

Universidad Nacional de Ingenieria

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



“ Proyecto Planta Piloto de Combustión para Prueba de Combustible ”

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AUGUSTO ALVAREZ GALLEGOS

PROMOCION: 1961

LIMA • PERU • 1986

TABLA DE CONTENIDO

PROLOGO

CAPITULO 1.0 INTRODUCCION

1.1 Generalidades

1.1.1 Costo estimado

1.1.2 Ventajas justificatorias

1.1.3 Transferencia de tecnología y capacitación

1.2 Antecedentes

1.2.1 Metodología del desarrollo del proyecto

CAPITULO 2.0 ESTUDIO TEORICO DE LA PLANTA PILOTO

2.1 Fundamento

2.2 Determinación de la capacidad de la planta

2.3 Determinación del tamaño de sus componentes principales

2.3.1 Quemador

2.3.2 Cámara de combustión

2.3.3 Aire de atomización y combustión

2.3.4 Almacenamiento

2.3.5 Manipuleo

2.3.6 Tratamiento

2.3.7 Control automático e instrumentación

CAPITULO 3.0 SELECCION DEL EQUIPO PARA LA PLANTA PILOTO

3.1 Generalidades

3.2 Almacenamiento y manipuleo de combustible

3.2.1 Crudo y residual

3.2.1.1 Almacenamiento

- 3.2.1.2 Manipuleo
- 3.2.1.3 Instrumentos de protección
- 3.2.2 Mezcla carbón-petróleo
 - 3.2.2.1 Manipuleo
 - 3.2.2.2 Sistema de recirculación
 - 3.2.2.3 Tanque diario
- 3.2.3 Especificaciones del material y equipo
- 3.3 Tratamiento de crudo y residuales
 - 3.3.1 Generalidades
 - 3.3.2 Métodos de tratamiento
 - 3.3.3 Descripción del proceso centrífugo
- 3.4 Sistema de combustión
 - 3.4.1 Petróleo residual o crudo
 - 3.4.1.1 Descripción del circuito
 - 3.4.1.2 Circuito de protección
 - 3.4.1.3 El relé de protección o programador
 - 3.4.1.4 La cámara de combustión
 - 3.4.2 Mezcla carbón-petróleo
 - 3.4.2.1 Descripción del circuito
 - 3.4.3 Diagrama de flujo
 - 3.4.4 Especificación del equipo
- 3.5 Control de la combustión
 - 3.5.1 Generalidades
 - 3.5.2 Circuito de control automático de aprovechamiento del calor generado
 - 3.5.2.1 Alternativa 1
 - 3.5.2.2 Alternativa 2
 - 3.5.2.3 Discusión de alternativas

VII

3.5.2.4 Diagrama de flujo

3.5.3 Sistema de control del quemador principal

3.6 Resultados obtenibles

3.6.1 Objeto de una planta piloto

3.6.2 Datos obtenibles

3.7 Ubicación y plano de distribución

3.7.1 Antecedentes

3.7.2 Ubicación del área de construcción

3.7.3 Plano de distribución general de la planta piloto

3.7.4 Resumen

CAPITULO 4.0 CONSIDERACIONES ECONOMICAS

4.1 Equipo necesario

4.2 Personal estable necesario

4.3 Costos fijos y variables

4.4 Costo de la inversión y costo anual

CAPITULO 5.0 PRUEBAS

5.1 Concepto y necesidad de las pruebas

5.2 Instalación temporal del equipo para las pruebas

5.3 Pruebas de residuales de alta viscosidad

5.4 Pruebas de la mezcla carbón-petróleo

5.5 Resultados de las pruebas

5.5.1 Combustibles residuales de 800 SSF a 122^oF

5.5.2 Combustible mezcla carbón-petróleo

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

PLANOS

APENDICE

VIII

PLANOS

Plano N° 76-351

REFINERIA CONCHAN, Distribución General.

PLANO N° 20-A-1-C

PLANTA PILOTO DE COMBUSTION, Distribución General de Planta.

PLANO N° 20-A-0-C

PLANTA PILOTO DE COMBUSTION, Esquema General de Instalación.

ILUSTRACIONES

Fotografía de las adherencias de MCP en los calentadores
eléctrico y de vapor.

PROLOGO

El presente trabajo consta de 6 capítulos, de los cuales además del de la INTRODUCCION, el capítulo segundo realiza el esfuerzo que pone el entendimiento aplicándose a conocer, en forma teórica el alcance de la planta piloto; el capítulo tercero establece la necesidad de la prueba de combustibles, la selección del equipo necesario para la planta piloto de combustión; su ubicación geográfica y plano de distribución; el capítulo cuarto se dedica a establecer el monto de la inversión y el costo total anual por la operación de la planta. El capítulo quinto describe la instalación temporal de la planta piloto para pruebas específicas a fin de determinar su factibilidad técnica, la descripción de las pruebas realizadas y los resultados a que se arribaron, con la discusión consiguiente. Finalmente, las conclusiones.

El proyecto de la planta piloto de combustión se inscribe en el esfuerzo que realiza PETROPERU S.A. en la investigación, desarrollo y generación de tecnologías relativas a la exploración y explotación de crudo, su refinación y transformación; y, como en el caso presente, la aplicación y uso de nuevas formas de combustibles tradicionales. La decisión gerencial para la realización del proyecto se debe a los Ingenieros Rafael Antezana Castro y Rubén Inga, gerentes del Area de Investigación y del Departamento de Tecnología, respectivamente, por el año de 1983, de Petróleos del Perú S.A., quienes encomendaron al ponente la responsabilidad total de su ejecución.

CAPITULO 1.0 INTRODUCCION

Cuando no se tiene petróleo o se tiene en poca cantidad, es imperativo desarrollar nuevas tecnologías energéticas para reemplazar derivados livianos en favor de los residuales del petróleo y de éstos por el carbón o por energía nuclear.

Otras fuentes de energía y tecnologías innovativas, radicales, como la licuefacción del carbón, celdas de combustión para plantas eléctricas de tamaño medio, celdas fotovoltaicas para casas y edificios, el uso de vehículos eléctricos en el área urbana, son posibilidades, entre otras, que podrían cambiar el rol del petróleo en el largo plazo, excepto la licuefacción del carbón que podría ser tecnología en uso en los comienzos del siglo XXI.

Mientras tales cambios tecnológicos son del futuro, en la actualidad y por muchos años, la energía necesaria seguirá siendo la proveniente del petróleo, carbón y nuclear convencional, en ese orden.

Las innovaciones tecnológicas deberán por tanto realizarse en las áreas de la combustión de combustibles residuales del petróleo, mezcla carbón petróleo y mezcla carbón agua.

En consecuencia, el presente trabajo está dirigido a una forma de generación y transferencia de tecnología de la combustión, y se inscribe entre las que tratan sobre la conservación y ahorro de la energía en actual utilización así como aquellas que tratan sobre la producción primaria de petróleo, producción submarina de gas, producción convencional de carbón, su preparación, transporte y utili-

zación en plantas de fuerza.

Se pretende establecer que una planta piloto de combustión permitirá generar tecnologías, probar métodos de combustión, con el propósito de establecer las condiciones para la utilización eficiente de combustibles tales como crudo, residuales y mezcla carbón petróleo.

En el orden natural, una idea tiene las etapas de la propuesta, la maduración, decisión, investigación, desarrollo, todo lo cual toma su tiempo. La idea de una planta piloto de combustión para pruebas de combustibles se propuso a PETROPERU en 1981, el proyecto se desarrolló en el curso de 1982; en el siguiente año de 1983 se realizó la instalación temporal de una planta piloto de combustión, con el propósito de probar la validez de la hipótesis planteada y de ser los resultados probatorios de la necesidad que determinó su instalación, proseguir con la construcción de la planta piloto propuesta.

1.1 Generalidades

Se propone la construcción de una Planta Piloto para pruebas de combustible residual, crudo y mezcla carbón-petróleo. Se persigue establecer los juegos de condiciones más favorables a fin de obtener métodos eficientes para su utilización.

El proyecto se realizará en dos etapas:

La primera considera el almacenamiento, manipuleo, combustión y su control, para crudo y residual.

La segunda etapa considera añadir al circuito anterior una planta piloto de tratamiento de combustible; manipuleo, combustión y su control, para la mezcla carbón-petróleo. Un proceso de secado de carbón se realizará cuando se conozca los resultados del proyecto de investigación sobre la mezcla carbón-petróleo. Esta investigación la conduce la División Manufactura del Departamento de Tecnología de PETROPERU.

1.1.1 Costo estimado anual

La planta piloto considera los costos anuales que se indican mas abajo y cuyo detalle se encuentra en las secciones 3.3 y 3.4 del capítulo 3.0 CONSIDERACIONES ECONOMICAS:

- Personal estable por año	US\$ 24,000
- Costos fijos por año	US\$ 21,280
- Costos variables por año	<u>US\$ 8,960</u>
Total anual	US\$ 54,240

=====

1.1.2 Ventajas Justificadorias

Establecer métodos eficientes de combustión brindará doble ahorro de combustible, por mayor eficiencia y por reemplazo de livianos por crudos o residuales:

Ahorro de combustible por mayor eficiencia de la combustión, por ejemplo, PETROPERU pronosticó para 1982, un consumo propio de 4.01 MB/DC (miles de barriles por día calendario) de combustibles Turbo Industrial, Kerosene y Diesel. Asumamos que sobre la décima parte de ese consumo, esto es, 0.401 MB/DC, se lograra una mayor eficiencia del 1%, conseguiríamos un ahorro de 0.00401 MB/DC, volumen de combustible que a un precio conservador de US\$14.00 por barril, daría un ahorro de US\$56.14 por día calendario o US\$20,419 por año..

Ahorro de combustible por reemplazo de livianos por crudo o residuales o mezcla carbón-petróleo. Dicho reemplazo conlleva reducción del consumo por la mayor cantidad de calorías por unidad de peso de los residuales o mezcla carbón-petróleo y un ahorro en dinero por el menor precio de los últimos comparados con los livianos; por ejemplo:

La Empresa pronosticó para 1982 un consumo propio de combustibles destilados de 2.27 MB/DC. Asumamos que se reemplace por combustible residual, una décima parte de ese pronóstico, esto es, 0.227 MB/DC; considerando un diferencial promedio de precios de US\$ 0.12 por galón, antes de impuestos, el ahorro ascendería a US\$ 9,943 por

año.

A nivel nacional, el consumo de Diesel 2 es en promedio 11,595.3 miles de barriles por año. Mediante la Planta Piloto logramos reemplazar por residual una centésima parte de ese consumo. El ahorro para PETROPERU por exportación de Diesel 2 estaría constituido por el diferencial de precios entre ambos combustibles, esto es, US\$3.00 por cada barril, o sea, US\$ 347,000 por año.

Tendríamos, en consecuencia, conservadoramente los beneficios siguientes:

- Por ahorro de combustible sólo en	
PETROPERU S.A.	US\$ 20,491
- Por ahorro de dinero sólo en	
PETROPERU S.A.	US\$ 9,943
- Por ahorro de dinero a nivel	
nacional	<u>US\$ 347,000</u>
Total estimado de ahorro por año	US\$ 377,434

=====

1.2 Antecedentes

El fin primordial de una Planta Piloto es propiciar la transferencia de tecnología. A su vez, la transferencia de tecnología implica la experimentación bajo condiciones reales pero controladas. Esto, con el propósito de establecer las condiciones más favorables de operación en modelo reducido. Pero, condiciones que se pueden reproducir a escala de planta u operación industrial.

PETROPERU tiene turbinas de gas en las estaciones de los oleoductos Nor-Peruano y Ramal Norte. Estas turbinas de gas se compraron para quemar crudo. Pero usan diesel en vez de crudo. Por lo tanto es necesario conocer y dominar la tecnología de la combustión de crudo.

PETROPERU está investigando un combustible híbrido, la mezcla carbón-petróleo, que en adelante denominaremos MCP. La utilización industrial de la MCP requiere de la experimentación previa para dominar la tecnología de su combustión.

PETROPERU tiene entre sus objetivos propiciar el ahorro de combustibles destilados. Este ahorro se consigue con el uso de residuales. Tanto por la mayor cantidad de calorías por unidad de peso; como por su disponibilidad. Es conveniente, por lo tanto, adquirir los conocimientos y la tecnología de su combustión.

Los tres propósitos anteriores se pueden conseguir a través de la experimentación en una Planta Piloto. Existe en consecuen-

cia una necesidad identificada para la construcción de una Planta Piloto de Combustión.

1.2.1 Metodología del Desarrollo del Proyecto

Una Planta Piloto considera los aspectos del almacenamiento del combustible y su manipuleo. Involucra el tratamiento. El aspecto de la combustión y su control. El análisis de los resultados obtenibles.

El presente trabajo contiene la selección de los diversos componentes de la Planta Piloto. Se considera dos circuitos: uno para crudo y residual; el otro para la MCP.

Circuito Crudo-Residual

Primeramente se establece las condiciones del almacenamiento de residual o crudo, usando un mismo tanque. Se considera los instrumentos de seguridad.

Seguidamente se considera el calentamiento de esos combustibles debido a su alta viscosidad. Esto facilita su bombeo del tanque de almacenamiento al tanque diario.

Para una segunda etapa del proyecto se ha previsto la instalación de una Planta de Tratamiento de Combustible. Esta planta es del tipo experimental, de modo que se pueda tratar las dos clases de combustibles, que tienen diferentes contenidos de contaminantes.

Luego viene el sistema de combustión, que involucra quemadores, ventiladores, compresor y elementos de seguridad o

protección.

Asociada a la combustión está su control. Se ha tratado, por su importancia en forma aparte; el diseño del circuito permite una operación completamente automática. Adicionalmente permitirá establecer, desde el tablero, diversas condiciones de operación. Esto último, variando a voluntad las variables del proceso.

El calor generado por la combustión, se aprovecha:

- 1) Para calentar el aire secundario, y 2) para secar el carbón utilizado en la MCP.

Circuito de la MCP

La MCP se recibirá de la planta de preparación, lista para entrar en combustión. La tubería que viene desde la planta de preparación se prolongará hasta la bomba de transferencia. Esta bomba fuerza la mezcla hasta el tanque diario de MCP. De aquí se bombea, utilizando la misma bomba de alimentación de crudo - residual, al quemador de MCP. Esto quiere decir que los circuitos de crudo residual y MCP, se unen a partir de la bomba de alimentación a los quemadores, para luego separarse, justo a la entrada de los respectivos quemadores. En efecto, se han considerado dos quemadores: uno para crudo - residual; otro para MCP.

La cámara de combustión es común; así como el pre-calentador de aire; chimenea; y los circuitos de control y de

corriente.

Este trabajo considera las principales mediciones que se harán en la Planta Piloto. La mayoría de ellas relativa a la eficiencia de la combustión. Esas mediciones no son excluyentes. Conforme se domine la operación de la planta, se intentarán nuevas experimentaciones. Como por ejemplo simulación sobre revestimientos refractorios, tamaños de cámaras de combustión, entre otros.

CAPITULO 2.0 ESTUDIO TEORICO DE LA PLANTA PILOTO

2.1 Fundamento

Se ha de realizar el esfuerzo que pone el entendimiento aplicándose se a conocer, en forma teórica, el alcance de la planta piloto. En primer lugar la planta piloto no realizará un trabajo específico, esto es, la energía liberada no tendrá un uso determinado; lo que interesa es el estudio del proceso de la combustión, el comportamiento de combustibles tradicionales y nuevos y de los equipos que intervienen, de tal manera que los resultados se puedan aplicar en la operación de plantas industriales.

En ese entendimiento, la determinación del tamaño de la planta piloto no proviene del cálculo matemático, sino de consideraciones prácticas en las cuales la experiencia tiene el rol más importante; del mismo modo, la determinación del tamaño de sus diversos componentes queda implícita en el de la planta; pero en este estudio teórico se ha dado preferencia a la naturaleza de los equipos, de tal modo que su operación contribuya a los propósitos de la planta piloto; no obstante, el cálculo de los tamaños apropiados a la capacidad de la planta, se ha realizado con la utilización de las técnicas de ingeniería normalmente aceptadas.

También es conveniente resaltar que el presente trabajo es un proyecto de instalación de una planta piloto y la prioridad asignada es obtener resultados concretos, con su funcionamiento.

El propósito del proyecto de la Planta Piloto es la prueba de combustibles líquidos residuales de alta viscosidad y la mezcla car-

bón petróleo, a fin de determinar las condiciones mas favorables para su eficiente utilización; por lo que, la planta piloto y sus diversos componentes deberían procurar, por su naturaleza y tamaño, alcanzar tal fin. En consecuencia, se debe determinar la naturaleza de cada uno de los componentes de la planta piloto y sus tamaños; teniendo en cuenta que la decisión comienza con el quemador, cuya capacidad será la que determine el tamaño de la planta piloto.

2.2 Determinación de la capacidad de la planta

Como se ha indicado la capacidad de la planta está determinada por la capacidad del quemador. Se trata entonces de seleccionar la mejor capacidad de quemador que satisfaga nuestros propósitos.

Es evidente que la capacidad no está determinada por necesidades concretas de energía ni de trabajo; queda en todo caso, librada a otras consideraciones.

Al respecto es conveniente transcribir lo pertinente de lo que la General Electric afirma en el artículo técnico Progress in Heavy Fuels por W.J. Hefner y F.D. Lordi, ambos de la Gas Turbine Division, Schenectady, New York, No. GER-3110A, GAS TURBINE REFERENCE LIBRARY, 1979, pag. 3-5, en traducción al español:

"Ni los modelos matemáticos ni geométricos han sido adecuados para el desarrollo técnico de la combustión, por cuanto un modelo a escala no reproduce las reacciones químicas, la intensidad de liberación de calor y la mezcla aerodinámica, del diseño de tamaño natural..."

Del mismo modo, en el trabajo titulado Combustion Tests of a High Solids Coal Water Fuel, CO-AL, presentado a la Governor's Conference on Expanding the Use of Coal in New York State, por J.E. Funk, D.R. Dinger, y otros, de la Alfred University Research Foundation, Alfred, New York; y, S.J. Vecci de la Babcock & Wilcox Co., Research and Development Division, Alliance Research Center, Alliance, Ohio, se consigna en la pag. 5, en traducción al español, lo que sigue:

"COMBUSTION, Resumen

El objetivo principal del programa de pruebas de combustión fue determinar si el combustible CO-AL, suministrado a través de la tecnología de la suspensión acuosa (Slurrytech), podría quemarse sin la ayuda de otro combustible usando métodos de manipuleo y combustión normalmente empleados en combustible fuel. Esas pruebas utilizaron la Unidad Básica de Pruebas de Combustión del Combustion Test Unit de la Babcock and Wilcox Co., preparada para quemar combustible fuel usando un quemador similar en diseño a los ofrecidos comercialmente por la B. & C.

...."

El quemador, a que se refiere el párrafo transcrito, es de una capacidad máxima aproximada de 38 galones por hora ó 4×10^6 BTU/hr, de la mezcla carbón-agua.

Las razones anteriores sirvieron de referencia para seleccionar el tamaño del quemador, la misma que se precisó en 30 galones por hora.

2.3 Determinación de sus componentes principales

2.3.1 Quemador

En el acápite anterior se ha establecido la capacidad del quemador, pero falta determinar el tipo del mismo para los propósitos de la Planta Piloto.

El fin que se persigue con un quemador del tipo convencional es "atomizar" el combustible. El término "atomizar" o "atomización" no es apropiado, pero es la costumbre que ha perennizado su uso. El término correcto sería pulverización. Se trata entonces de determinar cuál forma de atomización es la apropiada para la planta piloto.

Atomizar es la acción mediante la cual se rompe el combustible en partículas muy finas, para que se mezcle rápidamente con el oxígeno del aire y se produzca el fenómeno de la combustión.

Si consideramos la combustión como un fenómeno de superficie se tratará de conseguir la máxima área como condición indispensable para que la combustión sea una reacción completa. De otro lado, si la consideramos como reacción en fase gaseosa se tratará de conseguir la máxima dispersión. En ambas consideraciones la forma como se atomice el combustible, es importante.

La atomización se produce al fluir una corriente delgada de combustible a gran velocidad a través de un gas y, recíprocamente, cuando se sopla gas contra una corriente muy fina

de líquido.

La industria fabrica quemadores que atomizan el combustible en los métodos siguientes:

- a. Atomización mecánica, mediante la presión de la bomba de combustible la corriente delgada de combustión impacta en el aire de combustión;
- b. Atomización centrífuga, mediante la rotación de una pieza hueca de forma tronco cónica se consigue que una fina película de combustible sea impactada por el aire, denominado aire de atomización.
- c. Atomización forzada, mediante un chorro de aire o vapor, a presión, que impacta en la película o chorro de combustible, antes o en la salida de la tobera del quemador.

En la atomización mecánica, por la sola presión de la bomba de combustible, la cantidad de combustible entregado es función de la raíz cuadrada de la presión:

$$q = 19.63 C d^2 \sqrt{p} \quad (1)$$

en donde:

q = gasto

C = coeficiente de descarga de la tobera

d = diámetro de la tobera

p = presión de la bomba de alimentación.

En estos quemadores la fineza de la pulverización aumenta proporcionalmente con el aumento de la presión, por cuanto, estando la cámara de combustión sometida a vacío o, a lo

mas alrededor de la presión atmosférica, la energía que lleva el combustible sometido a presión, al bajar bruscamente ésta, se convierte en energía cinética lo cual produce la pulverización del combustible, al impactar en la corriente de aire. Como lógica consecuencia, si el gasto disminuye, también disminuye la presión y proporcionalmente disminuye la fineza de la pulverización; por lo tanto esta clase de quemadores no son aptos para cambios bruscos ni de alto intervalo o razón de gasto. Su aplicación está en las operaciones de carga constante, que tienen un gasto estable y cuya razón del consumo mayor al menor es de 100/75.

En la atomización centrífuga, la velocidad de rotación de la copa atomizadora es constante; el combustible toma contacto en el extremo agudo de la copa; y, aire a presión a través de aletas direccionales, completa la pulverización. Siendo constantes la velocidad de rotación de la copa y la presión del aire, se deduce que a menor cantidad de combustible la dispersión y consecuentemente la pulverización, serán mayores; pero cuando el gasto sube, la pulverización del combustible decae. Es por esta última razón que los quemadores de atomización centrífuga tienen una capacidad, en el lado mayor, que llega a unos 600 galones por hora.

En la atomización forzada, se usa aire o vapor de agua, que impacta en el combustible antes o a la salida de la tobera. La cantidad de aire de atomización depende del diseño del quemador, el grado del combustible, la presión de alimentación y la temperatura de atomización. Sus ventajas:

- son aptos para quemar combustibles livianos y pesados;
- son apropiados para aplicaciones de alto consumo;
- se adaptan a altas razones de gasto, que puede llegar a 6:1 (gasto máximo al mínimo);
- posibilitan precisión en la dosificación y medición del combustible y del fluido atomizador;
- el uso de aire o vapor de agua, se determina en función del costo y/o disponibilidad de dichos fluidos.

