

**ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO DEL USO DE SISTEMAS DE AIRE
PROPANADO EN PROYECTOS DE GAS DOMICILIARIO**

**NELSON FABIAN LIZCANO MENESES
CARLOS RODRIGO CALIXTO RODRIGUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
BUCARAMANGA
2004**

**ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO DEL USO DE SISTEMAS DE AIRE
PROPANADO EN PROYECTOS DE GAS DOMICILIARIO**

**NELSON FABIAN LIZCANO MENESES
CARLOS RODRIGO CALIXTO RODRIGUEZ**

**Proyecto de grado para optar al título de
Ingeniero de Petróleos**

**Director
NICOLAS SANTOS SANTOS, Msc.
Ingeniero de petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
BUCARAMANGA
2004**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	1
1. DESCRIPCION Y CARACTERIZACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES	3
1.1 Combustibles.	3
1.1.1 Combustibles gaseosos	3
1.1.1.1 Familias de los combustibles gaseosos.	4
1.1.1.2 Propiedades de combustibles gaseosos	5
1.1.2 Intercambiabilidad de combustibles Gaseosos.	10
1.2 Intercambiabilidad del Gas Natural con Aire Propanado	13
1.2.1 Gas natural.	14
1.2.2 Gas Licuado del Petróleo (GLP)	16
1.2.3 Aire.	19
1.3 Combustión Del Propano Con Aire.	20
1.3.1 Principios básicos de la combustión.	20
1.3.2 El Proceso de Combustión	21
1.3.3. Combustión del Propano	22
1.3.4 Combustión completa o perfecta del Propano.	23
1.3.4.1 Requerimiento para una combustión completa.	24
1.3.5 Relación Oxígeno-combustible del Aire Propanado	26
2. DESCRIPCION TECNICA DEL SISTEMA DE AIRE PROPANADO	28
2.1 Definición.	28
2.2. Aplicaciones De Los Sistemas De Aire Propanado	29
2.2.1 Fuente de combustible primaria.	29
2.2.2. Sistema de reserva "Standby".	29
2.2.3. Sistemas de corte máximo "Peak Shaving"	30
2.2.4. Sistemas auxiliares "Backup".	31
2.3 Beneficios del uso de sistemas de aire propanado.	31
2.4 Elementos De Un Sistema De Aire Propanado.	34
2.4.1 Estación de descarga.	35
2.4.2 Tanques de Almacenamiento.	37
2.4.3 Vaporizadores de GLP.	39
2.4.3.1 Vaporizador de llama directo.	40
2.4.3.2 Vaporizadores De Baño De Agua.	45

2.4.3.3 Vaporizadores De Baño De Agua Eléctricos.	52
2.4.3.4 Vaporizador de baño de agua vertical (VWB).	57
2.4.3.5 Vaporizadores de GLP eléctricos “Secos”:	62
2.4.4 Mezcladores de Vapor de GLP y Aire.	66
2.4.4.1 Mezcladores de vapor de GLP y aire tipo venturi.	67
2.4.2.2 Mezclador Operado Por Pistón (POM).	75
2.4.5 Opciones y accesorios de un sistema de aire propanado.	84
2.4.5.1 Válvulas de bola y válvulas de globo.	84
2.4.5.2 Sistemas de control de gravedad específica.	85
2.4.5.3 Medidor de gravedad específica “Graviblend”.	85
2.4.5.4 Medidores de flujo.	86
2.4.5.5 Válvulas de control de flujo.	87
2.4.5.6 Cabezal de quemador de señal luminosa.	88
2.4.5.7 Válvulas de 3 caminos “Y”.	88
3. EVALUACION DE COSTOS.	90
3.1 Vaporizadores De Llama Directa.	90
3.1.1. Accesorios y opciones para vaporizadores De llama directa.	91
3.1.2 Repuestos para Vaporizadores de Llama Directa.	93
3.2 Vaporizadores Horizontales De Baño de Agua.	95
3.2.1 Repuestos para Vaporizadores Horizontales de Baño de Agua.	96
3.3 Vaporizador Eléctrico de Baño de Agua.	99
3.4 Vaporizadores Eléctricos “secos” .	99
3.5 Vaporizadores Verticales de Baño de Agua.	100
3.6 Mezcladores aire-vapor GPL Tipo Venturi (HVS).	101
3.6.1 Accesorios, Opciones y Repuestos para mezcladores (HVS).	102
3.7 Mezcladores Aire-Vapor GLP (POM).	104
3.7.1 Accesorios y Opciones para Mezcladores (POM).	105
3.8 Mallas y Filtros.	106
3.9 Estaciones de Descarga de Camiones y Llenado de Cilindros.	107
3.10 Bombas de Transferencia de GLP.	108
3.11 Compresores de aire	109
4. DISEÑO Y ANALISIS ECONOMICO DE UNA PLANTA DE AIRE PROPANADO.	110
4.1 Generalidades.	110
4.2 Parámetros Y Criterios De Diseño De Una Planta De Aire Propanado Para El Municipio De Oiba.	111
4.2.1 Materia prima.	114
4.2.1.1 Equivalencia volumétrica Gas Natural-Propano.	114
4.2.2 Costo de la materia prima.	115
4.3 Contenido De La Planta De Aire Propanado.	126
4.3.1 Costos de transporte.	126
4.3.2 Confiabilidad en el suministro.	127
4.3.2.1 Tiempo de Almacenamiento.	127

4.3.3 Vaporizadores y mezcladores.	129
4.3.3.1 Vaporizador.	129
4.3.3.2 Mezclador.	131
4.3.4 Bombas.	131
4.3.5 Compresor.	132
4.4 Inversión Inicial Total, Fija Y Diferida.	133
4.5. Mantenimiento.	135
4.6 Obra Civil.	135
4.7 Mano de Obra.	136
4.8 Determinación Del Estado De Resultados Sin Financiamiento.	137
4.8.1 Presupuesto de ingresos por ventas.	137
4.8.2 Flujo de caja.	137
4.9 Cálculo De Los Criterios Cualitativos Y Cuantitativos De La Evaluación Financiera.	141
COMCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	144
BIBLIOGRAFIA	146

LISTA DE FIGURAS.

FIGURA 1	Diagrama General de fluidos del sistema de aire propanado	28
FIGURA 2	Componentes y dirección de flujo en un sistema de aire Propanado	35
FIGURA 3	Estación de descarga de camiones	36
FIGURA 4	Elementos de una estación de descarga de camiones	36
FIGURA 5	Tanques de almacenamiento de GPL	37
FIGURA 6	Válvulas de Estado del tanque de almacenamiento	38
FIGURA 7	Coladeras o Filtros	38
FIGURA 8	Suministro de aire propanado al sector industrial	40
FIGURA 9	Vaporizadores de GPL directos	41
FIGURA 10	Componentes de un vaporizador de llama directo	42
FIGURA 11	Dimensiones de los vaporizadores de llama directo	44
FIGURA 12	Vaporizador de baño de agua	46
FIGURA 13	Componentes del vaporizador de baño de agua	47
FIGURA 14	Dimensiones de un vaporizador de baño de agua	52
FIGURA 15	Vaporizador de baño de agua eléctrico.	53
FIGURA 16	Componentes del vaporizador de baño de agua eléctrico	55
FIGURA 17	Dimensiones de los vaporizador de baño de agua eléctricos	56
FIGURA 18.	Vaporizador de baño de agua vertical	58
FIGURA 19	Componentes del vaporizador de baño de agua vertical	60
FIGURA 20	Dimensiones del vaporizador de baño de agua vertical	61
FIGURA 21.	Vaporizadores eléctricos secos	63
FIGURA 22.	Componentes principales del vaporizador eléctrico “seco”	64
FIGURA 23.	Dimensiones de los vaporizadores eléctricos “secos”	65
FIGURA 24	Mezclador de vapor de GLP y Aire tipo venturi	69
FIGURA 25	Componentes principales de un mezclador Tipo venturi	71
FIGURA 26.	Dimensiones de mezcladores tipo venturi	72
FIGURA. 27.	Mezclador de vapor de GLP y aire operado por pistón	76
FIGURA. 28	Vista transversal de un mezclador operado por pistón.	77
FIGURA. 29	Sistema de mezclado de pistón en el POM	78
FIGURA. 30	Corte transversal del pistón, (zona de mezcla)	79
FIGURA 31	Configuración típica de un mezclador operada por pistón	80
FIGURA 32	Dimensiones de modelos de POM	81
FIGURA 33	válvulas de bola y de globo	84
FIGURA 34	Control automático de las propiedades del gas mezclado	85

FIGURA 35	Medidor de gravedad específica.	86
FIGURA 36	Medidores de flujo y Computadoras de flujo	87
FIGURA 37	Válvulas de control de flujo	87
FIGURA 38	Cabezas de Quemador de señal luminosa	88
FIGURA 39	Válvulas de 3 caminos	89
FIGURA 40	Distribución general en el precio de un galón de GLP (mayo 2003)	117
FIGURA 41	Flujo de caja de la propuesta económica.	140

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Densidades de Gases Combustibles.	8
Tabla 1.2 Temp. de ignición y limite de inflamabilidad de combustibles gaseosos.	9
Tabla 1.3 Intervalos de Composición del gas natural (GN).	15
Tabla 1.4 Propiedades del Gas Natural en Colombia.	16
Tabla 1.5 Composición del Aire.	20
Tabla 1.6 Relaciones Aire-Combustible para combustiones Completas.	24
Tabla 2.1 Dimensiones de los vaporizadores de llama directo.	44
Tabla 2.2 Especificaciones técnicas de los vaporizadores de llama directo.	45
Tabla 2.3 Especificaciones para vaporizadores WB-200 a WB-1500.	49
Tabla 2.4 Especificaciones para vaporizadores WB-1800 a WB-7000.	50
Tabla 2.5 Dimensiones de los vaporizadores de baño de agua (WB).	52
Tabla 2.6. Especificaciones de los vaporizadores de baño de agua eléctrico.	56
Tabla 2.7 Especificaciones para vaporizadores VWB-120 a VWB-1000.	61
Tabla 2.8 Especificaciones para vaporizadores VWB-1500 a VWB-6000.	62
Tabla 2.9 Especificaciones de los vaporizadores eléctricos “secos”.	66
Tabla 2.10 Dimensiones de mezcladores tipo venturi.	73
Tabla 2.11 Especificaciones de los mezcladores de GLP y aire tipo venturi.	74
Tabla 2.12 Especificaciones de mezcladores operados por pistón.	82
Tabla 2.13 Selección del POM correcto.	83
Tabla 3.1 Precios para vaporizadores de llama directa.	90
Tabla 3.2 Precios para accesorios y opciones de vaporizadores de llama directa.	92
Tabla 3.3 Precios de repuestos para vaporizadores de llama directa.	93
Tabla 3.4 Precios de vaporizadores horizontales de baño de agua.	95
Tabla 3.5 Precios de repuestos de vaporizadores horizontales de baño de agua.	96
Tabla 3.6 Precios para vaporizadores eléctricos de baño de agua.	99
Tabla 3.7 Precios para vaporizadores eléctricos “secos”.	100
Tabla 3.8 Precios de vaporizadores verticales de baño de agua.	101
Tabla 3.9 Precios para mezcladores aire- vapor GLP (HVS).	102
Tabla 3.10 Precios de accesorios y repuestos de los mezcladores (HVS).	103
Tabla 3.11 Precios de mezcladores aire-vapor GPL (POM).	104
Tabla 3.12 Precios de accesorios y opciones de los mezcladores (POM).	105

Tabla 3.13. Lista de precios para mallas y filtros.	107
Tabla 3.14. Precios de estaciones de descarga de camiones.	108
Tabla 3.15. Lista de precios de bombas GPL (paquete de bombas "blackmer").	109
Tabla 3.17 Compresores de aire.	109
Tabla 4.1 Pronóstico del consumo anual de gas domiciliario.	112
Tabla 4.2 Equivalencia volumétrica gas natural-propano.	114
Tabla 4.3 Volumen Gas Natural a sustituir.	115
Tabla 4.4 Conversión a GLP (Propano).	115
Tabla 4.7 Precios de los componentes del GLP, vigente desde mayo de 2003.	117
Tabla 4.8. Número de carrotanques por semana.	127
Tabla 4.9. Capacidad de almacenamiento de los tanques.	128
Tabla 4.10. Dimensiones de los tanques de almacenamiento.	129
Tabla 4.11. Características principales de cada uno de los vaporizadores requeridos.	130
Tabla 4.12 Dimensiones los vaporizadores (BW).	130
Tabla 4.13 Principales características de un mezclador POM-30.	131
Tabla 4.14 características principales de las bombas requeridas.	132
Tabla 4.15 Características principales de cada uno de los compresores requeridos.	133
Tabla 4.16 Costos del sistema de aire propanado para Oiba.	134
Tabla 4.17 Costos de los equipos.	135
Tabla 4.18 Presupuesto de la inversión fija del proyecto.	136
Tabla 4.19 Costo de la mano de obra.	136
Tabla 4.20 Presupuesto de ingresos por ventas.	137
Tabla 4.21 Flujo de caja del proyecto.	138
Tabla 4.22. Costos de producción primer periodo (año 1).	139
Tabla 4.23 Valor Presente Acumulado.	141

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO TECNICO ECONOMICO DEL USO DE SISTEMAS DE AIRE PROPANADO EN PROYECTOS DE GAS DOMICILIARIO*

AUTORES: NELSON FABIÁN LIZCANO MENESES
CARLOS RODRIGO CALIXTO RODRÍGUEZ**

PALABRAS CLAVES

Combustibles gaseosos, aire propanado, GLP, Gas Natural, gas natural sintético, intercambiabilidad de combustibles, Índice de Wobbe, Mezcladores GLP-Aire, análisis financiero.

DESCRIPCION O CONTENIDO

Este estudio describe y analiza un sistema que mezcla propano vaporizado con aire en una proporción adecuada, el cual es directamente compatible e intercambiable con el gas natural, combustible usado en el sector domiciliario que al ser transportado por tuberías no cubre totalmente el país dejando zonas que no son abastecidas de combustible, la mezcla denominada aire propanado ofrece una alternativa para llevar combustible a más hogares o en áreas donde se agoto el suministro y así disponer de un energético sintético de manera sencilla y a costos razonables en proyectos de gas domiciliario en Colombia.

Se analiza los fundamentos científicos necesarios para el manejo y utilización de combustibles gaseosos en procesos de combustión, se ilustra el comportamiento del Propano en los procesos de combustión en el aire propanado, para así optimizar su consumo y entregar la mayor cantidad de energía de la mezcla gaseosa, estudiando los factores teóricos más importantes del aire propanado como combustible intercambiable con el gas natural para buscar su implementación en proyectos de gas domiciliario y finalmente se describe la tecnología necesaria en los procesos de elaboración y montaje de los sistemas de aire propanado aplicado a un municipio Colombiano como medio ilustrativo del análisis económico.

Contar con un sistema de aire propanado es tener la seguridad de contar con un suministro de gas natural supliendo de gas no sólo a redes domiciliarias, sino a usuarios industriales que requieren de éste servicio para mantener sus niveles de productividad. El proyecto además de garantizar la implementación de un modo de distribución alternativo para el gas natural, también colabora con el manejo de las necesidades que puede tener una comunidad en Colombia con respecto a un mejor nivel de vida, de ahí que el estado esté también interesado en promover la sustitución de energéticos.

* Trabajo de investigación o tesis

** Facultad de ingenierías físico-químicas, escuela de ingeniería de Petróleos,
Msc. Nicolás Santos Santos.

ABSTRACT

TITLE: TECHNIC ECONOMICAL STUDY FROM USE OF SYSTEM OF PROPANED AIR IN PROJECTS OF RESIDENCIAL GAS*.

AUTHORS: NELSON FABIAN LIZCANO MENESES
CARLOS RODRIGO CALIXTO RODRIGUEZ*

KEY WORDS:

Gaseous fuels – Propaned Air – GLP – Natural Gas – Synthetic natural gas
Interchangeability of fuels – Index of Wobbe – Mixers air/GLP – Financial Analysis.

DESCRIPTION OR CONTENT

This Study describes and analyzes a system that mixing vaporized propane with air in adequate proportion, which is directly compatible and interchangeable with natural gas, used fuel in residential sector that to be transported by pumblings totally do not cover the country omitting some zones that are not supplied of fuel, the mixture denominated as propaned air gives an alternative to carry fuel at more homes or in areas where the supply is few, this it disposes of an energetic in simple way and with reasonable costs over projects of residential gas in Colombia.

It analyzes scientific basis necessities for using and handling of gaseous fuels in process of combustion, it illustrates the behavior of propane in process of combustion in propaned air, thereby guarantee its consumption and deliver the highest quantity or energy from gaseous mixture, studing the most important theoretical factors from propaned air as interchangeability fuel with natural gas and finally it describes the necessary technology in process of assembly and elaboration of systems of propand air put at Colombian municipality as illustrative way from economical analysis.

Counting with a system of propaned air is having the certainty of count with a supply of natural gas, supplying users that request or need this service to hold their levels of productivity. The project in addition to guarantee the employment of way of alternative distribution for natural gas, also it collaborates with handling of some necessities that can have a Colombia community about a better level of life therefore that state is also interested to promote the situation of energetic.

* Work of searching or thesis.

** Faculty of physical-chemical Engineering - School of petroleum Engineering-
Msc. Nicolas Santos Santos

INTRODUCCION

La disponibilidad de los recursos energéticos, su distribución, utilización y efectos ambientales es una de las mayores ocupaciones del mundo contemporáneo. En los países en desarrollo, se carece de los medios económicos y tecnológicos para proveer y satisfacer la demanda de energía especialmente en sus áreas rurales, mediante las tecnologías convencionales.

Es allí donde las llamadas energías alternativas o renovables proveen una opción de abastecimiento interesante, especialmente con esquemas de suministro descentralizados que permiten el aprovechamiento de los recursos locales suministrando energía a menores costos.

La necesidad de complementar las fuentes convencionales de energía, ha impulsado la investigación y el creciente desarrollo de las tecnologías alternativas mediante el aprovechamiento de energías renovables. Con el objetivo de identificar, promover y desarrollar de manera integral el uso y aprovechamiento de éstas tecnologías de acuerdo al potencial de su desarrollo en nuestro país, se ha decidido acometer un estudio para la formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y su difusión.

Estas acciones están encaminadas a establecer condiciones para garantizar la confiabilidad, seguridad y durabilidad de los sistemas de tecnologías de energías alternativas que se implementen en Colombia, con nuevos recursos del estado, sus entes territoriales y de los particulares.

En primera instancia es primordial conocer los fundamentos teóricos de los combustibles, en el estado que estos se encuentren (sólidos, líquidos y gaseosos), como parte esencial del entendimiento de los fluidos y compuestos que se mueven en el sistema, complementando con algunos parámetros que definen la calidad de los combustibles en su estado gaseoso.

Posteriormente se debe conocer detalladamente la tecnología involucrada en el sistema de aire propanado, que en sí es la descripción técnica (equipos de vaporización, de mezclado, válvulas, accesorios, repuestos, etc.).

Teniendo en cuenta la lista de precios al presente año, de cada uno de los equipos, se mostrará una idea de lo que el sistema representa económicamente para su montaje, funcionamiento y aprovechamiento, dependiendo a la comunidad o comunidades a la que vaya dirigido éste proyecto.

Debido a que el proyecto esta enfocado en el sector residencial, se presenta de manera ilustrativa un estudio técnico y económico para el montaje y mantenimiento de un sistema de aire propanado para la población de OIBA en el departamento de Santander (Colombia).

1. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES

1.1 Combustibles

Aunque combustible es cualquier sustancia que pueda arder, habitualmente se reserva esta denominación para aquellos materiales que son quemados u oxidados ya sea en forma lenta, rápida o instantánea, para producir energía calorífica (proceso de combustión).

Los combustibles pueden clasificarse, según el estado en que se presentan, en:

- Combustibles sólidos: leña, carbón vegetal, carbón mineral, carbón de coque.
- Combustibles líquidos: gasolina, gasóleo, petróleo industrial (queroseno), fuel-oil, alcoholes.
- Combustibles gaseosos: gas natural, propano, butano, acetileno, *Aire Propanado*, entre otros.

1.1.1 Combustibles gaseosos. Entre las moléculas que forman estos cuerpos (en extremo móviles), predominan las fuerzas de mutua y perpetua repulsión; de ello proviene su gran expansibilidad y compresibilidad, o sea, la propiedad por la cual toda masa gaseosa tiende a ocupar el mayor espacio posible. Por esto, los gases adoptan siempre la forma y el volumen de los depósitos en que se hallan contenidos, ocupándolos totalmente y ejerciendo de adentro hacia fuera una presión sobre sus paredes en virtud de una fuerza denominada: Tensión o Fuerza elástica de los gases.

Entre los combustibles gaseosos más importantes se encuentran el acetileno, amoniaco, butano, hidrógeno, metano y propano.

Los combustibles gaseosos son los de mayor *peligrosidad*, además de los riesgos propios de su combustión, es posible que se produzcan combinaciones químicas altamente explosivas, tóxicas o venenosas. Todos los gases tienden a aumentar su volumen cuando aumentan su temperatura, es importante considerar este hecho en relación con los gases comprimidos (como el GLP) que se puedan encontrar en un incendio. En efecto, el calor afecta la resistencia del contenedor, mientras el gas, al no poder incrementar su volumen, aumenta la presión interna, con el riesgo de una ruptura violenta del recipiente que lo contiene.

Antes de iniciar cualquier trabajo suministrando un gas combustible, se debe conocer las siguientes características del gas distribuido:

- Familia del gas.
- Naturaleza del gas.
- Poder calorífico superior (P. C. S.).
- Densidad respecto al aire.
- Grado de humedad.
- Presencia eventual de condensados.
- Índice de Wobbe.

1.1.1.1 Familias de los combustibles gaseosos. Los combustibles gaseosos se clasifican en diferentes familias de acuerdo a la norma internacional *UNE 60.002*, que clasifica los gases combustibles según un parámetro llamado índice de Wobbe, (cociente entre el Poder Calorífico Superior y la raíz cuadrada de la densidad relativa del gas) en:

Primera familia Gas Manufacturado (BAJO P.C.S.)

- Pertenecen a esta familia: Gas de Hulla, Gas de Agua, Aire Butanado
- Poder Calorífico Superior (P.C.S.): gas manufacturado
P.C.S = 4200 - 5600 kcal/m³ (n) ó 472 – 629.3 BTU/ft³
- Densidad relativa = 0.6 - 0.4
- Índice de Wobbe = 5422 – 8854 kcal/m³ ó 609.27 – 994.93 BTU/ft³

Segunda familia: GAS NATURAL (P.C.S. INTERMEDIO)

- Pertenecen a esta familia: *Gas Natural* y el **Aire Propanado**
- P.C.S = 8500 – 14500 kcal/m³ (n) ó 955– 1629 BTU/ft³
- Densidad Relativa = 0.62 – 1.38
- Índice de Wobbe = 10795 – 12343 kcal/m³ ó 1213.01 – 1387 BTU/ft³

Tercera familia: GASES LICUADOS DEL PETRÓLEO (ALTO P.C.S.)

- Pertenecen a esta familia: Butano Comercial y Propano Comercial.
- P.C.S = 31138 – 25189 kcal/m³ (n) ó 3499 – 2830 BTU/ft³
- Densidad relativa = 2.03 – 1.562
- Índice de Wobbe = 13335 – 12343 kcal/m³ ó 1498.46 – 1387 BTU/ft³

1.1.1.2 Propiedades de combustibles gaseosos. Los combustibles gaseosos pueden ser analizados volumétricamente en términos de los compuestos químicos que contiene, es decir su naturaleza (composición). Las propiedades de los combustibles que son los parámetros que definen la calidad del combustible son:

- Composición.
- Entalpía estándar de reacción (poder calorífico).
- Gravedad específica (relativo a la densidad).

- Densidad, viscosidad (para el almacenamiento y transporte).
 - Presión de vapor.
 - Temperatura de ignición (por chispa).
 - Toxicidad.
 - Limite de inflamabilidad.
 - Indice de Wobbe (Intercambiabilidad de combustibles).
- *Composición:* La composición de un combustible es fundamental para determinar los parámetros estequiométricos característicos de la reacción de combustión. Además, establece si él mismo, es apto o no para el uso al que se le requiere, en función de la presencia de componentes que puedan ser nocivos o contaminantes. La forma habitual de indicar la composición de un gas es como porcentaje en volumen de cada uno de sus componentes, en condiciones normales de temperatura y presión. Si se expresa éste porcentaje relativo al 100% total, se obtiene la fracción molar, x_i . Por lo tanto, si el combustible gaseoso tiene n componentes deberá cumplirse que:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1. \text{ donde: } x_i = \frac{\text{mol comp } i}{\text{mol combustible}}.$$

Los componentes más habituales en un combustible gaseoso son:

Hidrocarburos, de fórmula genérica C_nH_m

Dióxido de carbono: CO_2 .

Monóxido de carbono: CO .

Hidrógeno: H_2 .

Oxígeno: O_2 .

Nitrógeno: N_2 .

Dióxido de azufre: SO_2 .

Sulfuro de hidrógeno: SH_2 .

➤ *Poder calorífico*: es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de volumen de combustible.

Poder calorífico superior (P.C.S.): es el calor liberado por unidad de volumen del combustible cuando en los productos, el vapor de agua se condensa totalmente.

Poder calorífico inferior (P.C.I.): es el calor liberado por unidad de volumen del combustible cuando en los productos, el agua no se condensa totalmente.

$$P.C.I. = P.C.S - 83.68 \cdot v_{H_2O} \quad \text{en BTU/pie}^3$$

Donde 83.68 BTU/pie³ es aproximadamente el calor latente de cambio de fase del agua a 0°C y v_{H_2O} son ft³ de vapor formado por 1 ft³ de combustible.

Aunque el poder calorífico puede ser calculado del análisis del gas, es frecuentemente medido por medio de un calorímetro de flujo estable y presión constante, en el cual el gas es quemado en una cámara de combustión empacada en agua. El aumento de temperatura es una medida del poder calorífico del combustible.

➤ *Gravedad del gas (gravedad específica)*: en el caso de combustibles gaseosos se utilizan tanto la densidad absoluta (kg/m³) como la relativa al aire (adimensional), definida como $\rho_r = \rho / \rho_a$, siendo ρ la densidad absoluta del gas y ρ_a la densidad absoluta del aire, ambas medidas en las mismas condiciones de temperatura y presión. La densidad relativa tiene mucha importancia por el hecho de que determina, por ejemplo, si el gas se acumula en el techo o en el suelo, en caso de una fuga en un lugar cerrado. La densidad absoluta del aire, en condiciones normales (0°C y 1atm), es de 1,287 kg/m³.

En la tabla 1.1 se muestran valores medios de la densidad absoluta y relativa de los principales combustibles gaseosos utilizados en Colombia.

Tabla 1.1. Densidades de Gases Combustibles

Gases Combustibles	Densidad Absoluta (Kg/m ³)	Densidad relativa
Gas Natural	0.802	0.62
Butano Comercial	2.625	2.03
Propano Comercial	2.095	1.62

Fuente: Empresa Colombiana de Petróleos – ECOPETROL.

Si un combustible como el GLP está formado por 2 o más componentes (n componentes), cuyas densidades relativas son ρ_{ri} se puede calcular la

densidad relativa media del combustible gaseoso, como: $\rho_r = \sum_{i=1}^n x_i \rho_{ri}$

➤ *Temperatura de ignición.* Si la temperatura del gas aumenta, por estar en contacto con un material que tenga una determinada temperatura, llegará a un punto en que comenzará a arder con una combustión sostenida. A ésta temperatura mínima, a la cual los vapores del combustible comienzan a arder, se le llama Temperatura de Ignición. La Temperatura de Ignición es diferente para cada material combustible.

➤ *Rango de inflamabilidad.* Para que un combustible comience a arder, no basta con que esté gasificado y que los vapores se pongan en contacto con un material que le entregue la temperatura de ignición necesaria, se requiere además, que los vapores combustibles estén mezclados con el oxígeno del aire en determinadas proporciones. Cuando el porcentaje de gas en la mezcla con el aire es menor que cierto límite inferior, **LFL** (*Lower Flame Limit*, Límite Inferior de Inflamabilidad), la combustión no se produce. Se habla aquí de una mezcla pobre en gases combustibles, porque falta gas combustible. Por otro lado, cuando el porcentaje de gas en la mezcla con el

aire excede un límite superior **UFL** (*Uper Flame Limit*, Límite Superior de Inflamabilidad), tampoco habrá combustión. Corresponde este caso a una mezcla rica en gases combustibles y lo que falta es oxígeno.

Los porcentajes de gas en la mezcla con el aire comprendidos entre el límite inferior y superior, reciben el nombre de Rango de Inflamabilidad de los gases combustibles. Por lo tanto, sólo se produce la combustión cuando el porcentaje de combustible está entre el límite inferior de inflamabilidad (LFL) y el límite superior de inflamabilidad (UFL).

Las mezclas explosivas han sido estudiadas ampliamente para poder prevenir sus riesgos. La Tabla 1.2 muestra los límites de inflamabilidad y la temperatura de ignición de los gases simples de uso más frecuente.

Tabla 1.2 Temp. de ignición y limite de inflamabilidad de combustibles gaseosos

Combustible Gaseoso	Temperatura de Ignición	Limite de Inflamabilidad (%V)	
		L. Inferior	L. Superior
Oxido de Carbono	608.9	12.5	74.0
Metano	537.2	5.3	14.0
Etano	515.0	3.3	12.5
Propano	466.1	2.2	10.0
Butano	405.0	1.9	8.5
Etileno	450.0	3.1	32.0
Benceno-Gas	562.2	1.4	7.1
Amoniaco	651.1	16.0	25.0
Acetileno	299.4	2.5	81.0

Fuente: Gas-Air-Oxygen Combustion Studies.

El efecto de las grandes variaciones de presión, ni es simple ni uniforme, aunque sí característico de cada mezcla. La humedad ejerce poca influencia sobre los límites de inflamabilidad.

En la práctica, los gases industriales son casi siempre mezclas simples, por lo tanto, sus límites de inflamabilidad en el aire variarán con la composición.

Estos límites se pueden calcular mediante la fórmula de COWARD, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$L = 100 \cdot (P_1 / N_1 + P_2 / N_2 + P_3 / N_3 + \dots + P_n / N_n).$$

L = límite de inflamabilidad -inferior o superior- de la mezcla.

P = porcentaje de cada uno de los gases combustibles que componen la mezcla, calculados de forma que su suma sea igual a 100, excluyendo los componentes inertes.

N = representa el límite de inflamabilidad -inferior o superior de cada uno de los componentes combustibles que entran en la mezcla.

➤ *Índice de Wobbe*: Determina el grado de intercambiabilidad entre gases combustibles y se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$I.W. = \frac{\text{Poder Calorífico Superior}}{\sqrt{\text{Densidad Relativa}}}$$

Valores iguales del Índice de Wobbe para dos combustibles gaseosos significa que son compatibles uno con el otro para su uso, sin hacer cambio alguno en los equipos de quemado. De acuerdo a la norma UNE 60.002 el gas natural pertenece a la segunda familia y por lo tanto el aire propanado que se emplea generalmente para reemplazarlo debe ser también de la segunda familia.

1.1.2 Intercambiabilidad de combustibles Gaseosos. La falta de suministro de combustible y las fluctuaciones del precio podrían hacer necesario sustituir un combustible por otro, sin mayores cambios en cámaras de combustión, quemadores, tuberías o controles. En la intercambiabilidad de

combustibles deben considerarse los siguientes aspectos: 1- Igual velocidad de entrada del calor. 2 - Capacidad de manejo fluida de conductos, quemadores, tuberías, válvulas, controles. 3 - Estabilidad del quemador. 4 - Patrón de descarga de calor. 5 - Atmósfera del horno.

➤ El índice de Wobbe, es usado para evaluar intercambiabilidad con respecto a los ítems 1 y 2. Si el gas sustituto tiene el mismo índice de Wobbe que el gas que va ser reemplazado, no cambia el grupo de válvulas que serían necesarias cuando se cambian combustibles.

Si el combustible sustituto (Aire Propanado), el cual es una mezcla combustible-aire, tiene gravedad más alta que el gas que reemplaza, menos de un pie cúbico fluirá a través de la tubería, válvulas u orificios con la misma caída de presión. Para compensar esto, la mezcla de reemplazo debe tener un poder calorífico más alto para llevar la misma cantidad original de calor para el quemador. Recíprocamente, si el sustituto tiene una gravedad muy baja, él también debe tener un poder calorífico muy bajo si el grupo de válvulas está para permanecer igual. Esto significa que:

$$\sqrt{\frac{G_o}{G_m}} = \frac{H_o}{H_m}$$

Donde:

G = gravedad relativa al aire como 1.0

H = poder calorífico superior.

o = gas original.

p = sustituto puro.

a = aire.

m = mezcla sustituta compuesta de p y a.

Reacomodando dada la definición del índice de Wobbe, tenemos:

$$\text{Indice de Wobbe} = \frac{Ho}{\sqrt{Go}} = \frac{Hm}{\sqrt{Gm}}$$

Para mezclas, cuando uno de los ingredientes es aire (Aire Propanado):

$$Gm = \left(\frac{\%p}{100} \times Gp \right) + \left(\frac{\%a}{100} \times Ga \right),$$

Pero $Ga = 1.0$ y $\%a = 100 - \%p$; así $Gm = 1 + \frac{\%p}{100}(Gp - 1)$

$$Hm = \left(\frac{\%p}{100} \times Hp \right) + \left(\frac{\%a}{100} \times Ha \right), \text{ Pero } Ha = 0; \text{ así } Hm = \frac{\%p}{100}(Hp)$$

Combinando las anteriores fórmulas, el % de sustituto puro (propano), en una mezcla con aire que será intercambiable con el gas natural, la descarga de calor correcto y el flujo correcto esta dado resolviendo el polinomio y tomando la raíz positiva:

$$(Hp^2)\%p^2 - \left(\frac{100Ho^2}{Go}(Gp - 1) \right)\%p - \frac{100^2 Ho^2}{Go} = 0$$

➤ *La estabilidad del quemador:* es una función de la velocidad de flama y de los límites de inflamabilidad. Aunque algunos métodos teóricos han sido propuestos para evaluar la estabilidad de la llama cuando intercambian combustibles, esto es aconsejable actualmente para probar el gas sustituto en los tipos de quemadores a ser usados, en todas las proporciones de encendido esperadas y relaciones gas aire. Los quemadores de premezcla son generalmente más sensibles, y tienen mejor estabilidad que la mayoría

de los quemadores modernos de boquilla mezcladora. Usualmente no hay problemas de estabilidad con combustibles gaseosos fósiles (metano, etano, propano, butano y mezclas de ellos), pero estos combustibles algunas veces contienen formas de hollín no saturadas tales como propileno y butileno.

➤ *El patrón de descarga de calor:* depende de la forma de la llama, intensidad y luminosidad. El gas natural tiene un quemado relativamente lento; así la mayoría de los combustibles sustitutos tenderán a quemar con llamas cortas, más intensas. El efecto de éste cambio puede ser evaluado sólo con una prueba para cada proceso por la cual un combustible sustituto es propuesto.

➤ *El quemador atmosférico:* puede ser seriamente afectado si el combustible sustituto tiene una alta concentración de una impureza como azufre. Algunos procesos, particularmente generadores atmosféricos de tratamiento de calor, son sensibles a los cambios de relación carbono-hidrógeno, la cual puede involucrar control de punto de rocío.

