



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**"OPTIMIZACIÓN DE LOS INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD  
DE LA EMPRESA PESQUERA RIBAUDO S.A. MEDIANTE EL  
USO DE GAS NATURAL LICUADO EN EL ÁREA DE  
CALDEROS"**

**INFORME PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO  
EN ENERGÍA**

**AUTORES:**

**Bach. Feliz Eduardo Barreto Lázaro**  
**Bach. Ángel Fredy Castillo Quiñones**

**ASESOR:**

**Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán**

**NUEVO CHIMBOTE , ABRIL DEL 2014**

DEDICATORIA: DE FELIX

A mis queridos Padres por el esfuerzo  
de todos los días y su  
afán de siempre querer lo mejor para nosotros.  
Félix y Apolonia.

A mi querida esposa, que con sus consejos, paciencia  
y comprensión me ayudo a cumplir mi sueño.  
Gracias por estar a mi lado, Ivonne.

A mis pequeños hijos que son el motor  
De mi vida.  
Gadiel, Gracia y Belén.

A Dios por darme la vida y haberme permitido estudiar  
Esta carrera. A sus sabias enseñanzas  
que me permitan ser luz en nuestra vida.  
Gracias Dios Padre.

## **RECONOCIMIENTO FELIX**

**Al Mg.**

**Por sus sabios consejos, enseñanzas  
Durante nuestra estancia en nuestra alma mater la  
Universidad Nacional del Santa**

**A los Profesores de la  
EAP de Ingeniería en Energía  
Por el apoyo desinteresado  
Y sus enseñanzas durante  
Nuestra vida universitaria.**

## DEDICATORIA: FREDY

### **A Dios.**

Por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarme cada día más.

### **A mi amada Esposa Deisy**

Amiga fiel y sincera que ha estado a mi lado dándome cariño, confianza y apoyo incondicional para seguir adelante a fin de cumplir otra etapa en mi vida.

### **A mis amados hijos André y Mirella**

Por ser mi fuerza, templanza, el motivo y la razón que me ha llevado a seguir superándome día a día, para alcanzar mis más apreciados ideales de superación, ellos fueron quienes en los momentos más difíciles me dieron su amor y comprensión para poderlos superar, quiero también dejar a cada uno de ellos una enseñanza que cuando se quiere alcanzar algo en la vida, no hay tiempo ni obstáculo que lo impida para poderlo LOGRAR.

### **A ti Madre.**

Por haberme educado y soportar mis errores. Gracias a tus consejos, por el amor que siempre me has brindado, por cultivar e inculcar ese sabio don de la responsabilidad.

### **A ti Padre**

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

### **A mis Hermanos**

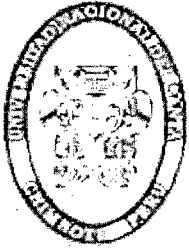
Porque siempre he contado con ellos para todo, gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido; por el apoyo y amistad ¡Gracias!

## RECONOCIMIENTO FREDY

Al Mg.

Por sus sabios consejos, enseñanzas  
Durante nuestra estancia en nuestra alma mater la  
Universidad Nacional del Santa

A los Profesores de la  
EAP de Ingeniería en Energía  
Por el apoyo desinteresado  
Y sus enseñanzas durante  
Nuestra vida universitaria.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERIA EN ENERGIA**

**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

La presente Tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el título profesional en la universidad nacional del santa (R. D: N° 471-2002-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:


**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN**  
**ENERGÍA**

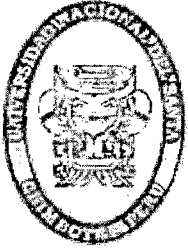
**Título: "OPTIMIZACION DE LOS INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA PESQUERA RIBAUDO S.A. MEDIANTE EL USO DE GAS NATURAL LICUADO EN EL AREA DE CALDEROS"**

**TESISTAS:**

Bach. Félix Eduardo Barreto Lázaro

Bach. Angel Fredy Castillo Quiñones.

  
.....  
Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán  
**ASESOR**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERIA EN ENERGIA**

**CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR DE TESIS**

Damos la conformidad del presente informe, desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al reglamento General para obtener el Grado académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R: N° 471-2002-CU-R-UNS); intitulado:


**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN**  
**ENERGÍA**

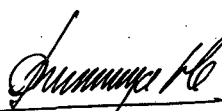
**Título: "OPTIMIZACION DE LOS INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA PESQUERA RIBAUDO S.A. MEDIANTE EL USO DE GAS NATURAL LICUADO EN EL AREA DE CALDEROS"**


**TESISTAS:**

Bach. Félix Eduardo Barreto Lázaro  
Bach. Angel Fredy Castillo Quiñones.

Revisado y evaluado por el siguiente Jurado evaluador:

  
Mg. Leonidas Yauri García  
Presidente

  
Mg. Roberto Chucuya Huallpachoque  
Secretario

  
.....  
Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán  
Integrante



## INDICE

### INDICE

### RESUMEN

<b>CAPITULO I: INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
1.1 Realidad Problemática	2
1.2 Antecedentes	3
1.3 Descripción del lugar donde se ha realizado el estudio	5
1.4 Justificación	6
1.5 Hipótesis	6
1.6 Objetivos	7
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO</b>	<b>8</b>
2.1 Generadores de Vapor Pirotubulares	9
2.2 Balance de Energía en Calderos Pirotubulares	17
2.3 Gas Natural Licuado	26
2.4 Transporte Vía Gasoducto Virtual	31
2.5 Instalaciones con Gas Natural Licuado	35
2.6 Análisis Energético	46
2.7 Evaluación Económica	47
<b>CAPITULO III: MATERIALES Y METODO</b>	<b>50</b>
3.1 Materiales	51
3.2 Método de Investigación	54
3.3 Metodología de Cálculo	55

<b>CAPITULO IV: CALCULOS Y DISCUSION DE RESULTADOS</b>	<b>56</b>
4.1 Estado Situacional con Petróleo R500	57
4.2 Determinación de Equivalente Energético en Gas Natural	67
4.3 Características del Regasificador	71
4.4 Planta Satélite de Gas Natural Licuado	72
4.5 Benchmarking Energético entre Indicadores de Productividad	77
4.6 Evaluación Económica	78
4.7 Discusión de Resultados	80
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>82</b>
Conclusiones	83
Recomendaciones	85
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>86</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>89</b>

## **RESUMEN**

El Gas Natural Licuado es una presentación del Gas natural a una Presión de 1 Bar y una Temperatura de -161 °C, mediante el cual se puede reducir y almacenar un volumen de gas natural en 600 veces. En el Perú el Gas Natural se transporta vía gasoducto virtual, mediante cisternas especialmente diseñadas para este tipo de suministro, con la característica que el GNL debe ser recepcionado con una Planta Satélite en el punto de Suministro.

Los generadores de vapor del Tipo pirotubular juegan un papel fundamental en el suministro de vapor saturado en la Empresa Ribaud S.A., en el presente informe se realiza un análisis antes y después de la muestra de estudio y se comparan los Indicadores de productividad como variable dependiente influenciado por el Uso de Gas natural Licuado en Calderos. Para esto se realiza un balance de Energía en los calderos Pirotubulares , determinándose entre otros parámetros la eficiencia, el factor de carga o de planta , el porcentaje de saturación de la cámara de combustión, así como se determinan los componentes de la Planta Satélite de GNL.

Se determinó una reducción del Costo Variable de Generación de vapor de 10.09% y 10.35% del Indicador energético, validándose y mejorándose la hipótesis planteada de una reducción de los Indicadores de Productividad del 5%.

**PALABRA CLAVE:** Calderos-Gas Natural Licuado

## ABSTRACT

The Liquefied Natural Gas is a presentation of natural gas at a pressure of 1 bar and temperature of  $-161^{\circ}\text{C}$ , by which you can reduce and store a volume of natural gas by 600 times. In Peru, the Natural Gas is transported via virtual pipeline through tanks specially designed for this type of supply, with the property that must be receptionado LNG Satellite Plant in a point of supply.

Steam generators Type pirotubular play a key role in supplying saturated steam in SA Business Ribaudó, this report analyzes before and after the study sample is performed and productivity indicators are compared as dependent variable influenced for the Use of Liquefied Natural Gas in kettles. This requires a balance of power in the fire-tube boilers, among other parameters determining the efficiency, load factor or plant, the percentage saturation of the combustion chamber and the components of the satellite are determined LNG plant is done.

A reduction in the variable cost of steam generation of 10.09% and 10.35% of the energy indicator was determined and improved validating the hypothesis of a reduction of Productivity Indicators 5%.

**KEYWORD:** Boiler - Liquefied Natural Gas.

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCION**

## **1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA**

La Empresa Pesquera Ribaud S.A de 42 Toneladas/hora de producción desarrolla sus actividades productivas desde el año 1989 en la localidad de Coishco, Provincia de Santa, Departamento de Ancash. Se dedica a la fabricación de harina de pescado del tipo prime a través de estrictos controles en el proceso de producción para asegurar la calidad de sus productos, es así como la mencionada empresa, se ha preocupado en construir modernos ambientes y dividirlos por zonas de producción para garantizar la calidad del producto, tal como lo es en su proceso de secado y evaporación.

Dentro de sus operaciones se tienen 05 calderos pirotubulares con una potencia instalada de 3,900 BHP que generan vapor saturado a 100 psi de presión, suministrando vapor saturado a los cocinadores rotativos y a los secadores indirectos de vapor. Para ello se consume Petróleo Residual 500 en los quemadores de los calderos.

Siendo el suministro de vapor saturado de vital importancia para el proceso productivo, y por otra parte las continuas alzas del petróleo residual R-500 aproximadamente en un 10% anual, sujeto a precios internacionales, ha provocado que el rendimiento específico que compara valores de producción de generación de vapor saturado entre galones de petróleo consumido sea muy bajo, encareciéndose los costos operativos de producción que son los costos variables y los costos fijos los cuales se reflejan en los Indicadores de productividad de la empresa (indicadores energéticos técnicos y los indicadores energéticos económicos).

Presentándose como alternativa de solución “la reconversión tecnológica de los quemadores de petróleo a gas natural” en la ciudad de Lima, y en Chimbote en SIDERPERU y en la Empresa Pesquera Hayduk S.A Planta Coishco, se crea la posibilidad de realizar esta actividad tecnológica en la Empresa Pesquera Ribaud S.A.

Más aun la fuerte contaminación que produce la combustión del petróleo residual de algo contenido de azufre, dióxido y monóxido de carbono provoca de por si un problema medioambiental a solucionar.

Teniendo en cuenta lo considerado líneas arriba y además el criterio para la determinación de la investigación, para el cumplimiento de los objetivos, se plantea el siguiente problema:

**¿En cuánto se puede optimizar los Indicadores de productividad de la Empresa pesquera Ribaldo S.A. mediante el uso de Gas Natural Licuado en el Área de Calderos?**

## **1.2 ANTECEDENTES:**

Se tienen los siguientes estudios que sirven como antecedente al presente informe de tesis:

CHAVEZ Ñahuinripa ( 2005) en su Tesis “ Proyecto de conversión industrial al consumo de gas natural en una planta textil ”concluye : El uso del gas natural permite a la planta ser más competitivo y productivo no solo por el ahorro de combustible, que en este caso es alrededor del 40%, sino también por grandes beneficios que tiene este combustible como son: la disponibilidad y continuidad de suministro, la flexibilidad de su uso, la alta eficiencia en su combustión y su mejor comportamiento con el medio ambiente. Pero es necesario realizar primero un análisis de factibilidad económica y técnica para cada caso; pues existen factores que sopesar como es el tipo y nivel de consumo actual de combustible, estado y antigüedad de la caldera, posibles fallas ya existentes, límite de capacidad, riesgos térmicos en el cambio, entre otros, lo cual tiene que ser evaluado por profesionales experimentados a fin de evitar consecuencias lamentables de una deficiente conversión.

BENAVIDES Domínguez Antonio (2010). En su Proyecto Técnico para reforma de sala de calderas concluye: Se ha optado por una instalación de gas natural, reformando la actual sala de calderas de gasóleo, con temperatura de agua de impulsión de 80-85°C, se utilizarán las existentes redes de distribución general en sistema bitubular, que está en el interior del edificio. Aunque se llevara a cabo una reforma de colectores, nueva instalación de botella de equilibrado, nuevo sistema de bombeo y conectaremos a las existentes redes de distribución general en sistema bitubular, que está en el interior del edificio. Las calderas previstas serán calderas de condensación, formadas por elementos de fundición de aluminio, para gas natural de la firma Remeha modelos GAS 610-7 y GAS 610-9 (o calidad similar), de potencia útil máxima

790 y 1.062 kW con un salto térmico de 80/60°. Las calderas están equipadas con quemador de pre- mezcla situado en el interior del intercambiador de calor, con una regulación de carga según la selección del 100% al 20% e importante reducción del consumo eléctrico. Además tenemos una presión máxima de servicio de 6 bar, mientras que la temperatura máxima de servicio será de 110°C.

MEZA, Jair (2012). En su Estudio para Reconversión de calderas a Gas Natural concluye: Se observa que las curvas de O<sub>2</sub> tanto para gas natural como para fuel oil muestran congruencia y aunque están hechas para rangos diferentes de exceso de aire teóricamente deben ser muy similares. Por tal razón el exceso de O<sub>2</sub> es más asociado con el exceso de aire, por ejemplo cuando el exceso de aire tiende a cero el exceso de O<sub>2</sub> también. Otro motivo por el que se prefiere usar el exceso de O<sub>2</sub> para calcular el exceso de aire es porque este permanece relativamente invariante con la composición del combustible, mientras la composición de CO<sub>2</sub> depende del combustible. Se aprecian las pérdidas para la caldera #1 funcionando con gas natural. En ella se observa que a altos excesos de aire el tipo de pérdida de calor relevante en el comportamiento de la eficiencia es la pérdida por gases secos, que depende mucho de la temperatura de los gases de escape, ya que a mayor temperatura mayor será la pérdida por gases secos. La variabilidad de las pérdidas restantes tiene muy poca incidencia en el volumen total de pérdidas de calor. Un factor importante para aumentar la eficiencia de una caldera es disminuir al óptimo (~10%) el exceso de aire, ya que un exceso de aire menor produce combustión incompleta y un exceso mayor produce pérdidas del tipo mencionado previamente.

ROBLES Caycho (2006). En su tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico concluye: El migrar a gas natural significa un ahorro de costo de combustible. No requiere almacenamiento, disminución del gasto de logística, lo que es el no ingreso del camión de combustible al interior de la planta, lo que evita riesgos de contaminación. La combustión es más limpia (menor mantenimiento de los sistemas de limpieza. No necesita bombas, ni sistemas de calefacción (ahorro en mantenimiento), menor costo de energía eléctrica. Permite trabajar con menores



excesos de aire (ahorro de combustible), con el analizador de gases, se ha permitido bajar el exceso de aire de combustión, mejorando la eficiencia de combustión. Se obtienen gases de combustión limpios, ya que la composición del gas no contiene azufre, que al mezclarse con agua no forma lluvia acida.

### 1.3 DESCRIPCION DEL LUGAR DONDE SE HA REALIZADO EL ESTUDIO.

#### a. DATOS MARCO :

Las Instalaciones de la Empresa Pesquera Ribaudó S.A., Planta de Harina de Pescado de 42 Toneladas de capacidad ubicada en Carretera Panamericana s/n Km 438. Distrito de Coishco, Provincia de Santa, Departamento de Ancash, con domicilio legal en Calle los Colibríes 104 San Isidro. Lima.

Su gerente general es el Ing. Juan Ribaudó de la Torre.

Jefe de Turno. Ing. Fredy Cuzcano Meléndez.

#### b. ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA:

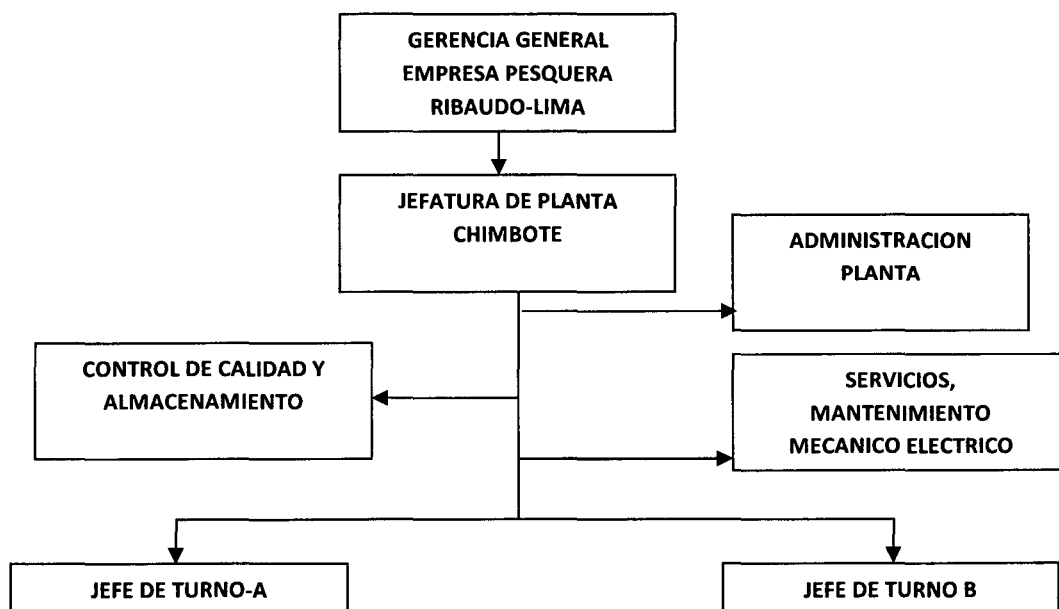


Figura N° 1 Organigrama de la Planta Ribaudó S.A

Fuente: Área de Administración.

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

La necesidad de encontrar una mejora de los indicadores de productividad de la Empresa Pesquera Ribaudó S.A. En función al cambio de combustible R500 por Gas Natural en los quemadores de combustible de los calderos pirotubulares de esta empresa muestra la siguiente importancia:

- La oportunidad de poder mejorar los Indicadores energéticos de la Empresa debido a que el costo del gas natural por unidad de energía generada es más barata con respecto al petróleo, tal como se viene demostrando en las empresas de Lima, Chiclayo y en Chimbote (SIDERPERU), las cuales han tenido potenciales ahorros de energía primaria.
- Los altos costos del petróleo R500 que se incrementaron en el último año en aproximadamente 10% el cual está regido por el precio del mercado internacional, el cual no puede ser regulado por el estado peruano.
- La oportunidad de utilizar un combustible de mejor calidad en lo referente a poder calorífico tal como lo es el gas natural, el cual tiene por gas generado en su mayoría óxidos de nitrógeno y en menor proporción dióxido de carbono , y además no contiene azufre.
- La reducción de la emisión de los gases de efecto invernadero y de óxidos de azufre al no utilizarse el petróleo R500, con lo cual se contribuye en mitigar la emisión de gases a la atmósfera y sobre todo permitir al personal que labora en la empresa y a la población aledaña mejores condiciones de salubridad en el ambiente.

#### **1.4 HIPÓTESIS**

Se plantea la siguiente hipótesis: “Los Indicadores de Productividad de la Empresa Pesquera Ribaudó S.A. se optimizan en un 5% mediante el uso de gas natural licuado en el Área de Calderos”.

## **1.5 OBJETIVOS:**

### **OBJETIVO GENERAL.**

Optimizar los Indicadores de Productividad en el Empresa Pesquera Ribaudó S.A. mediante el uso de gas natural licuado en el Área de calderos.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un Balance de Energía en el Área de Calderos de la Empresa Pesquera Ribaudó S.A. en condiciones actuales de operación.
- Determinar el estado actual de las calderas para la reconversión a Gas Natural Licuado en la Empresa Pesquera Ribaudó S.A.
- Realizar un Balance de Energía en el Área de Calderos de la Empresa Pesquera Ribaudó S.A. en el estado actual y con abastecimiento de Gas Natural Licuado.
- Determinar las características de abastecimiento con Gas Natural Licuado a la empresa Pesquera Ribaudó S.A.
- Realizar un benchmarking energético comparando los indicadores de productividad actuales y usando gas natural en la Empresa Pesquera Ribaudó S.A.
- Evaluar la Rentabilidad Económica del uso de gas natural licuado en la empresa pesquera Ribaudó S.A.

# **CAPITULO II**

## **MARCO TEORICO**

## **2.1 GENERADORES DE VAPOR PIROTUBULARES.**

### **2.1.1 DEFINICION.**

Un generador de vapor es un equipo térmico isobárico aislado, el cual tiene por finalidad producir vapor (saturado) a partir de agua tratada químicamente, a determinadas condiciones de presión y temperatura. Este cambio de fase se realiza por transferencia de calor que producen los gases de combustión de un determinado combustible (Carbón, R500, R-6, Diesel, GN, etc.). En este tipo de calderas, los gases calientes fluyen por el interior de los tubos que son sumergidos en agua dentro de un casco. Las presiones de diseño son usualmente de 150 psig (1034,2 KPa) y sus capacidades varían entre 100 BHP á 1000 BHP, equivalentes a producciones de vapor 3450 lb/h (1565 Kg/h) y 34500 lb/h (15649kg/h) aproximadamente.

Requieren bajo costo de inversión y son menos costosas que las acuotubulares.

Alcanzan elevadas eficiencias (> 80%)

Pueden absorber grandes y súbitas fluctuaciones de carga con ligeras variaciones de presión debido al gran volumen de agua contenido en el casco.

El 84% de las calderas convencionales son del tipo pirotubular.



Figura N° 1 Caldera Pirotubular-Vista en Planta

Fuente: Johnston Boiler Company

Los ingenieros prefieren utilizar el término generador de vapor en vez de caldera de vapor, porque el término caldera se refiere al cambio físico del fluido contenido,

mientras que el generador de vapor cubre la totalidad del aparato en el que el cambio físico está teniendo lugar. Pero en su utilización normal, ambos términos son básicamente lo mismo. Las calderas pirotubulares generalmente son utilizadas para capacidades hasta 22 000 kg/h y presión de 21,09 kg/cm<sup>2</sup> (300 psi). Por encima de esta capacidad y presión, se usan calderas de tubos de agua.

### 2.1.2 FUNCIONAMIENTO.

- El fluido (generalmente agua tratada químicamente, entre 0 a 4 ppm de dureza) se inyecta al caldero mediante una bomba o conjunto de bombas a una presión superior al contenido en el caldero.
- El calor o energía térmica es suministrada a través de una fuente de energía primaria, mediante una reacción de oxidación entre un combustible (en función a su poder calorífico) y el oxígeno del aire comburente, a un determinado exceso de aire generándose gases de la combustión a alta temperatura.
- La eficiencia de la combustión depende del exceso de aire, en este caso es recomendable un 15 a 20% de exceso de aire para combustibles gaseosos y entre 20 a 30% para combustibles líquidos, para poder alcanzar un alto valor de temperatura de llama adiabática.
- La eficiencia de la combustión dependerá en su medida de la temperatura y de la presión del combustible, así como de la temperatura del aire comburente, así como de las condiciones de hermeticidad del hogar y de las condiciones de limpieza del quemador.

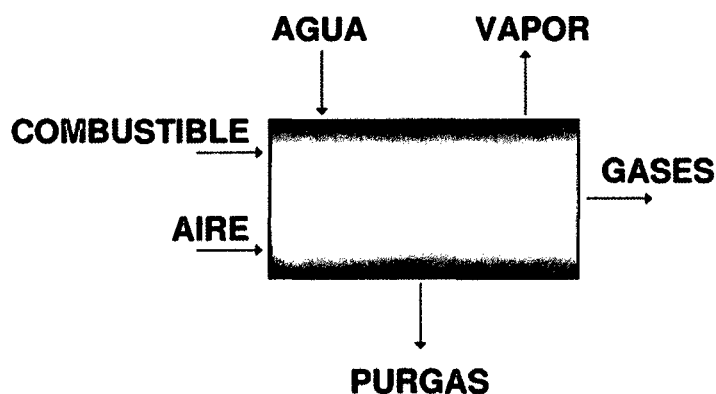


Figura N° 2 Diagrama de flujo de ingreso de energía en un caldero

Fuente: Elaboración propia.

- El calor se transfiere desde los gases de la combustión hacia el agua o fluido a calentar o a evaporar, mediante un rendimiento de aprovechamiento del calor suministrado en calor útil. Posteriormente los gases de la combustión abandonan el caldero en función a su característica del equipo (tiro forzado o tiro inducido o tiro balanceado) mediante la chimenea (diseñada a una determinada altura).
- El agua calentada o en estado de vapor saturado o sobrecalentado fluye a través de una válvula de globo hacia el sistema de distribución de vapor. En un proceso intermedio parte del fluido es retirado mediante las purgas de fondo del equipo, esta operación se realiza en función a los requerimientos de control de calidad del agua.
- Es indispensable así mismo un adecuado control del nivel de agua y la presión de trabajo del equipo para una seguridad de la operación.

### 2.1.3 DISPOCISION.

- Según el número de viajes o pasos que realiza los gases de la combustión, tenemos de 2, 3 y 4 pasos.

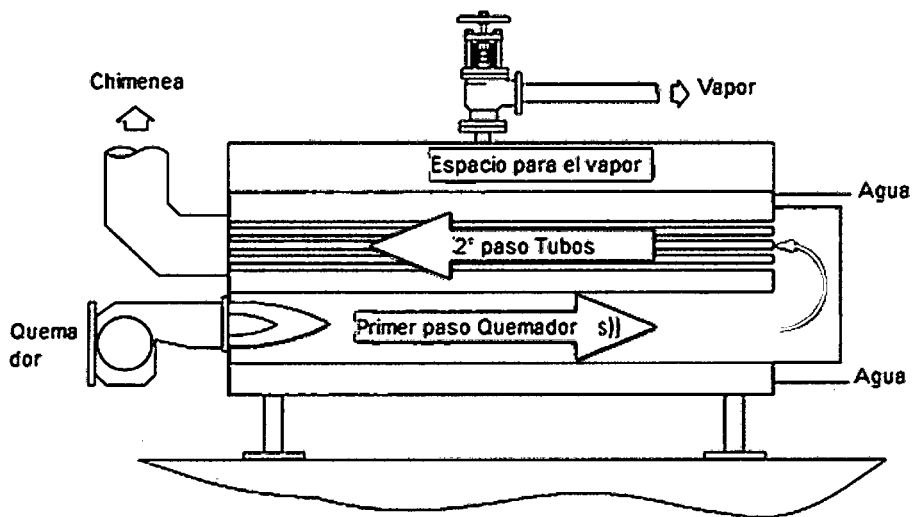


Figura N° 3 Corte transversal de un Caldero de 2 pasos

Fuente: Educared.

- Según la ubicación de la chimenea, tenemos calderos de espalda seca cuando la chimenea está ubicada en la parte posterior del caldero y calderos de espalda húmeda, cuando la chimenea está ubicada en la parte frontal del caldero.

- De hogar único o doble hogar, según su potencia.

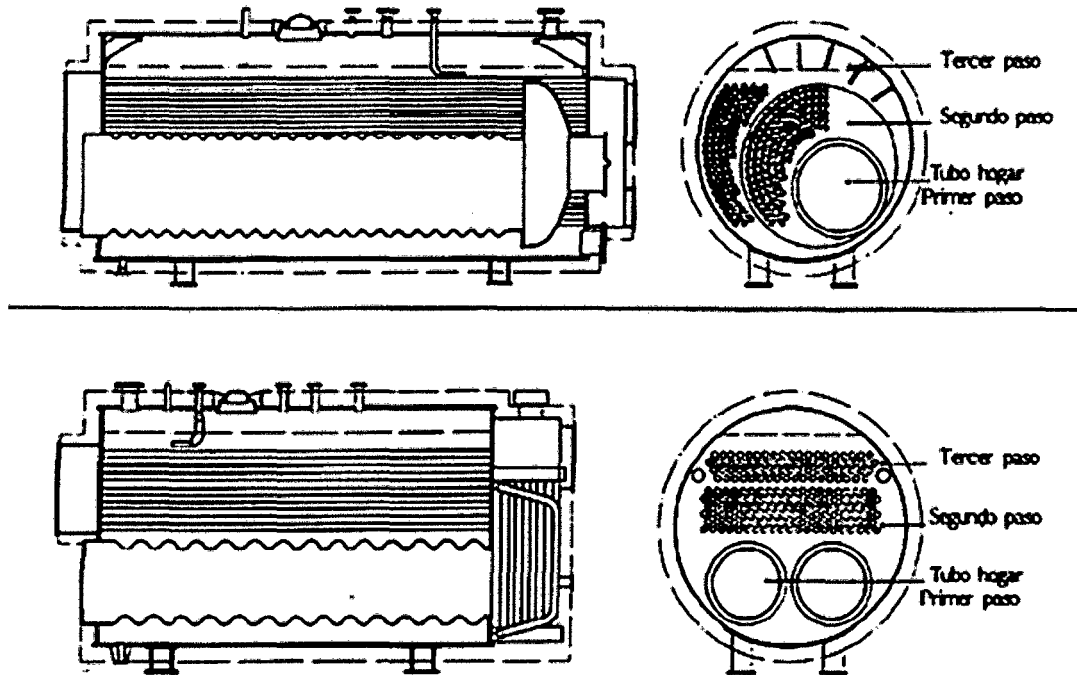


Figura N° 4 Vista frontal, lateral y posterior de un Caldero

Fuente: Enciclopedia de Calderas

#### 2.1.4 COMPONENTES.

- HOGAR:** También llamada FLUE o cámara de combustión, es el espacio donde se realiza la combustión y en donde soporta las más altas temperaturas de combustión. Generalmente es corrugada (para poder compensar los esfuerzos térmicos) tipo Morrison en lámina de acero al carbono en calidad ASTM A 285 grado C.
- BANCO DE TUBOS:** Está conformado por tubos de acero al carbono sin costura, generalmente cedula 40 (de 2 a 2 ½" generalmente para calderos de mediana y gran capacidad , para calderos de pequeña capacidad se usan tuberías de ½") en calidad certificada ASTM A 192, están fijados en los espejos del caldero de la siguiente forma:
  - En la parte frontal van expandados.
  - En la parte posterior van expandados y electro soldados.
- TAMBOR O CILINDRO:** Es el cilindro que conforma la parte exterior y da forma al caldero, está compuesto por:



- Cámara de agua: Es el volumen de la caldera que está ocupado por el agua que contiene y tiene como límite superior un cierto nivel mínimo del que no debe descender nunca el agua durante su funcionamiento. Es el comprendido donde el nivel mínimo visible en el tubo de nivel hacia abajo.
  - Cámara de vapor: Es el espacio o volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera. Mientras más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara.
- En este espacio o cámara, el vapor debe separarse de las partículas de agua que lleva en suspensión. Por esta razón, algunas calderas tienen un pequeño cilindro en la parte superior de esta cámara, llamada "domo", y que contribuye a mejorar la calidad del vapor (hacerlo más seco).

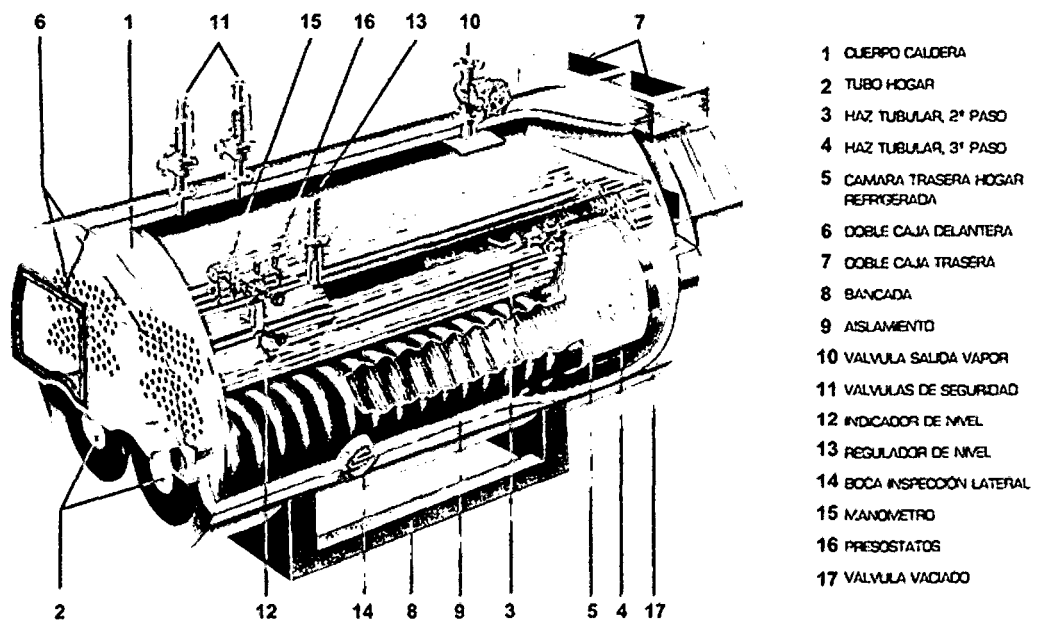


Figura N°5 Componentes de un caldero Pirotubular

Fuente: SOGECAL (España)

El cuerpo de presión de la caldera será totalmente soldado por fusión eléctrica de penetración completa. La lámina del vaso o cilindro de presión generalmente es de plancha de acero al carbono en Calidad Certificada ASTM A 285 grado C o ASTM A 515 Grado 70.

Las soldaduras se someterán a inspección radiográfica de acuerdo con lo ordenado por el Código ASME en sus secciones pertinentes. Una vez soldado íntegramente el cuerpo de presión será sometido a tratamiento térmico de normalización para eliminar los esfuerzos residuales producidos durante la soldadura.

La caldera estará cubierta con aislamiento de manta mineral de 2" de espesor, protegida con lámina C.R. calibre 20 y opcionalmente con lámina galvanizada o con lámina de acero inoxidable.

d. **ESPEJOS:** O también llamadas placa tubos, fabricadas de lámina de acero al carbono en calidad ASTM A 285 grado C o 515 grado 70.

e. **CAMARAS DE HUMO:** Corresponde al espacio de la caldera en el cual se juntan los humos y gases, después de haber entregado su calor y antes de salir por la chimenea.

f. **MAMPOSTERIA:** Se llama mampostería a la construcción de ladrillos refractarios o comunes que tienen como objeto:

- Cubrir la caldera para evitar pérdidas de calor.
- Guiar los gases y humos calientes en su recorrido.

Para mejorar la aislación de la mampostería se dispone, a veces, en sus paredes de espacios huecos (capas de aire) que dificultan el paso del calor. En algunos tipos de calderas se ha eliminado totalmente la mampostería de ladrillo, colocándose solamente aislación térmica en el cuerpo principal y cajas de humos. Para este objeto se utilizan materiales aislantes, tales como lana de vidrio recubierta con planchas metálicas y asbestos.

g. **PUERTAS DE EXPLOSION:** Son puertas metálicas con contrapeso o resortes, ubicadas generalmente en la caja de humos y que se abren en caso de exceso de presión en la cámara de combustión, permitiendo la salida de los gases y eliminando la presión. Solo son utilizables en calderas que trabajen con combustibles líquidos o gaseosos

**h. CHIMENEA:**

Es el conducto de salida de los gases y humos de la combustión hacia la atmósfera, los cuales deben ser evacuados a una altura suficiente para evitar perjuicios o molestias a la comunidad. Además, tiene como función producir el tiraje necesario para obtener una adecuada combustión, esto es, haciendo pasar el aire necesario y suficiente para quemar el combustible, en caldera que usan combustibles sólidos. (Tiraje natural Las dimensiones de la chimenea en cuanto a su altura y diámetro estarán determinadas por el tiraje necesario y condiciones de instalación respecto a edificios vecinas. En las calderas modernas existe tiraje artificial en que el movimiento del aire se hace por ventiladores sin descartar, desde luego, los usos de la chimenea.

El dámper es una compuerta metálica instalada en el conducto de humo que comunica con la chimenea o bien en la chimenea misma. Tiene por objeto dar mayor o menor paso a la salida de los gases y humos de la combustión.

**i. SISTEMAS AUXILIARES:**

- Sistemas de Combustión.
- Sistemas de suministro de Combustible.
- Sistema de suministro de aire.
- Sistema de suministro de agua.
- Sistema de retiro de vapor.
- Sistema de purgas de fondo y nivel.

**j. SISTEMAS DE SEGURIDAD;CONTROL Y MANDO:**

- Sistemas de Control de Nivel de Agua.
- Sistemas de Control de Presión.
- Sistemas de Control y Mando.
- Sistemas de Regulación de Aire/Combustible.

### 2.1.5 INDICADORES.

#### a. **BOILER HOURSE POWER (BHP)**

La potencia de la caldera viene dada por HP de caldera (BHP), tal como fue establecida en 1889 por la ASME. Esta medida estaba basada en una máquina de vapor que empleaba 13.62 kg (30 lb) de vapor por HP hora a una presión relativa de 4.9 kg/cm<sup>2</sup> (70psi) y con el agua de alimentación de la caldera a 38.5 °C (101 °F). Actualmente esto corresponde a la evaporación de 15.65 kg (34.5 lb) de agua por hora a 100 °C (212 °F), lo cual significa la conversión de 15.65 kg de agua por hora a 100 °C en vapor saturado a 100 °C, a la presión atmosférica normal (1.033 kg/cm<sup>2</sup>), dentro un Área de transferencia de calor de 0.929 m<sup>2</sup>. Existen calderos desde 1 BHP hasta 2,500 BHP. Es un parámetro de comparación solo entre calderos pirotubulares.

$$1 \text{ BHP} = 15.65 \text{ kg/h} * 538.9 \text{ kcal/kg} = 8,437 \text{ Kcal/h} = 9.81 \text{ kW}.$$

Por ejemplo un generador de vapor de 900 BHP, tendrá un equivalente en Potencia igual a:

$$\text{Caldero de 900 BHP} = 900 * 8,437 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} = 7'593,300 \text{ Kcal/h}$$

#### b. **CAPACIDAD MAXIMA DE GENERACION DE UN GENERADOR DE VAPOR:**

Es la máxima capacidad de generación de vapor nominal que un caldero pirotubular puede suministrar en función a la Potencia del Caldero y la Presión de diseño, se obtiene la máxima capacidad de generación de vapor saturado, según la siguiente ecuación:

$$\text{Maxima capacidad de generacion de vapor} = \frac{\text{Potencia del caldero}}{h_2 - h_1} \dots \dots \dots (1)$$

Dónde:

$h_2$  = Es la entalpia final del vapor saturado a la presión de diseño.

$h_1$  = Es la entalpia inicial del agua a la presión de diseño y a la temperatura de ingreso del agua al caldero.

**c. FACTOR DE CARGA:**

Es un parámetro de comparación entre los BHP reales o de operación y los BHP nominales, con la finalidad de poder determinar el grado de utilización del caldero en relación a su máxima capacidad de operación.

$$\text{FACTOR DE CARGA DE UN CALDERO} = \frac{\text{BHP reales}}{\text{BHP nominales}} \dots \dots (2)$$

Es recomendable operar un caldero con un Factor de Carga entre el 85 al 90 %, valor en el cual se alcanza el máximo rendimiento del equipo.

**2.2 BALANCE DE ENERGIA EN CALDEROS PIROTUBULARES.**

La eficiencia térmica es el indicador más importante de un generador de vapor como una caldera, ya que caracteriza el grado de aprovechamiento de la energía suministrada, o sea, la parte de esa energía que ha sido transferida al agente de trabajo.

El objetivo de una caldera, además de generar vapor, es realizar con la máxima eficiencia posible la transferencia de calor, definiendo esta de una manera sencilla como la porción de calor liberado en el horno que es absorbido por los fluidos en los elementos de la caldera.

Cuando se selecciona una caldera se deben considerar los siguientes parámetros:

- Cantidad de vapor requerida.
- Presión, temperatura, calidad del vapor requerido.
- Futuros requerimientos.
- Localización de la unidad.
- Características de la carga.
- Tipos de combustibles disponibles.
- Diseño de quemadores.
- Calidad del agua de alimentación.
- Variaciones previstas de la carga.

### 2.2.1 NORMATIVIDAD PARA EVALUAR.

- **BRITISH STANDARDS, BS845: 1987 (Normas Británicas)**

El Estándar británico BS845: 1987 describe los métodos y condiciones en las cuales una caldera debería ser probada para determinar su eficacia. Para las pruebas para ser hechas, la caldera debería ser manejada en condiciones de carga estables (la carga generalmente llena) para el periodo de una hora después de lo cual las lecturas serían tomadas durante la hora siguiente de operación estable para permitir a la eficacia ser calculadas.

La eficacia de una caldera es cotizada como el porcentaje de calor útil disponible, expresada como un porcentaje de la energía total potencialmente disponible quemando el combustible. Esto es expresado sobre la base del valor calorífico total (GCV).

Esto trata con el equilibrio de calor completo y esto tiene dos partes:

1ra Parte: Trata con calderas estándar, donde el método indirecto es especificado.

2da Parte: Trata con la planta compleja donde hay muchos canales de flujo de calor.

En este caso, tanto los métodos directos como indirectos son aplicables, en el todo o en parte.

- **ASME STANDARD: PTC-4-1 POWER TEST CODE FOR STEAM GENERATING UNITS**

(Norma ASME - Código de Prueba de Poder para Unidades de Generación de Vapor)

Esto consiste en:

1ra Parte: Método Directo (llamada también como método de entrada – salida).

2da Parte: Método Indirecto (llamadas como método de las pérdidas de calor).

- **IS 8753: INDIAN STANDARD FOR BOILER EFFICIENCY TESTING**

(Norma india para Pruebas de Eficiencia de Calderas)

La mayor parte de normas para el cómputo de eficiencia de caldera, incluyendo la IS 8753 Y BS 845 están diseñadas para la medición in situ de la eficiencia de la caldera.

Invariablemente, todas estas normas no incluyen el golpe abajo como una pérdida en el proceso de determinación de eficacia.

Básicamente la eficiencia de caldera puede ser probada por los métodos siguientes:

El Método Directo: Donde el beneficio de energía del fluido trabajador (el agua y el vapor) es comparado con el contenido de energía del combustible de caldera.

El Método Indirecto: Donde la eficacia es la diferencia entre las pérdidas y la entrada de energía.

- **NORMATIVIDAD PERUANA:**

Según las Normas Técnicas Aprobadas por INDECOPI, son un total de cuatro exclusivamente para calderas industriales, ellas son:





Sub - Comite	Item	ID de norma	Nombra de Norma	Fecha de Aprobación:
	1	<b>NTP 350.300:2008</b>	<b>CALDERAS INDUSTRIALES.</b> <i>Procedimiento para la Determinación de la Eficiencia Térmica de Calderas Industriales.</i>	2008.10.26
	2	<b>NTP 350.301:2008</b>	<b>CALDERAS INDUSTRIALES.</b> <i>Estándares de Eficiencia Térmica (combustible/ vapor) y Etiquetado.</i>	2009.02.04
	3	<b>NTP 350.302:2009</b>	<b>EFICIENCIA ENERGÉTICA. Calderas Industriales.</b> <i>Proyecto de Instalación de Calderas con Reducción de Emisiones. Requisitos básicos.</i>	2009.11.07
	4	<b>NTP 350.303:2010</b>	<b>CALDERAS INDUSTRIALES.</b> <i>Inspección de las Instalaciones con Fines de Eficiencia Energética y Reducción de Emisiones.</i>	2010.04.16

Figura N° 6. Normatividad Peruana para evaluación de calderos pirotubulares

Fuente: INDECOPI

### 2.2.2 METODO DIRECTO:

Conocido como el Método de Entrada - Salida de la caldera debido al hecho que esto necesita sólo la salida útil (el vapor) y la entrada o suministro de calor a través de una fuente de energía primaria (p. ej. el combustible) para evaluar la eficiencia. Refleja la influencia de la variación del estado de operación de la caldera incluyendo los arranques y paradas del quemador así como las purgas de la caldera.

Esta eficacia puede ser evaluada usando la fórmula:

$$\eta = \frac{\text{Energía o Potencia Calorífica Util}}{\text{Energía o Potencia Calorífica suministrada}} * 100\% \dots \dots (3)$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_v * (h_2 - h_1)}{\dot{m}_c * Pci} * 100\% \dots \dots (4)$$

Dónde:

$\dot{m}_v$  =Flujo de vapor generado por hora,

$(h_2 - h_1)$ =Variación de entalpía de vapor.

$\dot{m}_c$  =Flujo másico del combustible,

Pci: Poder calorífico inferior.