En el caso que nos ocupa se seleccionó la atomización forzada con aire a presión por cuanto no había y actualmente hay reducida disponibilidad de vapor en el sitio de instalación.

2.3.2 Cámara de Combustión

2.3.2.1 Generalidades

Las cámaras de combustión tienen como finalidad principal:

- 1) Mantener una temperatura alta durante la combustión de modo que el combustible se vaporice rápidamente.
- 2) Proteger las partes de la caldera o el horno que no estén bien refrigeradas.
- 3) Eliminar las zonas de turbulencia o reposo mediante la forma geométrica semejante a la de la llama.

2.3.2.2 Consideraciones para el diseño

Los puntos más importantes a considerar en el dise-

ño de la cámara de combustión son:

- 1) Las superficies refractarias deben radiar calor hacia la zona de combustión de manera que ayude a la combustión.
- 2) El diseño debe ser tal que proteja las partes metálicas que no son refrigeradas por agua.
- 3) La forma de la cámara de combustión debe:
 - a) proveer la máxima distribución de la llama, teniendo en cuenta el tipo y forma de ésta.
 - b) proveer la máxima penetración de la llama, previniendo el paso del combustible hacia las superficies indirectas de calentamiento.
- 4) Todas las superficies directas de calentamiento deberán, si es posible, estar expuestas al calor radiante de la llama.
- 5) Se deben evitar las esquinas en ángulo recto para que exista una distribución uniforme de la llama.
- 6) La línea central del quemador debe estar lo suficientemente alta para prevenir el choque de la llama con el hogar y permitir la circulación del aire por debajo de la llama para asegurar una combustión completa.
- 7) Teóricamente el volumen de una cámara de combustión debería estar determinado por el tiempo de residencia de la mezcla combustible-aire para permitir una combustión completa. El tiempo de residencia se determina por la velocidad de la

reacción química correspondiente.

No es posible por el momento, a partir de consideraciones puramente teóricas, establecer una ecuación de la cinética de la reacción de la combustión. En efecto, el Manual del Ingeniero Químico de J.H. Perry (9), precisa:

"La cinética química no es una ciencia exacta, no es posible formular relaciones matemáticas sencillas y generalizadas ni leyes rigurosas que expresen cuantitativamente todo el aspecto cinético de las reacciones"

(Cinética de las Reacciones Químicas

Secc. 4, pag. 480,

Manual del Ingeniero Químico por John H. Perry)

De otro lado, la cámara de combustión pertenece a un sistema dinámico, esto es, los reactantes fluyen continuamente y los productos de la reacción se eliminan en la misma forma; en esta condición de estado estable no hay cambios en ninguna de las propiedades del sistema con respecto al tiempo, es decir, el tiempo no es una variable en el sistema; lo que varía es "la cantidad de reacción a medida que la mezcla fluye a través del reactor; en otras palabras, el volumen del reactor es la variable medible en el sistema dinámico" (Pág. 55, Ingeniería de la Cinética

Química, por J.M. Smith) (6).

Smith, en la obra citada, pag. 57 establece:

"La importancia principal de una ecuación de velocidad, es que puede usarse satisfactoriamente para interpretar datos cinéticos experimentales. Por ejemplo si en el laboratorio se lleva a efecto un estudio cinético y se encuentra que la velocidad varía con la concentración de acuerdo con una ecuación de velocidad, esa expresión será muy valiosa al diseñar un reactor a escala comercial para efectuar la reacción".

Por lo tanto, las ecuaciones que se propongan para establecer la relación entre la velocidad de reacción por un lado; y el gasto o flujo de un producto y el volumen del recipiente de reacción, por el otro, servirán para interpretar el comportamiento de la reacción química de laboratorio o planta piloto que se haya realizado, conformando, al término de la experimentación, una ecuación empírica útil para el diseño del reactor de tamaño a escala industrial.

Por lo tanto el volumen de la cámara de combustión tendrá que basarse en las recomendaciones de orden práctico que la experiencia y la experimentación sugieren. De otro lado, siendo el propósito de la planta piloto experimentar con diversas clases de

combustibles, no tiene objeto diseñar una cámara de combustión para un combustible determinado; en realidad prevalecerá la idea de tener una cámara de combustión de tamaño variable.

2.3.2.3 Selección práctica

El tamaño depende del gasto y la forma depende de la forma de la llama que produzca el quemador, de acuerdo a Burkhardt (8):

El área del piso de la cámara, debería ser de un mínimo de 75 pulgadas cuadradas por galón/hora de combustibles pesados, para regímenes mayores de 10 galones/hora y un máximo de 115 pulgadas cuadradas, para gastos mayores de 100 galones/hora.

La altura de la cámara, para consumos mayores de 10 galones/hora, sería 2.5 a 3.0 veces la distancia del eje de la tobera del quemador al piso de la cámara.

La distancia del eje de la tobera al piso, se estima en la mitad del ancho de la cámara.

Lo anterior da un intervalo del volumen de la cámara de combustión de 4.0 a 4.8 pies cúbicos por galón de combustible por hora.

La forma apropiada es la rectangular de acuerdo a la forma de la llama que se requiere produzca el quemador, esto es, alargada y angosta.

2.3.3 Aire de atomización y combustión

El aire para la combustión más el exceso de aire, necesario para una reacción completa, es el aire total que debe suministrarse a la cámara de combustión. En consecuencia calcularemos primero el aire total y después veamos que cantidad de ese aire se utiliza para la atomización.

Los combustibles residuales constan por lo general de Carbono (C), Hidrógeno (H) y Azufre (S), que son combustibles; y también de elementos no combustibles, como son los gases inertes, cenizas y agua.

El oxígeno necesario para que los elementos combustibles puedan reaccionar debidamente se suministra del aire. Este último se puede considerar como una mezcla de 76.85% de N_2 y 23.15% de O_2 más pequeños porcentajes de CO_2 , argón y otros gases inertes, los cuales, junto con el N_2 , no intervienen en el proceso de combustión.

1. Combustión del Carbono

Tenemos tres casos:

- a) Deficiencia de oxígeno, se forma CO y CO_2 .
- b) Cantidad precisa de oxígeno, sólo se forma CO_2 .
- c) Exceso de oxígeno, se forma CO_2 , un poco de CO y queda O_2 sin reaccionar.

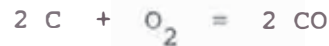
Esto es:



en pesos: 12 lbs C + 32 lbs O_2 = 44 lbs CO_2

dividido x 12: $1 \text{ lb C} + 2.67 \text{ lb O}_2 = 3.67 \text{ lb CO}_2$

esta reacción desprende 14500 BTU por cada libra de carbón que se quema. Nótese que en este caso la cantidad de oxígeno es la adecuada.



ó en pesos por lb de C: $1 \text{ lb C} + 1.33 \text{ lb O}_2$
 $= 2.33 \text{ lb CO}$

El calor desprendido en este caso es de 4350 BTU por libra de carbón. Nótese que se trata de una combustión incompleta, la cual se puede completar añadiendo más oxígeno, en ese caso las 2.33 lb de CO requerirán 1.33 lb adicionales de O_2 para formar 3.67 lb de CO_2 , con la liberación de 10,150 BTU.

Cabe apreciar que el calor liberado al reaccionar el C primero en CO y luego en CO_2 , es de $4350 + 10150 = 14500$ BTU, que es como si todo el C hubiera reaccionado directamente en CO_2 .

Ya que la relación aire/oxígeno es de $100/23.15 = 4.32$, se deduce que por cada libra de oxígeno requerido, se necesitarán 4.32 libras de aire, esto significa que 3.32 lb de N_2 no intervienen en la reacción, pero se llevan parte del calor (considerado como pérdida).

2. Combustión de Hidrógeno

Al reaccionar con el oxígeno, forma agua:



en pesos: 1 lb H₂ + 8 lb O₂ = 9 lb agua.

Se definen dos términos:

- a) Valor calorífico más alto (VCA) que es el disipado por el agua formada al enfriarse hasta 60°F VCA = 62000 BTU.
- b) Valor calorífico más bajo (VCB) que es la cantidad de calor contenido en el vapor de salida. Para una temperatura promedio de salida de 530°F se tiene: VCB = 52000 BTU.

3. Combustión del Azufre

Existe en pequeñas cantidades. Reacciona con el oxígeno para formar dióxido de azufre:



libera 4000 BTU por lb de azufre.

El SO₂ se combina con el agua y forma ácido sulfúrico, el cual puede atacar a las diversas partes de la cámara, en las zonas en donde la temperatura decrece hasta por debajo del punto de rocío.

Resumen de la expuesto:

<u>Elemento</u>	<u>Peso lbs.</u>	<u>Aire Requerido</u>					
		<u>lbs.</u>	<u>CO₂</u>	<u>N₂</u>	<u>H₂O</u>	<u>SO₂</u>	<u>Otros</u>
C	0.85	9.78	3.11	7.52			
H	.12	4.15		3.19	1.08		
S	.01	0.04		0.03		0.02	
Otros	<u>.02</u>						<u>0.02</u>
Total	1.00	13.97	3.11	10.74	1.08	0.02	0.02

Los productos secos de la combustión (CO₂, N₂ y SO₂) se miden mediante el análisis de los gases de escape. El siguiente cuadro muestra los respectivos volúmenes a 60°F.

Volumen de los gases de escape

<u>Gas</u>	<u>Peso (lbs)</u>	<u>Volumen (pies³)</u>	<u>% Volumen</u>
CO ₂	3.11	26.77	15.5
N ₂	10.74	145.42	84.39
SO ₂	<u>0.02</u>	<u>0.12</u>	
Total		172.31	

En la práctica se presenta la dificultad de conseguir la combustión adecuada con la cantidad exacta de aire, ya que éste no se distribuye con homogeneidad dentro de la cámara de combustión. Es entonces necesario suministrar un exceso de aire.

El exceso de aire se computa a partir de los datos del oxígeno, según Kent's, pag. 2.07 (9):

$$\% \text{ exceso de aire} = \frac{\text{exceso de oxígeno}}{\text{oxígeno teórico}}$$

donde el exceso de oxígeno se determina por el análisis de Orsat. Si está presente CO, el oxígeno requerido para la reacción se deduce del exceso de oxígeno.

Asumamos la composición de los gases de la combustión, en porcentaje de moles de gas seco, siguiente:

	<u>% Volumen</u>	<u>Moles equivalentes de O₂ en los gases</u>
CO ₂	10	10
CO	2	1
O ₂	4	4
N ₂	84 (por diferencia)	0
	<u>100</u>	<u>15</u>

Desde que la cantidad de N₂ en el combustible es despreciable, se considera que todo proviene del aire de combustión. En consecuencia las moles de oxígeno que vinieron con el N₂ en el aire de combustión fue:

$$84 \times \frac{20.9}{79.1} = 22.19 \text{ moles por 100 moles de los gases de combustión}$$

Para quemar el remante de CO a CO₂ (CO + 0.5 O₂ = CO₂) requerirá 2 x 0.5 = 1 mol de oxígeno en los gases. Si ocurre una combustión completa el exceso de oxígeno sería sólo 4.0 - 1.0 = 3.0 moles por 100 de gas. El oxígeno teórico es, oxígeno real suplido - el exceso de oxígeno, en porcentaje de gas. En consecuencia, el % de exceso de aire sería:

$$\frac{\text{Exceso de aire}}{\text{Oxígeno teórico}} \times 100 = \frac{3.0}{22.19-3.0} \times 100 = 15.63\%$$

En los quemadores de atomización por aire, la presión de este último varía entre 0.25 a 100 psig, dependiendo de la marca del quemador, por lo cual debe suministrarse a partir de un compresor de desplazamiento positivo, por ejemplo, re

ciprocante. Existe una relación entre la presión y el gasto del aire de atomización según Kent's, pag. 2-51 (9):

% del aire de combustión requerido para la atomización

Presión del aire, psi:	0.25	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00	25.00	60.00	100.00
Gasto de aire, % :	68	52	42	33	25	19	13	9	7

En consecuencia, conocido el volumen de aire teórico de combustión y, de acuerdo a experiencia, determinado el volumen del exceso de aire se tendría el aire real para la combustión. Conocida la recomendación del fabricante del quemador acerca del intervalo de presión y gasto, de aire de atomización, se puede precisar:

- Volumen y presión del aire de atomización, para el cálculo del compresor de desplazamiento positivo;
- Volumen y presión del ventilador de tiro forzado o inducido, si el tiro fuera mecánico; en nuestro caso será un ventilador de tiro forzado;
- Diámetro y pérdidas de presión en los ductos de aire de atomización y aire secundario;
- Tipo y tamaño de las válvulas de control y accesorios.

2.3.4 Almacenamiento

2.3.4.1 Tanque de recepción

Estos tanques por lo general se clasifican:

- a) Según el material: de acero o concreto
- b) Según su localización en zonas cerradas o abiertas, bajo o sobre la superficie.

c) Según su uso: para combustibles ligeros o pesados.

Los requerimientos básicos de todo tanque son estanqueidad y durabilidad. Los estándares de seguridad son los de la National Board of Fire Underwriters, aunque en muchos lugares existen regulaciones propias.

Los tanques para el combustible pesado deben tener un calentador de succión.

2.3.4.2 Especificaciones de la NBFU

Tanques bajo tierra

Capacidad Max. (gal.)	285	560	1100	4000	12000	20000	30000
Espesor Plancha (gage)	16	14	12	7	1/4"	5/16"	3/8"
Peso Plancha (lb/pie ²)	2.50	3.125	4.375	7.50	10	12.50	15

Tanques sobre tierra

Capacidad Max. (gal.)	60	350	560	1100
Gage del metal	18	16	14	12

Para capacidades de más de 1100 gal. se calcula el espesor t (en pulgadas) según:

$$t = \frac{H \times D \times E}{8450}$$

donde: D = diámetro del tanque en pies

H = altura del tanque en pies (de la sección considerada)

E = eficiencia de la junta de la sección considerada

La distancia mínima entre tanques no debe ser menor de 1.5 veces la dimensión más grande del tanque más pequeño.

La construcción de tanques para combustible está normada por el American Petroleum Institute (API-650-1973) y por las normas de Petróleos del Perú.

2.3.5 Manipuleo

2.3.5.1 Bomba de recepción y transferencia

Para el bombeo de combustibles residuales se usan las bombas de desplazamiento positivo, las mismas que están divididas en cuatro grupos:

- 1) Bombas de potencia de movimiento alternativo, muy útil en el campo de alta presión y baja capacidad, en lo que su elevado rendimiento compensa con exceso su alto costo inicial.
- 2) Bombas a vapor, es análoga a una de movimiento alternativo que está construída formando grupo con una máquina de vapor.
- 3) Bombas sin émbolos que utilizan la presión directa del aire, gas o vapor sobre el líquido que bombean.
- 4) Bombas rotativas, que consisten en una caja o en volvente fija que lleva en su interior engranajes, levas, tornillos, paletas, émbolos o elementos semejantes que actúan mediante la rotación

del árbol impulsor. Se caracterizan porque no tienen válvulas de aspiración y expulsión.

Las bombas rotativas se consideran de baja presión hasta 7 Kgs/cm^2 ; de presión moderada, hasta 35 kg/cm^2 y de alta presión, de más de 35 kg/cm^2 . Las que tienen una capacidad menos de 190 lt/min de volumen pequeño, de 190 a 1900 lt/min son de volumen moderado y las de más de 1900 mt/min son de volumen grande.

La descripción y detalles de los diversos tipos de bombas rotativas se encuentra ampliamente desarrollada en la abundante bibliografía especializada, aquí nos limitaremos a mencionar los diversos tipos existentes:

- a) De paletas guiadas u oscilantes
- b) De émbolo excéntrico
- c) Embolos radiales
- d) De placa oscilante
- e) De lóbulos (o de Roots)
- f) De engranajes
- g) De engranajes internos, con diferencia de un diente o con diferencia de dos dientes
- h) De tornillo
- i) De tornillo doble

En nuestro caso seleccionamos la del tipo de engranajes.

2.3.5.2 Calentadores de succión

Los calentadores de succión son el medio más económico de calentar combustibles pesados cuya viscosidad debe ser rebajada para facilitar el bombeo.

El calentamiento se efectúa sólo en la zona adyacente al calentador, en un volumen aproximado al del propio calentador.

Su acción es rápida.

Existe una pequeña caída de presión del flujo dentro de la carcasa, caída que no es mayor de 4 pies de líquido, lo que permite el bombeo de mayor cantidad de fluido sin pérdida de succión apreciable en la bomba.

Materiales

Carcasa	acero soldado
Tapas	acero soldado
Tubos	acero inoxidable 3/4" O.D. x 16 BWG (Dext = 3/4", Di = 0.62", e = 0.065") rolado, paso 1"

Pruebas

Presión de diseño	150 psi
Presión de prueba	225 psi
Temperatura máxima	600 ^o F

Parámetros para la selección

- 1) Clase del fluido que se desea calentar
- 2) Caudal
- 3) Temperaturas del fluido a la entrada y salida del calentador
- 4) Viscosidad y gravedad del fluido
- 5) Presión del vapor disponible para el calentamiento
- 6) Pérdida de presión (en pies) permisible a través del calentador
- 7) Dimensiones del tanque de almacenamiento (importante para hallar la longitud del calentador)
- 8) Forma de la instalación (si existe un "agujero de inspección, dar el diámetro, tamaño y características del mismo)

Selección

El diseño de un calentador de succión se basa en la transferencia de calor de un fluido caliente a otro frío.

La relación básica de transferencia de calor es:

$$A_o = \frac{Q}{U \Delta t_m}$$

donde: A_o = superficie efectiva exterior de la transferencia de calor

Q = calor total a transferir

U = coeficiente de transferencia de calor

Δt_m = diferencia de temperatura media corregida

Q es la necesidad de calor para elevar la temperatura de la de almacenamiento a la de bombeo, del combustible.

Las temperaturas de bombeo (así como las de atomización) para varios combustibles se han establecido en base de experimentación. Se ha desarrollado gráficos que relacionan viscosidad, temperaturas de bombeo y atomización para combustibles residuales, uno de los cuales aparece en el Curso de Combustión de Combustibles Pesados, editado por Petróleos del Perú, S.A., pag. 2.2.6 (Ref. 10).

Desde que los calentadores de succión son de fabricación estandar, resulta práctico recurrir a las fórmulas simplificadas que involucran el coeficiente de transferencia de calor y la diferencia de temperatura media, aplicables a los materiales de fabricación, al combustible residual y vapor como medio calefactor.

Así en el Manual de la Kewanee-Ross Corporation, encontramos el método de selección de un calentador de succión, como sigue:

- 1) Se determina la superficie de transferencia de calor A_o :

$$A_o = \frac{Q}{K}$$

En donde:

K = factor de transferencia de calor

Q = flujo en galones/hora de combustible.

K se halla en la Tabla 1 conociendo la presión del vapor y las temperaturas inicial y final del residual.

- 2) La cantidad de vapor requerida en libras/hora, se halla según:

$$\dot{m}_v = \frac{Q \cdot \Delta T}{260}$$

En donde:

\dot{m}_v = masa de vapor en lb/hora

ΔT = temperatura final menos temperatura ambiental ($^{\circ}F$)

Tabla No. 1 Valores de K, en galones/hora por pie cuadrado
(Combustible residual No. 6, con máxima caída de presión de 4 pies de líquido y viscosidad máxima de 300 SSF a 122 $^{\circ}F$)

Presión de vapor en lb/pulg ²	Temp. Final $^{\circ}F$	Temperatura inicial $^{\circ}F$			
		40	60	80	100
5	80	12.6	24.7	-	-
	100	8.7	12.3	24.0	-
	125	5.8	7.1	9.5	16.4
	150	3.96	4.65	5.65	7.7
25	80	17.6	34.2	-	-
	100	11.6	17.1	34.0	-
	125	7.8	10.2	14.5	25.8
	150	6.0	7.25	9.2	12.6
75	80	27.1	54.0	-	-
	100	18.0	27.0	53.5	-
	125	12.0	16.8	24.0	42.2
	150	10.0	12.2	15.5	20.6

Valores tomados del Manual de la Kewanee-Ross Corp.

De otro lado la tubería de conducción de combustible, debe ser forrada con material aislante térmico, para evitar pérdida de calor. El cálculo del espesor mas económico se basa en el propuesto por la Federal Energy Administration -USA- en el Conservation Paper No. 46, (11), y que consta:

- 1) Costo del calor durante la vida útil del proyecto y que es la suma de:
 - Costo del combustible requerido para producir el calor;
 - Costo de la infraestructura, como caldero, edificio. Se estima, con error neglegible, un US\$ 20/MMBTU.
- 2) Pérdida de calor, como costo anual.
- 3) Costo del aislamiento instalado.
- 4) Resistencia térmica de la chaqueta y el valor de la conductividad del aislante.
- 5) Curvas para diámetros de tubería de 36 pulgadas hasta 1/2 pulgada.

El método arriba indicado reemplaza al método costo del aislamiento instalado versus costo del calor perdido, y, costo total cuya pendiente cero indicaba el espesor más económico.

2.3.5.3 Consideraciones derivadas

Conocidas la longitud y restricciones de la línea de conducción de combustible, las características

físicas de este último, la capacidad del quemador, se pueden precisar:

- Volumen del tanque diario.
- Capacidad y presión de descarga de la bomba de transferencia.
- Diámetro de la tubería de conducción, mínimo 3 pulgadas.
- Accesorios.

2.3.6 Tratamiento

El uso de combustibles residuales sin tratar puede causar corrosión y ensuciamiento, que es de importancia en turbinas de gas y motores de combustión interna.

El tratamiento consta de:

- 1) Lavado del combustible: se eliminan todos los componentes metálicos solubles en el agua (Na, K, Ca) y gran cantidad de material inorgánico.
- 2) Inhibición del vanadio: mediante compuestos de magnesio. La acción corrosiva del vanadio se evita, al formarse cenizas de vanadato de magnesio, que tienen una temperatura de fusión elevada.
- 3) Filtración: separa los óxidos sólidos, silicatos y otros compuestos no solubles en el agua, con la finalidad de evitar que obstruyan las bombas, tuberías, quemadores, etc.

Las propiedades físicas y químicas de un combustible así co

mo sus contaminantes, influyen directamente en los costos de inversión y de operación para el tratamiento.

2.3.6.1 Contaminantes

- 1) Trazas de metales, que actúan destruyendo la capa protectora de corrosión de las superficies calientes. Mediante el tratamiento se reduce sus efectos.

Metal	Límite ppm	Efecto en la Cámara de Combustión	Tipo de Tratamiento
Na+K	150	Corrosión a alta temperatura	Lavado
Mg	-	Forma depósitos	
Ca	10	Depósitos duros	Lavado en grado limitado
V*	1	Corrosión a alta temperatura	Con Mg
Pb	1	Corrosión a alta temperatura.	No hay uno económico.