1.2 Intercambiabilidad del Gas Natural con Aire Propanado

El propano o el GLP es el combustible de reserva ideal para reemplazar el gas natural, porque el propano, cuando es mezclado con aire, producirá las características de quemado del gas natural y le permitirá al usuario utilizar los quemadores existentes de gas natural, es decir, que el propano mezclado con aire en proporciones adecuadas da valores de Índice de Wobbe similares a los del Gas natural.

En la elaboración de un combustible intercambiable se deben controlar y conocer muy bien las propiedades de los fluidos utilizados, pues de estos y de su control, dependerá las características, y por lo tanto, la calidad de la

mezcla resultante para que sea directamente intercambiable con el gas natural (GN) que se reemplazará en procesos de combustión.

1.2.1 Gas natural. Es un combustible gaseoso que en su estado natural está compuesto fundamentalmente por metano, pequeñas cantidades de otros gases combustibles como el etano y otros no combustibles como el nitrógeno, dióxido de carbono y sulfuro de hidrogeno, de igual manera en su estado natural siempre esta saturado con agua. Éste gas es más liviano que el aire, cuando se produce una fuga, puede ser peligroso, pues además del riesgo de explosión, existe el de asfixia, ya que el gas va desplazando al aire que se necesita para la respiración, para advertir éste peligro, se la añade una sustancia de olor característico (odorizante) que advierte su presencia.

Propiedades del gas Natural. El GN es una mezcla, se analiza separándolo en cada uno de sus componentes e identificando cada uno por sus propiedades.

Las propiedades básicas de los gases aplicadas al comportamiento del GN son:

- Los gases son afectados por los cambios de temperatura y presión debido a su capacidad de expandirse y comprimirse con facilidad.
- Si no están confinados, los gases se expanden al calentarse y se contraen al enfriarse.
- Los gases puros contienen un solo componente gaseoso, son tratados generalmente como gases ideales a baja presión.

Las propiedades que determinan la calidad del gas natural dependen de la naturaleza misma del GN, es decir de su composición. La composición varía

según su procedencia, en Colombia está entre los rangos mencionados en la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Intervalos de Composición del gas natural (GN)

COMPONENTE	MINIMO	MÁXIMO
Metano (CH ₄)	77.712%	96.939%
Etano (C ₂ H ₆)	0.38%	14.06%
Hidrocarburos Superiores (Propano, Butano, pentano y Hexano.)	0.12%	5.0%
Nitrógeno (N ₂)	0.5%	6.5%
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0.0%	1.5%

Fuente: Empresa Colombiana de Petróleos – ECOPETROL.

Contaminantes: una corriente de GN puede incluir bióxido de carbono (CO₂), sulfuro de hidrogeno (H₂S), azufre y partículas volátiles si se transporta en líneas, por lo cual es conveniente pensar en un combustible mas limpio para su implementación.

- Nitrógeno: este compuesto es bastante inerte y no contribuye al poder calorífico del gas.
- El bióxido de carbono (CO₂) no agrega al poder calorífico del gas. Debido a su densidad, el CO₂ aumenta los costos de transporte, en presencia del agua, el bióxido de carbono forma un ácido carbónico débil.
- El sulfuro de hidrogeno (H₂S) es un gas extremadamente tóxico e inflamable que expele un olor fétido a bajas concentraciones. Con una mayor concentración, el H₂S vence al olfato de tal forma que ya no se pueden detectar. Es extremadamente corrosivo en tuberías y equipos húmedos, pues forma ácido sulfúrico (H₂SO₄) en contacto con el agua.
- El azufre es un producto no deseable en el gas porque puede formar sulfuro de hidrógeno ocasionando resquebrajamientos por tensión y corrosión en las tuberías de acero.

Las propiedades que definen la calidad del gas natural se representan de manera generalizada en la tabla 1.4, donde se observa los rangos de valores del Gas Natural en Colombia, según el “RUT” (Reglamento Único de Transporte de gas natural).

Tabla 1.4 Propiedades del Gas Natural en Colombia

Especificaciones	Norma colombiana
Poder calorífico Superior, Min.	965 BTU/ft ³
Poder Calorífico Superior, Máx.	1150 BTU/ft ³
Gravedad Específica, Máx.	0.57
Gravedad Específica, mín.	0.73
Índice de Wobbe, Promedio	1311.66 BTU/ft ³
Contenido de H ₂ S, Máx.	0.25 g/1000ft ³
Contenido de Azufre, Máx.	1.0 g/1000ft ³
Contenido de CO ₂ , Máx. %Vol.	2 %
Contenido de N ₂ , Máx. %Vol.	3 %

Fuente: Empresa Colombiana de Petróleos – ECOPELROL.

1.2.2 Gas Licuado del Petróleo (GLP). El gas licuado del petróleo se obtiene del proceso de refinación del petróleo y de Plantas de Gas Natural, puede ser Butano, Propano o una mezcla de ambos. Comúnmente también se le denomina GLP, LPG, GPL, Gas licuado, Propano, Butano ó Gas envasado. Es un gas inodoro e incoloro, al que se le agrega un odorizante llamado etyl-mercaptano que le confiere un olor pestilente para poder identificarlo.

Propano y butano. Son dos combustibles gaseosos que se obtienen en las refinerías de petróleo. El butano se comercializa licuado y envasado en recipientes metálicos. El *propano* (C₃H₈) también se suministra licuado, en botellas o recipientes metálicos.

Como se ha indicado, el propano y el butano son gaseosos a la presión atmosférica, pero, a la presión de envasado, se encuentran en estado líquido para su transporte y comercialización. Cuando el usuario abre la llave de salida del recipiente, disminuye la presión en el interior, se produce la

vaporización de estos combustibles y fluyen por el tubo de salida. Para mantener constante la presión de salida de estos gases se coloca una válvula de regulación de presión que lleva incorporada la llave de paso.

Para mayores proporciones de consumo industrial, es necesario un vaporizador. El volumen de gas disponible de un galón de líquido es **36.82 ft³/gal** para propano comercial, y **31.46 ft³/gal** para butano comercial, cuando ambos, el líquido y el gas son medidos a 60 °F (15.6 °C), también es necesaria para crear un combustible sustituto una estación de mezclado gas-aire, para mantener automáticamente la relación apropiada de éstos a todos los caudales de demanda.

Existen dos tipos de GLP comúnmente llamados Butano (butano comercial) y Propano (propano comercial).

El propano comercial es una mezcla de propano, propileno y otros compuestos minoritarios (etano, butano, etc.). Puede tener hasta un máximo de 30% de butano.

El butano comercial es una mezcla de butano, butilenos y otros compuestos minoritarios (propano, pentanos, etc.). Puede tener un máximo de 50% de propano.

El estado físico a presión atmosférica y temperatura ambiente (1 atmósfera y 20°C), del gas licuado de petróleo es el de estado gaseoso. Para obtener líquido a presión atmosférica, la temperatura del butano debe ser inferior a -0,5°C y la del propano a -42,2°C, es decir, para obtener líquido a temperatura ambiente, se debe someter el GLP a presión. Para el butano, la presión debe ser de más de 2 atmósferas, para el propano, la presión debe

ser de más de 8 atmósferas. Un litro de líquido se transforma en 272,6 litros de gas para el propano y 237,8 litros de gas para el butano.

Efecto de la temperatura: Al aumentar la temperatura del GLP que se encuentra dentro de un tanque cerrado, aumenta su presión. Esto es debido a que aumenta la presión de vapor y, además, el líquido se expande. Por lo tanto, nunca se debe calentar un recipiente que contiene GLP y tampoco se debe llenar totalmente un recipiente con GLP líquido, sino que se debe dejar un espacio de por lo menos el 15% del volumen total del recipiente para la dilatación del líquido.

Densidad y viscosidad: La densidad y presión de vapor varían según la composición. La densidad y peso específico son mayores que el aire, por lo que el GLP resulta más pesado que éste. Las densidades son Aire = 1, Propano = 1,5 y Butano = 2

El GLP líquido es más liviano y menos viscoso que el agua, por lo que hay que tener cuidado ya que puede pasar a través de poros donde ni el agua, gasoil o kerosén pueden hacerlo; la máxima exposición permisible para las personas es de 1.000 partes de GLP por 1.000.000 de partes de aire (1000 p.p.m.), promedias sobre un turno de trabajo de ocho horas.

Así pues el GLP: es un hidrocarburo, derivado del Petróleo, que se obtiene durante el proceso de refinación, a su vez el término: LICUADO DEL PETROLEO, es debido a que se produce en estado de vapor pero se convierte en líquido mediante COMPRESIÓN y ENFRIAMIENTO, necesitándose 273 litros de vapor para obtener un litro de gas líquido. El gas al ser comprimido y enfriado se condensa hasta convertirse en líquido, en cuyo estado se le transporta y maneja desde las refinerías, a las plantas de almacenamiento y de estas a los usuarios, ya sea por auto-tanques o

recipientes portátiles, en donde el gas sale en estado de vapor para poder ser utilizado en calderas y aparatos domésticos.

El uso del GLP para la fabricación del combustible sustituto, que sea intercambiable con el gas natural, entregando la misma cantidad de energía en el proceso de quemado en el sector residencial o comercial es debido a las siguientes razones:

- Mayor seguridad (instalación de combustible hermético).
- Condiciones más saludables (menor contaminación del aire por los gases de combustión).
- Garantiza Combustión completa.
- Requiere menos mantenimiento.
- Aumenta su capacidad de distribución (20% por día adicional).
- No es tóxico, solo desplaza el oxígeno, por lo que no es propio para respirarlo mucho tiempo.
- Es económico, por su rendimiento en comparación con otros combustibles.
- Aplicable prácticamente para cualquier lugar debido a su fácil transporte en cilindros (comprimido).
- Menor contenido de impurezas que implican menor mantenimiento de los equipos y redes distribuidoras.

1.2.3 Aire. Al no ser combustible (Poder calorífico nulo) es utilizado en la elaboración de combustibles intercambiables para el gas natural mezclándolo en proporciones adecuadas con propano. Las propiedades del aire y su papel dentro del proceso de combustión no es mas que garantizar el oxígeno requerido para que el propano se queme, disminuyéndole a su vez el poder calorífico a tal punto que la mezcla iguale el índice de Wobbe del gas natural.

1.3 Combustión Del Propano Con Aire

1.3.1 Principios básicos de la combustión. La combustión o quemado, es una combinación de Oxígeno con un combustible, resultando una liberación de calor (reacción de oxidación exotérmico). El oxígeno suministrado para la combustión proviene del aire, a causa de que el aire contiene una gran proporción de nitrógeno, el volumen requerido de aire es más grande que el volumen requerido de oxígeno puro. La composición del aire normal puede considerarse aproximadamente como 78% de Nitrógeno, el 21% de Oxígeno y por 1% de Argón Como lo muestra la tabla 1.5.

Tabla 1.5 Composición del Aire

Componente		Temperatura de bulbo seco (db) y Humedad relativa (rb)					
		60°F db	60°F db	60°F	90°F db	90°F db	90°F db
		0% rb	80% rb	100% rb	20% rb	80% rb	100% rb
Oxígeno	% Vol.	20.99	20.70	20.62	20.79	20.19	19.99
	% peso	23.20	23.00	22.94	23.06	22.63	22.50
Nitrógeno	% Vol.	78.03	76.94	76.67	77.29	75.06	74.32
	% peso	75.46	74.86	74.63	75.01	73.61	73.18
Argón	% Vol.	0.94	0.93	0.92	0.93	0.90	0.90
	% peso	1.30	1.29	1.29	1.29	1.27	1.26
Otros*	% Vol.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	% peso	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Agua	% Vol.	0.00	1.40	1.75	0.95	3.81	4.75
	% peso	0.00	0.87	1.10	0.59	2.45	3.02
Peso moleculares Equivalentes		28.96	28.81	28.77	28.86	28.55	28.45
Densidad lb/ft3		0.07532	0.07592	0.07581	0.07189	0.07111	0.07086
Densidad kg/m3		1.222	1.216	1.214	1.152	1.139	1.135
ρ*CO2 (acerca de 0.03%), H2 (acerca del de 0.01%), Neón. Helio, Criptón y Xenón en pequeñas proporciones.							

Fuente: Gas-Air-Oxygen Combustion Studies.

El nitrógeno del aire no toma parte en la reacción de combustión, y se produce exactamente la misma cantidad suministrada en el proceso.

1.3.2 El Proceso de Combustión. La combustión es un conjunto de reacciones de oxidación con desprendimiento de calor, que se producen entre dos elementos: el *COMBUSTIBLE*, que puede ser un sólido (Carbón, Madera, etc.), un líquido (Gasóleo, Fuel-Oil, etc.) o un gas (Natural, *Propano*) y el *COMBURENTE*, Oxígeno. La combustión se distingue de otros procesos de oxidación lenta, por ser un proceso de oxidación rápida y con presencia de llama; a su vez también se diferencia de otros procesos de oxidación muy rápida (detonaciones, deflagraciones y explosiones) por obtenerse el mantenimiento de una llama estable. Para que la combustión tenga lugar han de coexistir tres factores:

- COMBUSTIBLE.
- COMBURENTE.
- ENERGIA DE ACTIVACION.

Si falta alguno de estos tres factores la combustión no puede llevarse a cabo. El comburente universal es el oxígeno, por lo que en la práctica se utiliza el aire como comburente (únicamente en casos especiales se utilizan atmósferas enriquecidas en oxígeno e incluso oxígeno puro como en la soldadura). La energía de activación es el elemento desencadenante de la reacción de combustión; en los quemadores habitualmente suele obtenerse mediante una chispa eléctrica entre dos electrodos, en las calderas individuales de gas se obtiene por llama piloto, tren de chispas, etc.

La Combustión puede ser:

Completa: reactivos transformados en productos al 100%.

Incompleta: no todos los reactivos se transforman en productos.

Para un óptimo rendimiento del Aire propanado y de cualquier combustible gaseoso es indispensable garantizar una combustión completa.

Para fines de cálculo, generalmente se desprecia el argón y se supone la composición del aire como 79% de nitrógeno y por un 21% de oxígeno. Por consiguiente hay $79/21 = 3.76$ moles de nitrógeno por cada mol de Oxígeno presente en el aire.

$$1 \text{ mol O}_2 + 3.76 \text{ mol N}_2 = 4.76 \text{ moles de aire seco.}$$

Como:

$$\frac{m_i}{m} = \frac{M_i n_i}{M n} \therefore \frac{n_i}{n} = \frac{V_i}{V}$$

$$M = X_{N_2} * M_{N_2} + X_{O_2} * M_{O_2}$$

$$M = (0.79) * (28.02 \text{ kg/kmol}) + (0.21) * (32 \text{ kg/kmol}) = 28.86 \text{ kg/kmol.}$$

$$M_{\text{aire}} = 28.86 \text{ kg/kmol.}$$

Fracción masa de Oxígeno en el aire:

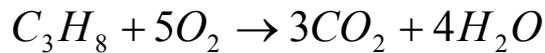
$$\frac{M_{O_2} \left| \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right| * X_{O_2}}{M \left| \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right|} = \frac{32 * 0.21}{28.86} = 0.233$$

Fracción masa de Nitrógeno en el aire:

$$\frac{(28.02) * (0.79)}{28.86} = 0.767$$

Por lo tanto el análisis gravimétrico para el aire aproximadamente es: 23.3% de oxígeno (O₂) y 76.7% de Nitrógeno (N₂), es decir que por cada libra de Oxígeno hay $76.7/23.3 = 3.3$ lbs de N₂.

1.3.3. Combustión del Propano. La reacción química implica una ecuación química. La reacción del propano se representada por la ecuación siguiente:



Donde 1 mol de propano reacciona con 5 moles de Oxígeno y se producen 3 moles de gas carbónico y 4 moles de agua.

Utilizado como combustible industrial y doméstico, el propano se separa de sus compuestos afines: el butano, etano y propeno. El butano, con un punto de ebullición de $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, rebaja la velocidad de evaporación de la mezcla líquida. También se emplea en el llamado gas embotellado, como combustible para motores como, refrigerante, disolvente a baja temperatura y como fuente de obtención del propeno y etileno.

El punto de fusión del propano es de $-189,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su punto de ebullición es negativo de $-42,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.3.4 Combustión completa o perfecta del Propano. La combustión completa o perfecta es obtenida solo por el mezclado y quemado exactamente en las proporciones correctas de combustible (propano) y oxígeno. Si también mucho oxígeno (exceso de aire) es suministrado, decimos que el mezclado se está “oxidando”, el exceso de aire no juega un papel en el proceso, por ejemplo, si cuatro átomos de oxígeno (en lugar de dos) fueron mezclados con un átomo de carbono, dos átomos de oxígeno deben salir con los productos. Si también, mucho combustible (o muy poco oxígeno) es suministrado, decimos que la mezcla es rica y se está “reduciendo” (resultando en una llama prolongada y algunas veces con humo). Esto es usualmente llamado combustión incompleta, por ejemplo, si mezclamos dos átomos de carbono (en lugar de uno) con dos átomos de oxígeno, el átomo de carbono puede distribuirse con el oxígeno disponible, pero ninguno puede llegar a ser dióxido de carbono, en cambio ellos pueden producir monóxido

de carbono (CO). La tabla 1.6 muestra las proporciones apropiadas para combustiones completas o perfectas para el *propano* y varios combustibles típicos.

Tabla 1.6 Relaciones Aire-Combustible para combustiones Completas.

Combustible	$\frac{\text{Vol O}_2}{\text{Vol Comb}}$	$\frac{\text{Vol Aire}}{\text{Vol Comb}}$	$\frac{\text{Peso O}_2}{\text{Peso Comb}}$	$\frac{\text{Peso Aire}}{\text{Peso Comb}}$
Benceno C ₆ H ₆	7.50	35.7	3.08	13.3
Butano C ₄ H ₁₀	6.50	31.0	3.59	15.5
CO	0.50	2.38	0.571	2.46
Etano C ₂ H ₆	3.50	16.7	3.73	16.1
Hidrogeno, H ₂	0.50	2.38	8.00	34.5
Metano, CH ₄	2.00	9.53	4.00	17.2
Octano C ₈ H ₁₈	-	-	3.51	15.1
Propano, C ₃ H ₈	5.00	23.8	3.64	15.7

Fuente: Gas-Air-Oxygen Combustion Studies.

Debido a intereses económicos y aprovechamiento máximo del propano en procesos industriales y domiciliarios se aprovecha la cantidad mayor de energía de la combustión del propano cuando éste es quemado en una combustión completa o perfecta, una combustión incompleta nos reduciría la efectividad del proceso donde estamos utilizando dicha energía.

1.3.4.1 Requerimiento para una combustión completa. Una buena combustión de propano con aire para su óptimo aprovechamiento requiere:

a) Una apropiada proporción estequiométrica de Propano y aire, El propano es llevado al estado gaseoso y luego ser mezclado con el aire para ser quemado.

b) Un completo mezclado del Propano con el aire. Una buena mezcla del combustible con el aire es importante porque la mezcla debe ser uniforme

por todas partes (cada partícula de combustible debe estar en contacto con una partícula de aire).

c) Una constante ignición de la mezcla, proceso de encendido de una sustancia combustible. Se produce cuando la temperatura de la mezcla de Propano y Aire se eleva hasta el punto en que sus moléculas reaccionan espontáneamente con el oxígeno, y la sustancia empieza a arder.

Para obtener una correcta combustión debe lograrse una buena mezcla del combustible con el aire; en este sentido los combustibles gaseosos presentan mayor facilidad de mezcla que los líquidos y éstos a su vez más que los sólidos; por este motivo pueden obtenerse menores excesos de aire con los combustibles gaseosos.

Al Propano o al GLP, se le añade aire antes de la combustión para proporcionarles una cantidad suficiente de oxígeno. La mezcla de aire y combustible surge del quemador a una velocidad mayor que la de la propagación de la llama, evitando así el retroceso de ésta al quemador, pero permitiendo el mantenimiento de la llama en éste.

La combustión estequiométrica o perfecta del Propano prácticamente es irrealizable, lo que obliga a operar con excesos de aire con el fin de lograr combustiones completas. El calor producido en la combustión completa es independiente del exceso de aire, pero el aprovechamiento de este calor es tanto menor cuanto mayor es el exceso de aire con el que se trabaja, ya que una parte del calor de la combustión se utiliza en calentar a los vapores y éstos aumentan con el exceso de aire; por todo ello, en la práctica se buscan combustiones completas con los menores excesos de aire posibles; esto se consigue con una adecuada cantidad precisa de los elementos que intervienen en la combustión.

1.3.5 Relación Oxígeno-combustible del Aire Propanado. El aire teórico o aire estequiométrico es la mínima cantidad de aire para producir una combustión completa. La *Relación de Oxígeno Combustible AC*: se usa para el caso en que se necesite saber la proporción de combustible con respecto al aire.

BASE MOLAR:
$$\bar{AC} = \frac{\text{moles de aire}}{\text{moles de combustible}}$$

EN BASE MASICA:
$$AC = \frac{\text{masa de aire}}{\text{masa de combustible}}$$

➤ Relación aire-combustible AC :

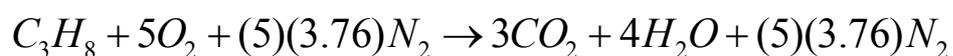
$$AC = \frac{\text{masa aire}}{\text{masa combustible}} = \frac{\text{moles aire} * M_{\text{aire}}}{\text{moles combustible} * M_{\text{comb.}}} = \frac{\text{moles aire}}{\text{moles combustible}} \left(\frac{M_{\text{aire}}}{M_{\text{comb.}}} \right)$$

$$AC = \bar{AC} \left(\frac{M_{\text{aire}}}{M_{\text{comb.}}} \right)$$

AC = cociente aire-combustible base másica.

\bar{AC} = cociente aire-combustible base molar.

Esta cantidad de aire tiene la cantidad exacta de Oxígeno para producir la combustión completa o estequiométrica del propano (quemando todo el combustible con el 100% del aire teórico). Para el Aire Propanado se tiene entonces que:



Y la cantidad de aire necesario es de $(5) \cdot (4.76)$ moles de aire para quemar completamente 1 (una) mol de C_3H_8 .

BASE MOLAR:
$$AC_{C_3H_8} = \frac{5 \cdot 4.76}{1} = 23.80 \frac{\text{moles de aire}}{\text{moles de propano}}$$

Que es la cantidad exacta de mezcla del aire con el propano para crear el combustible sustituto (Aire Propanado) del Gas Natural.

Si la cantidad de Aire teórico es del 120% la Relación aire-combustible para el aire Propanado sería entonces.



En base molar:
$$AC_{C_3H_8} = \frac{1.2 \cdot 5 \cdot 4.76}{1} = 28.56 \frac{\text{moles de aire}}{\text{moles de propano}}$$

En base másica:

$$AC_{C_3H_8} = \frac{28.56 \left| \frac{\text{moles de aire}}{\text{moles de propano}} \right| \cdot 28.9 \left| \frac{\text{lbs de aire}}{\text{moles de aire}} \right|}{44.1 \frac{\text{lbs de propano}}{\text{moles de propano}}} = 18.71 \frac{\text{lbs de aire}}{\text{lbs de propano}}$$

2. DESCRIPCION TECNICA DEL SISTEMA DE AIRE PROPANADO

2.1 Definición

Un sistema de aire propanado crea una mezcla de propano gaseoso más aire, donde normalmente el 57% en volumen es propano y el 43% es aire, mezcla a la cual se le denomina aire propanado, combustible que es directamente compatible e intercambiable con el gas natural (ver figura 1).

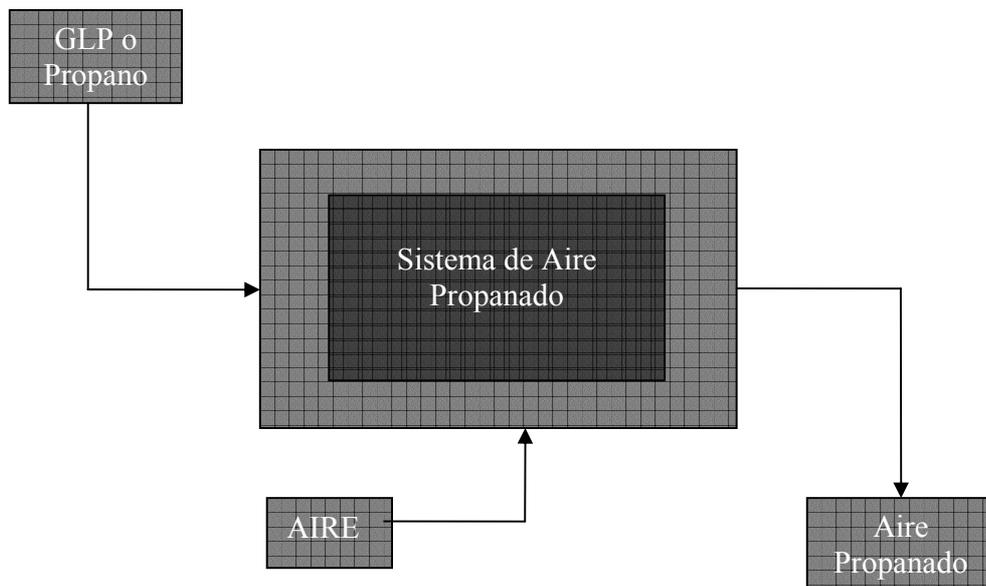


Figura 1. Diagrama General de fluidos del sistema de aire propanado.

Es importante el completo monitoreo de las propiedades de los fluidos presentes en un sistema de aire propanado, ya que se debe garantizar la calidad de la mezcla para su distribución.

2.2. Aplicaciones De Los Sistemas De Aire Propanado

La aplicación principal del aire propanado, es el de suplir deficiencias temporales del gas natural que surte a un sistema, durante situaciones de muy alto consumo (peak shaving), como son el invierno o las horas pico. También se emplea como equipo de soporte en emergencias para usuarios en los que una suspensión del servicio es crítica o muy costosa. Asimismo se usa para alimentar poblaciones no conectadas a los gasoductos de transporte, así se logra captar usuarios y crecer la distribución, hasta que sea factible conectarla al gas natural, sin modificar los gasodomésticos.

Los sistemas de aire propanado son principalmente usados para una de las siguientes razones:

2.2.1 Fuente de combustible primaria. En áreas dónde el gas natural no está disponible, donde se agotó el suministro o a donde se llevará el servicio en un futuro, el sistema de aire propanado permite a los usuarios disponer de un energético sustituto a costos razonables, sin alteraciones técnicas de aparatos que funcionan a gas natural y equipos.

2.2.2. Sistema de reserva "Standby". Una "planta de reserva" como el término implica, es algo que estando detenido esta listo para hacer un trabajo. Una planta de reserva de aire propanado, ofrece a las industrias y a usuarios residenciales, un sistema que es una fuente alterna de energía en el momento en que la fuente de gas natural se recorta o se detiene. Sin embargo, el usuario residencial es el usuario de prioridad y durante un invierno extremadamente largo o los tiempos fríos inesperados, el comprador residencial consumirá más gas natural que el normal, dejando menos para el consumidor industrial.

Para el usuario industrial, que no esta recibiendo la cantidad requerida de gas natural puede causarle costosos daños a las partes y equipos si se interrumpe el flujo de gas en un momento crítico o, incluso puede causar un cierre de la planta definitivo.

El sistema de aire propanado puede absorber las cargas que superan la capacidad de los sistemas de transporte, a lo cual denominaremos "Peak Shaving".

2.2.3. Sistemas de corte máximo "Peak Shaving". Los usuarios compran una cierta cantidad de gas por un periodo fijo de tiempo (días, semanas u horas) a un precio fijo. Los planes no pueden tener en cuenta los inesperados periodos fríos, un estallido en la línea u otros eventos que podrían pasar para romper el suministro planeado, excediendo en la cantidad contractual de gas. Si la empresa debe necesitar más gas que el acordado, ellos pagan un precio de más (si el gas está disponible). Así que, para asegurar el gas extra y evitar precios de más para el gas sobre la cantidad requerida, muchas compañías de utilidad usan propano, mezclado con aire, para reproducir el volumen de BTU de gas natural requerido. Esta mezcla de gas se usa como complemento asegurando el suministro de gas, entonces, permite una proporción de combustible más consistente de su proveedor y ayuda al suministro supliendo los excesivos picos de demanda. El equipo usado en los sistemas "Peak Shaving", es idéntico al empleado en las plantas Standby, pero con la adición de equipos de control, con el fin de limitar su consumo de gas natural.

Ningún país del mundo que aliente expectativas de crecimiento de su economía, que cuente con reservas de gas natural y que especialmente no sea un país petrolero, no puede dejar de lado el uso intensivo del "Aire Propanado" como combustible alternativo.

2.2.4. Sistemas auxiliares “Backup”. Las instalaciones críticas, como los hospitales, las instalaciones militares, el cultivo de ganado o grandes procesos industriales requieren a menudo sistemas backup o auxiliares para la electricidad y el gas natural. El sistema de aire propanado produce gas que está prontamente disponible y es directamente compatible con el gas natural.

2.3 Beneficios del uso de sistemas de aire propanado

Los sistemas de reserva de aire propanado ofrecen varios beneficios a los consumidores comerciales e industriales de gas natural, se utiliza en la intercambiabilidad con el gas natural, como fuente primaria de combustible, o como sistema auxiliar de gas con diseño compacto para un funcionamiento seguro con baja inversión de capital, creando economía en las facturas de gas, produciendo un combustible que no es tóxico. A su vez es limpio cuando se quema debidamente combinado con el aire, ni forma hollín, ni deja mal sabor en los alimentos preparados con él.

Los principales beneficios y la desventaja al momento de pensar su implementación son:

➤ *Beneficio 1:* Como la desconfianza de suministro de gas contra la demanda, no es el único factor que afecta la entrega de gas natural, se entrega vía red subterránea. Si una sección de tubería se daña o si otras fallas de equipo de la tubería ocurren, el suministro de gas natural puede anularse. Guardando propano en sitio, un consumidor puede asegurar que el suministro de gas continúe en caso de dichos fracasos. En este contexto, el propano puede verse en sistemas de reserva fácilmente, como una forma de seguir sin interrupciones en el negocio que desarrolla el consumidor.

➤ *Beneficio 2:* Flexibilidad y acceso en el mercado. La competencia es una fuerte tendencia en cada faceta de mercados de energía. Muchos consumidores ya compran gas natural y es así que un sistema de propano de reserva puede ser un recurso significativo en este nuevo mercado, permitiendo a un consumidor individual acceder y manejar un rango más ancho de suministro de gas y opciones de transporte.

➤ *Beneficio 3:* Economías en el Costo. Muchas utilidades de gas, tuberías y mercantes venden y entregan gas. Se propone entregar el suministro sin tener en cuenta los balances grandes en la demanda debido a los tiempos y otras características del mercado energético, éste debe entregar el requisito establecido por todos en la cadena del suministro a empresas de gas locales, es por esto que una de las razones para el uso de esta tecnología radica en que buena parte de los problemas interrumpibles en los picos de consumo (consumo tiene variaciones horarias a lo largo del día), sube y baja ocasionando pérdidas, se pretende entonces cortar los picos con la planta de aire propanado.

Para el consumidor, la habilidad de comprar a menudo gas sobre una base interrumpible, rinde economías de 20% a 30%, o más, basado en un año completo comparado al servicio de GN. Un elemento básico en esta situación es la necesidad del consumidor por un sistema de reserva o "backup".

➤ *Beneficio 4.* Mayor seguridad. cuando hay una fisura en la tubería a las mismas presiones y por ella brota aire propanado, el riesgo es menor, que si se utilizara propano puro, pues el aire en la mezcla le disminuye su poder calorífico.

➤ *Beneficio 5.* Beneficios económicos. El costo de un Sistema de aire propanado depende principalmente de su capacidad. Los sistemas con capacidades menores de 10 millones de BTU por hora (aproximadamente 10,000 ft³/h) comienzan en US\$ 10,000 (más los tanques e instalación). Sistemas más grandes pueden costar más de US\$ 250,000 cuando son combinados con tanques de gran capacidad, o cuando las condiciones del sitio requieren instalaciones complejas. Los ahorros dependen principalmente de la diferencia entre la proporción de “la empresa” (suministradora) y la proporción “interrumpible” (periodos utilizados). Típicamente, la diferencia es del 20% o más. Una factura media de energía mensual para el gas natural es \$6,000, entonces usted podría esperar un ahorro \$ 6,000 x 20% x 12 meses = \$14,400 por año. Basado en estas suposiciones, un sistema para esta carga de tamaño amortizaría bien en un año. Después de esto, sus ahorros serían aproximadamente \$1,200 por mes.

El costo del aire propanado depende del costo de propano que fluctúa a lo largo del año. La mayoría de clientes compensan esto comprando su propano durante los meses de verano, cuando los precios del propano son normalmente más bajos que en el invierno. Incluso después de compensar el hecho de que el calor contenido en 1 galón de propano líquido es aproximadamente 10% menos del calor contenido en 1 termia (100000 BTU) de gas natural, el costo de la producción de aire propanado gaseoso es el mismo, o a veces incluso menor al costo del gas natural. Esto significa que incluso en los periodos largos de reducción no se presenten problemas.

➤ *Desventaja:* estas importantes ventajas se ven pequeñamente afectadas por los costos. El propano es más costoso que el gas natural y adelantar su distribución por tuberías en vez de utilizar carros cisternas, conlleva esta desventaja. Para mezclarlo con aire en cantidades importantes, como se requiere en redes urbanas, debe hacerse a alta presión. Los

sistemas en baja presión, como los que utilizan un vénturi, aumentan demasiado los diámetros de tubería de distribución y no suministran los volúmenes requeridos. Por tal motivo el suministro debe ser mezclas de propano-butano (GLP) y se debe hacer a altas presiones con equipos de mezclado con pistón.

2.4 Elementos De Un Sistema De Aire Propanado

Un sistema de aire propanado generalmente consta de:

- ZONA DE DESCARGA.
- TANQUES DE ALMACENAMIENTO de Propano.
- BOMBA para transferir GLP al Vaporizador.
- VAPORIZADOR para convertir el propano líquido a gas.
- MEZCLADOR o BATIDORA para mezclar el propano vaporizado con aire.
- ACCESORIOS ADICIONALES (Válvulas de control de flujo, medidor de flujo, Filtros, regulador de presión entre otros).

El uso, funcionamiento y descripción técnica de éstos elementos que conforman un sistema de aire propanado, se describen detenidamente de acuerdo al orden de la figura 2 de una planta, siguiendo la dirección de flujo del GLP o propano.

