempo de duración del calentamiento, según la necesidad del proceso (min)

#### 4.4.2. Determinar el Consumo de Combustible

Aplicando la siguiente formula:

$$C = \frac{Q}{Pc}$$

Donde:

C : Consumo en m<sup>3</sup>/hr

Q : Cantidad de calorías necesarias (kcal/hr)

Pc : Poder calorífico del combustible

El poder calorífico del combustible se determina de acuerdo con la siguiente tabla:

GAS	Pc
Manufacturado	500 kcal / m <sup>3</sup>
Natural	9500 kcal / m <sup>3</sup>
Licuado	22400 kcal / m <sup>3</sup>

poder calorífico en los gases se mide en kcal/ m<sup>3</sup>. En los sólidos y líquidos se mide en kcal/kg.

#### 4.4.3. Determinar el Numero de Inyectores que tendrá el Quemador

Esto se logra aplicando la siguiente fórmula:

$$N = \frac{L}{d}$$

Donde:

N : Número de inyectores

L : Longitud del quemador

d : Distancia entre inyectores

El número de inyectores a utilizar en el quemador está en función de:

- La longitud del quemador : si es del tipo lineal
- Su circunferencia media : si es del tipo aro

La distancia entre los orificios debe oscilar entre 8 mm y 20 mm.

Una distancia menor restaría aire necesario a cada inyector; una distancia mayor dificultaría la propagación de llama.

#### 4.4.4. Determinar el Área de cada Inyector

Se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$A = 69,5 \frac{C}{K} \sqrt{\frac{S}{h}}$$

Donde:

A : Área o superficie del inyector (mm<sup>2</sup> )

C : Consumo de gas de cada inyector (m<sup>3</sup>/hr)

- S : Densidad relativa del gas  
 h : Presión de trabajo del gas (mm. c.a.)  
 K : Coeficiente de descarga del inyector

El coeficiente de descarga del inyector se calcula de acuerdo con la siguiente tabla:

COEFICIENTE DE DESCARGA	
Tipo 1	0,84
Tipo 2	0,97
Tipo 3	0,67
Tipo 4	0,7
Tipo 5	0,651

#### 4.4.5. Determinar el Diámetro de cada Inyector

Aplicando la siguiente formula:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

- D : Diámetro del inyector  
 A : Área del inyector

#### 4.4.6. Demostración

Determinar el diámetro de un inyector, cuyo quemador va a trabajar con gas natural, de acuerdo con los siguientes datos:

- Volumen de agua a calentar : 100 l.
- Temperatura inicial del proceso : 20 °C
- Temperatura final del proceso : 100 °C
- Tiempo de calentamiento exigido : 20 min.

1. Se determina la Necesidad Calórica del quemador:

Aplicando los datos en la formula, se tiene:

$$Q = \frac{100 * (100 - 20) * 60}{0.75 * 20} = \frac{480000}{15}$$

$$Q = 32000 \text{ kcal/hr}$$

2. Se determina el Consumo:

Sustituyendo los valores en la fórmula, se tiene:

$$C = \frac{32000}{9500}$$

$$C = 3,368 \text{ m}^3/\text{hr}$$

3. Luego, se calcula el Área del Inyector (Asumiremos un inyector Tipo I)

Efectuando los reemplazos en la fórmula, se tiene:

$$A = 69,5 \frac{3,368}{0,84} \sqrt{\frac{0,59}{180}}$$

$$A = 16,06 \text{ mm}^2$$

4. Finalmente se determina el Diámetro del Inyector:

Aplicando la fórmula se tiene:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 16,06}{3,14}}$$

$$D = 4,5 \text{ mm.}$$

## **4.5 MEDIDORES Y REGULADORES DE PRESIÓN DE GAS NATURAL**

Además de intervenir los inyectores en los quemadores para gas natural, es necesario regular los aparatos de paso del gas.

### **4.5.1. Medidores de Gas Natural**

Los consumos de las instalaciones, domésticas, comerciales e industriales, son controlados por aparatos especiales llamados medidores.

El nombre proviene de la capacidad de medir los caudales que pasan precisamente a través de ellos mismos.

Generalmente, se emplean medidores volumétricos. En ocasiones se emplean los que están basados en los sistemas denominados venturi.

Los medidores se pueden dividir de acuerdo al volumen de caudal que puedan medir:

Los de menor capacidad como medidores de uso doméstico.

Los de mayor capacidad se incluyen en el tipo de medidores industriales.

Los medidores industriales pueden servir para las instalaciones en industrias como para otras funciones, como en los controles en hospitales, agroindustriales, comercio, etc.

Debe tenerse siempre en cuenta que si se emplea un regulador domiciliario, por ejemplo de 10 m<sup>3</sup>/hr, el medidor que se debe instalar, también debe ser de 10 m<sup>3</sup>/hr.

### **4.5.2 Reguladores de Presión**

Los reguladores de presión cumplen la función de:

- Permitir que el caudal del gas, que se suministra a la red de distribución, fluya hacia la misma con el caudal y la presión adecuada y que se mantenga esta última constante a pesar de las variaciones de aquel.
- Suministra un caudal determinado (m<sup>3</sup>/hr o kg/hr) de un gas específico a una presión, también determinada, al artefacto o a los artefactos de consumo.

La siguiente figura muestra en forma esquemática un regulador de uso industrial (Ver Apéndice) . El regulador de presión consta de dos zonas principales:

- El cuerpo superior
- El cuerpo inferior

El cuerpo superior sirve de alojamiento al resorte y al tornillo de regulación.

El cuerpo inferior sirve al sistema de palancas articuladas que accionan el obturador de gas.

Entre ambos cuerpos se sitúa la membrana. El resorte queda comprimido entre los platillos metálicos. Su tensión se regula mediante un tornillo de cabeza poligonal que se fija en una posición definitiva mediante una adecuada regulación.

El gas comprimido a alta o media presión que penetra el regulador por la entrada, marcada comúnmente por la palabra Inlet, se ve regulado en su caudal y presión, con mayor o menor efectividad, por la acción del obturador.

Este obturador es accionado por el vástago unido a la membrana, a través de las palancas articuladas. De esta manera, la membrana queda en equilibrio entre la fuerza vertical ascendente, originada por la presión del gas de la cámara o cuerpo inferior.

Mediante el giro del tornillo de regulación, previo aflojamiento de la contratuerca, se aumenta la acción de la membrana contra el gas y la presión de salida del gas del regulador.

El orificio de equilibrio sirve para la entrada y salida del aire existente en el cuerpo superior que sigue el movimiento de la membrana.

Para un aumento o disminución de presión de gas, se generará un aumento o disminución de caudal.

Esto se puede relacionar con la proporción de Caudales en un mismo inyector, asimilándolo con el paso de gas por un regulador, cuando concurren las mismas condiciones de presión, temperatura y sección de paso.

El funcionamiento de un regulador de tipo doméstico es similar a los reguladores de presión industrial. Uno de los reguladores domésticos de mayor uso son los de Tipo B.

## Reguladores Domiciliarios para Gases Tipo B

### Características Estándar del regulador Tipo B

REGULACION	
Presión de Entrada (Pe)	0.1 bar a 5 bar
Presión de Salida (Ps)	9 mbar a 400 mbar
Diámetro de entrada	3/4"
Diámetro de salida	1 1/4"
Temperatura	-30°C a 60°C
Caudal	0 m <sup>3</sup> /hr a 48 m <sup>3</sup> /hr

### MODELOS DE REGULADORES TIPO B

	<b>B6</b>	<b>B10</b>	<b>B25</b>	<b>B40</b>	<b>BCH30</b>
Pe min (bar)	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8
Pe max. (bar)	4	4	4	4	4
Ps (mbar)	20/35	20/35	20/35	20/35	20/35
Caudal (m <sup>3</sup> /hr)	7.2	12	30	48	36
Pesos	1 kg.	2 kg.	2 kg.	2 kg.	2 kg.
Entrada			3/4"		
Salida			1 1/4"		

RANGOS DE CAUDAL (m <sup>3</sup> /hr)					
Pe (bar)	<b>B6</b>	<b>B10</b>	<b>B25</b>	<b>B40</b>	<b>BCH30</b>
5	7.2	12	30	48	36
0.8 A 4	7.2	12	30	48	36
0.7	7.2	12	30	48	
0.5	7.2	12	30	40	
0.4	6	12	28		
0.3	5	12	25		
0.2	4	10	18		
0.1	3	7	13		

### **Descripción del Regulador Tipo B**

El regulador Tipo B es definido cómo de acción directa y ajuste con un resorte de alto nivel de performancias y seguridad.

- Dos etapas de regulación permiten mantener la presión de salida constante, cualquiera sea la variación de presión de entrada. El ajuste se hace en fábrica.

- Posee un seguro cuya función es cortar el gas cuando el caudal es demasiado alto o de presión de salida demasiado baja ( consumo de gas demasiado importante o cañería de salida rota), o en caso de presión de entrada demasiada baja (red demasiado utilizada o cañería de entrada rota).

### **Funcionamiento del Regulador Tipo B (Ver Apéndice)**

#### **REGULACIÓN**

La regulación se realiza en dos etapas:

Una primera regulación se efectúa entre el obturador de entrada (10) y el asiento (11).

La hermeticidad al cierre se obtiene gracias a la guarnición del obturador que se apoya sobre el asiento.

La regulación se realiza por el diafragma de la primera etapa (20) que recibe por un lado la presión intermedia, y por otro lado el ajuste fijado por el resorte (21).

Esta primera regulación tiene como función el de suministrar la segunda etapa con una presión constante.

La segunda regulación se realiza entre el obturador de regulación (12) y el asiento(13).

La regulación se obtiene por el diafragma de segunda etapa (23) que recibe por un lado la presión de salida, y por el otro lado, el ajuste fijado por el resorte (22).

Existen otros tipos de Reguladores que son muy usados en uso doméstico y en calderas:

### Regulador Tipo RV47

Este tipo de regulador se emplea para: cocinas, y estufas. Sus principales características son:

REGULACION	
Presión de Entrada (Pe)	35 mbar
Presión de Salida (Ps)	2.5 a 30 mbar
Diámetro de entrada (DE)	3/8"
Diámetro de salida (DS)	1/2"
Caudal (Q)	3.5 m <sup>3</sup> /hr

### Regulador Tipo RV48

Este tipo de regulador se emplea generalmente en Calderas de vapor. Sus principales características son:

REGULACION	
Presión de Entrada (Pe)	35 mbar
Presión de Salida (Ps)	2.5 a 30 mbar
Diámetro de entrada (DE)	3/8"
Diámetro de salida (DS)	1/2"
Caudal (Q)	7 m <sup>3</sup> /hr

## 4.6 INDICE DE WOBBE

El quemador es un dispositivo donde se lleva a cabo la reacción de combustión de un combustible.

