



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO METALURGICO PARA LA SUSTITUCION  
DE PIEZAS DE IMPORTACION EN LA  
INDUSTRIA PETROLERA

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO  
P R E S E N T A :  
JUAN RAMIREZ RAMIREZ

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTUDIO METALURGICO PARA LA SUSTITUCION DE PIEZAS DE  
IMPORTACION EN LA INDUSTRIA PETROLERA

I N D I C E:

PGA.

	SUMARIO	
CAPITULO 1	INTRODUCCION . . . . .	1
	1.1 Introducción al tema . . . . .	1
	1.2 Selección de piezas . . . . .	4
	1.3 Descripción del estudio. . . . .	5
CAPITULO 2	INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA Y CONDICIONES OPERATIVAS DE LAS REFACCIONES EN ESTUDIO. . . . .	10
	2.1 Válvulas para motores de combustión interna . . . . .	10
	2.2 Bombas centrífugas. . . . .	20
	2.3 Pistones para motores de combustión interna . . . . .	27
	2.4 Centradores de herramientas . . . . .	31
CAPITULO 3	DESARROLLO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS. . . . .	24
	3.1 Prueba magnética . . . . .	35
	3.2 Prueba de dureza. . . . .	36
	3.3 Análisis químico. . . . .	39
	3.4 Metalografía . . . . .	42
	3.5 Ensayos de tracción. . . . .	49
CAPITULO 4	DISCUSION DE RESULTADOS. . . . .	59
CAPITULO 5	DIAGNOSTICO DE MATERIALES. . . . .	69
CAPITULO 6	CONCLUSIONES . . . . .	84
	APENDICE A (EVALUACION ECONOMICA) . . . . .	86
	B I B L I O G R A F I A . . . . .	91

## S U M A R I O

El objetivo de este estudio consiste en realizar la caracterización metalúrgica de 5 refacciones de uso generalizado en la industria petrolera nacional, a fin de que se fabriquen en el país aprovechando la infraestructura instalada de la industria metal mecánica. Para llegar a la caracterización metalúrgica se efectuaron diversas pruebas de laboratorio a cada una de las piezas, pudiéndose en ciertos casos seccionar las piezas y efectuar ensayos destructivos.

Con los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, así como de la información bibliográfica recabada y de la situación en el mercado nacional de los materiales y procesos identificados en las piezas importadas, se realizó un dictamen final en el cual se proporciona la información de los materiales y procesos que se recomiendan para fabricar en el país las refacciones importadas contempladas en este estudio.

## CAPITULO I

I N T R O D U C C I O N

## 1.1 INTRODUCCION AL TEMA.

La sustitución de importaciones de bienes e insumos requeridos por la industria petrolera mexicana para su operación y mantenimiento es una de las actividades prioritarias en Petróleos Mexicanos, tendiente a disminuir la salida de divisas del país y a fomentar la investigación y desarrollo tecnológico nacional, - así como optimizar el aprovechamiento de la infraestructura industrial del país, que permita la utilización de la capacidad industrial no utilizada actualmente y promueva su diversificación.

Históricamente, el primer programa importante en materia de sustitución de importaciones realizado por PEMEX, se efectuó en 1938 - a raíz de la expropiación petrolera decretada por el gobierno - - del Gral. Lázaro Cárdenas, lo cual originó un bloqueo económico y tecnológico por los países afectados; ante esto se fomentó el desarrollo de la industria metal-mecánica, para producir los - - equipos y refacciones que aseguraran la operación de la industria petrolera, y disminuir la dependencia tecnológica del exterior. También fue importante la diversificación del comercio exterior, lo cual permitió la adquisición de equipo y refacciones que no pudieran fabricarse en el país, debido a limitaciones en tecnología e infraestructura industrial.

Una vez superada esta etapa de emergencia se continuó con el cre

cimiento industrial mediante la importación de nuevas tecnologías, descuidando la investigación nacional; así mismo PEMEX fue renovado paulatinamente, sus procesos y equipos de acuerdo con los adelantos logrados a nivel mundial en la industria petrolera (principalmente: Estados Unidos, Japón y Países Europeos) mediante la importación de los mismos, dando poco impulso a la investigación y al desarrollo de tecnología nacional. Sin embargo, esta orientación cambió a partir del año de 1982, debido a la crisis económica que afrontó nuestro país; PEMEX dió gran impulso a los programas de sustitución de importaciones para evitar la salida de divisas hacia el extranjero.

El programa de sustitución de importaciones en PEMEX se divide en dos grandes áreas:

Sustitución de equipos completos.

Sustitución de refacciones de uso generalizado.

Definiéndose un equipo como un conjunto de partes mecánicas que al operar conjuntamente producen un trabajo, encaminado a satisfacer una necesidad.

Una refacción de importación de uso generalizado es toda pieza -- perteneciente a un equipo en especial que se adquiere actualmente en el extranjero; y que presenta una alta demanda en función a -- que se tienen instalados equipos en varios centros de trabajo.

Los programas de sustitución de piezas de importación, se dividen en las siguientes etapas:

1.- Demanda.

Consiste en seleccionar las refacciones de importación de uso ge-

generalizado para su fabricación nacional.

## 2.- Desarrollo de Ingeniería.

Consiste en el desarrollo de tecnología, proporcionando información sobre el diseño, caracterización y procesos de manufactura de las refacciones, tendiendo a fomentar su fabricación en el país.

## 3.- Evaluación Técnica de Empresas Nacionales.

Consiste en definir los criterios necesarios para realizar la evaluación de las empresas interesadas en la sustitución de refacciones de uso generalizado de importación y que sean capaces de fabricar confiablemente las refacciones que se requieren para el mantenimiento y operación de los equipos de PEMEX.

## 4.- Verificación de Calidades de Refacciones y Validación de Prototipos.

Consiste en validar la calidad de las piezas en proceso de sustitución para que una vez puestas en operación, garanticen la funcionalidad de los equipos.

El presente estudio se centrará en el desarrollo de ingeniería de refacciones de importación, el cual consta de dos etapas:

- a) Ingeniería de detalle.
- b) Caracterización metalúrgica.

El objetivo de este estudio es desarrollar la ingeniería en el aspecto metalúrgico, para fabricar nacionalmente 5 refacciones de importación de uso generalizado, aprovechando la infraestructura de la industria metal-mecánica nacional, así mismo se pre-

tende mostrar los alcances de los ensayos metalúrgicos en la caracterización de materiales de refacciones metálicas importadas.

## 1.2 SELECCION DE PIEZAS.

La selección de las refacciones se realizó tomando como base los siguientes parámetros:

- 1.- Demanda.
- 2.- Selección Operativa.
- 3.- Selección Técnica.

En el caso de la demanda, se considera la cantidad de piezas que pueden necesitarse en un período determinado, así como el número de piezas existentes en almacenes. Una demanda constante de piezas y/o un gran volumen requerido son atractivos para los fabricantes nacionales.

Considerando la selección operativa se involucran los refaccionamientos de equipos, en los cuales los programas de mantenimiento mecánico identifican las piezas intercambiables, las cuales tienen una vida media de trabajo y son retiradas del equipo una vez que se ha cumplido con este tiempo de servicio.

Referente a la selección técnica es muy importante considerar la disponibilidad de materiales en el mercado y la factibilidad de producción.

En función a lo anteriormente mencionado, fueron seleccionadas las siguientes refacciones:

- 1.- Válvula de escape para motor de combustión interna diesel -- marca Waukesha.



- 2.- Pistón para motor de combustión interna diesel marca Caterpillar.
- 3.- Impulsor para bomba centrífuga Bingham.
- 4.- Flecha para bomba centrífuga Bingham.
- 5.- Centrador de 6 brazos flexible para sonico marca Schlumberger.

### 1.3 DESCRIPCION DEL ESTUDIO.

La sustitución de importaciones en refacciones y equipos mecánicos involucra una serie de etapas, que inician con el desarrollo de ingeniería y culminan con la producción en serie de la refacción importada. En la Figura 1, se muestra un diagrama de bloques en el cual se presenta la metodología propuesta para sustituir - refacciones de importación, la cual sirvió como guía en el desarrollo del presente trabajo.

La etapa de Metrología proporciona toda la información del diseño (dimensiones, ajustes, acabados y tolerancias), con el objeto de fabricar una pieza similar a la de origen.

La etapa de Caracterización Metalúrgica de la pieza se realiza - con el fin de conocer el material, sus propiedades y su proceso de manufactura.

Los trabajos de sustitución de importaciones que se han realizado a nivel nacional dentro de la industria petrolera se ubican principalmente en los siguientes grupos:

- Motores de Combustión Interna:

(Pistones, Bielas, Camisas, Válvulas, Balancines, Inyectores -

de combustible, Pernos, Cojinetes, Resortes, Engranos, Sopladores, Anillos para Pistón).

- Turbinas:

(Alabes, Difusores, Reductores de velocidad, Engranos, Felchas, Quemadores, Válvulas de sangrado, Válvulas de control de combustible).

- Bombas:

(Impulsores, Flechas, Anillos de desgaste, Mangas, Chumaceras, Deflectores, Sellos, Empaques).

- Compresores:

(Mangas, Deflectores, Flechas, Tuercas de seguridad, Chumaceras, Sellos, Espaciadores, Laberintos, Embolos, Pernos, Camisas, Bielas).