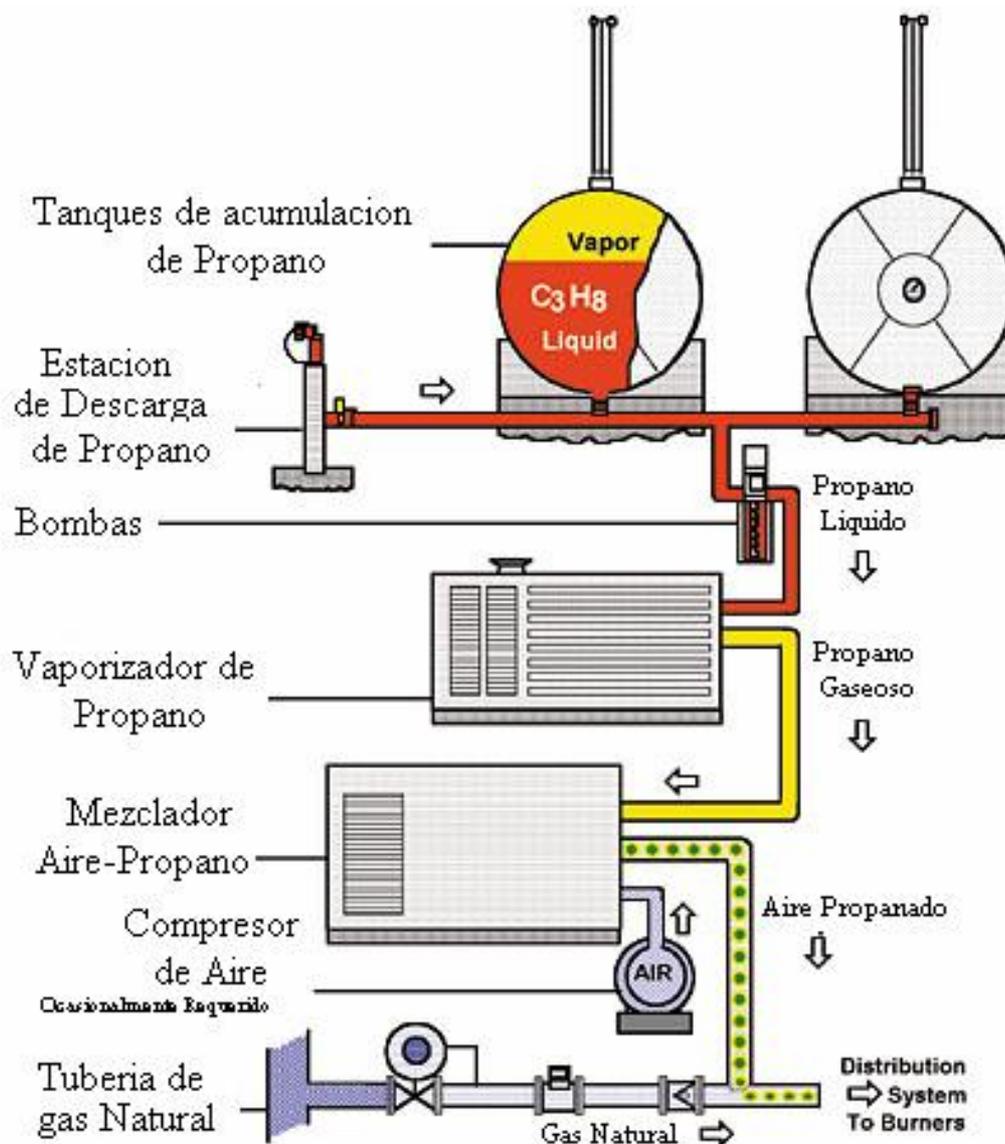


Figura 2. Componentes y dirección de flujo en un sistema de aire propanado.

2.4.1 Estación de descarga Es el elemento que recibe el GLP líquido de los camiones de suministro y su función consiste en que una vez recibe el GLP líquido de los camiones lo transfiera a los tanque(s) de almacenamiento. Las estaciones de descarga de camiones están diseñadas para ser fijadas en una base de concreto, y esta compuesto con la línea de traslado de líquido y línea de retorno de vapor, ver figura 3.



Figura 3. Estación de descarga de camiones.

La estación de descarga de camiones y llenado de cilindros están equipados con válvulas de control, válvulas de exceso de flujo, válvulas de venteo, válvulas cheques y válvulas de obturador de emergencia (ESV).

La situación y construcción de estaciones de transferencia de combustible son importantes en el diseño de una planta y se requieren las válvulas en este elemento para un cierre rápido y también se requiere un “quiebre” para proteger la planta en caso de un tirón del camión conector como se muestra en la figura 4.

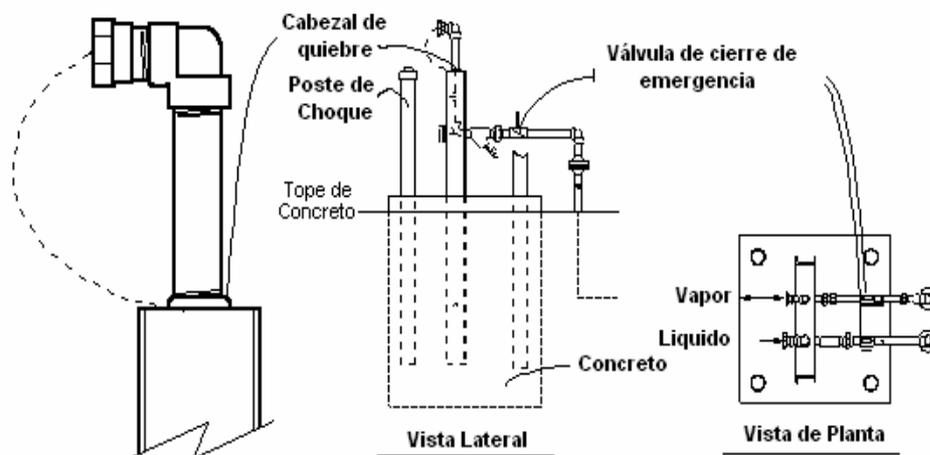


Figura 4. Elementos de una estación de descarga de camiones.

2.4.2 Tanques de Almacenamiento Los tanques de almacenamiento de GLP dependen de sus fabricantes, sin embargo, a través de muchos años de cooperación íntima con los mayores fabricantes de tanques, y debido a los continuos cambios en la industria, y el hecho que los tanques de almacenamiento de GLP tienen vidas útiles típicas de 40 años o más, se puede disponer muy a menudo de los tanques usados como una alternativa ahorradora de costos. Los nuevos tanques de almacenamiento de GLP vienen con los certificados de prueba de fábrica; los tanques usados se deben probar y ser re-certificados a la instalación.

Estos tanques son generalmente de acero y son diseñados para una presión de operación de al menos 250 psig, tan importante como el propio tanque son los embarcaderos, estructuras de concreto instaladas delante de los tanques como se ve en la figura 5.



Figura 5. Tanques de almacenamiento de GLP.

En los tanques de almacenamiento se deben destacar las válvulas de estado del tanque. Los tanques de almacenamiento, nuevos o usados, deben ser muy bien ajustados. Están equipados con válvulas de alivio de seguridad, válvulas de exceso de flujo, puertas de salida de líquido, indicadores de nivel, transmisores, medidores de presión, termómetros, etc., para reunir los

requisitos de seguridad de NFPA (National Fire Protection Association), y la información de conveniencia de los operadores (algunos de estos elementos se ilustran en la figura 6). Las válvulas de obturador de emergencia son instaladas entre las estaciones de descarga de camión y los tanques de almacenamiento, ellos se activan a través de un sistema neumático.



Figura 6. Válvulas de Estado del tanque de almacenamiento.

En la línea de salida de los tanques de almacenamiento se introduce muy a menudo *Coladeras* y *Filtros*. Se instalan entrenadores tipo “Y” en el suministro de la línea líquida al vaporizador, y se diseñan para quitar la contaminación sólida en el GLP, es decir arena u óxido. Existen coladeras se diseñan para los tamaños comunes de tubería (desde 3/4” a 4”) la figura 7 muestra estos elementos.



Figura 7. Coladeras o Filtros.

Además de sólidos contaminantes, los filtros coalescentes son diseñados para remover la humedad y los productos no deseados del proceso del refinamiento de GLP, también llamados “los pesados finales”, además se fabrican estos elementos para la fase vapor es decir se incorporan también a menudo en la salida del vaporizador o en la línea de entrada del vapor de GLP del mezclador. Todos los filtros coalescentes vienen con una válvula de desagüe manual para remover la acumulación.

2.4.3 Vaporizadores de GLP. Este componente recibe el GLP líquido proveniente de los tanques de almacenamiento por medio de una bomba, y su función es el de cambiar a estado gaseoso ese GLP, para luego llevarlo al mezclador donde se combinará con el aire. Este elemento es realmente una “caldera”, donde se hierve propano, butano, u otro GLP. Puede parecer extraño que se requiera calor para vaporizar el GLP cuando el propano hierve a -44°F y el butano a 32°F , sin embargo, el GLP se vaporiza por la sola expansión, causando una acción de refrigeración. En aplicaciones con altos flujos de GLP, la vaporización es incontrolable, congelando las válvulas y las boquillas del quemador, por consiguiente, el suministro de calor es requerido para compensar la acción de la refrigeración.

Los usuarios industriales (ver figura 8) y comerciales toman ventaja de enormes descuentos en el gas natural, ofrecidos por su compañía de servicios de gas, si ellos están de acuerdo a reducir su consumo cuando la demanda excede el suministro de gas natural, como medida de protección de la materia prima y así evitar crisis futuras de abastecimiento.

Hay dos tipos de vaporizadores de GLP. Un tipo denominado de llama directa donde usa una porción del propano, que se vaporiza para proporcionar el calor requerido para el proceso de vaporización. El tipo de

llama indirecto usa una fuente externa de calor, como vapor de agua caliente, o electricidad, para vaporizar el propano.

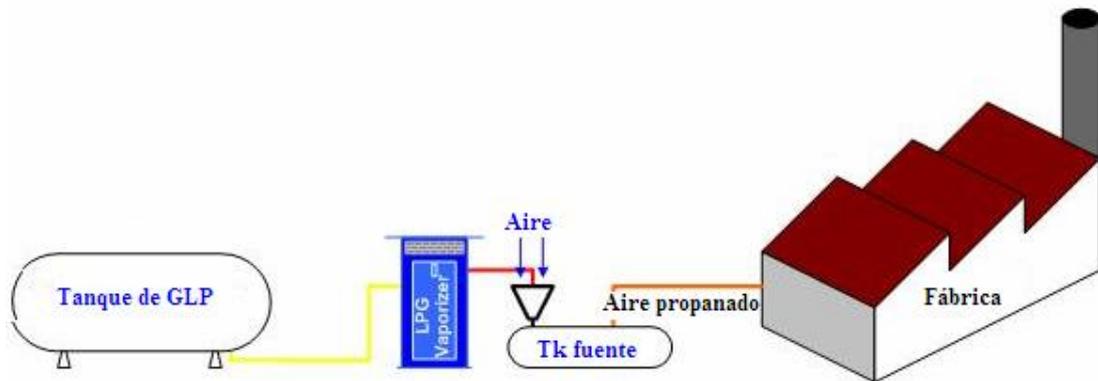


Figura 8. Suministro de aire propanado al sector industrial.

2.4.3.1 Vaporizador de llama directo. No requiriendo ninguna fuente eléctrica para su funcionamiento, el vaporizador de llama directo se fabrica para capacidades de 50, 80, 120, 160, 240, 360 y 480 galones por hora, donde la vaporización de propano ocurre a 0 °F.

El quemador de GLP asegura una ignición rápida, sin ninguna apertura o correderas en la base que podría causar problemas en la salida de la unidad. Las unidades se fabrican con una aleación de bronce, con válvulas en la entrada del líquido, indicadores de nivel líquido dual, para prevenir una sobreacumulación líquida, y flotadores de bola de acero limpio, el sistema comúnmente trabaja con 600 psi. de presión de diseño. El tubo vaporizador y todos los caminos del propano van por tuberías que conforme a las normas NFPA #58, son aceptadas por las fábricas Aseguradoras de Riesgos Industriales (IRI) en las instalaciones.

El Número de ejemplar (AE-#) de los vaporizadores de llama directo designa galones por hora de vaporización de propano a 0 °F de temperatura en la

entrada. La figura 9 muestra vaporizadores de llama directo. Los vaporizadores directos de propano, butano cumplen las normas ASME (American Society of Mechanical Engineers), NFPA (National Fire Protection Association) y FM (Factory Mutual), como un regulador de quemador de dos fases con control de nivel que cuenta con un desagüe manual, que son algunas de sus características básicas.



Figura 9. Vaporizadores de GLP directos

Funcionamiento del vaporizador de llama directo: El suministro de GLP líquido se conecta a la válvula de entrada líquido. Una bola de acero inoxidable está descansando en el accionador, por la válvula de entrada de líquido, abriendo la válvula, y permitiéndole al GLP líquido entrar en el Tubo de vaporización. El nivel del líquido subirá hasta que la bola de acero inoxidable sea levantada fuera del accionador de la válvula de la entrada de líquido por efecto de flotación.

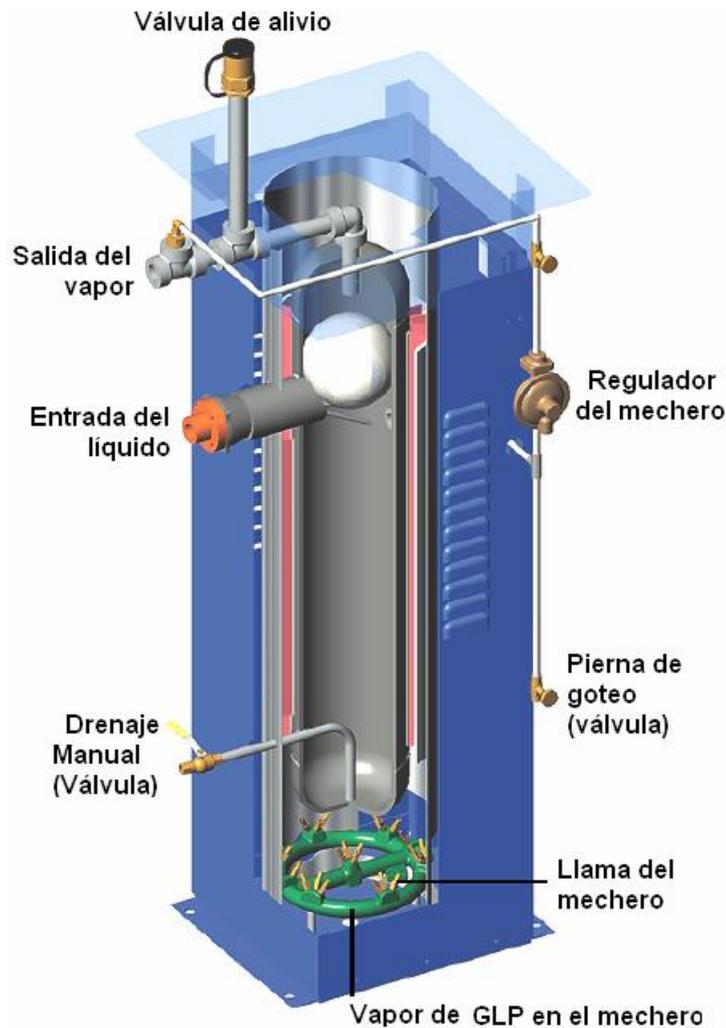


Figura 10. Componentes de un vaporizador de llama directa

Se lleva una pequeña fracción de gas de GLP de la vaporización ocurrida naturalmente, a través del regulador de presión del quemador dual y a la válvula de control de temperatura, lo lleva al mechero en el fondo de la unidad dónde es utilizado por el piloto del quemador creando la chispa de ignición. Los gases calientes del quemador suben a lo largo del tubo de vaporización y las aletas de metal a lo largo del tubo de vaporización aumentan la transferencia de calor de los gases calientes al tubo de

vaporización y al GLP líquido. El vapor de GLP sale a través de la salida de vapor del vaporizador como se muestra en la figura 10.

Si la demanda en el vaporizador es más alta que la capacidad de vaporización, el nivel de líquido en el tubo de vaporización subiría. Esto no sólo cerraría la válvula de la entrada de líquido, sino que también empuja la campanilla de acero inoxidable contra la sección de la salida de vapor dentro del tubo de vaporización, por consiguiente cerraría la salida del tubo y evitaría la salida de propano líquido a través de la salida de vapor como elemento de seguridad. Sólo una cantidad pequeña de gas se permitiría escapar a través de un hueco diminuto en el asiento de la bola contra la línea de salida de vapor, así iguala la presión dentro del tubo de vaporización y la presión en la línea de salida de vapor. Al mismo tiempo, la válvula de control de temperatura detectará el líquido fresco en su sensor y abrirá el flujo de gas al quemador, de esta forma el calor aumentado estimula el proceso de vaporización y retorna la unidad, al funcionamiento normal.

Si la luz del piloto de quemado o chispa de ignición debe extinguirse, el ensamble integrado: quemador y termocupla, descubriría la caída en la temperatura e interrumpiría el suministro de gas al quemador. Si ocurre una situación de sobrepresión, la válvula de alivio de presión abre el sistema a la atmósfera. La válvula de desagüe localizada en la parte de atrás del vaporizador, y la "válvula de pierna de goteo" permite el levantamiento fácil de contaminaciones de la unidad ("extremos pesados").

Especificaciones gráficas de los vaporizadores de llama directo: Las dimensiones, pesos, capacidades de vaporización de los diferentes vaporizadores de llama directo se ilustran en la tabla 2.1 y en la figura 11.

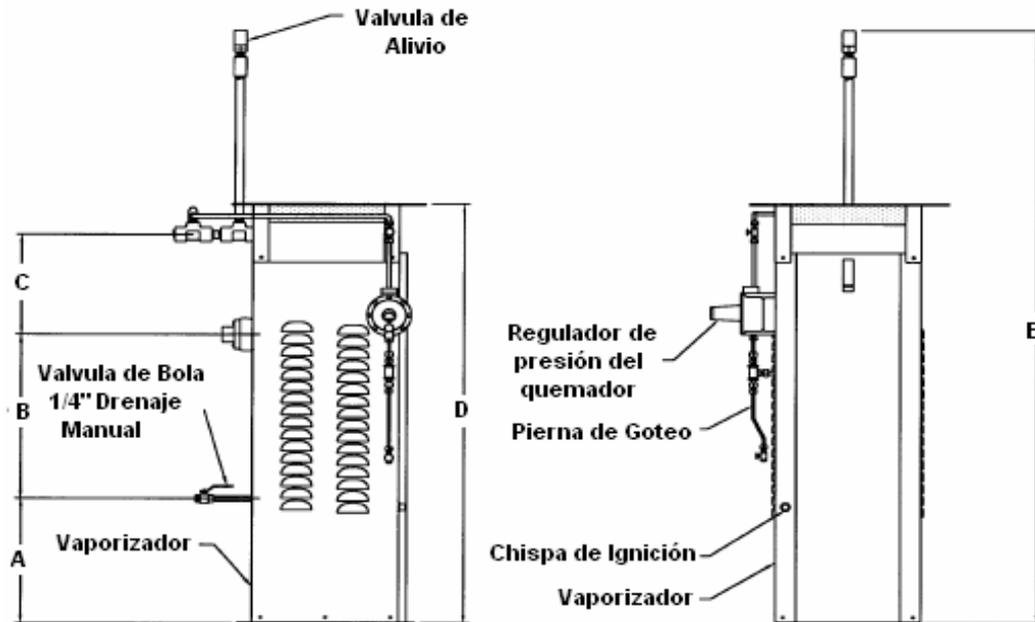


Figura 11. Dimensiones de los vaporizadores de llama directo.

Tabla 2.1 Dimensiones de los vaporizadores de llama directo

	AE - 50	AE - 80	AE - 120
A	13" (330 mm)	13" (330 mm)	13" (330 mm)
B	14" (356mm)	22" (559 mm)	31" (787 mm)
C	11" (276 mm)	11" (276 mm)	11" (276 mm)
D	41" (1041 mm)	49" (1245 mm)	58" (1473 mm)
E	59" (1499 mm)	67" (1702 mm)	76" (1930 mm)

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

Especificaciones técnicas de los vaporizadores de llama directo: La tabla 2.2., muestra las características generales técnicas de los vaporizadores de llama directa, donde las dimensiones y pesos son aproximados y la capacidad nominal para el propano/butano de vaporización del liquido GLP es a 0°C.

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas de los vaporizadores de llama directo

Especificaciones		AE - 50	AE - 80	AE - 120
Tipo		Vaporizador de baño de agua con control de nivel líquido dual y regulador del mechero.		
Capacidad de Vaporización	gph	50	80	120
Capacidad de Vaporización	Kg/h	100	160	240
Temperatura de Diseño	°F (°C)	650 (345)		
Presión de diseño	Psi (bar)	250 (17)		
Presión de prueba	Psi (bar)	375 (25)		
Seguridades Standard		Control del nivel líquido dual con protección de líquido remanente, válvula de alivio de presión, drenaje manual.		
Consumo del mechero	BTU/h	70000	100000	140000
Conexión entrada del líquido		3/4 "		
Conexión salida de Vapor		3/4 "		
Requerimientos eléctricos		No		
Peso Vacio	Lbs (kg)	180 (82)	200 (91)	250 (115)

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

2.4.3.2 Vaporizadores De Baño De Agua. Los vaporizadores de baño de agua horizontales son rectangulares en su diseño, su techo y paredes están aisladas con una lámina de fibra para mantener la temperatura del baño de agua, y se cubren con una lámina de aluminio. El tubo vaporizador y todos los tubos que recorre el propano, están conformes a las normas Standard de ASME y NFPA #58 y son aceptados por las fábricas Aseguradoras de Riesgos Industriales (IRI) en las instalaciones.

Usando una mezcla de agua con una solución de anticongelante (Glicol) como medio de intercambio de calor, y una bomba que constantemente circula dicha solución para reducir la estratificación del calor, estos vaporizadores son montados sobre rodillos, probados en las fábricas,

preparados para la conexión apropiada al suministro eléctrico, líneas de liquido de GLP y salida de vapor. El Número de ejemplar (WB-#) de los vaporizadores de baño de agua designan galones por hora (gph) de vaporización de propano a 0 °F. La figura 12 muestra un vaporizador de baño de agua.



Figura 12. Vaporizador de baño de agua.

Funcionamiento de los vaporizadores de baño de agua: Los Vaporizadores de baño de agua están disponibles en capacidades normales de 200 gph, a 7000 gph. Ellos se diferencian unos a otros principalmente en su tamaño, capacidad de vaporización, la cantidad de intercambio de calor medio y el área activa de intercambio de calor del tubo vapor y el tubo del quemador, que también determina su capacidad de vaporización. La figura 13 presenta una configuración típica de un vaporizador de 1000 gph. Los componentes principales del vaporizador son: el Tubo del Quemador (D) con el tubo de descarga (A), el Tubo de Vapor (B) con las Aletas Soldadas (C), el armazón de acero (K) con el interno del quemador y el cascarón del Cuarto de Mando (Q), la línea de entrada de Líquido (F, G, I, J), la cabeza de Toma de corriente

de vapor (E) con Protección del Líquido remanente (H), y la serie de suministro de combustible (U) para el Quemador (S).

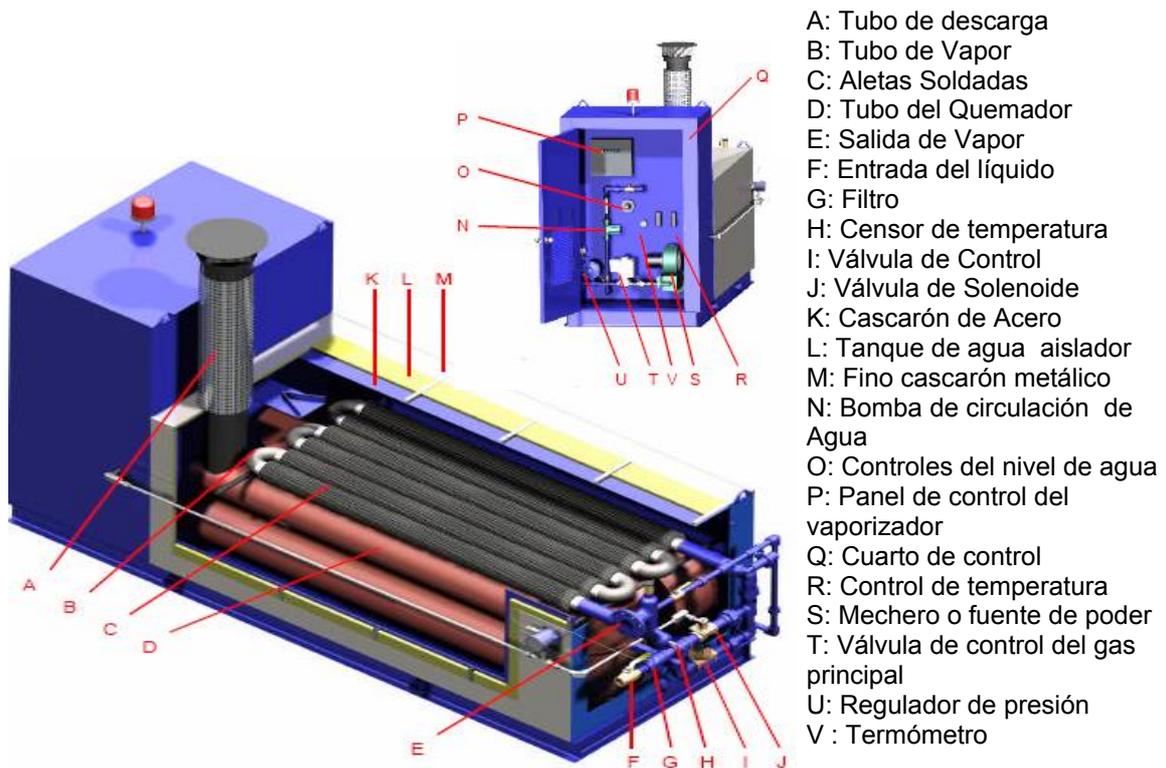


Figura 13. Componentes del vaporizador de baño de agua

También se muestra en el dibujo el Aislamiento de Tanque de Agua (L), la plancha del caparazón metálica Exterior (M), el panel de control del vaporizador (P), la Válvula de control del Gas Principal (T), la Bomba de Circulación de Agua (N), y los controles para la temperatura del baño de agua (R), junto con el nivel de Agua (O).

El Tubo del Quemador y el tubo de vapor se sumergen totalmente en una solución anticongelante de agua. El vapor de GLP que pasa a ser vaporizado, se toma del cabezal de Toma de corriente de Vapor (E) y es mantenida a través de un regulador de Presión (U) al Quemador (S), el

quemador calienta la solución anticongelante de agua a través del Tubo del quemador (D), los controles de temperatura (R) mantienen la temperatura del agua constante a 180 °F. El calor del agua es transferido a través del Tubo de Vapor (B) al GLP que entonces se evapora y sale del sistema a través del cabezal de Toma de corriente de vapor (E). Un sensor de Temperatura (H) se inserta en el cabezal de Toma de corriente de Vapor. Este Censor de temperatura manifestará cualquier caída de temperatura, asociada con la presencia de GLP líquido. Si esto ocurre, la Válvula del Solenoide (J) en serie con la entrada líquida se cierra e impide al líquido entrar en el vaporizador (Protección de líquido remanente). Otros componentes en serie con la Entrada de líquidos son la Válvula de cerrado Líquida (F), el filtro (G), y la Válvula cheque (I), aprobando el exceso de presión del GLP en el tubo de vapor saliendo por la línea del suministro del líquido y el tanque.

Especificaciones técnicas de los vaporizadores de baño de agua: La tabla 2.3 muestra las características generales técnicas de los vaporizadores de baño de agua donde las dimensiones y pesos están aproximados y la capacidad nominal para el propano/butano de vaporización del líquido GLP es a 0°C.

Para modelos de sistemas mayores la tabla 2.4 muestra las especificaciones técnicas para vaporizadores de baño de agua de mayor tamaño y por ende mayor capacidad de vaporización, es decir modelos de WB-superiores a 1500.

Tabla 2.3 Especificaciones para vaporizadores WB-200 a WB-1500

Modelo	WB-200	WB-250	WB-350	WB-450	WB-550	WB-650	WB-750	WB-850	WB-1000	WB-1200	WB-1500	
Capacidad de vaporización gph	200	250	350	450	550	650	750	850	1000	1200	1500	
Capacidad del tanque de agua Gal	160			240		450			660			
Diseño del quemador	Atmosférico tipo venturi			Quemador de poder eléctrico								
Capacidad del quemador*1000BTU/h	240	300	395	540	660	780	900	1020	1200	1440	1800	
Temperatura de diseño	650 °F											
Presión de diseño	250 psig											
Características e seguridad												
Paro del piloto	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cierre de ignición	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	
Resguardo eléctrico de llama	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	
Corte de bajo nivel de agua	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Limite de Temp del baño de agua alto	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Protección de liquido remanente	Censor de temperatura			Listo		Listo			Listo			
Válvula de alivio sobre tubo de vap.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Presión de gas del quemador baja	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	
Presión de gas del quemador alta	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	
Conexión, entrada líquido	1"								2"			
Conexión salida de vapor	2"								3"			
Requerimiento eléctrico	AC 110V 60 Hz 15A monofásico			AC 220V 60Hz 15A Monofásico								
Dimensiones Ancho	39 (990)			72 (1829)		72 (1829)			72 (1829)			
in (mm) Largo	99 (2520)			135 (3429)		135 (3429)			156 (3962)			
in (mm) Alto	80 (2030)			112 (2845)		112 (2845)			112 (2845)			
Peso lbs (kg)	3200 (1450)			4600 (2090)		5200 (2380)			6500 (2850)			

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

Tabla 2.4 Especificaciones para vaporizadores WB-1800 a WB-7000

Modelo	WB-1800	WB-2000	WB-2200	WB-2500	WB-3000	WB-3500	WB-4500	WB-5500	WB-7000
Capacidad de vaporización gph	1800	2000	2200	2500	3000	3500	4500	5500	7000
Capacidad del tanque de agua Gal	1200				2625			3225	3600
Diseño del quemador	Quemador de poder eléctrico								
Capacidad del quemador*1000BTU/h	2160	2400	2640	3000	3750	4200	5400	6600	8000
Temperatura de diseño	650 °F								
Presión de diseño	250 psig								
Características e seguridad									
Paro del piloto	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cierre de ignición	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Resguardo eléctrico de llama	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Corte de bajo nivel de agua	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Limite de Temp del baño de agua alto	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Protección de liquido remanente	Listo								
Válvula de alivio sobre tubo de vap.	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Presión de gas del quemador baja	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Presión de gas del quemador alta	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Conexión, entrada líquido	2"								3"
Conexión salida de vapor	3"				4"				6"
Requerimiento eléctrico	AC 460 V 60 Hz, 15 A, Trifásico								
Dimensiones Ancho	84 (2134)				89 (2260)				N.D.
in (mm) Largo	216 (5486)				252 (6400)				N.D.
in (mm) Alto	120 (3048)				124 (3150)				N.D.
Peso lbs (kg)	12000 (4650)				15000 (6800)				N.D.

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

Todos los Vaporizadores de baño de agua (WB) están equipados con controles de seguridad, en modelos con quemadores atmosféricos (WB-200 a WB-350), un sencillo sistema de control es usado para supervisar el

estado de estos dispositivos de seguridad y para controlar la válvula del gas principal del quemador. En modelos de quemadores de poder eléctrico (WB-450 a WB-7000), los dispositivos de seguridad y el estado de encendido de seguridad electrónica, son supervisados por un controlador lógico programable (PLC), que entonces activa (o, en caso de una falla en el sistema, apaga) el quemador. El PLC se comunica con un operador de interfase el cual produce parejas que son despliegues alfanuméricos con 2-líneas y 20 caracteres por línea, o muestra un pantallazo LCD de gráficos completos.

El operador de interfase continuamente despliega el estado del sistema, y también las funciones como un panel anunciador de paro primario, indicando cualquier funcionamiento defectuoso del sistema.

El tamaño y la complejidad del PLC dependen de los requerimientos del sistema y las preferencias del distribuidor, y pueden ser adaptados virtualmente a cualquier aplicación, incluyendo la indicación de estado remoto y el telemando (control remoto).

Todos los vaporizadores de baño de agua tienen un componente (sala de control) en el frente de la unidad, perteneciente al quemador, en serie con el quemador de gas se encuentra el panel de control del vaporizador, control de temperatura, bomba de circulación de agua, etc. El tamaño de la sala de control varía con el tamaño del vaporizador.

Especificaciones gráficas de los vaporizadores de baño de agua: Las dimensiones de los vaporizadores de baño de agua para los diferentes modelos con sus respectivas salas de control se ilustran en la figura 14 y en la tabla 2.5, estas dimensiones están aproximadas para propósitos de orientación ya que el vaporizador puede variar dependiendo del fabricante.

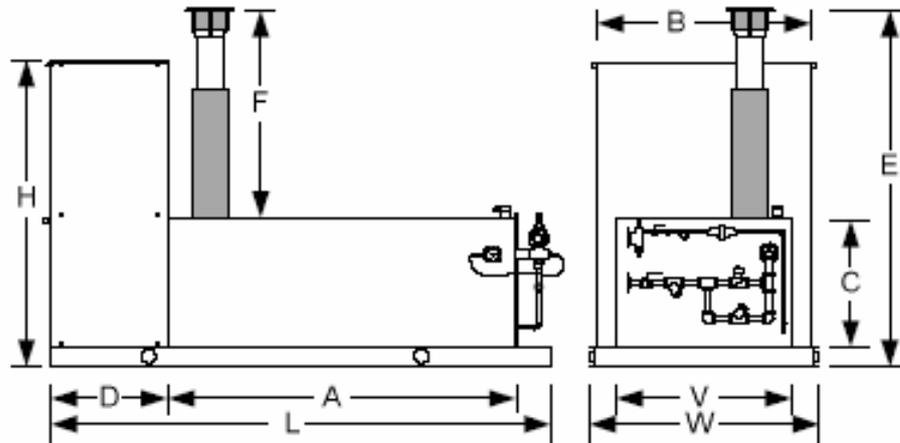


Figura 14. Dimensiones de un vaporizador de baño de agua.

Tabla 2.5 Dimensiones de los vaporizadores de baño de agua (WB)

Dimensiones en Pulgadas	W	L	H	V	A	B	C	D	E	F
WB-200, WB-250, WB-350	39	99	37	39	69	39	31	30	80	43
WB-450, WB-550	72	135	90	50	82	66	25	36	112	81
WB-650 al WB-850	72	135	90	60	78	66	38	36	112	68
WB-1000 al WB-1500	72	156	90	55	107	66	46	36	112	60
WB-1800 al WB-2500	84	216	90	62	127	83	55	72	112	51
WB-3000 al WB-5500	90	252	90	83	171	89	64	72	112	42
WB-7000	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

2.4.3.3 Vaporizadores De Baño De Agua Eléctricos Éstos usan electricidad para calentar la solución de agua y anticongelante (Glicol) usado como medio de intercambio de calor. Se aíslan la cima y los lados con una capa de fibra para mantener la temperatura del baño de agua, y es cubierta con una capa de aluminio. Dependiendo de su capacidad, las unidades usan 1, 2 o 3 elementos calentadores eléctricos, cada uno con una capacidad nominal de 16 kW, todas las unidades usan un rollo de acero limpio continuo para la vaporización. El tubo vaporizador y todos los tubos que recorre el propano están conformes a las normas Standard de ASME y NFPA #58 y son aceptados por las fábricas Aseguradoras de Riesgos Industriales (IRI) en

las instalaciones. La figura 15 muestra un vaporizador de baño de agua eléctrico externamente.



Figura 15. Vaporizador de baño de agua eléctrico.

El número ejemplar (EV-xxx) designa la capacidad en kilogramos por hora de vaporización de propano a 0 °F.

Los vaporizadores de baño de agua eléctricos (serie EV), se diseñan específicamente para instalaciones donde la electricidad está disponible a bajo costo, y para instalaciones donde los códigos locales o nacionales prohíben cualquier calentador de agua de llama abierto, o donde los calentadores de agua de llama abiertos no pueden estar en el mismo compartimiento con el GLP como lo realiza los vaporizadores de baño de agua serie WB.