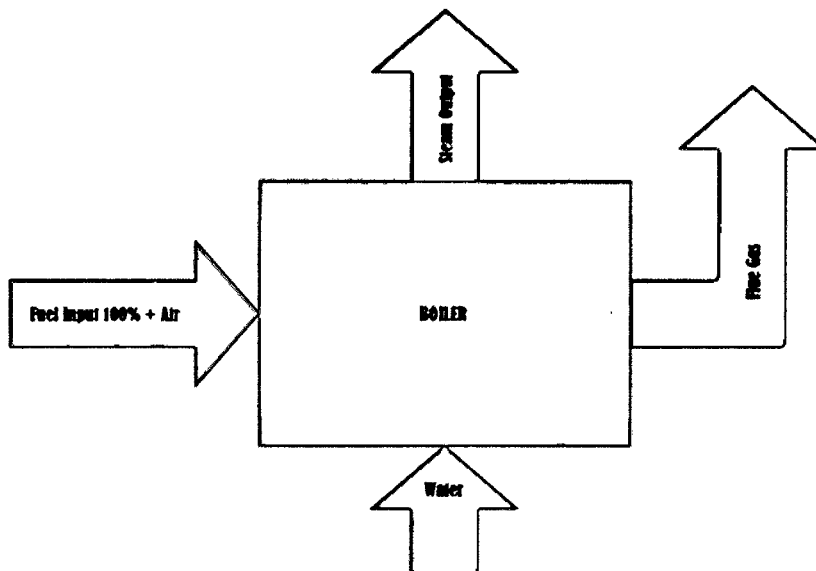


Figura N° 7 Balance de Energía Método Directo

Fuente: Elaboración Propia

**POTENCIA CALORIFICA SUMINISTRADA O DE ENTRADA.**

Tanto la entrada de calor como la salida de calor deben ser medidas. La medida de entrada o suministro de potencia calorífica o de calor requiere el conocimiento del valor calorífico del combustible y su caudal en términos de masa o volumen, según la naturaleza del combustible.

Para combustible gaseoso: Un contador de gas del tipo aprobado puede ser usado y el volumen moderado debería ser corregido para la temperatura y la presión. Una



muestra de gas puede ser recogida para la determinación de valor calorífico, pero es por lo general aceptable usar el valor calorífico declarado por los proveedores de gas.

Para combustible líquido: El fuel oil pesado es muy viscoso y esta propiedad varía bruscamente con la temperatura. El medidor, que por lo general es instalado sobre la aplicación de combustión, debería ser considerado como un indicador aproximado solamente y, para fines de prueba, un medidor calibrado para el aceite particular debe ser usado y sobre una gama realista de temperatura debería ser instalado. Aún mejor es el uso de un tanque de día calibrado con precisión.

Para combustible sólido: La medida exacta del flujo de carbón u otros combustibles sólidos es muy difícil de medir. La medida debe basarse en la masa, lo que significa que los aparatos voluminosos deben ser instalados sobre el piso de edificio de la caldera. Las muestras deben ser tomadas y empaquetadas durante toda la prueba, las bolsas selladas y enviadas a un laboratorio para el análisis y la determinación del poder calorífico. En algunas casas de caldera más recientes, el problema ha sido aliviado por el montaje las tolvas sobre las calderas sobre células de carga calibradas, pero estos son aún raros.

#### **POTENCIA CALORIFICA UTIL O CALOR DE SALIDA.**

Hay varios métodos, que pueden ser utilizados para medir la producción de calor. Con las calderas de vapor, un medidor de vapor instalado se puede utilizar para medir el flujo, pero esto debe ser corregido para la temperatura y la presión. En años anteriores, este enfoque no se vio favorecido por el cambio en la precisión del orificio o medidores de Venturi de caudal. Ahora es más viable con medidores de flujo moderno de la variable del orificio o tipos de vórtice-vertimiento.

La alternativa con calderas pequeñas es medir el agua de alimentación, y esto se puede hacer antes de calibrar el tanque de alimentación y anotar los niveles de agua durante el comienzo y el final de la prueba. Se debe tener cuidado de no bombear agua durante este período. Además de calor para la conversión de agua de alimentación a la temperatura de entrada de vapor, se considera para la producción de calor.

En caso de calderas de purga intermitente, la purga debe evitarse durante el período de prueba. En caso de calderas de purga continua, la pérdida de calor debido a la purga debe ser calculada y añadida al calor en el vapor.

**2.2.3 METODO INDIRECTO.**

Llamada también como el método de las pérdidas de calor. Las desventajas del método directo pueden ser vencidas por este método, que calcula varias pérdidas de calor asociadas con la caldera. La eficiencia puede ser determinada, restando las fracciones de pérdida de calor de 100. Una ventaja importante de este método consiste en que los errores en la medida no hacen el cambio significativo de la eficiencia.

Así si la eficiencia de caldera es el 90%, un error del 1% en el método directo causará el cambio significativo de la eficiencia. Es decir:

$$90\% \pm 0.9 = 89.1 \text{ a } 90.9\%.$$

En el método indirecto, el error en la medida de pérdidas causará:

$$\text{Eficiencia} = 100 - (10 \pm 0.1) = 89.9 \text{ a } 90.1\%.$$

Para esto se determinara primero las principales pérdidas de calor, lo cual permite conocer no solo cómo se distribuye el calor aportado por el combustible; sino también facilita la evaluación de las ecuaciones para mejorar la eficiencia energética de la caldera. La aplicación de este método se basa sobre todo en el análisis de gases de chimenea, y no requiere la medición del vapor generado.

Varias pérdidas de calor ocurren en la caldera y son:

$$\eta = 100 - \sum_{i=1}^n P_i \dots \dots \dots (5)$$

Dónde:

$$\sum_{i=1}^n P_i = \text{Son las perdidas totales en el caldero.}$$

Son las siguientes:

- a. **Pérdida por la entalpía de los gases de escape secos, P<sub>1</sub>**

Es la pérdida porcentual de calor debida a la entalpía en los gases de escape, en base seca, se calcula mediante:

$$P_1 = k \cdot \{(T_g - T_a) / [CO_2]\} \dots \dots \dots (6)$$

Dónde:

$T_g$  = Temperatura de los gases de la combustión.

$T_a$  = Temperatura del medio ambiente.

$[CO_2]$  = % de Dióxido de Carbono en los gases de la combustión.

K = Es la constante de Sievert para el Combustible.

Cuadro N° 1 Propiedades de los Combustibles.

TIPO	CTE DE SIEGERT (K)	CO2 MAX %	CONSTANTE (K <sub>1</sub> )
RESIDUALES	0.53	15.8	54
DESTILADOS	0.48	15.5	53
GLP	0.4	13.8	48
GAS NATURAL	0.35	11.9	40

Fuente: NTP 350.300.2008

**b. Pérdida por la entalpía del vapor de agua en los gases, P<sub>2</sub>.**

La pérdida porcentual de calor debida a la entalpía del vapor de agua en los gases de escape, se calcula mediante:

$$P_2 = \{([H_2O] + 9*[H]) * (2488 - 4,2*T_a + 2,1*T_g)\} / PCS \dots\dots (7)$$

Dónde:

$T_g$  = Temperatura de los gases de la combustión.

$T_a$  = Temperatura del medio ambiente.

$[H_2O]$  = % de Agua en los gases de la combustión.

$[H]$  = % de Hidrogeno en el combustible.

PCS = Poder calorífico Superior del Combustible.

**c. Pérdida por inquemados gaseosos, P<sub>3</sub>.**

La pérdida porcentual de calor debido a los inquemados gaseosos, se calcula mediante:

$$P_3 = k_1 * \{[CO] / ([CO_2] + [CO])\} \dots\dots\dots (8)$$

Dónde:

$[CO]$  = % de Monóxido de Carbono en los gases de la combustión.

$K_1$  = Es la constante de inquemados del Combustible. (Ver Tabla N° 2)

**d. Pérdida por inquemados sólidos, P<sub>4</sub>.**

La pérdida porcentual de calor bebida a los inquemados sólidos, se calcula mediante:

$$P_4 = 0.4*B^2 + 0.8*B + 0.07.....(9)$$

Dónde:

B = Índice de Bacharach, mediante el cual se evalúa la opacidad de los gases de la combustión.

Cuadro N° 2 Índice de Bacharach.

INDICE DE BACHARACH	CALIFICACION	EFFECTOS
1	EXCELENTE	NO HAY HOLLIN
2	BUENA	HOLLIN MUY REDUCIDO
3	REGULAR	CIERTA CANT. DE HOLLIN
4	POBRE	HOLLIN VISIBLE
5	MUY POBRE	HOLLIN MUY VISIBLE
6 a 9	POBRISIMA	HOLLIN MUY MUY VISIBLE

Fuente: NTP 350.300.2008

**e. Pérdida por convección, P<sub>5</sub>.**

La pérdida porcentual de calor debida a la convección, se obtiene sumando las pérdidas porcentuales por convección para cada tipo de superficie exterior, mediante:

$$P_5 = 80*(Q_{p5} / Wc)..... (10)$$

Dónde:

$$Q_{p5} = h_{cf} * A_f * (T_{sf} - T_a) + h_{cg} * A_g * (T_{sg} - T_a) ..... (11)$$

$$h_{ef} = 1.973 * 10^{-3} * (T_{sf} - T_a)^{0.25} * (2.857 * v + 1)^{0.5} ..... (12)$$

$$h_{cg} = 1.973 * 10^{-3} * (T_{sg} - T_a)^{0.25} * (2.857 * v + 1)^{0.5} ..... (13)$$

$$Wc = 9.81 * BHP ..... (14)$$

Dónde:

T<sub>sf</sub> = Temperatura exterior de la caldera, lado del fluido (se asume la temperatura exterior del tambor o cilindro del caldero). En grados °K.

$T_{sg}$  = Temperatura exterior de la caldera, lado de los gases (se asume la temperatura exterior de la chimenea). En grados °K.

$A_f$  = Superficie exterior que cubre al fluido (se asume la superficie exterior del caldero) en  $m^2$ .

$A_g$  = Superficie exterior que cubre los gases de la combustión (se asume la superficie exterior de la chimenea) en  $m^2$ .

$v$  = Es la velocidad del viento (m/sg) que fluye por la parte exterior al caldero.

**f. Pérdida por radiación,  $P_6$ .**

La pérdida porcentual de calor debida a la radiación, se obtiene sumando las pérdidas porcentuales por radiación para cada tipo de superficie exterior, mediante:

$$P_6 = 80 * (Q_{p6} / Wc) \dots\dots (15)$$

Donde:

$$Q_{p6} = (q_{rf} * A_f) + (q_{rg} * A_g) \dots\dots (16)$$

$$q_{rf} = 5.763 * 10^{-11} * e * [(T_{sf} + 273)^4 - (T_a + 273)^4] \dots\dots (17)$$

$$q_{rg} = 5.763 * 10^{-11} * e * [(T_{sg} + 273)^4 - (T_a + 273)^4] \dots\dots (18)$$

$$w_c = 9,81 * BHP \dots\dots (19)$$

Dónde:

$T_{sf}$  = Temperatura exterior de la caldera, lado del fluido (se asume la temperatura exterior del tambor o cilindro del caldero). En grados °K.

$T_{sg}$  = Temperatura exterior de la caldera, lado de los gases (se asume la temperatura exterior de la chimenea). En grados °K.

$A_f$  = Superficie exterior que cubre al fluido (se asume la superficie exterior del caldero) en  $m^2$ .

$A_g$  = Superficie exterior que cubre los gases de la combustión (se asume la superficie exterior de la chimenea) en  $m^2$ .

$e$  =emisividad del material que cubre al caldero.

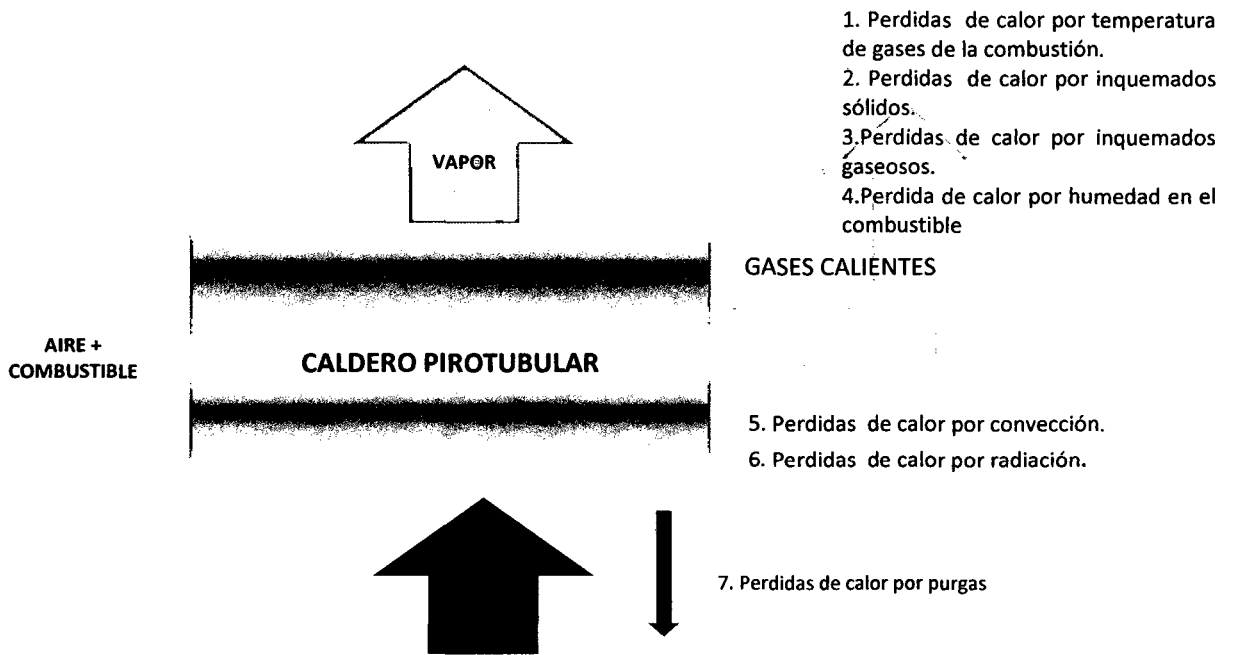


Figura N° 8 Balance de Energía Método Indirecto

Fuente: Elaboración Propia

## 2.3 GAS NATURAL LICUADO.

### a. CARACTERISTICAS.

El gas natural licuado, denominado comercialmente GNL, es gas natural transformado en un líquido a  $-162.2^{\circ}\text{C}$  y constituido casi totalmente por metano, que se ha convertido en una fuente creciente de energía debido a que puede ser fácilmente transportado por mar y almacenado para su uso.

Cuando se lo calienta a  $-106^{\circ}\text{C}$  o a mayor temperatura, se hace más liviano que el aire, sube y se dispersa. En fase vapor, aparece como una nube blanca visible porque su baja temperatura condensa la humedad del aire circundante y cuando se lo expone a la temperatura ambiente se vaporiza rápidamente. En estado líquido, el GNL es 1,4 veces más pesado que el aire, pero a medida de que se calienta su densidad se reduce, alcanzando 0,55 veces la del aire a temperatura ambiente.

A menudo se lo confunde con gas licuado de petróleo (GLP), aunque sus componentes difieren completamente. El gas licuado está compuesto por moléculas de propano y

butano en distintas proporciones, más pesadas que las de metano, extraídas de la corriente de gas natural húmedo y almacenado en recipientes aptos para su transporte y posterior utilización comercial. Como el gas licuado tiene mayor poder calorífico que el metano, se acostumbra a adicionar pequeñas proporciones de propano o butano al gas natural seco para elevar su poder calorífico, satisfaciendo así las especificaciones de determinados consumidores.

También se lo suele confundir con el gas natural comprimido (GNC). Si bien se trata del mismo producto, en este caso sólo se lo ha comprimido a 200 bar, reduciendo así su volumen, para poder almacenarlo y transportarlo, generalmente para su uso como combustible para automotores. El GNC es esencialmente metano comprimido que se mantiene en fase gaseosa.

El GNL no tiene olor, ni color, es anticorrosivo y no es tóxico. Sin embargo, como cualquier material gaseoso además del aire y oxígeno, el gas natural vaporizado del GNL puede causar asfixia en un lugar sin ventilación.

#### **b. HISTORIA DEL GNL.**

La licuefacción del gas natural se remonta al siglo XIX, cuando el químico y físico inglés Michael Faraday experimentó con el licuado de diferentes tipos de gases, incluyendo el gas natural. El ingeniero alemán Karl Von Linde construyó la primera máquina de refrigeración a compresión en Múnich en 1873. La primera planta de GNL fue construida en el Oeste de Virginia en 1912. Comenzó a funcionar en 1917. La primera planta comercial de licuefacción fue construida en Cleveland, Ohio, en 1941. El GNL fue almacenado en tanques a presión atmosférica. La licuefacción del gas natural elevó la posibilidad de su transporte a lugares lejanos. En Enero de 1959, el primer tanque de GNL del mundo, El Pionero Metano, un tanquero de la Segunda Guerra Mundial reconstruido, cargando cinco tanques prismáticos de aluminio, de 7,000 barriles de capacidad con soportes de madera y aislamiento de madera contraenchapada y uretano, llevó una carga de GNL del Lake Charles, en Louisiana a La Isla Canvey, en el Reino Unido. Esto demostró que grandes cantidades de gas natural licuado podían ser transportadas de manera segura a través de los mares.

**c. VENTAJAS FRENTE A OTRAS TECNOLOGIAS.**

- En primer lugar, el GNL se presenta como una alternativa al transporte de gas natural por cañerías de alta presión o gasoductos. A medida que aumenta la distancia a la cual el gas debe ser transportado, disminuyen las ventajas económicas del gasoducto frente al GNL. En efecto, si bien ambos constituyen infraestructuras de transporte relativamente fijas, los costos de capital y operativos del gasoducto crecen exponencialmente con su longitud, mientras que un sistema de GNL tiene una sola componente variable con la distancia: el transporte marítimo, tradicionalmente mucho más económico por m<sup>3</sup> transportado.
- Por dicha razón se admite hoy que para distancias superiores a los 4.000 Km. El transporte de GNL es más económico que el transporte por gasoducto, si bien esta afirmación general no tiene en cuenta particularidades como: obstáculos tales como cruces de ríos, montañas, selvas, etc. en el caso de gasoductos, ni la necesidad de construir costosas instalaciones portuarias en el caso de las terminales de GNL
- Otra alternativa, aún en estado experimental, es el GTL (Gas-to-Liquids), que consiste en la conversión del gas natural en un combustible sintético. Es ideal para monetizar reservas remotas de gas porque, a diferencia del GNL, puede ser transportado en buques tanque convencional. Existen dos procesos para producir GTL, a saber: conversión directa de gas e conversión indirecta de gas de síntesis. El proceso directo elimina la necesidad de producir gas de síntesis, pero requiere gran cantidad de energía y es difícil de controlar.
- Finalmente, cabe mencionar al GNC que ha tenido tanta difusión como combustible para automotores en el mundo como alternativa aún no explorada para transportar gas por mar a grandes distancias. En teoría, sería mucho más fácil comprimir gas en la terminal exportadora, cargarlo en buques especialmente equipados con tanques a presión y descargarlo directamente en puntos adyacentes a la red del país importador. La inversión en instalaciones fijas en tierra sería mucho menor, pero se necesitarían tres y media veces más buques para transportar el mismo volumen de gas que con GNL. Lo que realmente ha conspirado contra la implementación de este medio es el riesgo asociado a la operación con buques conteniendo tanques presurizados. Si se imagina el peligro que encierra un gasoducto operando a presiones del 80/120 bar y se



compara con un tanque flotante a 200 bar, se comprende fácilmente la prevención que genera.

**c. LICUEFACCION DEL GNL.**

El proceso de licuefacción consiste en el enfriamiento del gas purificado a través del uso de refrigerantes. La planta de licuefacción puede consistir en varias unidades paralelas (“trenes”). El gas natural es licuado para ser transportado a una temperatura aproximada de  $-256^{\circ}\text{F}$ . Al licuar el gas, su volumen es reducido por un factor de 600, lo que quiere decir que el GNL a la temperatura de  $-256^{\circ}\text{F}$ , utiliza  $1/600$  del espacio requerido por una cantidad comparable de gas a temperatura ambiente y presión atmosférica.

El GNL es un líquido criogénico. El término “criogénico” significa baja temperatura, generalmente por debajo de  $-100^{\circ}\text{F}$ . El GNL es un líquido puro, con una densidad de alrededor de 45% la densidad del agua.

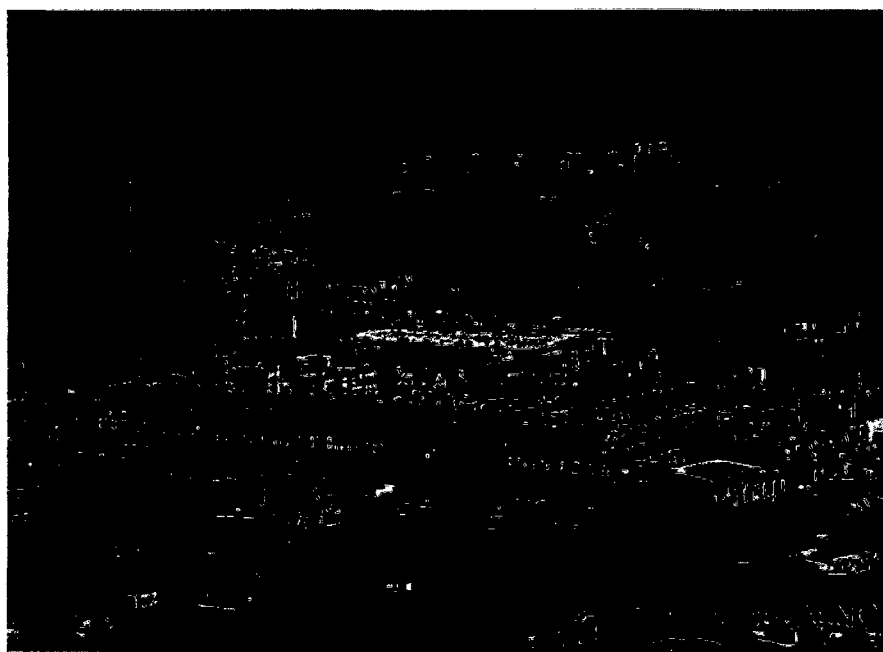


Figura N° 9 Planta de Licuefacción

Fuente: Energy Economics Reaerch

El GNL es almacenado en tanques de paredes dobles a presión atmosférica. El tanque de almacenaje es en realidad un tanque dentro de otro tanque. El espacio anular entre las dos paredes del tanque está lleno de aislamiento. El tanque interno, en contacto con el GNL, está hecho de materiales recomendados para el servicio criogénico y la carga estructural proporcionada por el GNL. Estos materiales incluyen un 9% de acero níquel, aluminio y concreto pre-tensado. El tanque exterior está hecho generalmente de acero al carbono y concreto pre-tensado.

**d. TRANSPORTE.**

Los tanqueros de GNL son embarcaciones de casco dobles, especialmente diseñados y aislados para prevenir el goteo o ruptura en el evento de un accidente. El GNL está almacenado en un sistema especial dentro del casco interior donde se mantiene a presión atmosférica y  $-161^{\circ}\text{C}$ . Tres tipos de sistemas de almacenamiento han evolucionado como el estándar. Estos son:

- El diseño esférico (Moss)
- El diseño de membrana
- El diseño estructural prismático

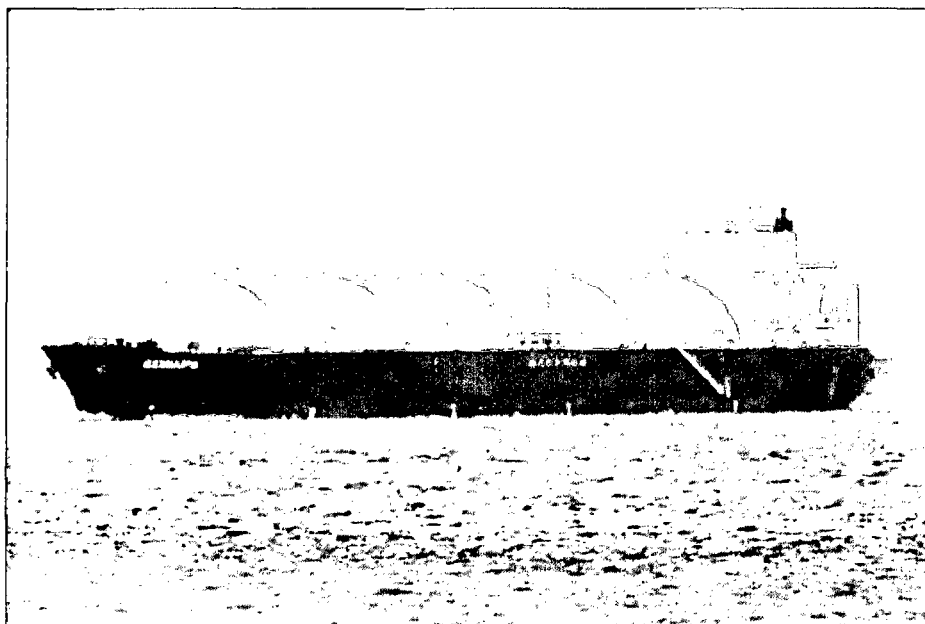


Figura N° 10 Barco metanero

Fuente: Energy Economics Reaerch

**e. ALMACENAMIENTO Y REGASIFICACION.**

Para regresar el GNL a su estado gaseoso, es pasado a la planta de regasificación. A la llegada al terminal de recepción en su estado líquido, el GNL es bombeado primero a un tanque de almacén de doble-pared (a presión atmosférica) similar a aquel usado en la planta de licuación, después es bombeado a alta presión a través de diferentes componentes donde es calentado en un ambiente controlado.

El GNL es calentado pasándolo por tuberías calentadas directamente por calderas, agua de mar o a través de tuberías calentadas por agua. El gas vaporizado es después regulado a presión y entra al sistema de gasoductos de los EE.UU. como gas natural. Finalmente, consumidores residenciales y comerciales reciben gas natural para su uso diario desde utilidades de gas locales o en forma de electricidad.

**2.4 TRANSPORTE VIA GASODUCTO VIRTUAL.**

El “gasoducto virtual” es un sistema de distribución de gas natural proveniente de Camisea a usuarios que debido a su ubicación no pueden conectarse a la red del Sistema de Distribución de Gas Natural Central.

En ese sentido, en la planta de GN se comprime el gas natural a 200 Bar y Temperatura atmosférica y se transporta en camiones portadores de módulos hasta los clientes que lo requieran para el caso de GNC, y para el caso del GNL se licua a  $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$  y a presión atmosférica se le transporte en sistemas cisternas especiales.

**a. JUSTIFICACION :**

Las ventajas del uso del gasoducto virtual son las siguientes:

- Creación del mercado de gas en lugares sin infraestructura y/o distribución. Permiten suministrar gas natural a las poblaciones sin escasa de los gasoductos.
- Anticipación de los ingresos con la venta del gas natural. Consolidando el consumo y preparando la región para el futuro recibimiento del gasoducto convencional, después de comprobada su viabilidad.
- Reducción del riesgo del mercado en la expansión del transporte y/o distribución. La expansión es proporcional al crecimiento del mercado.
- Anticipación del retorno de la inversión en la infraestructura.

- El equipamiento puede ser re-utilizado en otras regiones. Puede ser desplazado para una nueva región a ser desarrollada.
- Diversificación de la matriz energética. Su flexibilidad para aprovechar el gas natural en su totalidad, en la industria, en el comercio y en el sector domiciliar.
- Desplazamiento de otros combustibles líquidos. El uso del gas tendría un fuerte impacto sobre los costos industriales, logísticos y ambientales en el transcurso de la sustitución del diesel, gasolina y GLP por una fuente primaria de más bajo costo y menores niveles de emisiones.

**b. TRANSPORTE DE GAS NATURAL LICUADO.**

Gas en el estado líquido en condiciones criogénicas, compuesto predominantemente de metano y que puede contener cantidades mínimas de etano, propano, nitrógeno y otros componentes normalmente encontrados en el gas natural ; luego es enfriado a temperatura inferior a  $-161^{\circ}\text{C}$ . Este proceso permite la reducción del volumen del fluido en cerca de 600 veces.

El proceso de transporte con GNL comprende tres etapas desde la toma de gas natural hasta el mercado consumidor, tal como se muestra en la Figura 3. Planta de Licuefacción, donde se contempla filtrado, secado y enfriamiento; Sistema de Transporte, que es hecho por medio de tanques criogénicos; Planta de Re-gasificación, donde se vuelve a convertir el líquido en gas.

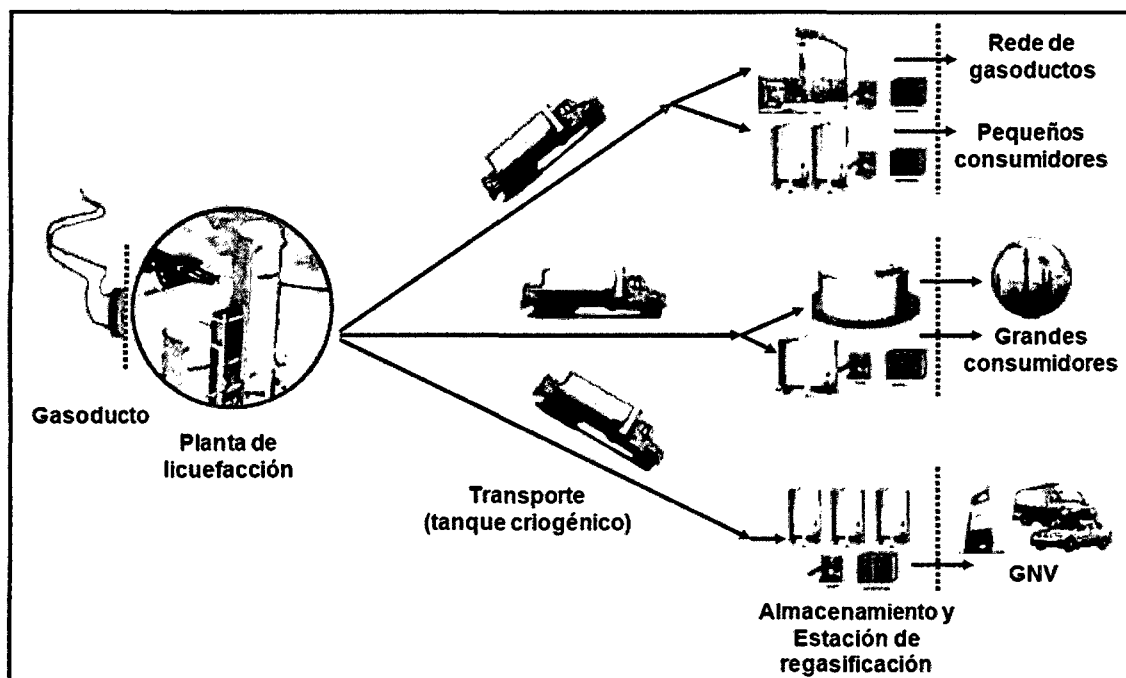


Figura N° 11. Transporte Virtual de GNL

Fuente: NEOGAS

Las tecnologías para producir GNL se dividen en dos grupos: de grande escala y de pequeña escala. Las de grande escala producen por encima de medio millón de toneladas por año del GNL. Una de las tecnologías existente consiste en la tecnología de cascada de enfriamiento por la acción de disolventes (propano, etileno y metano) para niveles cada vez más fríos.

En las plantas de pequeña escala, existen diversas alternativas, entre ellas la Tecnología de Cryofuel, que se basa en el enfriamiento producido por un único disolvente en lugar de ser una cascada de disolventes como en las plantas grandes. Además de esta, dos líneas tecnológicas nuevas viene surgiendo: el enfriamiento por efecto Joule- Thomson y la tecnología Tasher (*ThermoAcoustic Stirling HeatEngine and Refrigeration*). El principio Joule-Thomson consiste, fundamentalmente, en sistemas de intercambiadores de calor, expansión y separación líquido-gas. La tecnología Tasher se encuentra en desarrollo en los EUA, consistiendo en la compresión/expansión a través de ondas sonoras de alta frecuencia aplicadas al gas.

Aunque, una de las desventajas de la tecnología del GNL consiste en la alta inversión, la mayor parte del capital total es direccionada para la construcción de la planta de

licuefacción, pero los avances tecnológicos, de los últimos años, han llevado a la una disminución de las inversiones y del costo de operación de las plantas.

La logística de abastecimiento es similar a la de diesel o gasolina, consistiendo en el recibimiento del combustible por camiones-tanque proveídos de sistema de refrigeración. Los componentes son más complejos, pues el GNL debe ser mantenido a bajas temperaturas. La transferencia de GNL entre container es realizada por una bomba centrífuga, pudiendo ser sumergida o separada entre las terminales. El proceso de re-gasificación consiste en llevar el gas natural nuevamente a su estado gaseoso y se efectúa en los vaporizadores. Además, se da al gas la presión con la que ingresará para la red de distribución por los gasoductos.

- c. **CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS DEL TRANSPORTE:** Estas unidades de transporte cuentan con aislamiento entre dos cilindros concéntricos que lo conforman, para disminuir en lo posible la transferencia de calor del medio ambiente hacia el interior de los contenedores de GNL.

Dentro de los sistemas de transporte según el aislamiento tenemos:

- A través de capas aislantes de poliuretano inyectado colocado entre los dos depósitos concéntricos que conforman el contenedor de GNL.
- Otro sistema utilizado para aislar al GNL es el vacío lo cual no es muy común pues siempre se trata de mejorar su efecto combinándolo con otro aislante.
- También existen otros medios de transporte de GNL que utilizan un aislante mixto es decir perlita + lana mineral.
- Otra forma de incrementar el aislamiento de una cisterna criogénica es utilizando la combinación vacío, perlita y lana mineral criogénica los mismos que actuando de manera combinada se les conoce como superinsulación. Dichas unidades cuentan con un depósito interior de acero inoxidable, mientras que el exterior puede ser el acero al carbono.
- También existen las llamadas plantas móviles, las cuales cuentan con su propia unidad de regasificación móvil.

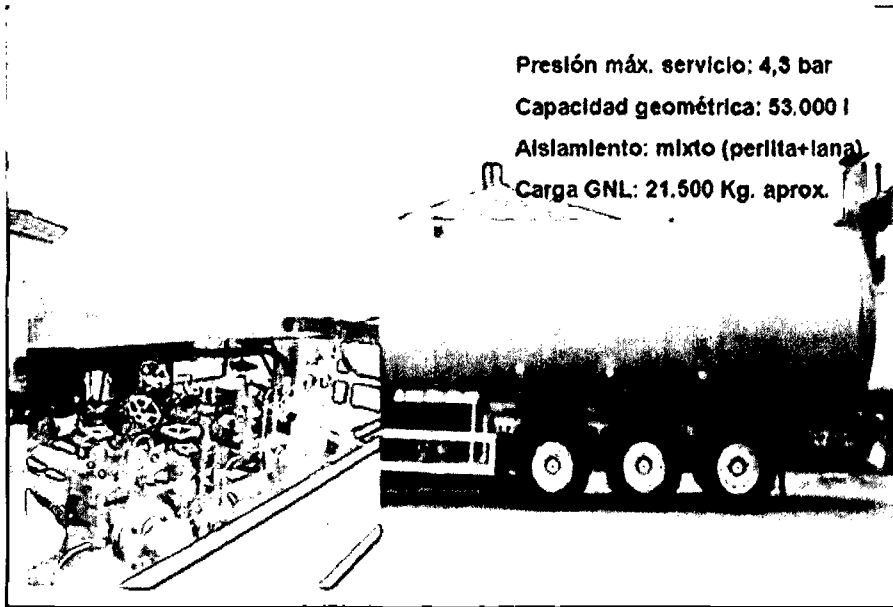


Figura N° 12 Transporte Virtual de GNL en Cisterna aislada mixta

Fuente: Ríos Roca Group

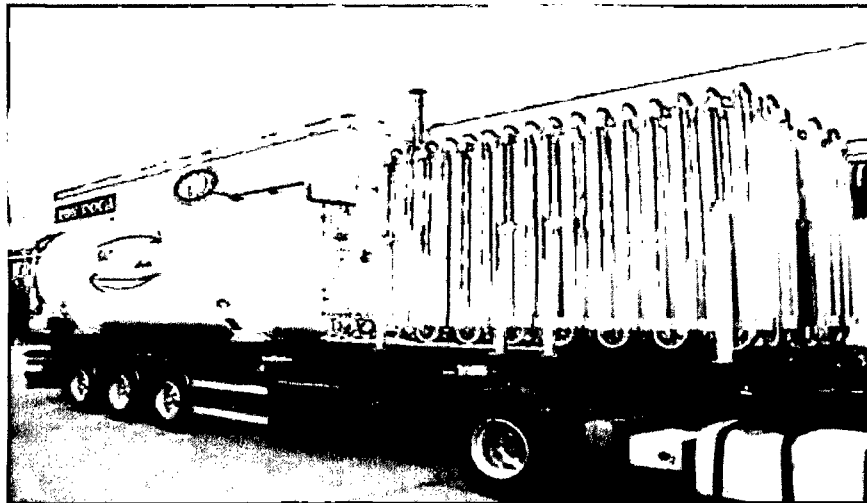


Figura N° 13 Transporte Virtual de GNL con unidad de regasificación

Fuente: Ríos Roca Group

## 2.5 INSTALACIONES CON GAS NATURAL LICUADO.

### 2.5.1 QUEMADORES.

#### a. Quemadores gas-aire.

Tomando en cuenta que el gas natural, a diferencia de combustibles líquidos y sólidos, también es un fluido, resulta justificado evaluar si en el diseño del quemador debe resultar flujo dominante el gas natural o el aire de combustión.

Considerando que para quemar 1 Nm<sup>3</sup> de Gas Natural se requieren alrededor de 10 Nm<sup>3</sup> de aire de combustión, generalmente resulta conveniente regular la combustión utilizando como flujo dominante el aire, aportando en el ventilador la energía cinética (impulso) necesario para controlar la mecánica de fluidos que permita conformar el tipo y la forma de llama adecuado a la cámara de combustión y/o un proceso industrial determinado, pero existen dos tipos típicos de quemadores que utilizan el gas natural como flujo dominante: los quemadores de inspiración, de pequeña capacidad, y los supersónicos para grandes capacidades.

- Quemador de aspiración tipo Venturi.

Este quemador, cuenta con una tobera de inyección de gas en forma de tubo Venturi, el cual aspira el aire primario necesario para la combustión a través de los orificios de la parte posterior del quemador, provocando una mezcla íntima del aire y gas.

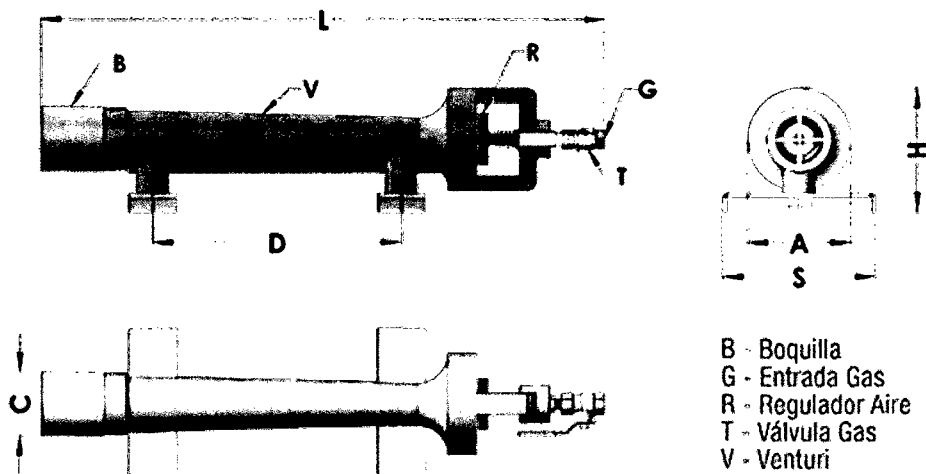


Figura N° 14 Quemador Tipo Venturi

Fuente: Herlo Gas

Para casos de calderas de calefacción o industriales suelen diseñarse quemadores atmosféricos tipo multitoberas, que son un conjunto de quemadores del tipo mencionado precedentemente, que trabajan simultáneamente, en forma proporcional a la cantidad de calor a suministrar.



- Quemador supersónico sin aire primario.

En el tipo de quemadores que utilizan una pequeña proporción del aire total de combustión como aire primario como aportante del impulso para formación de llama, con recuperación de aire secundario, se puede utilizar gas natural a alta presión (30-40 bares) en sustitución del aire primario, permitiendo mayor recuperación de calor con el 100 % de aire secundario.

Se tiene el quemador formado por toberas axiales y radiales con diseño De Laval, que permite inyectar gas natural a velocidades supersónicas que pueden trabajar con 100% de gas natural o combinarlo con combustibles difíciles de quemar, tales como carbón antracita o pet coke, con muy buenos resultados. El gas natural le aporta los volátiles que les faltan a estos combustibles y éstos, permiten mejorar la emisividad de llamas de gas natural.

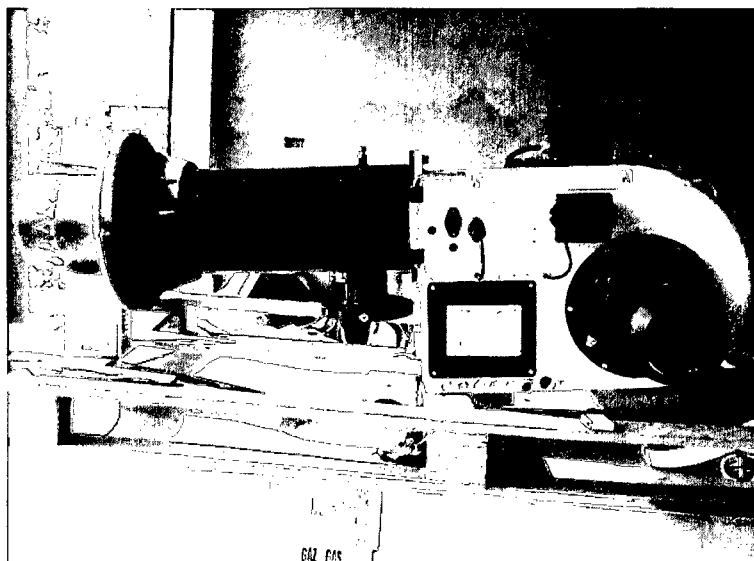


Figura N° 15 Quemador Supersónico sin aire primario

Fuente: Combustión Industrial

**b. Quemadores de difusión aire/gas.**

Constituyen los quemadores industriales convencionales y se denominan en esta forma porque el aire y el gas natural se mezclan recién a la salida del quemador, en el interior de la cámara de combustión, efectuándose la mezcla y reacción de combustión por difusión.

Siendo generalmente el aire el flujo dominante que aporta el impulso para la mezcla, la presión estática aportada por el ventilador y el diseño del difusor determinan las características de la forma de llama y la cinética de la combustión.

El suministro de gas debe efectuarse a baja presión, con el impulso mínimo necesario para ponerse a disposición de la energía cinética aportada por el aire, debiendo inyectarse en forma transversal respecto al ingreso del aire para favorecer una mezcla rápida, encendido y combustión adecuada al reactor de combustión que corresponda. Esta es la razón que explica que recibiendo en la ERMP (Estación de regulación y medición de la presión) hasta 10 bares, al final del circuito de distribución, el suministro al quemador se efectúe por debajo de 100 mbar.

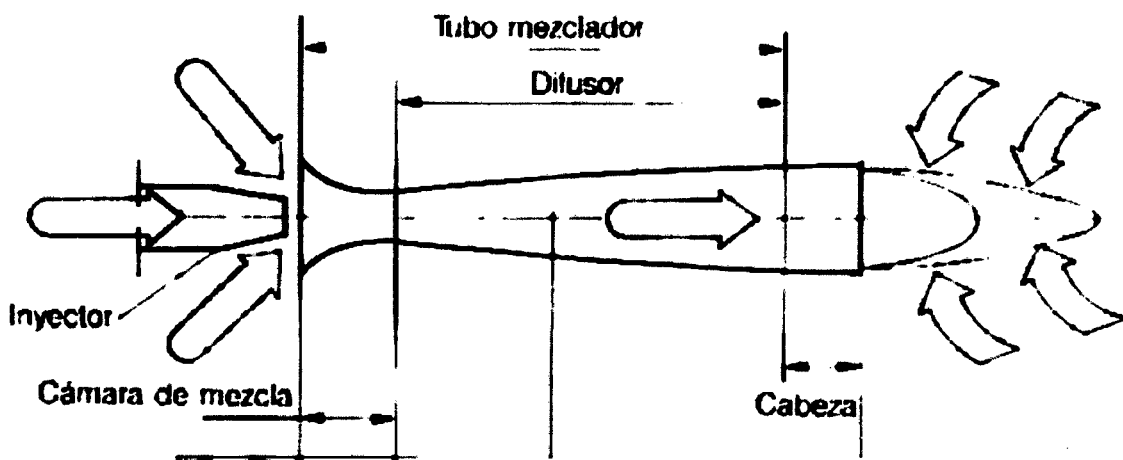


Figura N° 16 Quemador de difusión aire/gas

Fuente: Combustión Industrial

### c. Quemadores especiales.

Las características de limpieza, facilidad de inyección y rapidez de combustión del gas natural establecen importantes oportunidades de aplicaciones industriales que no podrían implementarse con combustibles líquidos y sólidos.