- Equipos de Perforación y Registros Geofísicos:

(Barras de contrapeso, Pistolas scallop, Martillos de Percusión, Centradores de herramienta. Blocks de impresión, Cartas de Registro, Barrenas, Tubería, Ejes, Cables, Poleas).

- Equipos en Proceso:

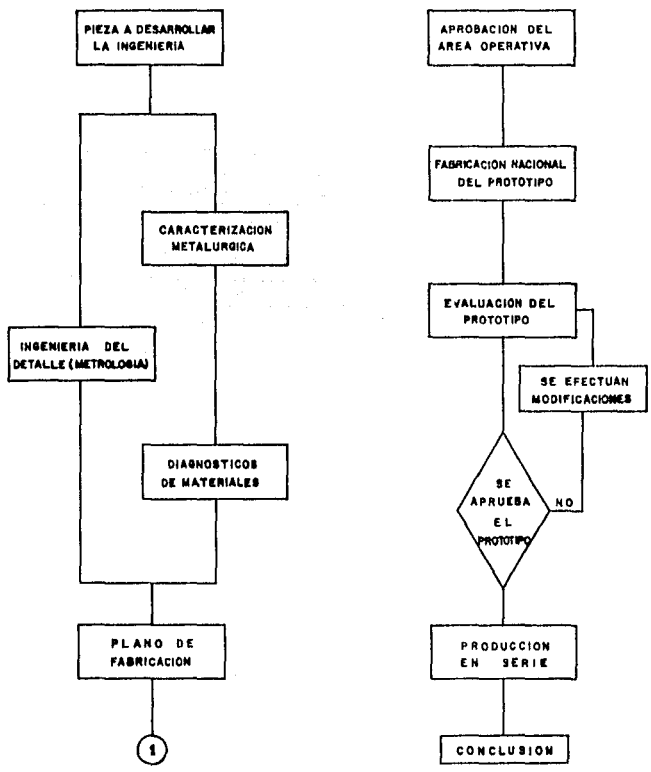
(Reactores, Intercambiadores de Calor, estufas, Tubería).

- Equipos Diversos:

(Válvulas de bola, de control, de relevo, de paso, tuberías y accesorios para tuberías).

Considerando la diversidad de equipos utilizados en la industria petrolera es de esperar una amplia variedad de materiales en dichos equipos, realizándose la selección de éstos en base a las ..

FIG.1 METODOLOGIA PROPUESTA PARA  
SUSTITUIR REFACCIONES DE IMPORTACION



condiciones de operación en las que se encuentran sometidas; tales condiciones son determinadas fundamentalmente por los ambientes corrosivos y la altas presiones y/o temperaturas de trabajo, otros factores como los de tipo económico y disponibilidad en el mercado, aunque son importantes, se consideran secundarios, ya que los primeros son definitivos en los aspectos de diseño y operación de los equipos.

El estudio de caracterización metalúrgica se realizó en las refacciones seleccionadas conforme a las siguientes etapas:

- 1.- Inspección Visual.
- 2.- Recabación de Información Técnica.
- 3.- Pruebas Metalúrgicas.

Las etapas 1 y 2 se presentan en el capítulo siguiente, en tanto que la 3 se desarrolla en el capítulo 4.

La inspección visual es importante para realizar una planeación adecuada del estudio, ya que se identifica si la refacción está constituida por uno o varios materiales, el tipo de unión entre ellos, posibles recubrimientos, así como el color, la apariencia y los acabados de las superficies metálicas.

La recabación de información técnica involucra la revisión bibliográfica y las condiciones de operación (funcionamiento de la pieza en el equipo o sistema al que pertenece, flujo o ambiente actual está expuesta, temperatura, presión, flujo, esfuerzos de tracción, torsión, compresión, fatiga a los cuales está sometida). Las pruebas metalúrgicas proporcionan la información necesaria -

para identificar los materiales y sus propiedades; éstas se realizaron de manera destructiva en la válvula, el pistón y el centrador; en el impulsor y la flecha estas pruebas se realizaron de manera no destructiva, dado que se trata de piezas en operación, las cuales se desmontaron de la bomba para darle mantenimiento, pero una vez concluido éste, las piezas volvieron a utilizarse en el equipo.

En las pruebas destructivas se pueden seccionar las piezas, en tanto que en las no destructivas no se debe afectar las dimensiones ni la funcionalidad de las refacciones.

★

CAPITULO II  
INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA Y CONDICIONES OPERATIVAS DE  
LAS REFACCIONES EN ESTUDIO.

2.1 VALVULAS PARA MOTORES DE COMBUSTION INTERNA.

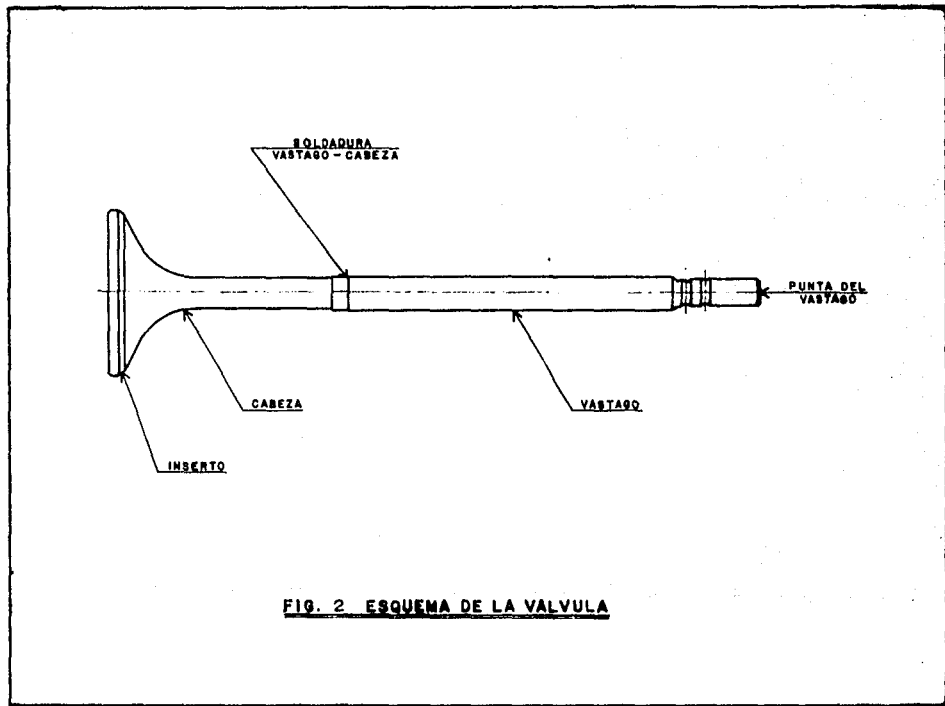
Los motores de combustión interna utilizan dos tipos de válvulas: de admisión y de escape. Las de admisión son refrigeradas por -- los combustibles empleados y por consiguiente no están sometidas a elevadas temperaturas; por el contrario las de escape están ex puestas a los gases de combustión que alcanzan temperaturas de - hasta 900 C, por ello es necesario que tengan buena resistencia- mecánica y a la corrosión en caliente.

Las válvulas de escape pueden ser íntegramente de un solo metal- o bimetálicas.

En las bimetálicas, por lo general la cabeza es de acero austení tico (por ejemplo Silchrome 142, Silchrome 746, etc.) y el vásta go de acero martensítico (1047, 8640, etc.).

En la Figura 2 se muestran las secciones que componen la válvula de escape en estudio, la cual pertenece a un motor Waukesha tur- bocargado con 1300 H.P. y 12 cilindros en "V". Este motor se uti liza en motogeneradores y equipos dinámicos de diversos centros- de trabajo como: Refinerías, complejos petroquímicos, zonas de - perforación y sistemas de transportación de hidrocarburos.

La función primordial de la válvula es permitir la salida de los gases generados durante la combustión del motor. Sus condiciones de trabajo son muy severas debido a las altas temperaturas de --



trabajo y la acción corrosiva de los gases de combustión a los - que están sometidas (monóxido de carbono, dióxido de carbono, va por de agua, compuestos de azufre, fósforo, vanadio, plomo e hidrocarburos residuales).

Para ubicar las válvulas en el motor y analizar su funcionamiento, en la Figura 3 se muestra un esquema de la cámara de combustión del motor Waukesha.

La función del inserto es evitar el desgaste de la cabeza, ya -- que esta zona se somete a fricción metal-metal sin lubricante al sellar herméticamente la cámara de combustión.

De la Figura 3 se observa que la cabeza de la válvula opera en - condiciones más severas que el vástago, ya que es la parte de la válvula que está en contacto directamente con los gases de com-- bustión, por tanto, el material de la cabeza debe tener mejores propiedades mecánicas y corrosivas que el material del vástago a la temperatura de trabajo.

Se observa que el vástago se coloca dentro de una gufa, la punta está sometida a impactos con el balancín, por lo cual se requiere tener esta zona con elevada dureza para evitar desgaste.

En el diseño de válvulas para motores de combustión interna se - hacen 3 clasificaciones generales de los motores:

- 1.- Motores de encendido por chispa (combustible plomado).
- 2.- Motores diesel.
- 3.- Motores de encendido por chispa (combustible sin plomo).