La necesidad de utilizar un gas diferente del que se ha empleado en el quemador implica, muchas veces, realizar ajustes en algunos elementos del quemador.

Para determinar si es posible intercambiar un gas por otro, se utilizan índices empíricos, como **índice de Wobbe**.

El índice de Wobbe se utiliza a muchos gases, como también a las mezclas de aire butanado y aire propanado.

El índice de Wobbe se representa por la letra **W** y se define a partir de la siguiente expresión:

$$W = \frac{PCS}{Dr^{1/2}}$$

Donde:

PCS : Poder calorífico superior del gas

Dr : Densidad relativa respecto al aire

La siguiente tabla muestra los valores del índice de Wobbe para algunos gases

GAS COMBUSTIBLE	INDICE DE WOBBE (kcal/ m <sup>3</sup> )
Gas Manufacturado	6000 - 8000
Gas Natural	13400
Butanado Comercial	21900
Propano Comercial	19800

Por ejemplo para el Metano:

Poder Calorífico : 9500 kcal/ m<sup>3</sup>

Densidad relativa: 0.554

Por lo tanto el valor del índice de Wobbe resulta:

$$W = \frac{PCS}{Dr^{1/2}} = \frac{9500}{0.554^{1/2}}$$

$$W = 12763.5 \text{ kcal/ m}^3$$

#### **4.7. EL GAS NATURAL EN GENERADORES DE VAPOR**

índice de Wobbe Aunque la elección del combustible utilizado en un generador de vapor no tenga influencia técnica sobre la producción, su incidencia sobre numerosos factores puede variar muy sensiblemente de un combustible a otro: A este respecto las ventajas específicas del gas le colocan en una situación muy favorable. Estas ventajas se derivan de las características del gas, especialmente de su estado físico, de su pureza y, de una manera particular, de la constancia de su composición y de la ausencia de azufre. Dichas ventajas, respecto a los combustibles sólidos y líquidos, son las siguientes:

- Ausencia de almacenamiento del combustible en el exterior o interior de la sala de calderos.
- No hay formación de cenizas de ninguna forma: sólidas, líquidas, fundidas (escorias) o volantes. Todos los dispositivos de recuperación y de evacuación pueden suprimirse, especialmente los separadores de polvo. La combustión del gas no contamina la atmósfera.
- No hay deposición ni formación de depósitos adherentes en las superficies de intercambio de calor de la caldera, mejorando la transmisión de calor de las partes metálicas y no aumentando la resistencia del circuito de gases.
- El caudal de combustible, fácilmente medible, permite una regulación sencilla del aire de combustión en función de aquel.
- La mezcla aire/gas puede realizarse íntimamente con un débil exceso de aire, asegurando una combustión completa y mejorando el rendimiento térmico.
- siendo la proporción de azufre prácticamente nula, no tienen que existir corrosiones en la parte final de la caldera, especialmente en los economizadores o recuperadores de aire, los ventiladores de tiro forzado y los conductos de unión.

La transformación de las calderas no presenta, en general, dificultades, reduciéndose al montaje del equipo de quemadores y órganos de seguridad y regulación, sin que la estructura de la caldera, en sí misma, sufra modificación alguna.

#### **4.7.1. Equipos para Calderos Industriales**

El material necesario para la utilización del gas natural en un generador de vapor comprende

- Quemadores
- Dispositivos de Regulación
- Sistemas de seguridad

##### **a) Quemadores en Calderos de Vapor**

Los calderos pirotubulares y los acuotubulares modernos tienen la cámara de combustión recubierta con paredes o tubos de agua. Son, por consiguiente, hogares fríos cuyas paredes están a una temperatura sensiblemente inferior a la de inflamabilidad del gas.

Esta característica de construcción tiene una consecuencia importante en lo que se refiere a las características de construcción de los quemadores.

El número de quemadores depende, esencialmente, de la potencia del caldero; por lo general los calderos pirotubulares llevan un solo quemador, y los acuotubulares de 2 a más quemadores.

##### **b) Dispositivos de Regulación**

Aunque la construcción de algunos órganos de control, de regulación y de marcha automática tiene alguna particularidad, en la utilización de gas los principios generales son los mismos que para otros combustibles (especialmente para los combustibles líquidos) y su aplicación no entraña ningún problema particular: por el contrario, la limpieza de gas y de los productos de la combustión son factores favorables para el buen funcionamiento de dichos dispositivos.

##### **c) Organos de Seguridad**

La seguridad merece ser estudiada cuidadosamente. Teóricamente, es más fácil obtener una mezcla perfecta y rápida entre el gas y el aire comburente; que por otra parte, puede aproximarse más o menos a las condiciones de una mezcla explosiva; pero también es cierto que el gas se presta más fácilmente (debido a su facilidad de manipulación) a la adaptación de dispositivos que permiten, precisamente, prevenir la realización de tales condiciones.

El conjunto de órganos de seguridad deben satisfacer principalmente tres exigencias:

- Impedir toda introducción de gas en un recinto de combustión sin que hayan sido accionados previamente los dispositivos de encendido y de que se haya controlado el funcionamiento correcto de éstos.
- Impedir toda introducción de una mezcla de gas y aire en proporciones tales que la combustión de esa mezcla no pueda hacerse correctamente.
- Asegurar la interrupción rápida de la alimentación de gas, en caso de extinción imprevista de uno u otro quemador.

Para respetar estas tres condiciones, es necesario que, en todo momento, se pueda accionar y controlar:

El caudal de gas

La presión del gas

El caudal de aire

La relación aire-gas

El tiro

Estos elementos se regulan, en general, para el conjunto del equipo: sería deseable, sin embargo, que a excepción del último, pudieran regularse para cada uno de los quemadores.

#### **4.7.2. Conversión de Calderos Existentes a Gas Natural**

A medida que progresa la disponibilidad de gas natural en una región o una industria determinada, la renovación de los equipos se hace en función de dicho combustible, ya que son pocos los casos en que se abandona una vez adoptado y apreciado. En aquellos

equipos y calderas que inicialmente empleaban otros combustibles y que, en una primera etapa, fueron adaptados al gas natural, se sustituyen, a medida que se requiere su renovación, por hornos y calderas concebidos y construidos para la utilización de dicho combustible.

Es indudable que los constructores de calderos con amplios conocimientos de gas natural pueden ofrecer instalaciones específicas que den plena satisfacción a los usuarios, tanto en resultados como en comodidad y seguridad.

Sin embargo la llegada de gas natural a nuevas zonas y regiones por extensión de redes de transporte y distribución (gasoductos), plantea la conversión de las instalaciones y, por ello, es necesario considerar las siguientes peculiaridades:

**a) Calderas construidas o equipadas para funcionar con fuel-oil**

El acondicionamiento de tales calderas es una operación sencilla y poco costosa:

- No hay que efectuar ninguna modificación en la caldera en sí misma.
- Todos los equipos auxiliares, ventiladores y órganos de regulación pueden conservarse. Concretamente, los caudales y las potencias absorbidas por los ventiladores de aire comburente y de tiro son ligeramente inferiores (disminución del exceso de aire) a cuando funcionaban con fuel-oil o carbón como combustible, ya que, teóricamente, la cantidad de aire necesaria para la combustión depende únicamente del calor desarrollado en el hogar (potencia de la caldera) y no del tipo de combustible.
- Los quemadores de fuel-oil pueden conservarse; siempre es posible disponer los quemadores de gas alrededor de los inyectores de fuel-oil. Pueden también sustituirse por quemadores mixtos de gas-fuel. Es interesante conservar los quemadores de fuel-oil, así como todos los dispositivos de alimentación cuando están instalados, puesto que permiten asegurar, en determinados casos, las variaciones de la carga a fin de mejorar la modulación en el consumo de gas.
- Los dispositivos de control de llama por célula fotoeléctrica pueden eventualmente adaptarse a las características particulares de la llama del gas natural.

**b) Calderas construidas o equipadas para funcionar con carbón**

La adaptación a gas natural de las calderas a carbón presenta problemas más complejos y conduce a inversiones relativamente más importantes. Por ello, en general, no resulta aceptable más que en quemadores de combustión moderna en buen estado.

Dada la variedad de tipos existentes, no es posible establecer reglas precisas para las transformaciones a realizar y sobre los resultados a obtener. Depende del tipo de caldera y su funcionamiento.

**c) Funcionamiento mixto gas natural-fuel oil**

Las calderas construidas para utilizar gas natural no difieren, en su estructura general, de las construidas para quemar fuel-oil. Por este hecho, conservan la facultad de poder utilizar ambos combustibles en régimen mixto. Se comprende que esta posibilidad es recíproca.

Esta facultad presenta un cierto número de ventajas de tipo económico. Principalmente:

- Poder mantener con precisión un suministro de gas natural en condiciones económicas favorables, sin depender del factor carga.
- Prever la utilización estacional.
- Poder, suscribir un contrato en condiciones compatibles con los imperativos de funcionamiento, interrumpiéndose incluso el suministro, en contrapartida de lo cual puede obtenerse una reducción sensible en el precio del gas consumido.

En el gráfico siguiente se muestra un quemador mixto para Calderas de vapor de más de 250 BHP que puede trabajar con fuel-oil y gas natural. Este quemador permite usar el combustible más eficiente, o manejar la situación en caso de escasez de fuel-oil o gas.

El cambio de un combustible a otro puede tomar menos de un minuto.

#### 4.8. ANÁLISIS DE COSTO DE COMBUSTIBLE EN UNA CALDERA DE VAPOR

En una Caldera de Vapor es muy importante tener en cuenta la eficiencia en la producción de vapor. Esta eficiencia de la Caldera es similar si se trabaja indistintamente con cualquier combustible. Lo que va a determinar el ahorro es básicamente la diferencia de precios entre combustibles.

Analizando y haciendo una comparación entre el tiempo de operación de una caldera de vapor funcionando con petróleo residual; y una caldera de vapor a la cual se le han realizado todas las modificaciones técnicas necesarias para su funcionamiento correcto con gas natural, se puede apreciar un ahorro en los costos cuando trabaja con gas natural; además de la disminución en los costos de mantenimiento.