Para aprovecharlas en forma conveniente se ha diseñado quemadores especiales específicamente adecuados para cada caso. Aunque podrían existir muchas posibilidades en este campo, mencionamos las más conocidas y utilizadas:

- Quemadores en vena de aire:

La limpieza del gas natural permite la utilización de sus gases de combustión para el secado directo. Estos tipos de quemadores representan verdaderos generadores de

gases calientes para tal objetivo; están constituidos por un ventilador que impulsa un caudal de aire a presión relativamente baja, suficiente para compensar la caída de presión en el sistema.



Figura N° 17 Quemador en vena de aire

Fuente: Combustión Industrial

- Quemadores tipo JET.

Disponiendo de quemadores de alta velocidad que permiten completar la combustión en el reactor, los gases de combustión producidos se utilizan directamente para transportar materiales pulverulentos húmedos, realizando simultáneamente la operación del transporte y el proceso de secado. Mediante un separador estático (ciclón) se separa el material seco y se deposita en una tolva de características adecuadas para ser dosificado al reactor de otro proceso o prepararse para embarque.

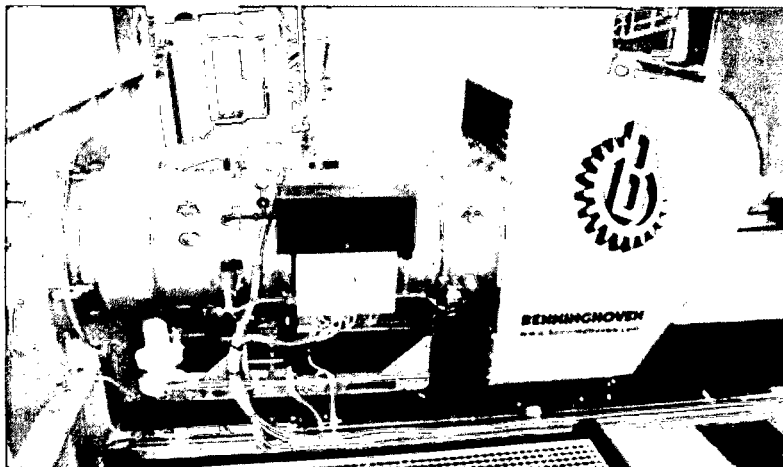


Figura N° 18 Quemador Tipo Jet

Fuente: Benninghoven GmbH

- Quemadores de alto exceso de aire.

En muchos procesos de secado se elimina humedad de hidrocarburos (grasas, aceite, lacas, barnices, etc.) con poder calorífico. Las normas de control de emisiones exigen que estos hidrocarburos se quemen y conviertan en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , antes de ser eliminados a la atmósfera. Para recircular y quemar estos gases, el principal inconveniente es su baja concentración, lo cual obliga a utilizar combustible adicional limpio (GLP o Gas Natural) en reactores. El quemador de alto exceso de aire permite mantener la combustión mediante un piloto que reenciende permanentemente la llama, permitiendo generar gases relativamente fríos. La ubicación de una etapa de intercambio térmico entre los gases sucios y los gases calientes, permite regular la temperatura en niveles adecuados para el secado en forma directa o con aire de dilución adicional.

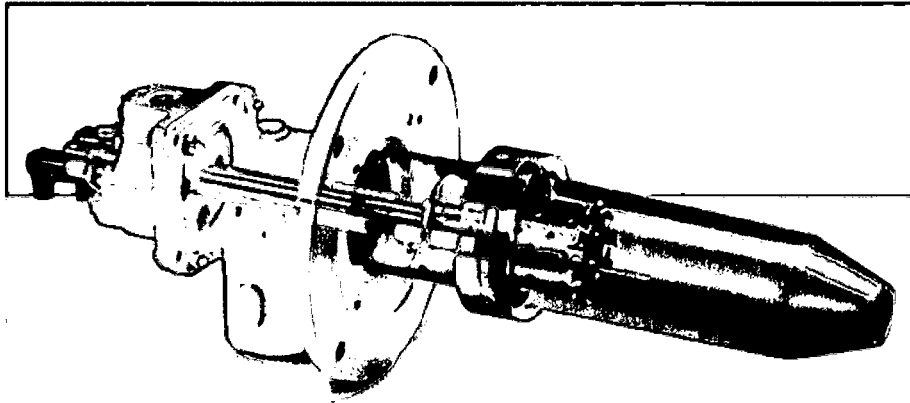


Figura N° 19 Quemador de alto exceso de aire

Fuente: Combustión Industrial

### 2.5.2 PLANTA SATELITE DE REGASIFICACION DE GNL.

La función de una planta de regasificación de gas natural licuado es almacenar, convertir el Gas Natural Licuado a Gas Natural a condiciones de uso y suministrarlo a los usuarios o puntos de consumo a la presión requerida.

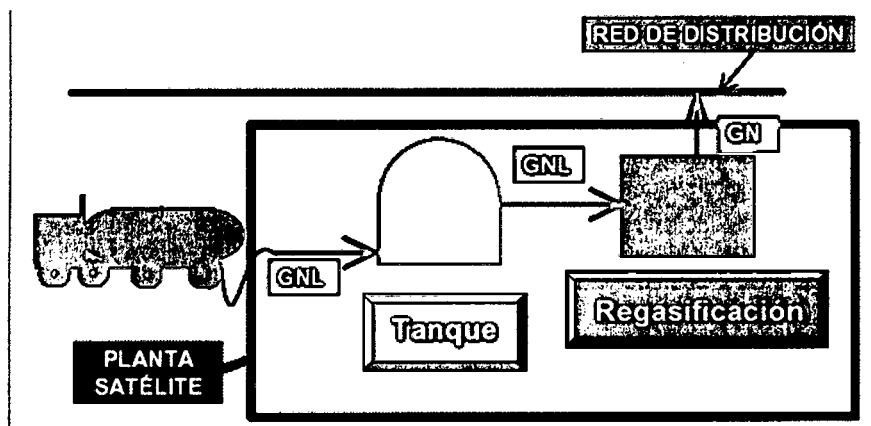


Figura N° 20 Esquema de una Planta Satélite de Regasificación

Fuente: NOVA GAS (Argentina)

Dentro de las operaciones que incluye tenemos las siguientes:

- a. **Estación de descarga:** Se puede realizar por medio de diferencia de presión, haciendo pasar el GNL por el regasificador y devolviendo el GN al interior de la cisterna. También se puede hacer a través de una bomba criogénica incorporada en la cisterna.



Figura N° 21 Conexiones de descarga de GNL

Fuente: NOVA GAS (Argentina)

b. **Almacenamiento.**

El GNL descargado de la cisterna se almacena en el depósito, luego el GNL sale a consumo pasando por la regasificación. Los depósitos se caracterizan por:

Son equipos a presión.

Están conformados por depósitos de doble cuerpo, en el interior de acero inoxidable por el exterior acero al carbono. El aislamiento de las paredes puede ser con perlita o vacío. Así mismo debe contener: válvulas de seguridad, indicador y transmisor de nivel y presión. Debe tener instalaciones de venteo y presurización

Según UNE: 60210 las características de los depósitos son:

Almacenamientos a partir de 1 m<sup>3</sup> hasta 5 m<sup>3</sup>.

Almacenamientos a partir de 5 m<sup>3</sup> hasta 20 m<sup>3</sup>.

Almacenamientos a partir de 20 m<sup>3</sup> hasta 60 m<sup>3</sup>.

Almacenamientos a partir de 60 m<sup>3</sup> hasta 200 m<sup>3</sup>.

Almacenamientos a partir de 200 m<sup>3</sup> hasta 400 m<sup>3</sup>.

Almacenamientos a partir de 400 m<sup>3</sup> hasta 1.500 m<sup>3</sup>.

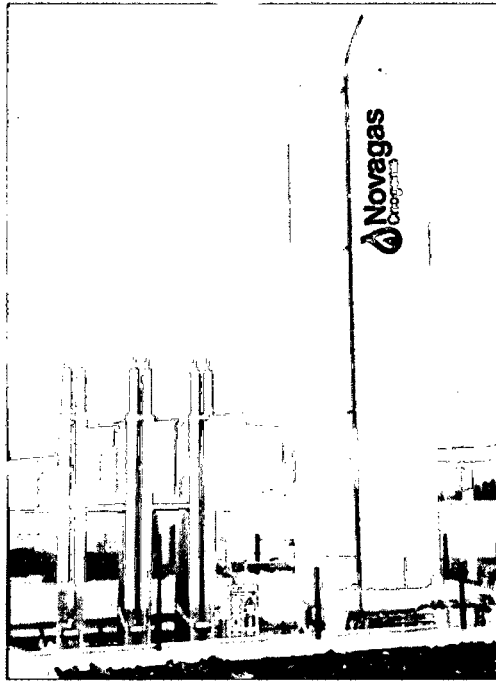


Figura N° 22 Depósito de Almacenamiento de GNL

Fuente: NOVA GAS (Argentina)

**c. Regasificación.**

La instalación de regasificación es imprescindible para el correcto funcionamiento de la planta satélite.

Existen dos procedimientos:

**SISTEMAS DE REGASIFICACION ATMOSFERICA. (Intercambiador de calor GNL-Aire)**

Los sistemas de vaporización tienen como función ceder energía térmica al GNL para provocar su cambio en su estado, de líquido a gaseoso y a continuación calentarlo hasta temperatura ambiente. A las presiones que trabajan las plantas satélite, aproximadamente entre 3 bar y 5 bar, la regasificación tiene lugar aproximadamente entre  $-140^{\circ}\text{C}$  y  $-135^{\circ}\text{C}$ .

El calor medio a ceder para regasificar un kg de GNL en estas condiciones es a efectos prácticos de  $120\text{ kcal/Nm}^3$ . Este calor puede aportarse mediante un intercambiador de calor con el aire atmosférico. Mediante un intercambiador utilizando algún medio calefactor (vapor, energía eléctrica, etc.) y en la práctica casi siempre agua caliente.

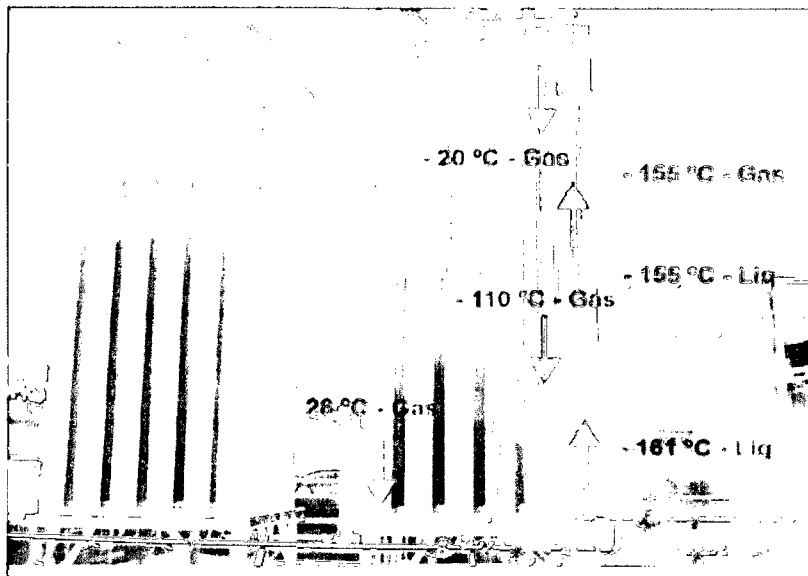


Figura N° 23 Vaporizadores de GNL

Fuente: II Congreso Internacional de Gas Natural (2013)

#### VAPORIZADORES ATMOSFERICOS:

El elevado gradiente de temperatura existente entre el GNL y el medio ambiente permite el empleo de vaporizadores atmosféricos de aletas. En ellos el GNL circula por un haz de tubos aleteados para aumentar la superficie de intercambio, y siempre dispuestos verticalmente para favorecer la circulación por convección del aire atmosférico. Se utilizan generalmente para caudales reducidos, por ejemplo inferiores a los 1.000 - 2.000 Nm<sup>3</sup>/h, aunque no existen pautas fijas para establecer unos límites determinados. Los regasificadores atmosféricos son por el contrario difícilmente utilizables en zonas de climas muy fríos, con días consecutivos bajo cero. Los factores que influyen en su rendimiento son los siguientes:

El caudal nominal de gas regasificado (Nm<sup>3</sup>/h).

La temperatura del aire.

La humedad relativa del aire.

La velocidad del viento.

Si son consumos constantes y continuos o variables.

Si existen variaciones diarias día/noche y estacionales.



### **VAPORIZACIÓN FORZADA (Intercambiador de Calor GNL-Agua Caliente)**

Son intercambiadores clásicos compactos, con circulación de GNL por el haz tubular y agua caliente circulando por la envolvente. La regulación de temperatura en cualquier de los casos es simple y se realiza mediante sondas de control a la salida de gas de los vaporizadores y del agua caliente de retorno. El agua caliente la obtendremos por medio del empleo de calderas en paralelo y trabajando en cascada, con alguna de ellas en reserva y con colectores comunes de impulsión y retorno. Para caudales elevados y constantes se recomiendan que deban emplearse regasificadores de agua caliente. En cualquier caso, se pueden instalar en paralelo y en combinación con regasificadores atmosféricos, pudiendo ser utilizados en épocas de bajos consumos, como por ejemplo en verano.

#### **d. Recalentamiento.**

Elemento de seguridad cuando se ha instalado un sistema de regasificación atmosférico y la temperatura exterior es muy baja. El gas saldrá de los vaporizadores atmosféricos entre 5 a 10 °C menos que la temperatura ambiente, por lo que se instalará un sistema de recalentamiento del gas. El aporte de calor para el recalentamiento se hará:

Eléctrico

Agua Caliente

Vapor Saturado

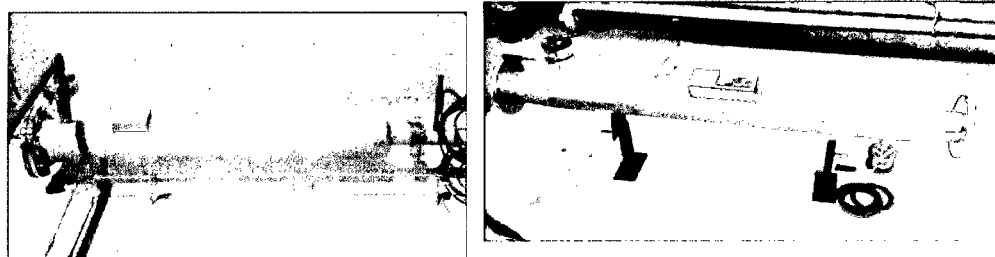


Figura N° 24 Recalentadores de GNL

Fuente: Nova Gas

#### **e. Regulación.**

Su función es filtrar y regular el gas para suministro a la presión requerida por el usuario. Están ubicadas en los puntos de entrega (salida), y en ellas se regula la presión

del gas natural. Opcional Se podrá instalar después de regulación un Sistema de medición para medir el caudal que gas. Una estación de regulación y medida está compuesta principalmente por los siguientes equipos:

Válvula de maniobra

Filtros

Reguladores de presión

Válvula de seguridad

Manómetros e instrumentación

Contador

Corrector

#### **f. Odorización.**

Sistema para dar olor al gas y poder detectarlo en caso de fuga.

El Gas Natural carece de olor característico que lo permita reconocer, se odoriza mediante el uso de un compuesto químico denominado THT (Tetrahidrotiefeno C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>S) o Mercaptano. Las cantidades normalmente utilizadas de THT están entre 18 a 20 partes por millón (mg/Nm<sup>3</sup>). De esta forma podrá ser detectada con facilidad cuando exista una mezcla cuya concentración volumétrica sea 1/5 correspondiente al límite inferior de inflamabilidad. La odorización se añade tras la gasificación, ya que si se realizase con GNL el odorizante solidificaría.

## **2.6 ANALISIS ENERGETICO.**

### **2.6.1 Indicadores de Productividad.**

Generalidades.

Estos parámetros permiten comparar la unidad de energía consumida en relación con la unidad de producción generado. Un análisis de los indicadores de productividad a través de la comparación entre valores iniciales y finales luego de una mejora relacionada un proyecto de inversión permite determinar si el indicador de productividad ha mejorado.

**a. Indicadores Energéticos Térmicos.**

El estudio está referido al consumo del vapor en una Planta consumidora de energía, por lo tanto se incide en los indicadores térmicos más que los indicadores eléctricos, dentro de los Indicadores Energéticos térmicos tenemos los siguientes:

- Indicador Energético Térmico 1: Compara las unidades de combustible consumido por unidad de producción.

$$IT1 = \frac{\text{Galones de Petroleo R} - 500}{\text{Toneladas de Harina producida}} \dots \dots \dots (20)$$

- Indicador Energético Térmico 2: Compara en Unidades de energía consumidas por unidad de producción. La diferencia entre este indicador y el anterior esta dado porque en el primero se cuantifica por unidad de combustible , mas cada combustible libera energía en función de su poder calorífico , por lo que el 2º indicador es función de la cantidad de energía suministrada para la obtención del producto final, en este caso la harina de pescado.

$$IT2 = \frac{\text{Mega calorías/hora}}{\text{Toneladas de Harina producida}} \dots \dots \dots (21)$$

**b. Indicadores Energéticos Económicos.**

Este tipo de indicadores están asociados al costo o facturación por consumo de combustible en la producción de harina de pescado.

- Indicador Energético Térmico de Costos: Compara la facturación del combustible consumido por unidad de producción de planta.

$$IETC = \frac{\text{U\$ Facturacion de combustible}}{\text{Toneladas de Harina producida}} \dots \dots \dots (22)$$

**2.6.2 Benchmarking Energético.**

El Benchmarking energético (estudio comparativo) se desarrolla para conocer el estado del consumo energético de varias empresas del mismo sector, y comparar de manera sistematizada las distintas características del consumo de energía.

Es una información muy valiosa para detectar la excelencia energética y así, tomar decisiones sobre reformas o nuevas inversiones, sin tener que reinventar desde cero, reduciendo costos y tiempo.

El benchmarking debe incluir distintos elementos, para que sea efectivo:

- Variables energéticas a comparar y las condiciones de comparación.
- Importancia relativa de cada variable.
- Características similares entre empresas estudiadas.
- Elementos evaluados. Clasificación y agrupación: características y valores.
- Proyectos innovadores, ventajas competitivas, deficiencias y áreas de oportunidad.

## 2.7 EVALUACION ECONOMICA.

### 2.7.1 VALOR ACTUAL NETO:

El Valor Actual Neto (VAN) es un indicador económico de rentabilidad que permite determinar la rentabilidad de un Proyecto en función de la diferencia que existe entre el valor actual de los flujos de fondos de la inversión y el capital inicial o inversión necesario para realizarla.

Como regla general, si el VAN es positivo (es decir, mayor a 0) el proyecto es rentable y se recomienda realizar la inversión. Por el contrario, si el VAN es negativo (menor a 0), el proyecto no es rentable y debería rechazarse. En caso de tener dos proyectos con VAN positivo, conviene elegir aquel con el VAN más alto.

El VAN se evalúa según la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+i)^t} - I \dots \dots \dots (23)$$

Dónde:

- Los Flujos de Caja (FC): Corresponde a los flujos de caja futuro en la que la empresa incurre anualmente.
- La Inversión Inicial (I): Corresponde al Valor Inicial o desembolso que la empresa hará en el momento de contraer la inversión.
- La tasa de descuento: Es la tasa de retorno requerida sobre una inversión. La tasa de descuento refleja la oportunidad perdida de gastar o invertir en el presente por lo que también se le conoce como tasa de oportunidad.

- Numero de periodos de duración del proyecto.

Para la determinación del flujo de caja se tiene la siguiente ecuación:

$$FC = A_t - CO_t \dots \dots (40) \dots \dots (24)$$

Dónde:

$A_t$  = Ingresos, ahorro o ganancia obtenida en cada periodo de tiempo analizado. (Para cada año)

$CO_t$  = Egresos por Costos de Operación y Mantenimiento anual.

### 2.7.2 TASA INTERNA DE RETORNO:

La tasa interna de retorno (TIR), representa la tasa que iguala el valor presente neto a cero. Es un método derivado del Valor Actual Neto. La tasa interna de retorno también es conocida como la tasa de rentabilidad producto de la reinversión de los flujos netos de efectivo dentro de la operación propia del negocio y se expresa en porcentaje.

La evaluación de los proyectos de inversión cuando se hace con base en la Tasa Interna de Retorno, toman como referencia la tasa de descuento del mercado. Si la Tasa Interna de Retorno es mayor que la tasa de descuento, el proyecto se debe aceptar pues estima un rendimiento mayor al mínimo requerido, siempre y cuando se reinviertan los flujos netos de efectivo. Por el contrario, si la Tasa Interna de Retorno es menor que la tasa de descuento, el proyecto se debe rechazar pues estima un rendimiento menor al mínimo requerido. Matemáticamente se evalúa a través de la siguiente ecuación:

$$0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+i)^t} \dots \dots (25)$$

**CAPITULO III:**  
**MATERIALES Y METODO**

### 3.1 MATERIALES.

Dentro del Material utilizado se tiene lo siguiente:

#### 3.1.1 DETALLES DE LOS CALDEROS PIROTUBULARES.

La Empresa Pesquera Ribaudó S.A consta en su Planta de generación de vapor un total de 5 Calderos Pirotubulares los cuales operan a 7 Bar de presión, con una máxima capacidad equivalente a 2900 BHP. Las mediciones se realizaron teniendo en cuenta la operación de los calderos 2,3, 4 y 5, mientras que el Caldero N° 1 está en Reserva pero en óptimas condiciones de operación.

Cuadro N°3 Características de Calderos Pirotubulares-Empresa RIBAUDO

ESPECIFICACIONES	NUMERO DE CALDERAS ( 5 )				
	1	2	3	4	5
MARCA	METAL EMPRESA	ESTÁNDAR KESSEL	MAGENSA	DISTRAL SA.	CLEAVER BROOKS
MODELO	RAY "FD"			3WBS	CB400-800
TIPO	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR
Nº DE PASOS	3	3	4	3	4
CAPACIDAD (BHP)	600	400	400	700	800
<b>CAPACIDAD TOTAL ( BHP )</b>	<b>2900</b>				
Presion de petroleo Diesel B5 (para la chispa)	60 psi	-----	-----	-----	-----
Presion de gas (para la chispa)	-----	40 psi	40 psi	40 psi	40 psi
Temperatura de petroleo R-500 (°C)	105	100	105	105	100
Presion de agua de reposicion	110 psi	110 psi	100 psi	105 psi	110 psi
Presion de combustible R-500	90 psi	25 psi	50 psi	50 psi	52 psi
Presion de ingreso de comb. R-500 y vapor/aire	35 psi	40 psi	35 psi	30 psi	15 psi
Presion de vapor saturado(Bar)	7	7	7	7	7
Temperatura de gases de escape ( ° C)	215	202	200	208	215
Consumo promedio Petroleo R-500 (Gal/h)	RESERVA	69	68	139	156

Fuente: Jefatura de Producción.

Así mismo se tiene el consolidado de reporte de estadísticas de materia prima entrante mensual y la producción, así mismo se reporta el consumo de combustible Petróleo R500 para el año 2013.

Cuadro N°4 Estadísticas de Producción y Consumo de la Empresa-Año 2013

2013	MATERIA PRIMA (TON/MES)	PRODUCCION (TON/MES)	GALONES (GAL/mes)
ENERO	8400	1985.816	84397.16
FEBRERO	7560	1770.492	75600.00
MARZO	15120	3600.000	151920.00
ABRIL	5040	1180.328	49573.77
MAYO	4620	1076.923	45984.62
JUNIO	18900	4565.217	193108.70
JULIO	17220	4159.420	173031.88
AGOSTO	10080	2377.358	101275.47
SEPTIEMBRE	5040	1169.374	50867.75
OCTUBRE	23520	5750.611	240375.55
NOVIEMBRE	19740	4814.634	200770.24
DICIEMBRE	19152	4648.544	195703.69

Fuente: Dpto. de Producción.

### 3.1.2 EQUIPO PARA PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACION.

Se utilizó lo siguiente:

a. SOFTWARE: Se utilizó el siguiente software:

- Procesador de Textos del Ms Office 2010: Para la redacción del Informe de Tesis.
- Excel del Ms Office 2010: Para la elaboración de cuadros de cálculo y resultados obtenidos del estudio.
- AutoCAD 13: Para el Dibujo de planta.

b. INSTRUMENTACION EN PLANTA: La siguientes es la instrumentación ubicada en la Planta de Harina de Pescado de la Empresa Ribaudó S.A.

- Manómetro para presión de vapor en calderos.
- Manómetro para presión de agua entrante al Caldero.
- Termómetro para lectura de temperatura de los gases de la combustión.
- Termómetro para temperatura exterior del caldero
- Anemómetro para medir velocidad del viento.
- Analizador de Gases de la Combustión (de la Empresa CYNIDE)
- Medidor de nivel de flujo de combustible.
- Termómetro para medir la temperatura ambiental.



### 3.1.3 SUSTANCIAS:

#### a. GAS NATURAL LICUADO.

El gas natural licuado (GNL) es gas natural que ha sido procesado para ser transportado en forma líquida. Es la mejor alternativa para monetizar reservas en sitios apartados, donde no es económico llevar el gas al mercado directamente ya sea por gasoducto o por generación de electricidad. El gas natural es transportado como líquido a presión atmosférica y a  $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Así, para poder transportar el gas natural licuado, se ha de lograr reducir el volumen del gas natural en 600 veces, donde se transportará en buques especiales llamados metaneros. El GNL es inodoro, incoloro, no tóxico, su densidad (con respecto al agua) es 0,45 y sólo se quema si entra en contacto con aire a concentraciones de 5 a 15%.

Cuadro N° 5 Propiedades físico químicas del Gas natural Licuado

PROPIEDAD	VALOR
Aspecto	Gas licuado, fuertemente refrigerado
Color	Incoloro
Olor	Inodoro
Temperatura de ignición	$540\text{ }^{\circ}\text{C}$
Temperatura de ebullición	$-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 1 atm.
Punto de congelación	$-182\text{ }^{\circ}\text{C}$
Densidad	0.664 kg/m <sup>3</sup>
Límite de inflamabilidad	Superior 15%, Inferior 5%
Poder Calorífico	41.2 MJ/kg
Peso Molecular	16
Estabilidad	Inflamable, combustible.

Fuente: ENAGAS

#### b. PETROLEO R500.

Es un combustible derivado del fraccionamiento del petróleo, está constituido por una mezcla de hidrocarburos con número de átomos de carbono desde 12 a 50. Es una sustancia combustible e inflamable de gran uso en los calderos, hornos y secadores

debido a su alto poder calorífico, se presenta a temperatura ambiente como un fluido denso y viscoso.

Cuadro N° 6 Propiedades físico químicas del Petróleo R500

PROPIEDAD	VALOR
Aspecto	Líquido viscoso de color negruzco.
Densidad	3.675 kg/galón
Punto de inflamación	65.5 °C
Viscosidad cinemática	1060 cSt
Vanadio	20 ppm
Azufre	3.5 % masa
Proporción en Peso de Componentes	Evaluando tan solo Carbono e Hidrogeno se tiene 13% de H2 y 87% de C
Punto de inflamabilidad ,a 9% como límite inferior,	Máximo 35.5
Poder Calorífico Superior	41,659 kj/kg
Poder Calorífico Inferior	41,215 kj/kg

Fuente: PETROPERU

### 3.2 METODO DE INVESTIGACION.

La operación actual de la Planta de generación de vapor saturado en la Empresa RIBAUDO S.A es:

- Situación Actual.  
05 Calderos piro-tubulares sumando 2900 BHP operando a una presión de 7 Bar, operando 4 de ellas mientras que el 5° Caldero se encuentra de reserva. La combustión la origina la mezcla Petróleo R500 con el oxígeno del aire con una relación aire combustible de 14.7 kg aire/kg combustible y con un exceso de aire entre 20 a 30 %.
- Situación Final.  
05 calderos reconvertidos a gas natural, en donde el suministro de combustible se realiza como gas natural licuado, operando con 85 % de eficiencia térmica con un alto grado de confiabilidad en su operación. Reduciéndose con esta reconversión tecnológica su indicador de productividad.

### **3.3 METODOLOGIA DE CÁLCULO.**

Se tiene la siguiente metodología de cálculo:

#### **a. DETERMINACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE VAPOR.**

Se tiene la siguiente secuencia:

- Medición de los parámetros de operación de los calderos pirotubulares, determinándose a partir del método indirecto la eficiencia de cada equipo.
- Determinación del factor de carga con el cual se determina el grado de reserva y su factor de carga, con el cual se puede estimar el grado de reserva disponible de la planta de vapor a reconvertir.
- Se determinan los Indicadores de Productividad de la Empresa Pesquera Ribaldo S.A.

#### **b. DETERMINACION DE LAS CONDICIONES DE RECONVERSION TECNOLOGICA.**

- Se estiman los potenciales flujos máxicos a reemplazar a su equivalente de Petróleo R500.
- Cuantificar el volumen de gases de la combustión formados y que saturan el flue de los calderos, para esto se determina la nueva relación aire/combustible para la combustión con gas natural.
- Proyectar la eficiencia mejorada a 85 % de todos los calderos, mejorando su condición de reserva y su factor de carga.
- Estimar los valores de Indicadores de productividad y los ahorros obtenidos.

#### **c. DETERMINACION DE LAS INSTALACIONES DE GAS NATURAL LICUADO.**

- Determinación de las características de la Planta satélite de regasificación.
- Estimar el flujo y carga térmica para la regasificación en el evaporador forzado de GNL.
- Estimar el margen de reserva de vapor.
- Determinar las características de los principales componentes de la Instalación de gas natural.

#### **d. EVALUACION DE LA RENTABILIDAD.**

- Determinación del Valor Actual neto.
- Determinación de la Tasa Interna de retorno.

**CAPITULO IV:**  
**CALCULOS Y DISCUSION DE**  
**RESULTADOS**

#### 4.1 ESTADO SITUACIONAL CON PETROLEO R500.

##### a. DATOS DE INGRESO Y CONSIDERACIONES DE CÁLCULO.

- Se tiene el Reporte de evaluación realizado a los Calderos de la Empresa RIBAUDO SAC, referente al análisis de gases de la combustión y parámetros operativos y constructivos en cada caldera.

Cuadro N° 7 Parámetros Operativos y Construcción de Calderas

ESPECIFICACIONES	NUMERO DE CALDERAS ( 5 )				
	1	2	3	4	5
MARCA	METAL EMPRESA	ESTÁNDAR KESSEL	MAGENSA	DISTRAL SA.	CLEAVER BROOKS
TIPO	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR
CAPACIDAD (BHP)	600	400	400	700	800
CO 2(%)	9.0	9.0	9.1	9.2	9.1
O2 (%)	3.8	3.6	3.6	3.4	3.6
CO (%)	0.15	0.14	0.14	0.13	0.14
Exceso de Aire (%)	38	35	30	32	34
OPACIDAD	2	2	2	2	2
Temperatura ambiente(°C)	20	20	20	20	20
Velocidad del viento(m/sg)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Temperatura de gases de escape ( °C )	215	202	200	208	215
Consumo promedio Petroleo R-500 (G/h)	RESERVA	69	68	139	156
Altura de Chimenea(m)	4.4	4.2	4.2	4.5	4.5
Diametro de Chimenea(m)	1.5	1.4	1.4	1.6	1.6
Temperatura chimenea(°C)	215	202	200	208	215
Temperatura Superficie(°C)	65	70	60	60	75
Diametro Caldera(m)	1.9	1.8	1.8	2	2
Longitud Caldera(m)	7.8	7.4	7.4	8	8
La Caldera N° 1 se evalua la eficiencia, pero esta en condicion de reserva operativa					

Fuente: CYNIDE SAC

- Para la aplicación del balance de Energía en Calderos, se realiza el Cálculo para la caldera N° 5 Cleaver Brooks, la cual es la de mayor capacidad de producción.

##### b. BALANCE DE ENERGÍA MÉTODO INDIRECTO.

- **DETERMINACION DE PÉRDIDA POR LA ENTALPÍA DE LOS GASES DE ESCAPE SECOS,  $P_1$**

Se calcula mediante la siguiente ecuación N° 6 y según los siguientes datos:

$T_g$  = Temperatura de los gases de la combustión o en chimenea = 215 °C (Cuadro N° 7)

$T_a$  = Temperatura del medio ambiente = 20 °C (Cuadro N° 7)

$[CO_2]$  = % de Dióxido de Carbono en los gases de la combustión = 9.1 % (Cuadro N° 7)

K = Es la constante de Siegert para el Combustible, según Cuadro 1, con un valor de 0.53.

$$P_1 = 0.53 * \frac{(215 - 20)}{9.1} = 11.36 \%$$

- **DETERMINACION DE PÉRDIDA POR LA ENTALPÍA DEL VAPOR DE AGUA EN LOS GASES, P<sub>2</sub>.**

La pérdida porcentual de calor debida a la entalpía del vapor de agua en los gases de escape, se calcula mediante la ecuación N° 7:

Dónde:

T<sub>g</sub> = Temperatura de los gases de la combustión = 215 °C (Cuadro N° 7)

T<sub>a</sub> = Temperatura del medio ambiente = 20 °C (Cuadro N° 7)

[H<sub>2</sub>O] = % de Agua en los gases de la combustión = 1.2 %

[H] = % de Hidrogeno en el combustible = 0.13 (Se considera 0.87 como Carbono) (Cuadro N° 6)

PCS = Poder calorífico Superior del Combustible R500 = 41659 kJ/kg (Cuadro N° 6)

$$P_2 = \frac{1.2 + ((9 * 0.13) * (2488 - (4.2 * 20)) + (2.1 * 215))}{41659} = 0.08 \%$$

- **DETERMINACION DE PERDIDA POR INQUEMADOS GASEOSOS, P<sub>3</sub>.**

La perdida porcentual de calor bebido a los inquemados gaseosos, se calcula mediante lá ecuación N°8.

Dónde:

[CO] = % de Monóxido de Carbono en los gases de la combustión 0.14 %( Cuadro N° 7)

K<sub>1</sub> = Es la constante de Inquemados del Combustible, igual a 54. (Cuadro N° 1)

[CO<sub>2</sub>] = % de Dióxido de Carbono en los gases de la combustión = 9.1 %(Cuadro N° 7)

Por lo tanto:

$$P_3 = 54 * \frac{0.14}{(9.1 + 0.14)} = 0.82 \%$$

- **DETERMINACION DE PÉRDIDA POR INQUEMADOS SÓLIDOS, P<sub>4</sub>.**

La perdida porcentual de calor bebida a los inquemados sólidos, se calcula mediante lá ecuación N° 9.

Dónde:

B = Índice de Bacharach, mediante el cual se evalúa la opacidad de los gases de la combustión, es 2 para una buena combustión, sin presencia de hollín. (Ver Anexo)

$$P_4 = 0.4 * 2^2 + 0.8 * 2 + 0.07 = 3.27 \%$$

- **DETERMINACION DE PÉRDIDA POR CONVECCIÓN, P<sub>5</sub>.**

La pérdida porcentual de calor debida a la convección, se obtiene sumando las pérdidas porcentuales por convección para cada tipo de superficie exterior, mediante las ecuaciones N° 10, 11, 12, 13 y 14.

Dónde:

T<sub>sf</sub> = Temperatura exterior de la caldera, 75 °C (Cuadro N° 7)

T<sub>sg</sub> = Temperatura exterior de la caldera, lado de los gases (se asume la temperatura exterior de la chimenea igual a la de los gases de la combustión) 215 °C (Cuadro N° 7)

A<sub>f</sub> = Superficie exterior que cubre al fluido (se asume la superficie exterior del caldero) 25.31328 m<sup>2</sup>. (Según Cuadro N° 7, el diámetro del Caldero es 2 m y la longitud total es de 8 m.)

A<sub>g</sub> = Superficie exterior que cubre los gases de la combustión (se asume la superficie exterior de la chimenea) 9.048 m<sup>2</sup>. (Según Cuadro N° 7, el diámetro de la chimenea es de 1.6 m y la altura es de 4.5 m.)

v = Es la velocidad del viento (m/sg) que fluye por la parte exterior al caldero, siendo igual a 0.8 m/sg. (Cuadro N° 7)

$$h_{cf} = 1.973 * 10^{-3} * (75 - 20)^{0.25} * (2.857 * 0.8 + 1)^{0.5} = 0.00973$$

$$h_{cg} = 1.973 * 10^{-3} * (215 - 20)^{0.25} * (2.857 * 0.8 + 1)^{0.5} = 0.01336$$

$$Q_{p5} = (0.00973 * 25.31328 * (75 - 20)) + (0.01336 * 9.048 * (215 - 20)) = 37.041$$

$$W_c = 9.81 * 800 = 7848$$

$$P_5 = 80 * (37.041 / 7848) = 0.38 \%$$

- **DETERMINACION LAS PERDIDAS POR RADIACION.** La pérdida porcentual de calor debida a la radiación, se obtiene sumando las pérdidas porcentuales por radiación para cada tipo de superficie exterior, mediante las ecuaciones N° 15,16,17,18 y 19.

Dónde:

$T_{sf}$  = Temperatura exterior de la caldera, 75 °C (Cuadro N° 7)

$T_{sg}$  = Temperatura exterior de la caldera, lado de los gases (se asume la temperatura exterior de la chimenea igual a la de los gases de la combustión) 215 °C (Cuadro N° 7)

$A_f$  = Superficie exterior que cubre al fluido (se asume la superficie exterior del caldero) 25.31328 m<sup>2</sup>. (Según Cuadro N° 7, el diámetro del Caldero es 2 m y la longitud total es de 8 m.)

$A_g$  = Superficie exterior que cubre los gases de la combustión (se asume la superficie exterior de la chimenea) 9.048 m<sup>2</sup>. (Según Cuadro N° 7, el diámetro de la chimenea es de 1.6 m y la altura es de 4.5 m.)

$e$  =emisividad del material que cubre al caldero, igual a 0.25 para el acero.

$$q_{rf} = 5.763 * 10^{-11} * 0.25 * ((75 + 273)^4 - (20 + 273)^4) = 0.1051$$

$$q_{rg} = 5.763 * 10^{-11} * 0.25 * ((215 + 273)^4 - (20 + 273)^4) = 0.1709$$

$$w_c = 9.81 * 800 = 7848$$

$$Q_{p6} = (0.1051 * 25.31328) + (0.1709 * 9.048) = 9.074$$

$$P_6 = 80 * (9.074 / 7848) = 0.09 \%$$

- **DETERMINACION DE LA EFICIENCIA POR METODO INDIRECTO.**

Las pérdidas totales son igual a:

$$\text{Perdidas Totales} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6$$

$$\text{Perdidas Totales} = 11.36 + 0.08 + 0.82 + 3.27 + 0.38 + 0.09 = 16.00 \%$$

La eficiencia del ciclo según el método indirecto es:

$$\text{Eficiencia} = 100 - 16.00 = 84.00 \%$$



c. DETERMINACIÓN DE LOS INDICADORES DE OPERACIÓN.

- Determinación del flujo de vapor real generado.

Teniendo en cuenta los siguientes valores:

Eficiencia: 84 %

Presión de operación: 7 Bar

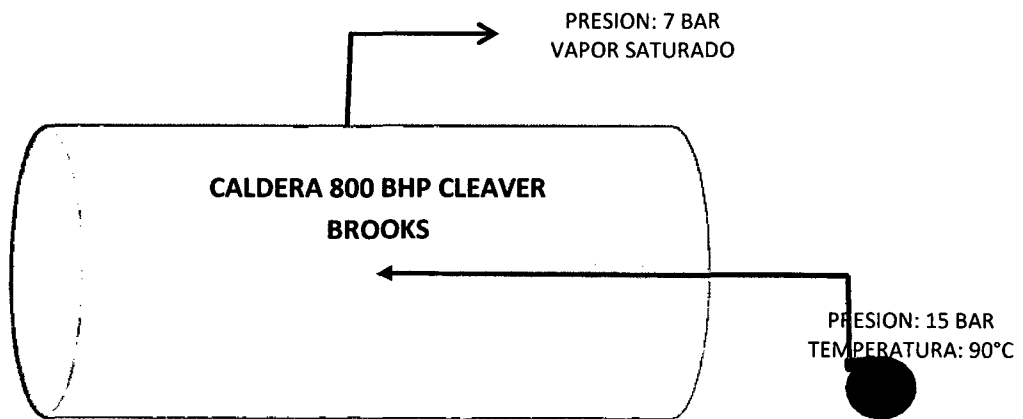


Figura N° 24: Flujo de Agua y Vapor Saturado en Caldera de 800 BHP

Fuente: Elaboración Propia

$h_g$  = Entalpia en el estado de vapor saturado a la presión de 7 Bar, según tablas de vapor es 2,739.1 kJ/kg (Ver Anexo 02, Tablas de Vapor)

$h_i$  = Entalpia a condiciones de ingreso del agua en el generador de vapor pirotubular, a presión de 15 Bar y a temperatura de 90 °C, según tablas de vapor es 388 kJ/kg (Ver Anexo, Tablas de Vapor)

Flujo real de combustible Petróleo R500= 156 galones/hora= 573 kg/h (Cuadro N° 7)

Poder Calorífico inferior = 41,215 kJ/kg (Cuadro N° 6)

Teniendo en cuenta la ecuación N° 4:

$$84 = \frac{\dot{m}_v * (2,739.1 - 388)}{156 * 3.675 * 41,215} * 100$$

$$\dot{m}_v = 8,442 \frac{kg}{h} = 8.44 \text{ Ton/h.}$$

- **DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE GASES DE LA COMBUSTIÓN REAL EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DEL CALDERO.**

Exceso de aire = 34 %

La Relación Aire/Combustible teórico es 14.7 Kg combustible/kg de aire

La Relación aire/combustible real será igual a:

Relación aire/combustible real = 14.7 \* 1.34 = 19.7 kg aire/kg combustible R500.

Por lo tanto el flujo de aire es igual a:

$$\dot{m}_a = 19.7 * 573.3 = 11,292.82 \frac{kg}{h} \text{ de aire}$$

El flujo másico total de los gases de la combustión actual formado que ingresaran a la cámara de combustión es:

$$\dot{m}_g = 573.3 + 11,292.82 = 11,866.12 \frac{kg}{h} \text{ de gases} = 3.30 \text{ kg/sg}$$

Si la densidad promedio de los gases de la combustión es 0.753 kg/m<sup>3</sup>

Por lo tanto el volumen de gases de la combustión actual contenidos en la cámara de combustión es de:

$$\dot{m}_g = \frac{3.3}{0.753} = 4.38 \text{ m}^3/\text{sg}$$

- **DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE GASES DE LA COMBUSTIÓN NOMINAL EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DEL CALDERO.**

Exceso de aire = 25 %

La Relación aire/combustible real será igual a:

Relación aire/combustible real = 14.7 \* 1.25 = 13.38 kg aire/kg combustible R500.

Para determinar el flujo de combustible nominal a una Eficiencia de 85%, se tiene el siguiente cálculo:

$$1 \text{ BHP} = 8,437 \text{ Kcal/h}$$

$$\text{Entonces } 800 \text{ HP} = 6'749,300 \text{ Kcal/h}$$

Aplicando la ecuación N° 4:

$$85 = \frac{6'749,300}{\dot{m}_{c \text{ nominal}} * 41,215/4.18} * 100$$

Luego el flujo de combustible nominal en kg/h es:

$$\dot{m}_{c \text{ nominal}} = 805.35 \frac{kg}{h} = 219.14 \text{ gal/h}$$

Por lo tanto el flujo de aire nominal es igual a:

$$\dot{m}_{a \text{ nominal}} = 13.38 * 805.35 = 14,728.22 \frac{kg}{h} \text{ de aire}$$

El flujo másico total de los gases de la combustión nominal formado que ingresaran a la cámara de combustión es:

$$\dot{m}_{g \text{ nominal}} = 805.35 + 14,728.22 = 15,603.57 \frac{kg}{h} \text{ de gases} = 4.33 \text{ kg/sg}$$

Si la densidad promedio de los gases de la combustión es  $0.753 \text{ kg/m}^3$

Por lo tanto el volumen de gases de la combustión nominales contenidos en la cámara de combustión es de:

$$\dot{m}_g = \frac{4.33}{0.753} = 5.76 \text{ m}^3/\text{sg}$$

- **FRACCION DE VOLUMEN DENTRO DE LA CAMARA DE COMBUSTION.**

Se determina el porcentaje de saturación de la cámara de combustión dividiendo el flujo de gases de la combustión reales y el flujo de gases de la combustión nominales:

$$\% \text{ Saturacion Camara de Combustion} = \frac{4.38}{5.76} * 100\% = 76.05 \%$$

- **FACTOR DE CARGA ACTUAL**

Determinación de los BHP de operación.

Aplicando la ecuación N° 1:

$$\text{BHP de operacion} = \frac{8,442 * (2739.1 - 388)}{8437} = 563 \text{ BHP}$$

- Determinación del Factor de Carga Actual.

Aplicando la ecuación N° 2:

$$F.C = \frac{563}{800} * 100\% = 70.35 \%$$

- d. **CUADRO RESUMEN.** Se presentan los resultados del Balance de Energía para los 5 Calderos de la Empresa Pesquera RIBAUDO S.A.