* Cuando el nivel de vanadio es menor que 0.5 p.p.m. no requiere ser inhibido. El tratamiento del Pb es muy caro, por lo cual su contenido no debe pasar de 1 p.p.m. en el residual.

- 2) Viscosidad, afecta el costo de los equipos de lavado. Viscosidad mayor de 2000 SSU hace necesario el precalentamiento.
- 3) Gravedad específica, debe ser mayor la del combustible a fin de separarlo del agua después del lavado en el tratamiento centrífugo.
- 4) Agua y Sedimentos (BS&W), ambos son una medida de la suciedad y de la cantidad de materia extraña en el combustible. Cantidades muy grandes de BS&W pueden afectar al sistema de filtrado. Gene

ralmente se da un porcentaje de BS&W aceptable, pero es preferible tener el menor porcentaje posible.

- 5) Punto de inflamación, afecta a la planta de tratamiento y sus equipos. Cuando es menor de 160°F se requiere equipos a prueba de explosión.
- 6) Punto de escurrimiento, influye cuando es alto, lo que implica un incremento en las temperaturas de almacenamiento y la capacidad de calentadores de succión y líneas de transporte.

2.3.6.2 Clases de Tratamiento

Lavado del combustible

Consiste en eliminar los restos de metales solubles en el agua y material sólido presente en el combustible, con el contacto del combustible en agua y luego la separación de fases. Por lo general se agrega un desemulsificante que ayude a la separación de las fases. Puede ser:

Centrífugo. Un desalador centrífugo normalmente consta de tres partes: el equipo de agua, el equipo de lavado y el equipo desemulsificador.

El equipo de lavado incluye intercambiadores de calor, economizadores de calor, mezcladores y dispositivos de separación agua-aceite, filtros que separa los elementos ajenos al combustible, tal como madera y partículas metálicas.

Se inyecta agua a la entrada de un mezclador de varias etapas, el cual, debido a su diseño especial y a su baja velocidad, realiza la mezcla sin crear un esfuerzo cortante excesivo entre el agua y el combustible. Si existe un gran esfuerzo cortante se corre el peligro de que se forme una emulsión estable (a la temperatura de tratamiento).

La mezcla pasa a una centrífuga en donde se separa el agua del aceite.

El agua caliente, 210^oF, inyectada tiene un caudal de aproximadamente el 10% del caudal del combustible.

Los sistemas de centrifugación son de alto rendimiento. Con temperaturas adecuadas, al igual que un apropiado desémulsificante y una buena mezcla, se puede reducir el Na desde 150 p.p.m. hasta menos de 1 p.p.m. (para los combustibles pesados). También tiene capacidad para eliminar partículas inorgánicas.

Electrostático. El proceso de separación agua-aceite ocurre por medio de un campo electrostático, el cual hace que las partículas de agua coalescan.

Hay dos tipos de separadores electrostáticos conocidos:

- a) De corriente continua, muy eficiente cuando se emplean con combustibles ligeros de baja conduc-

tividad.

- b) De corriente alterna, usados con los combustibles pesados de alta conductividad.

Los sedimentos se eliminan por el agua efluente. En sistemas de etapas múltiples se usa un flujo de agua de lavado en contra-corriente, de manera que el agua fresca entra primero a la 2da. etapa y luego a la 1ra. El número de etapas depende de la cantidad inicial de Na en el combustible, la gravedad específica de éste y el nivel de Na deseado a la salida.

Los recipientes y receptáculos están hechos a prueba de presión, lo que permite que el combustible pueda tratarse a temperaturas más altas (300°F max.) bajando la viscosidad y ayudando a la separación; se pueden tratar combustibles más pesados sin necesidad de cambiar el sistema de salida.

Por lo general se puede esperar de un 85 a 90% de Na eliminado.

2.3.7 Control automático e instrumentación

2.3.7.1 Generalidades (Idea Conceptual)

En un sistema de combustión deben preverse dos circuitos de control. El primero para el control del circuito de la flama y para protección del personal y la seguridad de la cámara de combustión. El seguno

do para el control de la eficiencia de la transferencia de calor y para la protección del personal y seguridad de las instalaciones.

En toda instalación el primer circuito es mandatorio. El segundo depende de la clase de proceso industrial de que se trate. Por ejemplo si se trata de un generador de vapor, los dos circuitos son indispensables. Pero si se trata de un secador de harina de pescado, solamente sería indispensable el primer circuito.

En ambos casos la acción controladora actúa sobre una válvula de cierre rápido que detiene el flujo de combustible al quemador.

2.3.7.2 Variable de control - Circuito de la flama

Para el circuito de control de la flama, la variable a controlar es la llama de la combustión.

Esto se realiza mediante varios sistemas. Por medio de una foto-celda que mira constantemente la llama. Reacciona a las frecuencias irregulares de la llama. Pero permanece inalterable a las frecuencias regulares de la luz. Entonces, mantiene cerrado el circuito de combustión mientras percibe frecuencias irregulares de la luz de la llama. Cuando la llama se apaga, deja de percibir esas frecuencias y abre el circuito. Puede suceder que las paredes de la cámara

ra de combustión estén incandescentes. En este caso emiten luz pero de una frecuencia regular.

Otro sistema es mantener una varilla metálica en contacto con la llama. El calor de la combustión eleva la temperatura de la varilla hasta un punto que permite cerrar el circuito de combustión.

Es evidente que al inicio de las operaciones, al no haber llama, el circuito de la fotocelda o varilla metálica, se mantendrá abierto. Esta circunstancia se obvia con un sub-circuito que elude la acción de la fotocelda. Tener presente que una fotocelda detecta llama de combustibles líquidos de petróleo. A veces se requiere una fotocelda para la llama de petróleo; y, una celda de sulfuro de plomo, para detectar la llama de gas.

2.3.7.3 Variable de control - Circuito de transferencia de calor

La variable de control dependerá de la aplicación de que se trata:

2.3.7.3.1 La energía del combustible se utiliza para una transferencia indirecta de calor. En este caso tenemos los generadores de vapor, los hornos de tratamiento térmico y calentadores de agua.

- 1) Generadores de vapor.- Normalmente la variable de la eficiencia de la transferencia de calor

es la presión de vapor. La acción del controlador opera la válvula de alimentación de combustible, regulando el flujo inversamente proporcional a la presión de vapor.

El circuito de protección incluye cierre de la válvula de suministro de combustible por:

- Bajo nivel de agua
- Apertura accidental de la puerta del quemador
- Alta presión de vapor
- Baja presión aire de combustión y/o de combustible.

2) Calentador de agua.- Igual que un generador de vapor, excepto que la temperatura es la variable de control.

3) Hornos de tratamiento térmico.- La variable de control es la temperatura del horno. Generalmente un pirómetro.

4) Hornos de cracking.- Las variables son temperatura, nivel y presión.

2.3.7.3.2 En aplicaciones en las que hay una transferencia directa de calor, tenemos:

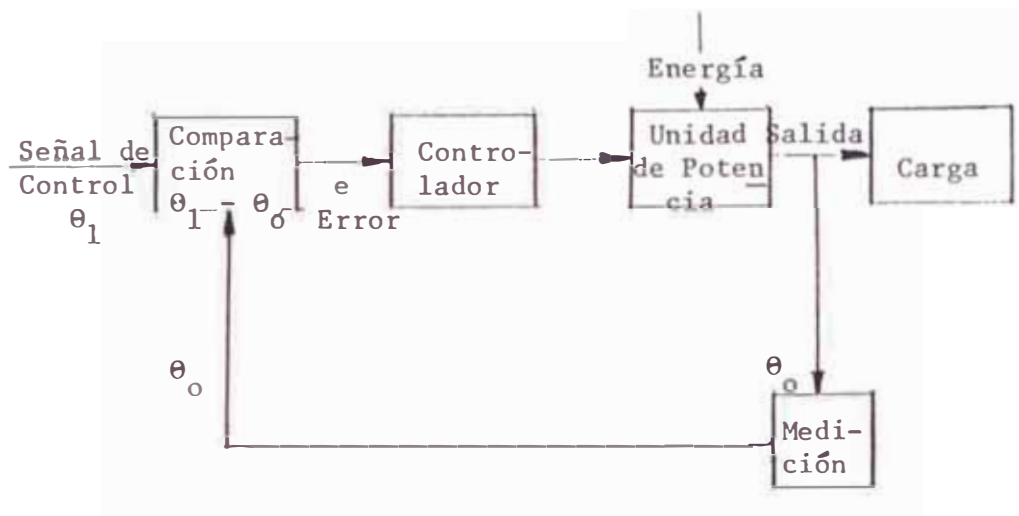
1) Hornos de hogar abierto, como las fundiciones.
En este caso se controla la temperatura y consistencia de la llama. Lo indicado son los pi-

rómetros (infrarrojos, color o micro-ondas).

- 2) Turbinas de gas.- En este caso la variable de control es la velocidad. Los sistemas de protección incluyen temperaturas de cojinetes, cajas reductoras o chimenea, aceite lubricante. Vibración. Presión del flujo de combustible, del aire de combustión y del lubricante.

2.3.7.4 Instrumentación

Los instrumentos y elementos finales de control se seleccionaron a partir del circuito elemental de control:



Aplicando la definición de Ahrendt (Mark's, pag. 16-25) (12):

"Un circuito cerrado de control de retroalimentación es una operación que, en la presencia de una influencia perturbadora, tiende a reducir la diferencia entre el estado real de un sistema y un estado deseado que puede variar arbitrariamente, y que, lo

hace sobre la base de esta diferencia".

A cada una de las partes de la Planta Piloto, tendremos los instrumentos y elementos finales de control de la Planta; así tenemos:

- 1) Los tanques de almacenamiento y de diario, tendrán controles de nivel para mantener disponibilidad de combustible; proteger al sistema de derrames de combustible o que las bombas de transferencia y/o alimentación trabajen en vacío;
- 2) El control del flujo, medida del gasto y registro, del combustible y aire de combustión;
- 3) El control de la operación del quemador y de los elementos de seguridad y protección.

Los elementos finales de control, válvulas de control, del tipo globo y mariposa; se han calculado por el método del coeficiente de velocidad (C_v).

Los elementos de medida (temperatura, presión, nivel), sean para control o indicación, se han seleccionado de acuerdo a los intervalos de la variable a medir.

CAPITULO 3.0 SELECCION DEL EQUIPO PARA LA PLANTA PILOTO

3.1 Generalidades

La selección del equipo para los propósitos de la Planta Piloto, debe ser del tamaño y tipo, que permita flexibilidad; los resultados que se obtengan deben poderse reproducir a escala industrial; los datos relativos a temperaturas, presiones, consumos, niveles, deben ser medidos por instrumentos de precisión.

Como quiera que no se tiene experiencia previa en el país sobre una planta piloto de combustión, se anticipa que podría haber modificaciones como consecuencia de la aplicación del concepto prueba-error-modificación; así como cuando lo requiera la prueba de combustibles cuyas características sean de naturaleza diferente a los que sirvieron para la selección original.

El proceso de la planta piloto se inicia con el almacenamiento y manipuleo de combustible; luego el tratamiento de los petróleos crudo y residual; el sistema de combustión que comprende la bomba de alimentación, quemador; circuitos de protección y la cámara de combustión; y el control automático de la combustión.

De otro lado están los posibles resultados que se pueden obtener de la operación de la planta piloto, cuya ubicación y plano de distribución se incluyen.

Lo que sigue es la descripción de cada uno de los sistemas componentes de la planta piloto.

3.2 Almacenamiento y manipuleo de combustibles

3.2.1 Crudo y Residual

3.2.1.1 Almacenamiento

El crudo viene en viscosidades que varían grandemente (1638 á 92 cst. á 50°C). Los residuales son por naturaleza de alta viscosidad. A temperatura ambiente los combustibles de alta viscosidad, no se pueden bombear con facilidad. Por lo tanto es necesario bajar su viscosidad calentándolo hasta una temperatura óptima. Para llegar a esa temperatura usaremos un calentador de succión Ross CS-1, instalado en el tanque de almacenamiento. El calentador de succión permite un ahorro de energía. En efecto se calienta solamente el volumen que está dentro del calentador de succión. No todo el combustible contenido en el tanque. Véase la Fig. N° 1, DIAGRAMA DE FLUJO-ALMACENAMIENTO Y MANIPULEO.

La tubería tiene que tener calefacción a lo largo de su longitud.

El medio calefactor será vapor de agua a una presión entre 4 y 8 Kg/cm². El control de la temperatura del combustible se hará mediante un regulador de temperatura RT-1. Completo con sus respectivos filtros, trampas y accesorios.

Consideración aparte merece el tanque diario. E-

xisten dos posibilidades, 1) Que se use el mismo combustible, crudo o residual, durante el arranque y la parada. En cuyo caso al final de la operación queda residual o crudo en el tanque diario.

2) Que se use combustible destilado que inicie y finalice el proceso de la combustión. En este caso al final de la operación queda destilado en el tanque diario.

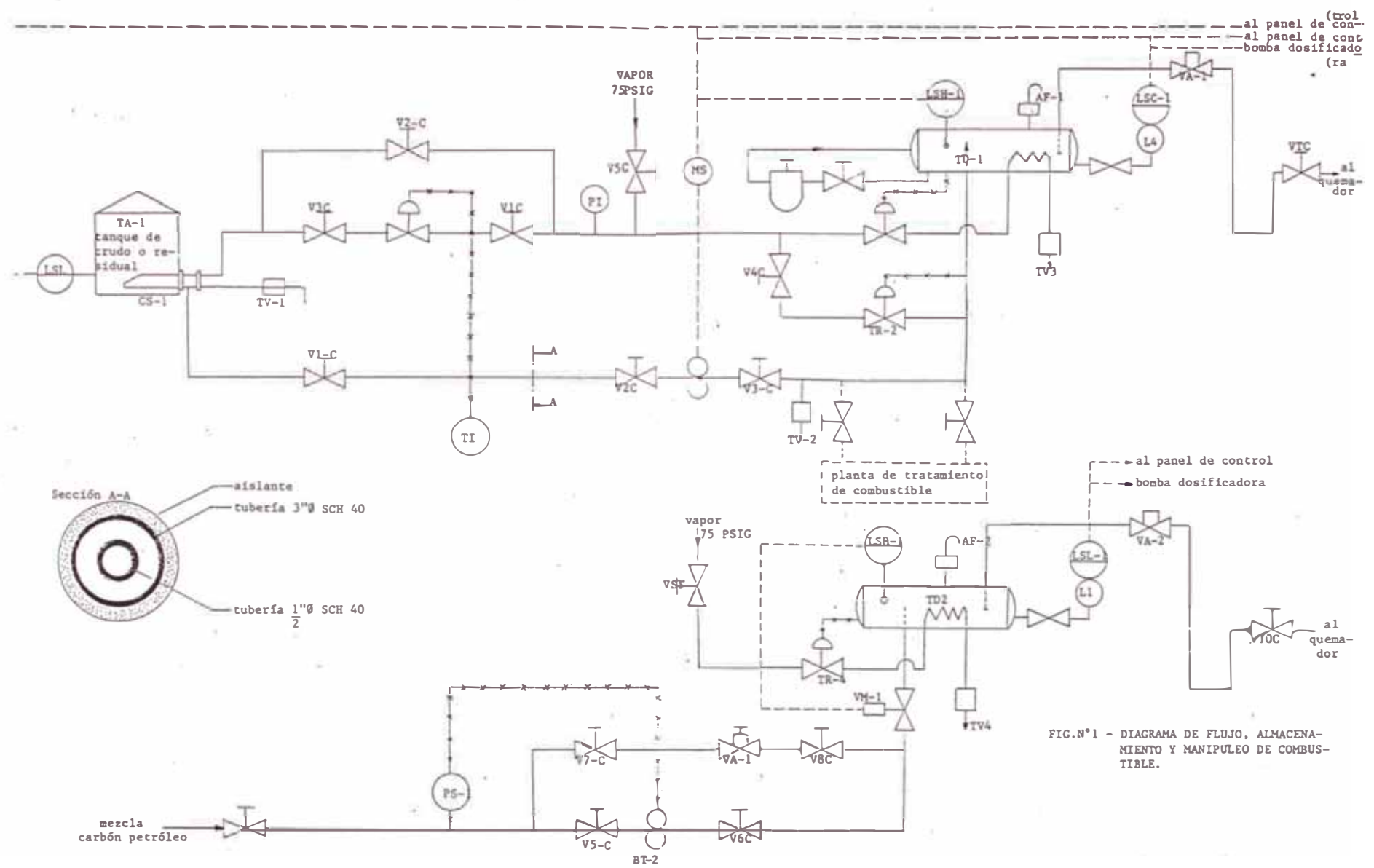


FIG. N°1 - DIAGRAMA DE FLUJO, ALMACENAMIENTO Y MANIPULEO DE COMBUSTIBLE.

En la primera posibilidad, se puede usar calefacción eléctrica o calefacción a vapor. En este último caso el vapor debe estar disponible. Pero no siempre hay disponibilidad de vapor al inicio de las labores en una planta real. Consecuentemente es necesario tener calefacción eléctrica mientras se levanta presión.

En la segunda posibilidad un combustible destilado inicia y finaliza el proceso de combustión. La combustión del destilado inicia la producción de vapor. Luego se hace el cambio a crudo o a residual. Esta alternativa es mandatoria cuando la presión Reid del crudo o residual es á 2 psig.

En el caso presente usaremos la calefacción a vapor en razón de estar disponible. El calentador tendrá un regulador de temperatura de protección contra sobrecalentamiento. No obstante se instalará también el sistema de arranque y parada de la combustión con destilado. Este sistema es para cuando entre en operación el uso de la mezcla carbón-petróleo.

La bomba de transferencia de combustible o residual será de desplazamiento positivo a engranajes.

3.2.1.2 Manipuleo

Es necesario mantener caliente la tubería de com-

bustible. Esto mantendrá la fluidez del crudo-residual tanto en operación como en el arranque en frío. El método de calentamiento puede ser por dentro de la tubería o por fuera de ella. Seleccionamos el calentamiento interno por ser económico y de máximo aprovechamiento de la energía.

El calentamiento interno se realizará con vapor. Usamos tubería de acero instalada interna y longitudinalmente. En cada tramo se soldarán soportes entre la tubería de combustible y la de vapor. Para mantener centrada esta última con respecto de la primera. La tubería de combustible tendrá aislamiento externo, cuyo espesor se ha calculado para la máxima eficiencia. Un regulador de temperatura TR-2, controlará el calentamiento del combustible.

3.2.1.3 Instrumentos de protección

Los tanques de almacenamiento, TA-1 y diario TD-1, tendrán los siguientes instrumentos:

- Un controlador de nivel en el tanque TA-1 actuará sobre la bomba de transferencia, BT-1. La detendrá por bajo nivel de combustible en el tanque TA-1 para evitar que la bomba funcione en seco.
- El tanque diario tendrá un controlador LSL por bajo nivel de combustible de acción en cascada.

La primera señal actuará sobre la bomba B-1, poniéndola en marcha. Si el nivel sigue bajando, una segunda señal actuará sobre la bomba dosificadora BD-1 deteniéndola. Esta es una medida de doble protección. Evita que la bomba dosificadora, que usa el combustible como lubricante, trabaje en seco. Al mismo tiempo se inician las operaciones para detener la combustión. Sonará una señal de alarma; y una luz se encenderá en el panel de control.

El tanque diario además tiene un arrestor de llama para protección.

Se completa el tanque diario con indicadores y un filtro de triple función, centrífugo, coalescedor y elemento filtrante, F-1. Este filtro recirculará el destilado.

3.2.2 Mezcla Carbón - Petróleo (MCP)

Las características finales del combustible MCP, aún no están disponibles. No obstante, la División Manufactura construirá una Planta Piloto para experimentar con la MCP. Entre otros aspectos contemplará el manipuleo de la MCP; esto es, almacenamiento y bombeo. En consecuencia, la Planta Piloto de Combustión, contempla únicamente el circuito que se inicia con la recepción. Este circuito incluye: Tubería de recepción, bomba de transferencia, tanque

diario, sistema de combustión y sistema de control, tal como se observa en la Fig. N° 1.

3.2.2.1 Manipuleo

La mezcla MCP, por contener carbón pulverizado, es más viscosa que el residual base. Tiene que ser calentada para un fácil bombeo. Si la mezcla está inmóvil en el tanque diario, puede haber precipitación de carbón. Es necesario mantener la mezcla en constante movimiento.

El carbón tiene un alto contenido de azufre, potencialmente corrosivo, (como ácido sulfúrico y/o sulfhídrico). El carbón es abrasivo. Por lo tanto el material de los equipos tendrá que tener propiedades anticorrosivas y antiabrasivas.

El tanque diario y las tuberías deben tener calefacción, para mantener la temperatura de bombeo.

3.2.2.2 Sistema de recirculación

La bomba de transferencia de la MCP, será del tipo de cavidad progresiva. Hecha de material resistente a la abrasión y a la corrosión.

El tanque diario tendrá un controlador de

nivel LSH, actuará por alto nivel de la mezcla, sobre la válvula magnética VM-1, cerrándola. La acción anterior incrementará la presión en la tubería. Se reinstalará el equilibrio de presiones al abrirse la válvula de alivio VA-1. Esto permite que la mezcla recircule en tanto no haya consumo.

El sistema de agitación en el tanque diario, si fuera necesario lo especificará la División Manufactura.

3.2.2.3 Tanque diario

El calentamiento se hará mediante un serpentín de vapor, instalado en el fondo del tanque. Un regulador de temperatura, TR-4, controlará la temperatura del combustible en el tanque diario.

Como protección el tanque diario tendrá lo siguiente:

1. Arrestor de flama
2. Interruptor por bajo nivel de combustible.

Actuará sobre la bomba dosificadora del quemador, deteniéndola. Paralelamente se iniciarán las secuencias para detener el proceso de la combustión. Una alarma sonará en el panel y se encenderá una luz roja.

La tubería de combustible no requerirá calentamiento, por las siguientes razones:

- a.- Es corto el tramo de la tubería entre el tanque diario y el quemador principal;
- b.- El tanque diario tiene calefacción;
- c.- El quemador tiene un calentador de combustible para alcanzar la temperatura de atomización.

3.2.3 Especificación del Material y Equipo

Sistema de Almacenamiento y Manipuleo.