##### **Funcionamiento con Petróleo Residual**

El Poder Calorífico del Petróleo Residual es:

$$22400 \text{ kcal/m}^3 = 93785.21 \text{ KJ/m}^3$$

El precio de petróleo residual es de US \$ 0.5 por galón, pero un galón es igual a 0.003785 m<sup>3</sup>.

Por lo tanto la cantidad de calor que se generaría sería:

$$93785.21 \text{ KJ/m}^3 \times 0.003785 \text{ m}^3 = 355.014 \text{ KJ.}$$

##### **Funcionamiento con Gas Natural**

El Poder Calorífico del Gas Natural es:

$$9500 \text{ kcal/m}^3 = 39776.5 \text{ KJ/m}^3$$

El precio de gas natural es:

Precio en pozo : US \$ 1 por 1000 pies<sup>3</sup> de gas

Precio por transporte de Camisea a la Costa: US \$ 1 por 1000 pies<sup>3</sup> de gas

Por lo tanto se tendría un costo total de US \$2 por 1000 pies<sup>3</sup> de gas. Haciendo un calculo para un costo igual al petróleo residual es decir US \$ 0.5.

Precio de gas natural: US \$0.5 por 250 pies<sup>3</sup> de gas, pero 1 pie<sup>3</sup> es igual a 0.02831 m<sup>3</sup>.

Se tendría:  $250 \times 0.02831 = 7.0775 \text{ m}^3$

Por lo tanto la cantidad de calor que se generaría sería:

$$39776.5 \text{ KJ/m}^3 \times 7.0775 \text{ m}^3 = 281518.17 \text{ KJ}$$

Es decir para un mismo costo se obtendría una mayor cantidad de calor con gas natural, obteniéndose un ahorro en el consumo de combustible.

## **CAPITULO 5**

### **APLICACIONES Y VENTAJAS ENERGETICAS**

## **CAPITULO 5**

### **APLICACIONES Y VENTAJAS ENERGETICAS**

#### **5.1. USOS DEL GAS NATURAL**

El gas natural tiene diversas aplicaciones en la industria, el comercio, la generación eléctrica, el sector residencial y el transporte de pasajeros: Ofrece grandes ventajas en procesos industriales donde se requiere ambientes limpios, procesos controlados y combustibles de alta confiabilidad y eficiencia.

Los usos del gas natural podemos dividirlos:

- Insumo Energético: Generación eléctrica, generación de vapor, combustible industrial, combustible doméstico, combustible automotor.
- Reinyección a pozos
- Materia Prima: Producción Petroquímica, Siderurgia.

##### **5.1.1. Insumo Energético**

###### **a) Generación de Energía Eléctrica**

La producción eléctrica es aproximadamente de 80% de origen hidroeléctrico y el 20% de origen térmico.

Si bien nuestro potencial hidroenergético es alto, existen las siguientes limitaciones para su desarrollo:

- La mayor parte de caídas de agua se presentan alejadas de los centros de consumo.
- La turbidez en las aguas dificultan la operación de controles hidroeléctricos.

Desde el punto de vista técnico económico las centrales eléctricas deben estar lo más cerca de los puntos de consumo. Esto es posible mediante la utilización de Centrales a Gas que no generen problemas serios de contaminación ambiental.

Para el funcionamiento de turbogeneradores. El gas combustiona en una cámara y calienta el aire comprimido que se expande a través de las toberas de la turbina, moviéndola a gran velocidad, la cual esta conectada a un generador de corriente.

Ventajas de las Turbinas a Gas sobre las Turbinas a Vapor:

- Instalación más compacta
- Menos dispositivos auxiliares.
- No requiere condensador.
- No requiere agua.
- Lubricación más simple.
- Control más fácil.
- Escape limpio ( no necesita chimenea)
- Relación peso/potencia pequeña.

#### **b) Combustible doméstico**

Reemplaza al GLP, kerosene y electricidad en cocinas y calentadores.

El Perú es uno de los pocos países en el mundo que usa kerosene domestico.

La introducción rápida del gas natural como combustible doméstico está dificultada por el costo elevado de la infraestructura de distribución de las zonas urbanas.

En las ciudades cercanas a los centros de explotación donde existen necesidades de calefacción es factible iniciar proyectos para consumo domestico.

#### **c) Combustible Industrial**

Reemplaza a combustibles sólidos o líquidos (petróleo, leña, carbón, etc.).

Es factible la conversión de las instalaciones industriales para el uso del gas por el desarrollo actual de la tecnología. Esta conversión se puede realizar mediante una inversión que se vería recuperada en un corto periodo de tiempo, comparado con el tiempo de servicio y operación a las cuales están destinadas estas instalaciones.

La industria requiere pasar por un periodo de adaptación, entrenamiento y difusión de las ventajas del uso del gas.

En gas natural puede ser utilizado como combustible industrial, principalmente en:

- Generación de vapor (Calderos de vapor).

- Siderurgia y Metalurgia de productos férricos (Altos hornos, hornos de aceros y hornos eléctricos, hornos de recalentamiento, hornos de tratamientos térmicos, etc.)
- Industria cerámica.

**d) Combustible Automotor**

El gas natural se puede usar en el sector transporte como GNC ( Gas Natural Comprimido). Para esto es necesario la instalación de estaciones de servicio de gas natural comprimido a intervalos bien emplazados; para comprimir y distribuir el gas directamente a los vehículos. La ventaja es que se puede obtener un octanaje mayor de 90.

En el siguiente cuadro se presentan algunas de las aplicaciones más comunes del gas natural en la industria.

**Aplicaciones del Gas Natural**

Sector	Aplicaciones / Procesos
Industrial	Generación de Vapor
	Industria de Alimentos
	Secado
	Cocción de Productos cerámicos
	Fundición de metales
	Tratamientos térmicos
	Temple y recocido de metales
	Generación eléctrica
	Producción de petroquímicos
	Sistemas de calefacción
Hornos de fusión	
Comercio y Servicios	Calefacción central
	Aire acondicionado
	Cocción / Preparación de alimentos
	Agua caliente
Energía	Cogeneración eléctrica
	Centrales Térmicas
Residencial	Cocina
	Calefacción
	Agua caliente
	Aire acondicionado
Transporte de pasajeros	Taxis
	Buses

### 5.1.2. Reinyección a Pozos

Para optimizar la recuperación de hidrocarburos líquidos del reservorio.

### 5.1.3. Materia Prima

#### a) La Producción Petroquímica

Los componentes del GN se pueden utilizar en la producción petroquímica:

#### Petroquímicos Básicos

Fracciones del gas natural: metano, etano, propano, butanos, etc.

Productos obtenidos:

- Gas de Síntesis

- Olefinas

- Aromáticos

- Parafinas Lineales

#### Petroquímicos Intermedios

Productos obtenidos:

- Del Gas de Síntesis: Hidrógeno, Amoníaco, Metanol, Formaldehído, Acrilo Nitrilo, Hexametileno Diamina, Metacrilato de Metilo, etc.

- De Olefinas: Oxido de Etileno, Glicol Etilénico, Acetaldehído, Propionaldehido, Alcohol isopropílico, Acetona, Butil Aldehido, Alcohol Butílico, Metil Etil Cetona, Cloropreno, etc.

- De Aromáticos: Benceno, Ciclohexano, Etilbenceno, Estireno, etc.

- De Parafinas Lineales: Olefinas Lineales, Surfactantes.

#### Petroquímicos Finales

Productos Obtenidos:

Urea, Nitrato de Amonio, Fosfato de Amonio, Poliacrilonitrilo, Hidracina, Resinas Urea-Formaldehido, Polimetacrilato de metilo. Polietilenos, Policloruro de Vinilo, Acido Acetico, Acido Propiónico, Polipropileno, Caucho SBR, Resinas ABS, Caucho Neopreno, Detergentes.

## **Industria Petroquímica**

Como ya hemos visto los componentes del gas natural se utilizan para la obtención de múltiples productos petroquímicos.

Es una realidad que en el país egresamos significativas divisas por importación de productos manufacturados con componentes petroquímicos.

Muchos artículos de embalado, envasado, empackado, muebles, equipos, son hechos de plásticos.

Tuberías, Revestimientos, pinturas, accesorios eléctricos, accesorios de gasfitería, son manufacturados de plástico.

Artículos de uso doméstico como vajilla, menaje, adornos, porta objetos son preparados con material plástico.

Las fibras sintéticas, a base de polímeros petroquímicos, son útiles en redes de pesca, sogas, cables, así como en ropa interior y exterior femenina y masculina.

Los detergentes domésticos e industriales aceptados son los biodegradables, los que se preparan entre otros, con alquibenceno lineal, producto petroquímico.

Las llantas, los artículos de elastómeros útiles en empaquetaduras, tapones, aislamientos, revestimientos, son producidos a base de polímeros petroquímicos.

Por lo expuesto, el mercado en el país es grande para los productos petroquímicos, y el gas natural puede ayudar mucho para el desarrollo de la industria petroquímica.

### **b) Siderurgia**

En esta actividad de la industria, el gas natural encuentra el mayor número y la mayor diversificación de aplicaciones en las cuales se valoran al máximo sus cualidades específicas. Se puede utilizar en: reducción directa del mineral, Altos hornos y cubilotes de fusión de hierro fundido, Hornos de aceros Martín Siemens y hornos eléctricos, Hornos recalentamiento, Hornos de tratamientos térmicos, Hornos de atmósferas controladas, Oxicorte.