Cuadro N° 8 Parámetros Operativos de Calderas con R500

ESPECIFICACIONES	NUMERO DE CALDERAS ( 5 )				
	1	2	3	4	5
MARCA	METAL EMPRESA	ESTÁNDAR KESSEL	MAGENSA	DISTRAL SA.	CLEAVER BROOKS
TIPO	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR
CAPACIDAD (BHP)	600	400	400	700	800
P1(%)	11.48	10.72	10.48	10.83	11.36
P2(%)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
P3(%)	0.89	0.83	0.82	0.75	0.82
P4(%)	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27
P5(%)	0.40	0.50	0.45	0.27	0.38
P6(%)	0.10	0.12	0.11	0.09	0.09
Eficiencia (%)	83.78	84.49	84.79	84.71	84.00
Flujo de vapor (Ton/h)	7.61	3.76	3.71	7.59	8.44
Exceso de aire(%)	35%	35%	30%	32%	34%
Volumen real gases comb(m3/s)	3.98	1.95	1.85	3.84	4.38
Volumen nominal gases comb(m3/s)	4.32	2.88	2.88	5.04	5.76
% Saturacion Camara de Combustion	92.29%	67.75%	64.41%	76.34%	76.05%
Potencia Real(BHP)	507	250	248	506	563
Factor de Planta	84.55%	62.59%	61.91%	72.24%	70.35%
Caldero N° 1 En Condicion de Reserva Operativa, pruebas a plena carga(141 Gal/h)					

Fuente: Elaboración Propia

e. **INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD.**

- DATOS DE INGRESO: Para el mes de Octubre 2013.

Capacidad de Planta = 42 TM/hora.

Captura Materia Prima mes = 23,520 TM/mes (Cuadro N° 4)

Producción de Planta Anual = 5,750.61 TM de harina/hora (Cuadro N° 4)

$$\text{Ratio Productivo} = \frac{23,520}{5,750.61} = 4.09 \frac{\text{Ton. de Materia Prima}}{\text{Ton. de Harina}}$$

Cuadro N° 9 Ratios de Producción Empresa RIBAUDO SAC

2013	PRODUCCION (TON/MES)
ENERO	4.23
FEBRERO	4.27
MARZO	4.20
ABRIL	4.27
MAYO	4.29
JUNIO	4.14
JULIO	4.14
AGOSTO	4.24
SEPTIEMBRE	4.31
OCTUBRE	4.09
NOVIEMBRE	4.10
DICIEMBRE	4.12
PROMEDIO	4.20
MEJOR VALOR	4.09
VALOR EXTREMO	4.31

Fuente: Elaboración Propia

- DETERMINACIÓN DEL COSTO VARIABLE DE GENERACION EN CALDEROS (C.V.G.C) :

Flujo Total de combustible.

Se tiene según el Cuadro N°7, que el flujo total de combustible es igual a:

Flujo total de combustible = 69+68+139+159= 432 galones/hora

Precio del combustible R500 = 4.2 U\$/Galón Petróleo R500

Facturación del combustible R500 = 432\*4.2 =1,814.4 U\$/hora

Costo Variable de Generación de calderos:

Se tiene según el cuadro N° 8, la producción de generación de vapor.

Producción de Vapor = 3.76+ 3.71 + 7.59+8.44 = 23.50 Ton. de vapor/h.

$$C.V.G.C = \frac{1,814 \frac{U\$}{hora}}{23.50 \frac{Ton}{hora}} = 77.21 \frac{U\$}{Ton \text{ de Vapor}}$$

- DETERMINACIÓN DE INDICADOR ENERGÉTICO TÉRMICO 1: Compara las unidades de combustible consumido por unidad de producción. Aplicando la ecuación N° 20 y teniendo en cuenta el Ratio de Producción igual a 4.09.

Producción de Planta Anual = Capacidad de Planta/Ratio de Producción = 42/4.09 = 10.27 Ton de harina/hora.

$$IT1 = \frac{432 \text{ Galones de Petroleo R} - 500/\text{hora}}{10.27 \text{ Toneladas de Harina producida/hora}} = 42.07 \frac{\text{Galon de Petroleo R500}}{\text{Toneladas de harina}}$$

- DETERMINACION DEL INDICADOR ENERGÉTICO TÉRMICO 2: Aplicando la ecuación N° 21 y el Poder Calorífico Inferior igual a 41,215 kj/kg = 9.86 Mega calorías/kg.

$$IT2 = \frac{432 * 3.675 * 9.860 \text{ Mega} \frac{\text{calorias}}{\text{hora}}}{10.27 \text{ Toneladas de Harina producida}}$$

$$IT2 = 1,524.38 \frac{\text{Megacalorias}}{\text{Toneladas de Harina producida}}$$

- DETERMINACIÓN DE LOS INDICADORES ENERGÉTICOS ECONÓMICOS: Aplicando la ecuación N° 22:

$$IETC = \frac{432 * 4.2 \text{ U\$ Facturacion de combustible}}{10.27 \text{ Toneladas de Harina producida}}$$

$$IETC = 176.69 \frac{\text{U\$ Facturacion de combustible}}{\text{Toneladas de Harina producida}}$$

Cuadro N° 10 Indicadores de Productividad con R500

RATIO PRODUCTIVO (Ton de MP/Ton de harina)	C.V.G.C U\$/Ton de Vapor	I.E.T 1 Gal Pet/Ton Har.	I.E.T 2 MegaCal/Ton Har.	I.E.E U\$/Ton Har.	
PROMEDIO	4.18	77.21	43.02	1558.85	180.68
MEJOR VALOR	4.09	77.21	42.07	1524.38	176.69
VALOR EXTREMO	4.31	77.21	44.33	1606.37	186.19

Fuente: Elaboración Propia

## 4.2 DETERMINACION DE EQUIVALENTE ENERGETICO DE GAS NATURAL.

### a. EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS.

Se tiene que los combustibles peruanos tienen las siguientes características:

- **Petróleo R500 :**  
Poder Calorífico inferior 9 628 kcal/kg  
Exceso de aire óptimo: 25 %
- **Gas Natural :**  
Poder Calorífico inferior 9 860 kcal/kg  
Exceso de aire óptimo: 15 %

### b. DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE GAS NATURAL NECESARIO. Tomando las características de operación del Caldero N° 5 de 800 BHP.

- Determinando la potencia calorífica suministrada por el Petróleo R500. Según la ecuación siguiente:

$$P_{sum} = \dot{m}_c * P_{ci}$$

$$P_{sum\ GN} = 156 * 3.675 * 9,860 = 5'652,738.00 \text{ Kcal/h}$$

- Determinación del flujo de gas natural necesario, aplicando la ecuación anterior.

$$P_{sum\ GN} = \dot{m}_{cGN} * P_{ci}$$

$$5'652,738 = \dot{m}_{cGN} * 9\ 856$$

$$\dot{m}_{c\ GN} = 573.53 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 863.75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

### c. DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE GASES DE LA COMBUSTIÓN.

- Se tienen los siguientes parámetros:

Si la Relación aire/combustible estequiométrica es de 17.2 kg aire/kg de combustible para el Gas Natural, y además para una máxima eficiencia de la combustión el exceso de aire es de 15 %.(Castillo Neyra, 2010)

Relación aire/combustible estequiométrica: 17.2 kg aire/kg Combustible

Relación aire/combustible real = 17.2\*1.15 = 19.78 kg aire/kg combustible

Por lo tanto el flujo de aire es igual a:

$$\dot{m}_a = 19.78 * 573.53 = 11,344.48 \frac{kg}{h} \text{ de aire}$$

- El flujo másico total de los gases de la combustión formados que ingresaran a la cámara de combustión es:

$$\dot{m}_g = 573.53 + 11,344.48 = 11,918.01 \frac{kg}{h} \text{ de gases} = 3.31 \text{ kg/sg}$$

Si la densidad promedio de los gases de la combustión es  $0.664 \text{ kg/m}^3$

Por lo tanto el volumen de gases de la combustión contenido en la cámara de combustión es de:

$$\dot{m}_g = \frac{3.31}{0.664} = 4.99 \text{ m}^3/\text{sg}$$

- Determinación del porcentaje de saturación de la cámara de combustión, teniendo en cuenta el valor nominal de  $5.76 \text{ m}^3/\text{sg}$ .

$$\% \text{ Saturacion C. C} = \frac{\text{Flujo de gases con GN}}{\text{Flujo de gases nominal del caldero}}$$

$$\% \text{ Saturacion C. C} = \frac{4.99}{5.76} = 86.66 \%$$

#### d. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CARGA.

- Determinación de los BHP de operación.

Aplicando la ecuación N° 1.

$$\text{BHP de operacion} = \frac{8,442 * (2739.1 - 388)}{8437} = 563 \text{ BHP}$$

- Determinación del Factor de Carga Actual.

Aplicando la ecuación N° 2.

$$\text{F. C} = \frac{563}{800} * 100\% = 70.35 \%$$



- Se presenta el siguiente cuadro resumen:

Cuadro N° 11 Parámetros Operativos de Calderas con Gas Natural.

ESPECIFICACIONES	NUMERO DE CALDERAS ( 5 )				
	1	2	3	4	5
MARCA	METAL EMPRESA	ESTÁNDAR KESSEL	MAGENSA	DISTRAL SA.	CLEAVER BROOKS
TIPO	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR
CAPACIDAD (BHP)	600	400	400	700	800
Flujo de vapor (Ton/h)	7.61	3.76	3.71	7.59	8.44
Petroleo R500 (Gal/h)	141	69	68	139	156
Gas Natural (m3/h)	518.33	253.68	250.00	511.03	573.53
Eficiencia(%)	83.78	84.49	84.79	84.71	84.00
Exceso de aire(%)	15	15	15	15	15
Volumen real gases comb(m3/s)	4.51	2.21	2.17	4.44	4.99
% Saturacion Camara de Combustion	104.4%	76.6%	75.5%	88.2%	86.6%
Potencia Real(BHP)	507	250	248	506	563
Factor de Planta	84.55%	62.59%	61.91%	72.24%	70.35%

Fuente: Elaboración Propia

#### e. DETERMINACION DE INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD.

- DETERMINACIÓN DEL COSTO VARIABLE DE GENERACION EN CALDEROS (C.V.G.C) :

Flujo Total de combustible.

Se tiene según el Cuadro N° 11, que el flujo total de combustible es igual a:

Flujo total de combustible GNL= 2,391.93 m3/hora

Precio del combustible GNL = 1.01 U\$/m3 (Precio Sugerido por IRRADIA PERU)

Facturación del combustible GNL = 2,391.93 \*0.68 =1,626.51 U\$/hora

Costo Variable de Generación de calderos:

Se tiene según el cuadro N° 8, la producción de generación de vapor.

Producción de Vapor = 3.76+ 3.71 + 7.59+8.44 = 23.50 Ton. de vapor/h.

$$C.V.G.C = \frac{1,626.51 \frac{U\$}{hora}}{23.50 \frac{Ton}{hora}} = 69.21 \frac{U\$}{Ton de Vapor}$$

- DETERMINACIÓN DE INDICADOR ENERGÉTICO TÉRMICO 1: Compara las unidades de combustible consumido por unidad de producción. Aplicando la ecuación N° 20 y teniendo en cuenta el Ratio de Producción igual a 4.09.

Producción de Planta Anual = Capacidad de Planta/Ratio. de Producción = 42/4.09 = 10.27 Ton de harina/hora.

$$IT1 = \frac{2,391.23 \text{ m}^3/\text{hora}}{10.27 \text{ Toneladas de Harina producida/hora}} = 232.93 \frac{\text{m}^3}{\text{Toneladas de harina}}$$

- DETERMINACION DEL INDICADOR ENERGÉTICO TÉRMICO 2: Aplicando la ecuación N° 21 y el Poder Calorífico Inferior igual a 41,215 kJ/kg = 9.86 Mega calorías/kg.

$$IT2 = \frac{2,391.23 * 9.856 * 0.664 \text{ Mega} \frac{\text{calorias}}{\text{hora}}}{10.27 \text{ Toneladas de Harina producida}}$$

$$IT2 = 1,524.38 \frac{\text{Megacalorias}}{\text{Toneladas de Harina producida}}$$

- DETERMINACIÓN DE LOS INDICADORES ENERGÉTICOS ECONÓMICOS: Aplicando la ecuación N° 22:

$$IETC = \frac{2,391.93 * 0.68 \text{ U\$ Facturacion de combustible}}{10.27 \text{ Toneladas de Harina producida}}$$

$$IETC = 158.39 \frac{\text{U\$ Facturacion de combustible}}{\text{Toneladas de Harina producida}}$$

Cuadro N° 12 Indicadores de Productividad con Gas Natural

RATIO PRODUCTIVO		C.V.G.C	I.E.T 1	I.E.T 2	I.E.E
(Ton de MP/Ton de harina)		U\$/Ton de Vapor	m3/Ton Har.	MegaCal/Ton Har.	U\$/Ton Har.
PROMEDIO	4.18	69.21	238.20	1558.85	161.97
MEJOR VALOR	4.09	69.21	232.93	1524.38	158.39
VALOR EXTREMO	4.31	69.21	245.46	1606.37	166.91

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3 CARACTERISTICAS DEL REGASIFICADOR.

- **Condiciones de Cálculo.**

Se desea calentar a presión constante el GNL desde  $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , utilizando vapor saturado a 2 Bar de Presión mediante un regasificador forzado. Se presenta el siguiente esquema:

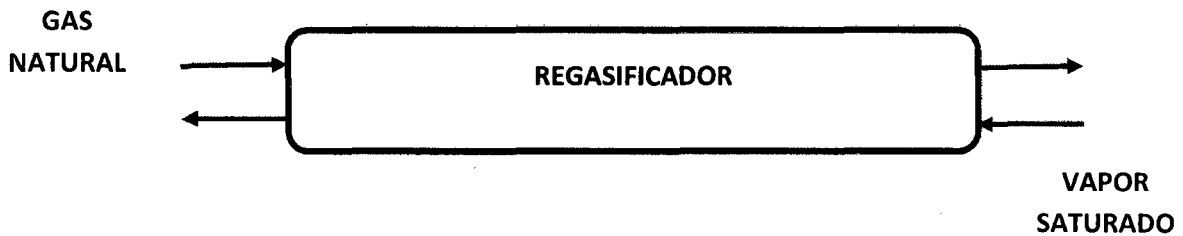


Figura N° 25 Corrientes fluidas en el Regasificador

Fuente: Elaboración Propia

- **Balance de Energía.**

Se determina según la siguiente ecuación con el criterio de que el calor absorbido a presión constante por el gas natural para calentarse desde  $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  es igual al calor de vaporización cedido por el vapor a baja presión (4 Bar) afectado este proceso por una efectividad del regasificador igual a 0.9.

$$\dot{m}_{\text{GN}} * C_{p\text{GN}} * (T_f - T_i) * \text{Efectividad} = \dot{m}_v * (\Delta h_{fg})_{4\text{ bar}}$$

De donde:

El flujo de gas natural es  $2,391.93\text{ m}^3/\text{h}$ , para una densidad de  $0.664\text{ kg}/\text{m}^3$ , el caudal es  $1,588.24\text{ kg}/\text{h}$ .

El valor del calor específico del gas natural a presión constante es  $0.56\text{ Kcal}/\text{kg}\text{-}^{\circ}\text{C}$  o  $2.34\text{ kJ}/\text{kg}\text{-}^{\circ}\text{C}$ .

Temperatura inicial del gas natural =  $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura final del Gas natural =  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Efectividad del regasificador = 0.9

Entalpia de vaporización a 4 Bar =  $1,949.3\text{ kJ}/\text{kg}$

$$1,588.24 * 2.34 * (20 - -161) * 0.9 = \dot{m}_v * 1,949.3$$

$$\dot{m}_v = 310.6 \text{ kg/h}$$

- **Flujo de Combustible Adicional.**

Asumiendo que la cobertura de la demanda de vapor adicional sea cubierta por el Caldero N° 5 de 800 BHP. Tenemos:

$h_g$  = Entalpia en el estado de vapor saturado a la presión de 8 Bar, según tablas de vapor es 2,739.1 kJ/kg (Ver Anexo, Tablas de Vapor)

$h_i$ ) = Entalpia a condiciones de ingreso del agua en el generador de vapor pirotubular, a presión de 15 Bar y a temperatura de 90 °C, según tablas de vapor es 388 kJ/kg. (Ver Anexo, Tablas de Vapor)

Flujo real de vapor= 310.6 kg/h

Poder Calorífico inferior GNL = 41,200 kJ/kg

Teniendo en cuenta la ecuación N° 4:

$$84 = \frac{310.6 * (2,739.1 - 388)}{\dot{m}_{cGN} * 41,200} * 100$$

$$\dot{m}_{cGN} = 21.1 \frac{kg}{h} = 31.78 \text{ m}^3/h$$

#### 4.4 PLANTA SATELITE DE GAS NATURAL LICUADO.

##### a. REQUERIMIENTO MENSUAL DE GAS NATURAL LICUADO:

Teniendo en cuenta las estadísticas de producción y consumo del Cuadro N° 4 y la equivalencia del IT1 igual a 232.93 m<sup>3</sup>/Tonelada de harina de pescado se determina la equivalencia energética del consumo de petróleo, con la finalidad de determinar la máxima demanda de gas natural.

Cuadro N°13 Estadísticas de Equivalencia de Gas Natural Licuado para la Producción y Consumo de la Empresa-Año 2013

2013	MATERIA PRIMA (TON/MES)	PRODUCCION (TON/MES)	GALONES (GAL/HORA)	GAS NATURAL (m3/mes)
ENERO	8400	1985.816	84397.16	462556.03
FEBRERO	7560	1770.492	75600.00	412400.66
MARZO	15120	3600.000	151920.00	838548.00
ABRIL	5040	1180.328	49573.77	274933.77
MAYO	4620	1076.923	45984.62	250847.69
JUNIO	18900	4565.217	193108.70	1063376.09
JULIO	17220	4159.420	173031.88	968853.77
AGOSTO	10080	2377.358	101275.47	553758.11
SEPTIEMBRE	5040	1169.374	50867.75	272382.18
OCTUBRE	23520	5750.611	240375.55	1339489.88
NOVIEMBRE	19740	4814.634	200770.24	1121472.73
DICIEMBRE	19152	4648.544	195703.69	1082785.28
MAXIMA DEMANDA GAS NATURAL				1339489.88

Fuente: Elaboración Propia.

Se determina la máxima demanda diaria tomando en cuenta el mes de Octubre con 30 días:

$$\text{Maxima Demanda diaria de GNL} = \frac{1'339,489.88 \frac{m^3}{mes}}{30 \frac{dias}{mes}}$$

$$\text{Maxima Demanda diaria de GNL} = 44,649.7 \frac{m^3}{dia}$$

Se tiene en cuenta que una Cisterna Criogénica INDOX para GNL de la Empresa IRRADIA PERU tiene una capacidad de transporte de 54 m<sup>3</sup> (Ver detalles de la unidad de transporte en Anexos)

Cada Cisterna trae GNL comprimido 600 veces su volumen, por lo tanto:

$$\text{Capacidad de Transporte de 1 Cisterna} = 54m^3 \times 600 = 32,400 \frac{m^3}{Cisterna}$$

$$N^{\circ} \text{ de Cisternas mes} = \frac{1'339,489.88 \frac{m^3}{mes}}{32,400 \frac{m^3}{Cisterna}} = 41.35 = 42$$

$$\text{Contrato} = 42 * 32,400 = 1'360,800 \frac{m^3}{mes}$$

**b. UNIDAD DE ALMACENAMIENTO.**

La unidad de almacenamiento debe tener la capacidad de almacenar el contenido de 2 Tanques Criogénicos de 32,400 m<sup>3</sup> de GNL de capacidad. Una Unidad cisterna en operación y otra unidad de reserva.

$$\text{Unidad de Almacenamiento} = 54 * 2 = 108 m^3$$

Según la Norma UNE 60210 (según lo detallado en el capítulo II, solo se tienen depósitos entre:

Almacenamientos a partir de 20 m<sup>3</sup> hasta 60 m<sup>3</sup>.

Almacenamientos a partir de 60 m<sup>3</sup> hasta 200 m<sup>3</sup>.

Se selecciona una unidad de 60 a 200 m<sup>3</sup>.

Con esta unidad de almacenamiento se alcanza una sostenibilidad del sistema de:

$$\text{Sostenibilidad} = \frac{200 * 600 m^3}{44,649.7 \frac{m^3}{dia}} = 2.68 \text{ dias}$$

**c. UNIDAD DE REGASIFICACION.**

Se selecciona un intercambiador de calor o Regasificador del tipo forzado descrito en el ítem 4.3 para calentar el GNL desde -161 °C hasta 20 °C , con un flujo de vapor saturado a 4 Bar de Presión de 310.6 kg/h.

**d. UNIDAD DE COMPRESION.**

La unidad de compresión se determina en función al flujo másico horario 2,391.93 m<sup>3</sup>/h.

Presión de ingreso: 1 Bar (P<sub>s</sub>)

Presión de descarga: 4 Bar (P<sub>d</sub>)

Para hallar el trabajo específico del compresor se tiene la siguiente ecuación:

$$W = \frac{k}{k-1} * \frac{z * R * T}{M_{GN}} * \left( \frac{P_d}{P_s}^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \text{ kJ/kg}$$

Donde:

K es el coeficiente politrópico para el gas natural: 1.3

Z es el factor de compresibilidad para el gas natural igual a 0.99802

R es la constante universal de los gases: 8.31 KJ/kmol-°K

T es la temperatura de ingreso del gas natural: 20+273 = 293 °K

M<sub>GN</sub> es el peso molecular del gas natural: 16.043 kg/kg mol.

Reemplazando valores se tiene que:

$$W = 244 \text{ kJ/kg}$$

Para determinar la Potencia del compresor se aplica el siguiente cálculo:

$$\text{Potencia compresor} = 244 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 2,391.93 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3,600 \text{ sg}} * 0.664 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 107.64 \text{ KW}$$

$$\text{Potencia electrica} = \frac{107.64}{0.8} = 134.55 = 135 \text{ KW}$$

#### e. SELECCIÓN DE QUEMADORES.

CALCULOS PREVIOS.

Teniendo en cuenta el Caldero 5, cuya máxima demanda es 573.53 m<sup>3</sup>/h. Con un Factor de Carga del 75%

$$\text{Capacidad Nominal} = \frac{573.53}{0.75} = 764.7 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Se determina la cantidad de energía disponible y la Potencia del quemador:

$$\text{Flujo gas natural} = 764.7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 0.664 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ sg}} = 0.141 \frac{\text{kg}}{\text{sg}}$$

$$\text{Potencia del quemador} = 0.141 \frac{\text{kg}}{\text{sg}} * 41200 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 5,811.1 \text{ KW}$$

- **DATOS NOMINALES.**

<b>MARCA</b>	<b>: ECOFLAM</b>
<b>MODELO</b>	<b>: BLU 7000.1 para Gas Natural de bajas emisiones de NOx</b>
<b>TIPO</b>	<b>: Quemador estático presurizado con aire, de fundición de acero</b>
<b>OPERACION</b>	<b>: Modulante</b>
<b>PRESION</b>	<b>: 700 ± 60 mbar</b>
<b>CAPACIDAD</b>	<b>: 7,500 a 1,500 KW</b>
<b>ENCENDIDO</b>	<b>: 220v/ 60 Hz.</b>
<b>VENTILADOR</b>	<b>: Motor de 15 KW</b>

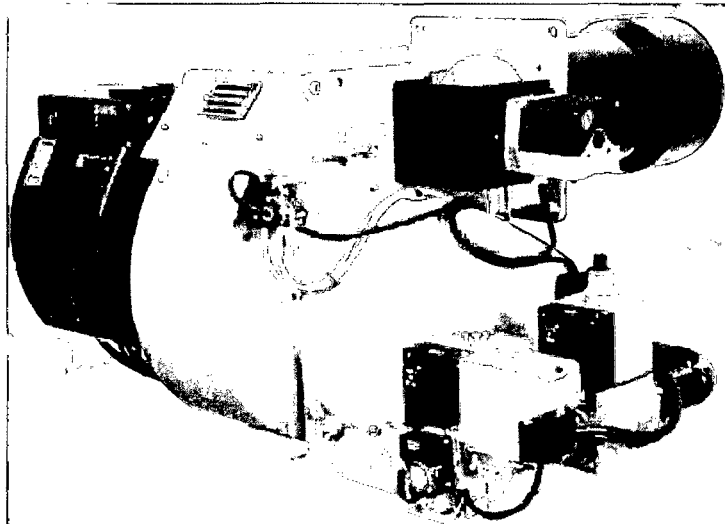


Figura N°26 Quemador BLU 7000.1 de 7,500 a 1,500 KW

Fuente: ECOFLAM

Se presentan los resultados para cada una de los calderos conformantes de la Sala de Generación de Vapor de la Empresa RIBAUDO SAC.



Cuadro N°14 Características de los quemadores de calderas Empresa RIBAUDO S.A

ESPECIFICACIONES	NUMERO DE CALDERAS ( 5 )				
	1	2	3	4	5
MARCA	METAL EMPRESA	ESTÁNDAR KESSEL	MAGENSA	DISTRAL SA.	CLEAVER BROOKS
TIPO	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR	PIROTUBULAR
CAPACIDAD (BHP)	600	400	400	700	800
TIPO DE QUEMADOR	BLU 6000.1	BLU 3000.1	BLU 3000.1	BLU 6000.1	BLU 7000.1
MAXIMA CAPACIDAD (KW)	5800	3000	3000	5800	7500
MINIMA CAPCIDAD(KW)	1500	630	630	1500	1500
PRESION QUEMADOR(mbar)	700 +/- 50	700 +/- 22	700 +/- 22	700 +/- 50	701 +/- 60
MOTOR VENTILADOR (KW)	15	5.5	5.5	15	15

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.5 BENCHMARKING ENERGETICO ENTRE INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD:

Se presenta el benchmarking energético para la comparación entre indicadores de la empresa operando los calderos con Petróleo R500 y con Gas Natural.

- Para el Costo Variable de Generación de Vapor (C.V.G.V).

Con Petróleo R500 = 77.21 U\$/Ton. de vapor

Con Gas Natural = 69.21 U\$/Ton. de Vapor

$$\% \text{ de Mejora} = \frac{77.21 - 69.21}{77.21} * 100\% = 10.09 \%$$

- Para el Indicador Energético Técnico 1. Referente a este Indicador, el benchmarking no puede realizarse debido a que el numerador está referido a diferentes unidades de flujo para cada combustible.
- Para el Indicador Energético Técnico 2. Referente a este Indicador, la potencia calorífica que desarrolla el gas natural y el petróleo R500 presentan el mismo valor de 1,558.85 Megacalorías / Tonelada de harina producida.
- Para el Indicador Energético Económico 1. (I.E.E. 1)
  - Con Gas Natural = 161.97 U\$/Ton. de harina
  - Petróleo R500 = 180.68 U\$/Ton. de harina

$$\% \text{ de Mejora} = \frac{180.68 - 161.97}{180.68} * 100\% = 10.35 \%$$

#### 4.6 EVALUACION ECONOMICA.

- Se tiene el siguiente presupuesto económico para la implementación del cambio tecnológico de quemadores:

Cuadro N°15 Presupuesto Proyecto GNL Empresa RIBAUDO SAC

N°	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	UNIDAD	SUB TOTAL(U\$)
1	<b>SUB SISTEMA QUEMADORES</b>			
	Quemadores BLU	30000	5	150000
	Montaje de Quemadores y Accesorios	3500	5	17500
	Sub Total			167500
2	<b>SUBSISTEMAS RED DE GAS NATURAL</b>			
	Estación de Regulación y Medición	50000	1	50000
	Tuberías de Baja Presión	41000	1	41000
	Montaje Mecánico	17500	1	17500
	Sub Total			108500
3	<b>SUBSISTEMA PLANTA SATELITE GNL</b>			
	Módulo de Almacenamiento	110000	1	110000
	Regasificador	90000	1	90000
	Compresor	60000	1	60000
	Obras Civiles	37000	1	37000
	Valvuleria y Red de Gas Natural	30000	1	30000
	Automatización	25000	1	25000
	Montaje Electromecánico	25000	1	25000
Sub Total			377000	
4	SUPERVISION Y PRUEBAS	25000	1	25000
5	<b>SUBTOTAL PRESUPUESTO</b>			<b>678000</b>
6	IGV (18%)			122040
7	<b>TOTAL (U\$)</b>			<b>800040</b>

Fuente: Elaboración Propia.

- Las Consideraciones para la evaluación económica son las siguientes:

Inversión : 800,040.00 U\$/año

Vida Útil : 20 años

Tasa de interés : 12 %

Reducción del Costo de combustible :

Se tiene una producción anual de 37,098.7 Ton de harina/año (Estadísticas Año 2013)

La Diferencia entre Indicadores Energéticos Económicos es:  $180.68 - 161.97 = 18.71$  U\$/Ton. de harina producida.

Reducción del Costo de combustible =  $18.71 * 37,098.7 = 694,116.67$  U\$/año.

Costo Operativo: Incluye la inclusión de 1 personal para la recepción del Gas Natural, con un sueldo mensual promedio operario Empresa Ribaudó SAC de U\$ 650.00

Total Costo Operativo Anual =  $650 * 12 = \text{U\$ } 7,800.00$

Costo de Mantenimiento: Valor Promedio obtenido de la Empresa Diamante (Pisco), un valor de 400 U\$/mes, un total anual de U\$ 4,800.00

- Determinación del VAN. Para la determinación del VAN se hace uso de la ecuación N° 23 y 24, así tenemos para el flujo de caja:

$$FC = 694,116.67 - (7,800 + 4,800) = 681,516.67 \text{ U\$/año}$$

Finalmente el Valor del VAN es:

$$VAN = \sum_{t=1}^{20} \frac{681,516.67}{(1 + 0.12)^t} - 800,040 = 5'016,502.66 \text{ U\$}$$

- Determinación del TIR. Se calcula según la ecuación N° 25:

$$0 = -800,040 + \sum_{t=1}^{20} \frac{681,516.67}{(TIR)^t}$$

$$TIR = 85 \%$$

#### 4.7 DISCUSION DE RESULTADOS.

- Referente al abastecimiento de Gas Natural, en el Perú se tienen dos formas de abastecimiento del Gas Natural, la primera de ellas se realiza a través de gasoductos físicos con un valor de 1'000,000 U\$/km, mientras que la segunda modalidad tecnológica se realiza mediante Gasoductos virtuales. Los Gasoductos virtuales o transporte del Gas Natural mediante cisternas especiales, pueden transportar el Gas Natural bajo dos modalidades. La primera de ellas como gas natural comprimido a 200 Bar de Presión y 15 °C de temperatura, transportándose un volumen de gas comprimido hasta 300 veces a un precio de 0.8 U\$/m<sup>3</sup>. Mientras que la tecnología de transporte del gas natural licuado se realiza a 1 Bar de Presión y -161 °C, transportándose un volumen de gas comprimido hasta 600 veces a un precio de 1.01 U\$/m<sup>3</sup>. Con lo cual resulta más económico el transporte con GNL , debido a que en volumen el GNC tendría un costo unitario de 1.6 U\$/m<sup>3</sup> con un exceso en precio de 0.59 U\$/m<sup>3</sup>
- La Empresa Pesquera Ribauco cuenta con 05 Calderos Piro-tubulares que abastecen de vapor saturado a la Planta de Harina de Pescado a una presión de generación de 7 Bar , con una Potencia Total de 2900 BHP. Encontrándose operativos los 5 equipos, de donde 4 están operativos con un consumo total de 452 galones de petróleo R500/hora, mientras que un Caldero de 600 BHP se mantiene en condiciones de reserva.
- Los calderos en operación tienen una eficiencia promedio de operación de 84% con un Factor de carga entre 62 a 72% de su capacidad con lo cual se cuenta con una capacidad de reserva operativa que le permite afrontar la salida del servicio de uno de los calderos,
- El suministro de GNL requiere de una Planta Satélite de GNL , que a diferencia del Suministro de GNC , estos sistemas son fijos y constan de un sistema de almacenamiento , un sistema o tren de válvulas , un regasificador para incrementar la temperatura del GNL hasta 20 °C con Vapor saturado y un compresor para baja presión.
- Los sistemas de adecuación de los calderos a la combustión de GNL incluye la verificación del porcentaje de saturación de la cámara del caldero con gases de la combustión, el cual a diferencia del Petróleo R500 que opera con excesos de aire de hasta 30%, el GNL trabaja hasta 25 % de exceso de aire , determinándose que el % de saturación de la cámara de

combustión este en el orden 72.24 %, quedando el equipo con una holgura para poder operar sin necesidad de saturarse con gases la cámara.

- Referente a los Indicadores energéticos se obtiene una mejora de 10.09 y 10.35 % para el Indicador Costo Variable de generación de vapor y para el Indicador Energético Económico , valores que permiten contrastar la hipótesis , la cual solo se consideró un % de mejora de los Indicadores de Productividad , habiéndose en realidad duplicad
- Referente al costo del Proyecto se tiene que el 47.1 % del Costo total del Proyecto está relacionado a la adquisición y montaje de la Planta Satélite de gas natural licuado con un valor de U\$ 377,000.00, seguido por el Subsistema Quemadores que incluyen la compra de 05 Quemadores BLU y su respectivo montaje y adecuación del generador de vapor, con una inversión de U\$ 167,500.00. Así mismo la Inversión total del Proyecto es de U\$ 800,040.00.

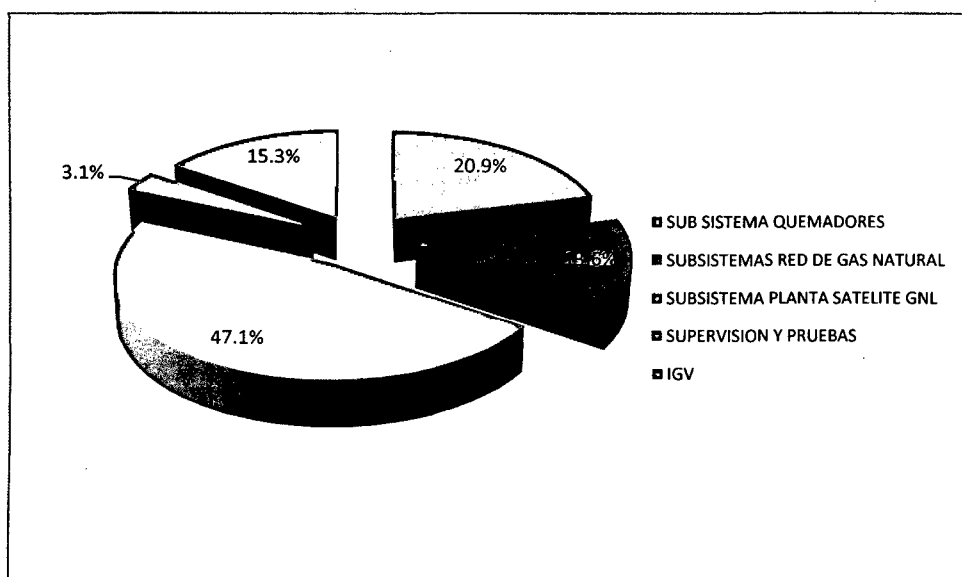


Figura N°27 Diagrama Porcentual de Costos por subsistemas

Fuente: Elaboración Propia.

- Según la evaluación económica se obtiene un valor del VAN de 5'016,502.66 U\$, el cual es un valor aceptable para el proyecto , con el cual demuestra ser rentable, así mismo el valor de la TIR es de 85 % , el cual supera en 7 veces al valor de la Tasa de descuento del mercado que es 12 %.

**CONCLUSIONES**  
**Y**  
**RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

- Se realizó un balance de energía en el Área de Calderos de la Empresa Pesquera Ribaudó S.A , manteniéndose los Calderos 2 al 5 con eficiencias entre 84 a 84.79% , los cuales son valores adecuados y cercanos a los valores óptimos para Calderos Piro-tubulares que es de 85%. Así mismo el exceso de aire máximo es de 34%, con lo cual los equipos no necesitan un ajuste en su combustión, siendo el valor óptimo 30%. Y referente al Factor de Carga o Planta este se mantiene con un valor mínimo de 61.91 a 72.2%, quedando una fracción de los equipos como reserva más el Caldero 1 como equipo adicional en reserva fría, con lo cual está garantizado el abastecimiento de vapor en la Empresa.
- Se realizó el balance de energía en los Calderos Piro-tubulares operando con Gas natural Licuado manteniéndose los valores de 84% a 84.79%, verificándose el porcentaje de saturación de la cámara de combustión con gases de la combustión de 75.5% a 86.6% %, con lo cual la cámara de combustión no presenta peligro de saturar de gases y provocar rechazo de la llama o ahogamiento del equipo.
- Se debe contar con una planta satélite de GNL para la recepción del combustible que involucre una unidad de almacenamiento según la Norma UNE de 60 a 200 m<sup>3</sup> para almacenar un promedio de 108 m<sup>3</sup>, lo cual da una sostenibilidad al sistema de 2.68 días. Además para la Máxima Demanda de GNL que es de 1'339,489.88 m<sup>3</sup>/mes se debe contar con un total de 42 viajes mensuales, el precio del GNL se adquiera a un precio de 1.01 U\$/m<sup>3</sup>.
- Realizando un benchmarking energético entre los Indicadores de productividad, se tiene una mejora o reducción del 10.09 y de 10.35% para el Costo Variable de Generación de vapor y para el Indicador Energético Económico, validándose y superando la hipótesis planteada de solo una mejora del 5%.
- Se determinó la rentabilidad económica del consumo de GNL, con un VAN de 5'016,502.66 U\$ y una TIR de 85%, para una inversión de 800,040 U\$, la cual se considera aceptable.

## RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar un estudio similar a las diversas unidades que conforman las Empresas de Harina de Pescado en la Provincia del Santa, con la finalidad de poder cuantificar la Máxima demanda de GNL y determinar las características de comercialización de este combustible como un cliente mayor.
- Es necesario realizar y promover charlas de capacitación en el cual se difunda las bondades tecnológicas del gas natural como combustible a ser utilizado en la Industria, así como en el sector residencial.
- Estando a inicios de la realización del Proyecto de Masificación del gas Natural en el Perú, es deber de las Universidades asumir el reto de realizar diplomados, cursos o eventos relacionados a este tema, para concientizar a la futura demanda.
- Un trabajo pendiente está relacionado a la posibilidad de realizar estudios para combustionar gas natural en secadores de fuego directo, ya en desuso , esta actividad estaría impulsada por las bajas emisiones gaseosas de CO<sub>2</sub> y CO por la combustión del gas natural.
- La Planta está en condiciones de poder realizar mejoras en las instalaciones de vapor teniendo en cuenta los ahorros efectuados por cambiar de Petróleo R500 a gas Natural, esto implicaría destinar sus propios ahorros en su misma instalación.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### TEXTOS:

- [1] GAFFERT, G.A. "Centrales de Vapor". Editorial Reverte. 7ª Edición. 1981. 595 p.  
ISBN 84-291-4830-2
- [2] INDECOPI. "Norma Técnica de Evaluación de calderos Piro-tubulares". 1ª Edición.  
Perú. 2003. 40 p.
- [3] LEIDENGER, Otto. "Procesos Industriales". Editorial Fondo Editorial PUCP. 1ª Edición. Perú. 1997. 283 p.  
ISBN 9972420787
- [4] LLORENS MORRAJA. "Ingeniería Térmica". Editorial marcombo. 1ª Edición.  
España. 2009. 339 p.  
ISBN 8426715311
- [5] OCAMPO, José. "Situaciones y perspectivas del Gas natural Licuado en América Latina". United Nations. 2008. 68 p.  
ISBN 9213231768
- [6] RODRÍGUEZ VIDAL, Carlos. "Regulación y control de un generador de vapor".  
Editorial Académica Española. 1ª Edición, España 2009. 132 p.  
ISBN 36-590395-00
- [7] SOTO CRUZ, Juan. "Fundamentos de ahorro de energía". Editorial UAY. 1ª Edición.  
México. 2005. 112 p.  
ISBN 958-7558-25-9
- [8] VARETTO, Raúl. "Conducción de generadores de vapor". Editorial Alsina de  
Buenos Aires. 1ª Edición. Argentina. 2012, 65 p.  
ISBN 978-950-553-223-0.

**TESIS CONSULTADAS:**

[1] BALTODANO Siccha, Michael angeló. "Estudio técnico económico para la implantación de gasocentros virtuales de GNV desde Lima A Chimbote". Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía. Universidad nacional del Santa. Perú, 2011. 180 p.

[2] CHAVEZ Ñahuinripa ( 2005) en su Tesis " Proyecto de conversión industrial al consumo de gas natural en una planta textil " Universidad Nacional de Ingeniería 2005. 193 P.

[3] LEPE Soto, Amílcar. "Modificación de un generador de vapor para alimentar directamente a un turbogenerador de 15000 KW del Ingenio Santa Ana". Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2005.233 p.

[4] MEZA, Jair. "Evaluación del rendimiento de calderas convertidas a gas natural". Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad de los Andes. Colombia- 6 p.

**PAGINAS WEB:**

[1] ARIAS Graziani, Luis. "Libro del Gas Natural". Aceros Arequipa. Perú. 2002. [Consulta: 28 de agosto 2013]. Disponible en:  
<http://es.scribd.com/doc/32787914/El-Gas-Natural-Luis-Caceres-Graziani>

[2] CASTILLO Neira, Percy. "Manual de Combustión del Gas Natural". Perú. 2011. [Consulta: 27 de setiembre 2013]. Disponible en:  
[http://www.combustionindustrial.com/MANUAL\\_PRACTICO\\_DE\\_COMBUSTION INDUSTRIAL.pdf](http://www.combustionindustrial.com/MANUAL_PRACTICO_DE_COMBUSTION INDUSTRIAL.pdf)

[3] CRYO ENERGY. "Cisternas Criogénicas". Argentina. 2014. [Consulta: 4 de febrero del 2014]. Disponible en:  
<http://www.indox.com/es/productos/equipos/cisternas/cisterna-criogenica>

[4] EUROCOMBUSTION." Quemadores ECOFLAM BLU". México 2014. [Consulta: 12 de febrero del 2014]. Disponible en:  
<http://www.eurocombustion.com/instalaciones.phtml>

[5] GNC ARGENTINA. "Gasoducto virtual". Argentina. 2011. [Consulta: 4 de setiembre 2013]. Disponible en:  
<http://www.gnc.org.ar/downloads/Descripcion-SIMT.pdf>

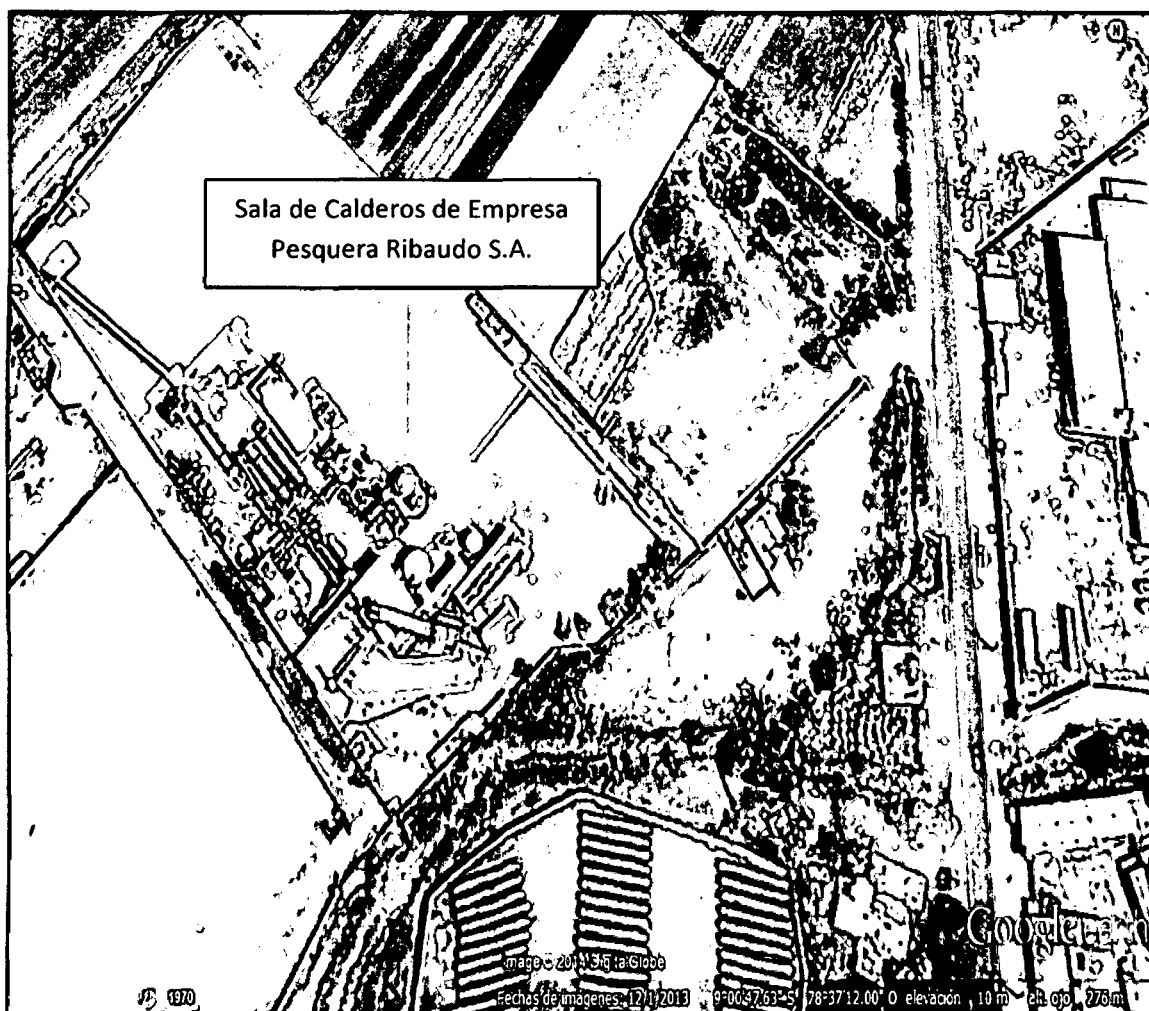
# **ANEXOS**

## **ANEXOS**

1. MAPA DE UBICACIÓN DE LA EMPRESA RIBAUDDO S.A.
2. TABLAS DE VAPOR SATURADO - SISTEMA INTERNACIONAL.
3. ESQUEMA DE PLANTA DE RECEPCION DE GNL
4. VISTA ISOMETRICA DE PLANTA SATELITE DE GNL
5. FICHA TECNICA DEL GAS NATURAL LICUADO
6. FICHA TECNICA DEL PETROLEO INDUSTRIAL 500
7. CATALOGO DE QUEMADORES ECOFLAM BLU.
8. RESEÑA TECNOLOGIA DE CAMIONES CRIOGENICOS

ANEXO N°01. MAPA DE UBICACIÓN DE LA EMPRESA PESQUERA RIBAUDO S.A.