En los motores del tipo 1, la corrosión por el plomo es el fac--



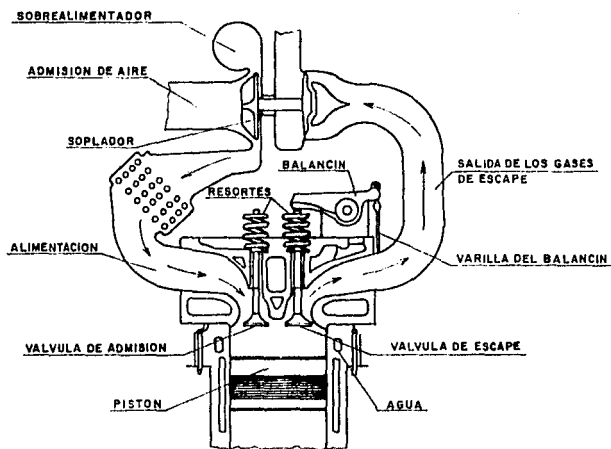


Fig. 3 ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS VALVULAS DE ADMISION Y ESCAPE

tor más importante en el diseño; en los motores del tipo 2, la resistencia mecánica a elevadas temperaturas es el requerimiento principal a considerar en el diseño; en los del tipo 3 el desgaste metal-metal en la cabeza de la válvula es lo principal a considerar.

Las aleaciones que se utilizan en válvulas, se someten a pruebas mecánicas para predecir su comportamiento en servicio, siendo -- las principales:

1.- Resistencia Mecánica a Elevadas Temperaturas.

Ensayos de tensión de ruptura y de tensión para 1% de deformación.

2.- Dureza en Caliente.

3.- Fatiga a Elevada Temperatura.

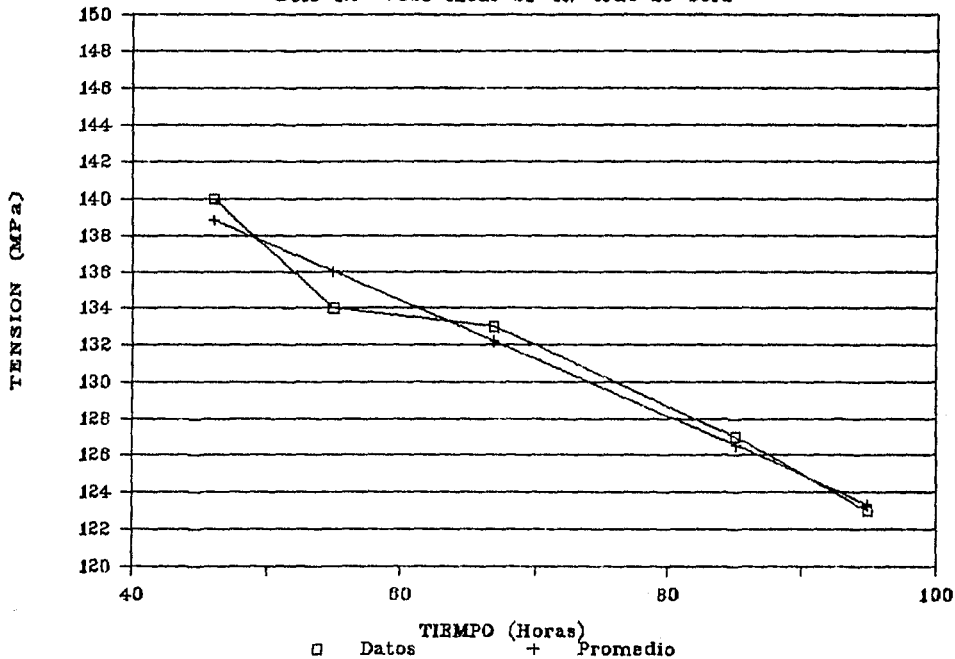
Los ensayos mencionados en el punto 1 se realizan a temperaturas de 732 C (1350F) y 815 C (1500 F), variando las tensiones aplicadas a las muestras, y se registra el tiempo requerido para producir ruptura y 1% de deformación.

Los valores obtenidos para un material dado, son presentados en gráficas tiempo vs. tensión.

En la Figura 4 se muestra una gráfica de este tipo, realizada para la aleación 21-4 N<sup>(1)</sup>, de estas curvas se obtienen los siguientes datos: la tensión que se requiera para deformar 1% el material durante 100 horas a una temperatura dada y la tensión que se requiere aplicar para romper un material a una temperatura dada durante 100 horas.

# FIG 4 CURVA TENSION-TIEMPO

Defo 1% 732C Aleac 21-4N Trat de Solu



La dureza en caliente es determinada por dos métodos:

El convencional y el de indentación mútua, utilizándose la escala de dureza Brinell. En el método de indentación mutua, dos cilindros del material a ensayar de 1 cm. de diámetro son presionados una contra el otro bajo una carga específica. La dureza se calcula a partir de las mediciones de las huellas que aparecen en los cilindros del ensayo después que han sido sometidos a la compresión a temperaturas elevadas.

Las curvas de dureza en caliente <sup>(1)</sup> (ver figura 5), muestran -- que al incrementarse la temperatura, la dureza del material disminuye. Los valores de fatiga a elevada temperatura son muy útiles, ya que las válvulas están constantemente sujetas a tensiones alternantes durante su operación. Estos valores son utilizados para mejorar las aleaciones cuando ocurren fallas por fatiga durante el servicio. En estos ensayos se determina el límite de fatiga en millones de ciclos a una temperatura y tensión dadas. Los materiales para válvulas están normalizados por la especificación SAE J-775, destacándose lo siguiente:

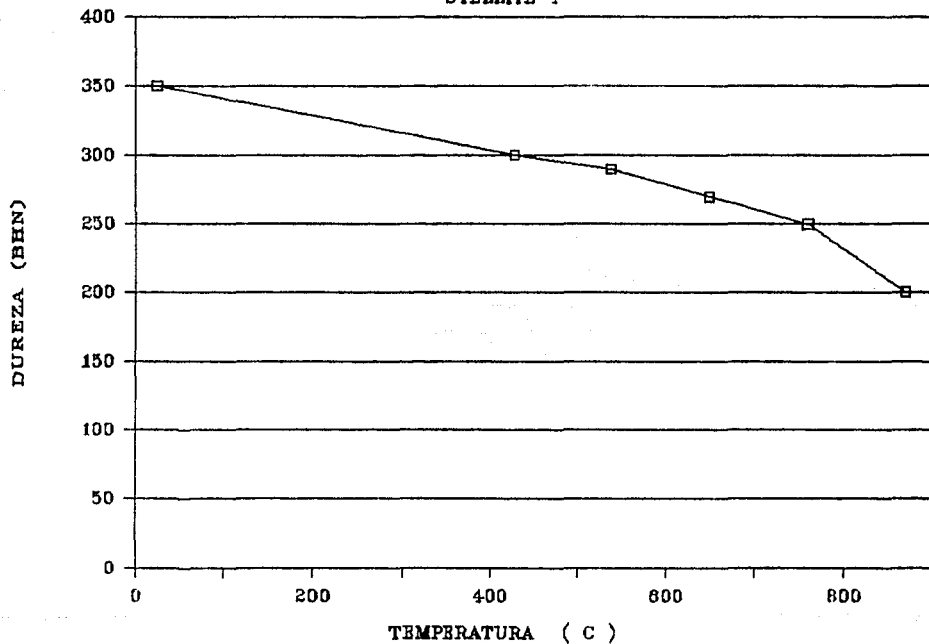
DESIGNACION DE  
LA ALEACION

SIGNIFICADO DE LAS SIGLAS

NV	Aceros de construcción para válvulas de admisión.
HNV	Aceros de alta aleación para válvulas de admisión.
EV	Aceros austeníticos para válvulas de escape.
HEV	Aleaciones de muy alta resistencia para válv

# FIG 5 DUREZA-TEMPERATURA

STELLITE F



vulas de escape.

VF

Superaleaciones utilizadas como insertos o recubrimientos en puntos críticos de corrosión y/o desgaste.

El número que acompaña a las letras, es asignado de acuerdo al orden en que aparece la aleación, dentro del grupo al que pertenece.

- Selección de materiales para válvulas de motores diesel.

a) Válvulas de admisión.

La selección de materiales para válvulas de admisión se realiza considerando las propiedades siguientes:

- 1.- Resistencia a la oxidación y a la corrosión.
- 2.- Resistencia al desgaste.
- 3.- Resistencia a la fatiga.

Basándose en el punto 1 la selección del material se realiza en el siguiente orden:

- |                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| i) Acero 8645, 3140, 1047      | hasta 426 C |
| ii) Silchrome # 1 (SAE HNV-3)  | hasta 593 C |
| iii) Silchrome xBe (SAE HNV-6) | hasta 704 C |

La dureza en caliente es la mejor indicación de la resistencia al desgaste de un material, basándose en esta propiedad la selección se realiza en el orden siguiente:

- i) Acero 8645, 3140, 1047.
- ii) Silchrome # 1 (SAE HNV-3).
- iii) Silchrome xBe (SAE HNV-6).

iv) Gaman HS.

v) Stellite # 6 (SAE VF-2).

Basándose en la resistencia a la fatiga, la selección del material se efectúa de acuerdo al orden siguiente:

i) Acero 8645, 3140, 1047.

ii) Silchrome # 1 (SAE HNV-3).

iii) Silchrome xBe (SAE HNV-6).

iv) 21-4N (SAE EV-8), Silchrome # 746 (SAE EV-11), Gaman HS.