## 5.2. ANÁLISIS COMPARATIVO RESPECTO A OTRO TIPO DE COMBUSTIBLE

Es evidente que el incremento del uso del gas natural en todo el mundo, está directamente asociado a las ventajas que este combustible ofrece respecto a los combustibles utilizados más frecuentemente (carbón, fuel-oil, GLP, etc.). En general las ventajas más significativas comparadas con otros combustibles son:

- El carbón y los finos de coque son más caros si se considera su transporte, almacenaje y pulverizado.
- Con el uso del carbón y de los finos de coque se genera una gran cantidad de ceniza, lo que eleva los costos de mantenimiento.
- Los quemadores de fuel-oil presentan bajas en la eficiencia debido a los depósitos de suciedad y corrosión que provocan el vanadio y el azufre.
- Con el uso de fuel-oil se genera lodo y moho en escala, lo cual produce características indeseables en la flama, así como ineficiencia.
- El suministro de GLP no es continuo y permanente.
- El GLP presenta congelamiento a condiciones extremas de temperatura lo que hace que se requiera congeladores.
- El GLP es riesgoso ya que en caso de fuga no se eleva ni se dispersa, por lo que se acumula en el ambiente lo cual hace que esté latente la posibilidad de explosión.
- El gas natural tiene varias ventajas operacionales frente a otros combustibles, especialmente en el campo industrial.
- Su combustión es mucho más limpia que la de otros combustibles, se necesita menos requerimientos de exceso de oxígeno. No hay formación de cenizas de ninguna forma: sólidas, líquidas, fundidas (escorias) o volantes.
- El gas natural está disponible inmediatamente por medio de un sistema de gasoductos, lo que provee un suministro constante; liberando a las industrias de la necesidad de contar con grandes estanques de reserva o equipos de transferencia de fluidos, disminuyendo los costos de transportación y tiempo requerido para el abasto de los combustibles alternos.

- 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 del gas natural son fáciles de limpiar y conservar.
- La combustión del gas puede cesar instantáneamente tan pronto como cese la demanda de calor de los aparatos que lo utilizan, lo que lo hace muy adecuado para cargas variables e intermitentes.
- La regulación automática es sencilla y de gran precisión, manteniendo constante la temperatura o la presión al variar la carga.
- Para múltiples aplicaciones, el rendimiento de combustión es superior al de otros combustibles por permitir una regulación perfecta y constante del exceso de aire de combustión, la cual puede reducirse al mínimo.
- El gas natural es más ligero que el aire, por lo que se dispersa en la atmósfera y resulta menos peligroso en el caso que existiera fuga.
- Mayor eficiencia en hornos y calderos.
- Dada la limpieza de su combustión, permite explorar mercados a los que anteriormente era difícil ingresar por restricciones medioambientales.

### **5.3. VENTAJAS DEL GAS NATURAL EN EL TRANSPORTE**

- Económico: es más barato que la gasolina y el petróleo diesel.
- Limpieza: reduce las emisiones dañinas al medio ambiente aproximadamente un 90% con respecto a la gasolina.
- Seguridad: Menos susceptible a los accidentes, a diferencia de la gasolina y el petróleo diesel. Es más ligero que el aire, lo cual dificulta su acumulación y por ende la posibilidad de explosión. Los recipientes utilizados en los vehículos para almacenar gas natural vehicular son más resistentes que los de la gasolina.
- Ahorro: Alarga los períodos de mantenimiento del motor del vehículo.
- Imagen Corporativa: utilización de un combustible ecológico, que reduce considerablemente la contaminación del ambiente.

- Dualidad: Si ocurre una falla en el sistema de gasolina, el vehículo sigue funcionando a gas y viceversa (se aplica en vehículos duales).

#### **5.4. VENTAJAS ECONÓMICAS**

Las ventajas económicas son importantes de considerar, ya que cada una de ellas representa un ahorro para la empresa.

- El gas natural cuenta con precios competitivos en el mercado. Además de lograr en algunos casos la calidad de los productos fabricados.
- Menores costos operativos para el funcionamiento de equipos y maquinarias.
- Reducción de los costos de mantenimiento. Menor cantidad de personal y horas-hombre para la reparación, limpieza y lubricación de equipos e instrumentos.
- Menos consumo de combustible. El gas natural permite lograr una mayor eficiencia en la combustión.
- Con el gas natural se suprime el riesgo de eventuales indemnizaciones por daños a los vecinos o a la agricultura.

## 5.5. VENTAJAS MEDIOAMBIENTALES

La combustión del gas natural está clasificada mundialmente como la más limpia entre los combustibles industriales tradicionales, lo que facilita el cumplimiento de exigentes normas ambientales. De hecho, las emisiones de material particulado cumplen con las normas internacionales más exigentes, sin necesidad de hacer una gran inversión en equipos de tratamiento de gases. Una de las grandes ventajas del gas natural respecto a otros combustibles, son las bajas emisiones de su combustión. En el siguiente cuadro se puede ver la comparación del Gas Natural, respecto a otros combustibles:

### Emisión de distintos combustibles (en términos del consumo energético)

	<b>MP</b> Material Particulado	<b>SOx</b> Oxido de Azufre	<b>NOx</b> Oxido de Nitrógeno
<b>Gas Natural</b>	1	1	1
<b>Gas Licuado</b>	1,4	61	2
<b>Kerosene</b>	3,4	269	1,5
<b>Diesel</b>	3,3	1.029	1,5
<b>Fuel Oil N° 5</b>	15	4.470	4
<b>Fuel Oil N° 6</b>	39,4	4.433	4
<b>Carbón</b>	157	5.283	6
<b>Leña</b>	140	13	2

Al comparar las emisiones producto de la combustión del gas natural con las del carbón y del petróleo, se deduce que las del gas natural son bastante menores, ya que su estructura molecular es bastante más simple que la de otros combustibles, lo que facilita que se queme limpiamente. Entre otros, el carbón y el petróleo tienen una combustión que produce cenizas que no se queman completamente, formándose además óxidos de nitrógeno y azufre que son emanados a la atmósfera.

**Cuadro resumen de efectos de distintos contaminantes sobre la salud de las personas y en el medioambiente**

CONTAMINANTE	EFECTOS SOBRE	
	Las personas	El Medioambiente
<b>MP</b> (Material particulado)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disminución de la visibilidad</li> <li>- Aumento de afecciones Respiratorias</li> <li>- Tos crónica</li> <li>- Ronquera</li> <li>- Síntomas respiratorios nocturnos</li> <li>- Bronquitis</li> <li>- Asma bronquial</li> </ul>	Daño directo a la vegetación (dificultad en la fotosíntesis)
<b>SO<sub>2</sub></b> (Dióxido de Azufre)	No se le puede atribuir ningún efecto específico pero si resulta claro que es altamente nocivo en presencia de humedad	Lluvia Acida
<b>NO<sub>x</sub></b> (Oxido de Nitrógeno)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Irritante</li> <li>- Potencialmente cancerígeno</li> </ul>	Lluvia Acida Problemas con el Ozono

## **CAPITULO 6**

### **DESARROLLO DEL GAS NATURAL EN EL PERU**

## CAPITULO 6

### DESARROLLO DEL GAS NATURAL EN EL PERU

#### 6.1. GENERALIDADES

El gas natural ofrece la posibilidad de sustituir un gran porcentaje del consumo de petróleo, a nivel industrial, especialmente el que se consume como Residual.

En el contexto internacional la energía juega un papel importante y decisivo. El uso de los diferentes energéticos ha ido evolucionando y conmoviendo al mundo, especialmente el petróleo que hasta la fecha mantiene un predominio mundial. Pero también un energético que en un periodo de tiempo se consideraba como indeseado, al punto que se le expulsaba hacia la atmósfera o se quemaba simplemente, paulatinamente ha ganado un papel muy importante dentro de la estructura de consumo energético del mundo; y este pues es el **Gas Natural**. El gas natural que contribuye en forma muy notable a satisfacer las necesidades energéticas de los países más desarrollados, habiéndose construido miles de kilómetros de gasoductos, e incluso transportado en barcos apropiados, para las distribuciones a nivel nacional e internacional. El gas juega un papel estratégico en relación al problema de abastecimiento del petróleo. En América Latina varios países tienen ya varios años de experiencia en el uso del gas natural, y con diferentes desarrollos en su uso. Así por un lado Bolivia lo destina especialmente para la obtención de divisas exportándolo a la Argentina vía gasoducto; en tanto que Colombia lo utiliza para subsidiar al desarrollo eléctrico y al consumo social como combustible o como insumo para fertilizantes. El Perú también tiene la necesidad de racionalizar el uso de sus recursos energéticos más aún cuando se agudiza la escasez de recursos económicos y financieros; y de allí la obligación de optimizar las inversiones y dar planteamientos para el buen uso de las fuentes energéticas orientándolas hacia el desarrollo nacional.

En nuestro país, también tenemos varios años de experiencia en el uso del gas natural, pero en una dimensión reducida, localizada solo alrededor de la ciudad de Talara y con un empleo no eficiente. El gas natural de la selva norte no ha logrado una mayor trascendencia

por sus reducidas reservas y uso destinado básicamente a los campos petrolíferos. Ha sido principalmente con el descubrimiento de **Gas de Camisea**, que el gas natural a logrado tomar una dimensión muy importante para el futuro desarrollo del país. En este sentido, el mayor interés en los últimos años ha estado centrado hacia el uso diverso del gas natural de Camisea.

La producción de gas natural ha tenido lugar en los campos del Nor-Oeste del país, en la explotación de los yacimientos de “La Brea y Pariñas” (IPC), de las Concesiones “Lima” (petrolera Lobitos), de Petroperú, de Belco Petroleum.

La mayor parte del gas natural del Nor-Oeste ha sido gas asociado.

El gas natural inicialmente se utilizaba únicamente como: gas licuado ( en la zona de producción, gasolina natural, reinyección a pozos y liberado a la atmósfera. Después se comenzó a usar también como materia prima para el Complejo de fertilizantes de Talara.

## **6.2. Proyecto de Aguaytia**

El yacimiento de gas natural de Aguaytía, descubierto en la Selva Central, a 50 Km. de Pucallpa, posee reservas probadas superiores a los 300 millones de pies cúbicos y representa una experiencia inédita en el Perú, no solo por ser el primer programa orientado al desarrollo comercial de un campo de gas natural, sino también porque constituye una primera experiencia en la construcción y operación de instalaciones de hidrocarburos (gas) y de generación y transmisión de energía eléctrica en el país.

Se contempla la construcción de una planta termoeléctrica de 155 MW de capacidad, el suministro de gas natural a la central termoeléctrica de Electro-Ucayali para la transmisión de energía eléctrica, y el abastecimiento de gas propano, butano y otros combustibles para todo el país; con lo cual el proyecto de gas y electricidad de Aguaytía contribuye, a la solución del problema energético del Perú y principalmente al desarrollo y crecimiento económico de la región Ucayali.

### 6.3. Proyecto de Camisea

Las reservas de Camisea, aproximadamente 11 trillones de pies cúbicos de gas natural y unos 600 millones de barriles de líquidos de gas natural; se cuentan entre las más importantes del mundo.