- | | |
|------|--|
| TA-1 | Tanque de almacenamiento. Capacidad nominal 5000 gal. Construcción de acuerdo a norma API Standard 650, Julio 73. |
| CS-1 | Calentador de succión Ross.- TS-808. Con 49 pies cuadrados superficie de calentamiento. Día. Total de 8 5/8". Long. Total 6'11 1/2". Entrada vapor de 2"Ø. Salida condensado 1 1/4"Ø. Salida petróleo, 2 "Ø. |
| TR-1 | Regulador de temperatura, tubería de transferencia.- Válvula de globo, de simple asiento; C ₁ de 36.2; con guía superior. C _S = 11.4; C _V = 6.27; 1/2 " Ø. |
| FV-1 | Filtro de vapor aguas arriba del regulador de temperatura, RT-1 1/2 "Ø. |
| TV-1 | Trampa de vapor aguas abajo del calentador, |

- SH-1 1/2 "Ø. Clark tipo flotador o similar.
- TD-1 Tanque diario. Capacidad nominal 420 gal. construido de acuerdo a norma API Standard 650, Julio 73.
- SC-1 Serpentín de calentamiento del tanque diario. Tubería de cobre, de 3/4" Dia.; longitud total 24 pies. Longitud calentamiento 23 pies.
- TR-2 Regulador de temperatura de la tubería. Similar a TR-1.
- TR-3 Regulador de temperatura del tanque diario. Similar a TR-1.
- BT-1 Bomba de transferencia de combustible del tanque de almacenamiento al tanque diario. Desplazamiento positivo. 3 gpm. Motor 1.5 hp, 1750 rpm, TEFC; 3f, 220V, 60Hz. A prueba de explosión.
- FC-1 Filtro de combustible para protección de la bomba BT-1; 3"Ø. Canastilla de acero inoxidable.
- ISL-1 Interruptor de bajo nivel, tanque TA-1 (Level Switch-Low) actuado por diagrama, Bin-Dicator Co., o similar.
- LSC-1 Interruptor de bajo nivel en cascada, tanque diario TD-1. Alternativa 1.- Actuado por diafragma, Bin-Dicator Co. por dos instrumentos. Alternativa 2.- McDonell,

- Interrupor en cascada, operado por mercurio.
- LSH-1 Interrupor de alto nivel. Actúa sobre la bomba de combustible. Actuado por diafragma. Bin-Dicator Co. o similar.
- AF-1 Arrestor de flama, tanque diario para protección.
- LI-1 Indicador de nivel, adjunto al LSC-1, tanque diario. Tipo hidrostático directo, con dial indicador.
- FR-1 Filtro centrífugo, coalescedor y elemento micrónico. Recirculará el destilado. Racort 200 FG, 0.53 gpm. Racor Industries Inc.
- TV-2 Trampa de vapor línea calefactora tubería. Clark tipo flotador 1/2".
- TV-3 Trampa de vapor. Serpentín calentador tanque diario. Clark tipo flotador 1/2" o similar.
- V1 á V5 Válvulas de compuerta, línea de vapor. 1/2"Ø.
- V1C á V4C Válvulas de compuerta, línea de combustible 3"Ø (Gate Valve)
- Tubería de 3" Dia. Schedule 40. Acero
- Aislamiento: Cañuelas para tuberías. Marca Fiberglass. Dia. tubería 3" Dia. Espesor cañuela 1 pulgada.
- Circuito de la MCP.

- BT-2 Bomba de cavidad progresiva. Material resistente a la abrasión. Sellos cerámicos, pines de carbide y engranajes endurecidos. 3 gpm. Motor 1.5 hp., 1750 rpm. TEFC. 3f.220V, 60 Hz. A prueba de explosión.
- VM-1 Válvula solenoide. Energizada está normalmente abierta. Cierra cuando se le de-energiza. Tanque diario TD-2. Mercoid o similar. 3"Ø. 220V; en línea con arrancador motor bomba BT-2.
- LSH-2 Interruptor de alto nivel. Tanque diario TD-2, alto nivel, energiza una válvula solenoide. Actuado por diafragma, Bin-Dicator Co., o similar.
- VA-1 Válvula de alivio VA-1 que permite que la mezcla recircule por alta presión. Tipo resorte. Enterprise combustión equip. o similar. (Fisher 98H) 2"Ø.
- PS-1 Interruptor de presión. Bail Manufacturing Co. Modelo 3005-B.
- SC-2 Serpentín de Calentamiento, tanque diario. TD2. Tubería de cobre de 3/4" Dia. Longitud total 24 pies. Longitud calentamiento 23 pies.
- TR-4 Regulador de temperatura, tanque diario TD-2. Similar TR-1.
- TV-3 Trampa de vapor, serpentín tanque diario,

	1/2" Dia. Clark tipo flotador o similar.
V5 C á V10 C	Válvula de compuerta.
FA-2	Arrestor de flama.
LSL-2 LI	Interrupor por bajo nivel del tanque. Actuará en la bomba dosificadora y en la secuencia de parada del quemador. Actuado por diafragma. Bin-Dicator Co. Indicador de dial.
LI-2	Indicador de nivel, adjunto al LSL-2, tan que diario. Tipo hidrostático directo, con dial indicador.

3.3 Tratamiento de crudo y residuales

3.3.1 Generalidades

Existen problemas de corrosión-deposición en los pasajes por donde fluyen los gases de la combustión. Sea que se utilicen petróleos residuales, crudos o MCP. Esos problemas son una función de la temperatura de operación, en cualquier sistema de combustión. Si la temperatura se incrementa a niveles mayores de 1200°F; y si se usa el combustible sin tratamiento; nos encontraremos con problemas de corrosión-deposición.

En turbinas de gas, por ejemplo, los productos de la combustión tienen contacto directo con las paletas. Esto requiere un combustible cuyos gases de combustión estén libres de cenizas corrosivas o que se depositen. Adicionalmente, que los residuos sólidos sean lo suficiente pequeños para no causar erosión.

Los contaminantes que causan corrosión, deposición y erosión, son:

Sodio.- En forma de sales.- En solución en el agua de formación, o adquirido en el transporte.

Potasio.- En forma de sales-En solución en el agua de formación, o adquirido en el transporte.

Azufre.-En forma de SO_3 y SO_4 -Algunas veces aparece como azufre elemental. Generalmente como tiofeno y sus derivados. Estos últimos solubles en el crudo.

Vanadio - Como $V_2 O_5$ -Soluble en el crudo y en los destilados y residuales.

Plomo - Como PbO -Presente en algunos crudos, aunque no en cantidades apreciables.

Sedimentos -Compuestos por materia orgánica e inorgánica.

Agua - En gastos y en emulsión. -Principalmente agua de formación. También se contamina en los tanques y el tratamiento.

Hierro - Como óxidos -Principalmente por la corrosión de tanques y tuberías.

Otros, como asfálticos, resinas, asfaltenos, ceras cristalizadas.

3.3.2 Métodos de Tratamiento

El objeto del tratamiento es remover o hacer inofensivos los contaminantes en el combustible.

La eliminación de los contaminantes se puede hacer por dos métodos. Tratamiento por lavado del combustible y centrifugación. El otro método es por lavado y coalescencia electrostática. Este último tratamiento tiene una seria limitación. Solamente remueve los contaminantes que son solubles en el agua. Aquellos como el óxido de hierro, que no es soluble, no podrá ser removido.

La limitación del tratamiento centrífugo es aquella por la cual los contaminantes deben tener una gravedad específica, mayor que la del combustible. La gravedad específica del combustible deberá ser menor que la del agua. Sin embargo, no es una limitación insalvable. En efecto si la gravedad específica del combustible es igual o mayor que la del agua, se le puede rebajar mediante una mezcla con destilados ligeros. Hemos seleccionado para nuestra Planta Piloto, el tratamiento centrífugo.

Hay contaminantes que no pueden removerse por el proceso electrostático ni por el centrífugo. Ejemplo es el Vanadio, que es soluble en el petróleo. En este caso se les hace inofensivos con aditivos químicos, para inhibir la acción corrosiva del Vanadio.

En nuestro caso tendremos una bomba dosificadora del aditivo para inhibir la acción corrosiva del Vanadio.

El agua en el combustible viene formando emulsiones. También se forman emulsiones con el agua con que se lava el combustible. Para romper las emulsiones, se dosificará con un agente desemulsificante.

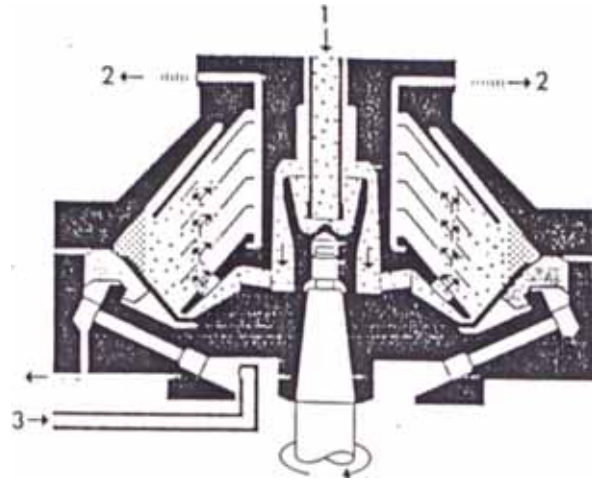
3.3.3 Descripción del Proceso Centrífugo

La centrífuga deberá actuar como una purificadora o con centradora. Su campo de aplicación estará en las labores de Investigación y Desarrollo a escala de Planta Piloto. La centrífuga tendrá velocidad variable para poder tratar diferentes clases de combustibles. Los datos que se obtengan se usarán para calcular la performance de unidades a escala industrial.

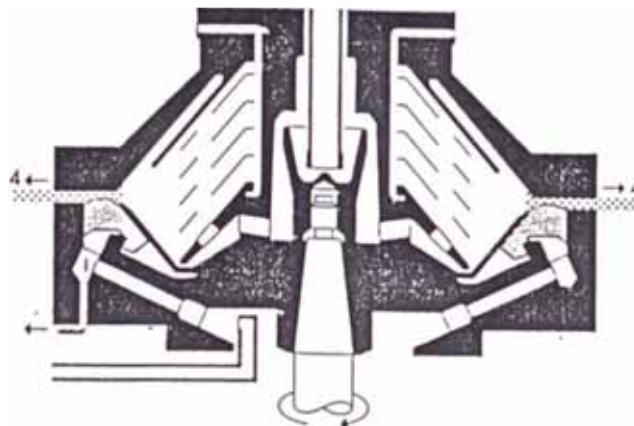
La Fig. N° 2 muestra la acción purificadora de la centrífuga. Las láminas cónicas permiten que por su superficie resbalen las partículas que se separan del líquido. Esta separación ocurre por la fuerza centrífuga a que se somete al combustible. La fuerza centrífuga se genera por un movimiento rotacional de alta velocidad.

La separación tiene lugar dentro de una taza del tipo de eyección de sólidos. Esto último significa que los sólidos separados se eyectan fuera de la taza en forma continua. La descarga de los sólidos se regula por medio de agua.

El combustible se alimenta a la taza por la parte superior a través de una tubería central. Al aplicarle una alta



(a)



(b)

FIG.Nº 2. Acción purificadora de una centrífuga:

(a) Fase de purificación

1. Alimentación (líquido a purificar)
2. Salida del líquido purificado.
3. Flujo continuo de agua de operación.

(b) Fase de eyección de sólidos

4. Salida de sedimentos.

velocidad rotacional se fuerza al combustible a través de las láminas cónicas. En este lugar es donde ocurre la separación de las fases.

La fase sólida, siendo mas pesada, se deposita en los espacios previstos para este fin. Estos espacios se encuentran a la altura del máximo diámetro de la taza.

Cuando funciona como purificador/concentrador, el combustible se separa en fases pesadas y ligeras.

Ambas fases salen por la parte superior, por dos salidas separadas.

El agente desemulsificante se agrega junto con el agua de lavado antes de que el combustible ingrese a la centrífuga. El inhibidor de Vanadio se agrega en el combustible tratado, a la salida de la centrífuga.

El combustible se calienta previo a su entrada al separador.

3.4 Sistema de combustión

3.4.1 Petróleo Residual o Crudo

3.4.1.1 Descripción del circuito

El diagrama de flujo de la Fig. N° 3 se inicia en un filtro de combustible, FC-2 para protección de la bomba de alimentación, BA1. Esta bomba es de desplazamiento positivo y su capacidad es de 30 gph. Resistente a la corrosión y a la abrasión.

Una válvula, VC-1 con posicionador integrado, controla el flujo de combustible de acuerdo a la demanda. El exceso de combustible retorna al tanque diario, a través de una válvula de alivio V1-2.

La relación aire combustible, se establece manualmente en el panel de control. Un controlador ajusta automáticamente la razón aire/combustible bajo cualquier carga.

En la línea de combustible se instalará un transmisor de flujo del tipo placa de orificio. En el panel de control un registrador y un indicador digital registran el flujo e indicarán el flujo instantáneo de petróleo, respectivamente.

Un calentador eléctrico CE-1, lleva la temperatura del combustible hasta la temperatura de atomización. Par conseguirlo cuenta con un termostato de dos posiciones que actúa en su rango de + 5°C. Un transmisor de temperatura permite registrar las temperaturas del combustible, en el panel de control.

El quemador principal es del tipo que atomiza el combustible con aire a presión.

El aire para la combustión lo provee un ventilador de tiro forzado. Una válvula reguladora VC-

2, controla el flujo de aire de combustión. Lo ha ce de acuerdo a la cantidad y características del combustible. El aire para la atomización lo suministra un compresor CR-1. El flujo del aire de atomización lo controla la válvula VC-3.

Un medidor de flujo, del tipo placa de orificio, se instalará en la línea de aire. En el panel de control se registrará el flujo; y un indicador permitirá conocer el flujo instantáneo, así como el acumulado durante un tiempo determinado.

Para el encendido se usará gas propano. Una chispa encenderá el gas. La chispa se genera en una bujía por la aplicación de alto voltaje de un transformador, TI-1. La salida del transformador está a 12,000 voltios.

3.4.1.2 Circuito de protección

El sistema de protección impide que se produzcan explosiones dentro de la cámara de combustión. Estas explosiones las causa la presencia de combustible líquido, que se enciende, instantáneamente. La combustión instantánea de unos centímetros cúbicos de petróleo, podría causar la destrucción de la cámara.

El circuito de protección del Sistema de Combustión tiene los siguientes elementos:

- 1.- Interruptor de presión de los flujos de petróleo y gas.
- 2.- Interruptor por falla de corriente eléctrica en el transformador de alto voltaje.
- 3.- Sensor de la flama del quemador principal. Es una célula fotoeléctrica que solamente detecta llama de combustible. No detecta la radiación que emite la incandescencia de la pared opuesta de la cámara de combustión.
- 4.- Relé de Protección. Es el equipo central en donde se reciben las señales de peligro de los tres elementos mas arriba descritos. Envía las señales de protección a las válvulas solenoide. A continuación una explicación más detallada del Relé de Protección.

3.4.1.3 El Relé de Protección o Programador

Su misión principal es cortar instantáneamente el suministro de combustible al quemador. Actúa sobre dos válvulas solenoide. Una está ubicada, la VS-1, inmediatamente antes, aguas arriba, del quemador. Al recibir la señal del Relé de Protección, se deenergiza y cierra el suministro de petróleo. La segunda solenoide, VS-2, está situada en la línea de gas propano. La misma señal enviada a la solenoide de petróleo, deenergiza la solenoide VS-2 y cierra el suministro de gas propano.

Las causas para cerrar el suministro de petróleo y gas, son:

- Caída de presión en las líneas de combustible y/o aire. Esta caída la detectan los interruptores de presión. Son dos. Uno instalado en la línea de, petróleo, el otro en la línea de aire. Tiene sensores que miden continuamente la presión del fluido. Cuando esta presión cae, el interruptor envía una señal al Relé, quien a su vez deenergiza las solenoides VS-1 y VS-2.
- Falla del transformador de alto voltaje. Significa ausencia de corriente eléctrica a la bujía de encendido del quemador piloto. El Relé capta la señal y deenergiza las válvulas solenoide.
- Ausencia de flama. Si la llama del quemador principal se apaga el conjunto célula foto eléctrica detecta la anormalidad. La célula envía una señal al Relé y éste deenergiza las solenoide.

3.4.1.4 Cámara de combustión

La apropiada construcción de la cámara de combustión es de la máxima importancia. La cámara de combustión realiza 3 funciones principales:

- 1.- Prové volumen suficiente para la atomiza

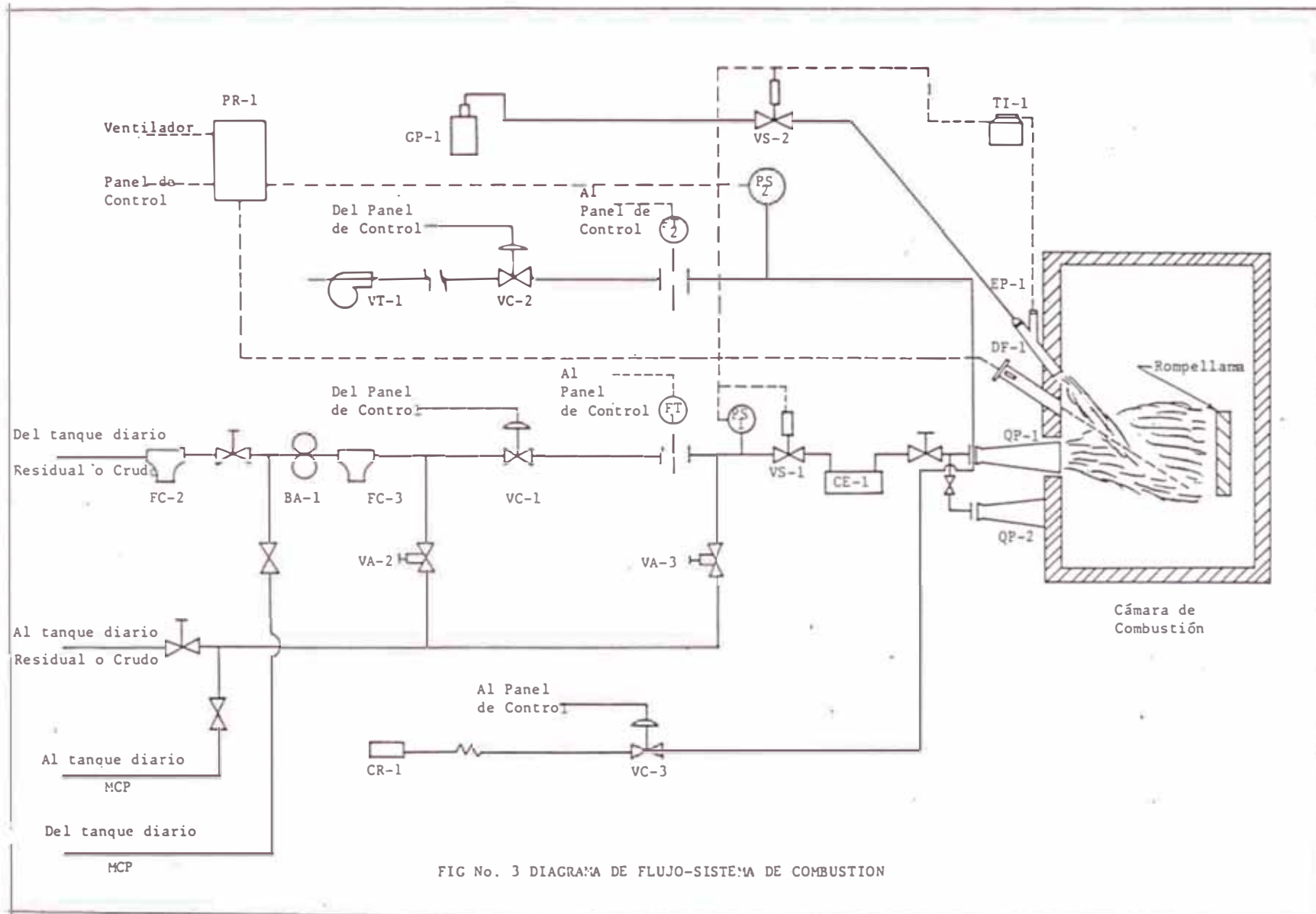


FIG No. 3 DIAGRAMA DE FLUJO-SISTEMA DE COMBUSTION

ción del combustible. Así como superficies con alta temperatura para reflejar calor radiante en el chorro de combustible. El cual debe estar finamente atomizado.

- 2.- Permite la admisión controlada de aire secundario para completar la combustión.
- 3.- Proteger las superficies de la misma cámara del fuego directo.

En general, la forma y tamaño de la cámara de combustión debe conformar la forma y tamaño de la llama. Por lo tanto, antes de construir la cámara, tenemos que saber las características de los quemadores y éstos deben poder ajustar la longitud y ancho de la llama. La cámara deberá ser tan pequeña como sea posible. Pero teniendo en cuenta que una cámara de combustión inadecuadamente dimensionada dará problemas. El combustible no quemado y adherido a las paredes formará carbón y resultará en una pobre eficiencia.

En nuestro caso dimensionaremos una cámara de combustión para quemar 25 galones/hora de combustible. Como la capacidad máxima de nuestros quemadores es de 30 galones/hora, podremos realizar las siguientes experiencias:

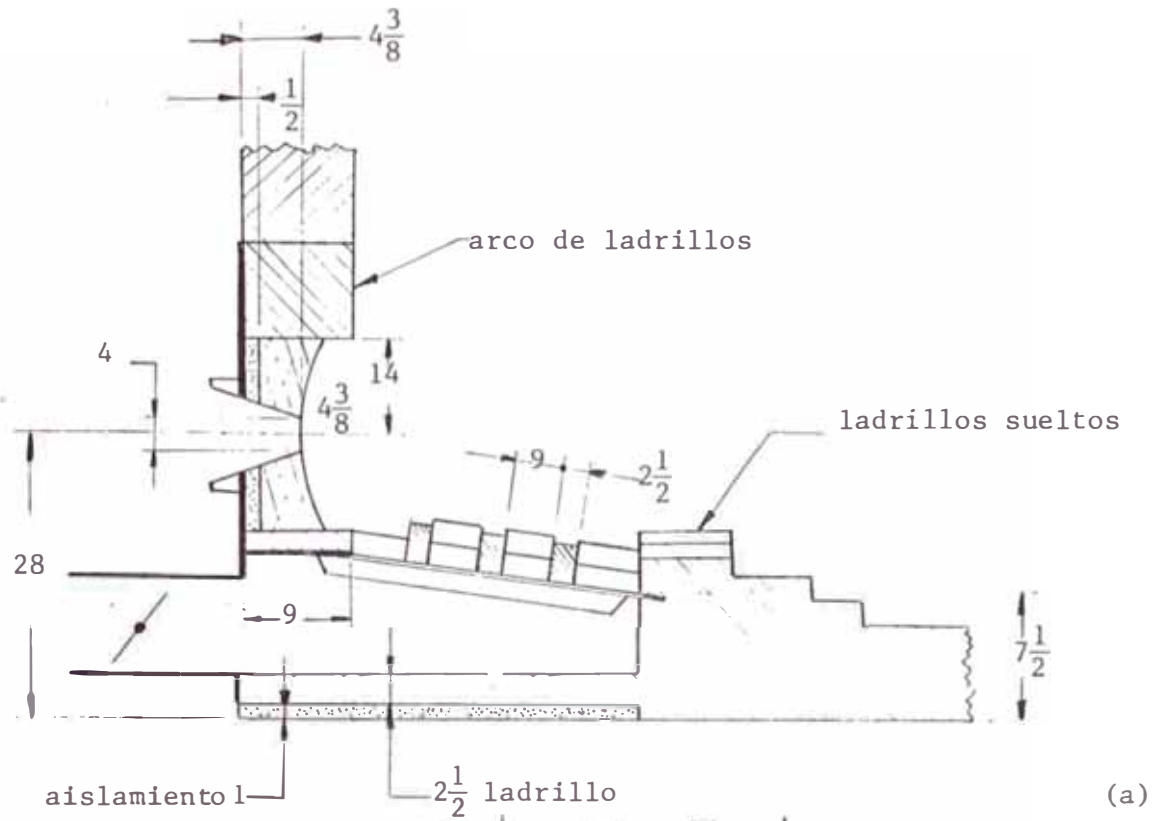
- Efecto de una cámara de combustión subdimensionada, cuando se opera á 30 gph.
- Efecto de una cámara de combustión sobre dimensionada, cuando se opera a menos de 20 gph.