Carretera Panamericana Km 438. Distrito de Coishco, Provincia de Santa, Departamento de Ancash,



**ANEXO N° 02. TABLAS DE VAPOR SATURADO.**

# AGUA

TEMPERATURA. AGUA SATURADA

SISTEMA INTERNACIONAL

SISTEMA INTERNACIONAL		Volumen del Líquido	Volumen del Vapor	Energía Interna del Líquido	Energía Interna de Evaporización	Energía Interna del Vapor	Entalpía del Líquido	Entalpía de Evaporización	Entalpía del Vapor	Entropía del Líquido	Entropía de Evaporización	Entropía del Vapor
T(°C)	PSAT(kpa)	Vf(m3/kg)	Vg(m3/kg)	Uf (KJ/Kg)	Ufg (KJ/KG)	Ug (KJ/Kg)	hf (KJ/Kg)	hfg (KJ/Kg)	hg (KJ/Kg)	Sf (KJ/Kg K)	Sfg (KJ/Kg K)	Sg (KJ/Kg K)
0,01	0,6113	0,001000	206,14	0	2375,3	2375,3	0,01	2501,39	2501,4	0	9,1562	9,1562
5	0,8721	0,001000	147,12	20,97	2361,3	2382,3	20,98	2489,62	2510,6	0,0761	8,9496	9,0257
1	1,2276	0,001000	106,38	42,00	2347,2	2389,2	42,01	2477,79	2519,8	0,1510	8,7498	8,9008
1	1,7051	0,001001	77,93	62,999	2333,1	2396,1	62,99	2465,91	2528,9	0,2245	8,5569	8,7814
2	2,339	0,001002	57,79	83,95	2319,0	2402,9	83,96	2454,14	2538,1	0,2966	8,3706	8,6672
2	3,169	0,001003	43,36	104,88	2304,9	2409,8	104,89	2442,31	2547,2	0,3674	8,1906	8,5580
3	4,246	0,001004	32,89	125,78	2290,8	2416,6	125,79	2430,51	2556,3	0,4369	8,0164	8,4533
3	5,628	0,001006	25,22	146,67	2276,7	2423,4	146,68	2418,62	2565,3	0,5053	7,8478	8,3531
4	7,384	0,001008	19,52	167,56	2262,5	2430,1	167,57	2406,73	2574,3	0,5725	7,6845	8,2570
4	9,593	0,001010	15,26	188,44	2248,4	2436,8	188,45	2394,75	2583,2	0,6387	7,5261	8,1648
5	12,349	0,001012	12,03	209,32	2234,2	2443,5	209,33	2382,77	2592,1	0,7038	7,3725	8,0763
5	15,758	0,001015	9,568	230,21	2219,9	2450,1	230,23	2370,7	2600,9	0,7679	7,2234	7,9913
6	19,94	0,001017	7,671	251,11	2205,5	2456,6	251,13	2358,47	2609,6	0,8312	7,0784	7,9096
6	25,03	0,001020	6,197	272,02	2191,1	2463,1	272,06	2346,2	2618,3	0,8935	6,9375	7,8310
7	31,19	0,001023	5,042	292,95	2176,7	2469,6	292,98	2333,82	2626,8	0,9549	6,8004	7,7553
7	38,58	0,001026	4,131	313,90	2162,0	2475,9	313,93	2321,37	2635,3	1,0155	6,6669	7,6824
8	47,39	0,001029	3,407	334,86	2147,3	2482,2	334,91	2308,8	2643,7	1,0753	6,5369	7,6122
8	57,83	0,001033	2,828	355,84	2132,6	2488,4	355,9	2296	2651,9	1,1343	6,4102	7,5445
9	70,14	0,001036	2,361	376,85	2117,7	2494,5	376,92	2283,18	2660,1	1,1925	6,2866	7,4791
9	84,55	0,001040	1,982	397,88	2102,7	2500,6	397,96	2270,14	2668,1	1,2500	6,1659	7,4159
	PSAT(Mp)											
100	0,10135	0,001044	1,6729	418,94	2087,6	2506,5	419,04	2257,06	2676,1	1,3069	6,0480	7,3549
105	0,12082	0,001048	1,4194	440,02	2072,38	2512,4	440,15	2243,65	2683,8	1,3630	5,9328	7,2958
110	0,14327	0,001052	1,2102	461,14	2057,0	2518,1	461,30	2230,2	2691,5	1,4185	5,8202	7,2387
115	0,16906	0,001056	1,0366	482,30	2041,40	2523,7	482,48	2216,5	2699,00	1,4734	5,7099	7,1833
120	0,19853	0,001060	0,8919	503,50	2025,80	2529,3	503,71	2202,6	2706,3	1,5276	5,6020	7,1296
125	0,2321	0,001065	0,7706	524,74	2009,9	2534,6	524,99	2188,51	2713,5	1,5813	5,4962	7,0775
130	0,2701	0,001070	0,6685	546,02	1993,88	2539,9	546,31	2174,2	2720,5	1,6344	5,3925	7,0269
135	0,3130	0,001075	0,5822	567,35	1977,7	2545,0	567,69	2159,6	2727,3	1,6870	5,2907	6,9777
140	0,3613	0,001080	0,5089	588,74	1961,3	2550,0	589,13	2144,77	2733,9	1,7391	5,1908	6,9299
145	0,4154	0,001085	0,4463	610,18	1944,72	2554,9	610,63	2129,67	2740,3	1,7907	5,0926	6,8833
150	0,4758	0,001091	0,3928	631,68	1927,82	2559,5	632,20	2114,3	2746,5	1,8418	4,9961	6,8379
155	0,5431	0,001096	0,3468	653,24	1910,86	2564,1	653,84	2098,56	2752,4	1,8925	4,9010	6,7935
160	0,6178	0,001102	0,3071	674,87	1893,53	2568,4	675,55	2082,55	2758,1	1,9427	4,8075	6,7502
165	0,7005	0,001108	0,2727	696,56	1876	2572,50	697,34	2066,16	2763,5	1,9925	4,7153	6,7078
170	0,7917	0,001114	0,2428	718,33	1858,17	2576,50	719,21	2049,5	2768,7	2,0419	4,6244	6,6663
175	0,8920	0,001121	0,2168	740,17	1840,03	2580,20	741,17	2032,4	2773,60	2,0909	4,5347	6,6256
180	1,0021	0,001127	0,19405	762,09	1821,61	2583,70	763,22	2015,0	2778,20	2,1396	4,4461	6,5857
185	1,1227	0,001134	0,17409	784,10	1802,90	2587,0	785,37	1997,03	2782,4	2,1879	4,3586	6,5465
190	1,2544	0,001141	0,15654	806,19	1783,81	2590	807,62	1978,78	2786,4	2,2359	4,2720	6,5079
195	1,3978	0,001149	0,14105	828,37	1764,43	2592,8	829,98	1960,0	2790,0	2,2835	4,1863	6,4698



# AGUA

TEMPERATURA. AGUA SATURADA

SISTEMA INTERNACIONAL

SISTEMA	Volumen del Líquido	Volumen del Vapor	Energía interna del Líquido	Energía interna de Evaporización	Energía interna del Vapor	Entalpía del Líquido	Entalpía de Evaporización	Entalpía de Vapor	Entropía del Líquido	Entropía de Evaporización	Entropía del Vapor
PSAT(Mpa)	Vf(m <sup>3</sup> /kg)	Vg(m <sup>3</sup> /kg)	Uf	Ufg	Ug (KJ/Kg)	hf (KJ/Kg)	hfg (KJ/Kg)	hg (KJ/Kg)	Sf (KJ/Kg K)	Sfg (KJ/Kg K)	Sg (KJ/Kg K)
1,5538	0,00115	0,1273	850,65	1744,7	2595,3	852,45	1940,75	2793,2	2,3309	4,1014	6,4323
1,7230	0,00116	0,1152	873,04	1724,5	2597,5	875,04	1921,0	2796,0	2,3780	4,0172	6,3952
1,9062	0,00117	0,1044	895,53	1703,97	2599,5	897,76	1900,7	2798,5	2,4248	3,9337	6,3585
2,104	0,00118	0,0947	918,14	1683,0	2601,1	920,62	1879,9	2800,5	2,4714	3,8507	6,3221
2,318	0,00119	0,0861	940,87	1661,5	2602,4	943,62	1858,5	2802,1	2,5178	3,7683	6,2861
2,548	0,00119	0,0784	963,73	1639,6	2603,3	966,78	1836,5	2803,3	2,5639	3,6864	6,2503
2,795	0,00120	0,0715	986,74	1617,2	2603,9	990,12	1813,9	2804,0	2,6099	3,6047	6,2146
3,060	0,00121	0,0653	1009,8	1594,2	2604,1	1013,62	1790,6	2804,2	2,6558	3,5233	6,1791
3,344	0,00122	0,0597	1033,2	1570,8	2604,0	1037,32	1766,5	2803,8	2,7015	3,4422	6,1437
3,648	0,00124	0,0547	1056,7	1546,7	2603,4	1061,23	1741,8	2803,0	2,7472	3,3611	6,1083
3,973	0,00125	0,0501	1080,3	1522,0	2602,4	1085,36	1716,1	2801,5	2,7927	3,2803	6,0730
4,319	0,00126	0,0459	1104,2	1496,6	2600,9	1109,73	1689,8	2799,5	2,8383	3,1992	6,0375
4,688	0,00127	0,0422	1128,3	1470,6	2599,0	1134,37	1662,5	2796,9	2,8838	3,1181	6,0019
5,081	0,00128	0,0387	1152,7	1443,9	2596,6	1159,28	1634,3	2793,6	2,9294	3,0368	5,9662
5,499	0,00130	0,0356	1177,3	1416,3	2593,7	1184,51	1605,2	2789,7	2,9751	2,9550	5,9301
5,942	0,00121	0,0327	1202,2	1388,0	2590,2	1210,07	1574,9	2785,0	3,0208	2,8730	5,8938
6,412	0,00133	0,0301	1227,4	1358,6	2586,1	1235,99	1543,6	2779,6	3,0668	2,7903	5,8571
6,909	0,00134	0,0277	1253,0	1328,4	2581,4	1262,31	1511,0	2773,3	3,1130	2,7069	5,8199
7,436	0,00136	0,0255	1278,9	1297,1	2576,0	1289,07	1477,1	2766,2	3,1594	2,6227	5,7821
7,993	0,00138	0,0235	1305,2	1264,7	2569,9	1316,30	1441,8	2758,1	3,2062	2,5375	5,7437
8,581	0,00140	0,0216	1332,0	1231,0	2563,0	1344,0	1405,0	2749,0	3,2534	2,4511	5,7045
9,202	0,00142	0,01994	1359,3	1195,9	2555,2	1372,4	1366,3	2738,7	3,3010	2,3633	5,6643
9,856	0,00144	0,01835	1387,1	1159,3	2546,4	1401,3	1326,0	2727,3	3,3493	2,2737	5,6230
10,547	0,00147	0,01686	1415,5	1121,1	2536,6	1431,0	1283,5	2714,5	3,3982	2,1822	5,5804
11,274	0,00149	0,01548	1444,6	1080,9	2525,5	1461,5	1238,6	2700,1	3,4480	2,0882	5,5362
12,045	0,00156	0,01299	1505,3	993,6	2498,9	1525,3	1140,6	2665,9	3,5507	1,8910	5,4417
12,845	0,00163	0,01079	1570,3	894,3	2464,6	1594,2	1027,8	2622,0	3,6594	1,6763	5,3357
13,673	0,00174	0,00881	1641,9	776,5	2418,4	1670,6	893,3	2563,9	3,7777	1,4335	5,2112
14,538	0,00189	0,00694	1725,2	626,3	2351,5	1760,5	720,5	2481,0	3,9147	1,1379	5,0526
15,441	0,00221	0,00492	1844,0	384,5	2228,5	1890,5	441,6	2332,1	4,1106	0,6865	4,7971
16,382	0,00315	0,00315	2029,6	0,	2029,6	2099,3	0,0	2099,3	4,4298	0,0000	4,4298

Las tablas A-4 a la A-7 se adaptaron de Gordon J. Van Wylen y Richard E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, inglés SI, 3era ed. (Nueva York. John Wiley & Sons,1986), pp 635-651. Publicada originalmente en Joseph H. Keenan, Frederick es, Philip G. Hill y Joan G. Moore, *Steam Tables*, Unidades SI (Nueva York: John Wiley & Sons, 1978).

# AGUA

**TABLA A.5**

**PRESIONES. AGUA SATURADA**

**SISTEMA INTERNACIONAL**

SISTEMA	Volumen del Líquido	Volumen del Vapor	Energía interna del Líquido	Energía interna de Evaporización	Energía interna del Vapor	Entalpía del Líquido	Entalpía de Evaporización	Entalpía del Vapor	Entropía del Líquido	Entropía de Evaporización	Entropía del Vapor
T.-SAT(°C)	Vf(m <sup>3</sup> /kg)	Vg(m <sup>3</sup> /kg)	Uf (KJ/Kg)	Ufg (KJ/KG)	Ug (KJ/Kg)	hf (KJ/Kg)	hfg (KJ/Kg)	hg (KJ/Kg)	Sf (KJ/Kg K)	Sfg (KJ/Kg K)	Sg (KJ/Kg K)
0,01	0,00100	206,14	0	2375,3	2375,3	0,01	2501,39	2501,4	0,000	9,1562	9,1562
6,98	0,00100	129,21	29,30	2355,7	2385,0	29,30	2484,9	2514,2	0,1059	8,8697	8,9756
13,03	0,00100	87,98	54,71	2338,6	2393,3	54,71	2470,59	2525,3	0,1957	8,6322	8,8279
17,50	0,00100	67,00	73,48	2326,0	2399,5	73,48	2460,02	2533,5	0,2607	8,4630	8,7237
21,08	0,00100	54,25	88,48	2315,9	2404,4	88,49	2451,51	2540,0	0,3120	8,3312	8,6432
24,08	0,00100	45,67	101,04	2307,5	2408,5	101,05	2443,95	2545,0	0,3545	8,2231	8,5776
28,96	0,00100	34,80	121,45	2293,7	2415,2	121,46	2432,94	2554,4	0,4226	8,0520	8,4746
32,88	0,00100	28,19	137,81	2282,7	2420,5	137,82	2423,68	2561,5	0,4764	7,9187	8,3951
40,29	0,00100	19,24	168,78	2261,7	2430,5	168,79	2406,01	2574,8	0,5764	7,6751	8,2515
45,81	0,00101	14,67	191,82	2246,10	2437,9	191,83	2392,87	2584,7	0,6493	7,5009	8,1502
53,97	0,00101	10,02	225,92	2222,8	2448,7	225,94	2373,16	2599,1	0,7549	7,2536	8,0085
60,06	0,00101	7,649	251,38	2205,4	2456,8	251,40	2358,3	2609,7	0,8320	7,0765	7,9085
64,97	0,00102	6,204	271,90	2191,2	2463,1	271,93	2346,27	2618,2	0,8931	6,9383	7,8314
69,10	0,00102	5,229	289,20	2179,2	2468,4	289,23	2336,07	2625,3	0,9439	6,8247	7,7686
75,87	0,00102	3,993	317,53	2159,5	2477,0	317,58	2319,22	2636,8	1,0259	6,6441	7,6700
81,33	0,00103	3,240	340,44	2143,4	2483,8	340,49	2305,41	2645,9	1,0910	6,5029	7,5939
91,78	0,00103	2,217	384,31	2112,4	2496,7	384,39	2278,61	2663,0	1,2130	6,2434	7,4564
99,63	0,00104	1,6940	417,36	2088,7	2506,1	417,46	2258,0	2675,5	1,3026	6,0568	7,3594
105,99	0,00104	1,3749	444,16	2069,3	2513,5	444,32	2241,1	2685,4	1,3740	5,9104	7,2844
111,37	0,00105	1,1593	466,94	2052,7	2519,6	467,11	2226,5	2693,6	1,4336	5,7897	7,2233
116,06	0,00105	1,0036	486,80	2038,1	2524,9	486,99	2213,6	2700,6	1,4849	5,6868	7,1717
120,23	0,00106	0,8857	504,49	2025,0	2529,5	504,70	2202,0	2706,7	1,5301	5,5970	7,1271
124,00	0,00106	0,7933	520,47	2013,1	2533,6	520,72	2191,4	2712,1	1,5706	5,5172	7,0878
127,44	0,00106	0,7187	535,10	2002,1	2537,2	535,37	2181,5	2716,9	1,6072	5,4198	7,0270
130,60	0,00107	0,6573	548,59	1991,9	2540,5	548,89	2172,4	2721,3	1,6408	5,3801	7,0209
133,55	0,00107	0,6058	561,15	1982,4	2543,6	561,47	2163,8	2725,3	1,6718	5,3201	6,9919
136,30	0,00107	0,5620	572,90	1973,5	2546,4	573,25	2155,8	2729,0	1,7006	5,2646	6,9652
138,88	0,00107	0,5243	583,95	1965,0	2549,0	584,33	2148,1	2732,4	1,7275	5,2130	6,9405
141,32	0,00108	0,4914	594,40	1956,9	2551,3	594,81	2140,8	2735,6	1,7528	5,1647	6,9175
143,63	0,00108	0,4625	604,31	1949,3	2553,6	604,74	2133,9	2738,6	1,7768	5,1191	6,8959
147,93	0,00108	0,4140	622,77	1934,9	2557,7	623,25	2120,7	2743,9	1,8207	5,0358	6,8565
151,86	0,00109	0,3749	639,68	1921,6	2561,3	640,23	2108,5	2748,7	1,8607	4,9606	6,8213
155,48	0,00109	0,3427	655,32	1909,2	2564,5	665,93	2087,1	2753,0	1,8973	4,8920	6,7893
158,85	0,00110	0,3157	669,90	1897,5	2567,4	670,56	2086,2	2756,8	1,9312	4,8288	6,7600
162,01	0,00110	0,2927	683,56	1886,5	2570,1	684,28	2076,0	2760,3	1,9627	4,7704	6,7331
164,97	0,00110	0,2729	696,44	1876,1	2572,5	697,22	2066,3	2763,5	1,9922	4,7158	6,7080
167,78	0,00111	0,2556	708,64	1866,1	2574,7	709,47	2056,9	2766,4	2,0200	4,6647	6,6847
170,43	0,00111	0,2404	720,22	1856,6	2576,8	721,11	2048,0	2769,1	2,0462	4,6166	6,6628
172,96	0,00111	0,2270	731,27	1847,4	2578,7	732,22	2039,4	2771,6	2,0710	4,5711	6,6421
175,38	0,00112	0,2150	741,83	1838,6	2580,4	742,83	2031,1	2773,9	2,0946	4,5280	6,6226
177,69	0,00112	0,2042	751,95	1830,2	2582,2	753,02	2023,1	2776,1	2,1172	4,4869	6,6041
179,91	0,00112	0,19444	761,68	1822,0	2583,7	762,81	2015,3	2778,1	2,1387	4,4478	6,5865
184,09	0,00113	0,17753	780,09	1806,3	2586,4	781,34	2090,4	2871,7	2,1792	4,3744	6,5536
187,99	0,00113	0,16333	797,29	1791,5	2588,8	798,65	1986,2	2784,8	2,2166	4,3067	6,5233
191,64	0,00114	0,15125	813,44	1777,5	2590,9	814,93	1972,7	2787,6	2,2515	4,2438	6,4953

# AGUA

## PRESIONES. AGUA SATURADA

## SISTEMA INTERNACIONAL

SISTEMA INTERNACION	Volumen del Líquido	Volumen del Vapor	Energía interna del Líquido	Energía interna de Evaporización	Energía interna del	Entalpía del Líquido	Entalpía de Evaporización	Entalpía del Vapor	Entropía del Líquido	Entropía de Evaporización	Entropía del Vapor
T-SAT(	Vf(m3/kg)	Vg(m3/kg)	Uf (KJ/Kg)	Ufg (KJ/KG)	Ug (KJ/Kg)	hf (KJ/Kg)	hfg (KJ/Kg)	hg (KJ/Kg)	Sf (KJ/Kg K)	Sfg (KJ/Kg K)	Sg (KJ/Kg K)
195,0	0,001149	0,14084	828,7	1764,1	2592,8	830,3	1959,7	2790,0	2,2842	4,1851	6,4693
198,3	0,001154	0,13177	843,16	1751,3	2594,5	844,89	1947,31	2792,2	2,3150	4,1298	6,4448
205,7	0,001166	0,11349	876,46	1721,3	2597,8	878,5	1917,9	2796,4	2,3851	4,0045	6,3896
212,4	0,001177	0,09963	906,44	1693,9	2600,3	908,79	1890,71	2799,5	2,4474	3,8935	6,3409
218,4	0,001187	0,08875	933,83	1668,2	2602,0	936,46	1865,24	2801,7	2,5035	3,7937	6,2972
223,9	0,001197	0,07998	959,11	1644,0	2603,1	962,11	1840,99	2803,1	2,5547	3,7028	6,2575
233,9	0,001217	0,06668	1004,78	1599,3	2604,1	1008,42	1795,78	2804,2	2,6457	3,5412	6,1869
242,6	0,001235	0,05707	1045,43	1558,3	2603,7	1049,75	1753,65	2803,4	2,7253	3,4000	6,1253
250,4	0,001252	0,04978	1082,31	1520,0	2602,3	1087,31	1714,09	2801,4	2,7964	3,2737	6,0701
263,9	0,001286	0,03944	1147,81	1449,3	2597,1	1154,23	1640,07	2794,3	2,9202	3,0532	5,9734
275,6	0,001319	0,03244	1205,44	1384,3	2589,7	1213,35	1570,95	2784,3	3,0267	2,8625	5,8892
285,8	0,001351	0,02737	1257,55	1323,0	2580,5	1267,00	1505,1	2772,1	3,1211	2,6922	5,8133
295,0	0,001384	0,02352	1305,57	1264,2	2569,8	1316,64	1441,36	2758,0	3,2068	2,5364	5,7432
303,4	0,001418	0,02048	1350,51	1207,3	2557,8	1363,26	1378,84	2742,1	3,2858	2,3864	5,6722
311,0	0,001452	0,018026	1393,04	1151,4	2544,4	1407,56	1317,14	2724,7	3,3596	2,2545	5,6141
318,1	0,001489	0,015987	1433,7	1096,1	2529,8	1450,1	1255,5	2705,6	3,4295	2,1232	5,5527
324,7	0,001527	0,014263	1473	1040,7	2513,7	1491,3	1193,6	2684,9	3,4962	1,9962	5,4924
330,9	0,001567	0,012780	1511,1	985,0	2496,1	1531,5	1130,7	2662,2	3,5606	1,8717	5,4323
336,7	0,001611	0,011485	1548,6	928,2	2476,8	1571,10	1066,5	2637,6	3,6232	1,7485	5,3717
342,2	0,001658	0,010337	1585,6	869,9	2455,5	1610,50	1000	2610,5	3,6848	1,6250	5,3098
347,4	0,001711	0,009306	1622,7	809,0	2431,7	1650,10	930,5	2580,6	3,7461	1,4994	5,2455
352,3	0,001770	0,008364	1660,2	744,8	2405,0	1690,30	856,9	2547,2	3,8079	1,3698	5,1777
357,0	0,001840	0,007489	1698,9	675,4	2374,3	1732,00	777,1	2509,1	3,8715	1,2329	5,1044
361,5	0,001924	0,006657	1739,9	598,2	2338,1	1776,50	688,0	2464,5	3,9388	1,0840	5,0228
365,8	0,002036	0,005834	1785,6	507,4	2293,0	1826,3	583,4	2409,7	4,0139	0,9130	4,9269
369,8	0,002207	0,004952	1842,1	388,5	2230,6	1888,4	446,2	2334,6	4,1075	0,6938	4,8013
373,8	0,002742	0,003568	1961,9	125,2	2087,1	2022,2	143,4	2165,6	4,3110	0,2217	4,5327
374,1	0,003155	0,003155	2029,6	0	2029,6	2099,3	0	2099,3	4,4298	0	4,4298

# AGUA

SISTEMA INTERNACIONAL

SOBRECALENTADA

P= 0,01 MPa      Tsat= 45,81°C				P= 0,05 MPa      Tsat= 81,33°C				P= 0,10 MPa      Tsat= 99,63°C			
V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg)	V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)
14,674	2437,9	2584,7	8,1502	3,240	2483,9	2645,9	7,5939	1,694	2506,1	2675,5	7,3594
14,869	2443,9	2592,6	8,1749	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
17,196	2515,5	2687,5	8,4479	3,418	2511,6	2682,5	7,6947	1,6958	2506,7	2676,2	7,3614
19,512	2587,9	2783,0	8,6882	3,889	2585,6	2780,1	7,9401	1,9364	2582,8	2776,4	7,6134
21,825	2661,3	2879,5	8,9038	4,356	2659,9	2877,7	8,1580	2,172	2658,1	2875,3	7,8343
24,136	2736,0	2977,3	9,1002	4,82	2735,0	2975,0	8,3556	2,406	2733,7	2974,3	8,0333
26,445	2812,1	3076,5	9,2813	5,284	2811,3	3075,5	8,5373	2,639	2810,4	3074,3	8,2158
31,063	2968,9	3279,6	9,6077	6,209	2968,5	3278,90	8,8642	3,103	2967,9	3278,2	8,5435
35,679	3132,3	3489,1	9,8978	7,134	3132,0	3488,7	9,1546	3,565	3131,6	3488,1	8,8342
40,295	3302,5	3705,4	10,1608	8,057	3302,2	3705,1	9,4178	4,028	3301,9	3704,4	9,0976
44,911	3479,6	3928,7	10,4028	8,981	3479,4	3928,5	9,6599	4,490	3479,2	3928,2	9,3398
49,526	3663,8	4159,0	10,6281	9,904	3663,6	4158,9	9,8852	4,952	3663,5	4158,6	9,5652
54,141	3855	4396,4	10,8396	10,828	3854,9	4396,3	10,0967	5,414	3854,8	4396,1	9,7767
58,757	4053,0	4640,6	11,0393	11,751	4052,9	4640,5	10,2964	5,875	4052,8	4640,3	9,9764
63,3752	4257,5	4891,2	11,2870	12,674	4257,4	4891,1	10,4859	6,337	4257,3	4891,0	10,1659
67,987	4467,9	5147,8	11,4091	13,597	4467,8	5147,7	10,6662	6,799	4467,7	5147,6	10,3463
72,602	4683,7	5409,7	11,5811	14,521	4683,6	5409,6	10,8382	7,260	4683,5	5409,5	10,5183
P= 0,20 MPa      Tsat= 120,23°C				P= 0,30 MPa      Tsat= 133,55°C				P= 0,40 MPa      Tsat= 143,63°C			
V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg)	V(m3/kg)	U	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)
0,8857	2529,5	2706,7	7,1272	0,6058	2543,6	2725,3	6,9919	0,4625	2553	2738,6	6,8959
0,9596	2576,9	2768,8	7,2795	0,6339	2570,8	2761,0	7,0778	0,4708	2564	2752,8	6,9299
1,0803	2654,4	2870,5	7,5066	0,7163	2650,7	2865,6	7,3115	0,5342	2646	2860,5	7,1706
1,1988	2731,2	2971,0	7,7086	0,7964	2728,7	2967,6	7,5166	0,5951	2726	2964,2	7,3789
1,3162	2808,6	3071,8	7,8926	0,8753	2806,7	3069,3	7,7022	0,6548	2804	3066,8	7,5662
1,5493	2966,7	3276,60	8,2218	1,0315	2965,6	3275,0	8,0330	0,7726	2964	3273,4	7,8985
1,7814	3130,8	3487,1	8,5133	1,1867	3130,0	3486,0	8,3251	0,8893	3129	3484,9	8,1913
2,013	3301,4	3704,0	8,777	1,3414	3300,8	3703,2	8,5892	1,0055	3300	3702,4	8,4558
2,244	3478,8	3927,6	9,0194	1,4957	3478,4	3927,1	8,8319	1,1215	3477	3926,5	8,6987
2,475	3663,1	4158,2	9,2449	1,6499	3662,9	4157,8	9,0576	1,2372	3662	4157,3	8,9244
2,705	3854,5	4395,8	9,4566	1,8041	3854,2	4395,4	9,2692	1,3529	3853	4395,1	9,1362
2,937	4052,5	4640,0	9,6563	1,9581	4052,3	4639,7	9,4690	1,4685	4052	4639,4	9,3360
3,168	4257,0	4890,7	9,8458	2,1121	4256,8	4890,4	9,6585	1,5840	4256	4890,2	9,5256
3,399	4467,5	5147,5	10,0262	2,2661	4467,2	5147,1	9,8389	1,6996	4467	5146,8	9,7060
3,630	4683,2	5409,3	10,1982	2,4201	4683,0	5409,0	10,0110	1,8151	4682	5408,8	9,8780
P= 0,50 MPa      Tsat= 151,86°C				P= 0,60 MPa      Tsat= 158,85°C				P= 0,80 MPa      Tsat= 170,43°C			
V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg)	V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h	S (KJ/Kg K)
0,3749	2561,2	2748,7	6,8213	0,3157	2567,4	2756,8	6,7600	0,2404	2576,8	2769,	6,6628
0,4249	2642,9	2855,4	7,0592	0,3520	2638,9	2850,1	6,9665	0,2608	2630,3	2839,	6,8158
0,4744	2723,5	2960,7	7,2709	0,3938	2720,9	2957,2	7,1816	0,2931	2715,5	2950,	7,0384
0,5226	2802,9	3064,2	7,4599	0,4344	2801,0	3061,6	7,3724	0,3241	2797,2	3056,	7,2328
0,5701	2882,6	3167,7	7,6329	0,4742	2881,2	3165,7	7,5464	0,3544	2878,2	3161,	7,4089
0,6173	2963,2	3271,90	7,7938	0,5137	2962,1	3270,30	7,7079	0,3843	2959,7	3267,	7,5716
0,7109	3128,4	3483,9	8,0873	0,5920	3127,6	3482,8	8,0021	0,4433	3126,0	3480,	7,8673
0,8041	3299,6	3701,7	8,3522	0,6697	3299,1	3700,9	8,2674	0,5018	3297,9	3699,	8,1333
0,8969	3477,5	3925,9	8,5952	0,7472	3477,0	3925,3	8,5107	0,5601	3476,2	3924,	8,3770
0,9896	3662,1	4156,9	8,8211	0,8245	3661,8	4156,5	8,7367	0,6181	3661,1	4155,	8,6033
1,0822	3853,6	4394,7	9,0329	0,9017	3853,4	4394,4	8,9486	0,6761	3852,8	4393,	8,8153
1,1747	4051,8	4639,1	9,2338	0,9788	4051,5	4638,8	9,1485	0,7340	4051,0	4638,	9,0153
1,2672	4256,3	4889,9	9,4224	1,0559	4256,1	4889,6	9,3381	0,7919	4255,6	4889,	9,2050
1,3596	4466,8	5146,6	9,6029	1,1330	4466,5	5146,3	9,5185	0,8497	4460,1	5145,	9,3855
1,4521	4682,5	5408,6	9,7749	1,2101	4682,3	5408,3	9,6906	0,9076	4681,8	5407,	9,5575

# AGUA

SOBRECALENTADA

SISTEMA INTERNACIONAL

P=1 MPa Tsat= 179,91°C				P= 1,20 MPa Tsat= 187,99°C				P= 1,40 MPa Tsat= 195,07°C			
V(m <sup>3</sup> /k)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h	S (KJ/Kg K)
0,1944	2583,6	2778,1	6,5865	0,16333	2588,8	2784,8	6,5233	0,14084	2592,8	2790,0	6,4693
0,206	2621,9	2827,9	6,694	0,1693	2612,8	2815,9	6,5898	0,1430	2603,1	2803,3	6,4975
0,232	2709,9	2942,6	6,9247	0,1923	2704,2	2935,0	6,8294	0,16350	2698,3	2927,2	6,7467
0,257	2793,2	3051,2	7,1229	0,2138	2789,2	3045,8	7,0317	0,18228	2785,2	3040,4	6,9534
0,282	2875,2	3157,7	7,3011	0,2345	2872,2	3153,6	7,2121	0,2003	2869,2	3149,5	7,1360
0,306	2957,3	3263,9	7,4651	0,2548	2954,9	3260,7	7,3774	0,2178	2952,5	3257,5	7,3026
0,354	3124,4	3478,5	7,7622	0,2946	3122,8	3476,3	7,6759	0,2521	3121,1	3474,1	7,6027
0,401	3296,8	3697,9	8,029	0,3339	3295,6	3696,3	7,9435	0,2860	3294,4	3694,8	7,8710
0,447	2475,3	3923,1	8,2731	0,3729	3474,4	3922,0	8,1881	0,3195	3473,6	3920,8	8,1160
0,494	3660,4	4154,7	8,4996	0,4118	3659,7	4153,8	8,4480	0,3528	3659	4153,0	8,3131
0,540	3852,2	4392,9	8,7118	0,4505	3851,6	4392,2	8,6272	0,3861	3851,1	4391,5	8,5556
0,587	4050,5	4637,6	8,9119	0,4892	4050,0	4637,0	8,8274	0,4192	4049,5	4636,4	8,7559
0,633	4255,1	4888,6	9,1017	0,5278	4254,6	4888,0	9,0172	0,4524	4254,1	4887,5	8,9457
0,679	4465,6	5145,4	9,2822	0,5665	4465,1	5144,9	9,1977	0,4855	4464,7	5144,4	9,1262
0,726	4681,3	5407,4	9,4543	0,6051	4680,9	5407,0	9,3698	0,5186	4680,4	5406,5	9,2984
P=1,60 MPa Tsat= 201,41°C				P= 1,80 MPa Tsat= 207,15°C				P= 2,00 MPa Tsat= 212,42°C			
V(m <sup>3</sup> /k)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h	S (KJ/Kg K)
0,123	2596,0	2794,0	6,4218	0,11042	2598,4	2797,1	6,3794	0,09963	2600,3	2799,5	6,3409
0,1328	2644,7	2857,3	6,5518	0,11673	2636,6	2846,7	6,4808	0,10377	2628,3	2835,8	6,4147
0,1418	2692,3	2919,2	6,6732	0,12497	2686,0	2911,0	6,6066	0,111144	2679,6	2902,5	6,5453
0,1586	2781,1	3034,8	6,8844	0,14021	2776,9	3029,2	6,8226	0,12547	2772,6	3023,5	6,7664
0,1745	2866,1	3154,4	7,0694	0,15457	2863,0	3141,2	7,0100	0,13857	2859,8	3137,0	6,9563
0,1900	2950,1	3254,2	7,2374	0,16847	2947,7	3250,9	7,1794	0,1512	2945,2	3247,6	7,1271
0,220	3119,5	3472,0	7,539	0,19550	3117,9	3469,8	7,4825	0,17568	3116,2	3467,6	7,4317
0,250	3293,3	3693,2	7,808	0,2220	3292,1	3691,7	7,7523	0,1996	3290,9	3690,1	7,7024
0,279	3472,7	3919,7	8,0535	0,2482	3471,8	3918,5	7,9983	0,2232	3470,9	3917,4	7,9487
0,308	3658,3	4152,1	8,2808	0,2742	3657,6	4151,2	8,2258	0,2467	3657,0	4150,3	8,1765
0,337	3850,5	4390,8	8,4935	0,3001	3849,9	4390,1	8,4386	0,2700	3849,3	4389,4	8,3895
0,366	4049,0	4635,8	8,6938	0,3260	4048,5	4635,2	8,6391	0,2933	4048,0	4634,6	8,5901
0,395	4253,7	4887,0	8,8837	0,3518	4253,2	4886,4	8,8290	0,3166	4252,7	4885,9	8,7800
0,424	4464,2	5143,9	9,0643	0,3776	4463,7	5143,4	9,0096	0,3398	4463,3	5142,9	8,9607
0,453	4679,9	5406,0	9,2364	0,4034	4679,5	5405,6	9,1818	0,3631	4679,0	5405,1	9,1329
P=2,50 MPa Tsat= 223,99°C				P= 3,00 MPa Tsat= 233,90°C				P= 3,50 MPa Tsat= 242,60°C			
V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h	S (KJ/Kg K)
0,07998	2603,1	2803,1	6,2575	0,06668	2604,1	2804,2	6,1869	0,05707	2603,7	2803,4	6,1253
0,08027	2605,6	2806,3	6,2639	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0,08700	2662,6	2880,1	6,4085	0,07058	2644,0	2855,8	6,2872	0,05872	2623,7	2829,2	6,1749
0,09890	2761,6	3008,8	6,6438	0,08114	2750,1	2993,0	6,5390	0,06842	2738,0	2977,5	6,4461
0,10976	2851,9	3126,3	6,8403	0,09053	2843,7	3115,3	6,7428	0,07678	2835,3	3104,0	6,6579
0,12010	2939,1	3239,3	7,0148	0,09936	2932,8	3230,9	6,9212	0,08453	2926,4	3222,3	6,8405
0,13014	3025,5	3350,8	7,1746	0,10787	3020,4	3344,0	7,0834	0,09196	3015,3	3337,2	7,0052
0,13993	3112,1	3462,1	7,3234	0,11619	3108,0	3456,5	7,2338	0,09918	3103,0	3450,9	7,1572
0,15930	3288,0	3686,3	7,5960	0,13243	3285,0	3682,3	7,5085	0,11324	3282,1	3678,4	7,4339
0,17832	3468,7	3914,5	7,8435	0,14838	3466,5	3911,7	7,7571	0,12699	3464,3	3908,8	7,6837
0,19716	3655,3	4148,2	8,0720	0,16414	3653,5	4145,9	7,9862	0,14056	3651,8	4143,7	7,9134
0,2159	3847,9	4387,6	8,2853	0,1798	3846,5	4385,9	8,1990	0,15402	3845,0	4384,1	8,1276
0,2346	4046,7	4633,1	8,4861	0,19541	4045,4	4631,6	8,4009	0,16743	4044,1	4630,1	8,3288
0,2532	4251,5	4884,6	8,6762	0,21098	4250,3	4883,3	8,5912	0,18080	4249,2	4881,9	8,5192
0,2718	4462,1	5141,7	8,8569	0,22652	4460,9	5140,5	8,7720	0,19415	4459,8	5139,3	8,7000
0,2905	4677,8	5404,0	9,0291	0,24206	4676,6	5402,8	8,9442	0,20749	4675,5	5401,7	8,8723

# AGUA

**SOBRECALENTADA**

**SISTEMA INTERNACIONAL**

P= 4 MPa      T <sub>sat</sub> = 250,40°C				P= 4,50 MPa      T <sub>sat</sub> = 257,49°C				P= 5,00 MPa      T <sub>sat</sub> = 263,99°C			
V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)
0,04978	2602,3	2801,4	6,0701	0,04406	2600,1	2798,3	6,019	0,03944	2597,1	2794,8	6,9724
0,05457	2667,9	2886,2	6,2285	0,04730	2650,3	2863,2	6,140	0,04141	2631,3	2838,3	6,6544
0,05884	2725,3	2960,7	6,3615	0,05135	2712,0	2943,1	6,282	0,04532	2698	2924,7	6,2085
0,06645	2826,7	3092,5	6,5821	0,05840	2817,8	3080,6	6,513	0,05194	2808,7	3069,6	6,4512
0,07341	2919,9	3213,6	6,769	0,06475	2913,3	3204,7	6,704	0,05781	2906,6	3196,6	6,6414
0,08002	3010,2	3330,3	6,9363	0,07074	3005,0	3323,3	6,874	0,06330	2999,7	3316,2	6,8188
0,08643	3099,5	3445,3	7,0904	0,07651	3095,3	3439,6	7,030	0,06857	3091,0	3432,5	6,9743
0,09885	3279,1	3674,7	7,3688	0,08765	3276,0	3670,5	7,311	0,07869	3273,0	3666,5	7,2589
0,11095	3462,1	3905,9	7,6198	0,09847	3459,9	3903,0	7,563	0,08849	3457,6	3900,1	7,5122
0,12287	3650,0	4141,5	7,8502	0,10911	3648,3	4139,3	7,794	0,09811	3646,6	4128,7	7,1345
0,13469	3843,6	4382,3	8,0647	0,11965	3842,2	4380,6	8,009	0,10762	3840,7	4378,8	7,9593
0,14645	4042,9	4628,7	8,2662	0,13013	4041,6	4627,2	8,210	0,11707	4040,4	4625,7	8,1612
0,15817	4248,0	4880,6	8,4567	0,14056	4246,8	4879,3	8,401	0,12648	4245,6	4878,0	8,3520
0,16987	4458,6	5138,1	8,6376	0,15098	4457,5	5136,9	8,582	0,13587	4456,3	5135,7	8,5331
0,18156	4674,3	5400,5	8,8100	0,16139	4673,1	5399,4	8,754	0,14526	4672,0	5398,2	8,7055
P= 6 MPa      T <sub>sat</sub> = 275,64°C				P= 7,00 MPa      T <sub>sat</sub> = 285,88°C				P= 8,00 MPa      T <sub>sat</sub> = 295,06°C			
V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)
0,03244	2589,7	2784,3	5,8892	0,02737	2580,5	2772,1	5,813	0,02352	2569,8	2758,0	5,7432
0,03616	2667,2	2884,2	6,0674	0,02947	2632,2	2838,4	5,930	0,02426	2590,9	2785,0	5,7906
0,04223	2789,6	3043,0	6,3335	0,03524	2769,4	3016,0	6,222	0,02995	2747,7	2987,3	6,1301
0,04739	2892,9	3177,2	6,5408	0,03993	2878,6	3158,1	6,447	0,03432	2863,8	3138,3	6,3634
0,05214	2988,9	3301,8	6,7193	0,04416	2978,0	3287,1	6,632	0,03817	2966,7	3272,0	6,5551
0,05665	3082,2	3422,2	6,8803	0,04814	3073,4	3410,3	6,797	0,04175	3064,3	3398,3	6,7240
0,06101	3174,6	3540,6	7,0288	0,05195	3167,2	3530,9	6,948	0,04516	3159,8	3521,0	6,8778
0,06525	3266,9	3658,4	7,1677	0,05565	3260,7	3650,3	7,089	0,04845	3254,4	3642,0	7,0206
0,07352	3453,1	3894,2	7,4234	0,06283	3448,5	3888,3	7,347	0,05481	3443,9	3882,4	7,2812
0,08160	3643,1	4132,7	7,6566	0,06981	3639,5	4128,2	7,582	0,06097	3636,0	4123,8	7,5173
0,08958	3837,8	4375,3	7,8727	0,07669	3835,0	4371,8	7,799	0,06702	3832,1	4368,3	7,7351
0,09749	4037,9	4622,7	8,0751	0,08350	4035,3	4619,8	8,002	0,07301	4032,8	4616,9	7,9384
0,10536	4243,3	4875,4	8,2661	0,09027	4240,9	4872,8	8,193	0,07896	4238,6	4870,3	8,1300
0,11321	4454,0	5133,3	8,4474	0,09703	4451,7	5130,9	8,374	0,08489	4449,5	5128,5	8,3115
0,12106	4669,6	5396,0	8,6199	0,10377	4667,3	5393,7	8,547	0,09080	4665,0	5391,5	8,4842
P= 9 MPa      T <sub>sat</sub> = 303,40°C				P= 10,00 MPa      T <sub>sat</sub> = 311,06°C				P= 12,50 MPa      T <sub>sat</sub> = 327,89°C			
V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)
0,020448	2742,1	2742,1	5,6772	0,018026	2544,4	2724,7	5,614	0,01350	2505,1	2673,8	5,4624
0,02327	2856,0	2856,0	5,8712	0,019861	2610,4	2809,1	5,756	-----	-----	-----	-----
0,02580	2956,6	2956,6	6,0361	0,02242	2699,2	2923,4	5,944	0,01613	2624,6	2862,2	5,7118
0,02993	3117,8	3117,8	6,2854	0,02641	2832,4	3096,5	6,212	0,02000	2789,3	3039,3	6,0417
0,03350	3256,6	3256,6	6,4844	0,02975	2943,4	3240,9	6,419	0,02300	2912,5	3199,8	6,2719
0,03677	3386,1	3386,1	6,6576	0,03279	3045,8	3373,7	6,596	0,02560	3302,2	3341,8	6,4618
0,03987	3511,0	3511,0	6,8142	0,03564	3144,6	3500,9	6,756	0,02801	3125,0	3475,2	6,6290
0,04285	3633,7	3633,7	6,9589	0,03837	3241,7	3625,3	6,902	0,03029	3225,4	3604,0	6,7810
0,04574	3755,3	3755,3	7,0943	0,04101	3338,2	3748,2	7,039	0,03248	3324,4	3730,4	6,9218
0,04857	3876,5	3876,5	7,2221	0,04358	3434,7	3870,5	7,168	0,03460	3422,9	3855,3	7,0536
0,05409	4119,3	4119,3	7,4596	0,04859	3628,9	4114,8	7,407	0,03869	3620,0	4103,6	7,2965
0,05950	4364,8	4364,8	7,6783	0,05349	3826,3	4361,2	7,627	0,04267	3819,1	4352,5	7,5182
0,06485	4614,0	4614,0	7,8821	0,05832	4027,8	4611,0	7,831	0,04658	4021,6	4603,8	7,7237
0,07016	4867,7	4867,7	8,0740	0,06312	4234,0	4865,1	8,023	0,05045	4228,2	4858,8	7,9165
0,07544	5126,2	5126,2	8,2556	0,06789	4444,9	5123,8	8,205	0,05430	4439,3	5118,0	8,0937
0,08072	5389,2	5389,2	8,4284	0,07265	4460,5	5387,0	8,378	0,05813	4654,8	5381,4	8,2717