Los yacimientos de hidrocarburos de Camisea fueron descubiertos por la empresa Shell a mediados de la década de los ochenta. La gran masa de reservas, se encuentra en dos yacimientos principales, conocidos como San Martín y Cashiriari, sobre las riberas del río Camisea, cerca de su desembocadura en el río Urubamba, provincia de la Convención, departamento del Cusco. Una concentración menor a sido ubicado al noroeste.

El desarrollo de estos yacimientos no sólo puede revertir en nuestro déficit anual de hidrocarburos, sino también convertir al país, en el mediano plazo en un exportador neto de estos recursos.

Finalmente es de prever que la presencia en el mercado de gas natural, proveerá de fuerte impulso económico a las actividades de producción.

El Gas de Camisea es un gas natural no asociado, que como combustible tiene un alto contenido calorífico; los condensados alimentarán instalaciones de fraccionamiento y tratamiento. Parte del gas debe ser comprimido y reinyectado a los reservorios. Los hidrocarburos gaseosos y líquidos requieren ser transportados a través de dos conductos: un gasoducto y un poliducto (ducto de líquidos del gas natural), para ser orientados a los consumidores nacionales y a los mercados internacionales.

#### Reservas de Hidrocarburos

Volumen de Gas "In situ" :  $16.6 \times 10^{12}$  pies cúbicos

Constituidos por:

- Gas Seco :  $15.4 \times 10^{12}$  pies cúbicos

- Líquidos de Gas Natural (LGN): 1076 millones de barriles

GLP 500 millones de barriles

Otros Condensados 576 millones de barriles

## Reservas Totales

Reservas recuperables comercialmente por métodos y equipos convencionales:

- Gas Seco : 10.8x10<sup>12</sup> pies cúbicos
- Líquidos de Gas natural (LGN): 725 millones de barriles

### 6.2.1 Esquema del Proyecto

Según estudios realizados para la explotación, producción y distribución del Gas de Camisea, el proyecto debe desarrollarse de la siguiente manera:

#### Instalaciones requeridas:

##### Campo:

- Pozos productores
- Pozos inyectores
- Sistemas de recolección
- Sistemas de reinyección
- Planta de Separación de gas natural

##### Centros de Consumo:

- Plata de Fraccionamiento
- Plantas Petroquímicas
- Almacenaje
- Amarraderos
- Red de Distribución

#### Transporte:

- Gasoductos (Metano)
- Poliductos ( Condensados sin fraccionar, productos)

#### Perforación de Desarrollo:

Al Iniciar el proyecto: 4 pozos de evaluación, 17 pozos productores, 8 pozos Inyectores.

Años siguientes: 6 pozos productores, 1 pozo Inyector.

#### Explotación:

Producción de gas seco (inicial): 900 millones de pies cúbicos diarios

Producción de LGN (inicial) : 45000 barriles diarios

(6to. Año) : 52000 barriles diarios

#### Sistema de Recolección

Consta de manifolds, válvulas, separadores totales, separadores de pruebas, etc.

### Planta de Separación

Para la obtención de Gas seco y LGN. Se plantean las alternativas de instalación de Planta de Refrigeración Externa o Planta de Turboexpansión.

### Sistema de Reinyección a Pozos

Con una capacidad instalada de 700 millones de pies cúbicos diarios y sistemas de compresión para incrementar la presión de 1250 PSIA a 5075 PSIA.

### Transporte de Gas Y Condensado

#### **Gasoducto Camisea-Lima**

Diámetros de los gasoductos: 20" a 26"

Flujo de gas: 250 a 650 millones de pies cúbicos diarios

#### *Rutas:*

Ruta A (550 Kms.) : Camisea, Jauja, Norte de Huancayo, Oroya, Canta, Lima

Ruta B (580 Kms.) : Camisea, Confluencia de ríos Apúrimac y Mántaro, Sur Huancayo, Jauja, Oroya, Canta, Lima.

Ruta C (582 Kms.) : Camisea, ríos Tambo, Perené, Chanchamayo, Palcamayo, Marcapomacocha, Valle de Arahua, Valle Chillón, Lima.

Esta ruta es recomendada por presentar menores dificultades topográficas y mayores facilidades de acceso.

#### *Diámetros:*

- 20 a 26", en función de los niveles de presión y flujos estimados. Involucra 5 estaciones de recompresión.
- Menores diámetros significa mayor número de estaciones de recompresión (indeseable por la dificultad topográfica).
- Mayores diámetros es inversión adicional por tubería que no se justificaría por el exceso de capacidad logrado.

#### *Factores evaluados para el Diseño:*

- Capacidad máxima de transporte: presión mínima de 30 bar en Lima.
- Inventario de la Línea:
  - Gasoducto a máxima capacidad

Gasoducto a flujo intermedio (80% de capacidad máxima)

- Comportamiento frente a picos horarios.
- Tiempo de supervivencia de la línea.
- Potencia requerida.

***Poliducto Camisea Lima***

Diámetros del Poliducto: 10" a 8"

Flujo de condensados : 48 millones de barriles diarios.

*Factores evaluados para el Diseño:*

- Flujo de diseño, 40 a 45 millones de barriles diarios
- Densidad del líquido: 640 Kg/m<sup>3</sup>
- Presión máxima de diseño: 150 bar
- Presión mínima en cualquier punto del poliducto de 15 bar para evitar vaporización del líquido.
- Estaciones de bombeo coincidentes con estaciones de recompresión.

Perfil de terreno de acuerdo a la Ruta C.

***Gasoducto Camisea-Cusco***

Diámetros de los gasoductos: 12"

Flujo de gas: 100 millones de pies cúbicos diarios

Recorrido: 285 Kms.

*Volumen Inicial:* 50 millones de pies cúbico diarios de gas seco de Planta de Separación de Camisea, puede llegar hasta 100 millones de pies cúbicos diarios con estación de refuerzo.

Presión Inicial Camisea (500 msnm). 1000 PSI

Presión Final Cusco (3400 msnm). 1000 PSI

*Ruta:* Valle del río Urubamba, Quillabamba, Pachar, Huambutio, Combapata, Cusco.

***Poliducto Camisea-Cusco***

Diámetros del Poliducto: 6"

Flujo de condensados : 7500 barriles diarios

Recorrido: 247 Kms.

*Volumen Inicial:* 7500 barriles diarios de Planta de Procesamiento de Camisea.

Si la Planta Fraccionadora se construye en Camisea se utilizaría: diámetros de 4" para GLP y diámetros de 3" para condensados.

Ventajas del Proyecto:

Las principales ventajas son.

- Evitar la importación de hidrocarburos líquidos en el mediano plazo.
- Evitar que las empresas eléctricas recurran al petróleo Diesel o Residual para generar energía eléctrica.
- Disponer de una nueva alternativa de Combustible para las industrias del país.
- Disponer de mayores cantidades exportables, en caso de nuevos descubrimientos de petróleo.
- Ampliar la Industria de fertilizantes.
- Posibilitar el desarrollo de la Industria Petroquímica.
- Ahorro sustancial de inversiones por generación de electricidad a partir del gas natural.
- Modificar el esquema de consumo de energía doméstica. Sustitución del GLP y en especial del kerosene que es producto subsidiado y de alto valor de exportación.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

- 1.** Las diversas aplicaciones, ventajas en procesos industriales y las bajas emisiones de contaminación que produce; hacen del gas natural un combustible de alta confiabilidad y eficiencia.
- 2.** Las posibilidades de uso del gas natural permite el desarrollo de nuevas industrias; y alternativas económicas de consumo respecto a otros combustibles.
- 3.** El gas natural permite la implementación de nuevas tecnologías y procesos, desde la extracción hasta la distribución y consumo definitivo como combustible.
- 4.** El desarrollo del gas natural, incidirá radical y positivamente en la estructura del consumo energético del Perú; ayudando a suplir las necesidades insatisfechas del país en el aspecto de generación de energía eléctrica como también en el sector industrial.
- 5.** En el mundo globalizado en que el país se desenvuelve, la presencia del gas natural en la industria, la apertura de nuevos mercados y el comercio, generara significativas divisas por exportaciones de materia prima y productos.

## **RECOMENDACIONES**

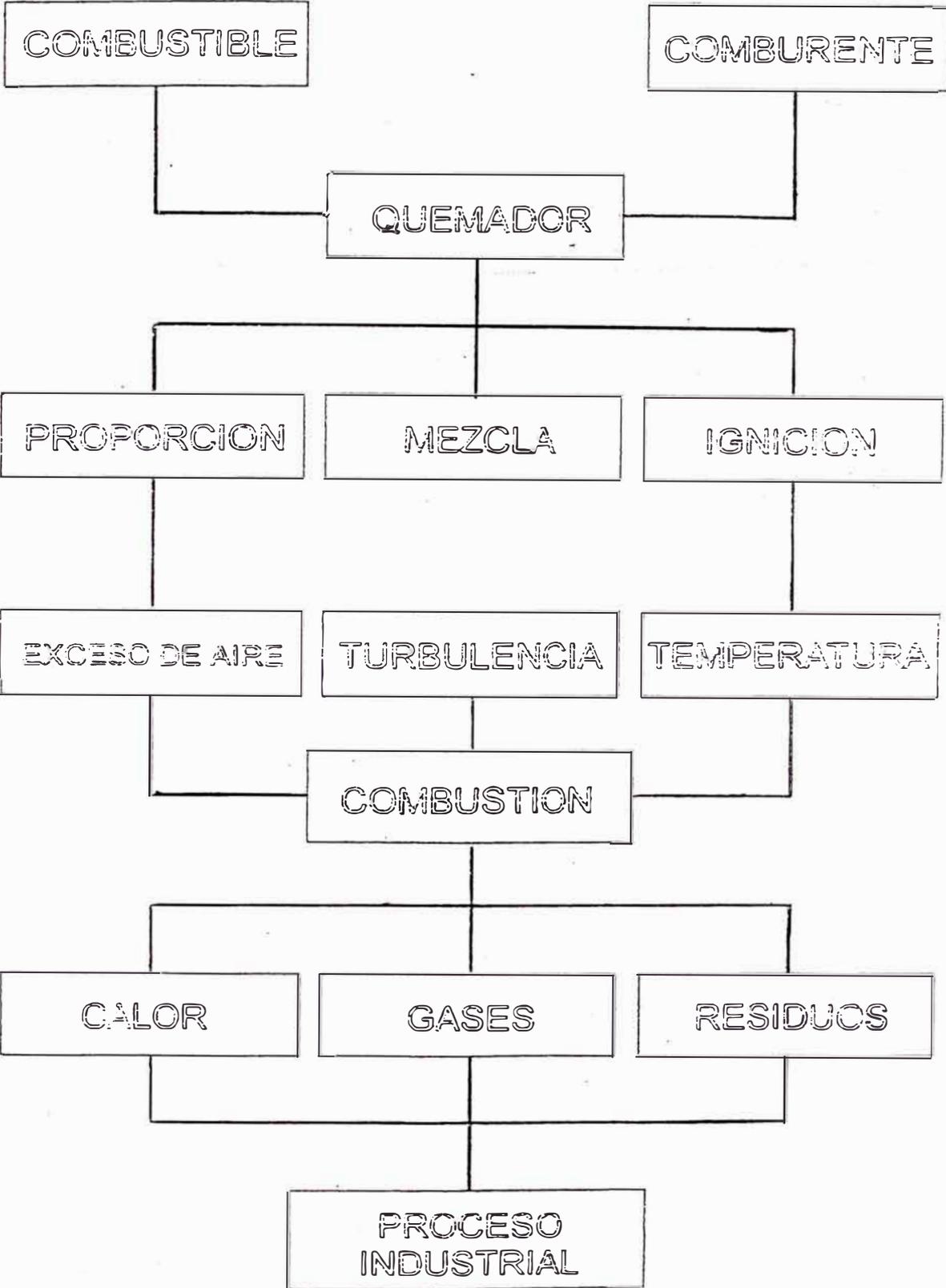
- 1. La utilización del gas natural tiene que estar necesariamente encuadrado dentro de un Plan Energético Nacional que racionalice y optimice las inversiones y usos correspondientes en función a un desarrollo nacional planificado.**
- 2. El gas natural representa para el país una gran oportunidad para el desarrollo nacional; por lo tanto, corresponde al Estado y las instituciones relacionadas llevar adelante un proyecto lo suficientemente atractivo que permita captar grandes inversiones.**
- 3. Debido a la gran variedad de productos que se pueden obtener del gas natural, el establecimiento de una Industria Petroquímica generaría una serie de beneficios muy importantes para el futuro desarrollo económico e industrial del Perú.**