La electricidad debe proporcionarse individualmente a cada elemento del calentador externamente, todos los modelos están disponibles para una variedad de voltajes (CA 380 V 50 Hz, trifásico; CA 550 V 60 Hz, trifásico; etc).

Funcionamiento de los vaporizadores de baño de agua eléctrico: Los Vaporizadores de Baño de Agua eléctricos están disponibles en capacidades desde 100 kg por hora (50 gph), a 300 kg por hora (150 gph). Externamente, todos los modelos parecen iguales, Internamente, difieren en el número de elementos calentadores que usan, la longitud del tubo de vaporización, y en sus controles eléctricos.

La figura 16 muestra una configuración típica de un vaporizador de 300 kg/h (150 gph), los componentes principales del vaporizador son: la entrada de líquido (P), calentadores eléctricos (A), tubo de vapor enrollado (B), el cascaron de acero (C), el cabezal de salida de Vapor (D) con protección al líquido remanente (E), y la Válvula solenoide de cierre (F). También se muestra en el dibujo el aislamiento de tanque de agua (G), el cascarón metálico en la plancha Exterior (H), los tres controles para la temperatura del agua (bajo / operación / alto) (I), y el control de nivel de agua (J).

Las porciones activas de los elementos del calentador y el tubo de vapor se sumergen totalmente en la solución de agua-anticongelante. Los elementos del calentador elevan la temperatura de la solución, con los controles de temperatura (I), manteniendo una temperatura constante del agua de 180 °F. El calor del agua se transfiere a través del tubo de vapor (B) al GLP que entonces se evapora y termina el sistema a través del cabezal de salida de vapor (D). Un sensor de temperatura (E) se instala en el cabezal de salida de vapor, este sensor detectará cualquier caída de temperatura, asociado con la presencia del GLP líquido. Si esto ocurre, la válvula del Solenoide (F) cierra

la salida lateral de vapor e impide al líquido salir del vaporizador (Protección de líquido remanente).

Otros componentes en el vaporizador son la unión de prueba de explosión empacada (K), que sostiene los contactores para cada elemento del calentador, la válvula de alivio de presión de vapor (L), la apertura de llenado de agua (M), el desagüe de drenaje (N), y el desagüe de agua manual (O). El modelo EV-100 tiene una unión de caja de prueba de explosión y los modelos EV-200 y EV-300 tienen dos uniones de cajas de prueba de explosión.

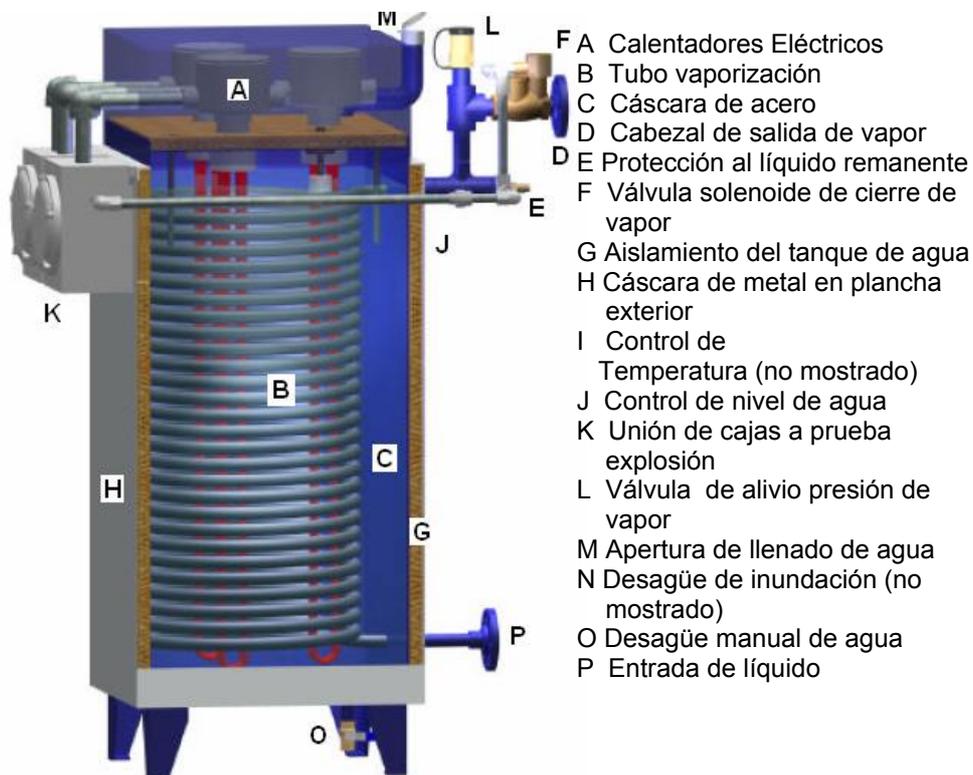


Figura 16. Componentes del vaporizador de baño de agua eléctrico.

Especificaciones técnicas de los vaporizadores de baño de agua eléctricos:

La tabla 2.6 muestra las características generales técnicas de los vaporizadores de baño de agua donde las dimensiones y pesos están aproximados, y la capacidad nominal para el propano-butano de vaporización

del liquido GLP es a 0°C. Las dimensiones, pesos, capacidades de vaporización de los diferentes vaporizadores de llama directa se ilustran en la figura 17.



Figura 17. Dimensiones de los vaporizador de baño de agua eléctricos.

Tabla 2.6. Especificaciones de los vaporizadores de baño de agua eléctrico

Especificaciones	EV-100	EV- 200	EV-300
Tipo	Vaporizador de GLP Indirecto		
Capacidad de Vaporización Kg/h (gph)	100 (50)	200 (100)	300 (150)
Capacidad del tanque de agua L (gal)	190 (50)		
Temperatura de diseño °C (°F)	345 (650)		
Presión de diseño bar (psi)	17 (250)		
Características de seguridad			
Corte de bajo nivel de agua	Interruptor Flotador con válvula de bola		
Limite de Temp del baño de agua alto	Sensor de temp. En el baño de agua		
Protección de líquido remanente	Sensor de temp en la salida del vapor		
Válvula de alivio	Se abre a 250 psi		
Conexión, entrada líquida	1"		
Conexión, salida del vapor	1"		
Numero de elementos calentadores	1	2	3
Requerimiento eléctrico	15 kW para el elemento calentador, AC380V 50 Hz trifásico.		
Dimensiones mm (in) (WxLxH)	520x570x1715 (20 3/8x22 3/8x67 3/8)		
Peso kg (lbs)	135 (300)	155 (340)	175 (380)

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

2.4.3.4 Vaporizador de baño de agua vertical (VWB) es de tipo indirecto por ser vaporizadores de baño de agua con calentadores de Agua Externa (llamados VWB), se diseña específicamente para aplicaciones donde el dueño prefiere usar un suministro de agua caliente existente para el proceso de vaporización. Otra aplicación típica es en instalaciones donde los códigos locales o nacionales prohíben el uso de cualquier tipo de llama directa en el proceso de vaporización de GLP. Comparado con los vaporizadores con fuentes de calor locales, la serie de VWB, ofrece una alternativa adicional de seguridad en donde fuese instalado, debido a la falta de componentes de alto poder energético cerca al GLP.

Diseñados para el suministro de agua caliente externo, la cima y los lados del vaporizador se aíslan con una capa de fibra, para mantener la temperatura del baño de agua, y se cubre con una tapa de aluminio. Las unidades más pequeñas, VWB-120 a VWB-360, usan un tubo de acero continuo para la vaporización, las unidades más grandes tienen un conjunto de 9 tubos de vapor ubicados verticalmente. El tubo vaporizador y todos los tubos que recorre el propano están conformes a las normas Standard de ASME y NFPA #58 y es aceptado por las fábricas Aseguradoras de Riesgos Industriales (IRI) en las instalaciones.

La solución de agua-anticongelante se usa como un medio de intercambio de calor y es circulada entre la fuente de agua caliente externa y el vaporizador. El número ejemplar (VWB-xxx) designa la capacidad de vaporización en kilogramo por hora de propano a 0 °F. La figura 18 muestra un vaporizador de baño de agua vertical externamente.

Estos sistemas de serie de VWB ofrecen varias opciones, incluyendo calentadores de agua, tanques de expansión, bombas de circulación, válvula de cierre de vapor, entre otras.

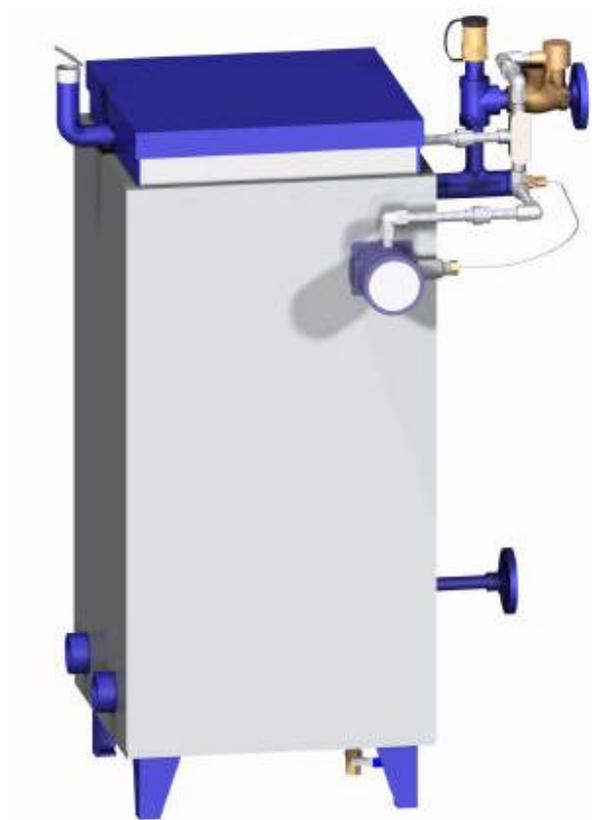


Figura 18. Vaporizador de baño de agua vertical.

Funcionamiento de los vaporizadores de baño de agua vertical: Los vaporizadores de baño de agua verticales están disponibles para capacidades de 120 kg por hora (60 gph), a 2000 kg por hora (1000 gph). Las capacidades más grandes son logradas combinando varias unidades más pequeñas a través de la entrada de líquido y cabezal de salida de vapor. Externamente, todos los modelos parecen iguales, internamente, difieren principalmente en el tipo y el área de intercambio el calor activo de sus tubos de vaporización.

La figura 19 muestra una configuración típica de un vaporizador de 360 kg/h (180 gph). Los principales componentes del vaporizador son la entrada de agua y toma de salida de corriente de Agua (A), el Tubo de Vapor enrollado

(B), la Cáscara de Acero (C), el cabezote de salida de vapor (D) con protección de líquido remanente (E), la válvula solenoide de cierre de vapor (F), el aislamiento del tanque de agua (G), la placa exterior de la cáscara metálica (H), y el control de nivel de agua (J).

Las porciones activas de los elementos del calentador y el tubo de vapor se sumergen totalmente en una solución caliente de agua y anticongelante, proporcionada por una fuente externa. La fuente externa (normalmente una caldera o calentador de agua comercial) controla la temperatura del agua, nivel de agua, y flujo de agua, los controles de temperatura para el vaporizador sólo se proveen a conveniencia, y no se usan en el funcionamiento del vaporizador. El calor del agua se transfiere a través del tubo de vapor (B) al GLP que entonces se evapora y sale del sistema a través del cabezote de salida de vapor (D), un Censor de temperatura (E) se inserta en el cabezote de salida de vapor, y dicho censor descubre cualquier caída de temperatura, asociado con la presencia del GLP líquido. Si esto ocurre, la válvula solenoide (F) cierra la salida de vapor e impide al líquido salir del vaporizador (Protección de líquido remanente).

Otros componentes en el vaporizador son, la unión de la caja de prueba de explosión (K), la válvula de alivio de presión de vapor (N), y el desagüe manual de agua (O).

Modelos con las capacidades de 750 kg por hora o mayores usan tubos de vaporización verticalmente apilados, en lugar de las versiones enrolladas de los modelos más pequeños. En la figura 19 también se muestra la configuración del tubo de vapor de un modelo VWB-1500.

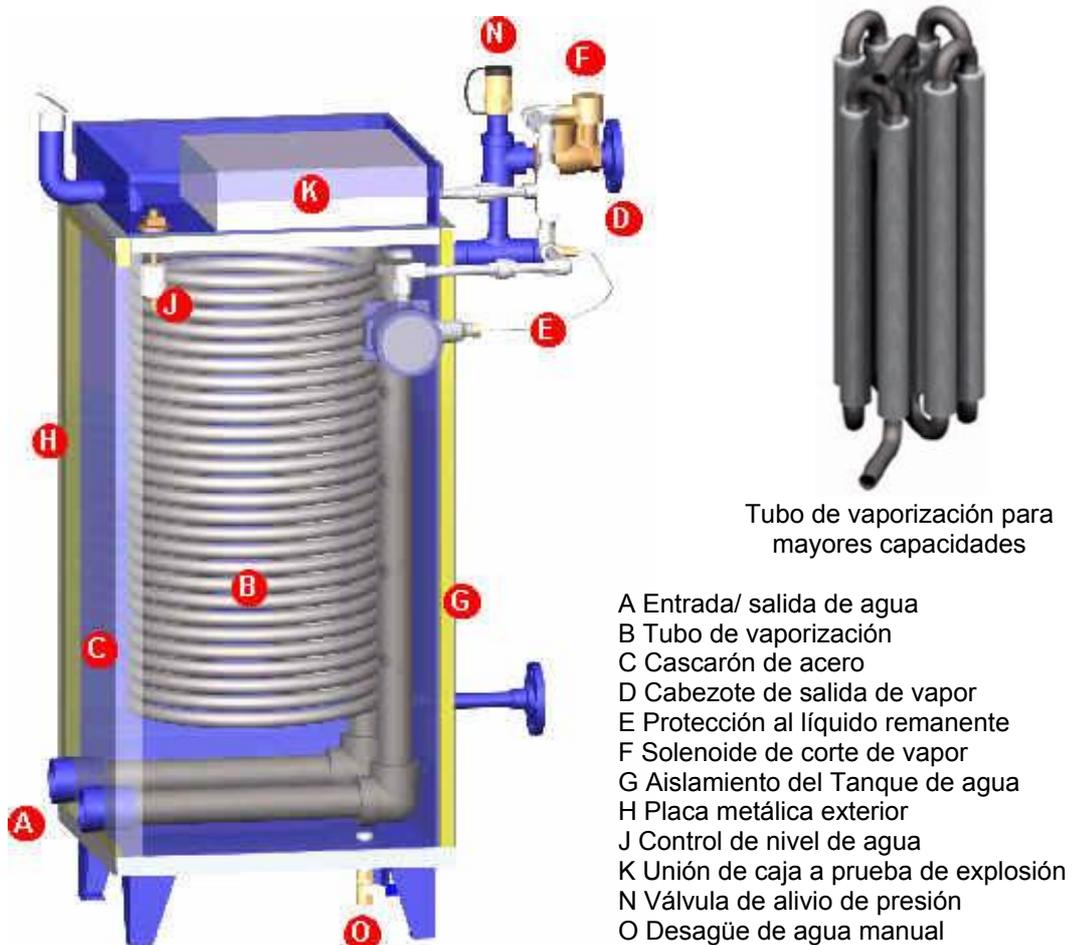


Figura 19. Componentes del vaporizador de baño de agua vertical.

Especificaciones técnicas de los vaporizadores de baño de agua verticales con suministro de agua externa: Las dimensiones, pesos y capacidades de los diferentes vaporizadores de baño de agua vertical, se ilustran en la tabla y en la figura 20.

La tabla 2.7 muestra las características generales técnicas de los vaporizadores de baño de agua verticales donde las dimensiones y pesos están aproximados para propósitos de orientación, ya que el vaporizador puede variar dependiendo del fabricante y la capacidad nominal para el propano-butano de vaporización del GLP líquido es a 0°C.

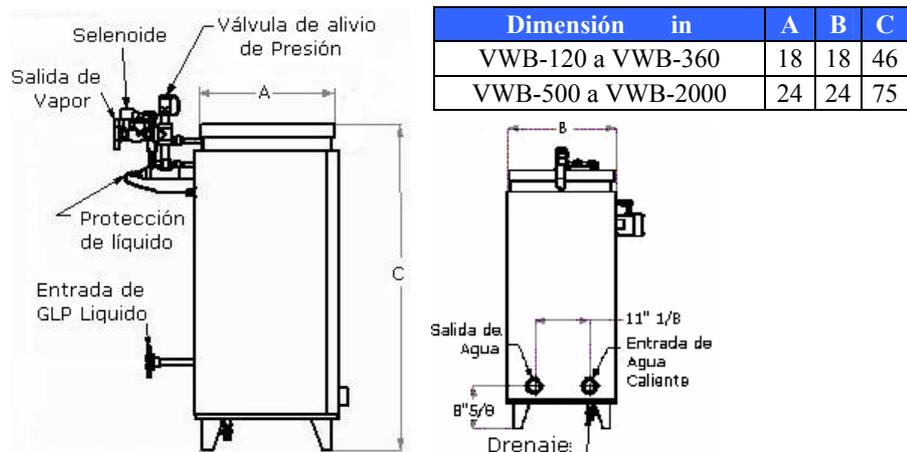


Figura 20. Dimensiones del vaporizador de baño de agua vertical.

Tabla 2.7 Especificaciones para vaporizadores VWB-120 a VWB-1000

Especificaciones	VWB-120	VWB-240	VWB-360	VWB-750	VWB-1000
Arreglo de tubos vaporizadores	Espiralados			Arreglados verticalmente	
Capacidad de vaporización kg/h (gph)	120 (60)	240 (120)	360 (180)	750 (375)	1000 (500)
Capacidad del tanque de agua L (gal)	190 (50)			380 (100)	
Temperatura de diseño °C (°F)	345 (650)				
Presión de diseño bar (psi)	17 (250)				
Características de seguridad					
Corto de bajo nivel de agua	No requerido porque el sistema no es cerrado, dependiendo de los códigos nacionales puede requerirlo				
Temperatura alta del baño de agua	No requerido porque el sistema no es cerrado, dependiendo de los códigos nacionales puede requerirlo				
Protección de líquido remanente	Sensor de temperatura en la salida de vapor, si la temp cae de lo estimulado indicando presencia de líquido la válvula de solenoide en la línea de vapor se desactiva				
Válvula de alivio	A 250 psi				
Entrada de GLP líquido	1"				
Conexión, salida de vapor	2"				
Diseño del tubo de vapor	14 líneas espiraladas de 3/4"	19 líneas espiraladas de 3/4"	28 líneas espiraladas de 3/4"	9 tubos enrollados verticalmente	
Requerimiento del flujo de agua l/min (gpm)	25 (6)	50 (12)	75 (18)	140 (36)	190 (50)
Requerimiento eléctrico	AC 230 V 50Hz Monofásico				
Dimensiones (WxLxH) mm (in)	460x460x1170 (18x18x46)			610x610x1905 (24x24x75)	
Peso kg (lbs)	115 (250)	120 (260)	125 (270)	320 (700)	365 (800)

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

La tabla 2.8 muestra las especificaciones técnicas para vaporizadores de baño de agua vertical de mayor tamaño y por ende mayor capacidad de vaporización, es decir, modelos de VWB superiores a 1000 kg/h.

Tabla 2.8 Especificaciones para vaporizadores VWB-1500 a VWB-6000

Especificaciones	VWB-1500	VWB-2000	VWB-3000	VWB-4000	VWB-6000
Arreglo de tubos vaporizadores	Arreglados verticalmente		2 VWB-1500	2 VWB-2000	3 VWB-2000
Capacidad de vaporización kg/h (gph)	1500 (750)	2000 (1000)	3000 (1500)	4000 (200)	6000 (3000)
Capacidad del tanque de agua L (gal)	380 (100)				
Temperatura de diseño °C (°F)	345 (650)				
Presión de diseño bar (psi)	17 (250)				
Características de seguridad					
Corto de bajo nivel de agua	No requerido porque el sistema no es cerrado, dependiendo de los códigos nacionales puede requerirlo				
Temperatura alta del baño de agua	No requerido porque el sistema no es cerrado, dependiendo de los códigos nacionales puede requerirlo				
Protección de líquido remanente	Sensor de temperatura en la salida de vapor, si la temp cae de lo estimulado indicando presencia de líquido la válvula de solenoide en la línea de vapor se desactiva				
Válvula de alivio	A 250 psi				
Conexión, entrada de GLP líquido	2"				
Conexión, salida de vapor	3"				
Diseño del tubo de vapor	9 tubos enrollados verticalmente				
Requerimiento del flujo de agua l/min (gpm)	290 (75)	380 (100)	2*290(75)	2*380(100)	3*380(100)
Requerimiento eléctrico	AC 230 V 50Hz Monofásico				
Dimensiones (WxLxH) mm (in)	610x610x1905 (24x24x75)				
Peso kg (lbs)	365 (800)	365 (800)	2*VWB-1500	2*VWB-2000	9*VWB-2000

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

2.4.3.5 Vaporizadores de GLP eléctricos "Secos": son Calentadores con una resistencia eléctrica utilizada como fuente de energía para generar el calor necesario para la vaporización de propano, utilizando una lámina de aluminio monolítico como medio para transferir calor, el diseño reduce así la necesidad para su mantenimiento, aumentando su confiabilidad.

Los vaporizadores eléctricos “secos” están complementados con válvulas de solenoide en la entrada del líquido, aprobando la presión para el gas GLP a 250 psig y la válvula de alivio de seguridad. Todos los vaporizadores de éste tipo necesitan electricidad. El vaporizador se mantiene lleno 100% de su capacidad y está disponible en capacidades de 25 kg/h y 50 kg/h. La figura 21 muestra los dos vaporizadores eléctricos “secos” externamente, donde el vaporizador de la izquierda posee una capacidad de 25 kg/h y el de la derecha 50kg/h.



Figura 21. Vaporizadores eléctricos “secos”.

Funcionamiento de los vaporizadores eléctricos “Secos”: De acuerdo a la figura 22, donde se ven los componentes principales de este tipo de vaporizador, el suministro de GLP líquido se conecta a la válvula solenoide de la entrada de líquido (1), el cual está normalmente cerrada. Cuando se aplica electricidad al elemento del calentador (2), calienta el molde del bloque de aluminio con el tubo de vaporización integrado (3), la temperatura interna es supervisada por un sensor, cuando la temperatura interna alcanza 50 °C,

el sensor de temperatura de la salida del vapor se cierra, energizando la válvula solenoide en la entrada de líquido, permitiendo la entrada del GLP líquido al tubo de vaporización. El vapor de GLP deja la unidad a través de la conexión de salida de vapor (5).

La temperatura interna es supervisada por un sensor principal. Cuando la temperatura alcanza 120 °C, el sensor interrumpe la corriente eléctrica al elemento del calentador (2). El elemento se enciende de nuevo, cuando la temperatura interna a caído a 70 °C.

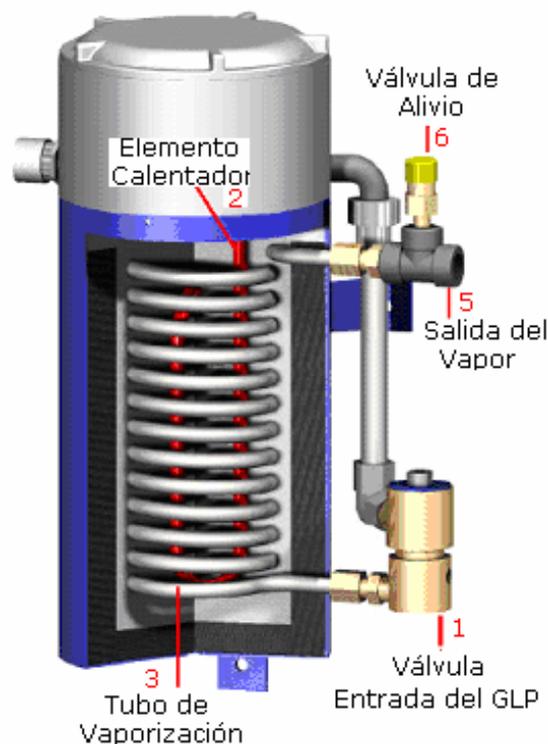


Figura 22. Componentes principales del vaporizador eléctrico "seco".

El sensor de temperatura de límite alto, actúa como un dispositivo de seguridad. El sensor de temperatura en la salida del vapor es posicionado en un bolsillo en el centro del aluminio, muy cerca del tubo de vaporización, detectando caídas de temperatura, que está asociado con la presencia de

GLP líquido, e inmediatamente cierra la válvula solenoide de la entrada de líquido. Esta acción previene cualquier abandono de líquido de la unidad.

La parte superior del vaporizador, aloja los bloques de conexión para la electricidad y la válvula de solenoide en la entrada del líquido. Los sensores de temperatura y el fusible, están cerrados con una tapa forzada, formando una caja de unión a prueba de explosión.

Especificaciones técnicas de los vaporizadores eléctricos “secos”: Las dimensiones, pesos, capacidades de vaporización de los dos vaporizadores eléctricos “secos” se ilustran en la figura 23.

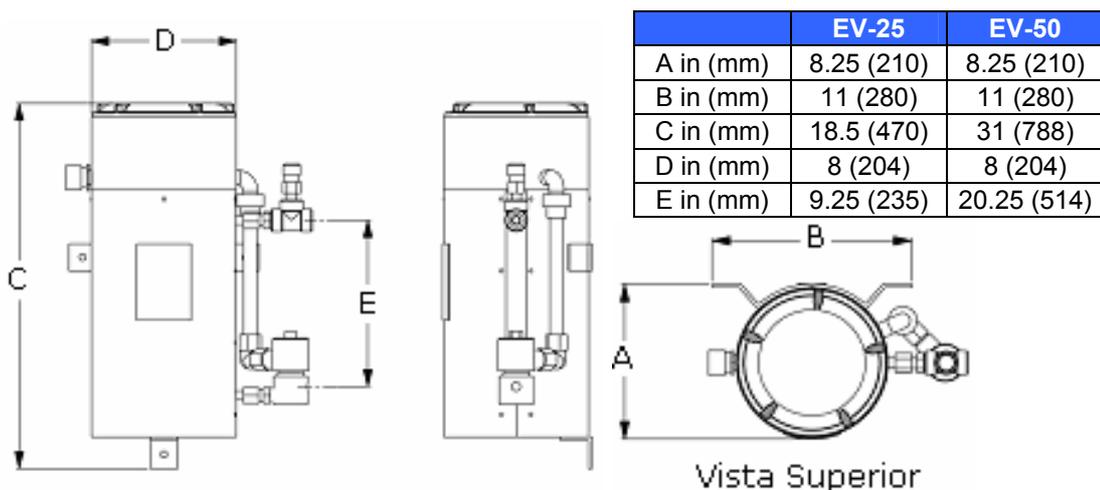


Figura 23. Dimensiones de los vaporizadores eléctricos “secos”.

La tabla 2.9 muestra las características técnicas generales de los vaporizadores eléctricos “Secos”, donde las dimensiones y pesos están aproximadas para propósitos de orientación ya que el vaporizador puede variar dependiendo del fabricante.

Tabla 2.9. Especificaciones de los vaporizadores eléctricos “secos”

Especificaciones		EV-25 kg	EV-50 kg
Tipo		Vaporizador de GLP Eléctrico “Seco”	
Capacidad de Vaporización	kg/h (gph)	25 (12.5)	50 (25)
Temperatura de Diseño	°C (°F)	345 (650)	
Presión de diseño	bar (psi)	17 (250)	
Presión de Prueba	bar (psi)	25 (375)	
Características de seguridad		Censor de temperatura mínima a 50°C, censor de temperatura de operación de 70/120°C, censor de temperatura máxima a 120°C y válvula de alivio	
Protección de líquido remanente		Censor de temperatura sobre la salida de vapor	
Válvula de alivio de presión.		A 250 psi	
Conexión, entrada de líquido		1/2”	
Conexión, salida de vapor		1/2 “	
Número de elementos de calor		1	3
Requerimiento eléctrico		AC 220V 50 Hz, monofásico 4.5 kW	AC 220 V 50Hz, monofásico 3kW por cada elemento calentador
Dimensiones (WxLxH)	mm (in)	22 (50)	36 (80)
Peso	kg (lbs)	27 (60)	41 (90)

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

2.4.4 Mezcladores de Vapor de GLP y Aire. Después de que el propano líquido se ha vaporizado, necesita ser mezclado en una proporción apropiada con aire para reproducir las características del gas natural. Aquí es donde cumple su función los mezcladores.

El vapor de GLP, producido por un vaporizador, no es directamente compatible con el gas natural. Los mezcladores de vapor de GLP-Aire producen una mezcla gaseosa que si es directamente compatible con el gas natural. Esto permite a los usuarios, cambiar de un lado a otro entre el gas natural suministrado por su compañía abastecedora y su GLP en sistemas auxiliares, sin tener que cambiar el arreglo de sus quemadores, y gasodomésticos en general.

Se fabrica una línea de mezcladores GLP-aire y sistemas de mezclado, partiendo en capacidades de 7MM BTU hasta 500MM BTU por hora.

Hay dos tipos de mezcladores, (venturi y operado por pistón) cada uno con un método para mezclar aire y vapor de GLP, pero probablemente el más simple está usando un mezclador del tipo venturi, consistiendo en un tubo venturi y una boquilla venturi. Este método, mantiene proporciones de aire-combustible en un estrecho rango, es por esto que el mezclador de este tipo generalmente no requiere aire comprimido para su funcionamiento.

La mezcla de aire-vapor se alimenta en un tanque que se denomina tanque de ola, porque es donde se almacenará el Aire propanado que reemplazará el GN y donde se mantiene a una presión fija, y entonces se saca de dicho tanque de ola para su uso. Este tipo de sistema normalmente se recomienda para los periodos intermitentes de uso y es simple de instalar, operar, y mantener.

Para capacidades de sistema más grandes, o para presiones del sistema más elevadas, se ha desarrollado otro tipo de mezclador denominado Mezclador Operado por Pistón (POM). Este tipo de mezclador es muy utilizado, los componentes son sumamente eficaces, hacen más fácil y probablemente hace a este mezclador, más confiable, más fácil de controlar y el mezclador más estable en el mercado actualmente.

2.4.4.1 Mezcladores de vapor de GLP y aire tipo venturi. Los sistemas descritos aquí pueden ser usados con cualquiera de los vaporizadores de GLP existentes, o como reemplazo para sistemas de mezcla GLP-aire de otros fabricantes.

El vapor de GLP presurizado usado a través de un arreglo de venturi al inspirar aire, hace que la cantidad de BTU de la mezcla, sea determinado regulando la presión del vapor de GLP. La mezcla de GLP-aire en este instante del proceso, ya es directamente compatible e intercambiable con

gas natural, y es reunido en un tanque de ola que es parte del sistema. La presión en el tanque de ola es supervisada por transmisores de presión (los sistemas más pequeños usan interruptores de presión), y se pone a la presión requerida por el sistema (presión de gas de entrega).

Cuando la presión en el tanque de la ola se deja caer debido a la salida de gas, las válvulas del solenoide a la entrada que se encuentran al lado de los sistemas del venturi se activan, permitiendo al vapor de GLP presurizado del vaporizador fluir a través de la combinación del tubo-boquilla, generando la mezcla de GLP-aire. Cuando la presión en el tanque de la ola se alcanza de nuevo, las válvulas del solenoide están cerradas y el sistema descansa hasta se demande gas y se repite el ciclo (Esto para sistemas con capacidades de 30 MM BTU por hora y superiores). El uso de los transductores de presión electrónicos y un controlador lógico programable (PLC), se usa en lugar de los interruptores de presión mecánicos. En general, éste sistema de mezclado está disponible para capacidades de mezclado de 7 MMBTU por hora hasta 200 MMBTU por hora.

Los componentes de dicho mezclador son: la línea de entrada de vapor ensamblado al vénturi, medidor de presión, inhalador del tanque de ola, válvulas de seguridad de alivio para su protección, válvula de seguridad del gas de la mezcla alta y baja, válvula de seguridad de presión de propano baja y el sistema de válvula de cheque dual.

Todos los sistemas normales se fabrican a los requisitos del código ASME, NFPA #58, y son aceptados por la (FM) o los Aseguradores de Riesgos Industriales (IRI) en las instalaciones. El número de ejemplar (HVS-xxx) del sistema del venturi, designa millones de BTU por hora para la mezcla de GLP-Aire.

Los modelos normales manejan presiones de 4 a 10 psig. Modelos para presiones altas se diseñan para rangos de 10 a 50 psig, así la mezcla de GLP-aire está disponible pero requiere aire comprimido para su funcionamiento.

Los sistemas de mezclado tipo venturi se diseñan para mezclar GLP y aire en un tubo venturi Hallberg con su boquilla, ésta combinación de tubo-boquilla de alta eficacia se usa en varios tamaños diferentes a lo largo de rangos de los productos deseados. La figura 24 muestra un mezclador tipo venturi externamente.

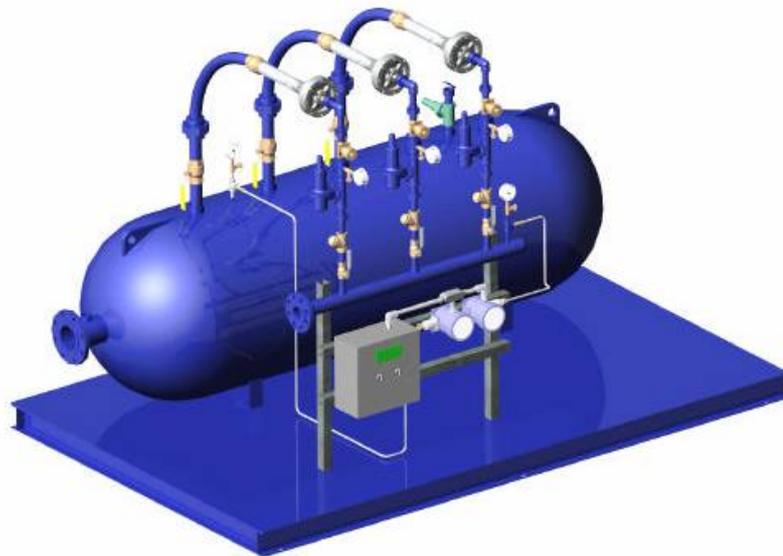


Figura 24. Mezclador de vapor de GLP y Aire tipo venturi.

Funcionamiento de los mezcladores de GLP-Aire tipo Venturi: éstos mezcladores (HVS), se diseñan para ser usados con un vaporizador de GLP como fuente existente, y además se requiere una fuente de aire. Ellos vienen completos con un rodillo o cilindro de acero, cabezal de entrada de vapor, arreglos venturi, tanque de ola, controles eléctricos y electrónicos, y todo el equipo necesario para un funcionamiento seguro.

La cantidad de aire mezclado en el vapor de GLP, depende de la forma y dimensión de la configuración de tubo de venturi y su boquilla, así como en la presión de vapor de GLP. Las propiedades del gas mixto (poder calorífico) pueden ser ajustadas cambiando la presión de vapor al regulador. Típicamente, ajustando la mezcla de vapor-aire a una gravedad específica de 1.3, asegura compatibilidad directa del gas mixto con gas natural. Sin embargo, para la intercambiabilidad y compatibilidad de mezclas de GLP-aire con gas natural, es el Índice de Wobbe. Debemos recordar que se deben asumir gases con el mismo número de Wobbe, para ser directamente intercambiables.