# AGUA

## SOBRECALENTADA

## SISTEMA INTERNACIONAL

P= 15 MPa      Tsat= 342,24°C				P= 17,50 MPa      Tsat= 354,75°C				P= 20,00 MPa      Tsat= 365,81°C			
V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)
0,010337	2455,5	2610,5	5,3098	0,00792	2390,2	2528,8	5,1419	0,005834	2293,0	2409,7	4,9269
0,011470	2520,4	2692,4	5,4421	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0,015649	2740,7	2975,5	5,8811	0,012447	2685,0	2902,9	5,7213	0,009942	2619,3	2818,1	5,5540
0,018445	2879,5	3156,2	6,1404	0,015174	2844,2	3109,7	6,0184	0,012695	2806,2	3060,1	5,9017
0,02080	2996,6	3308,6	6,3443	0,017358	2970,3	3274,1	6,2383	0,014768	2942,9	3238,2	6,1401
0,02293	3104,7	3448,6	6,5199	0,019288	3083,9	3421,4	6,4230	0,016555	3062,4	3393,5	6,3348
0,02491	3208,6	3582,3	6,6776	0,02106	3191,5	3560,1	6,5866	0,018178	3174,0	3537,6	6,5048
0,02680	3310,3	3712,3	6,8224	0,02274	3296,0	3693,9	6,7357	0,019693	3281,4	3675,3	6,6582
0,02861	3410,9	3840,1	6,9572	0,02434	3398,7	3824,6	6,8736	0,02113	3386,4	3809,0	6,7993
0,03210	3610,9	4092,4	7,2040	0,02738	3601,8	4081,1	7,1244	0,02385	3592,7	4069,7	7,0544
0,03546	3811,9	4343,8	7,4279	0,03031	3804,7	4335,1	7,3507	0,02645	3797,5	4326,4	7,2830
0,03875	4015,4	4596,6	7,6348	0,03316	4009,3	4589,5	7,5589	0,02897	4003,1	4582,5	7,4925
0,04200	4222,6	4852,6	7,8283	0,03597	4216,9	4846,4	7,7531	0,03145	4211,3	4840,2	7,6874
0,04523	4433,8	5112,3	8,0108	0,03876	4428,3	5106,6	7,9360	0,03391	4422,8	5101,0	7,8707
0,04845	4649,1	5376,0	8,1840	0,04154	4643,5	5370,5	8,1093	0,03636	4638,0	5365,1	8,0442
P= 25 MPa				P= 30				P= 35			
V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)
0,0019731	1798,7	1848,0	4,0320	0,0017892	1737,8	1791,5	3,9305	0,0017003	1702,9	1762,4	3,8722
0,006004	2430,1	2580,2	5,1418	0,002790	2067,4	2151,1	4,4728	0,002100	1914,1	1987,6	4,2126
0,007881	2609,2	2806,3	5,4723	0,005303	2455,1	2614,2	5,1504	0,003428	2253,4	2373,4	4,7747
0,009162	2720,7	2949,7	5,6744	0,006735	2619,3	2821,4	5,4424	0,004961	2498,7	2672,4	5,1962
0,011123	2884,3	3162,4	5,9592	0,008678	2820,7	3081,1	5,7905	0,006927	2751,9	2994,4	5,6282
0,012724	3017,5	3335,6	6,1765	0,010168	2970,3	3275,4	6,0342	0,008345	2921,0	3213,0	5,9026
0,014137	3137,9	3491,4	6,3602	0,011446	3100,5	3443,9	6,2331	0,009527	3062,0	3395,5	6,1179
0,015433	3251,6	3637,4	6,5229	0,012596	3221,0	3598,9	6,4058	0,010575	3189,8	3559,9	6,3010
0,016646	3361,3	3777,5	6,6707	0,013661	3335,8	3745,6	6,5606	0,011533	3309,8	3713,5	6,4631
0,018912	3574,3	4047,1	6,9345	0,015623	3555,5	4024,2	6,8332	0,013278	3536,7	4001,5	6,7450
0,021045	3783,0	4309,1	7,1680	0,017448	3768,5	4291,9	7,0718	0,014883	3754,0	4274,9	6,9386
0,02310	3990,9	4568,5	7,3802	0,019196	3978,8	4554,7	7,2867	0,016410	3966,7	4541,1	7,2064
0,02512	4200,2	4828,2	7,5765	0,020903	4189,2	4816,3	7,4845	0,017895	4178,3	4804,6	7,4037
0,02711	4412,0	5089,9	7,7605	0,022589	4401,3	5079,0	7,6692	0,019360	4390,7	5068,3	7,5910
0,02910	4626,9	5354,4	7,9342	0,024266	4616,0	5344,0	7,8432	0,020815	4605,1	5333,6	7,7653
P= 40 MPa				P= 50				P= 60			
V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m3/kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)
0,0016407	1677,1	1742,8	3,8290	0,0015594	1638,6	1716,6	3,7639	0,0015028	1609,4	1699,5	3,7141
0,0019077	1854,6	1930,9	4,1135	0,0017309	1788,1	1874,6	4,0031	0,001634	1745,4	1843,4	3,9318
0,002532	2096,9	2198,1	4,5029	0,002007	1959,7	2060,0	4,2734	0,0018165	1892,7	2001,7	4,1626
0,003693	2365,1	2512,8	4,9459	0,002486	2159,6	2284,0	4,5884	0,002085	2053,9	2179,0	4,4121
0,005622	2678,4	2903,3	5,4700	0,003892	2525,5	2720,1	5,1726	0,002956	2390,6	2567,9	4,9321
0,006984	2869,7	3149,1	5,7785	0,005118	2763,6	3019,5	5,5485	0,003956	2658,8	2896,2	5,3441
0,008094	3022,6	3346,4	6,0144	0,006112	2942,0	3247,6	5,8178	0,004834	2861,1	3151,2	5,6452
0,009063	3158,0	3520,6	6,2054	0,006960	3093,5	3441,8	6,0342	0,005595	3028,8	3364,5	5,8829
0,009941	3283,6	3681,2	6,3750	0,007727	3230,5	3616,8	6,2189	0,006272	3177,2	3553,5	6,0824
0,011523	3517,8	3978,7	6,6662	0,009076	3479,8	3933,6	6,5290	0,007459	3441,5	3889,1	6,4109
0,012962	3739,4	4257,9	6,9150	0,010283	3710,3	4224,4	6,7882	0,008508	3681,0	4191,5	6,6805
0,014324	3954,6	4527,6	7,1356	0,011411	3930,5	4501,1	7,0146	0,009480	3906,4	4475,2	6,9127
0,015642	4167,4	4793,1	7,3364	0,012496	4145,7	4770,5	7,2184	0,010409	4124,1	4748,6	7,1195
0,016940	4380,1	5057,7	7,5224	0,013561	4359,1	5037,2	7,4058	0,011317	4338,2	5017,2	7,3083
0,018229	4594,3	5323,5	7,6969	0,014616	4572,8	5303,6	7,5808	0,012215	4551,4	5284,3	7,4837

# AGUA

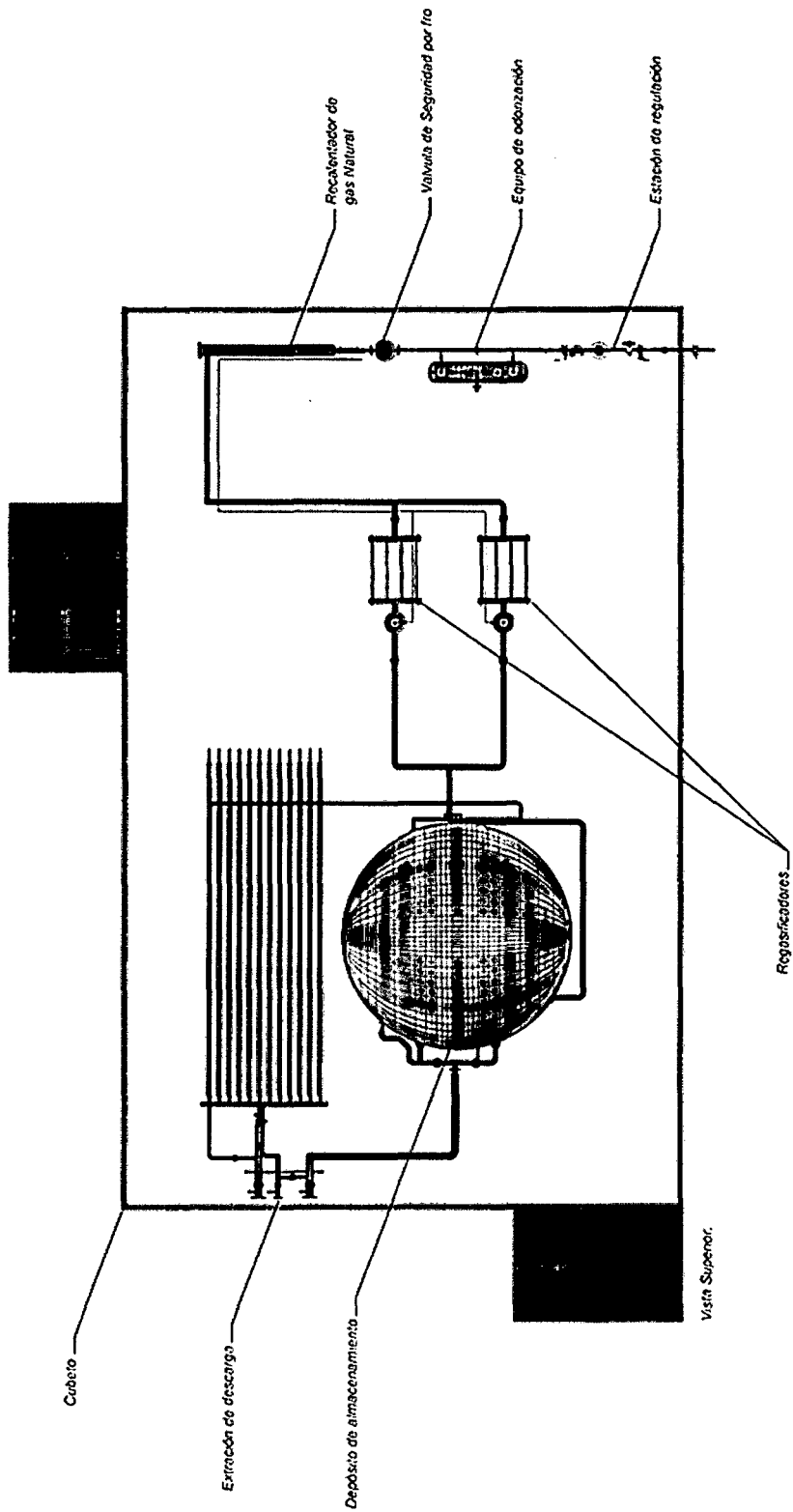
## COMPRESO

## SISTEMA INTERNACIONAL

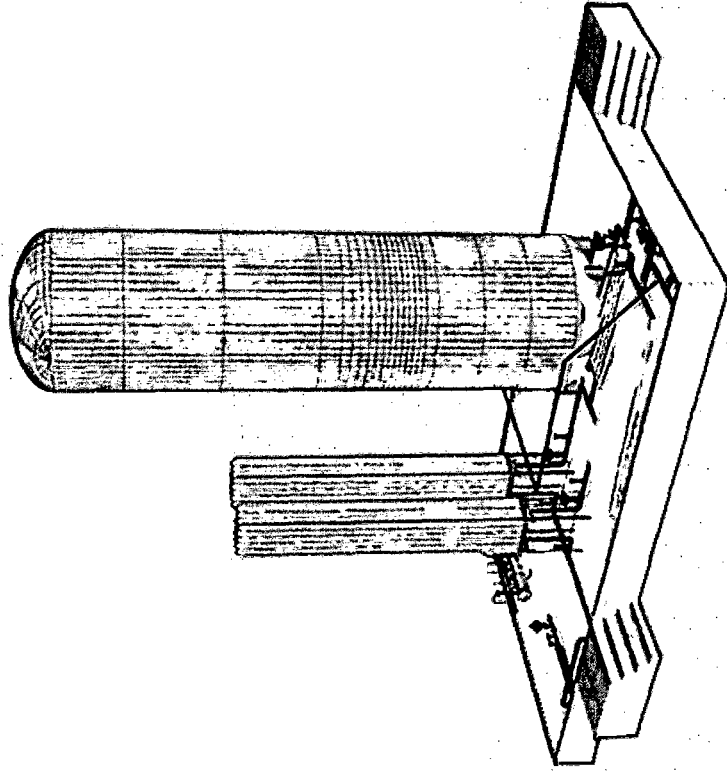
P= 5 MPa      Tsat= 263,99°C				P= 10 MPa      Tsat= 311,06°C				P= 15 MPa      Tsat= 342,24°C			
V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)
0,0012859	1147,8	1154,2	2,9202	0,0014524	1393,0	1407,6	3,3596	0,0016581	1585,6	1610,5	3,6848
0,0009977	0,04	5,04	0,0001	0,0009952	0,09	10,04	0,0002	0,0009928	0,15	15,05	0,0004
0,0009995	83,65	88,65	0,2956	0,0009972	83,36	93,333	0,2945	0,0009950	83,06	97,99	0,2934
0,0010056	166,95	171,97	0,5705	0,0010034	166,35	176,38	0,5686	0,0010013	165,76	180,78	0,5666
0,0010149	250,23	255,3	0,8285	0,0010127	249,36	259,49	0,8258	0,0010105	248,51	263,67	0,8232
0,0010680	3333,72	338,85	1,0720	0,0010245	332,59	342,83	1,0069	0,0010222	331,48	346,81	1,0656
0,0010410	417,52	422,72	1,3030	0,0010385	416,12	426,5	1,2992	0,0010361	414,74	430,28	1,2955
0,0010576	501,80	507,09	1,5233	0,0010549	500,08	510,64	1,5189	0,0010522	498,40	514,19	1,5145
0,0010768	586,76	592,15	1,7343	0,0010737	574,68	595,42	1,7292	0,0010707	582,66	598,72	1,7242
0,0010988	672,62	678,12	1,9375	0,0010953	670,13	681,08	1,9317	0,0010918	667,70	684,09	1,9260
0,0011240	759,63	765,25	2,1341	0,0011199	756,65	767,84	2,1275	0,0011159	753,76	770,5	2,1210
0,0011530	848,1	853,9	2,3255	0,0011480	844,5	856,0	2,3178	0,0011433	841,0	858,2	2,3104
0,0011866	938,4	944,4	2,5228	0,0011805	934,1	945,9	2,5039	0,0011748	929,9	947,5	2,4953
0,0012264	1031,4	1037,5	2,6979	0,0012187	1026,0	1038,1	2,6872	0,0012144	1020,8	1039,0	2,6771
0,0012749	1127,9	1134,3	2,8830	0,0012645	1121,1	1133,7	2,8699	0,0012550	1114,6	1133,4	2,8576
-----	-----	-----	-----	0,0013216	1220,9	1234,1	3,0548	0,0013084	1212,5	1232,1	3,0393
-----	-----	-----	-----	0,00139720	1328,4	1342,3	3,2469	0,0013770	1316,6	1337,3	3,2260
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,0014724	1431,1	1453,2	3,4247
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,0016311	1567,5	1591,9	6,6546
P= 25 MPa				P= 30				P= 35			
V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)	V(m <sup>3</sup> /kg)	U (KJ/Kg)	h (KJ/Kg)	S (KJ/Kg K)
0,0020360	1785,6	1826,3	4,0139	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0,0009904	0,19	20,01	0,0004	0,0009856	0,25	29,82	0,0001	0,0009766	0,200	49,03	0,0014
0,0009928	82,77	102,62	0,2923	0,0009886	82,17	111,8	0,2899	0,0009804	81,00	130,02	0,2848
0,0009992	165,17	185,16	0,5646	0,0009951	164,04	193,89	0,5607	0,0009872	161,86	211,21	0,5527
0,0010084	247,68	267,85	0,8206	0,0010042	246,06	276,19	0,8154	0,0009962	242,98	292,79	0,8052
0,0010199	330,40	350,80	1,0624	0,0010156	328,30	358,77	1,0561	0,0010073	324,34	374,70	1,0440
0,0010337	413,39	434,06	1,2917	0,0010290	410,78	441,67	1,2844	0,0010201	405,88	456,89	1,2703
0,0010496	496,76	517,76	1,5102	0,0010445	493,59	524,93	1,5018	0,001035	487,65	539,39	1,4857
0,0010678	580,69	602,04	1,7193	0,0010621	576,88	608,75	1,7098	0,001052	569,77	622,35	1,6915
0,0010885	665,35	687,12	1,9204	0,0010821	660,82	693,28	1,9096	0,0010703	652,41	705,92	1,8891
0,0011120	750,95	773,2	2,1147	0,0011047	745,59	778,73	2,1024	0,0010912	735,69	790,25	2,0794
0,0011388	837,5	860,5	2,3031	0,0011302	831,40	865,30	2,2893	0,0011146	819,7	875,5	2,2634
0,0011695	925,9	949,3	2,4870	0,0011590	918,30	953,10	2,4711	0,0011414	964,7	961,7	2,4419
0,0012046	1016,0	1040,0	2,6674	0,0011920	1006,9	1042,60	2,6490	0,0011702	990,7	1049,2	2,6158
0,0012462	1108,6	1133,5	2,8459	0,0012303	1097,4	1134,30	2,8243	0,0012034	1072,1	1138,2	2,7860
0,0001297	1204,7	1230,6	3,0248	0,0012755	1190,7	1229,00	2,9986	0,0012415	1167,2	1229,3	2,9537
0,0013596	1306,1	1333,3	3,2071	0,0013304	1287,9	1327,08	3,1741	0,0012860	1258,7	1323,0	3,1200
0,0014437	1415,7	1444,6	3,3979	0,0013997	1390,7	1432,70	3,3539	0,0001339	1353,3	1420,2	3,2868
0,0015684	1539,7	1571,0	3,6075	0,0014920	1501,7	1564,50	3,5426	0,0014032	1452,0	1522,1	3,4557
0,0018226	1702,8	1739,3	3,8772	0,0016265	1626,6	1675,40	3,7494	0,0014838	1556,0	1630,2	3,6291
-----	-----	-----	-----	0,0018691	1781,4	1837,50	4,0012	0,0015884	1667,2	1746,6	3,8101



ANEXO N° 03 ESQUEMA DE PLANTA DE RECEPCION DE GNL.



ANEXO N° 04 VISTA ISOMETRICA DE PLANTA SATELITE DE GNL.



Elaboración: [Illegible]

**ANEXO N° 05 FICHA TECNICA DEL GAS NATURAL LICUADO**



## Ficha de datos de seguridad

Según R.D. 255/03

Revisión: 4      Fecha: mayo 2003      Producto: **GAS NATURAL LICUADO**

### **1 IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA / PREPARADO Y EMPRESA**

Nombre del producto	Gas Natural Licuado
Fórmula química	CH <sub>4</sub>
Nombre IUPAC	Metano
Número CAS	74-82-8
Número ONU	1972
Uso	Combustible
Identif. de la Sociedad	Enagás, S.A.

### **2 COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES**

Sustancia o mezcla	Mezcla
Impurezas y/o componentes	Contiene pequeñas cantidades de propano, etano, i-butano, n-butano, i-pentano, n-pentano, hexanos, N <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> .

### **3 IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS**

Identificación de los riesgos	<p>Gas extremadamente inflamable. Temperatura del líquido muy baja -160° C, peligro de quemaduras por congelación. El gas arde con llama casi invisible. Forma mezclas explosivas con el aire (especialmente en proporciones metano/aire de 1:10)</p> <p>La vaporización del producto produce nubes de vapor blanco. Los vapores desprendidos del líquido son muy fríos y se comportan como un gas pesado (1,5 veces más que el aire), extendiéndose a nivel del suelo, hasta que se calienta a unos -104° C, entonces se hace más ligero que el aire.</p> <p>Cuando el líquido entra en contacto con el agua, se forma hielo y un sólido blanco que se evapora rápidamente.</p>
-------------------------------	--

### **4 PRIMEROS AUXILIOS**

Contacto con la piel	Lavar la zona con agua, quitar la ropa impregnada si no se ha adherido a la piel.
Contacto con los ojos	Lavar con abundante agua, al menos durante 15 minutos.



Inhalación

Trasladar al afectado al aire fresco, respiración artificial si no respira. Evitar que la persona afectada se autolesione debido al estado de confusión mental y desorientación transitoria, provocados por la inhalación.

En todos los casos recibir asistencia médica.

## **5 MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS**

Riesgos específicos

La exposición al fuego de recipientes puede causar la explosión de los mismos.

Productos de combustión

CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y CO (en deficiencia de aire y altas temperaturas)

Medios de extinción adecuados

Refrigerar la zona afectada por la radiación con agua pulverizada. NO arrojar agua en chorro sobre el derrame líquido. Cuando se decida apagar el incendio, utilizar polvo químico seco.

Equipo de protección personal para la actuación en incendios

En espacios confinados utilizar equipos de respiración autónoma de presión positiva. Trajes de aproximación en las inmediaciones del incendio.

## **6 MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL**

Precauciones personales

Evacuar el área.

No fumar ni hacer fuegos, alejar toda fuente de ignición. Evitar cargas electrostáticas.

Cortar el suministro eléctrico.

Permanecer del lado donde sopla el viento.

Distancia de seguridad 50-60 m fuera de la nube de gas.

Precauciones para la protección del medio ambiente

Intentar parar el escape /derrame.

Métodos de limpieza

Ventilar el área.

## **7 MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

Manipulación

Utilizar prendas de protección personal adecuadas por tratarse de un producto extremadamente frío.

Evitar el contacto con la piel. No aplicar agua sobre el producto. No fumar ni tener puntos de ignición cercanos cuando se manipule el producto.

Almacenamiento

Utilizar equipos de trabajo y herramientas antichispas. A prueba de incendio. Mantener en lugar fresco. Ventilación a ras del suelo y techo.

Conectar a tierra todo elemento que contenga o transporte GNL.

Peligro de explosión de mezclas con el aire al llegar a un foco de ignición.

## **8 CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL**

Ventilación

Asegurar una buena ventilación si existen fugas.

Protección corporal

Traje de trabajo con brazos cubiertos y no ajustado.

Protección de manos

Guantes de cuero largos.



Protección ocular  
Pies

Careta o pantalla anti salpicaduras.  
Calzado de seguridad con suela de neopreno o similar,  
sin herrajes metálicos.

## **9 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS**

Aspecto	Gas licuado, fuertemente refrigerado.
Color	Incoloro.
Olor	Inodoro.
Tª de autoignición	540° C
Tª de ebullición	-160° C a 1 atm
Punto de congelación	-182° C
Densidad	~460 kg/m <sup>3</sup>
Densidad relativa del vapor a Tª ambiente	0,6
Límites de explosividad	Superior 15%, inferior 5%
Calor de combustión	11.900 kcal/Kg
Peso específico líquido	0,450
Peso molecular	16
1 m <sup>3</sup> de líquido libera aproximadamente 600 m <sup>3</sup> de gas.	

## **10 ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

Estabilidad	Inflamable y combustible.
Condiciones a evitar	Las fugas de líquido pueden producir fragilidad en materiales estructurales.
Reacciones peligrosas	En contacto con el aire forma mezclas explosivas.
Incompatibilidades	Oxidantes fuertes.
Productos de combustión y descomposición peligrosos	CO y CO <sub>2</sub>

## **11 INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA**

Vías de entrada	La inhalación es la vía más frecuente de exposición.
Efectos	El gas natural no es una sustancia tóxica. Los vapores actúan como anestésicos y asfixiantes por desplazamiento del oxígeno. No presenta efectos carcinogénicos

## **12 INFORMACIÓN ECOLÓGICA**

General	Puede causar hielo que dañe la vegetación.
Persistencia y degradabilidad	La vida media de biodegradación del metano es de 70 días. La vida media de evaporación del compuesto procedente de aguas continentales se ha estimado de 1,17h (ríos) a 13,89h (lagos) A Tª ambiente está en fase gaseosa en la atmósfera, donde apenas sufre hidrólisis o fotólisis, siendo las reacciones químicas con especies radicálicas las que más contribuyen a la transformación atmosférica del metano.



Movilidad / bioacumulación

No presenta problemas de bioacumulación ni de incidencia en la cadena trófica alimenticia. El metano es prácticamente insoluble en agua, lo que indica que la bioconcentración en organismos acuáticos es mínima. Fundamentalmente permanece en la atmósfera donde es degradado mediante reacciones químicas.

### **13 CONSIDERACIONES PARA SU ELIMINACIÓN**

En lugares al aire libre dejar evaporar, ventilar en lugares cerrados, en cualquier caso evitar cualquier foco de ignición.

### **14 INDICACIONES PARA EL TRANSPORTE**

Número ONU	1972
Clase	2
Código de clasificación	3F
Número de peligro	223
Número ficha de intervención	2-07
Otras informaciones para el transporte	Asegurarse de que el conductor está enterado de los riesgos potenciales de la carga y de que conoce qué hacer en caso de un accidente o de una emergencia. Asegurarse cumplir con la legislación vigente.

### **15 INFORMACIÓN REGLAMENTARIA**

Clase y código de clasificación (ADR)	2,3F
Etiqueta de peligro	Nº: 2.1 Signo de llama negro o blanco sobre fondo rojo. Cifra "2" en la esquina inferior del rombo.
Frases de riesgo	R12 Extremadamente inflamable
Frases de seguridad	S9 Consérvese el recipiente en lugar bien ventilado S16 Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas. No fumar. S33 Evítese la acumulación de cargas electroestáticas.

### **16 OTRAS INFORMACIONES**

Asegúrese que se cumplen las normativas nacionales y locales.

Los datos indicados corresponden a nuestros conocimientos actuales y no representan una garantía de las propiedades.

**ANEXO N° 06 FICHA TECNICA DEL PETROLEO INDUSTRIAL 500**



(Conforme al D.S. 026-94-EM)  
**PETRÓLEO INDUSTRIAL 500**

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO		
<b>Empresa:</b> REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.  <b>Dirección:</b> Casilla Postal 10245 Km.25 Carretera a Ventanilla. Lima-1  <b>Tel# (51-1) 517-2021 (51-1) 517-2022</b>  <b>Fax# (51-1) 517-2026</b>	<b>Nombre comercial:</b> PETRÓLEO INDUSTRIAL 500  <b>Nombre químico:</b> Residual de petróleo	
	<b>Sinónimos:</b> Industrial de alta viscosidad, Bunker, residual 500, FUEL OIL, Heavy Fuel Oil, H.F.O, High Sulphur Fuel Oil.	
	<b>Fórmula:</b> Mezcla compleja de hidrocarburos del petróleo.	<b>N° CAS:</b> 68476-33-5
	<b>N° CE (EINECS):</b>	<b>N° Anexo I (Dir. 67/548/CEE):</b>

2. COMPOSICIÓN			
<b>Composición general:</b> Combinación compleja de hidrocarburos con número de carbonos en su mayor parte dentro del intervalo C <sub>12</sub> - C <sub>50</sub> . Se obtiene como una mezcla de corrientes a partir de destilación atmosférica y al vacío. Producto líquido de diversas corrientes de refinería, normalmente residuos. La composición es compleja y varía con el origen del petróleo crudo.			
Componentes peligrosos	Rango %	Clasificación	
		R	S
Residuales de petróleo de alta viscosidad.	> 99	Carc. Cat. 2; R45 R66 R52/53	S45-53-61

3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS	
FÍSICO/QUÍMICOS	TOXICOLÓGICOS (SÍNTOMAS)
Líquido y vapor combustible e inflamable.  Los vapores de petróleo son más pesados que el aire y pueden desplazarse hacia fuentes remotas de ignición e inflamarse.	<b>Inhalación:</b> La presión de vapor del producto a temperaturas normales de manejo es baja para permitir una concentración significativa de vapores. Exposiciones repetidas y prolongadas a elevadas concentraciones pueden producir dolor de cabeza, mareos, visión borrosa, fatiga, temblores y convulsiones, así como alteraciones en el sistema nervioso central. A elevadas temperaturas se pueden formar vapores de sulfuro de hidrógeno. Estos vapores son tóxicos, causando efectos que incluyen irritación de las vías altas respiratorias.  <b>Ingestión/Aspiración:</b> No es frecuente, pero, si ocurre, puede causar desequilibrios gastrointestinales. La aspiración del líquido a los pulmones puede producir daño pulmonar.  <b>Contacto piel/ojos:</b> Contactos prolongados o repetidos pueden causar irritación y dermatitis. Contactos prolongados con los ojos pueden producir irritación y conjuntivitis.  <b>Efectos tóxicos generales:</b> El producto puede causar irritación de las vías respiratorias superiores, piel y ojos, y en casos extremos puede causar cáncer. El contacto con el producto caliente puede causar quemaduras. Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

#### 4. PRIMEROS AUXILIOS

**Inhalación:** Trasladar al afectado a una zona de aire fresco. Si la respiración es dificultosa practicar respiración artificial o aplicar oxígeno. Solicitar asistencia médica.

**Ingestión/Aspiración:** NO INDUCIR EL VÓMITO. Si el vómito ocurre espontáneamente, controlar la respiración. Solicitar asistencia médica.

**Contacto piel/ojos:** Quitar inmediatamente la ropa impregnada. Lavar las partes afectadas con agua y jabón. En caso de contacto con los ojos, lavar abundantemente con agua durante unos 15 minutos. Solicitar asistencia médica.

**Medidas generales:** Solicitar asistencia médica.

#### 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

**Medidas de extinción:** Agua pulverizada, espumas, polvo químico, CO<sub>2</sub>.  
NO UTILIZAR NUNCA CHORRO DE AGUA DIRECTO.

**Contraindicaciones:** NP

**Productos de combustión:** CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO (en caso de combustión incompleta). También puede producir SO<sub>x</sub>. Sustancias irritantes o tóxicas pueden ser emitidas debido a la descomposición térmica.

**Medidas especiales:** Mantener alejados de la zona de fuego los recipientes con producto. Enfriar los recipientes expuestos a las llamas. Si no se puede extinguir el incendio dejar que se consuma controladamente. Consultar y aplicar planes de emergencia en el caso de que existan.

**Peligros especiales:** Material combustible e inflamable. El vapor puede desplazarse hasta fuentes remotas de ignición e inflamarse. Los recipientes pueden explotar con el calor del fuego. Vapores de hidrocarburos ligeros pueden acumularse en los espacios de cabeza de los contenedores, con riesgo de inflamabilidad/explosión incluso a temperaturas por debajo del punto de inflamación del producto. Peligro de explosión de vapores en el interior, exterior o en conductos.

**Equipos de protección:** Prendas para lucha contra incendios resistentes al calor. Cuando exista alta concentración de vapores o humos utilizar aparato de respiración autónoma.

#### 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

**Precauciones para el medio ambiente:** Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático. Los vertidos forman una capa sobre la superficie evitando la transferencia de oxígeno.

**Precauciones personales:** Aislar el área. Prohibir la entrada a la zona a personal innecesario. No fumar.  
Evitar zonas bajas donde se pueden acumular vapores. Evitar cualquier posible fuente de ignición.

**Detoxificación y limpieza:** Derrames pequeños: Recoger con arena u otros absorbentes no combustibles y situar en recipientes para eliminarlos posteriormente.  
Derrames grandes: Evitar la extensión del líquido con barreras para una eliminación posterior.

**Protección personal:** Guantes de PVC. Calzado de seguridad.  
Protección ocular en caso de riesgo de salpicaduras.  
Aparatos de respiración autónoma si es necesario.

## 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

### Manipulación:

*Precauciones generales:* Usar ropa de protección para evitar el contacto prolongado con la piel. Usar protección ocular en caso de riesgo de salpicaduras. En caso de manjarse a altas temperaturas tomar precauciones ante la posible presencia de  $\text{SH}_2$ . Utilizar instalaciones conectadas a tierra en operaciones de trasiego del producto.

*Condiciones específicas:* Ventilación local eficiente si se generan vapores o nieblas. Herramientas antideflagrantes. Procedimientos especiales durante la carga, limpieza y mantenimiento de los contenedores para evitar la exposición. Antes de reparar un contenedor, asegurarse de que está correctamente purgado, lavado y comprobar que no hay atmósfera explosiva en su interior. Durante la operación de purga puede desprenderse  $\text{SH}_2$ .

*Uso:*

### Almacenamiento:

*Temperatura y productos de descomposición:* Puede producir  $\text{CO}$  y/o  $\text{SH}_2$  (gases tóxicos)

*Reacciones peligrosas:* Material combustible e inflamable.

*Condiciones de almacenamiento:* Guardar el producto en recipientes cerrados y etiquetados. Mantener los recipientes en lugar fresco, seco y bien ventilado, alejados de fuentes de ignición y de materiales incompatibles. Los contenedores vacíos pueden contener residuos o vapores inflamables o explosivos. No cortar, moler, taladrar, soldar, reusar o eliminar los contenedores sin haber tomado precauciones contra este riesgo.

*Materiales incompatibles:* Oxidantes fuertes.

## 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

### Equipos de protección personal:

*Protección respiratoria:* Máscara de protección respiratoria en presencia de vapores o equipo autónomo en altas concentraciones.

*Protección cutánea:* Guantes de PVC. Calzado de seguridad antiestático. *Otras protecciones:* Duchas en el área de trabajo.

*Protección ocular:* Gafas de seguridad. Lavaojos.

*Precauciones generales:* Evitar el contacto prolongado o repetido y la inhalación de vapores.

*Prácticas higiénicas en el trabajo:* La ropa empapada de producto debe ser mojada con abundante agua (preferentemente bajo la ducha) para evitar el riesgo de inflamación y ser retirada lo más rápidamente posible, fuera del radio de acción cualquier fuente de ignición. No fumar, comer o beber en las zonas donde se manipule el producto. Seguir medidas de cuidado e higiene de la piel, lavando con agua y jabón frecuentemente y aplicando cremas protectoras.

*Controles de exposición:* No se han establecido.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
Aspecto: Líquido oleoso y viscoso	pH:
Color: Negro	Olor: Característico del petróleo
Punto de ebullición: PIE: 220 °C, PE(50%): 529 °C	Punto de fusión/congelación:
Punto de inflamación/Inflamabilidad: 65,5 °C min. (ASTM D-93)	Autoinflamabilidad: 408 °C
Propiedades explosivas: Lím. inferior explosivo: 1.3% Lím. Superior explosivo: 6%	Propiedades comburentes:
Presión de vapor: (Reid) 0.0 atm.	Densidad: 0.98 g/cm <sup>3</sup> a 15 °C (ASTM-D-287)
Tensión superficial: 25 dinas/cm a 25 °C	Viscosidad: 848 - 1060 cSt a 50 °C (ASTM D-445)
Densidad de vapor: 3.4 (aire=1)	Coef. reparto (n-octanol/agua):
Hidrosolubilidad: Muy baja	Solubilidad: En disolventes del petróleo.
Otros datos: Punto de fluidez: 27 °C Máx. Calor de combustión: -18524 Btu/Lb (ASTM-D-240) Azufre: 3.5% máx. (ASTM D-4294)	

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
Estabilidad: Material combustible e inflamable. Velocidad de combustión: 4 mm/min.	Condiciones a evitar: Exposición a llamas, calor o electricidad estática.
Incompatibilidades: Oxidantes fuertes.	
Productos de combustión/descomposición peligrosos: CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO (en caso de combustión incompleta). También puede producir SO <sub>x</sub> . Por descomposición térmica pueden emitirse sustancias irritantes o tóxicas. Trazas de sulfuro de hidrógeno se pueden producir por descomposición térmica.	
Riesgo de polimerización: NP	Condiciones a evitar: NP

11. TOXICOLOGÍA	
Vías de entrada: Inhalación, contacto con piel o ojos.	
Efectos agudos y crónicos: El producto puede causar irritación de las vías altas respiratorias, piel y ojos. El contacto con el producto caliente puede causar quemaduras. Se puede desarrollar cáncer de piel por repetidos y prolongados contactos con la piel, bajo condiciones de pobre higiene personal.	
Carcinogenicidad: Clasificación IARC: Grupo 2B (El agente es posiblemente carcinogénico para el hombre)	
Toxicidad para la reproducción: No existen evidencias de toxicidad para la reproducción en mamíferos.	
Condiciones médicas agravadas por la exposición: Problemas respiratorios y afecciones dermatológicas. No se debe ingerir alcohol dado que promueve la absorción intestinal de los hidrocarburos.	

## 12. INFORMACIONES ECOLÓGICAS

### Forma y potencial contaminante:

*Persistencia y degradabilidad:* Flota en el agua y presenta un daño físico potencial.

*Movilidad/Bioacumulación:* No presenta problemas de bioacumulación o incidencia en la cadena alimenticia trófica. Los factores que contribuyen a la movilidad de producto son la solubilidad en agua, adsorción en el suelo y la biodegradación.

**Efecto sobre el medio ambiente:** Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático. Los vertidos forman una capa sobre la superficie evitando la transferencia de oxígeno.

## 13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN

**Métodos de eliminación de la sustancia (excedentes):** Incineración.

**Residuos:** Líquidos y sólidos de procesos industriales u otros usos.

*Eliminación:* Los materiales muy contaminados se deben incinerar. Los menos contaminados pueden ser depositados en vertederos controlados. Remitirse a un gestor autorizado.

*Manipulación:* Los materiales contaminados por el producto presentan los mismos riesgos y necesitan las mismas precauciones que el producto y deben considerarse como residuo tóxico y peligroso. No desplazar nunca el producto a drenaje o alcantarillado.

*Disposiciones:* Los establecimientos y empresas que se dediquen a la recuperación, eliminación, recogida o transporte de residuos deberán cumplir la ley 27314, ley general de residuos sólidos, su reglamento D.S. 057-2004-PCM y las normas sectoriales y locales específicas y las disposiciones vigentes del D.S. 015-2006-EM relativo a la protección ambiental en las actividades de hidrocarburos u otras disposiciones en vigor.

## 14. TRANSPORTE

**Precauciones especiales:** Estable a temperatura ambiente.

### Información complementaria:

Número ONU: NP

Número de identificación del peligro: NP

Nombre de expedición: NP

ADR/RID:

IATA-DGR NP

IMDG: NP

## 15. INFORMACION REGLAMENTARIA

### CLASIFICACIÓN ETIQUETADO

Símbolos: T

Carc. Cat. 2; R45  
R66  
R52/53

#### Frases R

R45: Puede causar cáncer.

R66: La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel.

R52/53: Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

#### Frases S

S45: En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstrele la etiqueta).

S53: Evítese la exposición - recábense instrucciones especiales antes del uso.

S61: Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.



Otras regulaciones:

## 16. OTRAS INFORMACIONES

### Bases de datos consultadas

EINECS: European Inventory of Existing Commercial Substances.

TSCA: Toxic Substances Control Act, US Environmental Protection Agency

HSDB: US National Library of Medicine.

RTECS: US Dept. of Health & Human Services

### Normativa consultada

Ley Nº 27314: Ley general de residuos sólidos.

D.S. 057-2004-PCM: que aprueba el reglamento de la Ley Nº 27314, Ley general de residuos sólidos.

D.S. 015-2006-EM: Reglamento para la protección ambiental en las actividades de hidrocarburos.

D.S. 026-94-EM: Reglamento de seguridad para el transporte de hidrocarburos.

D.S. 030-98-EM: Reglamento para la comercialización de combustibles líquidos y otros productos derivados de los hidrocarburos.

D.S. 045-2001-EM: Reglamento para la Comercialización de Combustibles Líquidos y otros Productos Derivados de los Hidrocarburos.

Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías peligrosas por carretera (ADR).

Reglamento relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (RID).

Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG).

Regulaciones de la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA) relativas al transporte de mercancías peligrosas por vía aérea.

### Glossário

CAS: Servicio de Resúmenes Químicos

IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

TLV: Valor Límite Umbral

TWA: Media Ponderada en el tiempo

STEL: Límite de Exposición de Corta Duración

REL: Límite de Exposición Recomendada

PEL: Límite de Exposición Permitido

INSHT: Instituto Nal. De Seguridad e Higiene en el Trabajo

### Frases R incluídas en el documento:

VLA-ED: Valor Límite Ambiental – Exposición Diaria

VLA-EC: Valor Límite Ambiental – Exposición Corta

DL50: Dosis Letal Media

CL50: Concentración Letal Media

CE50: Concentración Efectiva Media

CI50: Concentración Inhibitoria Media

BOD: Demanda Biológica de Oxígeno.

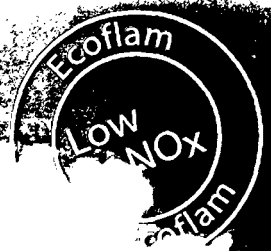
NP: No Pertinente

| : Cambios respecto a la revisión anterior

La información que se suministra en este documento se ha recopilado en base a las mejores fuentes existentes y de acuerdo con los últimos conocimientos disponibles y con los requerimientos legales vigentes sobre clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas. Esto no implica que la información sea exhaustiva en todos los casos. Es responsabilidad del usuario determinar la validez de esta información para su aplicación en cada caso.