**BIBLIOGRAFIA**

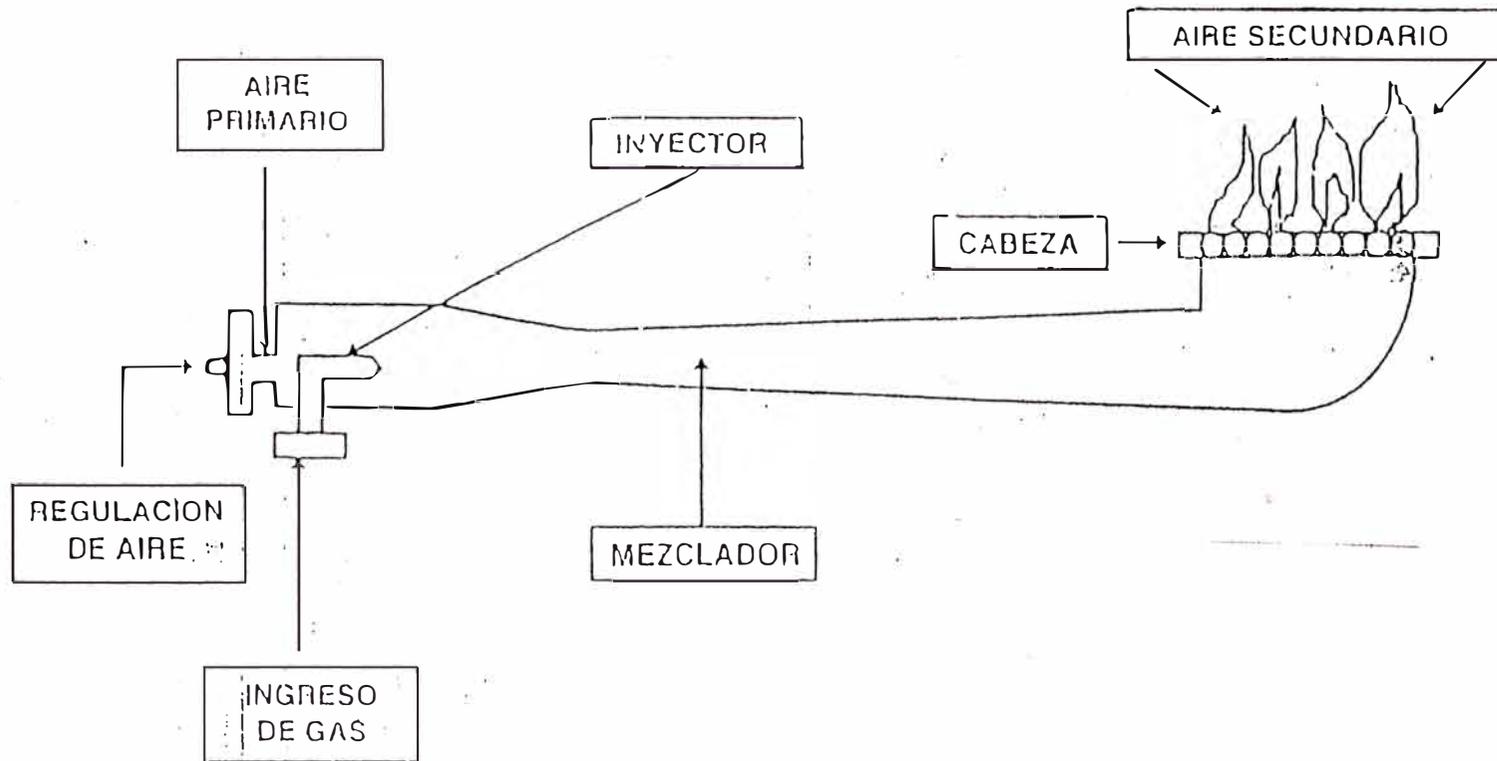
1. Programa de Titulación de la Facultad de Ingeniería Mecánica- UNI, *Combustión Industrial de Gas natural*.
2. Fortunato García Luna , *Curso de Procesos de Gas Natural*.
3. Sociedad Nacional de Minería y Petróleo, *Proyectos de Gas Natural en el Perú*.
4. Procobre-Perú, *Instalaciones de Gas Natural y Gas en Baja Presión*
5. Jaime Postigo, *Termodinámica Aplicada*.
6. Cleaver-Brooks, *Catalogo de calderas Piro-tubulares*.