La Fig. N° 4 muestra esquemáticamente la cámara de combustión. La sección (a) es un corte de la cámara. Podemos apreciar el perfil de la parrilla de distribución del aire secundario. Esta parrilla está hecha de acero, ladrillo y plástico refractorio. La sección (b) nos muestra una vista superior de esta parrilla.

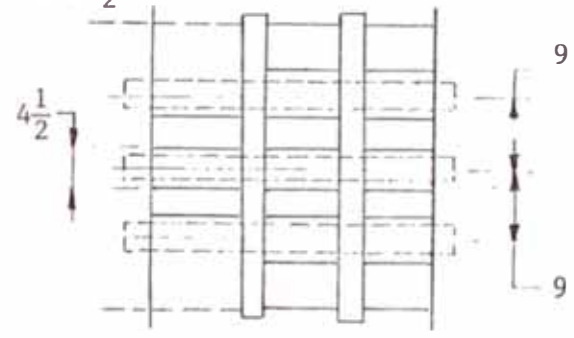
La sección (c) nos da las dimensiones generales de la cámara de combustión. También muestra la ubicación de los quemadores. Cuando a parece un quemador; la puerta de admisión del otro, se protegerá con una plancha de hierro.

Las dimensiones que se consignan son referenciales. Las mismas se ratificarán o modificarán de acuerdo a lo indicado por el fabricante del quemador.

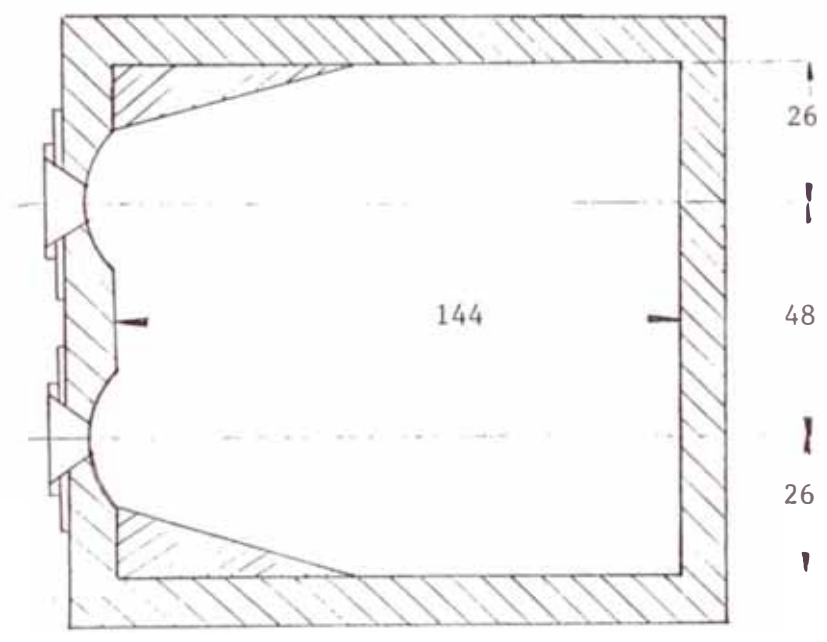
El cálculo de las dimensiones se han basado en el volumen de gases generado por la combustión del combustible.



(a)



(b)



(c)

FIG. N°4 - ESQUEMA DE LA CAMARA DE COMBUSTION

3.4.2 Mezcla Carbón - Petróleo

3.4.2.1 Descripción del circuito

El circuito de combustión para la MCP es el mismo que el de crudo/residual, Fig. N° 3. Tenemos las siguientes excepciones.

El quemador de la mezcla MCP es diferente del quemador de crudo/residual. Las diferencias consisten en que el primero tiene un orificio atomizador más grande. Los pasajes del cuerpo arremolinador son anti-bloqueo. El aire de atomización impacta en la MCP, en dos etapas. La relativamente baja presión de atomización, tiende a reducir la erosión.

El retorno al tanque diario de MCP tiene una derivación diferente a la de crudo/residual.

La selección final de este quemador está supeditada a las características de la MCP.

Es de advertir que el quemador de MCP al igual que el quemador de crudo-residual, tendrá su quemador piloto de encendido por chispa y gas propano. Tendrá además su conjunto célula fotoeléctrica para su protección.

Si un fabricante pudiera suministrar un quemador para MCP, residual y crudo, tendríamos un sólo quemador.

3.4.3 Especificaciones del Equipo

Sistema de Combustión

FC-2 Filtro de combustible para protección bomba de alimentación 1"Ø. Canastilla de acero inoxidable

BA-1 Bomba de alimentación de combustible. Desplazamiento positivo 1 gpm. Motor 1/2 hp, 1750 rpm, TEFC; 1f. 220V, 60Hz. A prueba de explosión.

FC-3 Filtro micrónico de combustible para protección válvula de control VC-1 y transmisor de flujo FT-1. 1"Ø. Elemento filtrante para retener 1.0 micrón.

VS-1 Válvula de solenoide. Protege el equipo y cámara de combustión. Energizada está normalmente abierta. Al fallar la corriente cierra Mercoid o similar 1"Ø, 220V.

VC-1 Válvula de control con actuador y posicionador integrado para flujo de combustible. Actúa con una señal de aire que viene de un controlador de temperatura. El controlador está ubicado en el tablero de control. La temperatura del aire de secado del carbón. Temperatura del combustible 150°F. AP 10 psig. G.Esp. = 0.95 Flujo = 1 GPH. Viscosidad 300 C.S. Cv= 0.31. Cvr = 0.682. 1/2"Ø. Fisher 3-Flute Micro-Flute. Igual porcentaje o similar.

FT-1 Medidor de flujo de combustible. Rockwell Manufacturing Co. Placa de orificio de 0.250"Ø. Con flange taps. Completo con laminador de flujo registrador.- Integrador montado sobre la misma tubería. Papel adecuado

en escala y unidades. 250 papeles.

VA-2y Válvulas de alivio. VA-2 Protege la válvula de control. Tipo resorte 1"Ø. Enterprise Combustion Equip. o Fisher 98H o similar.

CE-1 Calentador eléctrico. Eleva y mantiene la temperatura de atomización del combustible. Completo con termostato y sistema de protección. Well Automatic Electric Oil Heater, Enterprise Combustion Equip., con termostato auxiliar tipo COAQ. 4 Kw, 220V.

QP-1 Conjunto quemador principal de crudo o residual Blast Burner: 30 gph. Tipo de atomización por presión de aire.

EP-1 Conjunto quemador piloto, a gas propano. Completo con bujía y electrodo. Enterprise Combustion Equip. o similar.

DF-1 Conjunto Detector de flama. Completo con célula fotoeléctrica y circuito de 220V. 60 H2.

TI-1 Transformador de ignición de 500 va.

V5-2 Válvula de Solenoide de la línea de gas propano 1/2"Ø. Energizada normalmente abierta. Mercoid o similar. 220V.

GP-1 Cilindro de gas propano. De 100 lbs. o 25 lb.

VT-1 Ventilador de tiro forzado. Aire para secado de carbón: 126 pcm. Aire secundario = 1,170. Total 1,300 pcm. á 15 "H₂O. 5 hp. 3600 rpm.

PR-1 Relé de Protección o Programador. Fireye Combustion Controls OAM-32 Modelo 1008 Tipo 26 RJ8; 220 V60 H₂,

3f.

- PS-1 Interruptores de presión. Interrumpen el circuito
PS-2 por falla en la presión del combustible (1); o del
aire (2). Ball Manufacturing Co. Modelo 3005-B.
- FT-2 Medidor de Flujo de aire, Rockwell, Manufacturing Co.
Placa de Orificio de 0.250 "Ø. Registrador-Integra
dor. Montado sobre la misma tubería.
- VC-2 Válvula de control de aire de combustión. Fisher o si
milar con actuador. Tipo M Flute-Micro Flute. $C_g = 10$;
1/2"Ø.
- PT-1 Planta de Tratamiento- Separador con retención de sólidos; modelo de laboratorio, LAB 102-B, ALFA-LAVAL.
para labores de clasificación, purificación y concentración. Especial para investigación y desarrollo en
plantas piloto. De velocidad variable.
- CR-1 Compresor reciprocante de dos etapas, de 57 pcm á 100
psig; 200 pcm á 5 psig. Motor eléctrico de 15 hp.
440V, 3f, 60 Hz, T TEFC; exploración proof.
- VC-3 Válvula de control de aire combustión Fisher o simi
lar. Con actuador. Tipo 1 Flute Micro Flute $C_g = 10$;
1/2"Ø.
- QP-2 Conjunto quemador principal para MCP. Se especifica
rá cuando están disponibles las especificaciones de
la MCP.
- VC-4 Válvula control de aire fresco para atemperar aire de
combustión Fisher tipo 1, Flute; $C_g = 10$; 1/2"Ø con
actuador.

- TT-1 Transmisor de temperatura al controlador de la Vc-4.
- TR-5 Regulador de temperatura del aire de secado. Gobierna flujo aire de enfriamiento. Globo. Simple asiento. 1/2"Ø.
- TT-2 Transmisor de temperatura a TR-5.
- TT-3 Transmisor de temperatura al controlador de flujo de combustible principal VC-1.
- TR-6 Regulador de temperatura del aire húmedo que proviene del secador de carbón. 1 1/2"Ø. Simple asiento. Globo.
- TT-4 Transmisor de temperatura á TR-6.
Tubería de aire o ducto de aire secundario de 3 1/2"Ø ó 10 pulgadas cuad. de área interna transversal.
- AG-1 Analizador de Gases (CO, NO_x, SO₂,) Thermo Electron Corp.; o Measurex Corp. o Econics Corp. o Princeton Sensors Inc.

3.5 Control de la combustión

3.5.1 Generalidades

Se ha previsto dos circuitos. Uno para el control automático del aprovechamiento del calor generado por la combustión. El otro circuito es del programador o relé de protección del quemador.

Ambos circuitos tienen un punto común que es el control del flujo de combustible. El capítulo presente considera primero el circuito de aprovechamiento del calor que llevan consigo los gases de la combustión. Calor que se transfiere a una corriente de aire que quitará la humedad del carbón para la MCP. Sea que el secado del carbón sea

continuo o por bache se necesita aire a temperatura constante. Lo que se intenta es proveer un circuito de control automático para mantener constante esa temperatura.

En segundo lugar se establece el circuito que opere la marcha del quemador, desde el arranque hasta la parada del quemador al término de la jornada.

En la Sección 2.4, Sistema de Combustión, se ha descrito en detalle el proceso de protección de los equipos de combustión (quemador, cámara de combustión, etc.), acápite 2.4.1.3. En la presente Sección y en su segunda parte, se amplía el concepto de protección. Esto es, describe la secuencia de arranque, funcionamiento protección y parada del quemador.

3.5.2 Circuito de Control Automático de Aprovechamiento del Calor Generado.

3.5.2.1 Consideraciones de diseño.- Alternativa 1.

La combustión de cualquiera de los tres combustibles, crudo, residual o MCP, produce calor. Las características de una planta industrial permiten que ese calor se transfiera a un fluido de trabajo o de proceso.

En nuestra planta piloto, tenemos que idear un medio para utilizar el calor generado. De esta manera podremos precisar la variable de control.

Se ha considerado utilizar el calor generado en

calentar una corriente de aire que cumpla 2 funciones:

- Corriente de aire para secar el carbón a usarse en la MCP, a temperaturas entre 100 y 150°C ; y
- Corriente de aire secundario para la combustión, a temperaturas entre 38 y 316°C. Mientras mas alta la temperatura del aire secundario, mas alta la eficiencia de la combustión.

Usaremos en consecuencia un pre-calentador que eleve á 320°C la temperatura de esa corriente de aire.

Un ventilador de tiro forzado, VT-1 suministrará la corriente de aire para estas dos funciones. Adicionalmente proveerá una tercera corriente de aire de enfriamiento. El flujo de aire secundario se controlará mediante una válvula de control, VC-2. Esta válvula es interdependiente con las válvulas VC-1, y VC-3, que controlan flujo de combustibles y aire de atomización. Esto es, para un flujo dado de combustible habrá un flujo proporcional de aire de combustión. El aire de atomización es una parte alicuota del aire de combustión.

Las proporciones combustible/aire secundario y aire Secundario/aire de atomización, se pueden establecer manualmente, desde el tablero de control. La variable independiente será la temperatura del aire de secado. El ciclo se inicia con la disminución

de la temperatura de la mezcla aire-vapor. Que es consecuencia del aumento o disminución de la carga de carbón.

Mayor carga de carbón menor la temperatura de la mezcla vapor-aire; demanda mayor cantidad de aire de secado. Si la temperatura del aire de secado baja, disminuye el flujo de aire frío hasta cerrar el regulador RT-5. Si esta temperatura sigue bajando una señal del controlador, abrirá la válvula de combustible del quemador principal. Esto determinará aumentos proporcionales de los aires de combustión y atomización. Consecuentemente, aumentará la masa de los gases de combustión y la transferencia de calor a la corriente de aire. Estas acciones en cascada tenderán a restablecer el equilibrio de temperatura del aire de secado.

Si la temperatura del aire de secado sube; disminuye proporcionalmente el flujo de combustible. Paralelamente bajan los flujos de aire de combustión y atomización.

3.5.2.2 Consideraciones de diseño - Alternativa 2

Los gases de la combustión transfieren parte de su calor a la atmósfera. La otra parte servirá para calentar el aire de combustión. En este caso, las variaciones de la carga se simularán desde el tablero de control.

Esto es, las pruebas y experiencias se realizarán para flujos fijos de combustible. Los controladores del tablero de control tendrán la capacidad para realizar estas variaciones.

3.5.2.3 Discusión de alternativas

Una planta piloto simula una condición industrial real. Las experiencias que se obtengan a nivel planta piloto se implementarán al nivel industrial.

Esta consideración nos conduce a optar por la primera alternativa. Esto es, aprovechar el calor liberado en secar el carbón para la MCP. Sin embargo, no tenemos aún las especificaciones de la preparación del carbón para la MCP. En consecuencia desde el tablero de control se establecerá el flujo de combustible. La selección del ventilador de tiro forzado, el pre-calentador de aire, los instrumentos y válvulas proveerán las necesidades de esta alternativa.

3.5.2.4 Diagrama de flujo

Los diagramas de flujo, de las Figuras N° 4,5 y 6 completan la información del control del calor generado. La Fig. N° 4 pertenece a la Sección 4, Sistema de Combustión, cuya descripción corre en esa Sección.

La simbología utilizada sigue las especificaciones de la ISA (Instrument Society of America).

La Fig. N° 5 nos muestra como se aprovecharía el calor de los gases de la combustión en calentar una corriente de aire. Esta corriente de aire la suministra el ventilador VT-1.

La Fig. N°6 indica el circuito de secado del carbón. La corriente de aire de enfriamiento á 18°C la proporciona también el ventilador VT-1.

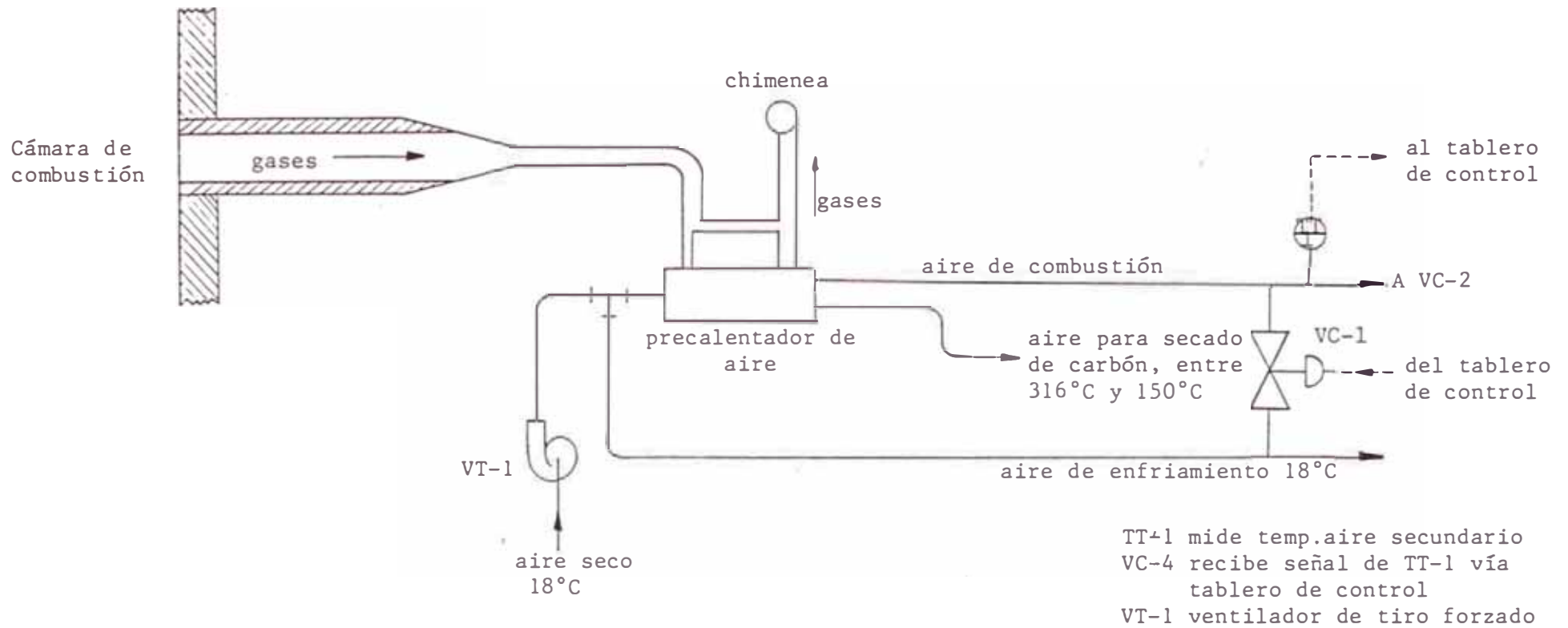


FIG.Nº5 - DIAGRAMA DE FLUJO - APROVECHAMIENTO DE LOS GASES DE LA COMBUSTION

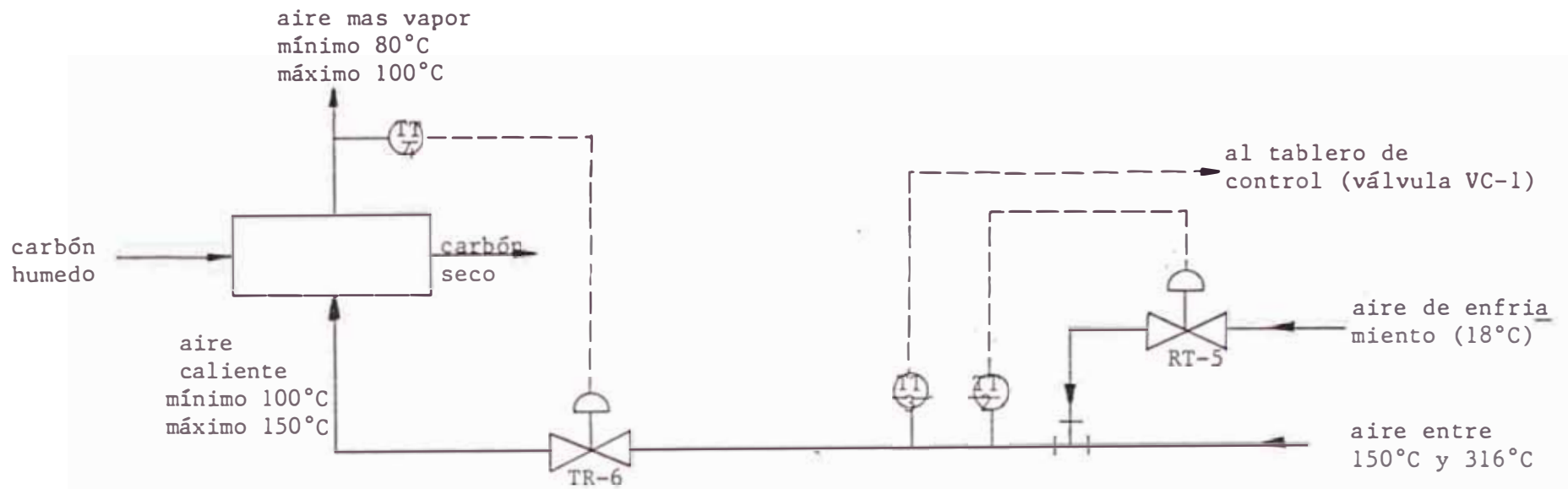


FIG. N°6 - DIAGRAMA DE FLUJO - SECADO DE CARBON

3.5.3 Sistema de Control del Quemador Principal

El sistema proveerá operación automática o manual del quemador principal. El sistema comprende:

- 1.- Arranque Inicial.- Involucra la pre-purga, encendido del quemador piloto, prueba de la operación del quemador piloto por 15 segundos;
- 2.- Supervisión de la llama del quemador piloto y la del quemador principal;
- 3.- Arranque con fuego bajo;
- 4.- Cierre de la válvula principal de combustible por falla de la llama;
- 5.- Post-purga después de la falla de llama;
- 6.- Parada normal del quemador, con post-purga y regreso al arranque inicial.
- 7.- Circuito de alarma. Luces y bocinas de alarma.
- 8.- Control modulador del flujo de combustible.

La secuencia de la operación automática se muestra en la Tabla N°1, Secuencia Automática de la Operación del Quemador, como sigue:

TABLA N° 1 Secuencia Automática de la Operación del

Quemador

Tiempo
en se-
gundos

Operación externa

Arranque Inicial: Se cierra el circuito del control de la operación

0 Se inicia movimiento del programador de tiempo.

Arranca los motores del ventilador de tiro forzado, de la bomba de combustible, y, del compresor de aire de atomización. El circuito del control modulador se conecta a la posición de fuego bajo.