**ANEXO N° 07 CATALOGO DE QUEMADORES ECOFLAM BLU.**

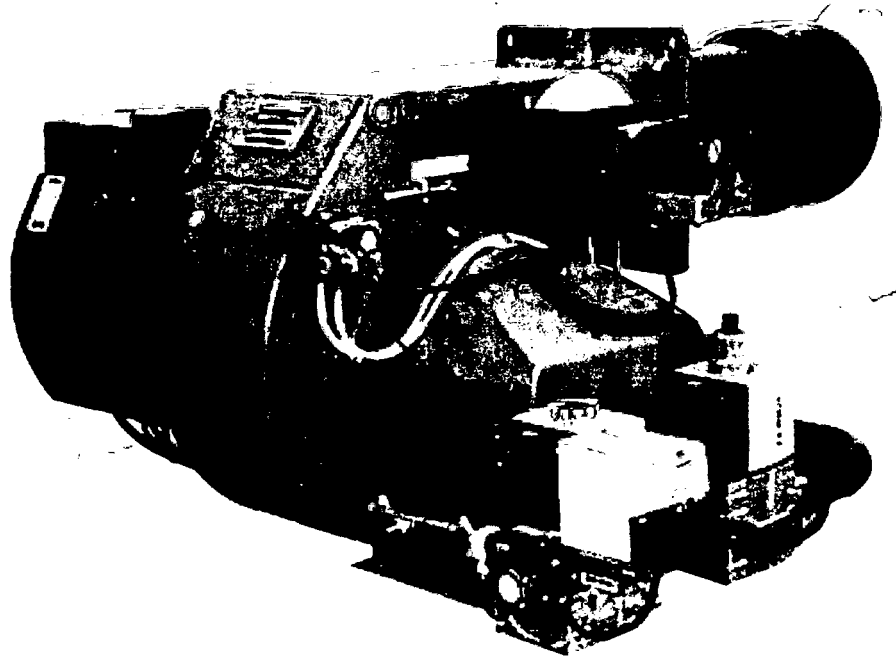
# Ecoflam



## BLU

MONOBLOCK 100 - 17000 kW

DUOBLOCK 180 - 25000 kW



GAS BURNERS ГАЗОВЫЕ ГОРЕЛКИ BRULEURS GAZ QUEMADORES DE GAS



## OPERATION / МОДИФИКАЦИИ

P	• On-Off
P...AB	• HI-LOW with servomotor
P...PR	• Progressive
P...MD	• Modulating
TS	• Separate head

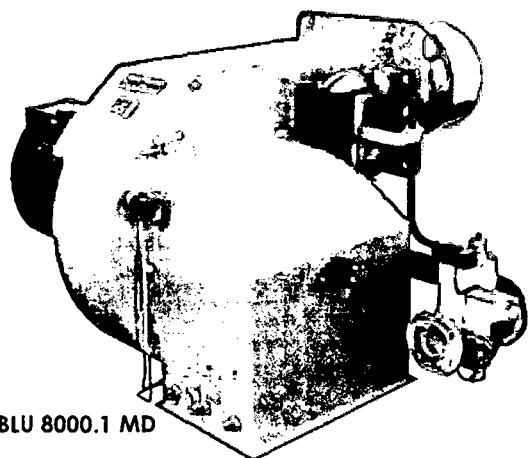
- одноступенчатая горелка
- двухступенчатая горелка с электроприводом воздушной заслонки
- с плавным переходом с малого на большое горение
- с модуляцией мощности
- горелка с отдельностоящим дутьевым вентилятором (блочная)

## MAIN FEATURES / ХАРАКТЕРИСТИКИ

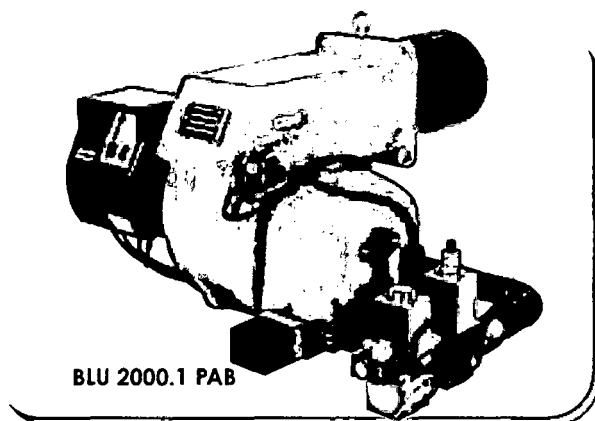
- Aluminium casing up to Blu 2000.1 and steel casing from 3000.1 with electrical panel integrated on the burner (standard IP40). Version in loose form or with remote switch cabinet on request (IP54).
- New high efficiency fan ventilator designed to give flame stability and easy matching.
- Adjustable combustion head for fine tuning / matching with different shapes of combustion chamber.
- Easy maintenance of firing head from the burner top cover.
- Low NOx version available in class 3 < 80mg/kWh and in class 2 < 120mg/kWh as per EN676.
- Hi - Low version with easy and fast butterfly ratio system available from Blu 500.1 up to Blu 2000.1.
- Progressive version with "mechanical movable head" with turndown 1: 5 (standard turndown 1:3).
- Modulating version with PID system controller with digital set point display and real time value (PID RWF 40 or LMV 51/52).
- Firing head with adjustable system for primary air that changes according to the output required.
- On request tailored solutions of flame shape.
- Duoblock range 180 - 25000 kW.
- Continuous ventilation on request.

Version for LPG, BIOGAS and TOWNGAS on request.

Special version for all type of applications and fuel characteristics on request.



BLU 8000.1 MD



BLU 2000.1 PAB

- Корпус из алюминия для моделей вплоть до Blu 2000.1 и из стали, начиная с модели Blu 3000.1, со встроенным пультом управления в стандартном исполнении со степенью защиты IP40. По запросу, горелки без пульта или с отдаленным пультом управления со степенью защиты IP54.
- Мощный вентилятор, спроектированный для обеспечения стабильности факела, легко сочетаемый с котлами различных типов.
- Регулируемая огневая головка упрощает регулировку горелки для работы с различными камерами сгорания.
- Простота в обслуживании – доступ к огневой головке без снятия горелки с котла.
- Вариант с пониженным уровнем вредных выбросов NOx, класс 3 по нормативу EN 676 <80 мг/кВтч, класс 2 <120мг/кВтч.
- В двухступенчатых горелках, начиная с Blu 500.1 до Blu 2000.1, реализована новая, отличающаяся быстродействием и простотой система регулировки расхода газа с помощью дроссельного клапана.
- В горелках исполнения PR и MD - регулируемое положение огневой головки с коэффициентом рабочего регулирования 1:5 (стандартный коэффициент рабочего регулирования 1:3).
- Модели с модуляцией мощности оборудуются PID-регулятором с цифровым дисплеем, на котором отображаются фактические значения параметров и который позволяет изменять значения уставок.
- Горелки с плавным переключением переходом с малого на большое горение, оборудуются системой тонкой регулировки расхода газа, включающую в себя электропривод с высоким передаточным отношением и регулировочное лекало изменяемой геометрии.
- Модели с изменяемой геометрией факела (по запросу).
- Горелки серии Duoblock (промышленные блочные горелки) диапазоном мощности 180 - 25000 кВт.
- Горелки с непрерывной вентиляцией для всех моделей (по запросу).
- Горелки исполнения на СЖИЖЕННОМ ГАЗЕ, БИОГАЗЕ и ГОРОДСКОМ ГАЗЕ (по запросу).
- Специальные версии горелок для разных областей применения на разных видах топлива (по запросу).

## FUNCIONAMIENTO

- 1ère ALLURE
- Deux allures
- Deux allures progressives
- Modulant
- Tête séparée

- 1a LLAMA
- Baja/Alta LLAMA con aire motorizado
- Progresivo
- Modulante
- Cabeza separada

## RACTERISTIQUES / CARACTERISTICAS

Corps en aluminium jusqu'au Blu 2000.1, corps en acier à partir du 3000.1; avec tableau de bord intégré au brûleur (standard IP40). Version avec armoire électrique séparée sur demande (IP54).

Ventilateur haute performance pour garantir stabilité de flamme et facilité d'adaptation.

Tête de combustion réglable pour garantir de meilleurs accouplements sur différentes chambres de combustion.

Version Bas NOx classe 3 < 80 mg/kWh sur la base de la norme EN676 et classe 2 < 120 mg/kWh.

Versions à deux allures avec nouveau système (à papillon) de réglage simple et rapide du gaz, du Blu 500.1 au Blu 2000.1.

Brûleurs progressifs avec "tête mobile mécanique" et rapport 1:5 (standard 1:3).

Versions modulantes avec thermorégulateur PID et affichage numérique qui donne la valeur réelle et permet de régler le point de consigne (LMV 51/52 en option).

Système de réglage de l'air primaire en fonction du débit demandé.

Facilité d'entretien grâce à la possibilité d'extraire la tête de combustion par l'arrière du brûleur.

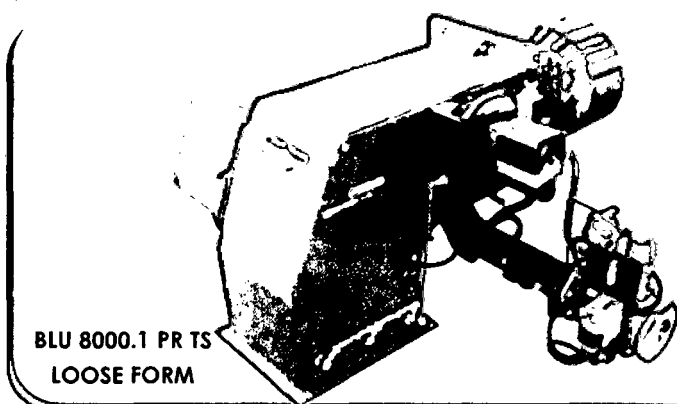
Flamme à géométrie variable à la demande.

Gamme Duoblock 180 - 25000 kW.

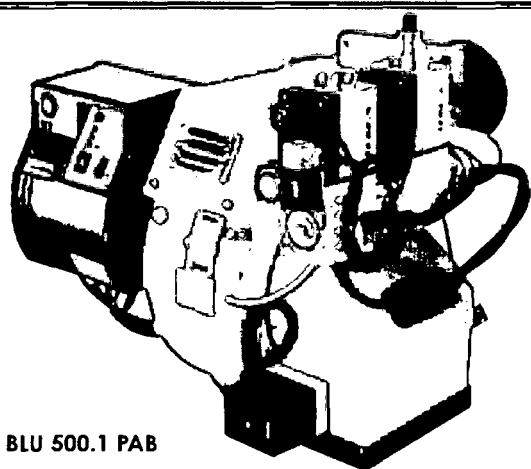
Ventilation permanente sur demande.

Version pour GAZ LIQUIDE, BIOGAZ et GAZ DE VILLE sur demande.

Version spéciale sur demande, pour toutes applications ou autres combustibles.

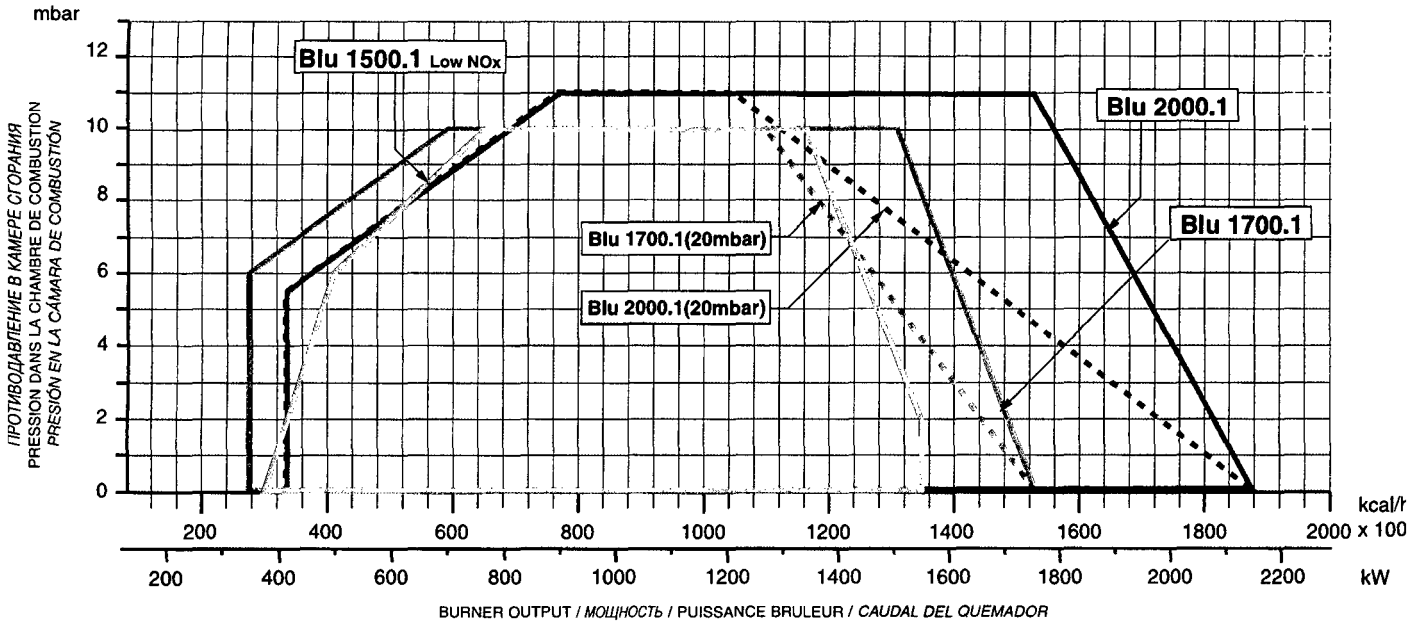
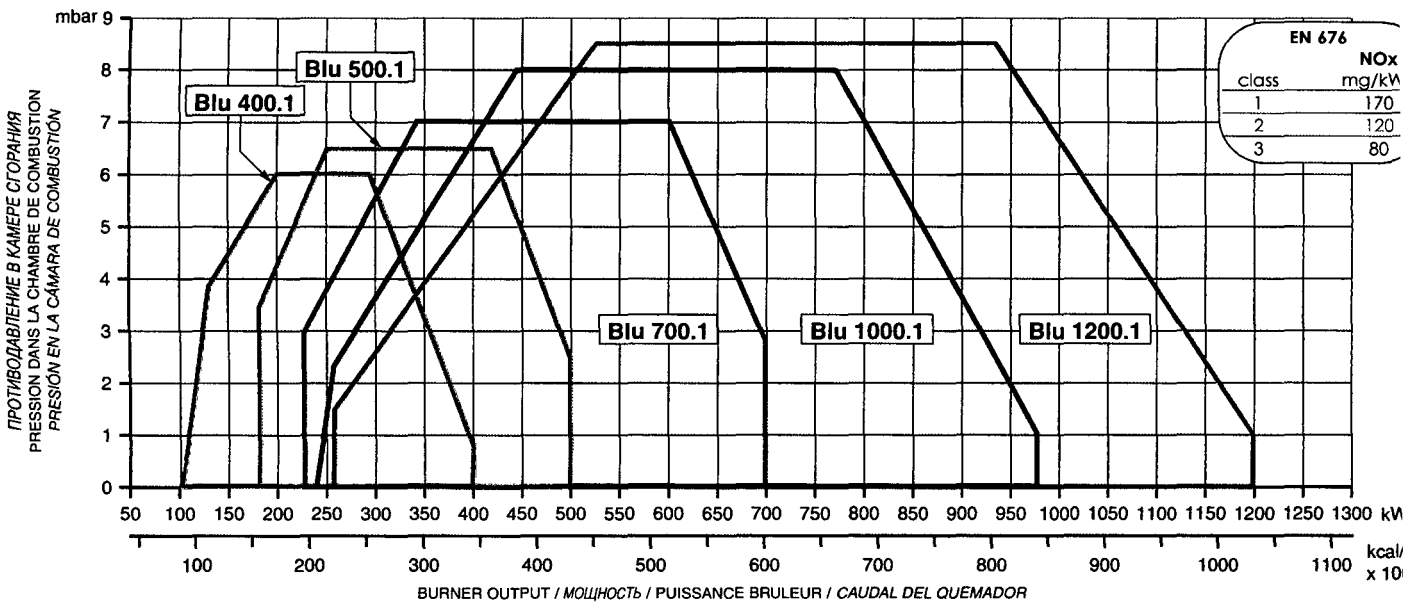
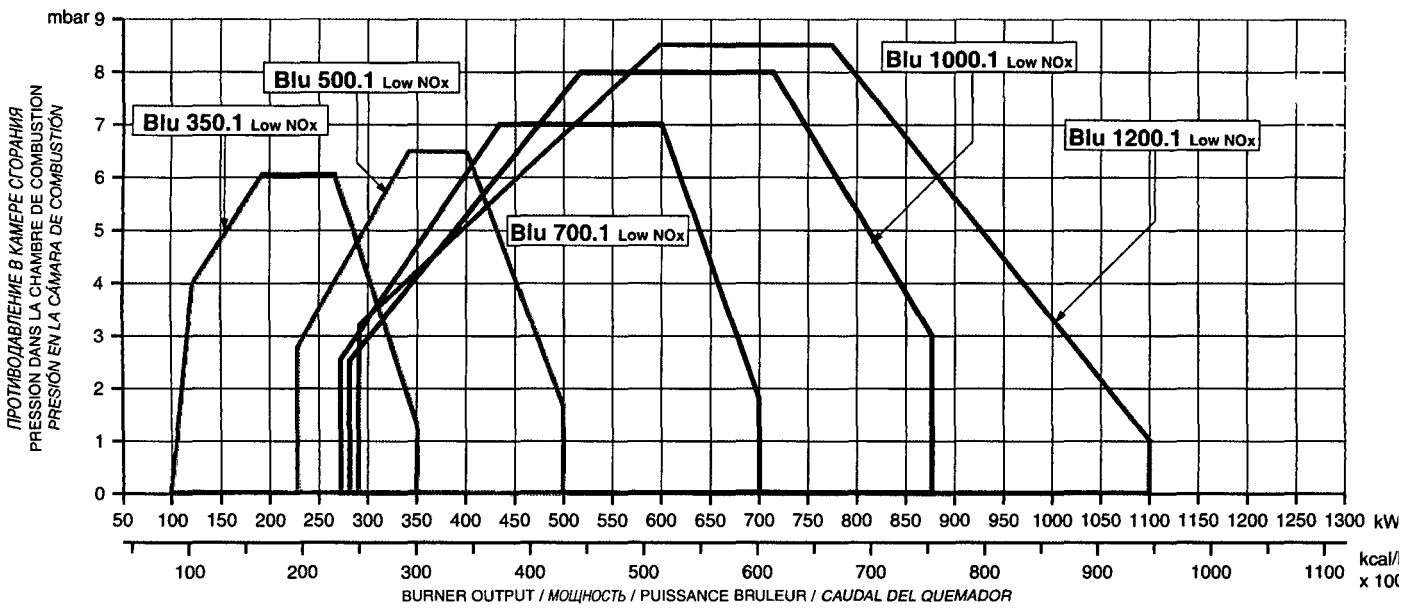


- *Cuerpo en aleación de aluminio hasta el modelo BLU 2000.1 y en fundición de acero a partir del modelo 3000.1, con el cuadro eléctrico integrado en el quemador (standard IP40). Versión con cuadro de mando separado bajo pedido (IP54).*
- *Ventilador de alto rendimiento proyectado para garantizar estabilidad de llama y con fácil acoplamiento.*
- *Cabeza de combustión regulable para garantizar el mejor acoplamiento en las diferentes cámaras de combustión.*
- *Versión bajo Low NOx en clase 3 < 80 mg/kWh y en clase 2 < 120 mg/kWh en base a la norma EN676.*
- *Versión de dos llamas con un novedoso sistema de mariposa para regulación del gas simple y rápido, desde el modelo BLU 500.1 hasta el modelo BLU 2000.1.*
- *Quemadores progresivos con cabeza de combustión móvil con ratio 1:5 (estándar ratio 1:3).*
- *Versión modulante con termorregulador PID con display digital que visualiza el valor real y permite la regulación del set point (LMV 51/52 opcional).*
- *Sistema de regulación del aire primario que varía en base a la potencia requerida.*
- *Fácil mantenimiento gracias a la fácil extracción de la cabeza de combustión del cuerpo del quemador.*
- *Gama duoblock 180 - 25000 kW.*
- *Versión con ventilación continua.*
- *Versión para GPL, BIOGAS y GAS DE CIUDAD bajo pedido.*
- *Versión a petición del cliente para cualquier tipo de instalación industrial y características de combustible.*

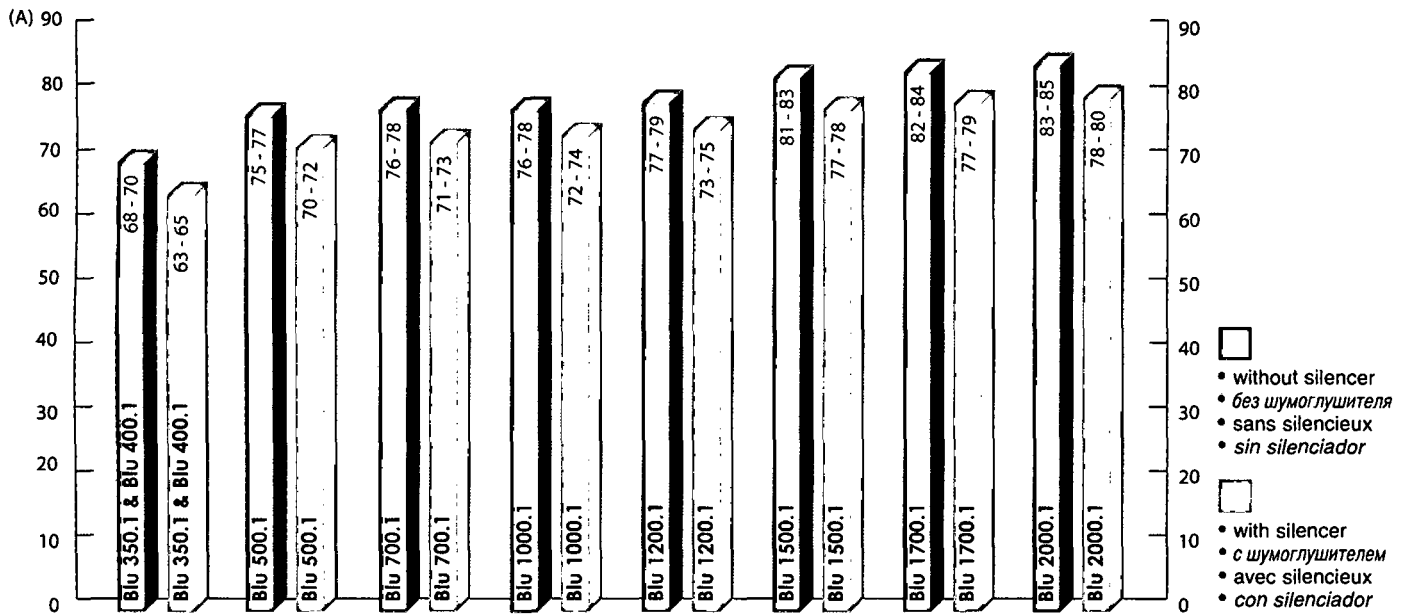


BLU 500.1 PAB

**WORKING FIELDS / РАБОЧИЙ ДИАПАЗОН / COURBES DE TRAVAIL / CURVAS DE TRABAJO**



**NOISE LEVEL / УРОВЕНЬ ШУМА / NIVEAUX DE BRUIT / NIVEL DE RUIDO**



- Data recorded during testing made at a meter distance from the burner.
- Данные получены при измерении в лабораторных условиях на расстоянии 1 м от горелки.
- Données techniques mesurées à 1 mètre en laboratoire.
- Medidas efectuadas en laboratorio a un metro de distancia del quemador.

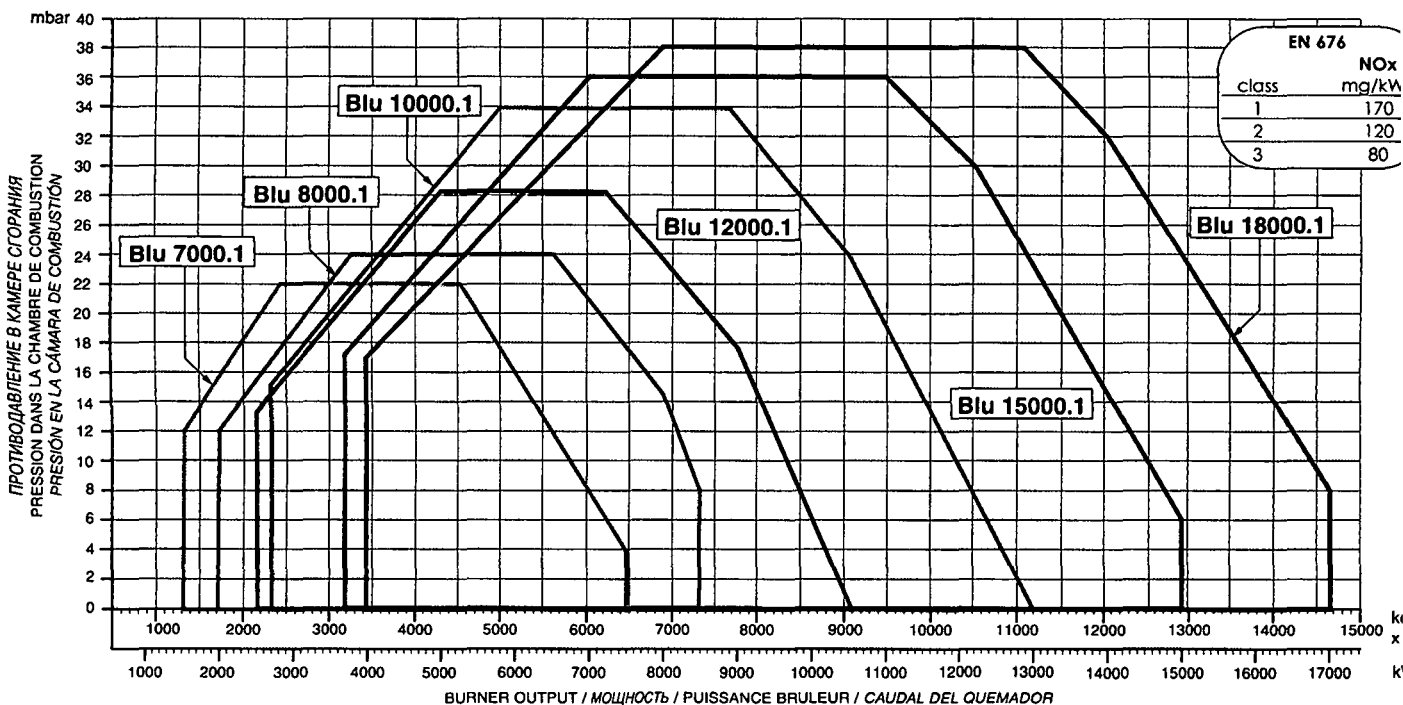
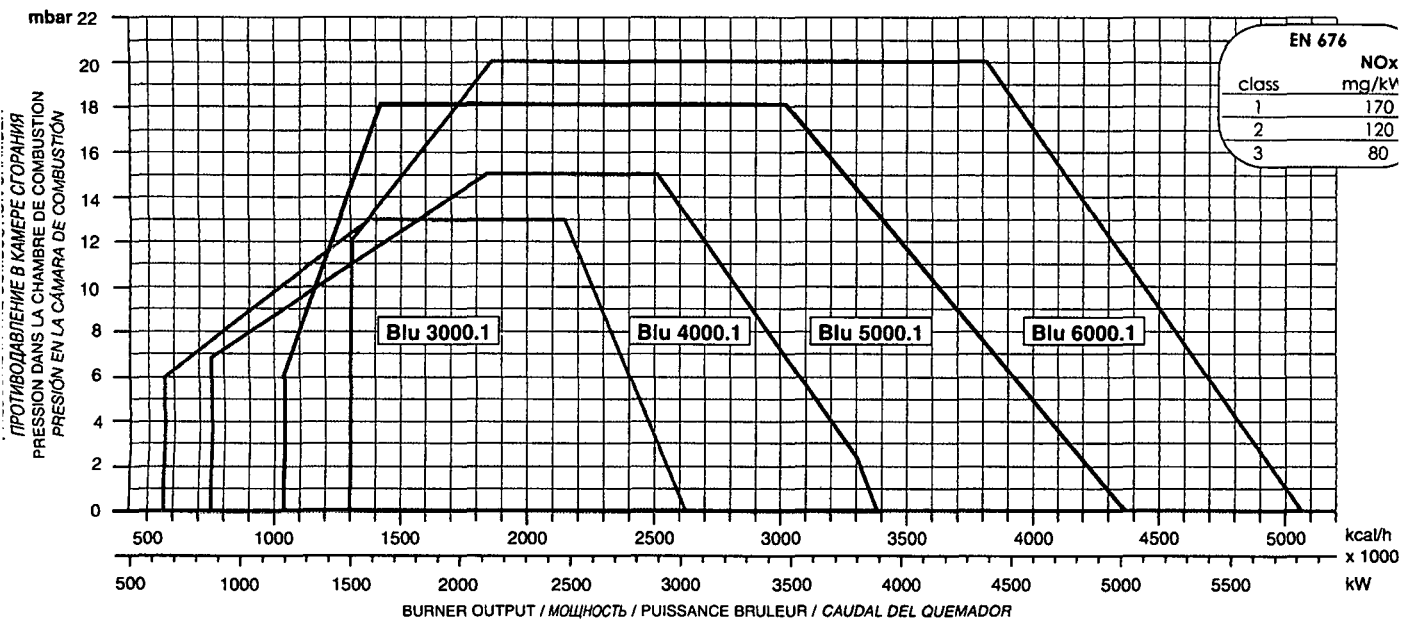
**TECHNICAL DATA / ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ / DONNEES TECHNIQUES / DATOS TECNICO**

	Output Тепловая мощность Puissance calorifique Potencia térmica max./макс.		Output Тепловая мощность Puissance calorifique Potencia térmica min./мин.		Gas pressure Давление газа Pression gaz Presión gas мин./макс. мин./макс.	Power supply Электропитание Tension Tensión eléctrica	Motor Мощность двигателя Moteur Motor	Class Класс Classe Clase	Operation Модификация Fonctionnement
	kW кВт	kcal/hx1000 ккал/час x 1000	kW кВт	kcal/hx1000 ккал/час x 1000					
LU 350.1 Low NOx	350	301	100	126,42	17 ÷ 500	230	0,3	3	P-P AB-PR
LU 400.1	400	345	100	126,42	18 ÷ 500	230	0,3	2	P-P AB-PR
LU 500.1 Low NOx	500	430	230	197,8	17 ÷ 500	230/400	0,55	3	P AB-PR-MD
LU 500.1	500	430	180	155,2	15 ÷ 500	230/400	0,55	2	P AB-PR-MD
.U 700.1 Low NOx	700	602	270	232,2	15 ÷ 500	230/400	0,74	3	P AB-PR-MD
.U 700.1	700	602	225	194	15 ÷ 500	230/400	0,74	2	P AB-PR-MD
.U 1000.1 Low NOx	875	752,5	280	240,8	30 ÷ 500	230/400	1,1	3	P AB-PR-MD
.U 1000.1	970	836,2	245	211,2	25 ÷ 500	230/400	1,1	2	P AB-PR-MD
.U 1200.1 Low NOx	1.100	946	290	249,4	20 ÷ 600	230/400	2,2	3	P AB-PR-MD
.U 1200.1	1.200	1034,5	260	224,14	25 ÷ 600	230/400	2,2	2	P AB-PR-MD
.U 1500.1 Low NOx	1.550	1336,2	300	259	30 ÷ 700	230/400	3	3	P AB-PR-MD
.U 1700.1	1.770	1.526	342	295	20 ÷ 700	230/400	3	2	P AB-PR-MD
.U 2000.1	2.150	1.853,45	414	356,9	23 ÷ 700	230/400	4	2	P AB-PR-MD

Fuel : Natural Gas (L.C.V. 8.570 kcal/Nm³), LPG (L.C.V. 22.260 kcal/Nm³)  
 Combustible : Gaz Naturel (L.C.V. 8.570 kcal/Nm³), LPG (L.C.V. 22.260 kcal/Nm³)

Вид топлива : Природный газ (нижняя теплота сгорания. 8.570 ккал/Нм³),  
 Combustible : Gas Natural (L.C.V. 8.570 kcal/Nm³), GPL (L.C.V. 22.260 kcal/Nm³)

# WORKING FIELDS / РАБОЧИЙ ДИАПАЗОН / COURBES DE TRAVAIL / CURVAS DE TRABAJO



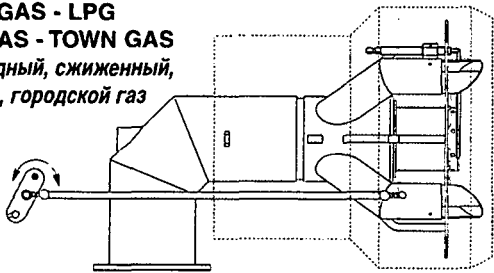
## TECHNICAL DATA / ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ / DONNEES TECHNIQUES / DATOS TECNICOS

MODELS МОДЕЛИ MODELES MODELOS	Output Тепловая мощность Puissance calorifique Potencia térmica max./макс.		Output Тепловая мощность Puissance calorifique Potencia térmica min./мин.		Gas pressure Давление газа Pression gaz Presión gas min./макс. мин./макс.	Power supply Электропитание Tension Tensión eléctrica	Motor Мощность двигателя Moteur Motor	Class Класс Classe Clase	Operation Модификация Fonctionnement Funcionamiento
	kW кВт	kcal/hx1000 ккал/час x 1000	kW кВт	kcal/hx1000 ккал/час x 1000					
BLU 3000.1	3.000	2.586	630	543,1	22 ÷ 700	230/400	5,5	2	PR-MD
BLU 4000.1	3.900	3.362	875	754,3	30 ÷ 700	230/400	7,5	2	PR-MD
BLU 5000.1	5.000	4.310	1.200	1.034,5	35 ÷ 700	230/400	11	2	PR-MD
BLU 6000.1	5.800	5.000	1.500	1.290	50 ÷ 700	230/400	15	2	PR-MD
BLU 7000.1	7.500	6.465	1.500	1.290	60 ÷ 700	230/400	15	2	PR-MD
BLU 8000.1	8.500	7.327,5	2.000	1.724	85 ÷ 700	230/400	18,5	2	PR-MD
BLU 10000.1	10.500	9.052	2.500	2.155	115 ÷ 700	230/400	22	2	PR-MD
BLU 12000.1	13.000	11.207	2.700	2.327,6	160 ÷ 700	230/400	37	2	PR-MD
BLU 15000.1	15.000	12.931	3.690	3.181	125 ÷ 700	230/400	45	2	PR-MD
BLU 18000.1	17.000	14.655	4.000	3.448,27	175 ÷ 700	230/400	55	2	PR-MD

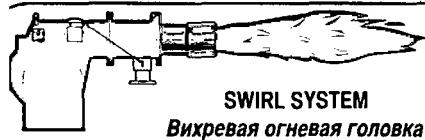
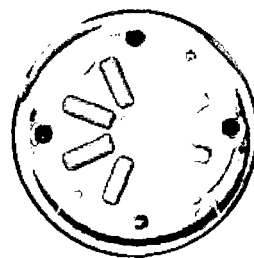
Fuel : Natural Gas (L.C.V. 8.570 kcal/Nm³), LPG (L.C.V. 22.260 kcal/Nm³)  
Combustible : Gaz Naturel (L.C.V. 8.570 kcal/Nm³), LPG (L.C.V. 22.260 kcal/Nm³)

Вид топлива : Природный газ (нижняя теплота сгорания, 8.570 ккал/Нм³),  
Combustible : Gas Natural (L.C.V. 8.570 kcal/Nm³), GPL (L.C.V. 22.260 kcal/Nm³)

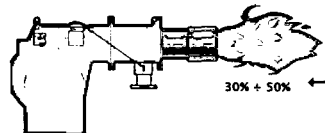
**GAS - LPG**  
**BIOGAS - TOWN GAS**  
 природный, сжиженный,  
 био, городской газ



- PR - MD version with mechanical movable head and turndown of 1:5.
- С РЕГУЛИРУЕМЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ ОГНЕВОЙ ГОЛОВКИ (КОЭФФИЦИЕНТ РАБОЧЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ 1:5).
- PR - MD version avec tête de combustion à position variable et rapport de modulation de 1:5.
- PR - MD versión con cabeza de combustion movil con ratio de 1 :5.



**SWIRL SYSTEM**  
 Вихревая огневая головка

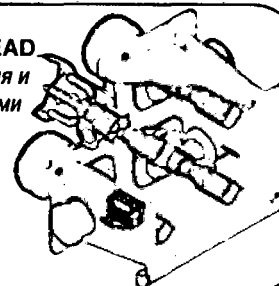


**CUSTOMISED SOLUTIONS**  
 Индивидуальные решения

- Tailored solution of flame shape.
- Горелки с изменяемой геометрией факела.
- Solusion de flamme a geometrie variable.
- Soluciones con llama a geometría variable.

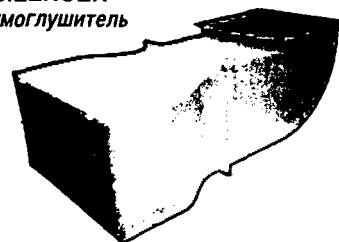
**MULTIPLE HEAD**

Горелки с двумя и более огневыми головками.



Housing Отливка Volute Fusion	Models МОДЕЛИ Modelos	Code код Code Código	Option доп. комплектация Option Opcional	To be Included ВКЛЮЧЕНО A Ajouter A incluir
FUS180	Blu 350.1 – 400.1	GRSIL180	•	-
FUS260	Blu 500.1 – 1200.1	GRSIL260	•	-
FUS280	Blu 1500.1 – 2000.1	GRSIL280	•	-
FUS320	Blu 3000.1 – 4000.1	GRSIL320	•	Reccomended
FUS380	Blu 5000.1 – 6000.1	GRSIL380	•	Reccomended
FUS630	Blu 7000.1 – 12000.1	GRSIL630	•	Reccomended
FUS710	Blu 15000.1 – 18000.1	GRSIL710	•	Reccomended

**SILENCER**  
 Шумоглушитель



**MAX TURNDOWN WITH LMV 51 1÷6 / MAX TURNDOWN WITH LMV 52 AND INVERTER 1÷8**

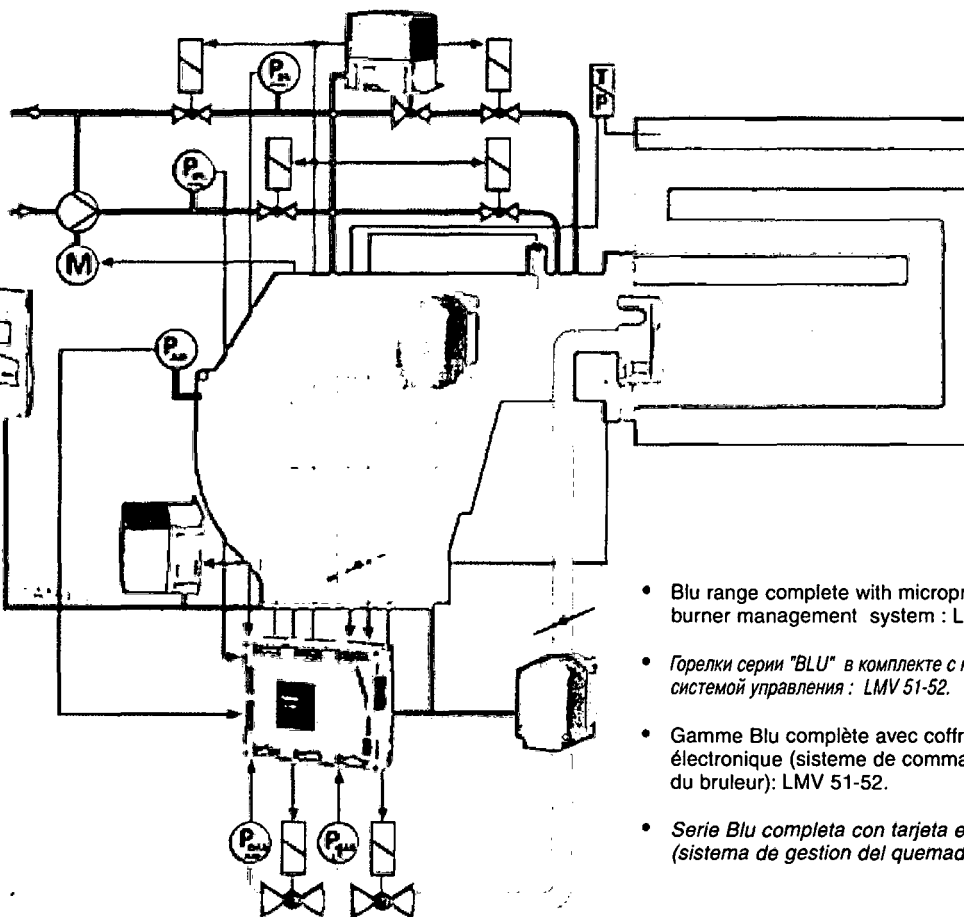
**52 options:**

module = Inverter.

trim - Oxygen control.

ый блок LMV 52 включает в

блок = инвертор - привод с  
 ленной скоростью (контроль  
 зростью вентилятора);  
 it - блок регулировки O2  
 золь содержания кислорода).



- Blu range complete with microprocessor base burner management system : LMV 51-52.
- Горелки серии "BLU" в комплекте с микропроцессорной системой управления : LMV 51-52.
- Gamme Blu complète avec coffret de sécurité électronique (système de commande du bruleur): LMV 51-52.
- Serie Blu completa con tarjeta electronica (sistema de gestion del quemador): LMV 51-52.