A continuación en la Tabla # 1 se especifican las composiciones químicas de las aleaciones utilizadas para fabricar válvulas de admisión, acorde a la norma SAE J 775 antes mencionada

b) Válvulas de escape.

La Selección de materiales para válvulas de escape (Ver Tabla 2), se realiza considerando las siguientes propiedades:

1) Resistencia mecánica a elevadas temperaturas.

2) Resistencia al desgaste.

3) Resistencia a la corrosión.

Basándose en el punto 1 la selección se realiza en el orden siguiente:

i) Silchrome # 1 (SAE HNV-3)

II) Silchrome xBe (SAE HNV-6)

iii) Silchrome 746 (SAE EV-11), 21-4N (SAE EV-8), Silchrome 10 - SAE EV-5), 2112N (SAE EV-4), Gaman HS.

Iv) N-155 (SAE HEV-1)

v) Inconel 751 (SAE HEV-3)

vi) Nimonic 90 (SAE HEV-6)

El Silchrome I y el Silchrome xBe son utilizados en válvulas de una pieza, en tanto que los materiales austeníticos son utilizados en la fabricación de válvulas bimetálicas.

En los motores diesel turbocargados los requerimientos de resistencia a elevadas temperaturas, hacen necesario el cambio de las aleaciones austeníticas base hierro en favor de las superaleaciones base níquel y base cobalto. Estos materiales siempre se utilizan en la fabricación de válvulas bimetálicas.

La aleación N-155 fue la primera elección de las superaleaciones, pero en años recientes el Inconel 751 ha ganado usos en aplicaciones normalmente cubiertas por el N-155 y Nimonic 90, debido a sus excelentes propiedades que se aproximan a las del Nimonic 90 y el precio de la válvula terminada se mantiene cercano al del N-155. Para una adecuada resistencia al desgaste en caliente se utilizan insertos de aleaciones base cobalto en la cabeza de este tipo de válvulas.

## 2.2 BOMBAS CENTRIFUGAS

Una bomba se define como un transformador de energía. Recibe -- energía mecánica que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc. y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad. La clasificación más utilizada de las bombas es la de Hydraulic Institute y se muestra a continuación:



## MATERIALES PARA VALVULAS DE ADMISION

% EN PESO

TABLA No. 1

DESIGNACION COMERCIAL	DESIGNACION SAE	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	W	Co	Fe	OTROS
1047	NV-2	.42-.51	1,3-1.6	.15-.30	.04máx.	.05máx.							BASE
8645	NV-5	.43-.48	.75-1.0	.20-.35	.04máx.	.04máx.	.40-.60	.40-.70	.15-.25				BASE
SILCHROME # 1	HNW-3	.40-.50	.20-.60	3.0-3.5	.03máx.	.03máx.	8.0-9.0	.40máx.					BASE
SILCHROME XBe	HNW-6	.76-.86	.20-.60	1.9-2.6	.03máx.	.03máx.	19-21	1.0-1.6	1.9-2.6				BASE
21 - 4N	EV-8	.47-.57	8-10	.25máx.	.03máx.	.04-.09	20-22	3.25-4.5					BASE .38-.5 N
SILCHROME 746	EV-11	.65-.76	5.5-6.9	.45-.85	.04máx.	.025-.065	20.5-.22	1.4-1.9					BASE
GAMAN HS	-	.47-.57	11-13	2.3-3.0	.03máx.	.30máx.	20.5-22.0						BASE .40min N
STELLITE 6	VF-2	.90-1.4	.50máx.	.7-1.5			26-30	3.0máx.	1.0máx.	3.3-5.5			BASE 3.0máx.

## MATERIALES PARA VALVULAS DE ESCAPE

% EN PESO

TABLA No. 2

DESIGNACION COMERCIAL	DESIGNACION SAE	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	W	Co	Fe	OTROS
SILCHROME 10	EV-5	.30-.45	.80-1.3	2.75-3.25	.03máx.	.03máx.	18.0-20.0	7.5-8.5	-	-	-	BASE	
2112 N	EV-4	.15-.25	1.0-1.5	.75-1.25	.03máx.	.03máx.	20.0-22.0	10.5-12.5	-	-	-	BASE	.15-.25 N
N-155	HEV-1	.08-.16	1.0-2.0	1.0máx.	.03máx.	.03máx.	20.0-22.5	19.0-21.0	2.5-3.5	2.0-3.0	18.5-21.0	BASE	.75-1.25 cb+Ta
INCONEL 751	HEV-3	.08máx.	1.0máx.	.50máx.	-	.015máx.	14.0-17.0	70.0mín.	-	-	1.0máx.	5.0-9.0 Cu	.05máx. .70-1.20cb+Ta .90-1.50 Al 2.20-2.75 Ti
NIMONIC 90	HEV-6	.10máx.	1.0máx.	1.5máx.	-	.015máx.	18.0-21.0	BASE	-	-	15.0-21.0	5.0máx.	1.4-2.0 Al 2.2-3.0 Ti .05máx. Cu

		Reciprocantes
	Desplazamiento Positivo	
Bombas		Rotativas
	Centrifugas	
	Dinámicas	Periféricas
		Especiales

Las condiciones operativas son las siguientes:

La bomba centrífuga a la que pertenecen las refacciones en estudio (flecha o impulsor) se utiliza en el transporte de petróleo crudo de las zonas de producción a los lugares que se refinará - este crudo, la temperatura de bombeo es de 50 C (122 f) con una presión de descarga de 1100 psi y un gasto de 1500 GPM.

Se trata de una bomba Bingham tipo MSD-D tamaño 6x8x11 con una potencia de 1500 H.P. y velocidad de 3560 RPM.

En la Fig. 10 se muestra el esquema de la bomba indicando sus principales componentes:

Construcción de bombas centrífugas. (14)

Las condiciones de servicio y la naturaleza del líquido manejado por la bomba determinarán el tipo de material que se utilizará - en cada una de las partes de la bomba; siendo las condiciones de servicio que afectan la selección de materiales las siguientes:

- a) Corrosión del líquido manejado.
- b) Acción electroquímica.
- c) Abrasión de los sólidos en suspensión.

d) Temperatura de operación.

e) Carga de operación.

f) Vida esperada.

Las designaciones de acuerdo a los materiales utilizados en las bombas son:

1) Bomba estandar (fierro y bronce).

2) Bomba toda de fierro.

3) Bomba toda de bronce.

4) Bombas de acero con partes internas de fierro o acero inoxidable.

5) Bombas de acero inoxidable.

De acuerdo al tipo de succión las bombas se clasifican en:

1) Succión simple.

2) Succión doble (ambos lados del impulsor).

3) Succión negativa (nivel del líquido inferior al de la bomba).

4) Succión positiva (nivel del líquido superior al de la bomba).

5) Succión a presión (la bomba succiona el líquido de una cámara hermética donde se encuentra ahogada y a donde llega el líquido a presión.

De acuerdo a la dirección del flujo se clasifican en:

1) Flujo radial.

2) Fluxo axial.

3) Flujo mixto.

Las bombas de flujo radial tienen impulsores generalmente angostos de baja velocidad específica, que desarrollan cargas altas.

El flujo es casi totalmente radial.

Las bombas de flujo axial llamadas de propela el flujo es completamente axial, sus impulsores son de alta velocidad específica, manejan grandes gastos y cargas bajas.

Las bombas de flujo mixto se caracterizan por que éste cambia de axial a radial, son empleadas para gastos y cargas intermedias, siendo su velocidad específica mayor que en las de flujo radial. A continuación se da una descripción de las refacciones de la bomba en estudio (impulsor y flecha), así como su función y requerimientos principales de ambas piezas.

Impulsor.

La función del impulsor es recibir al líquido y proporcionarle una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba. De acuerdo al Hydraulic Institute los impulsores se clasifican en función a lo siguiente:

- a) Tipo de succión: Succión simple y succión doble.
- b) Forma de las aspas: De curvas radiales, tipo Francis, para flujo mixto y tipo propela.
- c) Dirección del flujo: Radial, mixto y axial.
- d) Construcción mecánica: Abierto, cerrado y semiabierto.
- e) Velocidad específica: Baja, media y alta.

Acorde a lo anterior el impulsor bajo estudio se clasifica de la siguiente manera:

De aspas curvas radiales, de baja velocidad específica y de tipo cerrado, lo cual permite trabajar con claros mayores entre el im

pulsor y la carcasa ya que el líquido va canalizando entre las tapas integrales con las aspas que cubren ambos lados del impulsor; por esta razón no se presentan fugas ni recirculación.

Los materiales más utilizados en la fabricación de impulsores para bombas son: Hierros grises, aceros de baja aleación, aceros - inoxidables, bronce y aleaciones base níquel.

De la inspección visual del impulsor se desprende lo siguiente:- Es de una sola pieza, debido a que no presenta componentes adicionales, ni recubrimientos o uniones por soldadura. En base a las dimensiones y complejidad en su forma es de esperar que se trata de una pieza de fundición moldeada en arena.

#### Flecha.

La flecha de una bomba es el eje de todos los elementos que giran en ella, transmitiendo además el movimiento que le imparte la flecha del motor.