12 Los interruptores de presión de aire de combustión y combustible deben estar cerrados.

30 Se conecta el transformador de ignición y se abre la válvula de gas del quemador piloto. Se enciende la llama piloto.

40 Se abre la válvula de combustible del quemador principal, sólo si el detector de flama indica la presencia de la llama piloto. Se enciende la llama principal.

55 Se cierra el circuito de control modulador de flujo de combustible.

10.0 Se cierra la válvula de gas del quemador piloto. Se apaga la llama piloto.

10.5 Fin del Arranque Inicial: Se detiene el Programador de tiempo.

Período de operación de combustión normal

Parada: Se abre el circuito del control de la operación

0 Inicia movimiento el programador de tiempo. Se cierra la válvula de combustible del quemador principal.

7 El circuito del control modulador se conecta a la posición de fuego bajo.

15 Parar los motores del ventilador de tiro forzado, de la bomba de combustible y del compresor de aire de atomización.

A continuación se diagrama la secuencia de programación:

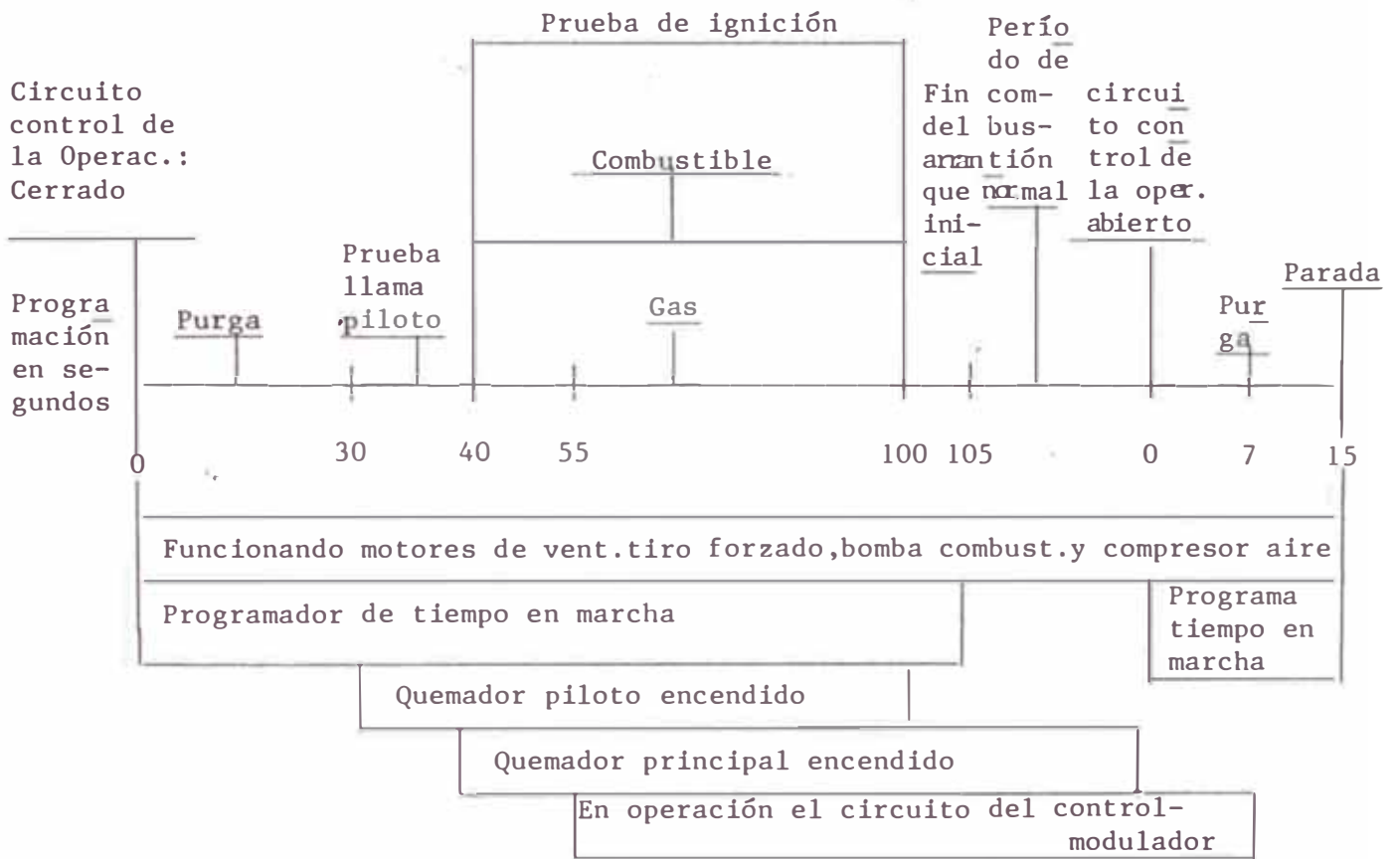


Fig. N° 7. Secuencia de programación en segundos.

La Fig. N° 8 muestra el diagrama bloques que ilustra la lógica del sistema. También las interrelaciones de los circuitos que lo componen.

Las secuencias del sistema con relación a los bloques, se indica a continuación:

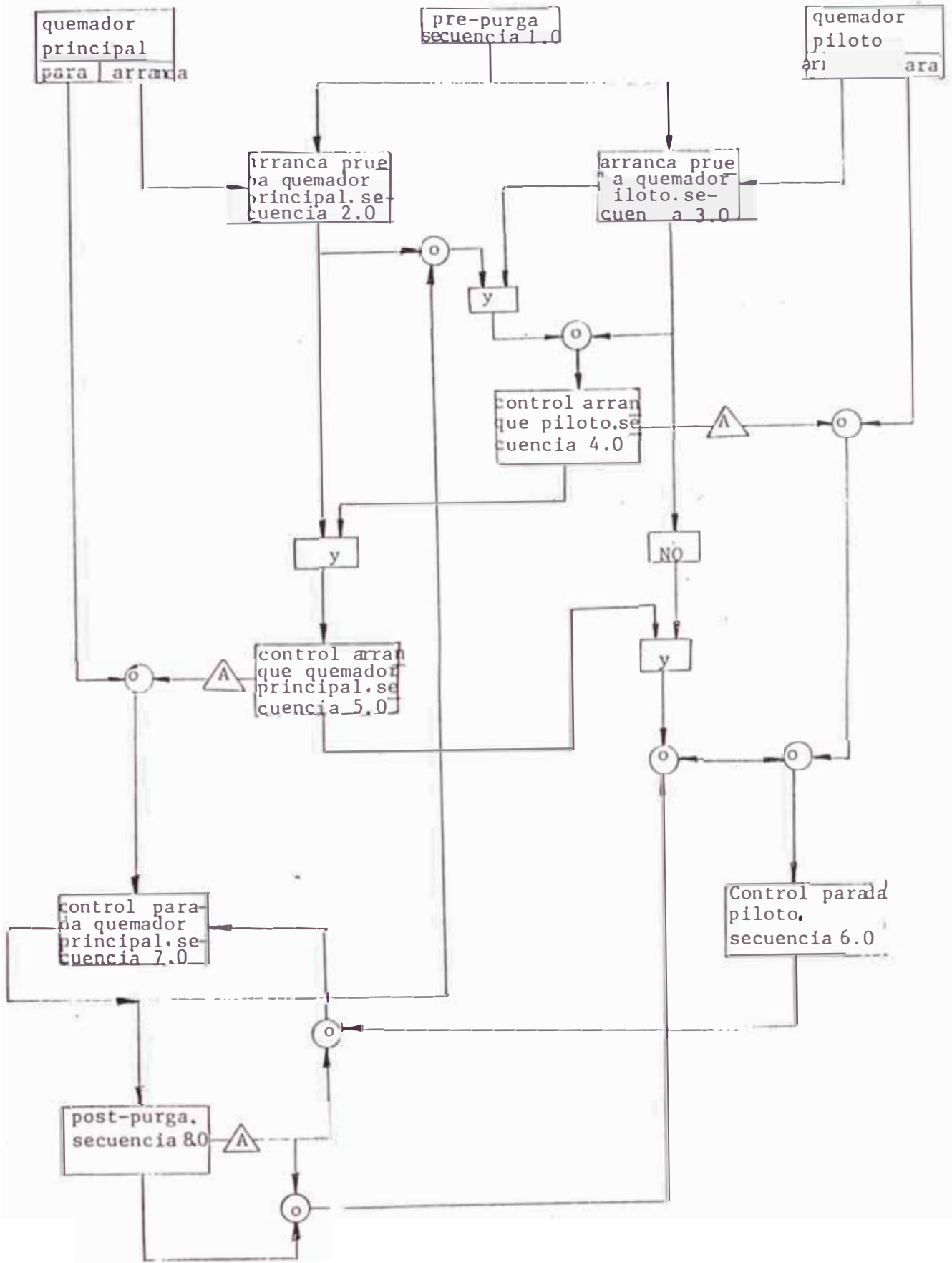


FIG.N° 8 - DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL

Secuencia	1.0	Pre-Purga
Secuencia	2.0	Arranca prueba del quemador principal.
Secuencia	3.0	Arranca prueba del quemador piloto.
Secuencia	4.0	Control del encendido quemador piloto.
Secuencia	5.0	Control del encendido quemador principal.
Secuencia	6.0	Control parada del quemador piloto.
Secuencia	7.0	Control parada del quemador principal.
Secuencia	8.0	Post-Purga.

3.6 Resultados obtenibles

3.6.1 Objeto de una Planta Piloto

El fin primordial de una planta piloto es propiciar la transferencia de tecnología. En efecto, la transferencia de tecnología tiene lugar entre dos grupos de profesionales con proficiencia tecnológica. Lo que se transfiere es un paquete de descripciones, fórmulas, procedimientos y planos. El grupo recipiente tiene que ser técnicamente capaz y con experiencia suficiente. De modo que convierta la información contenida en el papel, en una planta operativa. Pero suele ocurrir que el recipiente no tiene la experiencia ni la capacidad tecnológica. La planta piloto es un medio para lograr la transferencia de tecnología, propiciando el acopio de experiencia y la capacitación tecnológica.

La expresión "planta piloto" es, para muchas personas, si

nónimo con el desarrollo de procesos químicos. Lo cual a su turno sugiere un costoso complejo con equipos técnicos de tamaño intermedio. Que opera en forma continua, para generar datos esenciales para el diseño de la planta a escala completa. Similarmente, la producción en prueba de una máquina prototipo en la industria de la ingeniería mecánica. Así como la producción de muestras de equipo en la industria electrónica, se pueden clasificar en la categoría de plantas piloto.

Se puede colegir de lo anterior que la planta piloto es el puente por el que tienen que atravesar casi todos los proyectos en desarrollo para alcanzar la realización comercial.

Se puede concluir que la transferencia de tecnología tiene en la planta piloto, un medio para lograr ese propósito. Adicionalmente que es un vínculo para lograr la comercialización técnica de un producto.

Aceptado lo anterior, la planta piloto de combustión se dirige a obtener datos sobre la combustión. Con el definido propósito de incrementar y/o promover las ventas de los productos experimentados. Adicionalmente realizar estudios de mereado y establecer especificaciones.

La construcción de la planta piloto debería usarse también como una herramienta de capacitación y entrenamiento. Ayudaría a descubrir muchas de las deficiencias de nuestra

estructura organizacional y sugerir formas de corregirlas.

3.6.2 Datos Obtenibles

- 1.- Eficiencia de combustión como una función del exceso del aire secundario.
- 2.- Eficiencia de combustión como una función de la temperatura del aire secundario.
- 3.- Eficiencia de combustión como una función del grado de atomización del combustible.
- 4.- Eficiencia de la combustión como una función de la viscosidad del combustible.
- 5.- Eficiencia de la combustión como una función de la proporción del aire primario al secundario.
- 6.- Influencia del control automático sobre el control manual.
- 7.- Manipuleo de combustibles de alta viscosidad.
- 8.- Tratamiento de combustibles con diferentes grados de contaminación.
- 9.- Relación entre la temperatura de los gases de la combustión, contenido de contaminantes en el combustible y la corrosión por sulfidación.
- 10.- Métodos y mecanismos de atomización de combustibles.
- 11.- Gráfica del balance de energía (Diagrama de Sankey) y masa.

3.7. Ubicación y plano de distribución

3.7.1 Antecedentes

El propósito de esta sección es presentar el arreglo fí-

sico de las facilidades de la Planta Piloto de Combustión con el objeto de que el área y la ubicación del terreno sean las más económicas para operar, y sea, además, segura y satisfaga a los trabajadores.

Las fases del trabajo de distribución de la planta comprende:

- Ubicación del área de construcción de la planta
- Distribución general
- Plano de Detalle para instalación.

La Planta Piloto de Combustión se ha previsto construirla en tres etapas:

La primera etapa, ya completada, fue la de su diseño conceptual y la selección del material y equipo.

La segunda etapa consiste en la preparación del plano de distribución de la planta, así como completar la colocación de las órdenes de compra del equipo necesario.

La tercera etapa consistirá en la construcción de la planta piloto de combustión.

La presente sección cubre la segunda etapa del proyecto.

3.7.2 Ubicación del Area de Construcción

Se considerarán dos alternativas:

- Alternativa 1.- Area de terreno ubicado en el patio del hangar N°2 de la Refinería Conchán.
- Alternativa 2.- Area de terreno ubicado al costado del

edificio que alberga el Sistema de Gene
ración de Vapor y Aire de la Refinería
Conchán.

Ambas alternativas se indican en el Plano 76-351 RSC-100.
Distribución General de la Refinería Conchán, Adjunto N°1.

La Alternativa 1, que sitúa la Planta Piloto en el patio del Hangar N°2, tiene las ventajas siguientes. No interfiere con las operaciones de la Refinería. Tiene área suficiente para contener el área de 434m², de forma rectangular. El lado mayor de 25m se considera paralelo a la pared divisoria entre la Planta de Refinación y el Hangar N°2.

El lado menor de 17m. se orienta paralelo a la pared que sirve de lindero entre la Refinería y la carretera Panamericana Sur Vía Libre. Otra ventaja es contar con una caseta que tiene 44m². en planta. Anteriormente fue utilizada como baño y vestuario de contratistas. Remodelada se habilitaría como local para los tableros de Control de la Planta Piloto.

Entre las desventajas tenemos, su lejanía respecto de los servicios esenciales como agua tratada, corriente eléctrica y vapor. Necesita nivelación y afirmado del terreno.

La Alternativa 2, que sitúa la Planta Piloto al costado sur-oeste del edificio del Sistema de Generación de Vapor y Aire de la Refinería Conchán, tiene las siguientes ventajas. Cuenta a la mano con los servicios esen-

ciales para el funcionamiento de la planta, esto es, agua tratada, corriente eléctrica de 440V, 220V y 110V, así como vapor. El terreno está nivelado. En suma, menor inversión en infraestructura.

Las desventajas que se pueden apreciar son el área disponible de 250m², lo cual obliga a modificar el arreglo de la planta. El tener que construir un cuarto para albergar los tableros de control.

Ambas alternativas son viables. Sin embargo, la alternativa 2 se presenta como la más favorable. En efecto, es tá en el mismo sitio de generación de vapor, por lo que habrá un ahorro al evitarse el tendido de una línea de vapor. La longitud de esta línea en la Alternativa 1 es de no menos de 60m. Del mismo modo, evitará el tendido de una línea de corriente eléctrica de 220V, cuya longitud es de no menos de 80m.

Por otra parte, el agua tratada existente en la Alternativa 2, soluciona los inconvenientes derivados de proveerse de agua de la pileta de agua contra incendios, de la Alternativa 1.

Además, en la Alternativa 2 existe ahorros adicionales como el relativo a la nivelación del terreno y el fácil acceso por las pistas existentes.

Por lo tanto, la Alternativa 2, resulta la más conveniente.

3.7.3 Plano de Distribución General de la Planta Piloto

Se consideran los espacios libres, siguientes:

- Espacios horizontales:

Acceso de personal = 1 m

Acceso de vehículos = 3 m

- Espacios verticales:

Rutas principales = 6.5 m

Rutas de acceso:

Grúas = 6.5 m

Camiones = 4.0 m

- Espacios en general = 3.0 m

Tubería, espacio sobre

cabeza = 2.0 m

Tubería enterrada = 0.3 m

- Espaciamiento entre equipos

La Tabla N° 2 muestra las distancias mínimas horizontales permisibles.

El adjunto Plano N° 20-A-1-C muestra el Plano de Distribución de la Planta, Adjunto N° 2.

Se presenta el plano 20-A-0-C, Esquema General de Instalación (Adjunto N°3), como un avance del plano de detalle de instalación. Este último se ejecutará cuando del equipo bajo consideración se hayan puesto las órdenes de compra y se cuente con las características físicas de los mismos.

EQUIPO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.- Precalentador	-	5	5	1	-	5	5	5	1	1	3	-	5	10	10	5	5	5
2.- Compresor		-	1	5	5	5	5	5	3	3	3	5	3	5	5	1	1	1
3.- Tanque aire comprimido			-	2	5	5	5	3	2	2	2	5	3	5	5	1	1	1
4.- Cámara de combustión				-	-	5	5	3	-	2	3	5	3	15	15	5	5	5
5.- Chimenea					-	3	5	3	-	-	2	2	-	2	-	-	-	-
6.- Toma de corriente eléc.						-	-	5	5	5	5	5	5	10	10	-	-	3
7.- Cuarto de control							-	3	5	5	5	3	3	15	15	-	-	2
8.- Tanque de gas propano								-	3	2	3	3	3	5	5	3	3	3
9.- Conjunto quemador									-	1	3	2	3	15	15	-	-	3
10.- Calentador eléctrico										-	1	2	2	2	2	-	-	2
11.- Tanque de diario											-	2	2	5	5	-	-	-
12.- Ventilador												-	3	3	3	-	-	-
13.- Eyector-Separador de sól.													-	5	5	-	-	3
14.- Tanque de almacenamiento														-	-	10	10	10
15.- Calentador de succión															-	-	-	-
16.- Toma de desagüe																-	1	1
17.- Toma de agua																	-	1
18.- Toma de vapor																		-

TABLA N° 2

DISTANCIAS HORIZONTALES MINIMAS PERMISIBLES

EN METROS

Los Planos de Distribución de Planta y de Distribución Detallado se basan en lo pertinente del contenido de General Specification for Instalation and Lay-out of Refinery Units, Especificación de Proyecto GS-050 PETROPERU Marzo 1976.

3.7.4 Resumen

La Planta estaría situada al costado sur-oeste del edificio que alberga el sistema de generación de vapor y aire de la Refinería Conchán. El terreno disponible es de forma rectangular (25m. x 10m). El lado mayor es paralelo a la longitud mayor del edificio; y el lado menor de 10m. perpendicular al mismo. Se le ubica como Alternativa N°2 en el Plano de Distribución General N° 75-351 de la Refinería Conchán, incluso como Adjunto N°1.

El arreglo físico de las facilidades de la Planta Piloto sigue las instrucciones contenidas en las Especificaciones Generales para la Instalación y Lay-out de Refinerías - Esp. GS-50 de PETROPERU S.A., Marzo 1976. Dicho arreglo se muestra en el plano 20-A-1-C que corre como Adjunto N° 2.

Se presenta el plano 20-A-0-C, Esquema General de Instalación, Adjunto N° 3, como un avance del plano de Detalle de Instalación. Este último se ejecutará cuando se coloquen las órdenes de compra del equipo faltante y se conozcan, por lo tanto, las características físicas de los mismos.

Las facilidades conexas, como vapor, agua, corriente eléctrica de 440V, 220V y 110V, podrán suministrarse desde el edificio contiguo, Sistema de Generación de Vapor y Aire de la Refinería Conchán.

CAPITULO 4.0 CONSIDERACIONES ECONOMICAS

4.1 Equipo necesario e instalación.

La descripción del equipo corre en el Capítulo 2. La relación completa figura más abajo. De esa relación los items 1 al 5 se han recibido y sus costos en Almacén Conchañ figuran al costado de cada uno de ellos. Los demás precios son los de las ofertas recibidas.

<u>Item</u>	<u>Can-</u> <u>tidad</u>	<u>Descripción</u>	<u>US\$</u>
1	1	Compresor de aire	7,527
2	1	Conjunto Quemador	9,433
3	3'	Filtros de Vapor	67
4	2	Trampas de Vapor	340
5	1	Válvula Reguladora de Temperatura	1,446
6	1	Separador Eyector de Sólidos	36,262
7	1	Elemento Primario de control de presión(vapor)	346
8	1	Transmisor Electrónico de Presión	490
9	2	Elementos Primarios de Control de Flujo(aire)	970
10	1	Elemento Primario de Control de Flujo(combustible)	964
11	3	Transmisores Electrónicos de Flujo	6,048
12	1	Controlador de Presión P + I + D	2,659
13	1	Controlador de Flujo de Combustible P + I	2,826
14	1	Controlador de Flujo de Aire Secund.P + I + %	3,723
15	1	Controlador de Flujo de Aire Atomiz.P + I + %	3,723
16	1	Registrador Electrónico de 3 plumas (Flujos) con integrador	1,670
17	1	Registrador Electrónico de 3 plumas (Presiones) con integrador	1,670
18	2	Convertidor Electrónico/Neumático	1,667

19	1	Actuador Neumático para Válvula existente	1,037
20	1	Convertidor Electrónico/Eléctrico para mover un motor modulador existente	833
21	1	Válvula globo de Control 3-15 PSI (Aire atomizador)	940
22	1	Tablero de Control con gabinetes incorporados	1,958
23	1	Economizador	1,000
24	1	Cámara de Combustión y su construcción	10,636
25	1	Analizador Continuo de Gases con Controlador-Registrador Incorporados (O ₂ , CO, CO ₂)	2,659
26	1	Controlador electrónico de temperatura	2,659
27	1	Interruptor por bajo nivel	100
28	1	Interruptor por alto nivel	100
29	1	Válvula globo, neumática de control para petróleo, de 1"Ø, con posicionador	1,222
30	1	Válvula de mariposa, neumática de control para aire, de 2"Ø, con posicionador	1,607
31	1	Transmisor de temperatura	845
Total US\$			107,657
			=====

Los equipos arriba mencionados están descritos en el Capítulo 2, excepto las especificaciones del material de la cámara de combustión y de los intercambiadores de calor para el secado de carbón y precalentadores de aire (economizador). Con relación al intercambiador de calor para el secado de carbón, no se le podrá especificar en tanto no se conozca la cantidad de carbón a procesar y sus características físicas (contenido de humedad y tamaño de las partículas), información de la que no se dispone; no obstante lo cual, para los propósitos de la planta piloto

to, dicha información, así como el intercambiador de calor, no es necesario, por cuanto el calor generado se irá a la atmósfera con los gases de la combustión; el aprovechamiento del calor se hará cuando los parámetros necesarios se conozcan. El aprovechamiento del calor generado no interfiere con las pruebas de combustibles.