## **APENDICE**

**Diagrama esquemático de la Combustion Industrial**



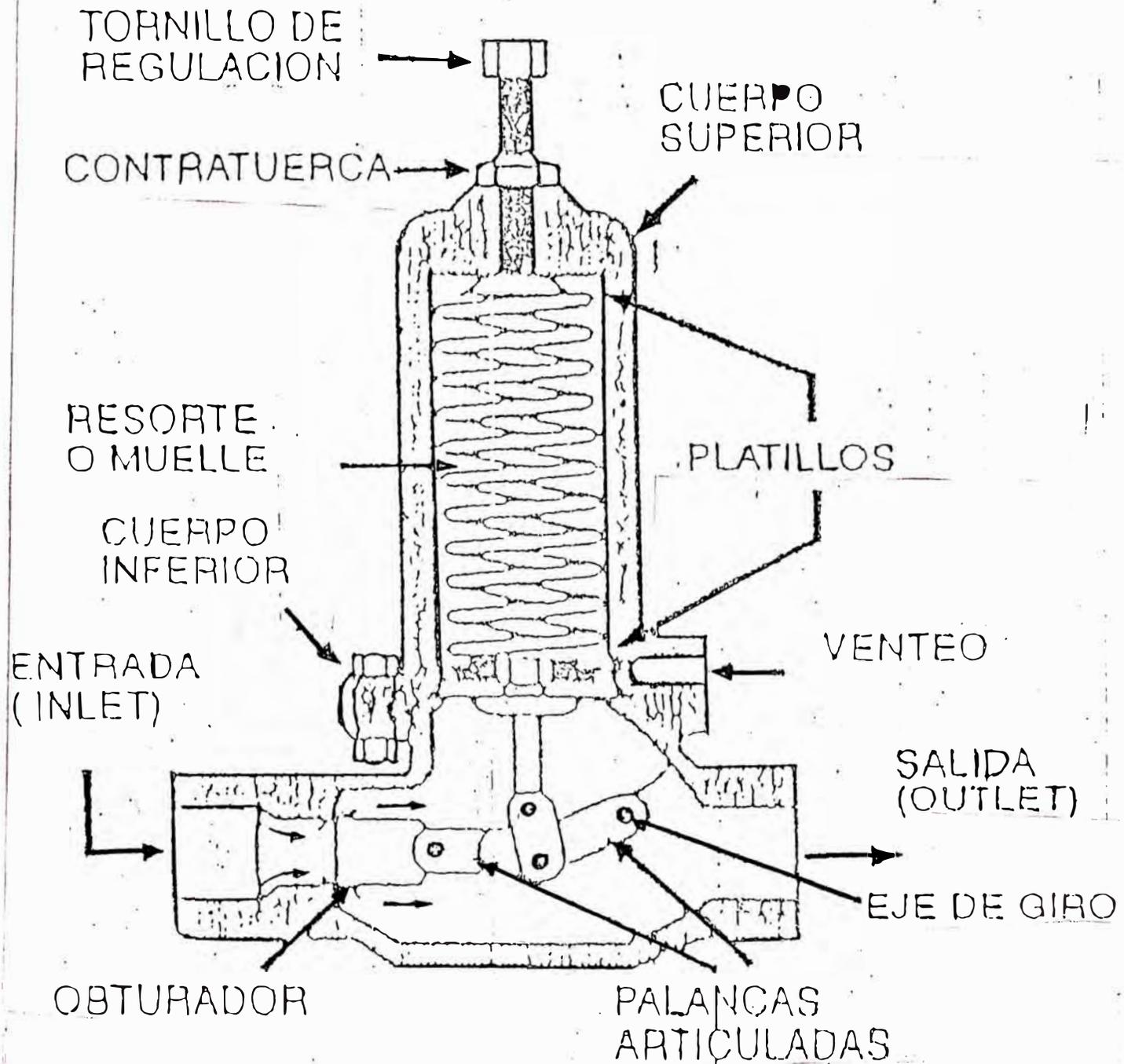
# FUNCIONAMIENTO DE UN QUEMADOR



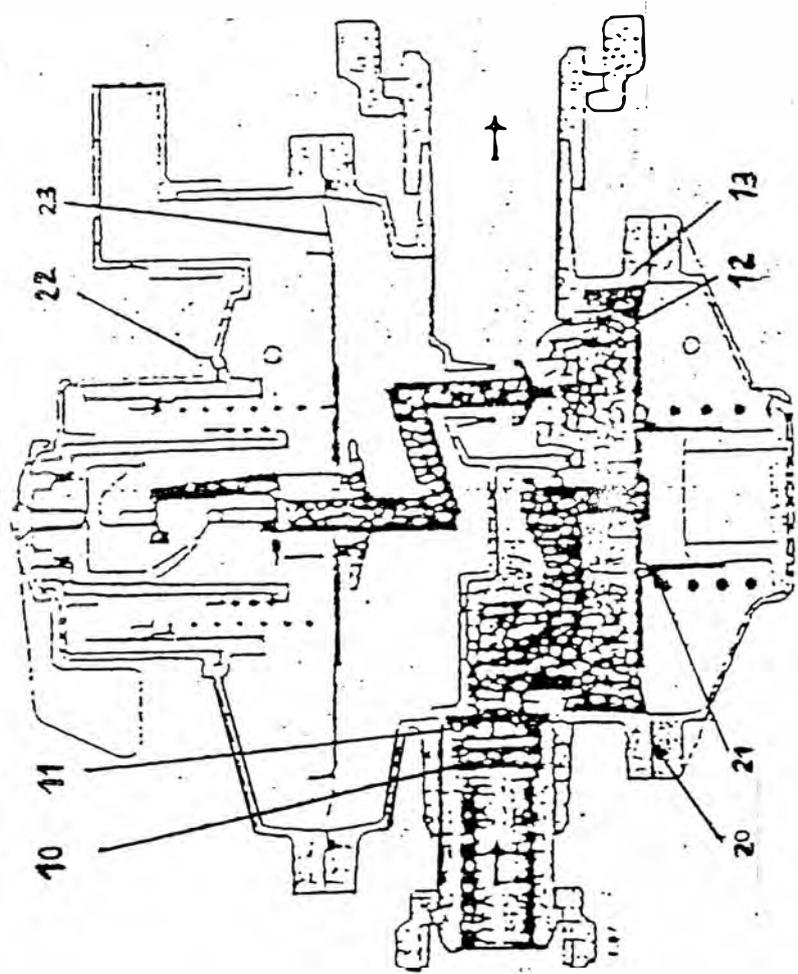
## CAPACIDAD DE ORIFICIOS DE INYECTORES

DIAM. MM	M MFD	Kca/h GUP	Km/h	Kca/h GN	KWh	Kca/h GM	KWh	DIAM. MM	M MFD	Kca/h GUP	Km/h	Kca/h GN	KWh	Kca/h GM	KWh
0.32	81	316.54	0.168069	167.05	0.191241	60.36	0.070185	2.2	41	14961.51	17.39710	7895.59	9.180918	2852.88	3.317302
0.35	80	378.67	0.440113	199.84	0.232372	72.21	0.083965	2.25	43	15649.31	18.19687	8258.56	9.602976	2981.03	3.469802
0.38	79	446.37	0.519034	235.56	0.273906	85.11	0.098965	2.35	42	17071.27	19.85031	9008.97	10.47354	3255.17	3.785081
0.4	78	491.6	0.575116	261.01	0.3035	91.31	0.107662	2.45	41	18555.06	21.57565	9792	11.38601	3538.1	4.114069
0.45	77	625.97	0.727872	330.34	0.384116	119.36	0.138790	2.5	40	19320.13	22.46526	10195.75	11.85552	3683.99	4.283709
0.5	76	772.81	0.898616	407.83	0.474220	147.36	0.171348	2.55	39	20100.67	23.37287	10607.66	12.33418	3832.82	4.456767
0.52	75	835.87	0.971911	441.11	0.512918	159.38	0.185325	2.6	38	20896.66	24.29844	11027.72	12.82293	3984.6	4.633255
0.58	74	1039.89	1.209174	548.78	0.638116	198.29	0.230569	2.65	37	21708.1	25.24197	11453.95	13.32087	4139.33	4.813174
0.6	73	1112.84	1.291	582.28	0.682883	212.2	0.246744	2.7	36	22535	26.20348	11892.32	13.82827	4297	4.996511
0.65	72	1306.01	1.518651	689.23	0.801430	249.01	0.289581	2.75	35	23377.36	27.18297	12336.86	14.34518	4457.63	5.183290
0.68	71	1429.38	1.662069	751.32	0.877116	272.56	0.316930	2.8	34	24235.17	28.18013	12789.55	14.87156	4621.19	5.373476
0.7	70	1514.7	1.761279	799.35	0.929176	288.82	0.335337	2.85	33	25108.44	29.19586	13250.4	15.40744	4787.71	5.567101
0.75	69	1738.81	2.021872	917.62	1.067	331.56	0.385331	2.95	32	26201.35	31.28063	14196.56	16.50762	5129.58	5.964627
0.8	68	1978.38	2.300141	1011.01	1.214	377.24	0.438651	3	31	27820.99	32.34998	14681.88	17.07195	5304.94	6.168534
0.82	67	2078.51	2.416906	1076.9	1.275465	396.34	0.460660	3.3	30	33663.4	39.14348	17765.08	20.65706	6418.98	7.463930
0.85	66	2233.41	2.596988	1178.63	1.3705	425.87	0.495197	3.5	29	37867.46	44.03193	19983.67	23.23682	7220.62	8.396069
0.9	65	2501.89	2.9115	1321.37	1.536476	477.44	0.555152	3.55	28	38957.12	45.29897	20558.71	23.90547	7428.39	8.637662
0.92	64	2616.41	3.012337	1380.75	1.605523	498.9	0.580116	3.6	27	40062.23	46.58398	21141.91	24.58361	7639.12	8.882697
0.95	63	2789.83	3.243988	1472.27	1.741911	531.97	0.618369	3.7	26	42318.82	49.20393	22332.77	25.96833	8069.41	9.383034
0.98	62	2968.81	3.452101	1566.72	1.821767	566.1	0.658255	3.8	25	44637.23	51.90335	23356.26	27.391	8511.49	9.897081
1	61	3091.22	3.591441	1631.32	1.896883	589.44	0.685395	3.85	24	45819.63	53.27863	24180.24	28.11655	8736.95	10.15924
1.02	60	3216.11	3.739662	1697.23	1.973523	613.25	0.713081	3.9	23	47017.47	54.67147	24812.38	28.85160	8965.35	10.42482
1.05	59	3408.07	3.967872	1798.33	2.091113	649.86	0.753651	3.95	22	48330.78	56.08350	25452.67	29.59612	9196.71	10.69384
1.07	58	3539.34	4.115279	1872.7	2.171744	674.85	0.784709	4	21	49739.34	57.31169	26101.72	30.35013	9431.01	10.96639
1.1	57	3740.38	4.349279	1973.9	2.295232	713.22	0.829325	4.1	20	51963.43	60.27359	27422.49	31.88661	9908.45	11.32145
1.2	56	4131.36	5.136	2349.1	2.731311	848.79	0.986963	4.2	19	54529.74	65.30397	28776.79	33.26103	10397.69	11.69033
1.3	55	5221.16	6.074601	2736.93	3.205732	996.15	1.158313	4.3	18	57136.68	66.46125	30185.11	35.07338	10898.71	12.07291
1.4	54	6038.79	7.013101	3197.39	3.717895	1153.3	1.343312	4.4	17	59846.01	69.38841	31585.36	36.72367	11411.35	12.46920
1.5	53	6935.25	8.0875	3670.47	4.261988	1326.96	1.542976	4.5	16	62597.23	72.78747	33034.23	38.41189	11936.12	12.87920
1.6	52	7913.35	9.201779	4176.78	4.836023	1508.96	1.754601	4.55	15	65996.01	77.41396	34772.41	39.27624	12202.87	13.30934
1.7	51	8933.63	10.383971	4714.52	5.442	1703.48	1.980790	4.6	14	69102.24	82.05811	34518.75	40.13805	12472.51	13.750291
1.8	50	10015.36	11.646	5285.28	6.084906	1909.78	2.226671	4.7	13	72335.08	87.40125	36035.86	41.90216	13020.69	14.20333
1.85	49	10579.7	12.30197	5581.19	6.497081	2017.33	2.345735	4.8	12	74221.74	88.81397	37385.61	43.70420	13380.63	14.679135
1.95	48	11254.37	13.66787	6201.09	7.212895	2211.34	2.666709	4.85	11	77213.25	84.55029	38372.72	44.61945	13865.06	16.12216