En el caso de una bomba centrífuga horizontal, la flecha es una sola pieza a lo largo de toda la bomba. En el caso de bombas de pozo profundo, existe una flecha de impulsores y después una serie de flechas de transmisión unidas por un cople, que completan la longitud necesaria desde el cuerpo de tazones hasta la cabeza de descarga.

La determinación del diámetro de las flechas centrífugas horizontales se hace tomando en cuenta la potencia máxima que va a transmitir la bomba, el peso de los elementos giratorios, y la longitud de la flecha.

Los materiales más utilizados en la fabricación de flechas para bombas son: Aceros al carbono (modificándose únicamente el contenido de carbono según la resistencia que necesite), aceros de baja aleación, aceros inoxidable austeníticos y martensíticos, -- así como aleaciones base níquel entre otras.

De la inspección visual realizada a flecha bajo estudio se observa lo siguiente:

La flecha tiene un brillo metálico, se trata de una pieza única (no se detectaron uniones ni recubrimientos), el acabado de la superficie es típico de un rectificado.

### 2.3 PISTONES PARA MOTORES DE COMBUSTION INTERNA.

Los pistones son componentes esenciales para el funcionamiento del motor, puesto que desempeñan una triple función: (7)

- Sirven de pared móvil del cilindro en el que se expanden los gases de la combustión.
- Transmiten la fuerza generada en esta expansión a la biela, para que ésta la convierta en movimiento de giro del cigueñal.
- Impiden que los gases pasen del cilindro al carter.

El análisis de las funciones mencionadas conduce a la observación de que los pistones deben poseer características que se revelan como contradictorias entre sí. Así por ejemplo, para resistir las altas presiones que se originan sobre la zona superior o cabeza del pistón en los momentos de la compresión de la mezcla carburada e inmediatamente después de la explosión, se hace necesario dar a esta parte de los pistones un espesor importante, ca

paz de resistir las cargas elevadas sin que se produzca su perforación o rotura.

Por otra parte las fuerzas de inercia del movimiento alternativo aumentan directamente en función de las velocidades y masa en movimiento, por lo cual se busca que el peso sea lo más reducido - posible con objeto de que los fenómenos de inercia sean lo menos acusado posible y no perturben el funcionamiento del motor al -- originarse sobre el cigüeñas vibraciones de caracter torsional. Los pistones deben permitir la realización de una cámara de compresión y expansión de los gases a volumen variable variable, -- manteniéndolo además la rigurosa estanqueidad de los cilindros durante toda la extensión de sus desplazamientos.

A primera vista el problema de la estanqueidad parecería quedar resuelto construyendo los pistones con el diámetro de la falda - idéntico al del interior de los cilindros, dejando la tolerancia adecuada de ajuste deslizante que les permitiera el movimiento - alternativo que deben efectuar. Pero esta solución es inaceptable por lo siguiente:

1.- La temperatura de los pistones en funcionamiento es más elevada que la de las paredes de los cilindros que los contienen, - por estar éstas últimas en contacto directo con el medio refrigerante del motor (agua o aire), siendo por consiguiente la dilatación de ambos elementos totalmente diferente, considerando además la diferencia de los materiales de que están constituidos.

2.- A pesar de que los pistones tuvieran una determinada holgura de montaje que permitiera el desplazamiento de éstos sin - -



riesgo de agarrotamiento, el diámetro de la zona de la falda no podría ser en ningún caso el mismo en toda su extensión, debido a que las temperaturas de funcionamiento no son las mismas en -- las diferentes zonas del pistón tal como se muestra en la Figura 6.

En consecuencia, la holgura de dilatación previsible no puede ser igual para toda la extensión de la falda de los pistones, o sea que los pistones no adoptan la forma cilíndrica que aparentemente tienen.

La cuestión de las temperaturas consideradas como críticas de -- funcionamiento para las diferentes zonas de los pistones es bastante compleja, puesto que depende de múltiples factores, tales como la relación de compresión, tipo de material de que están -- contruídos los pistones.

El aumento de la relación de compresión origina en los motores -- de combustión, y concretamente en la cámara de compresión y cabeza del pistón, un aumento en la temperatura debido al calentamiento por fricción de las moléculas de la mezcla combustible.

La naturaleza del material del que están contruídos, afecta directamente el grado de temperatura de éstos, debido al ajuste necesario entre pistón y cilindro para un correcto funcionamiento y a la conductividad térmica del material que influye en la mayor o menor rapidez de disipación del calor hacia las paredes de los cilindros y hacia el carter, por la parte inferior interna -- del pistón, en cierto modo refrigerada por el aceite de engrase.

También influye el mayor o menor número de segmentos que posee un pistón en la cantidad de energía térmica que se disipa por la zona del pistón en que se alojan los anillos en contacto con la superficie de la pared interna del cilindro.

Los materiales más utilizados en la fabricación de los pistones son: Aleaciones de aluminio (con Ni, Cu, Mg, y Si principalmente) hierros grises, maleables y nodulares.

En la Figura 6 se muestran las zonas que constituyen al pistón - en estudio:

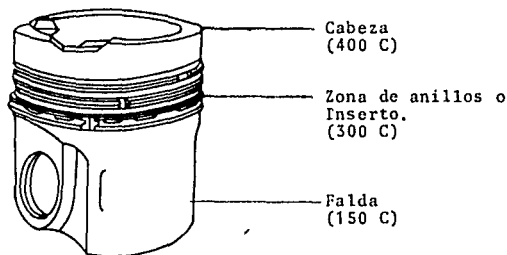


FIG. 6. Diferentes zonas del pistón y sus temperaturas de operación.

La función de cada una de las zonas es la siguiente:

1.- Cabeza del pistón:

Variar el volumen del cilindro a efecto de poder comprimir la mezcla carburada y recibir sobre ella las altas presiones resultantes de la combustión.

## 2.- Zona de anillos

Alojar a los anillos en las ranuras realizadas en ella.

Permitir la dilatación en la medida adecuada a las diferencias de temperatura que existen en cada uno de los segmentos que aloja.

## 3.- Falta del pistón:

Servir de guía del pistón durante sus desplazamientos, transmitiendo a las paredes de los cilindros la presión lateral generada por la oblicuidad de la biela.

## 4.- Alojamiento del perno:

Unir y articular el pistón a la biela.

De la inspección visual realizada en el pistón se desprenden los siguientes comentarios:

La zona de anillos está constituida por un material diferente al resto del pistón.

El pistón no presenta recubrimiento o uniones por soldadura, además presenta zonas maquinadas y no maquinadas típicas de una pieza fundida y vaciada en molde permanente. Los acabados y la complejidad en la forma de la pieza sugieren que el proceso de fabricación es el antes mencionado. Este pistón pertenece a un motor industrial marca Caterpillar modelo 3412 turboalimentado que desarrolla una potencia de 750 H.P. a 2100 RPM y tiene 12 cilindros colocados en "V".

## 2.4 CENTRADORES DE HERRAMIENTAS.

Este tipo de piezas son utilizadas dentro de la industria petro-

lera en operaciones de perforación y producción de pozos petrolíferos.

Su función principal consiste en como su nombre lo dice en controlar y soportar equipos y herramientas utilizadas en registrar temperaturas, presiones en el interior de los pozos y en operaciones de muestreo.

Existen en el mercado mundial diversos modelos de centradores -- clasificados por su forma y el diámetro de la herramienta que -- pueden sostener.

El centrador en estudio corresponde al modelo CME-2 (Schlumberger) que se utiliza para herramientas con diámetro de 3 3/8" a 3 5/8" y opera en un diámetro de 4 3/4" a 16" (con los muelles -- expandidos a su máxima extensión).

En la Figura 11 se muestran los componentes del centrador en estudio.

El centrador no debe interferir con las funciones de la herramienta que sujeta, la jaula que se forma con los 6 muelles (Figura 11) es libre para rotar en la herramienta.

Estos centradores trabajan en profundidades de hasta 4000 m., -- con temperaturas que alcanzan hasta 170 C y presiones de 700 -- Kg/cm<sup>2</sup> en ambientes corrosivos de petróleo crudo, lodos, agua, gas natural. Los principales requerimientos de los materiales empleados en la fabricación de los centradores son:

Resistencia a la corrosión.

Elevado límite elástico (en los muelles).

**Resistencia a la tracción.**

Para satisfacer lo anterior estas piezas se fabrican principalmente de los siguientes materiales:

- Aceros inoxidable en cuerpo.
- Aleaciones base titanio en muelles.

De la inspección visual realizada a la pieza se desprende lo siguiente:

Los componentes 2, 3, 5 y 6 presentan acabados típicos de fundición.

No se observan recubrimientos ni soldaduras.

Los muelles tienen adherida una sección de hule.

CAPTULO III  
DESARROLLO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

Las refacciones que fueron seleccionadas para el estudio de sustitución de importaciones se identificaron de la manera siguiente:

# PIEZA	IDENTIFICACION.
Pieza 1	Válvula de escape para motor de combustión <u>in</u> terna.
Pieza 2	Pistón para motor de combustión interna.
Pieza 3	Impulsor para bomba centrífuga.
Pieza 4	Flecha para bomba centrífuga.
Pieza 5	Centrador de 6 brazos.

A cada una de las piezas, se le realizaron diversas pruebas con el objeto de obtener una caracterización metalúrgica, para identificar los materiales y sus propiedades mecánicas.