En cuanto a la cámara de combustión, para su construcción se necesita:

2,000 ladrillos refractarios ANCHOR, rectos y formas

50 ladrillos refractarios ANCHOR, 60-9-A

350 Kg. de HARWACO BOND

900 kg. de aislante

520 ladrillos REPSA recto

Mano de obra especializada para su construcción.

Para la instalación de la Planta Piloto se necesita: un albañil, un electricista, un mecánico y un tubero, cada uno con su respectivo ayudante, así como la supervisión, lo cual da un costo por personal de instalación, de US\$ 1,610.-.

En imprevistos y materiales diversos como alambre, clavos, etc., se considera US\$ 2,733.-.

Los tres rubros anotados dan un total, como sigue:

Equipo US\$ 107,657

Instalación 1,610

Varios e imprevistos 2,733

US\$ 112,000

=====

4.2 Personal estable necesario

La operación de la planta piloto requiere de un supervisor y de un ayudante.

El supervisor debe reunir las calificaciones de profesionalismo, experiencia, conocimientos, que permita una supervisión sin problemas. Los honorarios de ese profesional, ingeniero mecánico, se estiman en US\$ 15,000 por año.

El ayudante es un mando medio, de las mismas calificaciones que la del supervisor, cuyo sueldo se estima en US\$ 9,000 por año.

Por lo tanto el costo del personal estable sería de US\$ 24,000 por año.

4.3 Costos fijos y variables

4.3.1 Costos fijos

Consideramos la recuperación de la inversión en 10 años, los intereses activos del capital al rebatir de 15%, la prima anual de seguro 7.5% por año.

Recuperación del capital US\$ 11,200.-

Interés anual al rebatir 9,240.-

Prima anual de seguro 840.-

Total anual US\$ 21,280.-

4.3.2 Costos variables

Se han de considerar corriente eléctrica, agua, mantenimiento de equipo, limpieza, y otros similares, que se estiman en un 8% de la inversión, siendo el mantenimiento

to el de mayor significación que puede llegar al 90% de estos costos variables; en consecuencia los costos variables pueden ascender a 8% de US\$ 112,000, esto es, US\$ 8,960.-. Los costos de personal y los fijos y variables se dan como referencia por cuanto constituyen costos indirectos en la organización de PETROPERU.

4.4 Costo de la Inversión y costo anual

Consta, en resumen, de lo siguiente:

Personal estable por año	US\$ 24,000.-
Costos fijos por año	US\$ 21,280.-
Costos variables por año	<u>US\$ 8,960.-</u>
Costo total anual	<u>US\$ 54,240.-</u>

CAPITULO 5.0 PRUEBAS .

5.1 Concepto y necesidad de las pruebas

La Gerencia de PETROPERU conceptuó útil la realización de pruebas efectivas, mediante una instalación temporal de la Planta Piloto de Combustión usando el equipo ya adquirido y otro que se conseguiría en préstamo. Se consideró útil tanto por el monto de la inversión como para comprobar la efectividad de la instalación proyectada de la Planta Piloto.

Por otra parte, se consideró necesarias las pruebas indicadas tanto con combustibles residuales como con la mezcla carbón-petróleo (MCP). La necesidad se deriva principalmente en conocer si la orientación en la investigación y desarrollo de la MCP, conduce al objetivo que determinó la ejecución de ese proyecto.

El modo de operación de una prueba debe considerar la descripción del equipo utilizado, la del combustible a probar y la del equipo de medición. Debe de considerar también la metodología de la prueba y la descripción de la misma.

De otro lado, los resultados de las mediciones se deben analizar para llegar a conclusiones y eventualmente a recomendaciones. A continuación se describe este procedimiento utilizado en las pruebas anotadas.

5.2 Instalación temporal del equipo para las pruebas

Para la realización de las pruebas indicadas se autorizó la instalación temporal del Conjunto Quemador en la Refinería Con-

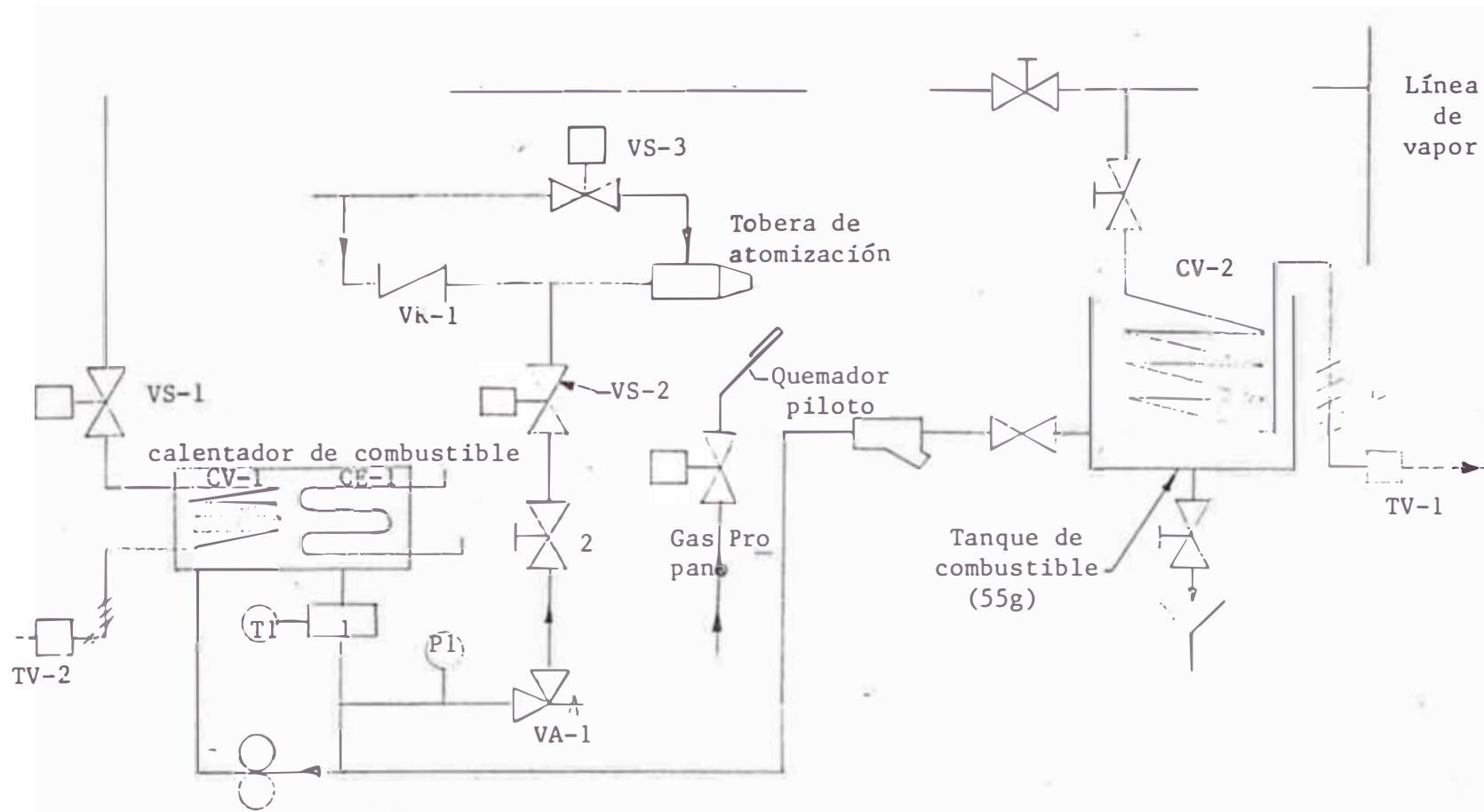
chán (RCO).

El proveedor del quemador, Equipos Térmicos S.A., prestó un caldero de 35 HP. Este tamaño sólo permitiría un consumo de combustible por debajo del 40% de la capacidad máxima del quemador y sólo un 50% mayor que el gasto mínimo. Además dicha firma prestó el apoyo de un técnico durante todo el lapso que duraron las pruebas, sin costo para la Empresa.

Refinería Conchán prestó una ayuda valiosa, tanto en el aspecto material como en la comprensión humana, relativa a errores y desaciertos en las acciones iniciales de la instalación.

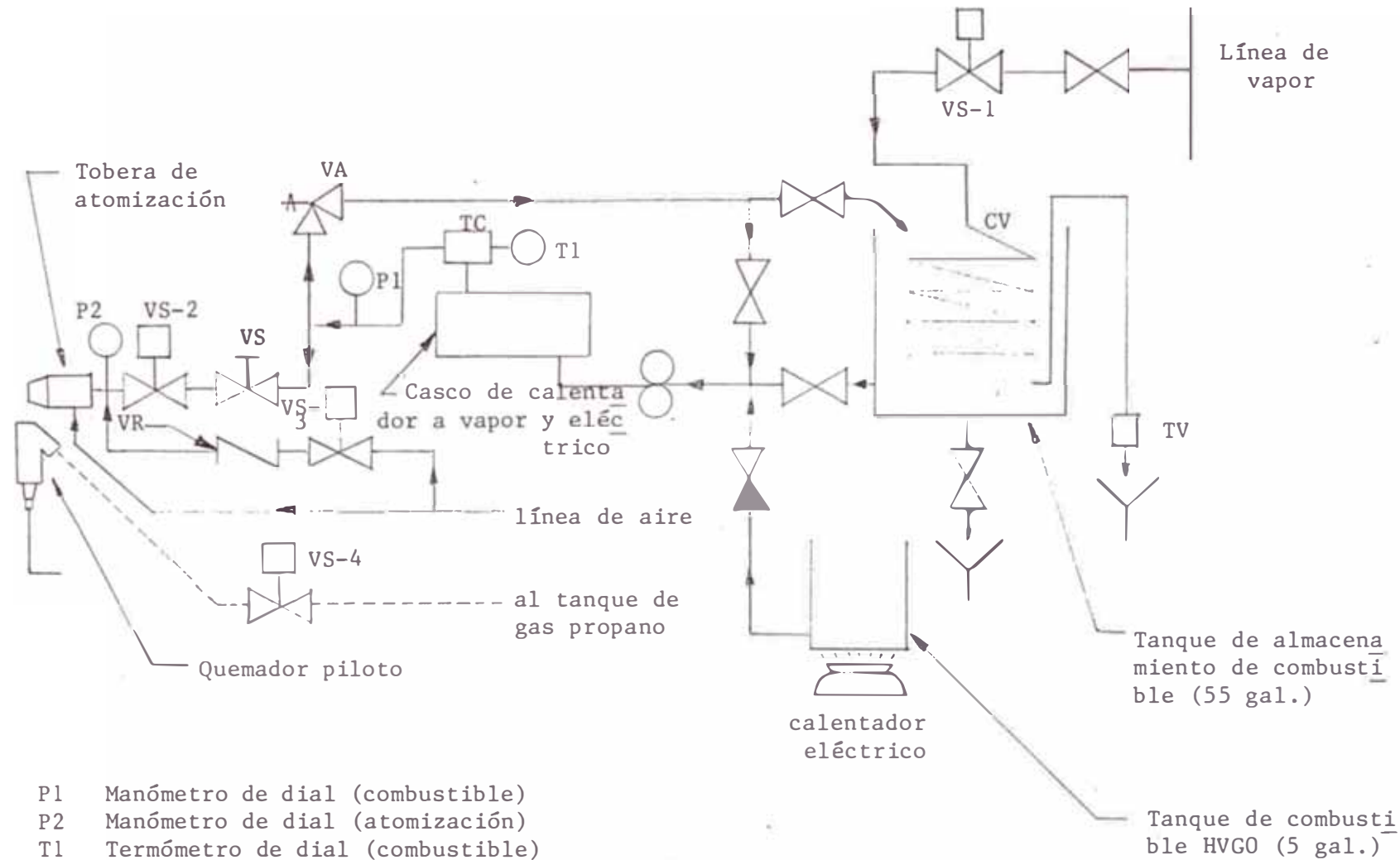
La Fig. N° 9 muestra la instalación temporal para las pruebas de combustibles residuales.

La Fig. N° 10 muestra la última modificación introducida en la instalación temporal para las pruebas de la MCP.



- | | | | |
|----------|---|------|---------------------------|
| 1 | Tanque de compensación | VS-1 | Válvula solenoide (vapor) |
| 2 | Válvula de control operada mecánicamente | VS-2 | " " (combustible) |
| CE-1 | Calentador eléctrico (para temp.de atomización) | VS-3 | " " (aire atom.) |
| CV-1 | Calentador a vapor " " " | VS-4 | " " (Gas). |
| P-1 | Manómetro (Combustible) | | |
| T-1 | Termómetro | | |
| TV-1 y 2 | Trampas de vapor | | |
| VR-1 | Válvula de retención | | |
| CV-2 | Calentador a vapor | | |

FIG. No. 9 - Diagrama de instalación temporal del quemador eclipse para la prueba de combustibles pesados.



- P1 Manómetro de dial (combustible)
- P2 Manómetro de dial (atomización)
- T1 Termómetro de dial (combustible)
- CV Calentador de vapor
- TV Trampa de vapor
- VS Válvula sensitrol
- VS1 Válvula solenoide (vapor)
- VS2 Válvula solenoide (combustible)
- VS3 Válvula solenoide (aire atomización)
- VS4 Válvula solenoide (gas propano)
- VR Válvula de retención (check)
- VA Válvula de alivio

FIG. No. 10 Diagrama modificado de instalación temporal de quemador eclipse para la prueba de la mezcla carbón-petróleo

La duración de las pruebas de los combustibles se vió limitada a una y media horas (1.5 hrs.) por vez. Esto por dos razones. En primer lugar por el tamaño del caldero, muy pequeño para transmitir el calor generado por el quemador trabajando a su plena capacidad, a pesar de la circulación constante del agua a través del caldero. En segundo término, por la presión del agua de alimentación nunca mayor de 40 psig. Cuando se trabajaba un lapso mayor de 1.5 horas, el caldero levantaba presión mayor de 40 psig. En estas condiciones la alimentación de agua cesaba; el vapor generado salía por la tubería de escape; y, el nivel de agua dentro del caldero bajaba por debajo del límite permisible, lo cual obligaba a apagar el quemador y esperar a que se normalizara la situación. Esto es, nivel del agua dentro del caldero, en su máxima posición y ausencia de vapor dentro del mismo.

Una solución al problema de la presión del agua de alimentación hubiera sido la siguiente. Tomar una derivación de la tubería del agua de alimentación al caldero de RCO, que tiene una presión de 450 psig; como el caldero en préstamo tiene como máximo una presión de trabajo de 120 psig y una presión de diseño de 150 psig, hubiera sido necesario una válvula reductora de presión a 120 psig. No se puso en práctica esta alternativa en razón de no comprometer la producción de vapor de la RCO. Además, en ese momento, no había en plaza una válvula reductora de 2-1/2"Ø, y el precio que se hubiera pagado, no justificaba el beneficio obtenible.

La consideración anterior prueba que en la instalación temporal se tomó siempre la mejor de entre varias alternativas consideradas.

5.2.1 Equipo y servicios utilizados en las pruebas de residuales.

a. Caldero Eclipse de 35 HP completo con:

- Válvula de seguridad
- Nivel visual de agua
- Chimenea
- Válvula de globo en la tubería de agua de alimentación
- Válvula de desfogue
- Válvula de purga
- Válvula para consumo conectada por tubería al desagüe
- Manguito para toma de muestras de gases de comb.
- Visor de la cámara de combustión

b. Quemador de petróleo, construido localmente, marca Eclipse, modelo FDX, capacidad 4'500,000 btu/hra., consumo 30 GPH, petróleo #2, #5, ó residual #6. El quemador es del tipo paquete, integrado con los sistemas de seguridad y bombeo, sistema de encendido automático mediante una bujía con su respectivo transformador de ignición y una válvula selenoide para el control de gas propano, detector de llama tipo ultravioleta. Para el aire de combustión se suministrará un ventilador de tiroforzado. El sistema de atomización del petróleo será por aire comprimido, equipado con un pre-

calentador que eleve la temperatura de atomización. Bomba de combustible de desplazamiento positivo, válvula de alivio. La regulación del flujo de petróleo se hará mediante una válvula operada automáticamente y una válvula solenoide para emergencia. Se proveerá de un sistema de modulación para que la relación Aire/Petróleo se mantenga constante aun cuando varíe el flujo de petróleo. El sistema de control principal del quemador constará de un programador tipo Fireye 6015. Los sistemas de seguridad integrados en el quemador, permitirán el cierre instantáneo de la válvula solenoide de combustible, cuando existan las siguientes condiciones que afectan la operación del quemador:

- 1.- Baja de Presión de Aire primario.
- 2.- Baja de Presión de Aire secundario.
- 3.- Baja de Presión de Petróleo.
- 4.- Baja Temperatura del Petróleo.
- 5.- Baja Nivel del petróleo.

c. Tanque de 55 galones acondicionado para el almacenamiento de combustible, completo con:

- serpentín de calentamiento a vapor
- válvula de drenaje de combustible
- válvula de descarga de combustible
- válvula globo para el control del flujo de vapor.

d. Servicios.

- Vapor para calentamiento de combustible: en el tan-

que de 55 galones, para obtener temperatura de bombeo.

En el calentador del quemador, para obtener temperatura de atomización;

- Electricidad a 220V, 60 Hz, 3f., para:
 - a. Tablero de control
 - b. Bomba de alimentación de combustible
 - c. Resistencia eléctrica del calentador del quemador pa
ra obtener temperatura de atomización del combusti-
ble.
- Aire a 100 psig, para atomización del combustible
- Agua de alimentación a 40 psig para el caldero
- Gas propano para el quemador piloto.

5.2.2 Equipo y Servicios utilizados en las pruebas de la MCP.

Se utilizó el mismo equipo y los mismos servicios que en el caso anterior (4.2.1), excepto en lo siguiente:

- a. Tanque de 5 galones para el almacenamiento de combustible G.O.P.V. (Gas Oleo Pesado de Vacío) usado en el arranque y parada del quemador.
 - b. Calefactor de 500W para elevar la temperatura del G.O.P.V. de modo que no enfríe la MCP, bajo ninguna circunstancia.
 - c. Válvula solenoide y controlador autónomo del serpentín de calentamiento a vapor en el tanque de 55 galones.
 - d. Circuitos de recirculación cerrada o recirculación abierta directamente al tanque de 55 galones.
- Equipo suprimido:
 - a. Serpentín a vapor y resistencia eléctrica, utilizados

para elevar la temperatura del combustible a la temperatura de atomización. Ambos equipos originalmente estuvieron instalados en el calentador del quemador.

5.2.3 Equipo de Medición y Control

- a. Termómetro de mercurio para medición de temperatura del combustible en el tanque de almacenamiento, tipo manual;
- b. Termómetro de dial para la medición de temperatura de atomización del combustible, instalado en el tanque de compensación;
- c. Termómetro de dial para la medición de temperatura de los gases de combustión. Instalado a la salida del caldero y a la entrada a la chimenea;
- d. Manómetro de dial para la medición de la presión de alimentación de combustible a la tobera; instalado en la tubería de alimentación;
- e. Manómetro de dial para la medición de la presión del aire de atomización;
- f. Analizador portátil del contenido de CO₂ en los gases de la combustión. FIREYE;
- g. Analizador portátil del contenido de O₂ en los gases de la combustión. FIREYE;
- h. Termostato para el control del encendido de la resistencia eléctrica y el serpentín, pertenecientes al calentador de combustible del quemador. Este calentador debe de proveer el calor para que el combustible adquiera la temperatura de atomización;
- i. Controlador para pre-determinar la temperatura de atomización.

5.2.4 Descripción del combustible:

Con el memorándum TEC-RPQ-292-82 del 03.12.82, se nos alcanzó la descripción de los combustibles a probar. La misma que anotamos:

<u>Producto</u>	<u>Procedencia</u>	<u>Viscosidad</u>	<u>API</u>
Residual #6	RCO	269 SSF/122°F	16.3
G.O.P.V.	RCO	145 SSU/100°F	25.6
Base asfáltica 85/100	RCO	945 SSF/210°F	8.5
G.O.P.V.	RELAPA	9.2 SSF/122°F	16.2
Residual de vacío	RELAPA	381 SSF/122°F	10.8
MCP	TEC-RPQ	1500 SSF/122°F	5.0

G.O.P.V. significa Gas Oleo Pesado de Vacío.

Adicionalmente con relación a la MCP se nos indicó verbalmente lo siguiente:

Temperatura de bombeo de la MCP: 159/160°F

Temperatura de Atomización de la MCP: 260°F

5.2.5 Metodología de las Pruebas

En los combustibles hidrocarburos, excepto la base asfáltica 85/100, el método utilizado fue:

- a. Predeterminación, por tablas y curvas de las temperaturas de bombeo y atomización;
- b. Predeterminación, por el Manual de Operación del Quemador de la presión del aire de atomización;
- c. Manipulación práctica de la presión del combustible para encontrar el punto de equilibrio;
- d. Manipulación práctica del flujo de aire secundario para lograr la mayor eficiencia;

- ę. Toma de muestras de los gases de combustión para determinación de CO_2 y O_2 ;
- f. Toma simultánea de las siguientes mediciones:
 - temperatura de bombeo del combustible
 - temperatura de atomización del combustible
 - temperatura de los gases
 - presión de atomización del combustible
 - presión del aire de atomización
 - hora en la que se efectúan las mediciones
 - nivel de tanque de almacenamiento mediante la wincha graduada

5.2.6 Descripción de una prueba típica - combustible residual

a. Preparación.

- abrir válvula de agua de alimentación al caldero;
- arranque del compresor de aire de atomización. Abrir válvula de control para obtener 20 psia en la tobera de combustión;
- conectar corriente eléctrica al tablero;
- abrir válvula de alimentación de gas propano al quemador piloto;
- abrir válvulas de vapor para el calentamiento del combustible y alcanzar:
 - ° temperatura de bombeo en el tanque de almacenamiento, mediante control manual;
 - ° temperatura de atomización con el calentador eléctrico del quemador, mediante controlador automático de temperatura, ubicado en el tablero de control;

- Verificar:

- ° Válvula de descarga de combustible, cerrada. En el tanque de almacenamiento.
- ° Controlador del quemador en la posición de pre-purga.
- ° Controlador del quemador con corriente eléctrica. Lámpara roja encendida.
- ° Tanque de almacenamiento, vacío. Válvula de drenaje, cerrada.