El Índice de Wobbe normalmente para el gas natural es: 1050 BTU/cuft; S.G. = 0.6 y la mezcla de Propano-Aire es: 1450 BTU/cuft; S.G. = 1.3, luego el índice de Wobbe está lo suficientemente cerca del GN, permitiendo intercambiar de un gas a otro. La figura 25, muestra los componentes típicos de un mezclador tipo venturi, donde la línea de entrada (2), recibe el vapor de GLP del vaporizador y el arreglo tubo boquilla venturi (9 y 10) con sus componentes de línea, absorben aire y lo mezcla para terminar en el tanque de ola (14), gracias al efecto de la válvula de bola (13) donde es almacenado y listo para ser utilizado cuando sale por la toma de corriente del gas mixto (21).

Todos los sistemas de (HVS) supervisan la presión de gas en el tanque de ola. La demanda en el sistema produce una caída momentánea en la presión del tanque. En sistemas con tres o más arreglos de venturi, esta caída es descubierta por un transmisor de presión que se conecta a un (PLC). (En sistemas más pequeños, estas funciones son proporcionadas por interruptores de presión mecánicos). El (PLC) activa la válvula del solenoide en el primer arreglo del venturi que empieza produciendo gas mixto. Como los aumentos de la carga, y la presión del tanque de ola sufren

disminuciones, se activan los arreglos del venturi adicionales, produciendo gas adicional. A través del uso de transmisores de presión electrónicos en lugar de los interruptores de presión mecánicos, pueden mantenerse unidos los puntos entre las presiones del tanque muy cercanos, produciendo fluctuaciones de presión muy pequeñas entre donde no hay carga, carga parcial y donde existe condiciones de carga total, en sistemas grandes.

El (PLC) no solo interviene en sistemas con tres o más arreglos en líneas del venturi, sino también controla todas las otras funciones del sistema, como la comunicación con una unidad de despliegue optativa, indicando la presión del sistema y cualquier condición de problema que pueda ocurrir.

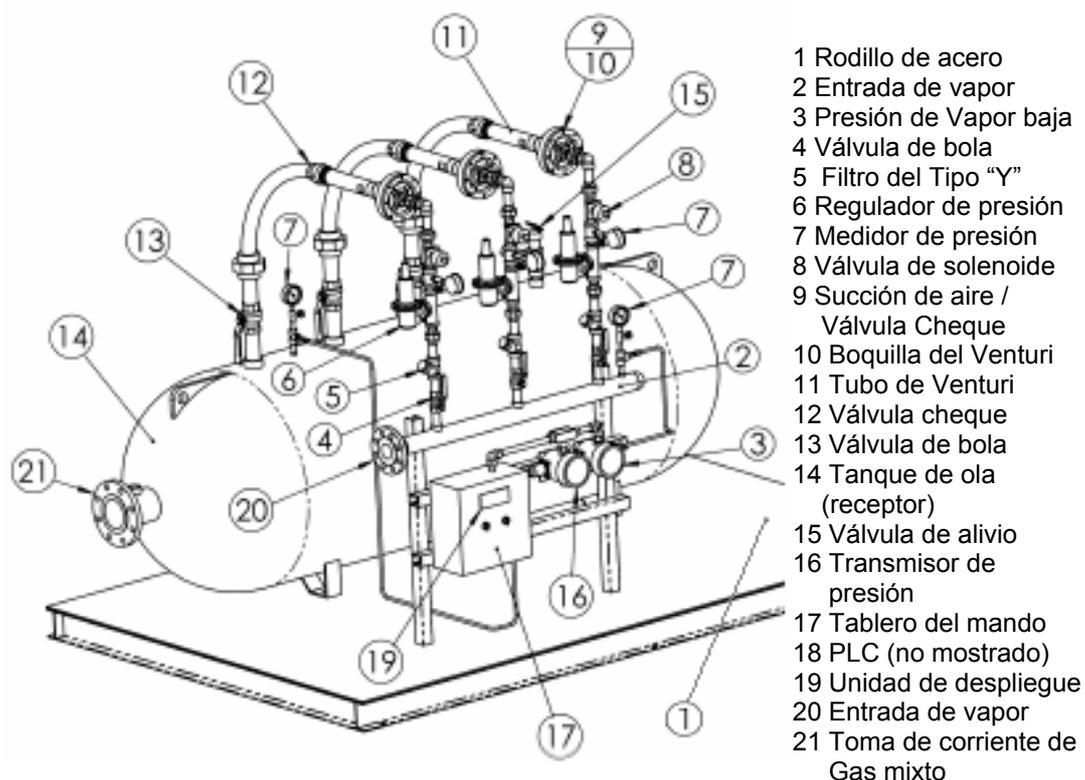


Figura 25. Componentes de un mezclador Tipo venturi.

El tamaño y configuración del (PLC), unidad de despliegue, transmisor de presión y otros componentes del sistema, varían con el tamaño del mezclador y puede modificarse para satisfacer la gran mayoría de las necesidades específicas del sistema.

El tablero de mando de mezclador normalmente se instala a una distancia remota y se conecta a una caja unida al rodillo del mezclador.

Especificaciones gráficas de los mezcladores Tipo venturi: Las dimensiones de estos sistemas de mezclado, para propósitos de orientación, son aproximadas en pulgadas y se ilustran en la gráfica 26 con la tabla 2.10, para los diferentes modelos de este tipo.

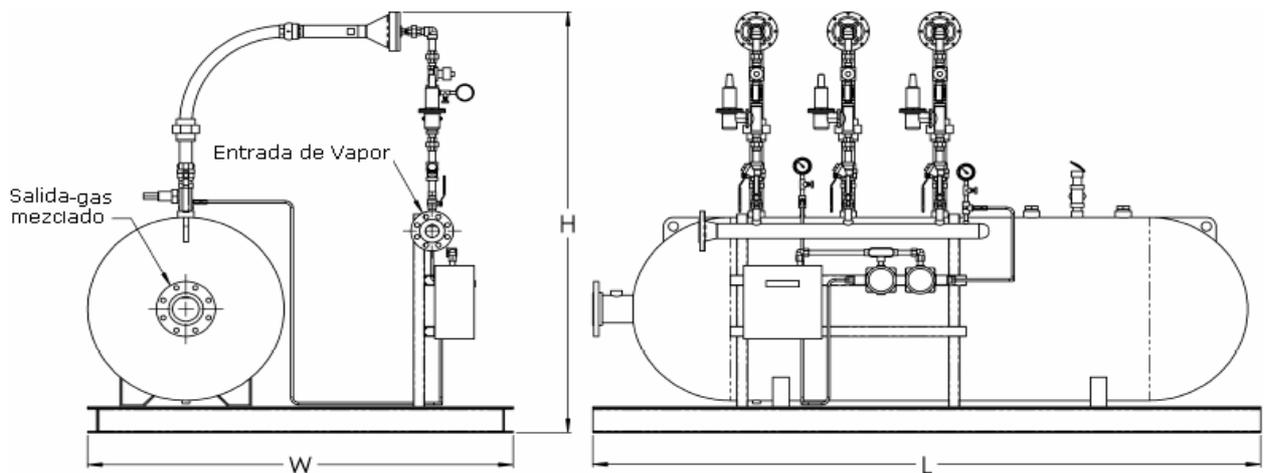


Figura 26. Dimensiones de mezcladores tipo venturi.

Tabla 2.10 Dimensiones de mezcladores tipo venturi

	W	L	H
HSV-7	54"	54"	83"
HSV-10			
HSV-14			
HSV-20			
HSV-30	65"	102"	70"
HSV-40			
HSV-50			
HSV-60	65"	128"	80"
HSV-70			
HSV-80			
HSV-90	65"	199"	84"
HSV-100			
HSV-110			

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

La tabla 2.11 muestra las características generales técnicas de los mezcladores tipo venturi, donde las dimensiones y pesos están aproximadas para propósitos de orientación, ya que el mezclador puede variar dependiendo del fabricante.

Los mezcladores con presiones superiores a los 10 psi requieren un compresor de aire externo, estos mezcladores requieren una fuente eléctrica AC 110 V 60Hz, Monofásico de 15 A. para su funcionamiento y la línea de conexión de vapor es de 1" para modelos inferiores al HVS – 20; de 2" para modelos entre HVS-30 y HVS-60 y de 3" para modelos superiores a HVS-70. Para el tanque de ola es de 2" para modelos inferiores a HVS-60 y de 3" para HVS-superiores.

Tabla 2.11 Especificaciones de los mezcladores de GLP y aire tipo venturi

Modelo	Capacidad MMBtu/h (kcal)	No. de venturis a 5psi	Capacidad del tanque de ola gal	Tamaño de la base en in WxLxH	Capacidad en MMBtu/h aumentando la presión del gas mezclado				
					5 psig (0.35 bar)	10 psig (0.7 bar)	15 psig (1bar)	20 psig (1.4 bar)	30 psi (2bar)
HVS-7	7 (1764)	1	120	54x54x83	7 (1764)	7.5 (1890)	8 (2016)	8.5 (2142)	9 (2268)
HVS-10	10 (2520)	1	120		10 (2520)	12 (3024)	13 (3175)	14 (3478)	15 (3830)
HVS-14	14 (3528)	2	120		14 (3528)	15 (3780)	16 (4032)	17 (4284)	18 (4536)
HVS-20	20 (5040)	2	120		20 (5040)	24 (6048)	25 (6350)	28 (6955)	30 (7661)
HVS-30	30 (7560)	3	250	65x102x70	30 (7560)	36 (9072)	38 (9526)	41 (10433)	46 (11491)
HVS-40	40 (10080)	4	250		40 (10080)	48 (12096)	50 (12701)	55 (13910)	61 (15322)
HVS-50	50 (12600)	5	250		50 (12701)	60 (15120)	63 (15876)	69 (17388)	76 (19152)
HVS-60	60 (15120)	6	500	65x128x80	60 (15120)	72 (18144)	76 (19051)	83 (20866)	91 (22982)
HVS-70	70 (17641)	7	500		70 (17641)	84 (21168)	88 (22226)	97 (24343)	106 (26813)
HVS-80	80 (20161)	8	500		80 (20161)	96 (24192)	101 (25402)	110 (27821)	122 (30643)
HVS-90	90 (22681)	9	1000	65x199x80	90 (22681)	108 (27216)	113 (28577)	124 (31298)	137 (34474)
HVS-100	100 (25201)	10	1000		100 (25201)	120 (30240)	126 (31752)	138 (34776)	152 (38304)
HVS-110	110 (27722)	11	1000		110 (25201)	132 (33264)	139 (34927)	152 (38254)	167 (42134)
HVS-120	120 (30242)	12	2000	ND	120 (30242)	144 (36288)	151 (38102)	166 (41731)	182 (45965)
HVS-130	130 (32762)	13	2000	ND	130 (32762)	156 (39312)	164 (41278)	179 (45209)	198 (49795)
HVS-140	140 (35282)	14	2000	ND	140 (35282)	168 (42336)	176 (44453)	193 (48686)	213 (53626)
HVS-150	150 (37802)	15	2000	ND	150 (37802)	180 (45360)	189 (47628)	207 (52164)	228 (57456)

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

2.4.2.2 Mezclador Operado Por Pistón (POM). Estos mezcladores pueden ser usados con vaporizadores de GLP existentes, o como reemplazo para sistemas de mezclado de GLP y aire de otros fabricantes. Estos mezcladores son muy sencillos de diseñar, fáciles para integrarlo con un equipo existente, y requiere una fuente eléctrica de 115 V a sólo CA 60 Hz, monofásico. Ellos pueden proveerse con varias opciones, incluyendo control de gravedad específico automático, control de presión y supervisor de temperatura, un control de mando de flujo, etc.

La simplicidad del (POM) permite diseñar un mezclador que ofrece una muy buena confiabilidad, y puede fabricarse en cualquier material compatible con el elemento de mezclado. El mantenimiento es muy sencillo, simplemente se requiere levantar la tapa que cubre el pistón, se retira el pistón y se lava con un solvente, limpiándolo fuera de la cámara del pistón. Este mezclador al usar un pistón, no registra presión de diseño y sin restricciones de temperatura, que normalmente se encuentran en los diafragmas que tienen restricciones de temperatura altas o bajas, pudiendo deteriorar la vida del equipo.

Una vez instalado, el (POM) mezclará dos gases a una proporción constante: una mezcla de aire y GLP, que es intercambiable con gas natural, sin tener en cuenta la demanda. Para un sistema de grandes capacidades, o para aplicaciones a presiones de sistema altas, se usa el mezclador operado por pistón (POM). Este también permite tener un control automático muy cómodo y confiable para las propiedades de la mezcla. En la figura 27, se muestra externamente un mezclador operado por pistón (POM).



Figura 27. Mezclador de vapor de GLP y aire operado por pistón (POM).

Instalaciones alrededor del mundo, lo incluyen en Plantas de Corte Máximo (Peak Shaving) para las Utilidades de Gas, Plantas de Reserva (Backup) para grandes usuarios industriales, sistemas auxiliares, Fuente de Combustible primaria para áreas sin el suministro de gas natural o para áreas que preparan la conexión de gas natural, plantas de poder, de vidrio y de ladrillos, etc.

Los mezcladores estándar de aire y vapor GLP venturi de altas presiones y grandes capacidades son elementos complicados, tediosos de operar, requiriendo un muy alto nivel de mantenimiento. Con la aparición del (POM), estas dificultades del instalador y del operador son una cosa del pasado. La simplicidad del (POM) garantiza una buena precisión, confiabilidad y flexibilidad, permitiendo al (POM) ser fabricado a cualquier capacidad y de cualquier material compatible con los elementos mezclados.



Figura 28. Vista transversal de un mezclador operado por pistón.

En la figura 28, se muestra un (POM) en una vista transversal y sus características principales de sus diferentes modelos son: Capacidades nominales desde 20 MMBtu/h@10 psi hasta 400 MMBtu/h@40-100psi, salida de la mezcla de gas por un solo costado; una entrada para el vapor y otra entrada para el aire comprimido, dispositivos electrónicos para la presión de vapor, presión del aire comprimido y presión de la mezcla gaseosa, dispositivos para la variación en la presión del vapor de aire con vapor de GLP, un controlador lógico programable (PLC) para toda la seguridad de las funciones de control en el proceso, válvula auxiliar de seguridad (de alivio), tradicional tablero de mando, gravitómetros y calorímetros, corrección automática de las propiedades del gas mezclado (capacidad calorífica, índice de Wobbe y gravedad específica), emisor de temperaturas de la mezcla gaseosa, emisor de temperatura del vapor suministrado y emisor de temperatura del aire comprimido.

Funcionamiento del Mezclador operado por pistón: El gas dominante (es decir el propano), entra al mezclador por la pequeña puerta (a), (ver fig 29). El aire comprimido entra al Puerto de Entrada (b), ambos gases terminan juntos al Puerto de Salida (c). Un pequeño tubo conecta el Puerto de Entrada (a) con la Cámara (d) y, otro tubo conecta la Cámara (e), (a través del pistón) con el Puerto de la Salida (c).

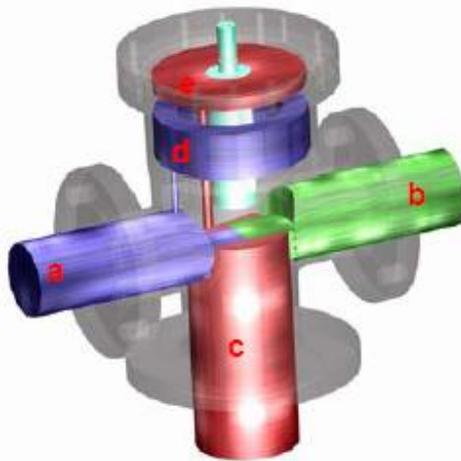


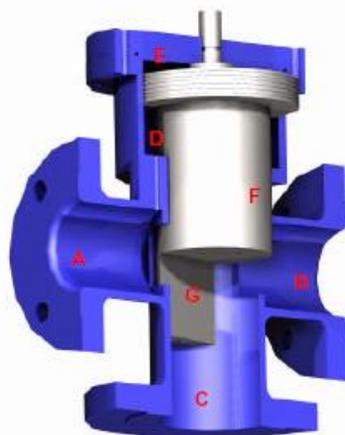
Figura 29. Sistema de mezclado de pistón en el POM.

Cuando la razón de flujo es constante, el pistón (en color celeste) debe “flotar” parcialmente, abriendo las líneas de entrada. Esto es debido al posicionamiento muy exacto del pistón, que con mucha precisión mide el flujo de gas, sin tener en cuenta cambios en la demanda.

Durante el reposo o en ningún periodo de flujo, el pistón descansa en posición cerrada. En la demanda de gas, la presión en el Puerto de Salida (c) cae ligeramente y esta depresión es transmitida a través del pistón en la Cámara (e). La presión en el Puerto de Entrada (a) (el gas dominante) es mayor y, ya que esta área conecta a la Cámara (d), el pistón sube o se baja dependiendo de los cambios en la demanda o la variación en la presión en el

Puerto de Salida (c). Así, el pistón puede medir con precisión el flujo de los gases sin tener en cuenta la disminución en la demanda.

Un corte del segmento exterior del pistón encaja en los bordes de los puertos (a-b) (ver figura 30). El pistón es puesto entre un resorte encajado que se mueve entre una guía fija y la cima del pistón. Una masa, ligada al cuerpo de la guía, permite fácilmente el ajuste para ser hecho exteriormente, rotando la guía para restringir cualquier puerto de la entrada y controlar la proporción de gas y de aire. El pistón es diseñado con una serie de ranuras como un laberinto, que generan anillos redondos "O", que impiden que los gases se trasladen entre la cima y el fondo de la cámara. Este diseño elimina la necesidad de un diafragma o un sello mecánico tal como un anillo en el pistón. También le permite al (POM), ser equipado con un posicionador para una corrección automática de las propiedades del gas mixto, es decir, la capacidad calorífica, el índice de Wobbe, contenido de O₂ y la Gravedad específica, etc.



- A: Entrada de Gas Dominante (GLP)
- B: Entrada de aire comprimido
- C: Salida de la mezcla gaseosa
- D: Cámara cargada de gas dominante.
- E: Cámara de muestra del flujo de la mezcla de gas.
- F: El Pistón.
- G: Segmento de ajuste en las proporciones.

Figura 30. Corte transversal del pistón (Zona de mezcla).

Configuración típica del sistema: La figura 31 muestra una configuración típica de un mezclador operado por pistón.

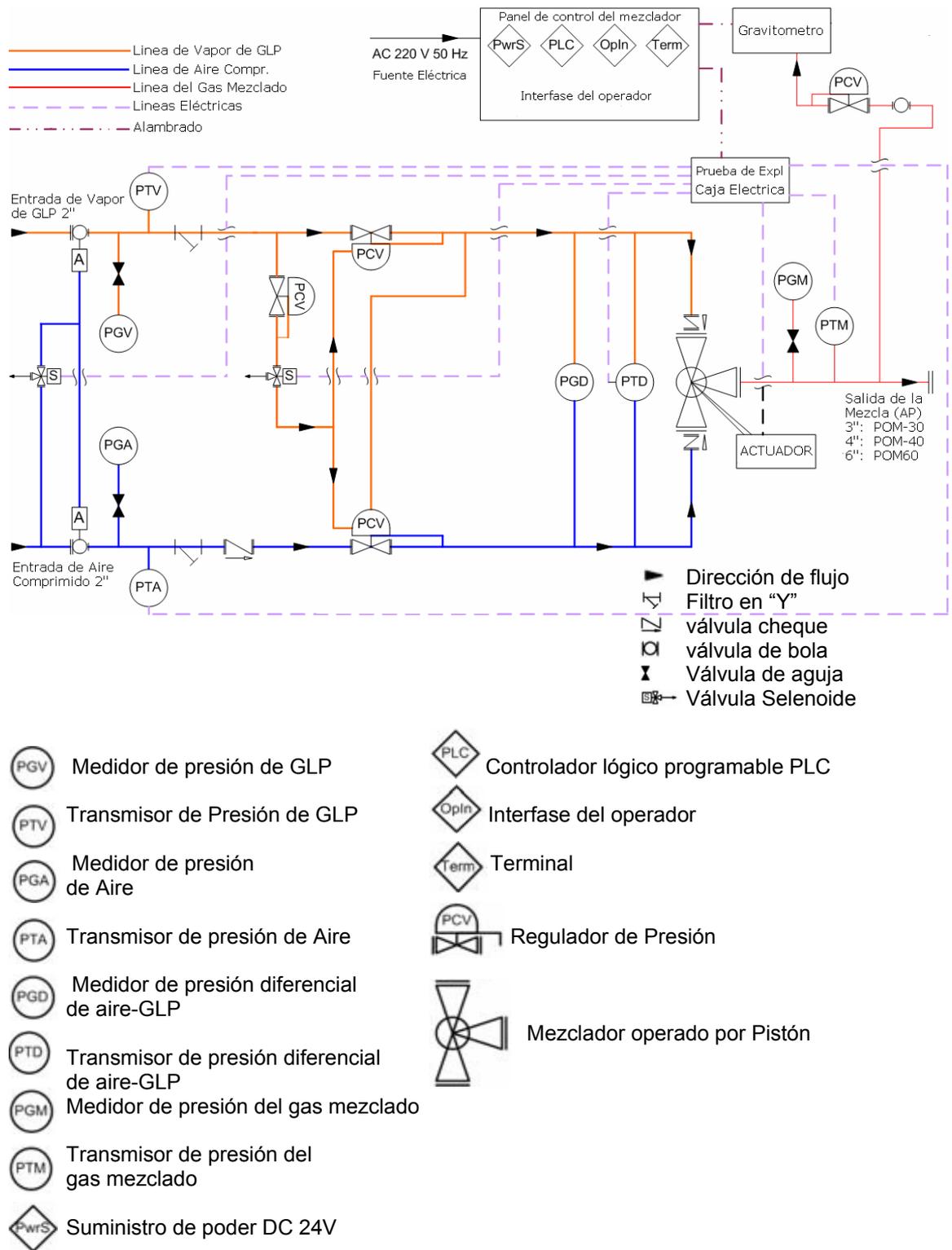
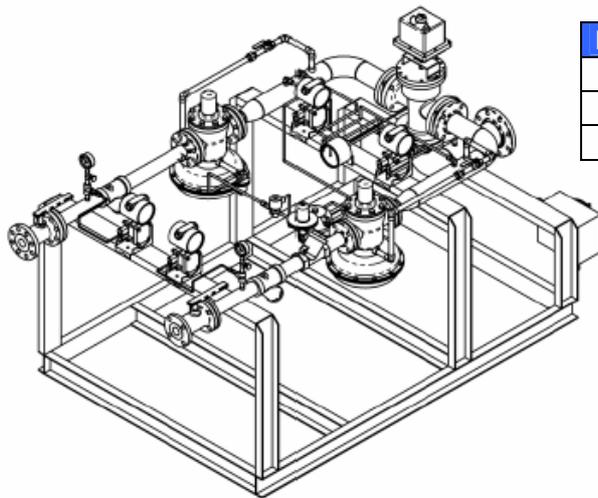
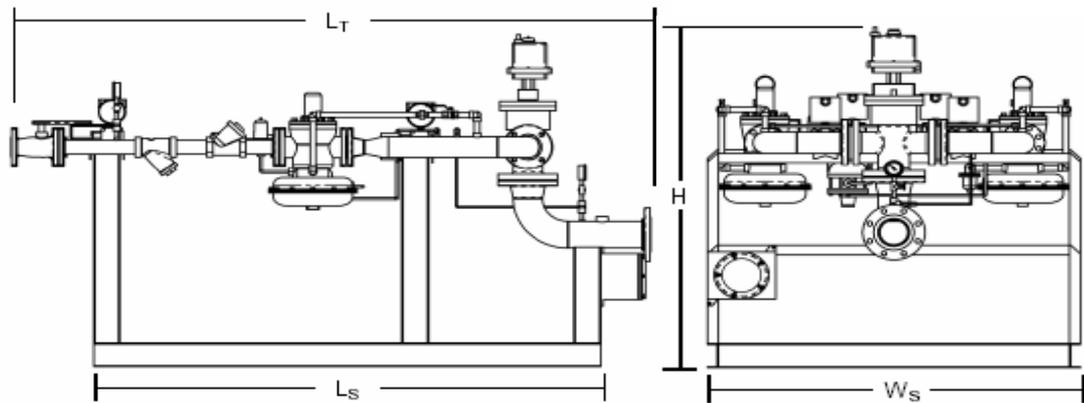


Figura 31. Configuración típica de un mezclador operada por pistón.

Especificaciones gráficas de los mezcladores (POM): Las dimensiones de estos sistemas de mezclado, están aproximados (en pulgadas) y se ilustran en la figura 32.



Dim. Pulg.	W	Ls	Lt	H
POM-30	54	72	92	53
POM-40	54	76	96	57
POM-60	54	84	103	64

Figura 32. Dimensiones de modelos POM.

La tabla 2.12 muestra las características técnicas generales de los mezcladores (POM), donde las dimensiones y pesos están aproximados para propósitos de orientación, ya que el mezclador puede variar dependiendo del fabricante.

Tabla 2.12 Especificaciones de mezcladores operados por pistón

Especificaciones	POM-30	POM-40	POM-60
Capacidad máxima a 10 psi/0.7bar MMBtu/h (Nm ³ /h)	20 (400)	80 (1600)	140 (2700)
Capacidad máxima a 30 psi/2.1bar MMBtu/h (Nm ³ /h)	80 (1600)	200 (3900)	320 (6250)
Capacidad máxima a 50 psi/3.5 bar MMBtu/h (Nm ³ /h)	120 (2350)	280 (5500)	400 (7800)
Capacidad máxima a 70 psi/4.9bar MMBtu/h (Nm ³ /h)	180 (3500)	400 (7800)	400 (7800)
Temperatura de diseño °F (°C)	180 (82)		
Presentaciones de seguridad	Todos los estados del sistema son constantemente monitoreados a través del controlador grafico programable junto con los valores del proceso y cualquier condición de alarma son comunicados a la unidad de despliegue		
Presión alta del gas mezclado	Transmisor de presión electrónico en la salida de gas mezclado ajustable a través del interfase del operador		
Presión baja del gas mezclado	Transmisor de presión electrónico en la salida de gas mezclado ajustable a través del interfase del operador		
Presión alta de vapor de GLP	Transmisor de presión electrónico en la línea de suministro de GLP ajustable a través del interfase del operador		
Presión Baja de vapor de GLP	Transmisor de presión electrónico en la línea de suministro de GLP ajustable a través del interfase del operador		
Presión de suministro de aire Alto	Transmisor de presión electrónico en la línea de suministro de aire, ajustable a través del interfase del operador		
Presión de suministro de aire bajo	Transmisor de presión electrónico en la línea de suministro de aire, ajustable a través del interfase del operador		
Indicadores locales	Medidor de presión de llenado para el suministro de vapor, aire y salida del gas mezclado. Medidor diferencial de Vapor/aire		
Válvulas de seguridad en la entrada de aire y vapor	Válvulas de bola cerrada sobre alarmas de presiones.		
Conexión al suministro de vapor	2"		
Conexión al suministro de aire	2"		
Conexión salida de gas mixto	3"	4"	6"
Requerimiento eléctrico	AC 220 V 50Hz 3A, monofásico		
Dimensiones WxLxL in (mm)	54x92x53 1372x2337x1346	54x96x57 1372x2438x1448	54x103x64 1372x2616x1626
Peso lbs (kg)	1000 (455)	1050 (480)	1200 (550)

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

Selección del (POM): Para encontrar el mezclador correcto para la aplicación solicitada, se selecciona la capacidad del sistema nominal requerido de la primera columna de la tabla 2.13, desplácese a la derecha hasta que encuentre la presión de diseño del sistema (presión de la mezcla gaseosa liberada). La celda indica el número del modelo del (POM). La capacidad nominal que se da en MMBTU por hora (primera columna), es aproximado y se da para la mezcla de aire-propano con 1450 BTU/ft³ a presiones de mezcla gaseosa liberada de 10 psig a 100 psig.

La capacidad y/o las presiones pueden variar para otras mezclas de aire-GPL. La capacidad nominal es basada en la presión de la entrada de vapor y en la entrada de aire comprimido es de 125 psig y una caída de presión de 10% por la válvula a un flujo máximo.

Tabla 2.13 Selección del POM correcto para la capacidad y presión establecida

BTU/h	10 psi	20 psi	30 psi	40 psi	50 psi	60 psi	70 psi	80 psi	90 psi	100 psi
20MM	POM30									
40MM	POM40	POM30								
60MM	POM40	POM30								
80MM	POM40	POM40	POM30							
100MM	POM60	POM40	POM40	POM30						
120MM	POM60	POM40	POM40	POM40	POM30	POM30	POM30	POM30	POM30	POM30
140MM	POM60	POM60	POM40	POM40	POM40	POM30	POM30	POM30	POM30	POM30
160MM		POM60	POM40	POM40	POM40	POM40	POM30	POM30	POM30	POM30
180MM		POM60	POM40	POM40	POM40	POM40	POM40	POM30	POM30	POM30
200MM		POM60	POM40	POM40	POM40	POM40	POM40	POM40	POM30	POM30
220MM		POM60	POM60	POM40	POM40	POM40	POM40	POM40	POM40	POM30
240MM		POM60	POM60	POM40						
260MM			POM60	POM60	POM40	POM40	POM40	POM40	POM40	POM40
280MM			POM60	POM60	POM60	POM40	POM40	POM40	POM40	POM40
300MM			POM60	POM60	POM60	POM40	POM40	POM40	POM40	POM40
320MM			POM60	POM60	POM60	POM40	POM40	POM40	POM40	POM40
340MM				POM60	POM60	POM60	POM40	POM40	POM40	POM40
360MM				POM60	POM60	POM60	POM40	POM40	POM40	POM40
380MM				POM60	POM60	POM60	POM60	POM40	POM40	POM40
400MM				POM60	POM60	POM60	POM60	POM40	POM40	POM40

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

2.4.5 Opciones y accesorios de un sistema de aire propanado. Para los mezcladores (POM) y para el sistema en general, se dispone de elementos adicionales para facilitar su funcionamiento los cuales son: un control automático de las propiedades del gas de mezclado denominado: "Acublend" y un medidor de la gravedad específica del gas mezclado denominado: "Graviblend". Los elementos adicionales de éste sistema son:

2.4.5.1 Válvulas de bola y válvulas de globo. Las válvulas son instaladas en varios lugares en un vaporizador de GLP o un sistema de mezcla GLP-aire. La válvula se diseña dependiendo del trabajo que desempeñe, la principal diferencia entre ambos tipos de válvula está en el diseño del mecanismo sellante: las válvulas de bola son muy simples en su diseño y confían en el acabado liso de la bola del centro que después de unos 90 grados se vuelve a sellar; las válvulas de globo son más complejas, y crean un sello positivo bloqueando el flujo del fluido con un sólido "la tapa". La figura 33, muestra las válvulas de bola y de globo respectivamente.



Figura 33. Válvulas de bola y de globo.

A similar tamaño de válvula, las válvulas de bola ofrecen mayores tasas de flujo, mientras las válvulas de globo tienen la clara ventaja de crear un sello

positivo. A ratas de flujo similares, las válvulas de globo son considerablemente más grandes y más pesadas.

2.4.5.2 Sistemas de control de gravedad específica. Están diseñados para trabajar en combinación con los mezcladores (POM), es decir, en plantas auxiliares que son también denominadas plantas de “corte máximo”. Son usados en instalaciones donde la composición del GLP puede variar con el tiempo. Muestra señales de rendimiento en línea con un calorímetro, un sensor de O_2 , u otro dispositivo que mida las propiedades del gas mezclado. Este controlador envía una señal de ajuste a un agudizador, instalado encima de la válvula de mezcla (POM), la cual cambia la posición rotatoria del pistón hasta que las propiedades del gas mezclado están de nuevo dentro de los valores preestablecidos. Este elemento se muestra en la figura 34.



Figura 34. Control automático de las propiedades del gas mezclado.

2.4.5.3 Medidor de gravedad específica “Graviblend”. Mide la gravedad específica (S.G.) de la mezcla Aire-GLP o aire propanado. La señal resultante es un indicador para la calidad del gas producido, manteniendo un

valor constante de la S.G. de la mezcla de aire y propano, es importante en aplicaciones donde las variaciones del contenido de calor del gas deben cambiar en la entrada del quemador y donde este cambio en el calor entregado tiene un efecto negativo en el proceso de vaporización.

Si combinamos este elemento con un “accublend”, la señal del gravitómetro es monitoreado en el posicionador del control de propiedades de la válvula de mezclado, el cual cambiaría la relación aire-gas, para uno más apropiado a nuestras necesidades variando la S.G. de la mezcla gaseosa. En la figura 35, se muestra externamente este elemento.



Figura 35. Medidor de gravedad específica.

2.4.5.4 Medidores de flujo. En muchas instalaciones es importante saber la rata de flujo del gas producido por un vaporizador, o del mezclador, las unidades medidoras de flujo pueden ser mecánicas, electromecánicas, o electrónicas, la figura 36 muestra este elemento.

Los medidores de flujo con señales electrónicas de salida pueden ser conectados a computadores de flujo (monitores), dónde la tasa actual es corregida por presión y temperatura. La señal de salida del medidor o

computador también puede ser usado para el control de válvulas de control de flujo.



Figura 36. Medidores de flujo y Computadoras de flujo.

2.4.5.5 Válvulas de control de flujo. Son usadas para limitar el flujo a través de una tubería. Las aplicaciones standard incluyen la protección de sistemas de Aire-GLP de condiciones de sobrecarga (qué podría potencialmente cerrar el sistema), y el “corte máximo” de gas natural. En las aplicaciones de “corte máximo”, la cantidad de gas que es arrastrado de una línea de gas natural es controlada para quedarse dentro de los acuerdos contractuales. La figura 37 muestra este elemento.



Figura 37. Válvulas de control de flujo.

Las válvulas de control de flujo se fabrican de varios tamaños y presiones, pueden ser manualmente ajustables, pre-juego fijado, o totalmente automático.

2.4.5.6 Cabezal de quemador de señal luminosa (prueba de Señales luminosas). Se usan las pruebas de señales luminosas durante el arreglo del sistema, y para sistema periódico de prueba y mantenimiento, en ellos se ensaya el quemado de aire propanado o la mezcla resultante del sistema. Ellos actúan como cargas grandes, y permiten que el sistema sea probado bajo condiciones de carga reales. Se fabrican la prueba normal de señales luminosas con 2" líneas de gas, o con 3" líneas de gas. Todas las pruebas de señales luminosas están provistas con ignición automática, piloto en pie, y su chimenea con tapa abierta. Esta opción se ilustra en la figura 38.



Figura 38 Cabezas de Quemador de señal luminosa.

2.4.5.7 Válvulas de 3 caminos "Y". La aplicación principal para las válvulas de tres caminos radica en sistemas de mezcla de GLP-aire (sistema de aire propanado), usado como sistemas de reserva. Son instalados en la línea principal de suministro de gas natural, y permite al sistema de aire propanado tomar claramente el suministro de gas sin interrumpir el proceso. Esto se logró a través del uso de un pistón rotatorio que gradualmente abre el lado de la entrada para la mezcla de aire-propano, mientras cierra

simultáneamente el lado del gas natural. Permitiendo la intercambiabilidad de estos dos combustibles cumpliendo este elemento el objetivo de este sistema de reserva, la figura 39, muestra este componente.