Los ensayos a las piezas se hicieron de acuerdo al tipo de material encontrado, pudiéndose en ciertos casos seccionarlas y efectuar ensayos destructivos.

En las piezas 1, 2 y 5 fueron destructivos, en tanto que en la 3 y 4 se realizaron ensayos no destructivos, por la razón antes -- mencionada. (Ver pág. ).

Los ensayos efectuados en las piezas 1, 2 y 5 se enuncian a continuación:

- PRUEBA MAGNETICA
- PRUEBA DE DUREZA.

- ANALISIS QUIMICO CUALITATIVO Y CUANTITATIVO.
- METALOGRAFIA.
- ENSAYO DE TRACCION.

En las piezas 3 y 4 se realizaron las siguientes pruebas:

- PRUEBA MAGNETICA.
- PRUEBA DE DUREZA.
- ANALISIS QUIMICO CUALITATIVO Y CUANTITATIVO.
- METALOGRAFIA.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos realizados:

### 3.1 PRUEBA MAGNETICA.

Esta prueba se realizó con un imán, y consistió en determinar si el material es o no atraído por el imán, identificándose los primeros como materiales magnéticos y los segundos como no magnéticos:

Pieza 1	A) Cabeza	No magnético
	B) Inserto	No magnético
	C) Vástago	Magnético
Pieza 2	A) Pistón	No magnético
	B) Inserto	No magnético
Pieza 3	Impulsor	Magnético
Pieza 4	Flecha	Magnético
Pieza 5	A) Manga retenedora	Magnético
	B) Manga	Magnético
	C) Collar de fijación	Magnético

D) Anillo retenedor	Magnético
E) Tornillos prisioneros	Magnético
F) Manga intermedia	No magnético
G) Pasador	No magnético
H) Muelle	No magnético

De los resultados obtenidos en esta prueba y de la inspección visual, se desprende que los materiales magnéticos se agrupan en la familia de los materiales ferrosos, el pistón es de una aleación de aluminio, y el resto de los materiales pueden ser aceros austeníticos, aleaciones base níquel, base cobalto o base titanio.

### 3.2 PRUEBA DE DUREZA.

En las determinaciones de dureza, se siguieron dos procedimientos; en las piezas no destructivas la prueba se realizó sobre la superficie de las muestras, utilizándose un durómetro portátil - marca Equotip con escala LD.

En las piezas destructivas, se prepararon probetas sobre las cuales se realizaron las mediciones con un probador universal de dureza marca Wilson, aplicando diversas cargas en función del tipo de material estudiado.

En el pistón e inserto se utilizó una máquina para dureza Brinell aplicándose cargas de 500 y 1000 kg.

En cada muestra se hicieron 5 determinaciones de la dureza, y en los resultados se presentan los promedios obtenidos:



- Pieza 1	Escala Rockwell c	
	A) Cabeza	30.4 Rc
	B) Inserto	45.2 Rc
	C) Vástago	36,8 Rc
	Punta del	56.9 Rc

Los resultados obtenidos nos muestran que la punta del vástago - fué sometida a un tratamiento térmico localizado, para incrementar su dureza respecto al resto del vástago. La dureza del inserto es alta y está acorde al tipo de materiales que se utilizan para este tipo de insertos (aleaciones base cobalto). En tanto que la dureza de la cabeza de la válvula es factible de obtenerse en los materiales de níquel (utilizados para este tipo de válvulas) mediante tratamientos térmicos de solución y endurecimiento por precipitación.

- Piezas 3 y 4	Escala LD y conversión a escala Rc	
	Impulsor	38.4 Rc
	Flecha	26.3 Rc

Los resultados obtenidos nos indican que ambas piezas son homogéneas en su dureza, y que no presentan tratamientos térmicos localizados; como ambas piezas son de materiales ferrosos, las durezas encontradas se puede obtener con tratamientos térmicos de temple y revenido.

- Pieza 2	Escala Brinell y carga de 500, 1000 kg. con penetrador de acero de 10 mm.	
	A) Pistón	108 BHN ( 500 Kg. )
	B) Inserto	120 BHN (1000 Kg. )

La dureza del pistón al ser de un material de aluminio y tener -

acabados de fundición, puede obtenerse con un tratamiento térmico de solución y envejecimiento. La dureza del inserto está acorde al tipo de material encontrado (austenítico); ambas muestras tienen dureza homogéneas.

- Pieza 5.

En las muestras F) y G) se determinó dureza Rb, y en el resto de las muestras las determinaciones se hicieron con dureza Rc.

A) Manga retenedora	35 Rc
B) Manga	34 Rc
C) Collar de fijación	35.3 Rc
D) Anillo retenedor	34.4 Rc
E) Tornillos prisioneros	43.8 Rc
F) Manga intermedia	77 Rb
B) Pasador	78 Rb
H) Muelle	39.2 Rc

La dureza en las muestras A, B, C y D es similar ya que todas son del mismo tipo de acero, y se pueden obtener por tratamientos térmicos. La dureza de la muestra E corresponde al tipo de material utilizado en tornillos (acero de baja aleación) en la condición de templado y revenido; en las muestras F y G la dureza corresponde al tipo de material encontrado (acero austenítico) en la condición de recocido en la muestra H se observa una alta dureza, la cual es factible de obtener en este tipo de materiales (aleaciones base titanio) con tratamientos térmicos de solución y envejecimiento.

### 3.3 ANALISIS QUIMICO.

Los análisis químicos se realizaron por diversos métodos dependiendo principalmente del tipo de material y de la factibilidad de destruir la pieza, el seleccionar uno u otro; en el caso de las piezas no destructivas el análisis se realizó con un espectrómetro de emisión óptica marca ARL modelo 3600 con electrodo de plata, éste se efectuó en la superficie de las piezas sin afectar su funcionalidad. En las piezas 1, 2 y 5 con excepción de la muestra 5H, los análisis se realizaron por la técnica analítica de vía húmeda, mediante la obtención de rebaba de las piezas. Las determinaciones de carbono y azufre se efectuaron con un analizador LECO.

La muestra 5H se analizó con un equipo de energía dispersiva de rayos X EDAX con cristal de silicio.

En todas las muestras, una vez identificada la familia en la que se ubicó el material (acero, hierro, aleación base níquel, base cobalto, etc.) se recurrió a las normas utilizadas para especificar materiales (AISI, SAE, ASTM), para seleccionar los elementos que se analizaron en las piezas estudiadas.

Todos los análisis se realizaron por duplicado, en los resultados mostrados a continuación, se presentan los promedios obtenidos en % en peso.

## VIA HUMEDA

- Pieza 1	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo
Cabeza	.04	.12	.82	.008	-	15.2	72.2	.2
Inserto	.98	.14	.09	.003	-	30.7	1.4	.03
Vástago	.46	1.5	.18	.024	.005	-	-	-
	Cu	Ti	Al	Fe	W	Co		
Cabeza	.5	1.4	.8	-	-	-		
Inserto	-	-	-	.87	4.8	61.1		

Los resultados obtenidos nos indican que la cabeza de la válvula es de una aleación base níquel, el inserto de una aleación base-cobalto y el vástago de un acero al carbono.

- Pieza 2	VIA HUMEDA						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mg	Cu
Pistón	-	-	.7	-	1.9	1.4	4.3
Inserto	2.7	1.1	2.2	1.4	14.2		6.1

De los resultados obtenidos se observa que el pistón es de una aleación base aluminio aleada al Cu-Ni-Mg-Si, y el inserto es de un hierro gris austenítico.

## Pieza 3 y 4 ESPECTOMETRIA DE EMISION OPTICA

	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
Impulsor	.06	.81	.62	12.40	4.30	.70
Flecha	.41	.86	.26	.98		.18

De los resultados obtenidos se deduce que el material del impulsor es un acero inoxidable martensítico, en tanto que el de la flecha es un acero de baja aleación.

- Pieza 5	VIA HUMEDA ( MUELLE RAYOS X )						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu
Manga retene- dora	.06	.63	.58	15.90	3.90		4.10
Manga inter- media	.07	1.60	.86	20.10	10.50	.17	
Tornillos P	.42	.82	.23	.88		.21	

El análisis de manga retenedora es representativo de las partes-5B, 5C y 5D. De los resultados se deduce que se trata de un acero inoxidable endurecible por precipitación. El análisis de la manga intermedia es representativo de la parte 5G; deduciéndose que el material es un acero inoxidable austenítico; y en el caso de los tornillos el material es un acero de baja aleación.

Para el muelle del centrador se realizó un análisis cualitativo por rayos X, obteniéndose el espectro de emisión mostrado en la Figura 7.

Del análisis cuantitativo se obtuvieron los siguientes resultados:

Ti	Sn	Al	Fe	V
82.40	2.10	5.60	.72	7.80

Los resultados obtenidos nos indican que se trata de una aleación base titanio.