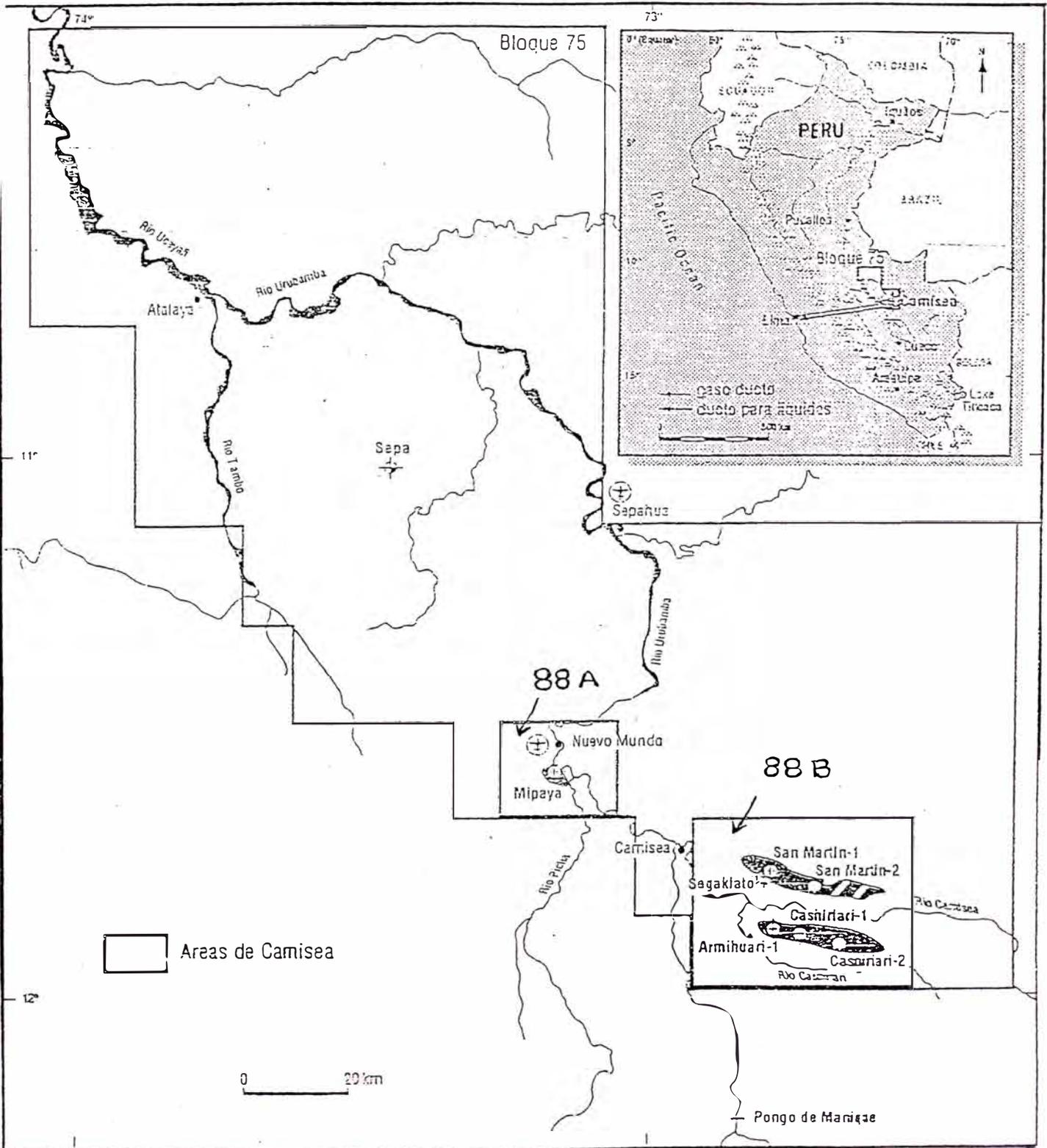
# REGULADOR DE PRESION



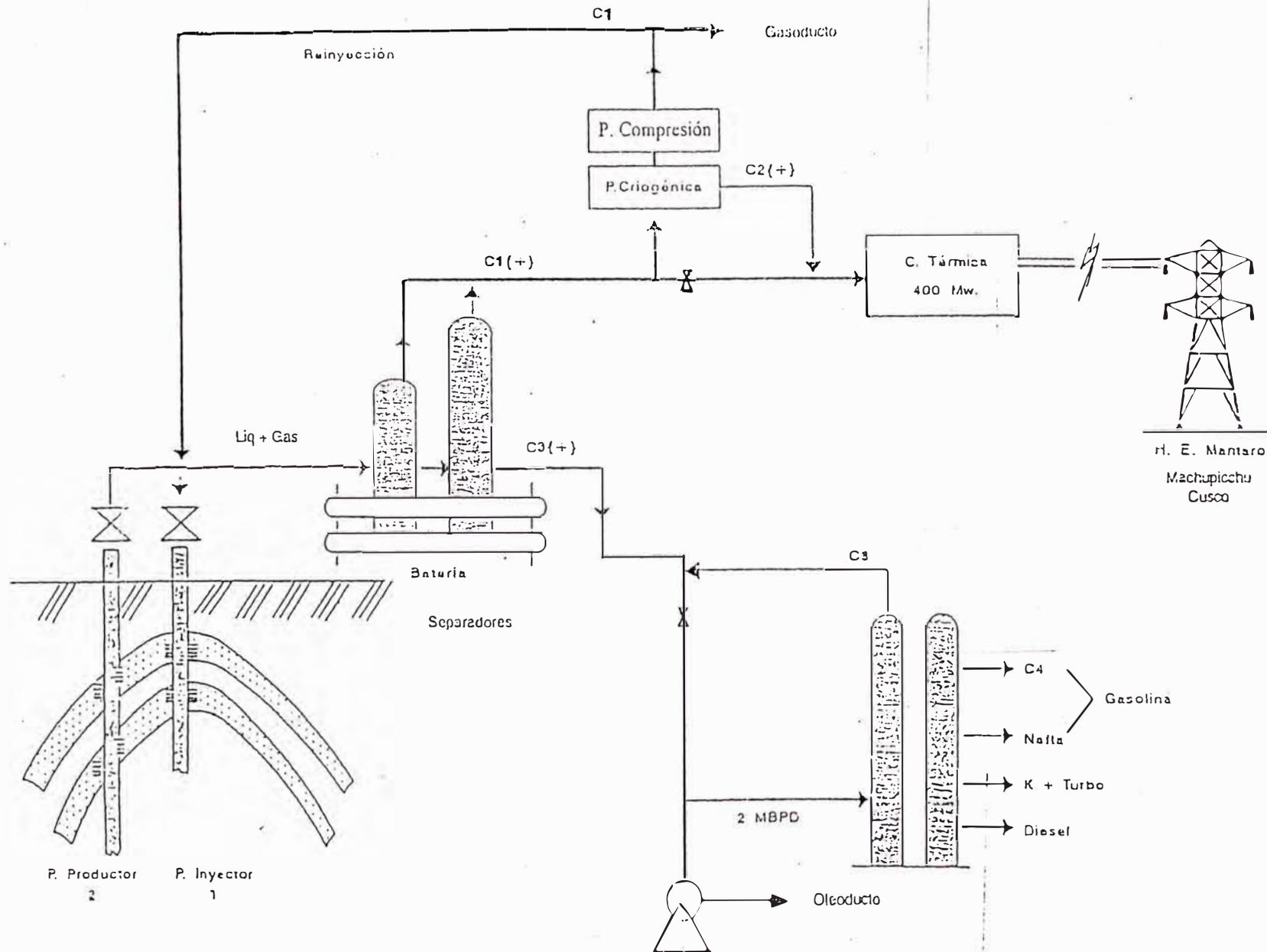
FUNCIONAMIENTO DEL REGULADOR TIPO B



# Perú - Lotes 88A y 88B / Camisea



# Posible Esquema de las Instalaciones de Superficie en Camisea para la Explotación de los Hidrocarburos



## CONTENIDO TOTAL EN LAS RESERVAS DE SAN MARTÍN Y CASHIRIARI

<i>Reservas de Gas</i>			
<i>Reservas</i>	<i>San Martín</i>	<i>Cashiriari</i>	<i>Total</i>
<i>In situ</i>	4.4	12.2	16.6
<i>% de Recuperación</i>	65	65	65
<i>Total</i>	2.8	8.0	10.8
<i>Reservas de Hidrocarburos Líquidos</i>			
<i>In Situ MMBS</i>	332	774	1076
<i>% de Recuperación</i>	69	66.5	67.4
<i>Total</i>	230	495	725

# TABLA DE CONVERSIONES

## UNIDADES DE PRESION

1 Pulgada columna de agua equivale a:

0,002539	Kg/cm <sup>2</sup>
0,03613	lb/pulg <sup>2</sup>
0,574	Onza/pulg <sup>2</sup>
0,0735	Pulg.col.Hg.
0,2490196	kPa
249,0196	Pascal
0,0024901	Bar
2,490196	Milibar

1 Onza por Pulgada<sup>2</sup> equivale a:

0,004396	Kg/cm <sup>2</sup>
0,06250	lb/pulg <sup>2</sup>
1,732	Pulg.col.H <sub>2</sub> O
3,201094	mm.col.Hg.
43,53400	mm.col.H <sub>2</sub> O
0,4268	kPa
426,81254	Pascal
0,0042681	Bar
4,2681254	Milibar

1 Libra por pulgada<sup>2</sup> equivale a:

0,070306	Kg/cm <sup>2</sup>
16,0	Onza/pulg <sup>2</sup>
27,673	Pulg.col.agua
2,0416	Pulg.col.Hg.
51,695508	mm.col.Hg.
703,06	mm.col.agua
6,892745	kPa
6.892,745	Pascal
68,92745	Milibar

1 Kilogramo por cm<sup>2</sup> equivale a:

14,2235	lb/pulg <sup>2</sup>
227,568	Onza/pulg <sup>2</sup>
394,05	Pulg.col.agua
20,95886	Pulg.col.Hg.
735,29411	mm.col.Hg.
10.000,0	mm.col.agua
98,039	kPa
98.039,215	Pascal
0,9803921	Bar
980,392215	Milibar

### UNIDADES DE PESO

1 Gramo	=	0,0353	Onzas
1 Kilogramo	=	2,2046	Libras
1 Libra	=	0,4536	Kilogramos
1 Libra	=	16,0	Onzas
1 Onza	=	28,35	Gramos

### UNIDADES DE LONGITUD

1 Centímetro	=	0,3937	Pulgadas
1 Metro	=	3,280833	Pies
1 Metro	=	39,37	Pulgadas
1 Metro	=	1,09361	Yardas
1 Milla	=	1.609,3472	Metros
1 Plo	=	0,3048012	Metros
1 Plo	=	30,48012	Centímetros
1 Plo	=	12,0	Pulgadas
1 Pulgada	=	2,54	Centímetros
1 Pulgada	=	25,4	Millímetros
1 Pulgada	=	0,0254001	Metros

### UNIDADES DE VOLUMEN

1 Centímetro Cúbico	=	0,06103	Pulg. cúbicas
1 Galón	=	231,0	Pulg. cúbicas
1 Galón	=	0,1337	Pies cúbicos
1 Galón agua	=	3,785	Litros Kilogramos.
1 Plo cúbico	=	0,028317	Metro cúbicos
1 Plo cúbico	=	7,4805	Galones
1 Galón agua	=	0,34	Libras
1 Galón por minuto	=	0,063	Litros x segundo
1 Litro	=	0,26417	Galones
1 Litro	=	0,0353	Pies cúbicos
1 Metro cúbico	=	1.000,0	Litros
1 Metro cúbico	=	35,31	Plo cúbico
1 Pulgada cúbica	=	16,378021	Centímetros cúbicos
1 Pulgada cúbica	=	0,00433	Galones
1 Yarda cúbica	=	0,764553	Metros cúbicos
1 Litro	=	1,000	Decímetro cúbico