# GAS TRAIN / ГАЗОВЫЕ РАМПЫ / RAMPE GAZ / RAMPA DE GAS

Models Модели Modelos	Gas train Газовые ramпы Rampe gaz Rampa de gas	Gas governor & Filter Стабилизатор давления Régulateur de pression Regulador de presión	Pressure Давление газа Pression Presión Gas			Leakage control Устройство контроля герметичности Dispositif contrôle étanchéité Control de estanqueidad	
			LPG				EN676
			min/мин.	min/мин.	max/макс.		
Blu 350.1 Low NOx (to complete with Max Gas gas train)	MB(ZR)DLE 415	included-включено	-	17	360	-	
	MB(ZR)DLE 412	included-включено	-	24	360	-	
	MB(ZR)DLE 410	included-включено	-	40	360	-	
	MB(ZR)DLE 407	included-включено	40	60	360	-	
	VQ 425	FSDC / FSDR 1"	-	55	200 / 500	-	
	VQ 420	FSDC / FSDR 1"	45	70	200 / 500	-	
	VQ 420	FSDC / FSDR 3/4"	55	100	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 1"1/2"	-	18	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 507	FSDC / FSDR 1"	40	70	200 / 500	-	
Blu 400.1 (to complete with Max Gas gas train)	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 1"1/2"	-	20	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 507	FSDC / FSDR 1"	40	85	200 / 500	-	
	MB(ZR)DLE 415	included-включено	-	18	360	-	
	MB(ZR)DLE 412	included-включено	-	27	360	-	
	MB(ZR)DLE 410	included-включено	-	45	360	-	
	MB(ZR)DLE 407	included-включено	40	70	360	-	
	VQ 425	FSDC / FSDR 1"	-	70	200 / 500	-	
	VQ 420	FSDC / FSDR 1"	45	90	200 / 500	-	
	VQ 420	FSDC / FSDR 3/4"	55	120	200 / 500	-	
Blu 500.1 Blu 500.1 Low NOx	MBDLE 415	included-включено	-	17	360	-	
	MBDLE 412	included-включено	-	30	360	-	
	MBDLE 410	included-включено	25 (500.1)	50	360	-	
	MBDLE 407	included-включено	45 (500.1)	85	360	-	
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 1"1/2"	-	20	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 1"	-	70	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 507	FSDC / FSDR 1"	45 (500.1)	120	200 / 500	-	
Blu 700.1 Blu 700.1 Low NOx	MBDLE 420	included-включено	-	17	360	-	
	MBDLE 415	included-включено	-	25	360	-	
	MBDLE 412	included-включено	25 (700.1)	45	360	-	
	MBDLE 410	included-включено	40 (700.1)	75	360	-	
	SVDLE + SV 520	FSDC / FSDR 2"	-	15	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 1"1/2"	15 (700.1)	35	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 507	FSDC / FSDR 1"1/2"	-	140	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 507	FSDC / FSDR 1"	-	230	500	-	
Blu 1000.1 Low NOx	MBDLE 420	included-включено	-	35	360	-	
	MBDLE 415	included-включено	25	40	360	-	
	MBDLE 412	included-включено	40	75	360	-	
	SVDLE + SV 520	FSDC / FSDR 2"	-	30	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 2"	-	50	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 1"1/2"	30	65	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 507	FSDC / FSDR 1"1/2"	-	280	500	-	
	SVDLE + SV 507	FSDC / FSDR 1"1/2"	-	280	500	-	
Blu 1000.1	MBDLE 420	included-включено	-	27	360	-	
	MBDLE 415	included-включено	25	35	360	-	
	MBDLE 412	included-включено	40	75	360	-	
	SVDLE + SV 520	FSDC / FSDR 2"	-	25	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 2"	-	50	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 1"1/2"	30	60	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 507	FSDC / FSDR 1"1/2"	-	280	500	-	
Blu 1200.1 Low NOx	VGD 20.503	Filter 2"	-	20	600	-	
	MBDLE 420	included-включено	-	35	360	-	
	MBDLE 415	included-включено	30	45	360	-	
	MBDLE 412	included-включено	50	85	360	-	
	SVDLE + SV 520	FSDC / FSDR 2"	-	30	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 2"	-	55	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 1"1/2"	40	75	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 1"1/2"	-	75	200 / 500	-	
Blu 1200.1	VGD 20.503	Filter 2"	-	25	600	-	
	SVDLE + SV 520	FSDC / FSDR 2"	-	40	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 2"	-	75	200 / 500	-	
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 1"1/2"	40	100	200 / 500	-	
	MBDLE 420	included-включено	-	40	360	-	
	MBDLE 415	included-включено	30	50	360	-	
	MBDLE 412	included-включено	50	100	360	-	
Blu 1500.1 Low NOx	VGD 40.065	Filter DN 65	-	30	700	VPS	
	VGD 20.503	Filter 2"	-	40	600	VPS	
	MBDLE 420	included-включено	-	54	360	VPS	
	MBDLE 415	included-включено	45	67	360	VPS	
	MBDLE 412	included-включено	50	100	360	-	
	SVDLE + SV 520	FSDC / FSDR 2"	-	60	200 / 500	VPS	
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 2"	-	110	200 / 500	VPS	
SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 1"1/2"	65	150	200 / 500	VPS		

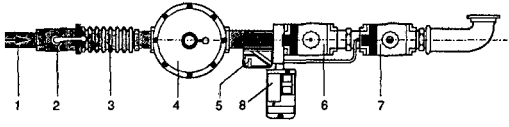
## GAS TRAIN / ГАЗОВЫЕ РАМПЫ / RAMPE GAZ / RAMPA DE GA

Models Модели Modeles Modelos	Gas train Газовые ramпы Rampe gaz Rampa de gas	Gas governor & Filter Стабилизатор давления Régulateur de pression Regulador de presión	Pressure Давление газа Pression Presión Gas			Leakage control Устройство контроля герметичности Dispositif contrôle étanchéité Control de estanqueidad
			LPG min/мин.	min/мин.	max/макс.	
Blu 1700.1	VGD 40.080	Filter DN 80	-	20	700	VPS
	VGD 40.065	Filter DN 65	-	30	700	VPS
	VGD 20.503	Filter 2"	-	45	600	VPS
	SVDLE + SV 520	FSDC / FSDR 2"	35	70	200 / 500	VPS
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 2"	-	130	200 / 500	VPS
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 1"1/2"	70	180	200 / 500	VPS
	MBDLE 420	included-включено	35	60	360	VPS
	MBDLE 415	included-включено	45	85	360	VPS
Blu 2000.1	VGD 40.080	Filter DN 80	-	23	700	VPS
	VGD 40.065	Filter DN 65	-	35	700	VPS
	VGD 20.503	Filter 2"	-	60	600	VPS
	SVDLE + SV 520	FSDC / FSDR 2"	45	100	200 / 500	VPS
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 2"	-	190	200 / 500	VPS
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 1"1/2"	100	260	500	VPS
	MBDLE 420	included-включено	45	75	360	VPS
	MBDLE 415	included-включено	55	100	360	VPS
Blu 3000.1	VGD 40.100	Filter DN 100	-	22	700	VDK
	VGD 40.080	Filter DN 80	-	35	700	VPS
	VGD 40.065	Filter DN 65	-	55	700	VPS
	VGD 20.503	Filter 2"	45	100	600	VPS
	SVDLE + SV 520	FSDC / FSDR 2"	-	170	200 / 500	VPS
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 1"1/2"	185	-	500	VPS
	VGD 40.100	Filter DN 100	-	30	700	VDK
	VGD 40.080	Filter DN 80	-	50	700	VPS
Blu 4000.1	VGD 40.065	Filter DN 65	-	90	700	VPS
	VGD 20.503	Filter 2"	70	170	600	VPS
	SVDLE + SV 520	FSDR2"	-	300	500	VPS
	SVDLE + SV 512	FSDC / FSDR 2"	230	-	200 / 500	VPS
	VGD 40.125	Filter DN 125	-	35	700	VDK
	VGD 40.100	Filter DN 100	-	45	700	VDK
	VGD 40.080	Filter DN 80	-	75	700	VPS
	VGD 40.065	Filter DN 65	65	140	600	VPS
Blu 5000.1	VGD 20.503	Filter 2"	-	250	600	VPS
	SVDLE + SV 520	FSDC / FSDR 2"	180	-	200 / 500	VPS
	VGD 40.125	Filter DN 125	-	50	700	VDK
	VGD 40.120	Filter DN 100	-	60	700	VDK
	VGD 40.080	Filter DN 80	-	100	700	VPS
	VGD 40.065	Filter DN 65	90	180	600	VPS
	VGD 20.503	Filter 2"	-	340	600	VPS
	SVDLE + SV 520	FSDC / FSDR 2"1/2	170	-	200 / 500	VPS
Blu 7000.1	VGD 40.125	Filter DN 125	-	60	700	VDK
	VGD 40.100	Filter DN 100	-	75	700	VDK
	VGD 40.080	Filter DN 80	-	140	700	VPS
	VGD 40.065	Filter DN 65	125	280	700	VPS
	VGD 40.125	Filter DN 125	-	85	700	VDK
	VGD 40.100	Filter DN 100	-	110	700	VDK
	VGD 40.080	Filter DN 80	-	210	700	VPS
	VGD 40.065	Filter DN 65	185	410	700	VPS
Blu 10000.1	VGD 40.125	Filter DN 125	-	115	700	VDK
	VGD 40.100	Filter DN 100	110	165	700	VDK
	VGD 40.080	Filter DN 80	-	290	700	VPS
	VGD 40.065	Filter DN 65	250	550	700	VPS
	VGD 40.150	Filter DN 150	-	160	700	VDK
	VGD 40.125	Filter DN 125	-	175	700	VDK
	VGD 40.100	Filter DN 100	160	230	700	VDK
	VGD 40.080	Filter DN 80	230	420	700	VPS
Blu 15000.1	VGD 40.150	Filter DN 150	-	125	700	VDK
	VGD 40.125	Filter DN 125	-	150	700	VDK
	VGD 40.100	Filter DN 100	135	230	700	VDK
	VGD 40.080	Filter DN 80	225	450	700	VPS
	VGD 40.150	Filter DN 150	-	175	700	VDK
	VGD 40.125	Filter DN 125	-	210	700	VDK
	VGD 40.100	Filter DN 100	190	330	700	VDK
	VGD 40.080	Filter DN 80	325	-	700	VPS

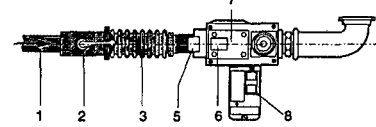


# GAS TRAIN / ГАЗОВЫЕ РАМПЫ / RAMPE GAZ / RAMPA DE GAS

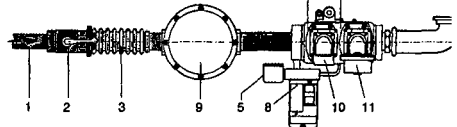
## Dungs SV-SVDLE



## Dungs MB-MBDLE



## Landis VGD...



- To be supplied by the installer.
- Не входит в стандартную комплектацию.
- L'installation doit être effectuée conformément aux réglementations locales.
- Accesorios a suministrar por el instalador.

1 - Main gas pipe	• Газопровод	• Tuyauterie gaz de réseau	• Tubo de gas
2 - Ball valve	• Шаровый кран	• Vanne d'arrêt	• Valvula de corte
3 - Antivibration coupling	• Антивибрационная вставка	• Manchon antivibration	• Junta antivibración
4 - Gas governor	• Стабилизатор давления	• Régulateur de pression	• Regulador de presión
5 - Gas pressure switch	• Реле мин. давления газа	• Pressostat gaz	• Presostato gas
6 - Safety gas valve	• Предохранительный клапан	• Vanne de sécurité	• Válvula de seguridad
7 - Working gas valve	• Рабочий газовый клапан	• Vanne de réglage	• Válvula de trabajo
8 - Leakage control	• Устройство контроля герметичности	• Dispositif contrôle étanchéité	• Control de estanqueidad
9 - Gas filter	• Газовый фильтр	• Filtre gaz	• Filtro gas
10 - Actuator	• Привод	• Actuateur	• Actuador
11 - Actuator	• Привод	• Actuateur	• Actuador

### HOW TO CALCULATE THE OVERALL DIMENSIONS OF BURNER COMPLETE WITH THE MATCHING GAS TRAIN

In order to calculate the overall dimensions of the burner complete with gas train, you have to consider value "N" and "V" indicated in the burner leaflet and the dimension of the matching gas train choosen, according to the inlet gas pressure available in the gas train leaflet.

### КАК РАССЧИТАТЬ ОБЩИЕ ГАБАРИТНЫЕ РАЗМЕРЫ ГОРЕЛКИ ВМЕСТЕ С ГАЗОВОЙ РАМПОЙ

Для расчета общих габаритных размеров горелки вместе с газовой рампо возьмите размеры "N" и "V", указанные в документации на горелку, размеры соответствующей газовой рампы, приведенные в таблиц сочетаний горелок и рампы, содержащейся в каталоге газовых рампы.

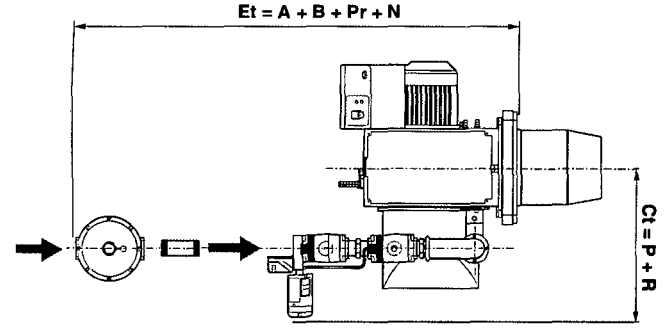
### COMMENT CALCULER LES DIMENSIONS DES BRULEURS AVEC LES RAMPES DE GAZ

Pour calculer les dimensions du brûleurs avec la rampe gaz, faut considerer les valeurs "N" et "V" indiquées sur le catalogue du brûleur et les dimensions de la rampe gaz choisie en accord avec la pression disponible qui est possible de trouver sur le catalogue des rampes gaz.

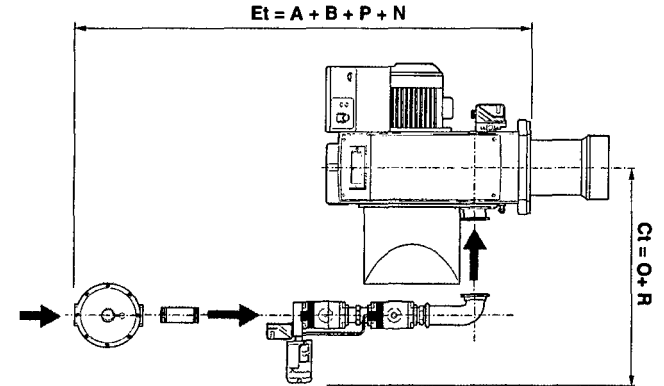
### • COMO CALCULAR LAS DIMENSIONES TOTALES DEL QUEMADORY LA RAMPA DE GAS CORRESPONDIENTES

Para calcular las dimensiones totales del quemador con el circuito de gas, se necesita tener en cuenta los valores N y V que se indican en el libro de instrucciones del quemador; las dimensiones del correspondiente circuito de gas elegido en base a la tabla de presiones disponible en el libro de instrucciones del circuito de gas.

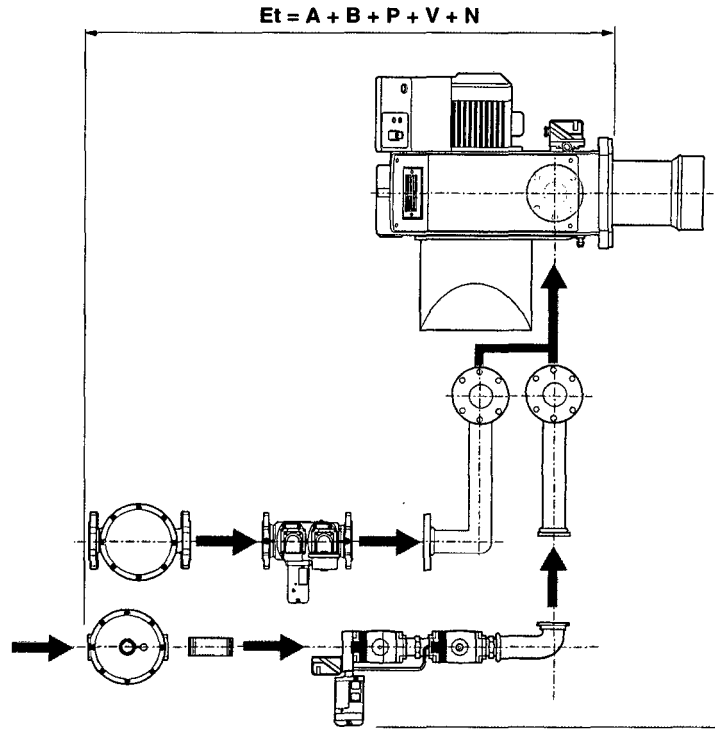
#### Blu 350.1 - 400.1



#### Blu 500.1 - 1500.1

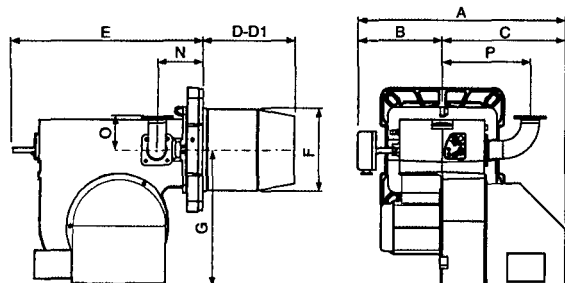


#### Blu 1700.1 - 18000.1 (connection pipe included)

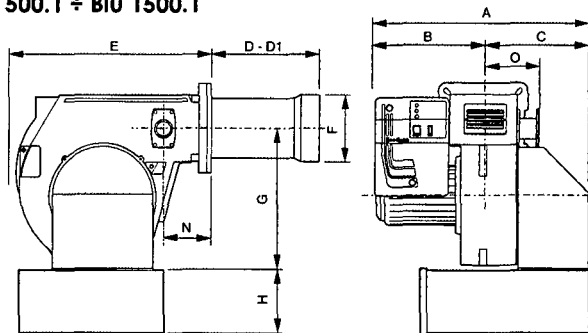


# . DIMENSIONS / РАЗМЕРЫ / DIMENSIONS / DIMENSIONES

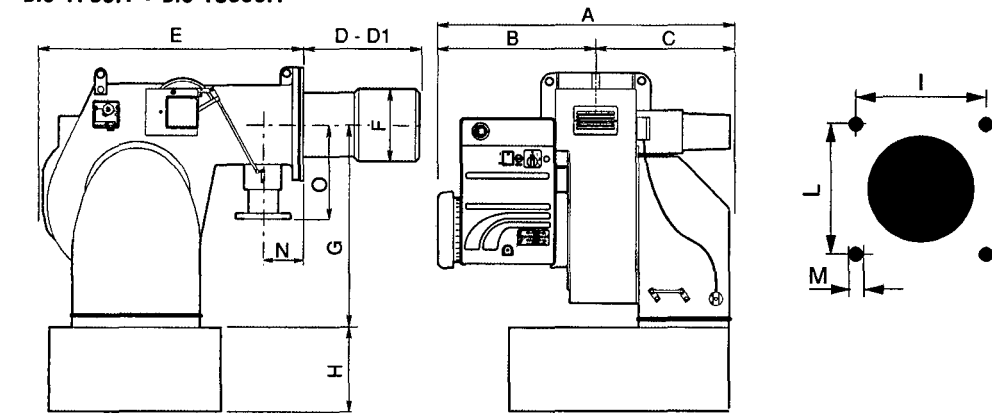
Blu 350.1 ÷ Blu 400.1



Blu 500.1 ÷ Blu 1500.1



Blu 1700.1 ÷ Blu 18000.1



**A B C D D1 E F G I L M N O P**

375	160	215	155	290	370	162	275	190	190	M8	88	65	170
375	160	215	175	310	370	162	275	190	190	M8	88	65	170

Dimensions refers to the burner without gas train / Указаны размеры горелок без газовых рам  
Dimensions sans la rampe gaz / Las dimensiones se refieren a los quemadores sin circuito de gas

**A B C D D1 E F G H I L M N O**

<b>500.1</b>	650	330	320	175	335	555	160	385	225*	190	190	M10	140	165
<b>500.1 Low NOx</b>	650	330	320	175	335	555	160	385	225*	190	190	M10	140	165
<b>700.1</b>	650	330	320	175	395	555	180	385	225*	190	190	M10	140	165
<b>700.1 Low NOx</b>	650	330	320	175	395	555	170	385	225*	190	190	M10	140	165
<b>1000.1</b>	650	330	320	175	395	555	190	385	225*	190	190	M10	140	165
<b>1000.1 Low NOx</b>	650	330	320	175	395	555	190	385	225*	190	190	M10	140	165
<b>1200.1</b>	670	350	320	310	460	555	215	385	225*	190	190	M10	140	165
<b>1200.1 Low NOx</b>	670	350	320	310	460	555	200	385	225*	190	190	M10	140	165
<b>1500.1 Low NOx</b>	710	385	325	340	540	680	200	398	283*	240	240	M14	140	190
<b>1700.1</b>	710	385	325	340	540	680	250	398	283*	240	240	M14	125	250
<b>2000.1</b>	730	405	325	345	545	680	270	398	283*	240	240	M14	125	250
<b>3000.1</b>	941	448	493	330	530	780	290	466	280	315	315	M16	195	250
<b>4000.1</b>	941	448	493	365	565	780	320	466	280	315	315	M16	195	250
<b>5000.1</b>	1019	495	524	375	575	970	320	565	400	330	330	M16	195	250
<b>6000.1</b>	1069	545	524	375	575	970	320	565	400	330	330	M16	195	250
<b>7000.1</b>	1210	585	625	470	-	1212	420	800	500	460	460	M20	195	232
<b>8000.1</b>	1280	655	625	470	-	1212	420	800	500	460	460	M20	195	232
<b>10000.1</b>	1310	685	625	470	-	1212	420	800	500	460	460	M20	195	232
<b>12000.1</b>	1420	795	625	470	-	1212	450	800	500	460	460	M20	195	232
<b>15000.1</b>	1670	800	870	590	-	1750	550	1100	500	620	620	M20	210	320
<b>18000.1</b>	1670	800	870	590	-	1750	550	1100	500	620	620	M20	210	320

Dimensions refers to the burner without gas train / Указаны размеры горелок без газовых рам  
Dimensions sans la rampe gaz / Las dimensiones se refieren a los quemadores sin circuito de gas

\* short head / \* короткая огневая головка / \* tête courte / \* cabeza corta

= long head / = длинная огневая головка / = tête longue / = cabeza larga

: optional silencer / \* шумоглушитель в комплект поставки не включен / \* silencieux en option / \* silenciador opcional

mm / \* Размеры в мм / \* Dimensions (mm) / \* Dimensiones (mm)



FB-Blu

te: 03-03-2008



# Ecoflam

**Ecoflam Bruciatori S.p.A.**

via Roma, 64 - 31023 RESANA (TV) - Italy

tel. +39 0423.719500 - fax +39 0423.719580

<http://www.ecoflam-burners.com>

e-mail: [export@ecoflam-burners.com](mailto:export@ecoflam-burners.com)

"società soggetta alla direzione e al coordinamento della Merloni Termosanitari S.p.A.,  
via A. Merloni, 45 - 60044 Fabriano (An) CF 01026940427"



• Ecoflam Bruciatori S.p.A. RESERVES THE RIGHT TO MAKE ANY ADJUSTMENTS, WITHOUT PRIOR NOTICE, WHICH IT CONSIDER NECESSARY OR USEFUL TO ITS PRODUCTS, WITHOUT AFFECTING THEIR MAIN FEATURES.

• "Ecoflam Bruciatori S.p.A." оставляет за собой право вносить в конструкцию оборудования любые необходимые изменения без особого предупреждения.

• LA MAISON Ecoflam Bruciatori S.p.A. SE RÉSERVE LE DROIT D'APPORTER LES MODIFICATIONS QU'ELLE JUGERA NÉCESSAIRES OU UTILES À SES PRODUITS SANS POUR AUTANT NUIRE À LEURS CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES.

• Ecoflam Bruciatori S.p.A. SE RESERVA EL DERECHO A INTRODUCIR EN SUS PRODUCTOS TODAS LAS MODIFICACIONES QUE CONSIDERE NECESARIAS O UTILES, SIN PERJUDICAR SUS CARACTERISTICAS.

## **ANEXO N° 08 RESEÑA TECNOLOGIA DE CAMIONES CRIOGENICOS**

# → **Logística Criogenia** **Cryogenic Logistic**

- 9 Cisterna criogénica**  
Cryogenic tankers
- 12 Cisterna aislada con poliuretano para CO<sub>2</sub>**  
CO<sub>2</sub> Polyurethane isolated tanker
- 14 Cisterna aislada con poliuretano**  
Polyurethane isolated tanker
- 16 Depósitos criogénicos**  
Cryogenic Storage tanks
- 18 Contenedores criogénicos**  
Cryogenic container tanks
- 20 Cisterna criogénica sobre camión**  
Cryogenic truck
- 22 Proyectos personalizados de gasificación**  
Personalized gasification projects
- 24 Licuación a pequeña escala de GNL**  
LNG Small plants



# Cisterna criogénica

## Datos básicos

Producto a transportar:	Homologado para LIN-LOX-LAR-GNL Optimizado para GNL
Normativa:	ADR / TPED / DOT / IMO (opcional)
Volumen total nominal:	50.000 - 54.000 lts
Tipo:	Semitrailer
Dimensiones:	Diámetro exterior: 2.480 - 2.545 mm Largo total: 14.000 mm Altura máxima: 3.900 mm
Tara aproximada:	12.600 - 14.250 kg
Tractora considerada:	6.800 - 8.250 kg
Capacidad de producto:	20.600 - 21.500 kg

## Depósito interior

Material:	Acero inoxidable
Presión máxima de servicio:	3 - 7 bar
Temp. de diseño:	- 196°C
Aislamiento:	Vacío + perlita Vacío + perlita + lana mineral criogénica
Válvulas de seguridad:	Según código

## Depósito exterior

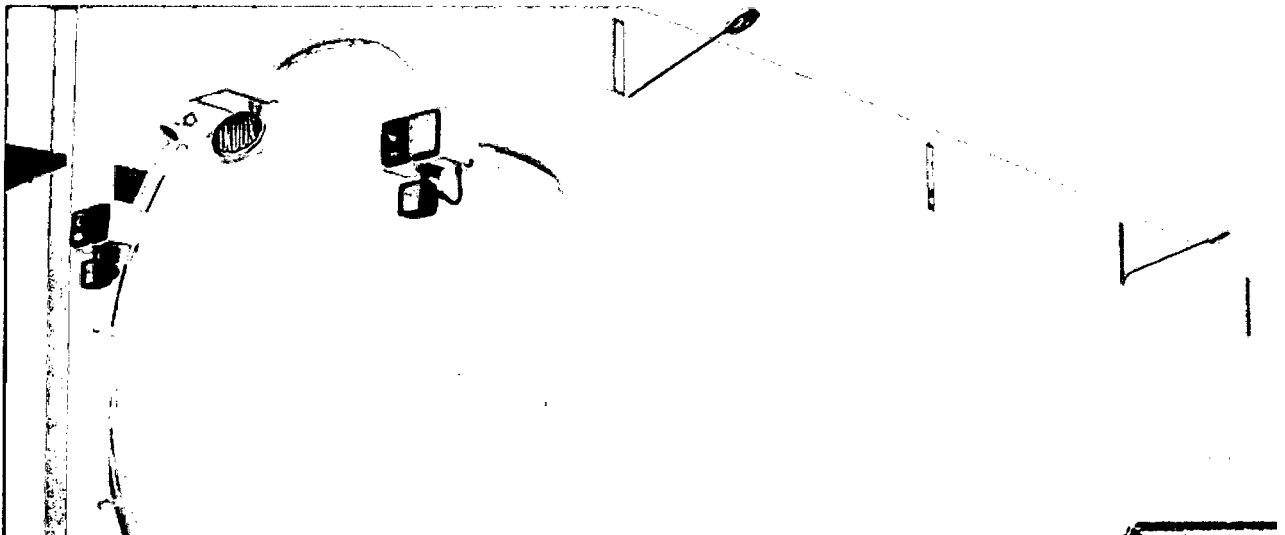
Material:	Acero al carbono / Acero inoxidable
Acabado:	Según cliente

## Sistema de trasvase

Carga / descarga por diferencia de presión  
Autocarga por bomba  
Carga / descarga por bomba  
Circuito de enfriamiento de bomba  
Circuito de presurización  
Circuito de presurización externo (opcional)  
Armario en posición central o posterior  
Accionamiento de la bomba hidráulico o eléctrico

## Sistemas de seguridad

Sistema de alivio de presión interna  
Circuito de venteo manual  
Sistema de purga de mangueras  
Toma de tierra  
Sistema de control (nivel, presión, peso)  
Sistema de control del vacío de la cámara de aislam  
Sistema de máximo llenado  
Paros de emergencia  
Sistema de bloqueo de frenos durante descarga  
Sistema antivuelco  
Sistema de despresurización en caso de vuelco





# Cryogenic tanker

## Basic data

<b>Product to transport:</b>	Approved for LIN-LOX-LAR-LNG Optimized for LNG
<b>Regulation:</b>	ADR / TPED / DOT / IMO (optional)
<b>Nominal total volume:</b>	50.000 - 54.000 lts
<b>Type:</b>	Semitrailer
<b>Dimensions:</b>	<b>Outer diameter:</b> 2.480 - 2.545 mm <b>Total length:</b> 14.000 mm <b>Maximum height:</b> 3.900 mm
<b>Weight tare:</b>	12.600 - 14.250 kg
<b>Truck considered:</b>	6.800 - 8.250 kg
<b>Product capacity:</b>	20.600 - 21.500 kg

## Inner vessel

<b>Material:</b>	Stainless steel
<b>Maximum pressure service:</b>	3 - 7 bar
<b>Design temperature:</b>	- 196°C
<b>Isolation:</b>	Vacuum + perlite Vacuum + perlite + cryogenic mineral wool
<b>Security valves:</b>	According to code

## Outer vessel

<b>Material:</b>	Carbon steel / Stainless steel
<b>Finished:</b>	According to client

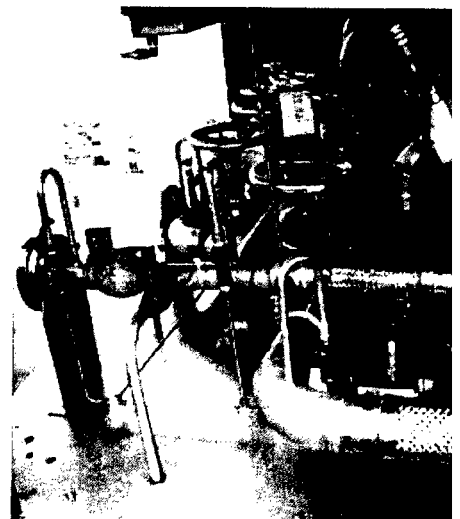
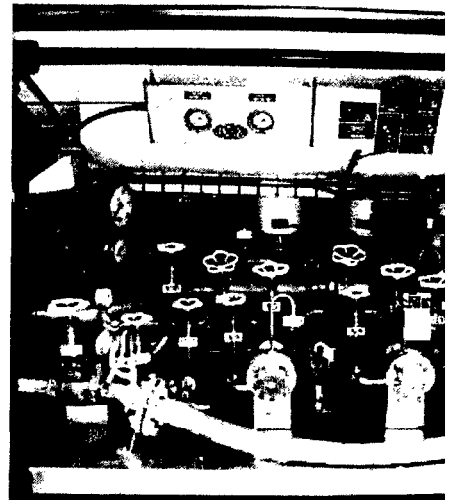
## Pumping system

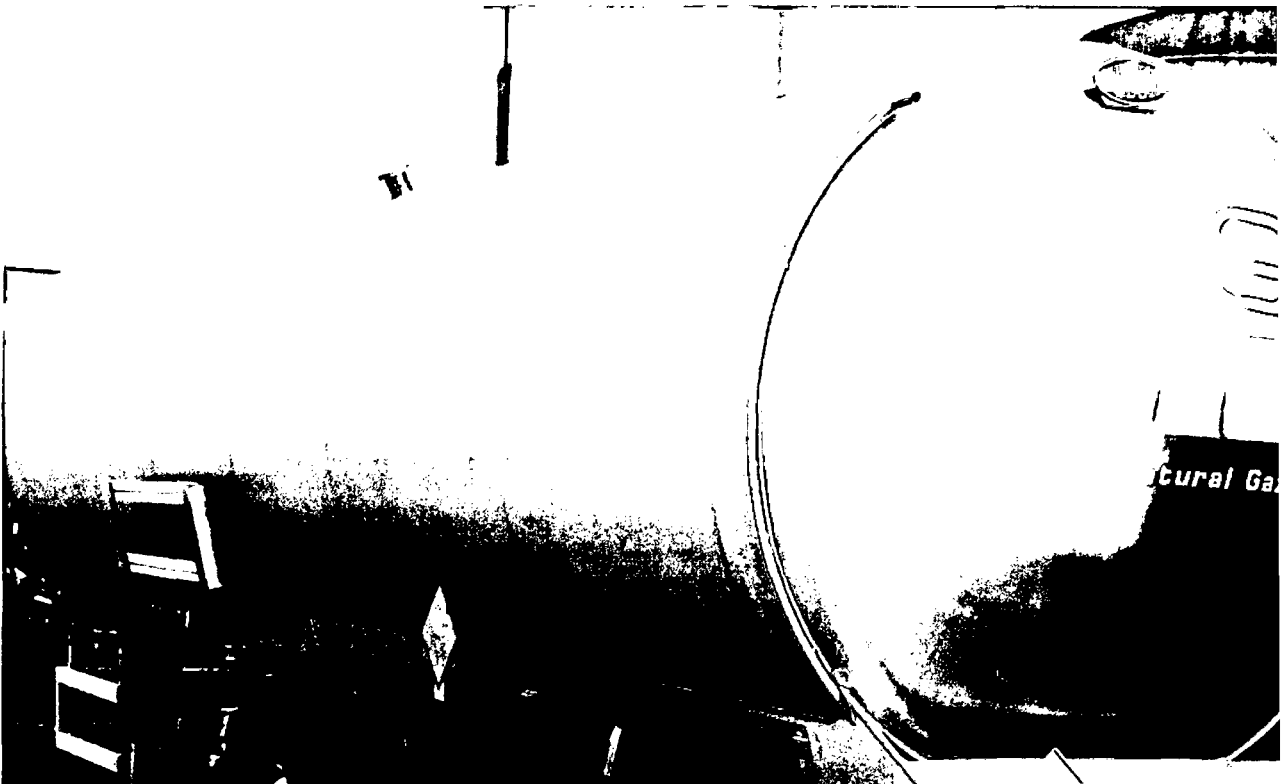
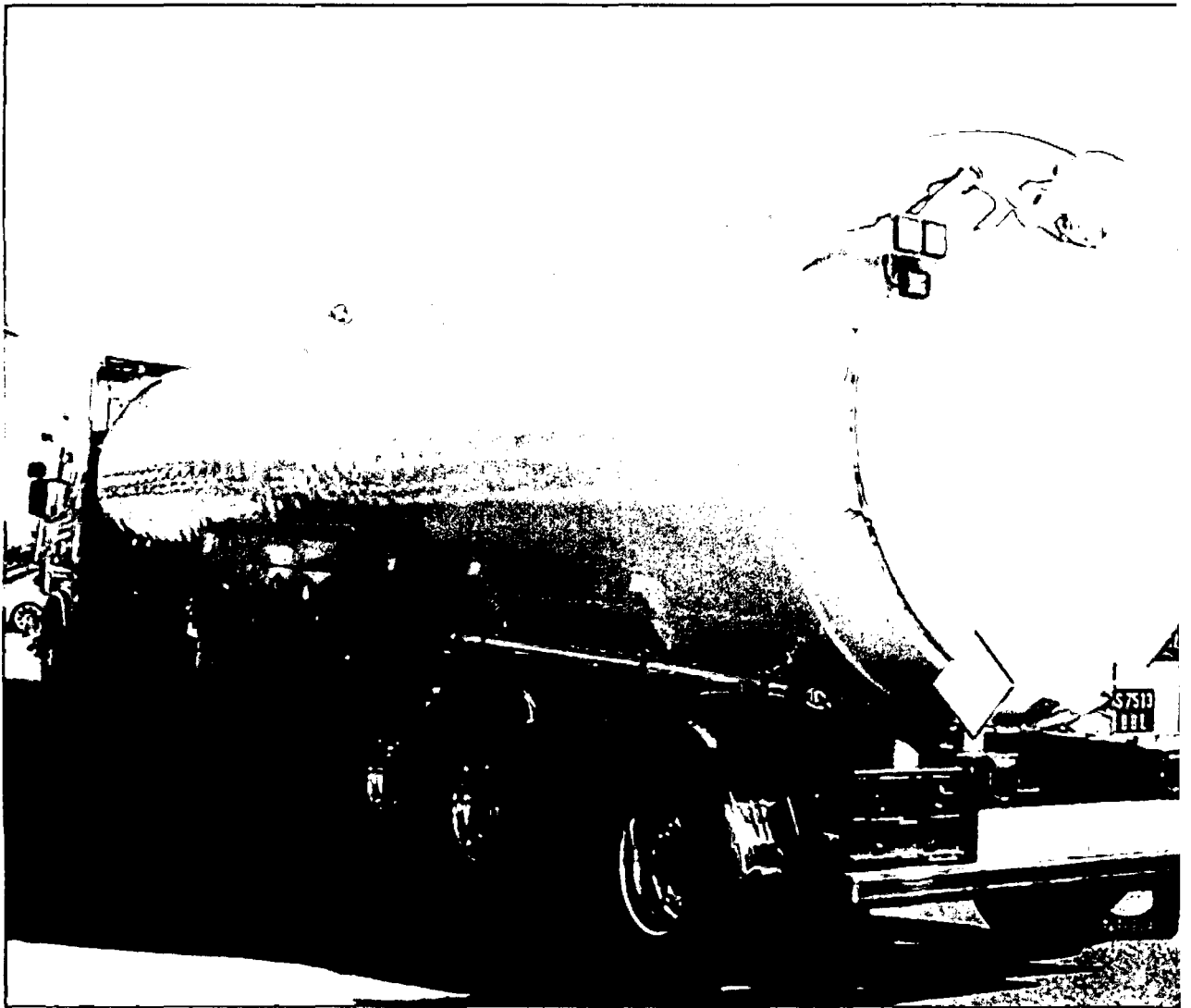
- Load / Unload by differential pressure
- Autofill with pump
- Load / Unload with pump
- Precooling pump circuit
- Pressurization circuit
- Outer pressurization circuit (optional)

- Central or rear position of the cabinet
- Hydraulic or electric driven pump

## Security systems

- Pressure relief system
- Manual venting circuit
- Hoses purge system
- Earthing point









*“Año de la Promoción de la Industria  
Responsable y del Compromiso Climático”*



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

OFICINA CENTRAL DE INVESTIGACIÓN

**“CATÁLOGO DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN - TIPRO”**

**Resolución N° 1562-2006-ANR**

## REGISTRO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### I. DATOS GENERALES (PRE GRADO):

- Universidad: **“UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA”**
- Escuela o Carrera Profesional: **INGENIERÍA EN ENERGÍA**
- Título del Trabajo: **“OPTIMIZACION DE LOS INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA PESQUERA RIBAUDO S.A. MEDIANTE EL USO DE GAS NATURAL LICUADO EN EL AREA DE CALDEROS ”**
- Área de Investigación: **APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS.**
- Autor(es):

DNI	Apellidos y Nombres
32989061	Barreto Lázaro Felix Eduardo
32983447	Castillo Quiñones Angel Fredy

- Título profesional a que conduce: **INGENIERO EN ENERGÍA**
- Año de aprobación de la sustentación: **2014**

## **II. CONTENIDO DEL RESUMEN**

- **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

¿En cuánto se puede optimizar los Indicadores de productividad de la Empresa pesquera Ribaudó S.A. mediante el uso de Gas Natural Licuado en el Área de Calderos?

- **OBJETIVOS.**

**OBJETIVO GENERAL.**

Optimizar los Indicadores de Productividad en la Empresa Pesquera Ribaudó S.A. mediante el uso de gas natural licuado en el Área de calderos.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Realizar un Balance de Energía en el Área de Calderos de la Empresa Pesquera Ribaudó S.A. en condiciones actuales de operación.
- Determinar el estado actual de las calderas para la reconversión a Gas Natural Licuado en la Empresa Pesquera Ribaudó S.A.
- Realizar un Balance de Energía en el Área de Calderos de la Empresa Pesquera Ribaudó S.A. en el estado actual y con abastecimiento de Gas Natural Licuado.
- Determinar las características de abastecimiento con Gas Natural Licuado a la empresa Pesquera Ribaudó S.A.
- Realizar un benchmarking energético comparando los indicadores de productividad actuales y usando gas natural en la Empresa Pesquera Ribaudó S.A.
- Evaluar la Rentabilidad Económica del uso de gas natural licuado en la empresa pesquera Ribaudó S.A.

- **HIPÓTESIS.**

**“Los Indicadores de Productividad de la Empresa Pesquera Ribaldo S.A. se optimizan en un 5% mediante el uso de gas natural licuado en el Área de Calderos”.**

- **BREVE REFERENCIAL AL MARCO TEÓRICO**

La Empresa Pesquera Ribaldo S.A de 42 Toneladas/hora de producción desarrolla sus actividades productivas desde el año 1989 en la localidad de Coishco, Provincia de Santa, Departamento de Ancash. Se dedica a la fabricación de harina de pescado del tipo prime a través de estrictos controles en el proceso de producción para asegurar la calidad de sus productos, es así como la mencionada empresa, se ha preocupado en construir modernos ambientes y dividirlos por zonas de producción para garantizar la calidad del producto, tal como lo es en su proceso de secado y evaporación.

Dentro de sus operaciones se tienen 05 calderos pirotubulares con una potencia instalada de 3,900 BHP que generan vapor saturado a 100 psi de presión, suministrando vapor saturado a los cocinadores rotativos y a los secadores indirectos de vapor .Para ello se consume Petróleo Residual 500 en los quemadores de los calderos.

Siendo el suministro de vapor saturado de vital importancia para el proceso productivo, y por otra parte las continuas alzas del petróleo residual R-500 aproximadamente en un 10% anual, sujeto a precios internacionales, ha provocado que el rendimiento específico que compara valores de producción de generación de vapor saturado entre galones de petróleo consumido sea muy bajo, encareciéndose los costos operativos de producción que son los costos variables y los costos fijos los cuales se reflejan en los Indicadores de productividad de la empresa (indicadores energéticos técnicos y los indicadores energéticos económicos).

Presentándose como alternativa de solución “la reconversión tecnológica de los quemadores de petróleo a gas natural” con el objetivo de optimizar los indicadores de producción en la Empresa Pesquera Ribaldo S.A.

- **CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES.**

### **CONCLUSIONES**

- Se realizó un balance de energía en el Área de Calderos de la Empresa Pesquera Ribaudó S.A , manteniéndose los Calderos 2 al 5 con eficiencias entre 84% a 84.79% , los cuales son valores adecuados y cercanos a los valores óptimos para Calderos Piro-tubulares que es de 85%. Así mismo el exceso de aire máximo es de 34%, con lo cual los equipos no necesitan un ajuste en su combustión, siendo el valor óptimo 30%. Y referente al Factor de Carga o Planta este se mantiene con un valor mínimo de 61.91% a 72.2%, quedando una fracción de los equipos como reserva más el Caldero 1 como equipo adicional en reserva fría, con lo cual está garantizado el abastecimiento de vapor en la Empresa.
- Se realizó el balance de energía en los Calderos Piro-tubulares operando con Gas natural Licuado manteniéndose los valores de 84% a 84.79%, verificándose el porcentaje de saturación de la cámara de combustión con gases de la combustión de 75.5% a 86.6% %, con lo cual la cámara de combustión no presenta peligro de saturar de gases y provocar rechazo de la llama o ahogamiento del equipo.
- Se debe contar con una planta satélite de GNL para la recepción del combustible que involucre una unidad de almacenamiento según la Norma UNE de 60 a 200 m<sup>3</sup> para almacenar un promedio de 108 m<sup>3</sup>, lo cual da una sostenibilidad al sistema de 2.68 días. Además para la Máxima Demanda de GNL que es de 1'339,489.88 m<sup>3</sup>/mes se debe contar con un total de 42 viajes mensuales, el precio del GNL se adquiere a un precio de 1.01 U\$/m<sup>3</sup>.
- Realizando un benchmarking energético entre los Indicadores de productividad, se tiene una mejora o reducción del 10.09% y de 10.35% para el Costo Variable de Generación de vapor y para el Indicador Energético Económico, validándose y superando la hipótesis planteada de solo una mejora del 5%.
- Se determinó la rentabilidad económica del consumo de GNL, con un VAN de 5'016,502.66 U\$ y una TIR de 85%, para una inversión de 800,040 U\$, la cual se considera aceptable.

## **RECOMENDACIONES**

- Es necesario realizar un estudio similar a las diversas unidades que conforman las Empresas de Harina de Pescado en la Provincia del Santa, con la finalidad de poder cuantificar la Máxima demanda de GNL y determinar las características de comercialización de este combustible como un cliente mayor.
- Es necesario realizar y promover charlas de capacitación en el cual se difunda las bondades tecnológicas del gas natural como combustible a ser utilizado en la Industria, así como en el sector residencial.
- Estando a inicios de la realización del Proyecto de Masificación del gas Natural en el Perú, es deber de las Universidades asumir el reto de realizar diplomados, cursos o eventos relacionados a este tema, para concientizar a la futura demanda.
- Un trabajo pendiente está relacionado a la posibilidad de realizar estudios para combustionar gas natural en secadores de fuego directo, ya en desuso , esta actividad estaría impulsada por las bajas emisiones gaseosas de CO<sub>2</sub> y CO por la combustión del gas natural.
- La Planta está en condiciones de poder realizar mejoras en las instalaciones de vapor teniendo en cuenta los ahorros efectuados por cambiar de Petróleo R500 a gas Natural, esto implicaría destinar sus propios ahorros en su misma instalación.

- **BIBLIOGRAFÍA.**

### **TEXTOS:**

[1] GAFFERT, G.A. "Centrales de Vapor". Editorial Reverte.7° Edición. 1981. 595 p.

ISBN 84-291-4830-2

[2] INDECOPI. "Norma Técnica de Evaluación de calderos Pirotubulares".1 ° Edición.

Perú. 2003. 40 p.

[3] LEIDENGER, Otto. "Procesos Industriales". Editorial Fondo Editorial PUCP. 1 °

Edición. Perú. 1997. 283 p.

ISBN 9972420787

[4] LLORENS MORRAJA. "Ingeniería Térmica ". Editorial marcombo. 1° edición.  
España. 2009. 339 p.

ISBN 8426715311

[5] OCAMPO, José. "Situaciones y perspectivas del Gas natural Licuado en América  
Latina". United Nations. 2008. 68 p.

ISBN 9213231768

[6] RODRÍGUEZ VIDAL, Carlos. "Regulación y control de un generador de vapor".  
Editorial Académica Española. 1° Edición, España 2009. 132 p.

ISBN 36-590395-00

[7] SOTO CRUZ, Juan. "Fundamentos de ahorro de energía". Editorial UAY. 1° Edición.  
México. 2005. 112 p.

ISBN 958-7558-25-9

[8] VARETTO, Raúl. "Conducción de generadores de vapor". Editorial Alsina de  
Buenos Aires. 1° Edición. Argentina.2012, 65 p.

ISBN 978-950-553-223-0.

#### **TESIS CONSULTADAS:**

[1] BALODANO Siccha, Michael angeló. "Estudio técnico económico para la  
implantación de gasocentros virtuales de GNV desde Lima A Chimbote". Tesis para  
optar el título de Ingeniero en Energía. Universidad nacional del Santa. Perú, 2011.  
180 p.

[2] CHAVEZ Ñahuinripa (2005) en su Tesis "Proyecto de conversión industrial al consumo  
de gas natural en una planta textil" Universidad Nacional de Ingeniería 2005. 193 P.

[3] LEPE Soto, Amílcar. "Modificación de un generador de vapor para alimentar  
directamente a un turbogenerador de 15000 KW del Ingenio Santa Ana". Tesis para  
optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala.  
2005.233 p.

[4] MEZA, Jair. "Evaluación del rendimiento de calderas convertidas a gas natural". Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad de los Andes. Colombia-6 p.

**PAGINAS WEB:**

[1] ARIAS Graziani, Luis. "Libro del Gas Natural". Aceros Arequipa. Perú. 2002. [Consulta: 28 de agosto 2013]. Disponible en:

<http://es.scribd.com/doc/32787914/El-Gas-Natural-Luis-Caceres-Graziani>

[2] CASTILLO Neira, Percy. "Manual de Combustión del Gas Natural". Perú. 2011. [Consulta: 27 de setiembre 2013]. Disponible en:

[http://www.combustionindustrial.com/MANUAL\\_PRACTICO\\_DE\\_COMBUSTION INDUSTRIAL.pdf](http://www.combustionindustrial.com/MANUAL_PRACTICO_DE_COMBUSTION INDUSTRIAL.pdf)

[3] CRYO ENERGY. "Cisternas Criogénicas". Argentina. 2014. [Consulta: 4 de febrero del 2014]. Disponible en:

<http://www.indox.com/es/productos/equipos/cisternas/cisterna-criogenica>

[4] EUROCOMBUSTION." Quemadores ECOFLAM BLU". México 2014. [Consulta: 12 de febrero del 2014]. Disponible en:

<http://www.eurocombustion.com/instalaciones.phtml>

[5] GNC ARGENTINA. "Gasoducto virtual". Argentina. 2011. [Consulta: 4 de setiembre 2013]. Disponible en:

<http://www.gnc.org.ar/downloads/Descripcion-SIMT.pdf>