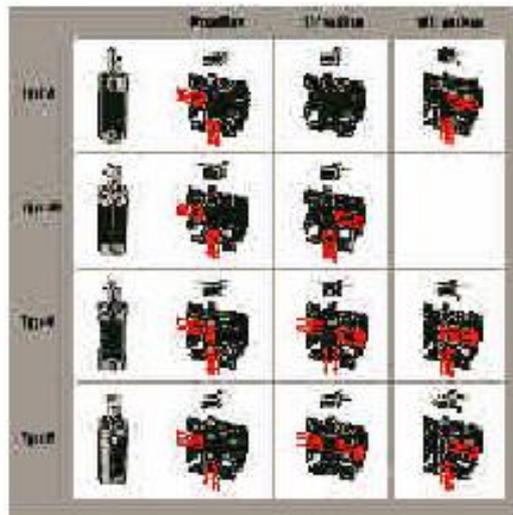


Figura 39. Válvulas de 3 caminos.

Para los sistemas totalmente automatizados, las válvulas de tres caminos pueden equiparse con interruptores eléctricos o neumáticos, permitiéndole al operador cambiar remotamente el suministro de gas natural al sistema auxiliar (aire propanado).

3. EVALUACION DE COSTOS

3.1 Vaporizadores De Llama Directa

Todos lo vaporizadores de llama directa son diseñados para 250 psig a 600 °F y conforme a la normas ASME, VESSEL y NFPA #58, apropiados para aseguradores de riesgo industrial (IRI).

Los vaporizadores sencillos de intercambio de calor de llama directo (AE-50, AE-80, AE-120), y cantidades pequeñas de vaporizadores de intercambio de calor, son normalmente disponibles en el inventario de las empresas abastecedoras. Tiempos de entrega de cantidades importantes dependen de la carga de trabajo de la fábrica y estos pueden variar.

Todos los vaporizadores de llama directa están disponibles con reguladores REGO, o reguladores FISHER, los vaporizadores de intercambio de calor viene completos con manifold en la entrada de líquido y manifold en la salida de vapor.

Los pesos dados en lbs y kg, junto a las dimensiones en pulgadas de la tabla 3.1 son aproximados, pues pueden variar de acuerdo a la empresa productora.

Tabla 3.1 Precios para vaporizadores de llama directa

MODELO	CAPACIDAD gph / MMBTU/h	INTERCAMBIADORES DE CALOR	DIMENSIONES (PULGADAS)			PESO		PRECIO \$US
			W	D	H	LBS.	Kg	
AE-50	50 / 4.5	1	20	25	72	182	83	\$2,800
AE-80	80 / 7.3	1	20	25	72	220	100	\$3,120
AE-120	120 / 10.8	1	20	25	72	256	116	\$4,404
DF-1600	160 / 14.5	2	34	28	72	400	181	\$6,340
DF-2400	240 / 22	2	34	28	72	525	238	\$8,816
DF-3600	360 / 33	3	46	28	72	725	329	\$13,212
DF-4800	480 / 44	4	60	28	72	925	420	\$17,616

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

3.1.1. Accesorios y opciones para vaporizadores De llama directa. El listado que se muestra en tabla 3.2, son las más comunes opciones y accesorios, disponibles para vaporizadores de llama directa.

- La válvula de entrada y salida de líquido es instalada en la línea de abastecimiento de líquido GLP, cuenta con válvulas de tipo bola.
- La malla de entrada de líquido es instalada en la línea de abastecimiento de líquido GLP.
- El regulador de ignición automático requiere corriente alterna de 110 V, instalado en la llama piloto de extinción de ignición con tal que la termocoupla caliente y el quemador piloto, reciban combustible de la válvula de control, requiere 110 V de corriente alterna, y el poder de consumo es inferior a 0.1 Amperé, el quemador piloto se enciende cuando se detiene la chispa.

- El dispositivo de ignición automática de corriente directa de 9 V, es instalado en el mismo sitio del anterior, pero con operación Standard de batería de 9 V, se recomienda reemplazar la batería cada 1 a 2 años.
- El regulador de presión de salida de vapor, es instalado en la línea de salida de vapor, seriales Fisher 627, 630, 99, o similares.
- La válvula de entrada y salida de vapor es instalada en la salida de vapor, contando con válvula de tipo bola.
- Sellos “S” ASME, aplicado para cada intercambiador de calor individual.

Tabla 3.2 Precios para accesorios y opciones de vaporizadores de llama directa

OPCION O ACCESORIO	AE-50	AE-80	AE-120	DF-1600	DF-2400	DF-3600	DF-4800
Válvula de entrada y salida de líquido.	AEDFOPT \$92.90	AEDFOPT \$92.90	AEDFOPT \$92.90	Standard	Standard	Standard	Standard
Malla de entrada de líquido.	AEDFOPT \$92.90	AEDFOPT \$92.90	AEDFOPT \$92.90	Standard	Standard	Standard	Standard
Reignición automática AC 110 V.	AEDFOPT-3 \$158.30	AEDFOPT-3 \$158.30	AEDFOPT-3 \$158.30	AEDFOPT-4 \$316.60	AEDFOPT-4 \$316.60	AEDFOPT-5 \$474.90	AEDFOPT-6 \$633.20
Reignición automática DC 9 V	AEDFOPT-7 \$133.70	AEDFOPT-7 \$133.70	AEDFOPT-7 \$133.70	AEDFOPT-8 \$267.40	AEDFOPT-8 \$267.40	AEDFOPT-9 \$401.10	AEDFOPT-10 \$534.80
Regulador de presión de Salida de vapor.	AEDFOPT-11 \$472.80	AEDFOPT-11 \$472.80	AEDFOPT-12 \$1,352.50	AEDFOPT-12 \$1,352.50	AEDFOPT-14 \$3,519.20	AEDFOPT-14 \$3,519.20	AEDFOPT-14 \$3,519.20
Válvula de salida y entrada de vapor.	AEDFOPT-13 \$77.10	AEDFOPT-13 \$77.10	AEDFOPT-13 \$77.10	Standard	Standard	Standard	Standard
Sello "S" ASME.	Standard						

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

3.1.2 Repuestos para Vaporizadores de Llama Directa. La tabla 3.3 muestra los repuestos más comúnmente usados para vaporizadores de llama directa. Excluyendo otras listas, todas las partes encajan en todos los modelos superiores al año 1985, excepto para modelos con modificaciones específicas.

Tabla 3.3 Precios de repuestos para vaporizadores de llama directa

PARTE	DESCRIPCIÓN	PRECIO EN US\$
BUR0001	Quemador para AE-80/120 y modelos DF; versión propano para motor # 69	\$ 154.10
BUR0005	Quemador para AE-50; todas las versiones; motores #76.	\$ 154.10
BUR0006	Armazón de quemador para modelos AE-50; todas las versiones; motores #76, completo con piloto de quemador, termocupla y encendido de chispa.	\$ 182.60
BUR0015	Armazón de quemador para modelos AE-80/120 y DF; versión propano; motores #69; completo con piloto de quemador, termocupla y encendido de chispa.	\$ 182.60
BUR0018	Quemador para modelos AE-80/120 y DF; modelo exportación (mezcla propano/butano); motores #70.	\$ 154.10
BUR0019	Armazón de quemador para modelos AE-80/120 y DF; versión exportación (mezcla propano/butano); motores #70; completo con piloto de quemador, termocupla y encendido de chispa.	\$ 182.60
IGN0003	Encendido de chispa.	\$ 16.90
IGN0004	Re-encendido eléctrico, versión AC 110 V;	\$ 126.60
IGN0001	Re-encendido eléctrico, versión DC 9 V, completo con batería.	\$ 102.00
LIQ0001	Válvula de entrada de líquido, completo incluye empaquetadura / O-ring.	\$ 279.60
LIQ0006	Empaquetadura para válvula de entrada de líquido (serial numero 3883 e inferiores);	\$ 4.30
LIQ0005	Sello de asiento para válvula de entrada de líquido (tipo nuez con arandela VITON vulcanizada);	\$ 14.80
LIQ0008	Varilla de restitución de avance para válvula de entrada de líquido (requerido para ampliar la válvula de entrada de liquido como diseño final).	\$ 20.10
ORI0002	Válvula de entrada de líquido para O-ring VITON. (número de serie 3884 y posteriores).	\$ 4.30
PIL0005	Armazón piloto, completo con termocupla;	\$ 105.50
REG0021	Regulador quemador; etapa dual; para modelos AE-	\$ 67.40

	50F/80F/120F; modelo FISHER R332-41 o similares;	
REG0022	Regulador quemador; segunda etapa; para modelos DF-1600F/2400F/3600F/4800F; modelo FISHER R522-BCF o similar.	\$ 67.70
REG0023	Regulador quemador; primera etapa; para modelos DF-1600F/2400F/3600F/4800F; modelo FISHER R522H-BGK o similar.	\$ 83.80
REG0032	Regulador quemador; primera etapa; para modelos DF-1600F/2400F/3600F/4800F; modelo REGO LV3303TR o similar.	\$ 83.80
REG0033	Regulador quemador; etapa dual; para modelos AE-50R/80R/120R; modelo REGO LV404B23 o similares;	\$ 67.40
REG0035	Regulador quemador; segunda etapa; para modelos DF-1600R/2400R/3600R/4800R; modelo REGO LV4403B4 o similar.	\$ 67.70
SHR0005	Puerta (cubre quemador) para cubrir el quemador.	\$ 31.70
TEM0003	Válvula de control de temperatura; "in-line style"; encajan todos los números de serie 4834 y anteriores.	\$ 161.50
THE0013	Termopozo para sensores de la válvula de control de temperatura; completo con resorte cargador y sello tapón.	\$ 47.20
TEM0050	Válvula de control de temperatura retrofit-kit para AE 50; consiste de válvula de control de temperatura, montura delimitadora; termopozo, línea de combustible quemador de acero limpio; set de instrucciones.	\$ 185.00
TEM0080	Válvula de control de temperatura retrofit-kit para AE 80; consiste de válvula de control de temperatura, montura delimitadora; termopozo, línea de combustible quemador de acero limpio; set de instrucciones.	\$ 185.00
TEM0120	Válvula de control de temperatura retrofit-kit para AE 120; consiste de válvula de control de temperatura, montura delimitadora; termopozo, línea de combustible quemador de acero limpio; set de instrucciones.	\$ 185.00
THE0001	Piloto quemador para termocupla.	\$ 80.00
VAL0016	Válvula de bola de ¾ de pulgada para línea de entrada de líquido de AE-50/80/120 y DF- 1600/2400/3600/4800; Válvula de bola de ¾ de pulgada para línea de salida de vapor de AE-50/80/120;	\$ 27.00
VAL0030	Válvula de bola de 2 pulgadas para línea de salida de vapor de DF -1600/2400/3600/4800;	\$ 109.90

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

3.2 Vaporizadores Horizontales De Baño de Agua

Los vaporizadores horizontales de baño de agua para propano, butano y otros GPL, en los modelos WB-200, WB-250 y WB-350, utilizan quemadores atmosféricos tipo

Tabla 3.4 Precios de vaporizadores horizontales de baño de agua

NUMERO DE MODELO	CAPACIDAD NOMINAL	ENTRADA DEL QUEMADOR	DIMENSIONES EN PULGADAS			CAPACIDAD DEL TANQUE DE AGUA EN GALONES	PESO LBS.	PRECIO US\$
	GAL./HORA	BTU/HORA	W	L	H			
WB-200	200	240000	39	99	80	160	3200	\$17,774
WB-250	250	300000	39	99	80	160	3200	\$18,677
WB-350	350	395000	39	99	80	160	3200	\$22,436
WB-450	450	540000	50	114	112	240	4600	\$28,110
WB-550	550	660000	50	114	112	240	4600	\$29,238
WB-650	650	780000	62	110	112	450	5200	\$34,147
WB-750	750	900000	62	110	112	450	5200	\$36,277
WB-850	850	1020000	62	110	112	450	5200	\$38,546
WB-1000	1000	1200000	72	156	112	660	6500	\$45,414
WB-1200	1200	1440000	72	156	112	660	6500	\$49,799
WB-1500	1500	1800000	72	156	112	660	6500	\$55,941
WB-1800	1800	2160000	84	216	112	1200	12000	\$61,060
WB-2000	2000	2400000	84	216	112	1200	12000	\$72,653
WB-2200	2200	2640000	84	216	112	1200	12000	\$75,013
WB-2500	2500	3000000	84	216	112	1200	12000	\$77,088
WB-3000	3000	3750000	84	252	112	2625	15000	\$83,741
WB-3500	3500	4200000	84	252	112	2625	15000	\$88,752
WB-4500	4500	5400000	84	252	112	2625	15000	\$97,524
WB-5500	5500	6600000	84	252	112	3225	15000	\$116,682

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

venturi, los modelos WB-450 y superiores utilizan quemadores de potencia. Los precios para WB-450 y superiores incluyen panel de control con (PLC) Allen –Bradley, y operador de interfase Allen-Bradley para visualización del estado del sistema e indicación de paro primario. Luego del mes de julio del

año 2002, todos los modelos WB-450 e inferiores, fueron equipados con controles de seguridad de flama "honeywell". Y Posteriores al mes de julio de 2003, todos los modelos WB-450 e inferiores fueron equipados con transmisores de presión y temperatura en la salida de vapor por protección del traslado de líquido, basados en correlaciones de presión-temperatura, y tipos de GPL (propano/butano,...).

3.2.1 Repuestos para Vaporizadores Horizontales de Baño de Agua. La tabla 3.5, muestra los repuestos más comúnmente usados para vaporizadores horizontales de baño de agua. Salvo otras listas, todas las partes encajan en todos los modelos superiores al año 1985, excepto para modelos modificados para aplicaciones específicas.

Tabla 3.5 Precios de repuestos de vaporizadores horizontales de baño de agua

PARTE	DESCRIPCION	PRECIO EN US\$
AQU0001	Switch de temperatura, operador de baño de agua y seguro de baño de agua; WB-200 a WB-5500	\$ 129.00
LOW0001	Switch de corte de aguas bajas;WB-200 a WB-5500;	\$ 263.30
PUM0023	Bomba de circulación de agua; WB-200 a WB-5500; (para vaporizadores con bomba Armstrong).	\$ 271.00
PUM0030	Bomba de circulación de agua; WB-200 a WB-5500; (para vaporizadores con bomba TACO).	\$ 271.00
REG0011	Regulador del quemador, primera etapa, 3/4", Fisher 627 o similar; WB-200 a WB-850;	\$ 472.70
REG0010	Regulador del quemador, primera etapa, 1 1/4", Fisher 627 o similar; WB-1000 a WB-5500;	\$ 472.70
REG0024	Regulador del quemador, segunda etapa, Fisher S 100 o similar; WB-450 a WB-850;	\$ 271.10
REG0026	Regulador del quemador, segunda etapa, Fisher S100CDC o similar; WB-1000 a WB-5500;	\$ 278.00
SOL0017	Válvula solenoide de entrada de líquido; WB-200 a WB-850;	\$ 273.10
SOL0017R	Kit para reparación de válvula solenoide de entrada de líquido; WB-200 a WB-850;	\$ 150.80
SOL0018	Válvula solenoide del quemador; WB-200 a WB-350;	\$ 75.20
SOL0018R	Kit de reparación para válvula solenoide del quemador; WB-200 a WB-350;	\$ 36.00

SOL0019	Válvula solenoide de entrada de líquido; WB-1000 a WB-5500;	\$ 485.70
SOL0019R	Kit de reparación para válvula solenoide de entrada de líquido; WB-1000 a WB-5500;	\$ 201.70
SOL0023	Válvula solenoide piloto; WB-450 a WB-1000	\$ 120.00
SOL0024	Válvula solenoide piloto; WB-1200 a WB-1800	\$ 186.50
SOL0025	Válvula solenoide piloto; WB-2000 a WB-5500;	\$ 180.90
SWI0015	Switch de protección de transporte de líquido; todos los seriales WB940 y posteriores;	\$ 386.10
SWI0031	Switch de protección de transporte de líquido; todos los seriales WB939 y anteriores;	\$ 772.90
SWI0038	Switch de protección de transporte de líquido para el sensor de temperatura del armazón; todos los modelos;	\$ 55.40
SWI0042	Switch de presión; quemador bajo de gas; todos los modelos;	\$ 101.00
SWI0043	Switch de presión; quemador alto de gas; todos los modelos;	\$ 108.00
SWI0049	Switch de seguridad de flujo de aire para quemador; WB-450 a WB-1800;	\$ 175.40
SWI0050	Switch de seguridad de flujo de aire para quemador; WB-2000 a WB-5500;	\$ 117.20
THE0001	Termocupla para válvula de seguridad piloto; WB-200 a WB-350;	\$ 18.00
TRA0010	Transformador de ignición de chispa; WB-450 a WB-5500;	\$ 179.30
VAL0017	Válvula de alivio, 3/4", Rego 3131G o similar; WB-200 a WB-850;	\$ 58.10
VAL0056	Válvula de seguridad piloto; WB-200 a WB-350;	\$ 341.00
VAL0061	Válvula de alivio; 1", Fisher 1805-19 o similar; WB-1000 a WB-2500.	\$ 322.00
VAL0087	Válvula de alivio; 2", Fisher 1805-52 o similar; WB-3000 a WB-5500;	\$ 722.00

Componentes de resguardo de llama

PARTE	DESCRIPCION	PRECIO EN US\$
AMP0003	Amplificador MAUV-1 para controles de quemador de ojo de fuego; WB-450 a WB-1800; S/N WB-1006 e inferiores.	\$ 80.50
CHA0007	Chasis MC-120 para controles de quemador de ojo de fuego; WB-450 a WB-1800; S/N WB-1006 e inferiores;	\$ 309.00
PRO0001	Programador MP-230 para controles de quemador de ojo	\$ 333.00

	de fuego; WB-450 a WB-1800; S/N WB-1006 e inferiores;	
SCA0002	Scanner UV1A-6 para controles de quemador de ojo de fuego; WB-450 a WB-1800; S/N WB-1006 e inferiores;	\$ 170.00
BUR0046	Chasis RM7895C1020 para salvaguardar la flama; WB-450 a WB-1800; S/N WB-1007 e inferiores;	\$ 781.00
BUR0047	Amplificador R789A1023 para salvaguardar la flama, todos los modelos; S/N WB-1007 e inferiores;	\$ 246.00
BUR0048	Carta de depuración ST7800A1054 para salvaguardar llama; todos los modelos; S/N WB-1007 e inferiores;	\$ 67.00
BUR0049	Base Q7800A1005 para salvaguardar llama; todos los modelos; S/N WB-1007 e inferiores;	\$ 35.00
BUR0050	UV-Scanner C7027A1049 para salvaguardar llama; todos los modelos; S/N WB-1007 e inferiores;	\$ 151.00
BUR0051	Chasis RM7840L1026 para salvaguardar llama; WB-2000 y superiores; S/N WB-1007 e inferiores;	\$ 2336.00
BUR0052	Modulo de visualización de teclado S7800A1001 para salvaguardar llama; WB-450 y superiores, S/N WB-1007 e inferiores;	\$ 543.00
BUR0053	Modulo de salvaguarda de llama "honeywell"; completo; WB-450 a WB-1800; S/N WB-1007 e inferiores;	\$ 1280.00

Componentes de control electrónico

PARTE	DESCRIPCION	PRECIO EN US\$
TRA0058	Transmisor de presión de vapor; 0-300 psi; 4-20 mA; para vaporizadores con protección de transporte de líquido "smart".	\$ 1541.00
TRA0014	Transmisor de temperatura de vapor; 0-250 °F; 4-20 mA; para vaporizadores con protección de transporte de líquido "smart".	\$ 612.00
PLC0009	Controlador lógico programable (PLC); Allen-Bradley ML-1000A; para vaporizadores con protección de transporte de líquido "smart".	\$ 953.00
PLC0012	Controlador lógico programable (PLC); Allen-Bradley ML-1000 ; para vaporizadores Standard;	\$ 408.00
PLC0013	Operador de interfase; Allen-Bradley Panel-View 300Micro, 3 pulgadas monocromático;	\$ 502.00
PLC0007	Cable de interconexión entre PLC micrologicX y operador de interfase panelView 300;	\$ 76.90

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

3.3 Vaporizador Eléctrico de Baño de Agua

Los pesos y dimensiones son aproximados, así como las especificaciones están sujetas a cambios, en la tabla 3.6 se encuentran los precios de los vaporizadores eléctricos de baño de agua más utilizados, sin embargo otros voltajes y configuraciones existen en el mercado.

Tabla 3.6. Precios para vaporizadores eléctricos de baño de agua

NUMERO DE MODELO	CAPACIDAD NOMINAL	ELEMENTO DE CALOR	ABASTECEDOR ELECTRICO	DIMENSIONES (WxLxH) in (mm)	PESO lbs (kgs)	PRECIO EN US\$
EV – 100	50 gph	1 X 15 kW	AC 480 V 60Hz, 3 fases	20 3/8" x 22 3/8"x 76 3/8" (520 x 570 x 1715)	300 (135)	\$10,376.10
EV – 100	50 pgh	1 X 15 kW	AC 380 V 50Hz, 3 fases		300 (135)	\$10,376.10
EV – 200	100 gph	2 X 15 kW	AC 480 V 60Hz, 3 fases		340 (155)	\$13,679.40
EV – 200	100 gph	2 X 15 kW	AC 380 V 50Hz, 3 fases		340 (155)	\$13,679.40
EV – 300	150 gph	3 X 15 kW	AC 480 V 60Hz, 3 fases		380 (175)	\$18,032.70
EV – 300	150 gph	3 X 15 kW	AC 380 V 50Hz, 3 fases		380 (175)	\$18,032.70

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

3.4 Vaporizadores Eléctricos “secos”

En el vaporizador eléctrico “seco”, el agua caliente o vapor es usado como el medio de transferencia de calor, la serie Lectrapack, usa un núcleo de aluminio monolítico con calor incluido y bobina de vaporización para transferir calor desde el elemento calorífico eléctrico, hacia la bobina de vaporización de acero. Este diseño elimina completamente la necesidad que componentes de control de nivel, aberturas de drenaje-desagüe, y lo provee para una operación muy simple, altamente confiable. La Tabla 3.7 muestra los precios de estos vaporizadores.

Tabla 3.7.: Lista de precios para vaporizadores eléctricos “secos”

NUMERO DE MODELO	CAPACIDAD NOMINAL	ELEMENTO DE CALOR	ABASTECIMIENTO ELECTRICO	DIMENSIONES	PESO Lbs. (Kg.)	PRECIO EN \$US
EV - 25 KG	25 kg/h	1 X 4.5 kW	AC 220 V 50/60 Hz, 1 fase	280x210x470(mm) 11x8¼"x18½"(pulgadas)	60 (27)	\$2,923
EV - 50 KG	50 kg/h	3 X 3 kW	AC 220 V 50/60 Hz, 1 fase	280x210x788(mm) 11x8¼"x31(pulgadas)	90 (41)	\$3,692
EV - 50 KG	50 kg/h	3 X 3 kW	AC 380 V 50Hz, 3 fases	280x210x788(mm) 11x8¼"x31(pulgadas)	90 (41)	\$3,692
EV - 50 KG	50 kg/h	3 X 3 kW	AC 480 V 60Hz, 3 fases	280x210x788(mm) 11x8¼"x31(pulgadas)	90 (41)	\$3,692

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

3.5 Vaporizadores Verticales de Baño de Agua

Los precios de estos vaporizadores se muestran en la tabla 3.8. La unidad más pequeña, VWB-120 a VWB-360 usa una bobina de acero. Las unidades más largas tienen un empaquetamiento desde la parte superior hasta el noveno arreglo vertical de tubos de vapor. Los pesos y dimensiones mostrados en tabla son aproximados.

Tabla 3.8 Lista de precios de vaporizadores verticales de baño de agua

NUMERO DE MODELO	CAPACIDAD NOMINAL gph (kg/h)	REQUERIMIENTOS DE FLUJO DE AGUA gpm (lpm)	DIMENSIONES	PESO CARGA Lbs.(Kg.)	PRECIO EN \$US
VWB - 120	60 (120)	6 (25)	21"x21"x49.5" (LxWxH)	250 (115)	\$7,922
VWB - 240	120 (240)	12 (50)	533 mm x 533mm x 1254mm (LxWxH)	260 (120)	\$9,728
VWB - 360	180 (360)	18 (75)		270 (125)	\$11,533
VWB - 750	375 (750)	36 (140)	26.5" x 58" (DxH)	700 (320)	\$13,028
VWB - 1000	500 (1000)	50 (190)		800 (365)	\$14,611
VWB - 1500	750 (1500)	75 (290)	673 mm x 1473 mm (DxH)	800 (365)	\$15,833
VWB - 2000	1000 (2000)	100 (380)		800 (365)	\$16,916
VWB - 3000	2 X 750 (1500)	2 x 75 (290)		2 x 800 (365)	\$29,016
VWB - 4000	2 X 1000 (2000)	2 x 100 (380)	(por unidad)	2 x 800 (365)	\$32,183
VWB - 6000	3 X 1000 (2000)	3 x 100 (380)		2 x 800 (365)	\$46,449

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

3.6 Mezcladores aire-vapor GPL Tipo Venturi (HVS)

Los sistemas (HVS) más pequeños (arriba de dos arreglos de venturis), usan switches de presión y controles Standard, mientras que sistemas más grandes con más de tres arreglos de venturis, usan un transmisor de presión el cual es conectado a un (PLC) Allen-Bradley. La tabla 3.9 muestra los precios de los mezcladores tipo venturi.

Tabla 3.9.: Precios para mezcladores aire- vapor GLP (HVS)

NUMERO MODELO	NOMINAL MMBTU/H (VERSION 9 A 12 PSI)	NUMERO DE VENTURIS (VERSION 9 A 12 PSI)	CAPACIDAD TANQUE DE SURGENCIA US-GAL (LITER)	TAMAÑO APROXIMADO DE RODILLO EN PULGADAS W X L X H	PRECIO EN US\$ (VERSION 5 A 8 PSI)	PRECIO EN US\$ (VERSION 9 A 12 PSI)	PRECIO EN US\$ OPCION ALTA PRESION	PRECIO EN US\$ OPCION EXPROOF
HVS-7	7 (7)	1 (1)	120 (450)	54 X 54 X 83	\$ 8641	\$ 9221	\$ 2120	\$ 2167
HVS-10	10 (10)	1 (1)	120 (450)	54 X 54 X 83	\$ 8641	\$ 9221	\$ 2120	\$ 2767
HVS-14	14 (14)	2 (2)	120 (450)	54 X 54 X 83	\$ 12305	\$ 13465	\$ 3202	\$ 2578
HVS-20	20 (21)	2 (2)	120 (450)	54 X 54 X 83	\$ 17807	\$ 18967	\$ 3202	\$ 2578
HVS-30	30 (28)	3 (3)	250 (950)	65 X 102 X 70	\$ 25862	\$ 27602	\$ 4444	\$ 4769
HVS-40	40 (42)	4 (4)	250 (950)	65 X 102 X 70	\$ 29046	\$ 31366	\$ 5526	\$ 5180
HVS-50	50 (49)	5 (4)	250 (950)	65 X 102 X 70	\$ 32230	\$ 34550	\$ 6608	\$ 5591
HVS-60	60 (63)	6 (5)	500 (1893)	65 X 128 X 80	\$ 35932	\$ 38832	\$ 7690	\$ 4657
HVS-70	70 (70)	7 (6)	500 (1893)	65 X 128 X 80	\$ 39116	\$ 42596	\$ 8773	\$ 5068
HVS-80	80 (77)	8 (6)	500 (1893)	65 X 128 X 80	\$ 42302	\$ 45782	\$ 9856	\$ 5479
HVS-90	90 (91)	9 (7)	1000 (3785)	65 X 199 X 84	\$ 46390	\$ 50450	\$ 11097	\$ 5891
HVS-100	100 (105)	10 (8)	1000 (3785)	65 X 199 X 84	\$ 49575	\$ 54215	\$ 12180	\$ 6302
HVS-110	110 (112)	11 (9)	1000 (3785)	65 X 199 X 84	\$ 52759	\$ 57979	\$ 13262	\$ 6713
HVS-120	120 (119)	12 (9)	2000 (7570)	-----	\$ 62710	\$ 67930	\$ 15193	\$ 7124
HVS-130	130 (133)	13 (10)	2000 (7570)	-----	\$ 65894	\$ 71694	\$ 16276	\$ 7535
HVS-140	140 (140)	14 (11)	2000 (7570)	-----	\$ 69079	\$ 75459	\$ 17358	\$ 7947
HVS-150	150 (154)	15 (12)	2000 (7570)	-----	\$ 72264	\$ 79224	\$ 18440	\$ 8358
HVS-160	160 (161)	16 (12)	2000 (7570)	-----	\$ 75448	\$ 82408	\$ 19523	\$ 8769
HVS-170	170 (168)	17 (13)	2000 (7570)	-----	\$ 78633	\$ 86173	\$ 20605	\$ 9180
HVS-180	180 (182)	18 (14)	2000 (7570)	-----	\$ 81817	\$ 89937	\$ 21688	\$ 9591
HVS-190	190 (189)	19 (14)	2000 (7570)	-----	\$ 85002	\$ 93122	\$ 22770	\$ 10002
HVS-200	200 (203)	20 (15)	2000 (7570)	-----	\$ 88187	\$ 96887	\$ 23852	\$ 10414
HVS-210	210 (210)	21 (16)	3000 (11355)	-----	\$101066	\$110346	\$ 25784	\$ 10825
HVS-220	220 (224)	22 (17)	3000 (11355)	-----	\$104251	\$114111	\$ 26866	\$ 11236
HVS-230	230 (231)	23 (17)	3000 (11355)	-----	\$107435	\$117295	\$ 27948	\$ 11647
HVS-240	240 (238)	24 (18)	3000 (11355)	-----	\$110620	\$121060	\$ 29031	\$ 12058
HVS-250	250 (252)	25 (19)	3000 (11355)	-----	\$113805	\$124825	\$ 30114	\$ 12471

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

3.6.1 Accesorios, Opciones y Repuestos para mezcladores (HVS) La tabla 3.10, muestra los repuestos más comúnmente usados para mezcladores (HVS).

Tabla 3.10. Precios de accesorios y repuestos de los mezcladores (HVS).

EJEMPLAR	DESCRIPCION	PRECIO EN US\$
HVSOPT-1	Controles electrónicos con PLC Allen-Bradley ML-1000A; incluyendo transmisores de presión y unidad de imagen inteligente (Allen-Bradley Panel View-300 Micro) con teclas de función y "teclas Flexibles" para entrar punto fijo y menú de navegación; para modelos HVS 7MM a HVS 20MM	\$ 6235.00
HVSOPT-2	Transmisor de temperatura (no-ex), instalado en línea de vapor GPL, o línea de mezcla de gas, incluye imagen de temperatura en "F" o "C" sobre unidad de imagen; (solamente disponible para sistemas controladores PLC; incluye PLC mejorado para ML-1200)	\$ 946.00
HVSOPT-3	Transmisor de temperatura (exproof); instalado en línea de vapor GPL, o línea de mezcla de gas, incluye imagen de temperatura en "F" o "C" sobre unidad de imagen; (solamente disponible para sistemas controladores PLC; incluye PLC mejorado para ML-1200)	\$ 1469.00
HVSOPT-4	Pantalla LCD color 6", con operador digital sensitivo de interfase; (solamente disponible para sistemas controladores PLC);	\$ 2708.00
HVSOPT-5	Adaptador ethernet para panel de sistema de control; permite monitorear el sistema a través de las redes existentes, incluyendo internet, intranet, etc.,; incluye PLC mejorado para ML-1500;	\$ 2807.00
HVSOPT-6	Conexión modem dial para panel de sistema de control; permite monitorear el sistema a través de una línea telefónica convencional; incluye PLC mejorado para ML-1500;	\$ 2538.00
SWI0030	Switch de presión; GPL bajos; para sistemas con controles electro-mecánicos;	\$ 480.00
SWI0033	Switch de presión; monitor de tanque; 2 puntos fijos; para sistemas con controles electro-mecánicos;	\$ 633.00
SWI0029	Switch de presión; monitor de tanque; 3 puntos fijos; para sistemas con controles electro-mecánicos;	\$ 794.80
TRA0056	Transmisores de presión para monitor de tanque; 0-30 psi; 4-20 mA; para sistemas con controles PLC;	\$ 1541.00
TRA0058	Transmisores de presión de vapor; 0-30 psi; 4-20 mA; para sistemas con controles PLC;	\$ 1541.00
VAL0012M	Instrumento de válvula (línea de calibración de presión)	\$ 14.00
GAU0005	Calibrador de presión; lleno de líquido; con caja de abertura; 15 psi;	\$ 28.00
GAU0001	Calibrador de presión; lleno de líquido; con caja de abertura; 30 psi;	\$ 28.00
GAU0002	Calibrador de presión; lleno de líquido; con caja de abertura; 100 psi;	\$ 28.00
GAU0006	Calibrador de presión; lleno de líquido; con caja de abertura; 300 psi;	\$ 28.00
SOL0007	Válvula solenoide; Standard;	\$ 248.00
SOL0007R	Kit de reparación para válvula solenoide; Standard;	\$ 161.00
VAL0002	Válvula de unión; entrada de aire; completo;	\$ 495.00
VAL0084	Válvula cheque; entrada de aire parte posterior;	\$ 118.00
VAL0085	Válvula cheque; control de plato para entrada de aire;	\$ 127.00
GAS0014	Válvula cheque; empaquetadura para entrada de aire;	\$ 12.00
SPR0001	Válvula cheque; resorte; acero limpio;	\$ 8.00
NOZ0003	Boquilla venturi; tipo "C";	\$ 154.00
NOZ0004	Boquilla venturi; tipo "D";	\$ 154.00
VEN0001	Tubo venturi; tipo "M";	\$ 178.00
VEN0002	Tubo venturi; tipo "N";	\$ 178.00
NOZ0007	Boquilla venturi; tipo "E";	\$ 254.00
NOZ0008	Boquilla venturi; tipo "F";	\$ 254.00
VEN0009	Tubo venturi; tipo "O";	\$ 278.00
VEN0010	Tubo venturi; tipo "P";	\$ 278.00

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

3.7 Mezcladores Aire-Vapor GLP (POM)

Los precios de los mezcladores tipo pistón (POM), más comunes dependiendo de capacidades y presiones están dadas en la tabla 3.11:

Tabla 3.11. Precios de mezcladores aire-vapor GPL (POM).