- Llenar tanque de almacenamiento con el combustible a probar.

b. Arranque inicial

- Verificar:

- ° Nivel de agua del caldero: Alto
- ° Temperatura del bombeo: 160°F
- ° Presión de atomización: 20 PSIG
- ° Temperatura de atomización: 190°F

- Energizar controlador del quemador

- Abrir válvula de descarga de combustible

- Poner retorno de combustible a un balde

- Verificar en secuencia:

- ° Presión del combustible: 30 PSIG
- ° Pre-purga del caldero
- ° Posición del motor-modulador en llama baja
- ° Arranque del quemador piloto-lámpara azul encendida
- ° Arranque del quemador principal-lámpara verde encendida

° Combustible de retorno fluyendo al balde.

c. Inicio de la prueba

- Verificar:

° Que el combustible de retorno sea el combustible de prueba

° Gases de combustión color plomo niebla

- Toma de datos y muestras en forma simultánea cada 10 minutos:

° Hora

° Nivel de combustible en el tanque

° Temperatura de bombeo del combustible

° Temperatura de atomización del combustible

° Temperatura de los gases

° Presión de alimentación del combustible

° Presión del aire de atomización

° Toma de muestras de humos para precisar contenido de CO₂ y O₂

El registro de los datos se realiza en el formulario previamente confeccionado. Se adjunta como Adjunto N° 16, un formulario de muestra.

Posteriormente se realiza el análisis en base de los datos recogidos.

5.3 Prueba del Residual de alta viscosidad (800 SSF a 122F).

Nota Preliminar.- Se han probado los siguientes combustibles:

<u>Producto</u>	<u>Procedencia</u>	<u>Viscosidad</u>	<u>°API</u>
G.O.P.V.	RELAPA	9.2 SSF/122°F	16.2

Residual de Vacío	RELAPA	381.0	SSF/122°F	10.8
Residual N°6	RCO	269.0	SSF/122°F	16.3
G.O.P.V.	RCO	145.0	SSU/100°F	25.6
Base Asfáltico 85/100	RCO	945.0	SSF/210°F	8.5

Los cuatro primeros se quemaron con facilidad. El proceso de la combustión fue continuo. Se obtuvieron contenidos de CO₂ y O₂ indicativos de una combustión eficiente. Esto es, alto % de CO₂ (14% - 15%) y bajo contenido de O₂ (3% - 2%).

La combustión de la base asfáltica presentó 2 problemas que era necesario resolver.

El primer problema fue el de la alta viscosidad. Los factores que afectan el manipuleo son la temperatura de bombeo, la temperatura de atomización y la presión de alimentación. El método empleado fue el de prueba y error, por cuanto no hay antecedentes sobre la combustión de esta base asfáltica.

El segundo problema a que se hizo frente fue el de la presión del aire de atomización, y al diámetro de la tobera.

Los pocos lapsos en los que se estableció la combustión, se notó lo siguiente:

- llama errática y contorneada con humo negro, indicios de una combustión incompleta;
- llama pulsante, debido probablemente a una alimentación con presiones variables; o a obstrucciones temporales de la tobera de alimentación; o poca presión del aire de atomización; o a una temperatura no uniforme del combustible; o a una com

binación de dos o más de esos factores.

El intento de la prueba de combustión de la base asfáltica 85/100 duró aproximadamente 3 horas. Se discontinuó por instrucciones de la Gerencia del Departamento de Tecnología, en beneficio de las pruebas de combustión del residual de 800 SSF a 122°F. Se consideró para este cambio, la importancia que reviste este último combustible como candidato para uso en las Refinerías de la Empresa.

El combustible residual de 800 SSF a 122°F se preparó a base de 66.5% de residual de vacío y 33.5% de residual N°6. La preparación corrió a cargo de la División Refinación y Petroquímica. Se probó los días 7 y 11 de febrero de 1983.

Las condiciones de combustión estables; y sin vibración, humo color plomo niebla; llama color anaranjado y ligeramente brillante, cuando los parámetros medidos fueron:

Gasto	:	9 gal/hora (69.4 lb/hora)
Temperatura bombeo	:	215°F
Temperatura atomización	:	215°F
Presión del combustible	:	90 PSIG
Presión de atomización	:	17 PSIG
Contenido de CO ₂ en gases:	:	15%
Temperatura gases a la <u>sa</u> lida de la chimenea	:	554°F

El combustible con retorno al tanque de almacenamiento.

Toma de datos cada 5 minutos. Día 07.02.83.

No se pudo disponer del medidor de 02.

Se tomó una muestra para verificación de la viscosidad, la cual se entregó a la Div. de Refinación y Petroquímica.

5.4 Prueba de la Mezcla Carbón-Petróleo (MCP)

La Div. Refinación y Petroquímica de PETROPERU define el combustible como una mezcla de carbón-petróleo: "Es una dispersión de 40-50% de un carbón mineral en Residual #6; conteniendo además un porcentaje inferior al 10% de agua y aditivos químicos específicos para mejorar su resistencia a la sedimentación estática de la fase sólida. Presenta una viscosidad de 1.700 cp a 67°C" Esto es "1.500 SSF/122°F y un API de 5,0"

Información adicional de esa División indica que la "temperatura de bombeo debe ser menor o igual a 160°F (70°C) y la temperatura de atomización alrededor de 260°F".

Las pruebas que condujeron a la combustión estable de la MCP se realizaron los días 28 de febrero y 02 de marzo de 1983, después de 20 días de ensayos.

La combustión empero produjo vibración en el conjunto del quemador. La llama demasiado alargada que sobrepasaba la longitud del caldero. Una lengua de fuego salía por la mira de la cámara de combustión. Consecuentemente con lo anterior los gases a la salida del caldero y entrada de la chimenea alcanzaron una temperatura que sobrepasó el límite de los 700°C del termómetro.

Los humos al salir de la chimenea presentaron un color gris pizarra y algunas chispas incandescentes. Prueba de una combustión incompleta.

Las condiciones que permitieron la combustión estable fueron:

Gasto	:	4.3 gal/hora
Temperatura bombeo	:	210 °F
Temperatura atomización	:	210 °F
Presión del combustible	:	60 PSIG
Presión de atomización	:	13 PSIG
Contenido de CO ₂	:	12 %
Contenido de O ₂	:	5 %
Temperatura gases	:	mayor de 700°C

El combustible con retorno al tanque de almacenamiento.

Toma de datos cada cinco (5) minutos. Días 28.02.83 y 02.03.83.

5.5 Resultados de las pruebas.

5.5.1 Combustible Residual de 800 SSF á 122°F.

Los resultados de las pruebas indican que el combustible del epígrafe se puede quemar sin dificultades en quemadores similares al usado.

La eficiencia de la combustión se aumentará conforme se aumente el régimen de gasto y consecuentemente el volumen físico de la cámara de combustión. En el quemador de prueba, la eficiencia de la combustión fue baja por el pequeño caudal de consumo (9 galones por hora), y por el pequeño volumen de la cámara de combustión. El gasto estuvo condicionado por el volumen de la cámara de combustión.

5.5.2 Combustible Mezcla Carbón-Petróleo (MCP)

Los resultados de las pruebas indican que se puede lograr la combustión de la MCP, en quemadores similares como el usado; pero con arreglos en el sistema de manipuleo de combustible. Los arreglos que modifican el sistema original de manipuleo de combustible se pueden apreciar comparando los diagramas de flujo de las figuras N°s 9 y 10.

La operación en el inicio de las pruebas se condicionó a la información suministrada por la ex-División de Refinación y Petroquímica de PETROPERU respecto de la MCP:

Viscosidad á 122°F	1,500 SSF
API	5.0 API
Temperatura de bombeo	159/160 °F
Temperatura de atomización	260°F

Las temperaturas de bombeo y atomización de la MCP arriba anotadas, no fueron las que permitieron la combustión de este combustible. Fue la temperatura de 210°F para el bombeo y atomización, la que hizo posible una combustión sostenida del MCP. La determinación de esta temperatura fue por tanteos por ser la primera vez que localmente se pretendía quemar la MCP y por el desconocimiento inicial de la composición de la MCP. Posteriormente se informó de la composición de la MCP, en la cual se puede apreciar un contenido de agua de 5-10% por peso.

La presencia de agua, en ese porcentaje, es indicativa de que la temperatura de atomización no debería sobre-

pasar los 210°F. Aún cuando el sistema esté mecánicamente presurizado a través de la bomba de alimentación.

En efecto, si la temperatura es mayor de 212°F, una parada imprevista pero probable de la bomba de alimentación originará una evaporación violenta del agua contnida. Esta evaporación generará a su vez una presión cuya única vía de alivio es a contracorriente (contrapresión). Se ha comprobado que lo anterior sucede y el combustible regresa al tanque de almacenamiento. Además se forman bolsas de vapor de agua y de gases provenientes de los hidrocarburos (livianos) y del carbón (principalmente H₂S, detectado por su olor característico, en la acción de desgasificado del sistema).

Se nota que la mezcla se adhiere a superficies calientes. La observación directa indica que la adherencia fue mayor, en cantidad, en el calentador de resistencia eléctrica, y menor en el calentador a vapor. Esta adherencia se debe a la alta densidad de calor por unidad de superficie de la resistencia eléctrica.

La adherencia de la MCP a una fuente de calor provoca los siguientes efectos:

- Un aparente craqueo de los hidrocarburos de la mezcla adherida. Lo cual probaría la formación de livianos.
- Carbonización del carbón y de los hidrocarburos. Se tomó muestras sólidas de esta materia carbonizada para su análisis posterior. Las fotografías que muestran

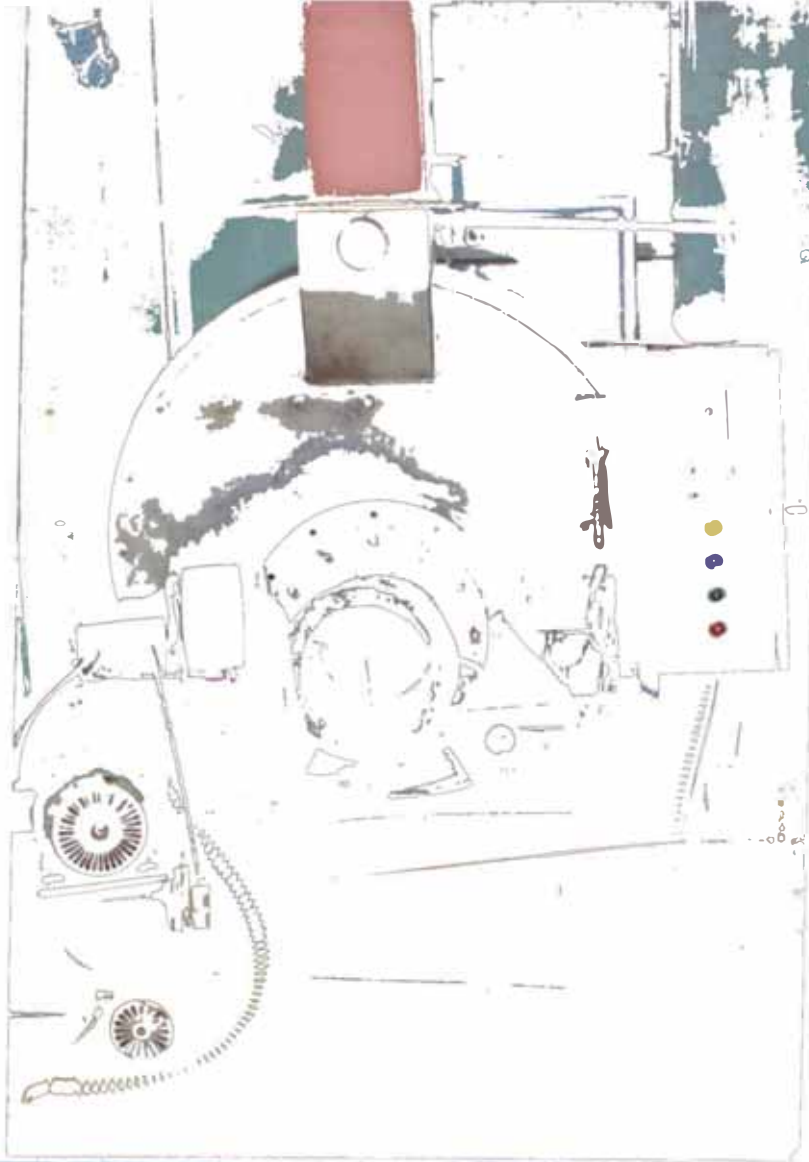
las adherencias en los elementos calefactores se encuentran en la Fig. N°11.

- La materia carbonizada y adherida a los tubos de vapor y a las resistencias eléctricas, bloquea la transferencia de calor. Lo cual, principalmente, causa una caída de temperatura de la mezcla. También podría causar que las resistencias eléctricas se quemem.

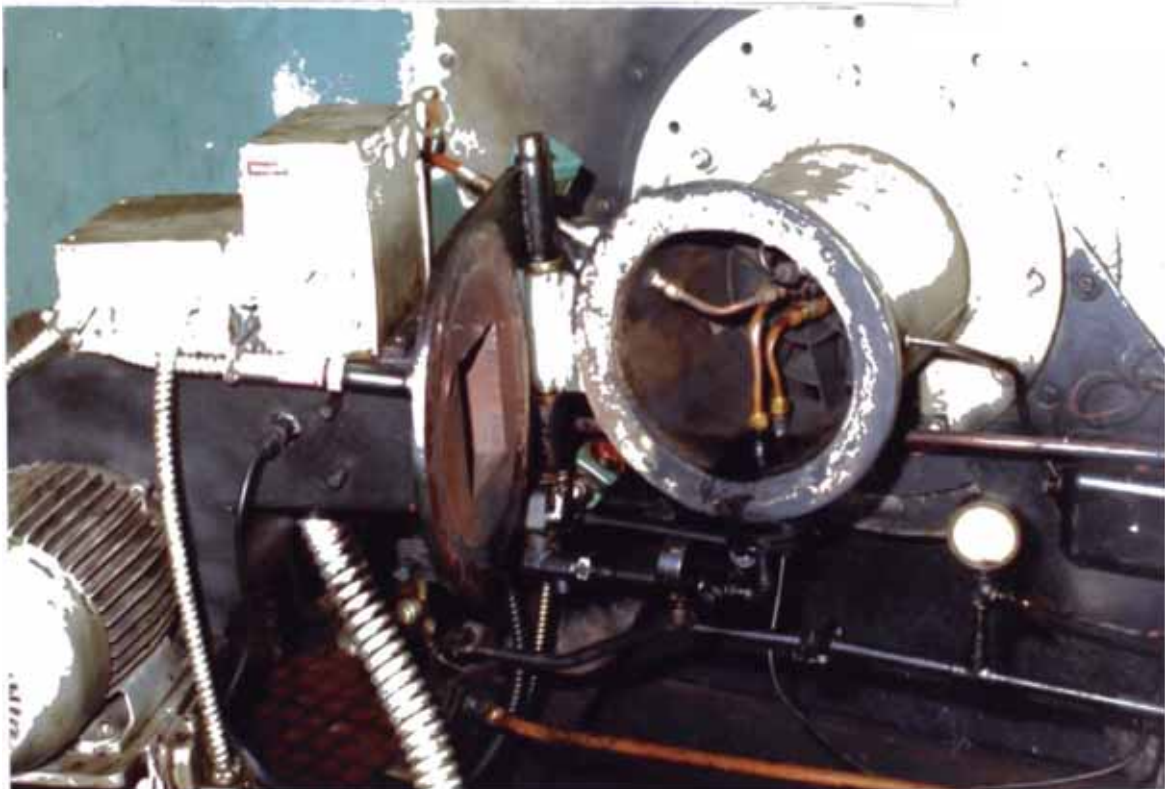
Lo mas significativo, por los peligros potenciales que conlleva, es la caída de temperatura de la mezcla, por las razones siguientes:

- Si la temperatura cae en mas de 5°F, la viscosidad se eleva exponencial o logarítmicamente a niveles que harían imposible su bombeo. Lo enunciado es un hecho experimentado. El atascamiento de la bomba está precedido de caídas bruscas e intermitentes de la velocidad angular de la bomba. Esto parecería indicar que conforme cae la temperatura hay una solución de continuidad en el flujo de la MCP, lo cual, a su vez causaría mayor pérdida de temperatura y mayor viscosidad.
- Una caída de 1°F en la temperatura provoca una combustión con llama errática, pulsante e incompleta (aparece humo).
- Una caída de 2°F en la temperatura causa la cesación de la combustión.

La formación de gases, cualquiera que sea su origen causa en la bomba y tuberías cavitación y golpe de ariete. Lo cual conducirá necesariamente a efectos corrosivos, acentuados por la presencia de azufre.



(a)



(b)

Fig. No. 11 - Quemador Eclipse utilizado en las pruebas.

(a) Instalado en el caldero.

(b) Vista de acercamiento.



(c)



(d)

Fig. No. 11 (continuación:

- (c) Quemador: tuberías de aire de atomización; combustible y gas propano para quemador piloto con porta electrodo y célula fotoeléctrica.
- (d) Quemador: calentador eléctrico después de las pruebas de la MCP.



(e).

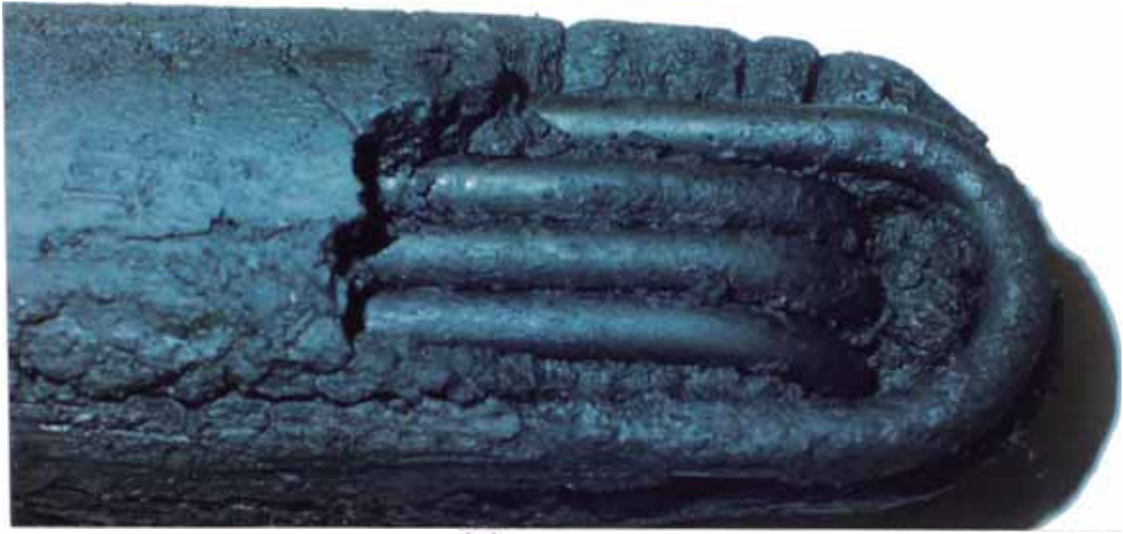


(f).

Fig. No. 11 - (continuación):

(e) Adherencias en el calentador eléctrico

(f) Vista de acercamiento de las adherencias



(g)



(h)

Fig. No. 11 - (Continuación)

(g) Adherencias: nótese el grosor de las mismas.

(h) Adherencias: nótese la compactación de las mismas.



(i)



(j)

Fig. 11 - (Continuación):

- (i) Trozos de la adherencia para su posterior análisis.
- (j) Combustible MCP, en el proceso de mezcla, a una temperatura de 60°C

CONCLUSIONES

1.0 En lo económico.

El costo total de la operación de la planta piloto de combustión propuesta, asciende a US\$ 54,240.- por año.

El posible ahorro estimado conservadoramente, por la aplicación de la tecnología generada para la combustión de combustibles derivados del petróleo y de la mezcla carbón-petróleo, podría ascender a US\$ 377,434.- por año.

Se concluye en que económicamente es provechosa la construcción de dicha planta piloto.

2.0 En lo técnico.

2.1 La selección del equipo de la planta piloto posibilita el control de todas las variables del proceso de combustión, por lo que se concluye en que su factibilidad técnica está asegurada.

2.2 Las pruebas de combustión, en la escala de planta piloto, aún en instalación temporal, del combustible residual de alta viscosidad resultaron en el establecimiento de condiciones que permitirán su combustión a nivel industrial, en PETROPERU.

2.3 Las pruebas de combustión de la mezcla carbón-petróleo, en la escala de planta piloto en instalación temporal, resultaron en el establecimiento de condiciones preliminares que permitieron una combustión estable; pero que, a la vez, indican que es necesario mayor número de pruebas para determi

nar las condiciones que hagan p6sible su utilizaci6n a nivel industrial.

3.0 En la investigaci6n y desarrollo.

La experimentaci6n en las pruebas de la mezcla carb6n-petr6leo, ha generado los resultados siguientes:

- Ha modificado los par6metros de combusti6n dados por la previsi6n te6rica;
- El manipuleo de la MCP tiene caracteristicas singulares, no comparables con el combustible residual que sirve de vehiculo;
- La MCP se adhiere a superficies calientes, directamente proporcional a la intensidad del flujo de calor.

4.0 En la capacitaci6n

Las pruebas de combustibles constituyeron motivo de capacitaci6n para el personal que colabor6 en la realizaci6n de las pruebas.

5.0 Futuro

Como resultado de las conclusiones indicadas, PETROPERU prosigue con la construcci6n de la Planta Piloto de Combusti6n, tal como fue proyectada.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Instrumentos para medición y control, por Werner G. Holzbock, Cía. Editorial Continental, S.A., México, 1974.
- 2.- Engineering Manual, Enterprise Oil Burners, Huntington, West Virginia, U.S.A., 1975.
- 3.- The Orifice Meter, Rockwell Manufacturing Co., Pittsburgh, Pa., U.S.A., 1953.
- 4.- Pilot Plants as a means of technology transfer, por Youngok Ahn, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Korea, 1973.
- 5.- The efficient use of fuel, Her Majesty's Stationary Office, London, 1968.
- 6.- Manual del Ingeniero Químico, Jhon H. Perry, Tomo 1, Editorial UTEHA, Mexico, traducción de la tercera edición en inglés, 1966.
- 7.- Ingeniería de la Cinética Química, J.M. Smith, CECSA, Mexico, traducción de la primera edición en inglés, 1968.
- 8.- Domestic Oil Burners, por Charles H. Burkhardt, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1951.
- 9.- Kent's Mechanical Engineers Handbook, Power Volume; J. Kenneth Salisbury, Editor, Edición doceava, J. Wiley & Sons, Inc., New York, 1960.
- 10.- Curso de Combustión de Combustibles Pesados, por Augusto Alvarez, PETROPERU, 1981.

11.- Nuevo Sistema de Cálculo de Espesores de Aislamiento Térmico (Federal Energy Administration -USA- Conservation Paper No. 46), Editor FIBERGLASS Colombia S.A., Apuntes Técnicos No. 11, pag. 3, Marzo 1980.

12.- Mark's Mechanical Engineers Handbook, McGraw-Hill, Octa Edición, 1978.