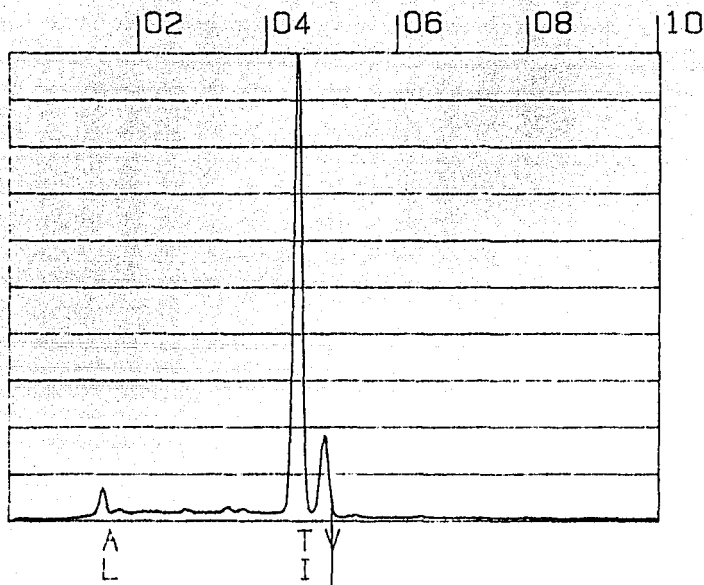


FIG. 7 Espectros de emisión del muelle.

### 3.4 METALOGRAFIA.

Se realizó mediante las técnicas convencionales consistentes<sup>(9)</sup> en la selección de la zona que interesa observar, preparación de la superficie, ataque químico y observación microscópica. En las piezas no destructivas (3 y 4) la observación se efectuó con un microscopio de campo OLYMPUS directamente sobre las piezas. En las destructivas se cortaron muestras representativas de las piezas, las cuales se montaron en probetas de baquelita, observándose en un microscopio LEITZ. En ambos casos se obtuvieron fotomicrografías con película de 35.0 mm.

A continuación se presentan las microestructuras obtenidas y sus respectivas descripciones para cada una de las metalografías realizadas:

- Pieza 1.

En la Figura 8 se indican las zonas de la pieza en las que se efectuaron las observaciones metalográficas y las respectivas fotomicrografías, cuyas descripciones se enuncian a continuación:

a) Cabeza

Se observa una microestructura constituida por granos equiaxiales de fase  $\gamma$  tamaño ASTM 3-6. Esta microestructura corresponde a la de una aleación base níquel con tratamiento térmico de solución y envejecimiento.

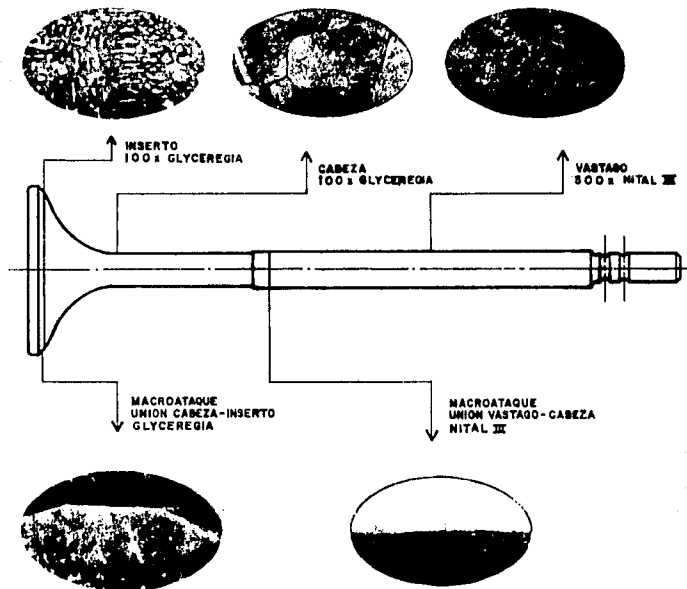
b) Inserto

Se observa una microestructura constituida por una red dendrítica de solución sólida de cobalto, orientadas preferencialmente. Esta microestructura corresponde a la de una aleación base cobalto sin tratamiento térmico y es producto típico de un depósito de soldadura.

c) Vástago

Se observa una microestructura constituida por martensita revenida fina. Esta microestructura corresponde a la de un acero al carbono templado y revenido.

En esta pieza se realizaron macroataques en las uniones metal-metal a fin de analizar el tipo de soldadura empleado; Las fotogra



**FIG. 8 OBSERVACION METALOGRAFICA EN VALVULA DE ESCAPE**



ffas de las uniones se muestran en la Figura 8, de las cuales se desprenden las siguientes observaciones:

#### Unión Vástago-Cabeza.

Se observa que ésta se realizó sin metal de aporte, y la separación de ambos metales está bien definida debido a que no hay penetración de un metal en otro, además se aprecia que no hay zona afectada por el calor, con base en lo anterior podemos deducir - que el proceso de soldadura se realizó por fricción.

#### Unión Inserto-Cabeza

Se observa que la separación está bien definida, debido a que no hay penetración de un metal en otro. En base en lo anterior se - deduce que el material del inserto fue aplicado como depósito de soldadura.

#### Pieza 2

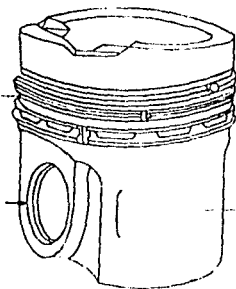
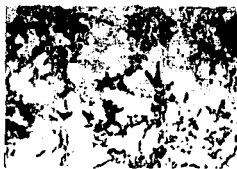
En la Figura 9 se indican las zonas de la pieza en las que se -- efectuaron las observaciones metalográficas, y las respectivas - fotomicrograffas cuyas descripciones se enuncian a continuación.

##### a) Pistón

Se observa una microestructura constituida por partículas de com puestos intermetálicos de cobre, magnesio, níquel, silicio y alu minio en una matriz de solución sólida de aluminio.

Esta microestructura corresponde a una aleación de aluminio de - fundición con tratamiento térmico de solución y envejecimiento.

INSERTO  
100 X GLYCEREGIA



A  
PISTON  
100 X KELLER

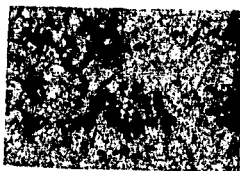


FIG. 9 OBSERVACION METALOGRAFICA  
DEL PISTON

**b) Inserto**

Se observa una microestructura constituida por grafito laminar - ASTM tipo VII distribución A y B, tamaño 6-7 en matriz austenftica con algunos carburos (principalmente de Cr).

Esta microestructura corresponde a la de un hierro gris austenftico obtenido de fundición.

**Pieza 3**

Se observa en la Figura 10 que la microestructura está constituf da por partículas de carburos precipitados en una matriz de martensita revenida con islas de ferrita. La cual corresponde a la de un acero inoxidable martensftico con tratamiento térmico de - temple revenido.

**Pieza 4**

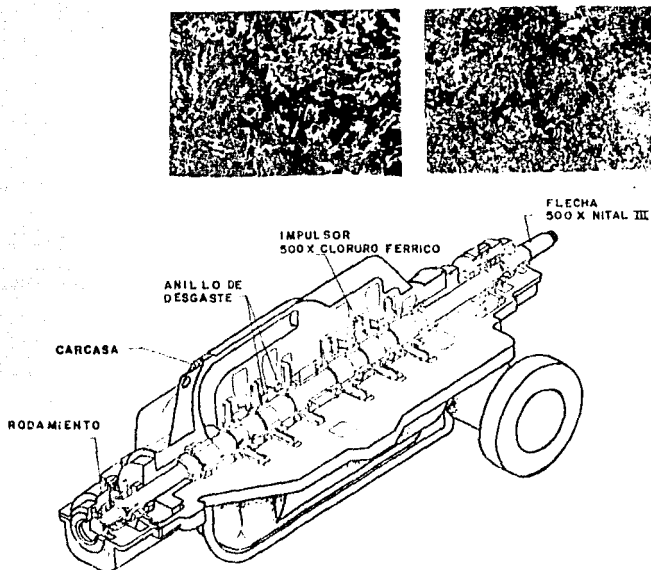
Se observa en la Figura 10 que la microestructura está constituf da por martensita revenida gruesa con islas de ferrita. La cual-corresponde a la de un acero de baja aleación laminado, con tratamiento térmico de temple y revenido.

**Pieza 5**

En la Figura 11 se indican las zonas de la pieza en las que se - efectuaron las observaciones metalográficas y las respectivas fotomicrograffas cuyas descripciones se enuncian a continuación:

**a) Manga retenedora**

Esta microestructura es representativa de las muestras 5B, 5C y - 5D.



**FIG. 10 ESQUEMA DE LA BOMBA BINGHAM Y OBSERVACION  
ME TALOGRAFICA DEL IMPULSOR Y LA FLECHA**

Se observa una microestructura constituida por martensita revenida gruesa, la cual corresponde a la de un acero endurecible por precipitación martensítico en la condición de tratamiento de solución y envejecimiento.

b) Manga intermedia

Esta microestructura es representativa de la muestra 5G.

Se observa una microestructura constituida por granos equiaxiales de austenita con maclas tamaño ASTM 4-5, la cual corresponde a la de un acero inoxidable austenítico en la condición de recocido.

c) Tornillos prisioneros

Se observa una microestructura constituida por martensita revenida fina, la cual corresponde a la de un acero de baja aleación con tratamiento térmico de temple y revenido.