MBTU/H	10 PSI 0.7BAR	20 PSI 1.4BAR	30 PSI 2.1BAR	40 PSI 2.8BAR	50 PSI 3.5BAR	60 PSI 4.2BAR	70 PSI 4.9BAR	80 PSI 5.6BAR	90 PSI 6.3BAR	100PSI 7BAR
20 M 400m ³	POM30 \$43065									
40 M 800m ³	POM40 \$48365	POM30 \$43065								
60 M 1200m ³	POM40 \$48365	POM30 \$43065								
80 M 1600m ³	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM30 \$43065							
100 M 2000m ³	POM60 \$60009	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM30 \$43065						
120 M 2400m ³	POM60 \$60009	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM30 \$43065	POM30 \$43065	POM30 \$43065	POM30 \$43065	POM30 \$43065	POM30 \$43065
140 M 2700m ³	POM60 \$60009	POM60 \$60009	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM30 \$50231	POM30 \$50231	POM30 \$50231	POM30 \$50231	POM30 \$50231
160 M 3100m ³		POM60 \$60009	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM30 \$50231	POM30 \$50231	POM30 \$50231	POM30 \$50231
180 M 3500m ³		POM60 \$60009	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM30 \$50231	POM30 \$50231	POM30 \$50231	POM30 \$50231
200 M 3900m ³		POM60 \$60009	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM40 \$48365	POM30 \$50231	POM30 \$50231	POM30 \$50231
220 M 4300m ³		POM60 \$69395	POM60 \$69395	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM30 \$50231	POM30 \$50231
240 M 4700m ³		POM60 \$69395	POM60 \$69395	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM30 \$50231
260 M 5100m ³			POM60 \$69395	POM60 \$69395	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751
280 M 5500m ³			POM60 \$69395	POM60 \$69395	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751
300 M 5900m ³			POM60 \$69395	POM60 \$69395	POM60 \$69395	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751
320 M 6300m ³			POM60 \$69395	POM60 \$69395	POM60 \$69395	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751
340 M 6700m ³				POM60 \$69395	POM60 \$69395	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751
360 M 7000m ³				POM60 \$69395	POM60 \$69395	POM60 \$69395	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751
380 M 7400m ³				POM60 \$69395	POM60 \$69395	POM60 \$69395	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751
400 M 7800m ³				POM60 \$69395	POM60 \$69395	POM60 \$69395	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751	POM40 \$57751

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

3.7.1 Accesorios y Opciones para Mezcladores (POM). La tabla 3.12 muestra los repuestos, opciones más frecuentes y accesorios para mezcladores (POM).

Tabla 3.12. Precios de accesorios y opciones de los mezcladores (POM)

NUMERO	DESCRIPCION	PRECIO EN US\$
GB-3	Opción: graviblend-gravitómetro 3, configuración Standard para áreas no clasificadas. Alta velocidad y precisión, indica medidas de gravedades específicas de la mezcla de gas, complementado con indicador local y señal de salida de 4-20 mA;	\$ 11214.00
GB-3A	Opción: graviblend-gravitómetro 3; configuración para áreas peligrosas; Alta velocidad y precisión, indica medidas de gravedades específicas de la mezcla de gas, complementado con indicador local y señal de salida de 4-20 mA;	\$ 15215.00
POMOPTACC	Opción: sistema AccuBlend. "Actuator" eléctrico para ajustar la posición angular de el pistón en el POM, y por consiguiente corregir los valores caloríficos de la mezcla de gas; "Actuator" es instalado en el tope de la válvula del POM; el precio incluye ACUCON o controlador especializado PID el cual recibe una señal de 4-20 mA desde el gravitometro y envía la señal de control al el "actuador".	\$ 8050.00
POMOPTENI	Adaptador ethernet para sistemas de panel de control, permite monitorear el sistema remoto a través de redes existentes; incluyendo internet, intranet, etc...incluye ampliación PLC para ML-1500;	\$ 2807.00
POMOPTRAD	Conexión modem dial para panel de control de sistema; permite monitorear el sistema remoto a través de la línea telefónica convencional; incluye ampliación PLC para ML-1500;	\$ 2538.00
POMOPTTEM	Opción: tres transmisores de temperatura, configuración Standard para áreas no clasificadas; instalados en abastecedores de vapor, líneas abastecedoras de aire y líneas de mezcla de gas. Cada transmisor con una señal de 4-20 mA, a la pantalla en el panel de control del sistema. Incluye altos y bajos puntos fijos para cada transmisor.	\$ 3369.00
POMOPTTEMEX	Opción: tres transmisores de temperatura, configuración para áreas peligrosas, instalados en abastecedores de vapor, líneas abastecedoras de aire y líneas de mezcla de gas. Cada transmisor con una señal de 4-20 mA, a la pantalla en el panel de control del sistema. Incluye altos y bajos puntos fijos para cada transmisor.	\$ 4480.00
POMOPTMOD	Opciones: unidad de modulo, instalación en el tope de POM del vaporizador de baño de agua.	\$ 4278.00
POMOPTEX	Opción: componentes de control exproof, requeridos para instalaciones donde el POM está a más de 15 pies desde el vaporizador de llama abierta (reglas de U.S.), o donde es requerido por las leyes locales, incluye transmisores de presiones de explosión "Proof", en línea de abastecimiento de vapor, línea de abastecimiento de aire y línea de mezcla de gas. Incluye caja de unión de explosión de prueba para conectar a todos los transmisores y señales de control entre mezcladores y panel de control. El panel de control debe ser instalado en áreas	\$ 8102.00

	consideradas no peligrosas. Máxima distancia entre mezclador y panel de control son de aproximadamente 2000 pies (600 m);	
PLC0027	Pantalla LCD en color de 6" con operador de pantalla digital de interfase, incluye memoria de modulo;	\$ 2708.00
TRA0053	Transmisor de presión; 0-100 psi, salida de 4-20 mA, para línea de mezcla de gas;	\$ 1541.00
TRA0058	Transmisor de presión; 0-300 psi, salida de 4-20 mA, para línea abastecedora de vapor ;	\$ 1541.00
TRA0055	Transmisor de presión diferencial; -50...0...+50"W.C., salida de 4-20 mA.	\$ 1541.00
POM0019	O-ring, POM-30/40/60, actuador stem	\$ 6.00
ORI0011	O-ring, POM-30, cuerpo principal	\$ 9.00
ORI0013	O-ring, POM-40, cuerpo principal	\$ 9.00
ORI0014	O-ring, POM-60, cuerpo principal	\$ 9.00
GAU0002	Calibrador de presión, lleno de líquido, con caja de venteo, 100 psi.	\$ 28.00
GAU0005	Calibrador de presión, lleno de líquido, con caja de venteo, 300 psi.	\$ 28.00
GAU0010	Calibrador de presión diferencial, -50...0...+50 " W.C.	\$ 369.00
SOL0012	Válvula solenoide, POM-30/40/60, para regulador de carga de presión o para válvulas de bola de entrada;	\$ 248.80
VAL0075	Válvula bola para entrada de vapor; flange-300#, preparado para "actuador" neumático, POM-30/40/60;	\$ 764.50
VAL0027	Válvula de bola para entrada de aire; flange-150#, preparado para "actuador" neumático, POM-30/40/60;	\$ 562.20
ACT0002	Kit de ensamblaje para "actuador" neumático"	\$ 68.70
ACT0001	"actuador" neumático", con muelle de retorno con válvula de bola de pestaña (entrada de vapor o entrada de aire).	\$ 609.30

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

3.8 Mallas y Filtros

Existen mallas para todo tipo de tubería desde $\frac{3}{4}$ " hasta 4". La tabla 3.14 muestra los precios de las mallas y de los filtros.

Los filtros existen en varias diferentes configuraciones, con enhebrado o entrada de pestaña y salida de conexiones y para servicios en línea o conexiones para el tope. Una válvula de drenaje manual para remover la acumulación en las mallas es Standard.

Tabla 3.13. Lista de precios para mallas y filtros

NUMERO MODELO	DESCRIPCION, TAMAÑO	PESO CARGA	PRECIO EN US\$
STR0014	Malla-Y, ¾", Bronce, malla enrejado 80, WOG 400 psi.	2.5 lbs.	\$ 61.20
STR0001	Malla-Y, 1", Bronce, malla enrejado 20, WOG 400 psi.	3.5 lbs.	\$ 105.80
STR0003	Malla-Y, 1½", Bronce, malla enrejado 20, WOG 400 psi.	7 lbs.	\$ 159.00
STR0010	Malla-Y, 2", Bronce, malla enrejado 20, WOG 400 psi.	11 lbs.	\$ 323.50
PVF-4x2-TTI	Filtro 4", servicio vapor, entrada 2" NPTF, salida 2" NPTF, versión "inline".	150 lbs.	\$1524.50
PVF-4x2-TTT	Filtro 4", servicio vapor, entrada 2" NPTF, salida 2" NPTF, conexión en tope.	150 lbs.	\$1434.80
PVF-4x2-FFT	Filtro 4", servicio vapor, entrada 2" Flange, salida 2" Flange en el tope.	150 lbs.	\$1583.60
PVF-6x3-FFT	Filtro 6", servicio vapor, entrada 3" Flange, salida 3" Flange en el tope.	180 lbs.	\$1917.00
PLF-3x2-FFT	Filtro 3", servicio líquido, entrada 2" Flange, salida 2" Flange en el tope.	100 lbs.	\$1240.70
PLF-4x2-FFT	Filtro 4", servicio líquido, entrada 2" Flange, salida 2" Flange en el tope.	100 lbs.	\$1474.90
PLF-6x3-FFT	Filtro 6", servicio vapor, entrada 3" Flange, salida 3" Flange en el tope.	130 lbs.	\$1713.00
PLF-3x2-C	Inserción de cartucho para filtro de líquido de 4"	4 lbs.	\$ 86.60
PLF-4x2-C	Inserción de cartucho para filtro de líquido de 4"	4 lbs.	\$ 86.60
PLF-6x3-C	Inserción de cartucho para filtro de líquido de 6"	5 lbs.	\$ 86.60

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

3.8 Estaciones de Descarga de Camiones y Llenado de Cilindros

Recordemos que dichas estaciones, son equipadas con válvulas de control, válvulas de flujo de exceso, válvula de venteo, válvula cheque de regreso, y acoples de ruptura. Las válvulas de salida de emergencia (ESV) con cable y (ESV) operado por nitrógeno, generalmente están disponibles como una opción.

Los precios de las estaciones de descarga de camiones de la tabla 3.14 no incluyen las válvulas de salida de emergencia con manejo de seguridad. Los pesos y dimensiones son aproximados.

Tabla 3.14. Precios de estaciones de descarga de camiones

NUMERO MODELO	DESCRIPCIÓN, TAMAÑO	PESO CARGA	PRECIO EN US\$
TUS - 2	Estación de descarga de camiones, 2" x 1¼"	230 lbs.	\$3,096
TUS - 3	Estación de descarga de camiones, 3" x 2"	280 lbs.	\$5,242
CFS - 1	Estación de abastecimiento de cilindros	50 lbs.	\$1,621
MIS - 1	Sistema de inyección de metanol	150 lbs.	\$ 886

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

3.9 Bombas de Transferencia de GLP

Las tablas 3.15 y 3.16 muestran los precios de las bombas, que son equipadas con reguladores de presión constante, mallas, válvulas de aislamiento, curvas de by-pass, calibradores de presión llenos de líquido, entre otros componentes requeridos para su operación con seguridad. Las bombas más pequeñas arriba de los 18 GPM, son para fase sencilla con un servicio que demanda corriente alterna de 115/230 V, las bombas más grandes son para 3 fases de corriente alterna 230/460 V y requiere arrancadores externos de motor.

Los sistemas duales de bombas son manufacturados con by-pass y válvulas de aislamiento que permiten usar bombas en cualquier combinación: bomba 1 o bomba 2, o, bomba 1 y bomba 2 unidas.

Tabla 3.15. Lista de precios de bombas GPL (paquete de bombas “blackmer”)

NUMERO MODELO	CAPACIDAD	TIPO BOMBA	MOTOR HP	ABASTECIMIENTO ELECTRICO	PRECIO \$US (SENCILLO)	PRECIO \$US (DUAL)
AEP-7B	7 gpm	LGF1C	1.0	AC 115/230 V - 1 FASE	\$6,256	\$11,055
AEP-12B	12 gpm	LGF1P	1.5	AC 115/230 V- 1 FASE	\$6,671	\$11,886
AEP-20B	20 gpm	LGL1¼	3.0	AC 230/460 V- 3 FASE	\$7,156	\$12,856
AEP-31B	31 gpm	LGL1½	3.0	AC 230/460 V- 3 FASE	\$7,475	\$13,494
AEP-45B	45 gpm	LGL2	5.0	AC 230/460 V- 3 FASE	\$12,042	\$20,246
AEP-78B	78 gpm	LGL3	7.5	AC 230/460 V- 3 FASE	\$13,926	\$24,017

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

3.10 Compresores de aire

La tabla 3.17 muestra los precios de algunos compresores de aire, cuya especificación se da en caballos de fuerza (HP).

Tabla 3.17 Compresores de aire.

Compresor	HP	Precio
2DF-0300	3	\$ 1146
2DL-0400	4	\$ 1200
2D3-0500	5	\$ 1134
3DF-0750	7.5	\$ 1538
3DS-1000	10	\$ 1626
3DS-1500	15	\$ 1828

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

4. DISEÑO Y ANALISIS ECONOMICO DE UNA PLANTA DE AIRE PROPANADO

4.1 Generalidades

El montaje de una planta de aire propanado es relativamente sencillo debido a que el diseño es función de una sola variable, que es la cantidad de consumo del combustible para cualquiera que sea su aplicación.

El objetivo del diseño de la planta de aire propanado, es establecer alcances técnicos y económicos para mejorar y optimizar el proceso, disponiendo de un combustible que entregue las mismas características de consumo que el gas natural sin hacer cambio alguno en ningún aparato de quemado o en líneas de flujo.

Los criterios de evaluación en el análisis de este energético alternativo son:

- Diseño de la planta (Elementos del Sistema).
- Inversión inicial referida a equipos.
- Adquisición de área para su instalación.
- Costos de operación.
- Costo de mantenimiento.
- Ingresos.

Los criterios cualitativos y cuantitativos para la evaluación financiera de esta propuesta son:

- *Valor Presente Neto (V.P.N.):* indica la utilidad o la pérdida relativa adicional del proyecto, expresada en pesos de hoy.
- *Relación Beneficio/Costo ($R^{B/C}$):* señala los ingresos obtenidos sobre la cantidad invertida. Esta relación se hace en valores presentes.
- *Tasa Interna de Retorno (T.I.R.):* Es la rentabilidad del proyecto independiente del inversionista.
- *Tasa Verdadera de Retorno (T.V.R.):* Da la verdadera rentabilidad para la compañía generada por la inversión.

4.2 Parámetros Y Criterios De Diseño De Una Planta De Aire Propanado Para El Municipio De Oiba

El diseño para la implementación del sistema de aire propanado junto con el análisis económico se realiza para la localidad de Oiba, municipio santandereano ubicado en la provincia comunera, con una altura de 1420 MSNM y una temperatura media de 20°C, con una extensión de 285 km². La población en la actualidad posee aproximadamente 2100 viviendas, para una población de 10421 Habitantes.

Con el propósito de anticipar los resultados económicos que produciría el proyecto para Oiba, se ha calculado el consumo del aire propanado que estaría vigente durante los primeros diez años (tabla 4.1).

En el estudio se realizan proyecciones para que esta propuesta de energía alternativa, cubra un porcentaje no menor al 60 % (inicialmente) las necesidades del municipio, en caso que el gas natural por algún tipo de razón no se pudiese suministrar, se toman datos de pronóstico de consumo a

10 años, tomando como base de cálculo que un usuario (vivienda con promedio de 5 habitantes), consume mensualmente 30 m^3 , y que en principio el objetivo es abastecer el servicio a 6000 habitantes (aproximadamente el 60% de la población total), es decir, que para el primer año 6000 habitantes que representan 1200 usuarios o viviendas consumirían en conjunto, cerca de $1200 \text{ m}^3/\text{D}$.

El número de usuarios por año se irá incrementando como lo muestra la tabla 4.1, entrando a abastecer el mercado en el primer periodo anual debido a la existencia de redes suministradoras de Gas natural e irá extendiéndose año tras año como lo muestra dicha tabla.

Tabla 4.1. Pronóstico del consumo anual de gas domiciliario

Periodo Anual	Consumo Diario (m^3/D)	Consumo Anual ($\text{m}^3/\text{Año}$)
1	1200	432000
2	1300	468000
3	1400	504000
4	1500	540000
5	1600	576000
6	1800	648000
7	2400	864000
8	3000	1080000
9	3000	1080000
10	3000	1080000

Debemos calcular los costos de montaje del sistema de aire propanado teniendo en cuenta: materia prima, costos de transporte, mantenimiento, inversión inicial, fija y diferida, obra civil y la mano de obra.

Inicialmente en un diseño de un sistema de aire propanado, se debe conocer muy bien el consumo que normalmente se esta presentando con el gas

natural (criterio y base de diseño de la planta), junto con las características que este posee al ser utilizado en procesos de combustión.

En los alcances de diseño de un sistema de aire propanado se determina:

- El número de carrotanques necesarios para el transporte del propano líquido hasta la estación de descarga del sistema de aire propanado, éste es el medio de hacer llegar este líquido a la estación donde se montará la planta, no es la única manera de hacerlo llegar, pero si es la más cómoda y rentable.
- El número de tanques de almacenamiento de propano líquido en la planta, esto a su vez incluye su capacidad y los equipos adicionales requeridos, tales como bombas, compresores, etc.
- Capacidad del vaporizador.
- Capacidad del mezclador.

Todas estas características de la planta dependen de la cantidad requerida de GLP para la elaboración de la mezcla gaseosa a ser consumida por el municipio de Oiba.

En el presente capítulo no se consideran los requerimientos para la producción del GLP, ni para su transporte hasta la ciudad abastecedora de este combustible (Bucaramanga), ni su almacenamiento y manejo allí.

Tampoco se trabaja la red de distribución en el área urbana de la población de Oiba, por considerar que es utilizable tanto para el nuevo combustible (aire propanado) como para el Gas Natural.

4.2.1 Materia prima. Lo primero que se debe considerar después de saber cuanto es el consumo de gas natural que se va a reemplazar, es la de determinar muy bien las propiedades del gas combustible (Propano o GLP), sin embargo, para mayor simplicidad y mejor funcionamiento de los elementos y equipos, se debe utilizar propano puro y no una mezcla de propanos y butanos; por esta razón hay que buscar una fuente de este combustible.

Conociendo las propiedades del gas natural y del propano se puede establecer una equivalencia volumétrica gas natural-propano.

4.2.1.1 Equivalencia volumétrica Gas Natural-Propano. Los factores de equivalencia utilizados en los diseños de una planta de aire propanado para la sustitución de los combustibles según su poder calorífico, se presentan en la tabla 4.2 y muestra la equivalencia al reemplazar el gas natural por el propano mezclado con aire, este comportamiento es lineal por lo tanto para un consumo diferente se puede determinar la equivalencia con una sencilla interpolación lineal o regla de tres.

Tabla 4.2. Equivalencia volumétrica gas natural-propano.

Combustible	Unidad	Poder Calorífico Superior (BTU)
GLP (Propano)	Galón	91500
Gas Natural	Pies Cúbicos	1000

Fuente: ITANSUCA, Ltda. Documento No. A75-IN-Q-020.

Para el número de habitantes que comenzarían aprovechando el servicio (aproximadamente el 60% de la población total) se dispone el siguiente consumo.

Tabla 4.3 Volumen Gas Natural a sustituir.

Consumo Gas Natural
1200 m ³ /D
43278 SCFD
1765 SCFH

Fuente: CAS-Oiba.

De acuerdo a la tabla 4.3 se calcula la equivalencia de consumo a GLP (Propano) que se muestra en la tabla 4.4 para el municipio de Oiba, (1 gal de propano libera 36 ft³ de gas y 1 m³ equivale a 35.3 ft³).

Tabla 4.4 Conversión a GLP (Propano)

Consumo de GLP
3310 Gal/Sem
473 Gal/D
20 Gal/h

4.2.2 Costo de la materia prima. Es la compra de gas licuado del petróleo (GLP) para el proyecto, se ha calculado con base en información directa proporcionada por la Comisión de Regulación de Energía y Gas "CREG", que a la fecha para el *distribuidor minorista* es:

\$1,708.17 por galón, equivalente a \$1,638.12 por m³, (ya que el GLP lo suministran Líquido y un galón de este combustible líquido libera 36.82 ft³ de gas). Fuente: Andina de Gas (Bucaramanga).

El régimen tarifario al usuario que se aplica a el GLP, se actualiza aplicando las fórmulas cada doce meses y tiene una vigencia de 5 años, contados a partir del 1º de marzo de 1998, es decir, el régimen anterior estuvo vigente hasta el 28 de febrero del 2003. Sin embargo la CREG estableció que las fórmulas continuarán rigiendo hasta tanto ella no defina las nuevas.

La fórmula general para el cálculo de las tarifas a los usuarios de GLP es la siguiente:

$$M = G + E + Z + N + D$$

En donde:

Tabla 4.6. Componente fórmula general de tarifas para usuarios GLP.

Componente	Descripción	Explicación
M	Tarifa al público (\$/Galón)	Precio de un galón de GLP para el público. Resulta de la sumatoria de todos los componentes de la fórmula.
G	Ingreso máximo por producto del Gran Comercializador (\$/Galón)	Precio de un galón de GLP producido o importado por ECOPETROL.
E	Ingreso máximo del Gran Comercializador por transporte (\$/Galón)	Precio que cobra ECOPETROL por transportar un galón de GLP por ducto, desde las refinerías hasta los terminales de entrega.
Z	Margen para seguridad (\$/Galón)	Valor adicional cobrado al usuario para el programa de mantenimiento y reposición de los cilindros y tanques estacionarios.
N	Margen del Comercializador Mayorista (\$/Galón)	Margen autorizado para remunerar la actividad del Comercializador Mayorista
D :	Margen del Distribuidor (\$/Galón)	Margen autorizado para remunerar la actividad del Distribuidor para ventas en galones

Fuente: Comisión de Regulación de Energía y Gas-CREG.

La tarifa a los usuarios del gas licuado del petróleo, resulta de la aplicación de la fórmula citada anteriormente. El resultado arroja el precio, en pesos de un galón de GLP. Cada uno de estos componentes del precio tiene una

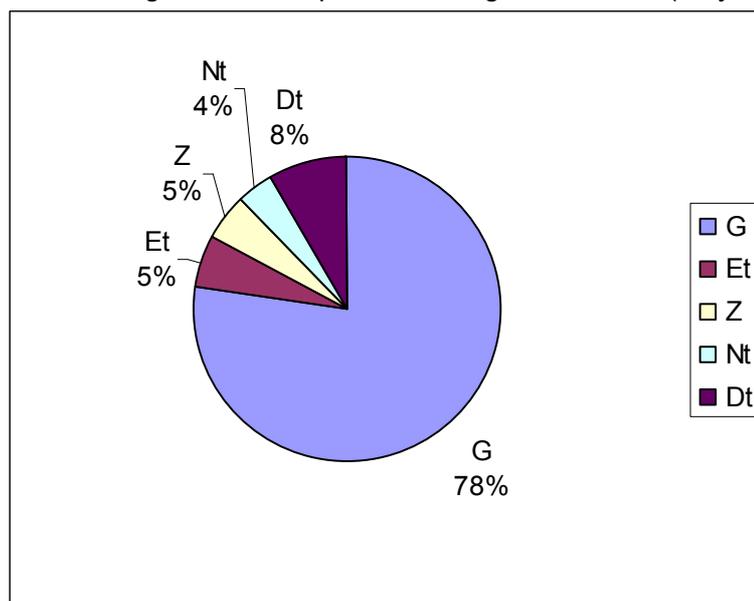
proporción dentro del monto total, los cuales se muestran a continuación en la tabla 4.7 y figura 40.

Tabla 4.7 Precios de los componentes del GLP, vigente desde mayo de 2003.

Componente	Valor (\$/Gal) May 2003	Porcentaje (%)
M	1990.19	100.00
G	1539.20	77.34
Et	106.70	5.36
Z	103.79	5.22
Nt	74.01	3.72
Dt	166.49	8.37

Fuente: Comisión de Regulación de Energía y Gas-CREG.

Figura 40. Distribución general en el precio de un galón de GLP (Mayo 2003)



Fuente: Comisión de Regulación de Energía y Gas-CREG.

Cabe anotar que el valor del componente ingreso por producto cobrado por ECOPEPETROL en enero y febrero de 2003, fue de 1,145.05 \$/galón el cual corresponde al mismo valor desde abril del año 2002. Este valor aumentó en marzo \$195.80 lo que significó incremento de 17.10%; luego en abril subió

\$110.08, esto es 8.21% respecto al mes anterior y por último volvió a subir en mayo \$88.27 lo cual representó 6.08%.

El aumento total de este componente en el 2003, fue de \$394.15 por galón, lo cual representó un incremento de 34.42%. Este aumento escalonado lo aplicó el Gran Comercializador debido a la gradualidad acordada para alcanzar el valor regulado por la CREG, porque un incremento que representó 4.9 veces la inflación de 2002, (6.99%) produce un gran impacto en toda la cadena comercial especialmente en los usuarios finales.

El ingreso por producto del Gran Comercializador varía de manera independiente del IPC (índice de precios al consumidor) doméstico, debido a que en la regulación vigente el precio del GLP, está referenciado a los precios internacionales del propano y del butano, principales componentes de la mezcla del GLP.

La fórmula tarifaria para determinar el ingreso por producto del gran comercializador de gases licuados del petróleo (GLP), determinada por la CREG es la siguiente:

$$G = \frac{TRM}{42*36} * \sum_{i=1}^{36} \left[(1 - \alpha) * PP_i + \alpha * PB_i + \frac{QI_i * TI_i - QE_i * TE_i}{(QN_i + QI_i)} \right]$$

- G** = Ingreso máximo por producto del gran comercializador aplicable después del cálculo de la fórmula (\$/galón).
- TRM** = Tasa de cambio representativa del mercado del dólar americano frente al peso colombiano del 15 de febrero del año en el cual se aplicará la fórmula, reportada por el Banco de la República.
- 42** = Número de galones por barril.
- 36** = Número de meses.
- α** = Contenido promedio de butanos y gases más pesados en el GLP, según definición de la CREG. Valor vigente desde marzo de 2001 es 0.447, el cual mantendrá este valor hasta que la CREG determine otro.

$\sum_{i=1}^{36}$	=	Sumatoria de los 36 meses inmediatamente anteriores a la aplicación de la fórmula.
PP_i	=	Promedio mensual del precio internacional del propano por barril, según Indicador Precio Costa del Golfo, fuente Platt's US Marketscan (US\$/BI), en el mes i .
PB_i	=	Promedio mensual del precio internacional del butano por barril, según Indicador Precio Costa del Golfo, fuente Platt's US Marketscan (US\$/BI), en el mes i .
QI_i	=	Número de barriles importados por los grandes comercializadores de GLP en el mes i (barriles).
TI_i	=	Promedio mensual del valor del transporte por barril del GLP importado, entre el lugar de compra del GLP y Cartagena en el mes i (US\$/BI), según facturas de transporte de los grandes comercializadores de GLP.
QN_i	=	Número de barriles de GLP producidos en el país por los grandes comercializadores en el mes i (barriles).
QE_i	=	Número de barriles exportados por los grandes comercializadores de GLP en el mes i (barriles).
TE_i	=	Promedio mensual del valor del transporte por barril del GLP exportado, entre Cartagena y el lugar de venta del GLP en el mes i (US\$/BI), según facturas de transporte de los grandes comercializadores de GLP.

Es de esta manera al mes de mayo del año 2003 el valor de la componente (G), o el ingreso máximo por producto del gran comercializador es de 1,539.20 (\$/Gal.), que corresponde al 77.34% del monto total de la tarifa al público de GLP.

El ingreso de ECOPETROL por transporte a través de ducto (E_t), corresponde a un cargo estampilla nacional que cubre el costo de conducir el GLP, desde las refinerías hasta los terminales de entrega del producto.

El Ingreso del Gran Comercializador por Transporte tuvo un aumento en el 2003 a partir del 1 de marzo; este aumento fue de 7.39 \$/Galón al pasar de 99.30 \$/Galón en enero a 106.70 \$/Galón en marzo lo cual significó un incremento de 7.45 %. El aumento alcanzado por este componente

corresponde al aumento regulado para este año mediante la aplicación de un factor de actualización (**A**) determinado por la CREG.

$$E_t = A.E_o$$

El factor (**E₀**) es el cargo de estampilla base por transporte fijado en \$67.70 pesos por galón suministrado por el gran comercializador (Resolución CREG 052 de 2000).

El factor (**A**) está definido como la variación del índice de precios al consumidor en el período comprendido entre el 31 de enero de 1998 y el 31 de enero del año en el cual se aplicará la fórmula, menos el factor de eficiencia (**X**), así:

$$A = \frac{IPC_t}{IPC_0} - X$$

En donde

IPC_t = Índice de precios al consumidor total nacional del mes de enero del año en el cual se aplicará la fórmula, reportado por el DANE.

IPC₀ = Índice de precios al consumidor total nacional del mes de enero de 1998, reportado por el DANE.

X = El factor de eficiencia para el período de vigencia de las fórmulas establecidas por la CREG para este efecto, es igual a 0.01, el cual será aplicado a partir de la segunda anualidad de vigencia de las fórmulas tarifarias.

La actualización de las tarifas mediante la aplicación del factor de actualización (**A**) calculado de conformidad con la fórmula anterior, produce un incremento en el componente aplicado por encima de la variación del IPC del año anterior al cual se aplica la fórmula, no obstante que a la relación de los índices de precios al consumidor se resta el factor de eficiencia (**X**).

Esa diferencia se explica porque el lapso de tiempo para medir la variación porcentual no inicia el mismo mes. Ejemplo: la inflación o variación del IPC se toma desde el 1° de enero hasta el 31 de diciembre, mientras que para medir **(A)** se toma la variación del IPC desde el 31 de enero de 1998 hasta el 31 de enero del año a calcular, tomando un valor de 1.576 para dicho periodo.

Es de esta manera al mes de mayo del año 2003 el valor de la componente (E_t), o el ingreso máximo del gran comercializador por transporte es de 106.70 (\$/Gal.), que corresponde al 5.36% del monto total de la tarifa al público de GLP.

El margen para seguridad (**Zt**), es una porción del precio del galón de GLP destinado a la financiación de los gastos que requiere la seguridad en el manejo del combustible y específicamente en la reposición y mantenimiento de los cilindros. Esta determinación la tomó el Ministerio de Minas y Energía, quien mediante la Resolución No. 2095 de 3 de octubre de 1975 dispuso una suma fija por galón. Posteriormente mediante Resolución 408 de 1981, dispuso que la fracción fuese del 8.84% sobre el precio del galón en refinería; más tarde en cada resolución de aumento de precios permaneció este rubro.

La ley 689 de 2001 la cual modifica parcialmente la Ley de Servicios Públicos o Ley 142 de 1994, determinó en el artículo 23 que por razones de seguridad dentro del precio de venta del GLP, la Comisión de Regulación de Energía y Gas incluya un rubro denominado "Margen de Seguridad", con destino exclusivo al mantenimiento y reposición de los cilindros y tanques estacionarios utilizados en la comercialización del GLP.

El cálculo del margen para seguridad actualmente está regulado por la CREG, recaudado por ECOPETROL y administrado por una fiducia de conformidad con lo dispuesto por la normatividad vigente.

El valor cobrado a los usuarios en las tarifas por concepto de margen de seguridad representa el 5.22% del precio final del GLP distribuido en cilindros y tanques estacionarios.

El margen de seguridad tuvo un incremento de 7.24% en abril, al pasar de 96.78 \$/Galón, a 103.79 \$/Galón. El aumento del componente en el año 2003, se debió a la actualización del valor calculado por la CREG mediante la regulación vigente para Margen para Seguridad, éste se actualiza de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$Z_1 = 85 \text{ \$/ galón} * \frac{IPC_1}{IPC_0}$$

$$Z_2 = 81 \text{ \$/ galón} * \frac{IPC_2}{IPC_0}$$

donde:

Z_1 : Margen para Seguridad en el año uno (1)

Z_2 : Margen para Seguridad en el año dos (2)

IPC_0 : Índice de Precios al Consumidor de diciembre de 1999, publicado por el DANE.

IPC_1 : Índice de Precios al Consumidor del mes inmediatamente anterior a la entrada en vigencia del Margen para Seguridad para el año uno (1), publicado por el DANE. (Febrero de 2001).

IPC_2 : Índice de Precios al Consumidor del mes inmediatamente anterior a la entrada en vigencia del Margen para Seguridad para el año dos (2), publicado por el DANE. (Febrero de 2002)

Esta fórmula para actualizar el componente tarifario, produce un incremento por encima de la variación del IPC del año anterior. Esa diferencia se explica porque el lapso de tiempo para medir la inflación o variación del IPC se toma desde el 1° de enero hasta el 31 de diciembre, mientras que para medir la actualización del margen de seguridad, se toma desde el 31 de febrero de 1999 hasta el 31 de enero del año a calcular.

Los tres componentes tarifarios analizados anteriormente los recauda el Gran Comercializador, y la suma de ellos constituye el precio de venta de ECOPETROL a los comercializadores mayoristas.

Es de esta manera al mes de mayo del año 2003 el valor de la componente (Z_t), o el ingreso por concepto de margen para seguridad es de 103.79 (\$/Gal.), que corresponde al 5.22% del monto total de la tarifa al público de GLP.

Los márgenes reconocidos en la regulación para remunerar las actividades de Comercialización Mayorista (N_t) y Distribución a usuarios finales (D_t) solamente aumentan una vez al año; este aumento se produce el 1 de marzo de cada año a partir de un valor inicial asignado por la CREG; el incremento en los valores de los márgenes se obtiene mediante la aplicación del factor de actualización (A), definido por la CREG el cual está referenciado con el índice de precios al consumidor.

$$N_t = N_0 \cdot C_0 \cdot A$$

El margen de Comercialización Mayorista inicial (N_0) es de \$46.93 el 1 de marzo de 1998. En el 2003 aumentó \$5.13 por galón, al pasar de 68.88\$/Gal. en enero, y febrero a 74.01\$/Gal. en marzo, lo cual representó un

incremento de 7.45%. El valor de (C_0) para efectos de cálculo al usuario final, siempre es igual a 1.

Es de esta manera al mes de mayo del año 2003 el valor de la componente (N_t), o el ingreso por concepto de margen para seguridad es de 74.01 (\$/Gal.), que corresponde al 3.72% del monto total de la tarifa al público de GLP.

En el caso del cálculo de los márgenes de distribución especialmente para el caso de los carrotaques que suministrarían el GLP al municipio de Oiba, debemos realizar los cálculos del margen del distribuidor para el año t después de la aplicación de la fórmula para suministros en carrotanque (DC_t), en (\$/gal.).

$$DC_t = A \cdot DC_0$$

Siendo el valor de (A) la actualización y valor de eficiencia calculado en el ingreso máximo del gran comercializador por transporte, mientras que el valor de (DC_0) es el margen base del distribuidor para suministros en carrotanque, igual a \$105.58 por galón (según la resolución CREG 035 de 1998).

Es de esta manera al mes de mayo del año 2003, que el valor de la componente (D_t), o el ingreso por concepto de margen del distribuidor es de 166.49 (\$/Gal.), que corresponde al 8.37% del monto total de la tarifa al público de GLP.

Es de esta forma que el precio de distribución en carrotanque al usuario en cada año tarifario, en (\$/gal.), se define de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$PDC = PVN + DC_t$$

Donde:

PVN: es el precio de suministro en planta del comercializador mayorista (\$/gal).

DC_t: es el margen del distribuidor para el año t para suministros en carrotanque (\$/gal.) según se definió.

La única duda para resolver el cálculo es conocer el valor de PVN, que se resuelve de la siguiente manera:

$$PVN = PN + N_t$$

Donde:

N_t: Es el valor antes calculado del margen de seguridad correspondiente a 74.01 (\$/Gal.).

PN: precio de suministro al comercializador mayorista, que se calcula de la siguiente manera:

$$PN = G_t + Z_t + E_t$$

Valores anteriormente calculados lo que arrojarían un valor para la variable PN de 1,749.69 (\$/Gal.).

De esta manera el precio al *usuario* final de GLP transportado en carrotanque es de 1,990.19 (\$/Gal.).

Los márgenes de distribución autorizados por la CREG, desde el inicio del período tarifario mediante la Resolución 035 de 1998 han venido incrementándose sucesivamente por debajo del índice de inflación, de tal

manera que durante el presente período alcanzó un 57.69%, mientras que el IPC durante el mismo período alcanzó 58.69% al pasar de 87.22 en 1998 a 138.42 en 2003.

4.3 Contenido De La Planta De Aire Propanado

De acuerdo a las bases del diseño y la cantidad que se va a consumir de GLP, se dispone a realizar los cálculos para determinar el número de carrotanques necesarios por semana, la capacidad de los tanques de almacenamiento, las características de los vaporizadores, mezcladores y demás componentes de la planta de aire propanado para el municipio de Oiba.

4.3.1 Costos de transporte: Para efectuar los viajes donde se transportará el GLP desde Bucaramanga (Sede de ANDINA DE GAS en la estación Chimitá), hasta el municipio de Oiba, se requerirá de un vehículo tipo cisterna, el cual recorrerá una distancia de 152 kilómetros para llegar a su destino.

Tamaño de Carrotanques: se consideran tanques Cisternas de 10000 a 11000 galones de capacidad, donde la tarifa de transporte del componente GLP en la ruta anteriormente descrita a la fecha es de 110 \$/Gal.

En la tabla 4.8 se presenta el número de carrotanques necesarios para diferentes consumos de gas natural y en donde se observa también las equivalencias entre el gas natural y el propano, (fila amarilla), muestra el número de carrotanques por semana para la implementación de la planta de aire propanado en Oiba (volumen requerido, 3310 Gal/Sem.).

Tabla 4.8. Número de carrotanques por semana

Consumo de GN (SCF/D)	Consumo de GLP (Gal/Sem)	No. De Carrotanques por semana de 10000-11000 gal cada tanque
109161	8350	1 tanque cisterna
242913	18583	2 tanques cisternas
406402	31092	4 tanques cisternas
706402	54045	6 tanques cisternas

Fuente: ITANSUCA, Ltda. Documento No. A75-IN-Q-020.

4.3.2 Confiabilidad en el suministro. Con el fin de garantizar la confiabilidad en el suministro de gas, entendida como la continuidad del servicio, se requiere determinar el volumen a almacenar de manera que no se presenten interrupciones en el suministro de GLP. También incidirá en la continuidad de servicio la confiabilidad de los equipos en la operación, y los requerimientos de mantenimiento de los mismos. A menudo en estas plantas se considera un tanque de almacenamiento de más (como respaldo), que permita la salida de los principales para su mantenimiento.

4.3.2.1 Tiempo de Almacenamiento. Teniendo en cuenta las condiciones del transporte y la confiabilidad de suministro en la ciudad abastecedora, se ha establecido como volumen de almacenamiento en el lugar donde se implementará la planta, una semana. Es de anotar que las actualizaciones de la regulación dejan al proveedor de combustible la libertad de definir la capacidad de almacenamiento.

Se considera que el almacenamiento sería realizado en tanques horizontales tipo "bala", con dimensiones (Máximo 12 m de longitud x 3 m de diámetro), con capacidades de 12000 Gal. La presión de diseño será de 250 psig y la presión de operación será cercana a los 100 psig.

Con el fin de permitir la expansión del propano líquido, los tanques de almacenamiento tendrán una capacidad real del 85% de la capacidad total del recipiente.

De acuerdo a la tabla 4.9, que presenta el número de tanques de almacenamiento necesarios, así como su capacidad para las diferentes tasas de consumo de gas natural y consumo de GLP que estamos manejando, se puede determinar fácilmente el número y capacidades de los tanques de almacenamiento, la fila amarilla representa los valores para el consumo requerido para el municipio de Oiba (3310 gal/sem de propano).

Tabla 4.9. Capacidad de almacenamiento de los tanques

Consumo de GN (SCF/D)	Consumo de GLP (Gal/Sem)	No. De tanques y capacidad de Almacenamiento
109161	8350	2 tanques con capacidades de agua de 12000 gal. Tienen un volumen de 10200 gal a una capacidad de llenado del 85% para el GLP
242913	18583	2 tanques con capacidades de agua de 30000 gal. Tienen un volumen de 25500 gal a una capacidad de llenado del 85% para el GLP
406402	31092	2 tanques con capacidades de agua de 30000 gal. Tienen un volumen de 2500 gal a una capacidad de llenado del 85% para el GLP
706402	54045	3 tanques con capacidades de agua de 30000 gal. Tienen un volumen de 2500 gal a una capacidad de llenado del 85% para el GLP

Fuente: ITANSUCA, Ltda. Documento No. A75-IN-Q-020.

Dimensiones de los tanques de almacenamiento: en la tabla 4.10 se presentan las dimensiones de cada uno de los tanques de almacenamiento descritos anteriormente.

Tabla 4.10. Dimensiones de los tanques de almacenamiento

Galones (capacidad de agua)	Diámetro m (in)	Longitud m (ft)
30000	3.33 m (131")	14.32 m (47 ft)
18000	2.74 m (108")	12.49 m (49 ft)
12000	2.13 m (84")	13.71 m (45 ft)

Fuente: ITANSUCA, Ltda. Documento No. A75-IN-Q-020.

4.3.3 Vaporizadores y mezcladores. Además de los dispositivos que brinden tiempo de almacenamiento del combustible, el sistema de aire propanado cuenta con dos elementos pilares: *vaporizadores* y *mezcladores*, que uno a uno se describen en el capítulo dos dependiendo sus condiciones de operación, a continuación se enuncian los que entran a operar en el municipio de Oiba, un óptimo servicio cumpliendo con los intereses técnicos y económicos que dicha comunidad necesita.

4.3.3.1 Vaporizador. Las Características de los vaporizadores requeridos (de baño de agua BW) a modo de orientación se representan en la tabla 4.11 para las diferentes tasas de consumo de gas natural. De acuerdo a dicha tabla, con el consumo de GN se puede determinar fácilmente el vaporizador requerido para la planta de aire propanado, la fila amarilla en la tabla, representa los valores para el consumo requerido en el municipio de Oiba. Recordando que su consumo de GN es de 1765 SCFH, los vaporizadores de GLP son de tipo horizontales de baño de agua, con una temperatura de diseño de 650 °F y una presión de diseño de 250 psig.

Tabla 4.11. Características principales de cada uno de los vaporizadores requeridos

Consumo de GN (SCF/H)	Vaporización	Vaporizador requerido
43473	43473000	Tipo: Vaporizador horizontal en baño de agua. Capacidad nominal: 550 Gal/h Capacidad de agua: 240 Gal. Temp. De diseño: 650 °F (343.33°C)
55973	55973000	Tipo: Vaporizador horizontal en baño de agua. Capacidad nominal: 650 Gal/h Capacidad de agua: 440 Gal. Temp. De diseño: 650 °F (343.33°C)
64273	64273000	Tipo: Vaporizador horizontal en baño de agua. Capacidad nominal: 750 Gal/h Capacidad de agua: 450 Gal. Temp. De diseño: 650 °F (343.33°C)
76773	76773000	Tipo: Vaporizador horizontal en baño de agua. Capacidad nominal: 850 Gal/h

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

La tabla 4.12 presenta las dimensiones de cada uno de los vaporizadores de baño de agua (BW) descritos.

Tabla 4.12 Dimensiones de los vaporizadores (BW)

Capacidad Nominal	W (in)	L (in)	H (in)
550 gal/h	66	119	110
650 gal/h	66	115	110
750 gal/h	66	115	110
850 gal/h	66	115	110

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

Requerimientos eléctricos de los vaporizadores: La fuente de energía eléctrica para estos vaporizadores es: AC 120/220 V 50/60 Hz, 15 A, 1 fase (monofásica).

4.3.3.2 Mezclador. Los mezcladores operados por pistón (POM), por su eficaz funcionamiento a diferentes volúmenes, es elegido para la planta el (POM-30), que encaja perfectamente y se utiliza para los diferentes rangos de presión en el que él opera. El (POM-30) es el modelo más pequeño de este tipo, abarca grandes capacidades y por ende gran rendimiento de mezcla, las características se ilustran en la tabla 4.13.

Tabla 4.13 Principales características de un mezclador POM-30

Característica	Descripción
Tipo	Mezclador POM-30 (Mezclador Operado por Pistón. Marca: Alternate Energy Systems
Capacidad	20 MMBTU/h @ 10 psi - 400 MMBTU/h @ 40-100 psi. 1450 Btu/ft ³ de la mezcla Aire-Propano @ 10 – 100 psig
Temperatura de Diseño	180 °F (82°C)
Aire	Limpio, Aire comprimido seco
Requerimiento eléctrico	AC 110 V. 60 Hz. 1 fase. 3 A
Dimensiones	54"x81"x55" (WxLxH)

Fuente: Alternate Energy Systems, Inc.

4.3.4 Bombas. Se requiere de un sistema de bombeo para el descargue de carro tanques y de otro sistema de bombeo para transferir el propano al vaporizador. En la tabla 4.14 se presenta la capacidad de cada una de las bombas requeridas para las diferentes tasas de consumo de gas natural y

consumo de GLP que estamos tratando. De acuerdo a ésta tabla, con el consumo de GN o su equivalente en GLP se puede determinar fácilmente la capacidad de la bomba, la fila amarilla representa los valores para el consumo requerido en el municipio de Oiba.

Tabla 4.14 características principales de las bombas requeridas

Consumo de GN (SCF/D)	Consumo de GLP (Gal/Sem)	Capacidad de la bomba
109161	8350	1 gpm
242913	18583	2 gpm
406402	31092	3 gpm
706402	54045	5 gpm

Fuente: ITANSUCA, Ltda. Documento No. A75-IN-Q-020.

Filtro: Se debe instalar un filtro tipo “Y” en la línea de suministro de propano líquido al vaporizador.

4.3.5 Compresor. Como se requiere un compresor para impulsar el aire y así ser mezclado con el vapor de propano, la tabla 4.15 presenta las principales características de los compresores para las diferentes tasas de consumo de gas natural. De acuerdo a esta tabla, con el consumo de GN se puede determinar fácilmente el compresor requerido para la planta de aire propanado, la fila amarilla en la tabla representa los valores para el consumo propuesto en el municipio de Oiba.

Tabla 4.15. Características principales de cada uno de los compresores requeridos

Consumo Gas Natural (SCFH)	Vaporizador (Btu/h)	Compresor requerido
43473	4347300	Presión Máxima efectiva: 125 psig Presión Mínima requerida: 58 psig Entrega de aire libre a 100 psig: 326 CFM Potencia nominal: 55 Kw (75 HP) Contenido de aceite en el aire: 2 – 3 mg. por m ³ de aire libre. Nivel de presión del ruido: 67 dB Tipo de aceite: Mineral o sintético Válvula de Salida (roscada): 2 ½ “
55973	55973000	Compresor idéntico al anterior
64273	64273000	Compresor idem anterior, pero entrega de aire libre a 120 psig: 443 CFM Potencia Nominal: 75 Kw (100 HP)
76773	76773000	Compresor idem anterior.

Fuente: ITANSUCA, Ltda. Documento No. A75-IN-Q-020.

4.4 Inversión Inicial Total, Fija Y Diferida

Este tipo de sistema alternativo (Aire Propanado), iría en principio a aprovechar la infraestructura de redes de suministro de gas domiciliario ubicadas para el gas natural en el municipio de Oiba, lo que abarataría los costos y es la opción que permite garantizar la prestación de este servicio público a la mayor población posible.

Para la realización de este proyecto, se debe instalar una estación de descarga para que a su vez realice la función de recepción de camiones y/o carrotaques, y así este fluido cumpla con la presión requerida para ser

distribuido por dichas redes. A continuación se resume la inversión total correspondiente al proyecto.

Tabla. 4.16 Costos del sistema de aire propanado para Oiba

COMPONENTE	MODELO	ESPECIFICACION TECNICA	PRECIO
Precio del GLP		Precio máximo establecido por la comisión de regulación de energía y gas al distribuidor minorista.(galón)	\$ 1708.17
Estación de descarga	TUS-2	Estación de descarga de camiones, 2" x 1¼", peso:230 lbs	\$ 8'050.000
Tanque de almacenamiento		2 tanques (uno de respaldo) con capacidades de agua de 12000 gal. Tienen un volumen de 10200 gal a una capacidad de llenado del 85% para el GLP Diámetro: 2.13 m (84") Largo: 13.71 m (45 ft)	\$ 25'600.000
Bomba	AEP-7B	Bomba LGF1C HP: 1 AC 115/230 V monofásica, dual	\$13'100.000
Filtro	STR0001	<i>Filtro.</i> Se debe instalar un filtro de "Y" en la línea de suministro de propano líquido al vaporizador. De tipo "Y" de 1" de 400 psi, carga 3.5 lbs	\$ 273.000
Mezclador	POM-30 Marca AES	Mezclador Operado por Pistón. Marca: Alternate Energy Systems. Cap máxima 20MMBtu/h de 1450 Btu/ft ³ de la mezcla Aire-Propano @ 10 – 100 psig 180 °F (82°C) Limpio, Aire comprimido seco AC 110 V. 60 Hz. 1 fase. 3 A 54"x81"x55" (WxLxH)	\$112'000.000
Vaporizador	WB-550 Marca AES	Tipo: Vaporizador horizontal en baño de agua. Capacidad nominal: 550 Gal/h Capacidad de agua: 240 Gal. Temp. De diseño: 650 °F (343.33°C) AC 120/220 V 50/60 Hz, 15 A, 1 fase (monofásica) Capacidad Nominal 550 gal/h w66L119H110	\$76'000.000
Compresor		Presión Máxima efectiva: 125 psig Presión. Mínima requerida: 58 psig. Entrega de aire libre a 100 psig: 326 CFM Potencia nominal: 55 Kw (75 HP) Nivel de presión del ruido: 67 dB Válvula de Salida (roscada): 2 ½ "	\$ 4'000.000
TOTAL			\$ 240'000.000

Fuente: alternate Energy Systems, Inc.

Para la implementación de una planta de aire propanado en la localidad de Oiba y reemplazar los 1200 m³/D de gas natural que normalmente está consumiendo, y así ser intercambiado por el nuevo combustible sintético, se enuncia la configuración mostrada en la tabla 4.16 con los respectivos precios por unidad para su construcción, en ella los requerimientos son en base al diseño recién elaborado, aclarando que los precios están en pesos y no están incluidos costos de importación.

4.5. Mantenimiento

El mantenimiento preventivo se ha calculado con base en datos de consumo aproximado del servicio. Dicho costo representa aproximadamente el 1% del costo de los equipos, cuando éstos operan a toda su capacidad durante un año. Debe aclararse que en el costo de mantenimiento sólo se incluyen los equipos.

Tabla 4.17 Costos de los equipos

Concepto	Costo del Elemento
Planta Aire propanado	\$240'000.000
Fletes y Seguros*	\$3'500.000
TOTAL	\$243'500.000

Es decir el costo de mantenimiento anual de la planta de aire propanado es de \$ 2'400.000.

4.6 Obra Civil

La obra civil comprende la construcción de la planta sobre una superficie aproximada de 2000 m² (44X 45) m² distribuida de la siguiente manera:

- Planta de Aire Propanado 1300 m².
- Oficinas 500 m².

- Garaje para el vehículo y otros 200 m².

Se debe tener en cuenta la construcción de cercas perimetrales, en la tabla 4.18, se describen los datos necesarios para poder hallar la inversión total del proyecto.

Tabla 4.18 Presupuesto de la inversión fija del proyecto

CONCEPTO	Precio nacional
Planta Aire Propanado (1)	\$ 240'000.000
Gastos Instalación de equipos (2)	\$4'800.000
Obra civil	Ya disponible
SUBTOTAL	
Activos Fijos Tangibles	\$ 244'800.000
Imprevistos (3)	\$ 2'448.000
TOTAL: Inversión Fija del proyecto	\$ 247'248.000

(1) Aquí se incluye el costo correspondiente al traslado del equipo desde su lugar de origen hasta el punto donde se encuentra la planta.

(2) 2% del costo de la planta de Aire Propanado.

(3) 1% de los activos fijos tangibles.

4.7 Mano de Obra

En la tabla 4.19 se detalla el personal que laborará para el préstamo del servicio, además el sueldo mensual devengado por cada uno de los empleados y el costo anual producido. Es importante aclarar que en el sueldo total anual, no se incluyen prestaciones y cesantías, rubro que si se tendrá en cuenta más adelante en el flujo de caja del proyecto, para cada uno de los periodos.

Tabla 4.19 Costo de la mano de obra..

	Cantidad	Sueldo Mensual	Sueldo Total Anual
A Mano de Obra Directa			
Operador	2	900.000	\$ 10'800.000
Supervisor del servicio	1	800.000	\$ 9'600.000
SUBTOTAL			\$ 31'200.000
TOTAL			\$ 31'200.000

4.8 Determinación Del Estado De Resultados Sin Financiamiento

4.8.1 Presupuesto de ingresos por ventas. Teniendo en cuenta el pronóstico de producción expresado en la tabla 4.1 y los precios de ventas mencionados para el GLP al usuario, se ha calculado el presupuesto de ingresos por ventas para los primeros 10 años de operación del proyecto.

Donde el valor del GLP es *1990.19 \$/Gal* equivalente a **1908.58 \$/m³** (1 gal de GLP libera 36.82 ft³ de vapor) teniendo en cuenta un incremento periodo a periodo del 5% en los costos de la materia prima (GLP).

Tabla 4.20 Presupuesto de ingresos por ventas

AÑO	Pronostico de Ventas m ³	Precio de Venta (\$/m ³)	Ingresos por ventas \$	Viviendas con servicio
1	432000	1908.58	824'506.560	1200
2	468000	2004.01	937'876.680	1300
3	504000	2104.21	1060'521.840	1400
4	540000	2209.42	1193'086.800	1500
5	576000	2319.89	1336'256.640	1600
6	648000	2435.88	1578'450.240	1800
7	864000	2557.68	2209'835.520	2400
8	1080000	2685.56	2900'404.800	3000
9	1080000	2819.84	3045'427.200	3000
10	1080000	2960.83	3197'696.400	3000

El número inicial de habitantes beneficiados con el servicio sería del 60% de los existentes actualmente (6000 habitantes año 2004, que corresponde a 1200 usuarios o viviendas), e irá incrementándose gradualmente como se ve en la tabla 4.20 por concepto de crecimiento poblacional y la expansión del servicio.

4.8.2 Flujo de caja. La tabla 4.21 representa el flujo de caja para el sistema de aire propanado en el proyecto de gas domiciliario en Oiba, donde se determina el flujo neto efectivo para cada uno de los periodos (años) en que

está enfocado el estudio, dicho valor es la diferencia entre los ingresos netos y los desembolsos netos, descontados a la fecha de aprobación de un proyecto de inversión con la técnica de "valor presente", esto significa tomar en cuenta el valor del dinero en el mercado en función del tiempo.

Tabla 4.21 Flujo de caja del proyecto

	1	2	3	4	5
Ingresos por ventas (+)	824'506.560	937'876.680	1.060'521.840	1.193'086.800	1.336'256.640
Costo de Producción (-)	797'155.840	896'003.164	1.007'107.556	1.131'988.893	1.272'355.516
Depreciación (-)	0	0	12'240.000	12'240.000	36'720.000
Utilidad Bruta (=)	27'350.720	41'873.516	41'174.284	48'857.907	27'181.124
Impuesto de renta 35% (-)	9'572.752	14'655.730	14'410.999	17'100.267	9'513.393
Utilidad Neta (=)	17'777.968	27'217.785	26'763.285	31'757.639	17'667.730
Depreciación (+)	0	0	12'240.000	12'240.000	36'720.000
Flujo Neto Efectivo	17'777.968	27'217.785	39'003.285	43'997.639	54'387.730
	6	7	8	9	10
Ingresos por ventas (+)	1.578'450.240	2.209'835.520	2.900'404.800	3.045'427.200	3.197'696.400
Costo de Producción (-)	1.430'127.600	1.607'463.422	1.806'788.886	2.030'830.708	2.282'653.716
Depreciación (-)	36'720.000	36'720.000	36'720.000	36'720.000	36'720.000
Utilidad Bruta (=)	111'602.640	565'652.098	1.056'895.914	977'876.492	878'322.684
Impuesto de renta 35% (-)	39'060.924	197'978.234	369'913.569	342'256.772	307'412.939
Utilidad Neta (=)	72'541.716	367'673.864	686'982.344	635'619.719	570'909.744
Depreciación (+)	36'720.000	36'720.000	36'720.000	36'720.000	36'720.000
Flujo Neto Efectivo	109'261.716	404'393.863	723'702.344	672'339.719	607'629.744

Los ingresos por ventas de cada periodo representa el valor del volumen de materia prima (GLP) entregada al usuario para dicho periodo (tabla 4.20).

El costo de producción para cada periodo representa el valor de la materia prima (GLP) al precio del comercializador minorista, mano de obra

(incluyendo cesantías, tabla 4.22) y costos indirectos de fabricación como la energía eléctrica consumida, dotación a empleados, transporte de GLP desde Bucaramanga, mantenimiento, reparaciones de equipos, aseo, entre otros. La tabla 4.22 muestra el costo de producción para el primer periodo del proyecto a modo de referencia.

Tabla 4.22. Costos de producción primer periodo (año 1)

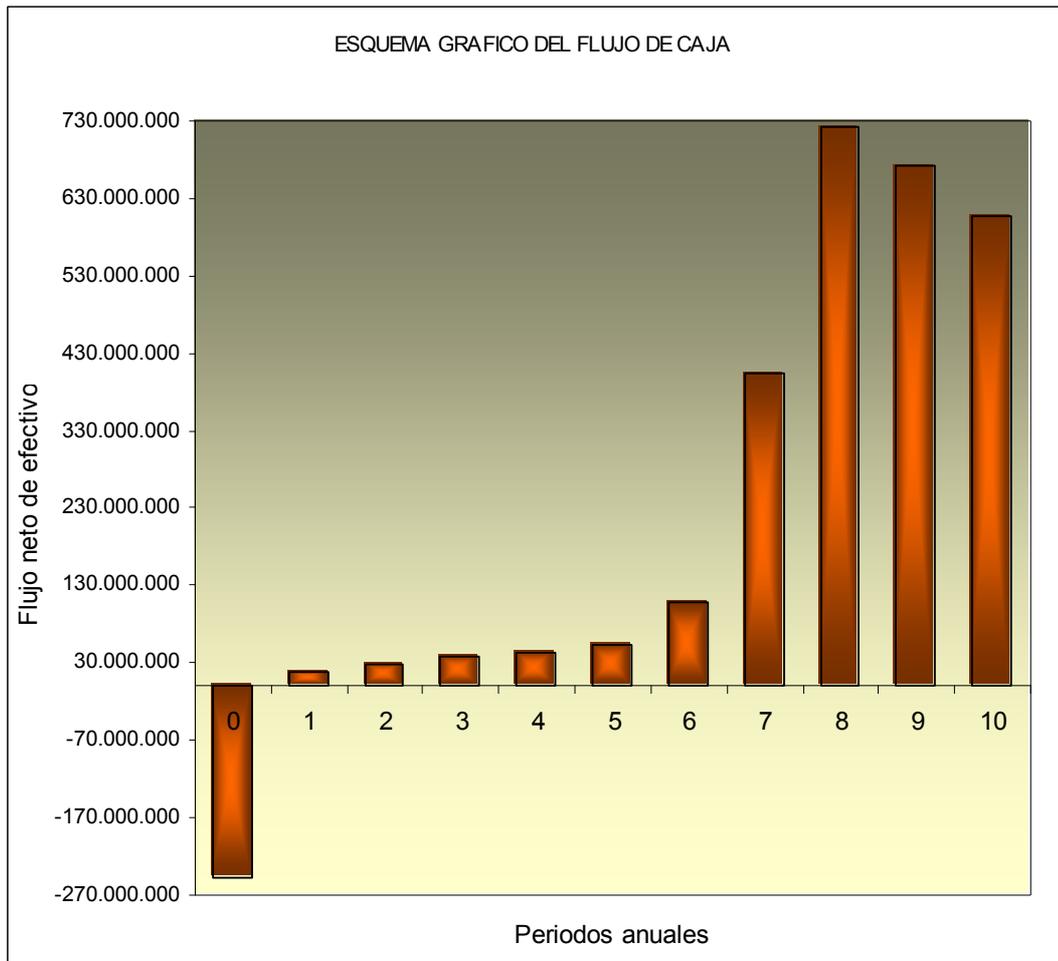
Concepto		Valor \$
Materia Prima		707'667.840
Mano de Obra		
Mano de obra neta	31'200.000	33'800.000
Cesantías	2'600.000	
Costos Indirectos		
Servicios Públicos	30'000.000	82'547.200
Transporte GLP	45'047.200	
Dotación	1'100.000	
Mantenimiento	2'400.000	
Reparaciones	3'000.000	
Aseo	1'500.000	
Total		824'015.040

La depreciación referida en el flujo de caja, es la pérdida o disminución en el valor material o funcional del activo fijo tangible, la cual se debe fundamentalmente al desgaste de la propiedad porque no se ha cubierto con las reparaciones o con los reemplazos adecuados, donde el valor para el sistema de aire propanado para cualquier periodo representa el 5% de los activos fijos tangibles, el 1% del costo de la maquinaria pesada utilizada; para el sistema de Oiba la depreciación representa los valores mostrados en la tabla 4.21, teniendo en cuenta que los dos primeros años este valor es cero por ser los periodos de prueba.

El impuesto de renta es determinado por el ministerio de hacienda y es del 35% hasta tanto no evalúen nuevamente ese valor.

El flujo neto efectivo se representa en la figura 41 para los 10 periodos evaluados del proyecto.

Figura 41. Flujo de caja de la propuesta económica.



El flujo de caja se realiza sin tener en cuenta ningún mecanismo de financiación (ver tabla 4.21), para realizar el cálculo del valor presente neto hay que considerar la inversión inicial que se ha realizado al comenzar el proyecto (ver tabla 4.16) que es el egreso que se tiene en cuenta para realizar los cálculos.

El valor presente neto sin tener en cuenta financiamiento es el siguiente:

Tabla 4.23 Valor Presente Acumulado.

Año	Inversión	Ingresos	Egresos	Flujo de Caja Neto	Factor VPN	Flujo VPN	Valor Presente Acumulado
0	247'248.000	-	-	-247'248.000	-	-247'248.000	-247'248.000
1	-	824'506.560	797'155.840	17'777.968	0.833	14'809.047	-232'438.953
2	-	937'876.680	896'003.164	27'217.785	0.694	18'889.142	-213'549.811
3	-	1.060'521.840	1.007'107.556	39'003.285	0.578	22'543.898	-191'005.913
4	-	1.193'086.800	1.131'988.893	43'997.639	0.482	21'206.862	-169'799.051
5	-	1.336'256.640	1.272'355.516	54'387.730	0.402	21'863.867	-147'935.184
6	-	1.578'450.240	1.430'127.600	109'261.716	0.335	36'602.674	-111'332.510
7	-	2.209'835.520	1.607'463.422	404'393.863	0.279	112'825.887	1'493.377
8	-	2.900'404.800	1.806'788.886	723'702.344	0.232	167'898.943	169'392.320
9	-	3.045'427.200	2.030'830.708	672'339.719	0.194	130'433.905	299'826.225
10	-	3.197'696.400	2.282'653.716	607'629.744	0.162	98'436.018	398'262.243

La tabla 4.23 ilustra periodo a periodo el estado de cuenta del proyecto con el fin de conocer en que periodo es recuperable la inversión inicial total (VPE, valor presente de los egresos), con el valor presente acumulado teniendo en cuenta el factor VPN (valor presente neto), cuyo valor depende del costo del dinero en el mercado (20%) en el periodo n y esta representado como:

$$FactorVPN = \frac{1}{(1+i)^n}$$

Es así que se muestra, en los valores presentes acumulados que para el periodo séptimo (7mo año), se recupera la inversión inicial total del proyecto de aire propanado para Oiba.

4.9 Cálculo De Los Criterios Cualitativos Y Cuantitativos De La evaluación Financiera

$$VPN = VPI - VPE$$

Donde:

VPI: Valor presente de los ingresos.

VPE: Valor presente de los egresos (inversión inicial).

$$VPI = Ingresos \times (1 + i)^{-n}$$

Donde:

n: número de años de duración del proyecto.

i: interés de oportunidad (10%).

Ingresos: ingresos anuales.

Resolviendo tenemos:

$$VPI = 824'506.560 \times (1 + 0.1)^{-10}$$

$$VPI = 317'882.971$$

$$VPE = 247'248.000$$

$$VPN = 317'882.971 - 247'248.000$$

$$\mathbf{VPN = 70'634.971}$$

Cálculo de la relación beneficio costo para el proyecto es el siguiente:

$$R \frac{B}{C} = \frac{VPI}{VPE}$$

$$R \frac{B}{C} = \frac{317'882.971}{247'248.000}$$

$$R \frac{B}{C} = 1.285$$

Al ser la relación beneficio-costo > 1 indica que el proyecto tiene un comportamiento positivo con respecto a los movimientos netos de caja.

Cálculo de la tasa interna de retorno para el proyecto, definida como el rédito de descuento que iguala el valor actual de los egresos con el valor futuro de los ingresos previstos, se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la T.I.R. se compara con una tasa mínima o tasa de corte. Si la tasa de rendimiento del proyecto (expresada por la T.I.R) supera a la tasa de corte, se le acepta; en caso contrario, se le rechaza.

La T.I.R. se calcula por prueba y error:

$$T.I.R. = 0.126$$

$$T.I.R. = 12.6\%$$

La tasa verdadera de retorno TVR se define como:

$$TVR = (VFI/VPE)^{1/n} - 1$$

Donde:

VFI: Valor futuro de los ingresos afectados con el interés de oportunidad

$$VFI = VPI.(1 + i)^n$$

$$VFI = 317'882.971(1 + 0.1)^{10}$$

$$VFI = 824'506.559$$

$$TVR = \left(\frac{824'506.559}{247'248.000} \right)^{1/10} - 1$$

$$TVR = 0.12799 = 12.8\%$$

Esta es la verdadera rentabilidad para el proyecto, siendo mayor que la tasa de oportunidad (10%).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El propano o GLP es el combustible de reserva ideal para el gas natural porque el propano cuando es mezclado con aire, producirá las características de quemado del gas natural y le permitirá al usuario utilizar los quemadores existentes de gas natural, y así no tener que reemplazarlos lo que resulta económicamente benéfico..
- Contar con un sistema de aire propanado es tener la seguridad de contar con un suministro de gas natural cuando éste es interrumpido y es allí cuando los sistemas de reserva “Stand-by” actúan supliendo de gas no sólo a redes domiciliarias, sino a usuarios industriales que requieren de éste servicio para mantener sus niveles de productividad.
- El proyecto no sólo garantiza la implementación de un modo de distribución alterno para el gas natural, sino también colabora con el manejo de las necesidades que puede tener una comunidad en Colombia con respecto a un mejor nivel de vida, de ahí que el estado esté también interesado en promover la sustitución de energéticos, o sencillamente las opciones de energía alternativa.
- En el municipio de Oiba se debe utilizar un vaporizador de baño de agua de 550 gal/h junto con un mezclador de POM-30 de capacidad de 20 MMBTU/h @ 10 psi, es decir éstos son los componentes que van a suplir las necesidades de gas natural en una población de hasta 20000 habitantes en Colombia.

- Para mezclar el propano con aire en cantidades importantes, como se requiere en redes urbanas en Colombia, debe hacerse a altas presiones para no hacer cambios en los diámetros de tuberías suministradores que sí se verían perjudicadas si se suministrara a bajas presiones como en un mezclador venturi, es decir se debe utilizar un Mezclador POM.

- En Colombia un sistema de aire propanado es una solución a corto plazo y sirve como sistema de apoyo de expansión, es decir, que en el momento de cortes prolongados en el servicio de gas natural, debido a ampliación de redes se utilice dicho sistema para suplir la demanda momentánea.

BIBLIOGRAFIA

1. NORTH AMERICAN COMBUSTION HANDBOOK, *combustion analysis, fuel gas analysis*, January 2002.
2. MINISTRY OF FUEL AND POWER., "*The efficient Use of Fuel*" Chemical Publishing Co. Olsen, J. C. Inc, Brooklyn N.Y 1945
3. PHILIP R. WEEMS KING & SPALDING June 29, 2000 Houston, Texas This article was originally published in Issue 8 of the *International Energy Law and Taxation Review; Overview of issues common to structuring, negotiating and documenting lng projects*; p. 1-22.
4. TURIN, J.J. and HUBER, J.: "Gas-Air-Oxygen Combustion Studies". AGA Report on Project IGR-61, 1951, Importancia del estudio de la combustión de mezclas de aire con gas en procesos de combustión
5. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA SUMINISTRO DE GAS COMBUSTIBLE, Comisión de regulación de energía y gas, Itansuka Lda, Documento No A75-IN-Q-020 Bogota, Col. Diciembre 2001 p.p 25-55, Descripción técnica de los requerimientos necesarios para el montaje de una planta de aire propanado.

6. LPG-Vapor / Air Mixing Systems, Alternate Energy Systems, Inc. Peachtree City, GA 30269, USA 2002, Sistemas de Mezclado de Aire-GLP para producir un combustible que sea intercambiable con el GN.
7. STANDARD PROPANE / AIR SYSTEMS Alternate Energy Systems, Inc. Peachtree City, GA 30269, USA, Dic. 2002. Descripción de las tecnologías necesarias para la implementación de una planta de aire propanado.
8. FUELS AND COMBUSTION HANDBOOK., JOHNSON, GEORGE H., ED. NEW YORK : McGRAW-HILL, 1951 Generalidades del proceso de combustión y los combustibles gaseosos
9. UTILIZACION EFICIENTE DE LOS COMBUSTIBLES; TRATADO ACERCA DE LOS COMBUSTIBLES Y SU EJEMPLO EFICAZ PARA USO DE TECNICO, Ocon García, Joaquin, Madrid : Aguilar, 1949
10. FACTIBILIDAD TECNICA ECONOMICA PARA EL USO DOMICILIARIO DE GAS NATURAL COMPRIMIDO EN EL MUNICIPIO DEL SOCORRO, Victor Bustamante, Jorge Eduardo Linero, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2000
11. INSTALLATION, OPERATING AND INSTRUCTION MANUAL VAPORIZERS, Alternate Energy Systems, Inc. (Rev. June 2003) Peachtree City, GA 30269, USA, Jun. 2003 Manual de Instrucciones para su instalación entendimiento y operación de los vaporizadores de GLP ficha esencial en una planta de aire propanado.

12. LPG-AIR MIXING SYSTEMS Alternate Energy Systems, Inc. Peachtree City, GA 30269, USA, May. 2003, Manual que de una manera muy descriptiva permite conocer el funcionamiento del mezclador de aire-GLP en una planta de aire propanado.

13. EVALUACION FINANCIERA DE PROYECTOS DE INVERSION, Infante Villareal Arturo. Editorial Norma 1988.

14. FUNDAMENTOS DE PREPARACION Y EVALUACION DE PROYECTOS, Sapa Chalin, Nassir y Reinaldo. Editorial Mc Graw Hill. 1988