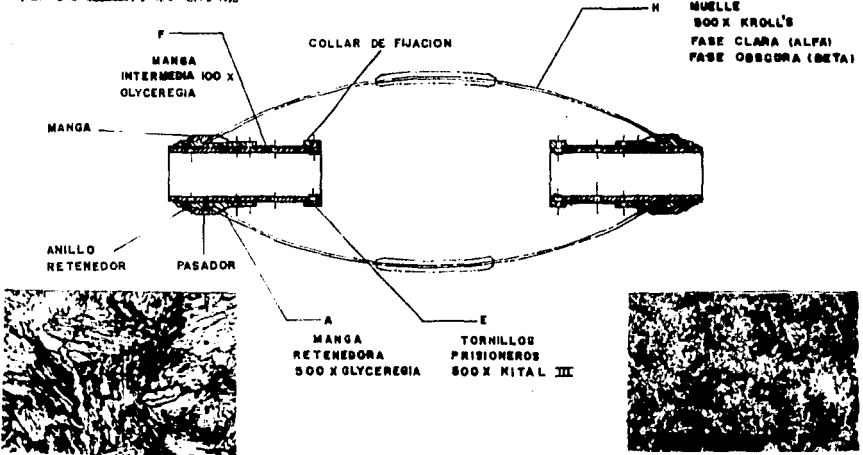
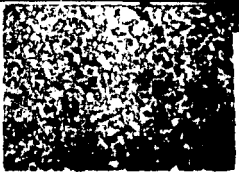
d) Muelle

Se observa una microestructura constituida por granos de fase  $\alpha_1$  en una matriz de fase beta.

Esta microestructura corresponde a la de una aleación base titanio tipo alfa+beta en la condición de tratado térmicamente por solución y envejecimiento.

### 3.5 ENSAYOS DE TRACCION

Esta prueba se realizó en las piezas destructivas 1, 2 y 5, maquinándose probetas de los metales a ensayar conforme a la especificación ASTM A-370, <sup>(17)</sup> se utilizó una máquina de tracción - -



**FIG. II ESQUEMA Y OBSERVACION METALOGRAFICA CENTRADOR DE 6 BRAZOS**

INSTRON con referencia en la norma ASTM E-3 y E-111; en algunas de las piezas la prueba se efectuó a su temperatura de trabajo. A continuación se presentan los resultados obtenidos, así como las respectivas curvas tensión-deformación para cada uno de los ensayos:

#### Válvula

Se realizó en una probeta del material de la cabeza (aleación base níquel) a la temperatura de 800 C, obteniéndose los siguientes resultados:

Límite elástico (0.2%)	197.6 MPa
Resistencia a la tracción	289.3 MPa
Tensión de ruptura	188.2 MPa
Reducción de área	31.85 %
Alargamiento	46,71 %

En la Figura 12 se muestra la curva tensión deformación obtenida del ensayo, en la cual se observa que el material presenta un comportamiento dúctil a dicha temperatura.

Así mismo, el tipo de fractura que presentó el material (copa y cono) nos indica que su comportamiento es dúctil.

#### Centrador

Se realizó en una probeta del muelle (aleación base titanio) a temperatura ambiente, obteniéndose los siguientes resultados:

Límite elástico	1171.9 MPa
Resistencia a la tracción	1206.7 MPa

ENSAYO DE TRACCION A 800°C  
CABEZA DE LA VALVULA (INCONEL 751)

AREA TRANSVERSAL = 18.246 mm<sup>2</sup>  
L<sub>o</sub> = 19.05 mm

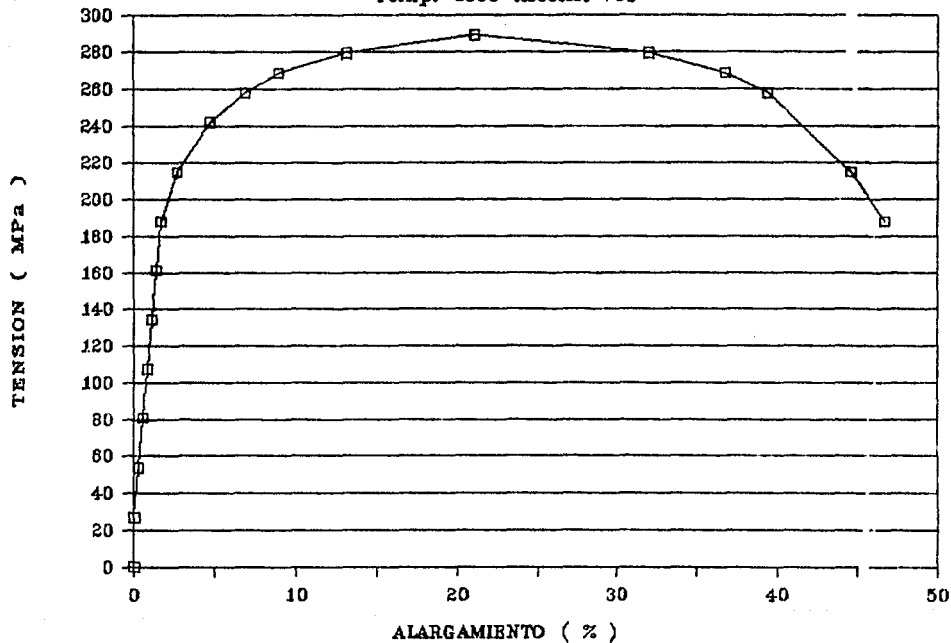
CARGA Kg	ALARGAMIENTO mm	TENSION MPa	%e
0.00	0.00	0.00	0.00
50.00	0.00	26.98	0.00
100.00	0.05	53.77	0.26
150.00	0.10	80.65	0.52
200.00	0.15	107.53	0.79
250.00	0.20	134.41	1.05
300.00	0.25	161.30	1.31
350.00	0.30	188.18	1.57
400.00	0.50	215.06	2.62
450.00	0.90	241.94	4.72
460.00	1.30	258.07	6.82
500.00	1.70	268.87	8.92
520.00	2.50	279.53	13.12
538.00	4.00	289.26	21.00
520.00	6.10	279.58	32.02
500.00	7.00	268.87	35.75
480.00	7.50	258.07	39.37
400.00	8.50	215.06	44.62
350.00	8.90	188.18	46.72

Límite Elástico = 197.60 MPa  
R<sub>ps</sub> a la Tracción = 289.26 MPa  
Tensión de Ruptura = 188.18 MPa  
Reducción de Area = 31.85 %  
Alargamiento = 46.72 %



# FIG 12 CURVA TENSION-DEFORMACION

Temp: 800C Inconel 751



Tensión de Ruptura	1104.5 MPa
Reducción de área	12.41 %
Alargamiento	14.17 %

En la Figura 13 se muestra la curva tensión-deformación obtenida del ensayo, en la cual se observa que el material tiene un alto límite elástico y una elevada resistencia a la tracción y a la ruptura.

Así mismo se observa un comportamiento frágil del material, debido a que éste se deforma poco para fracturarse.

#### Pistón

Se maquinó una probeta del cuerpo del pistón y fue sometida al ensayo de tracción a la temperatura de 300 C, obteniéndose los resultados siguientes:

Límite elástico (0.2%)	134	MPa
Resistencia a la tracción	146.1	MPa
Tensión de ruptura	139.4	MPa
Alargamiento	6.7	%
Reducción de área	6.2	%

De los resultados anteriores y de la curva tensión-deformación mostrada en la Figura 14 se deduce que el comportamiento del material es frágil a esa temperatura.

ENSAYO DE TRACCION  
MUELLE DEL CENTRADOR  
(Aleacion de Titanio)

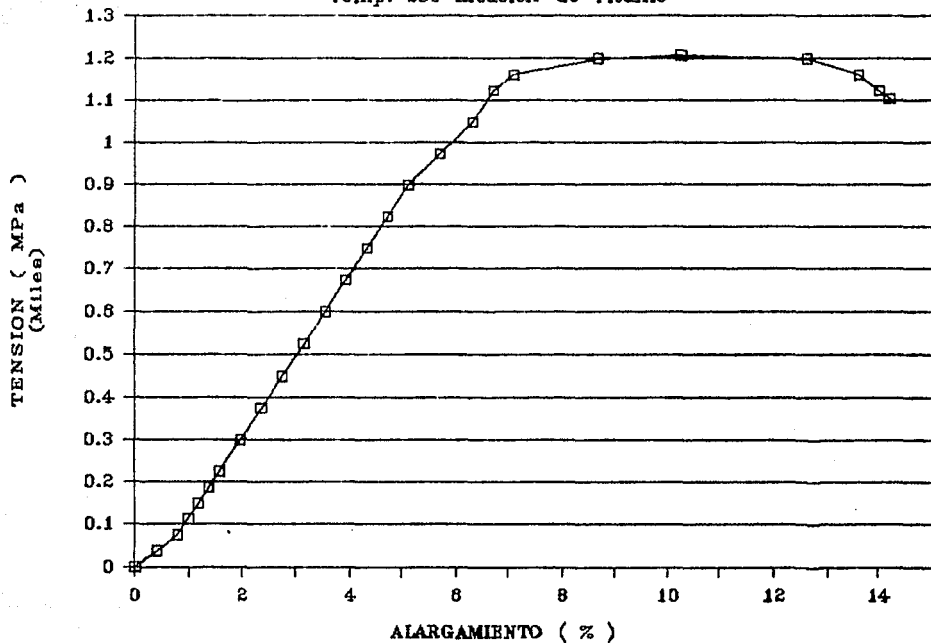
AREA TRANSVERSAL = 26.2 mm<sup>2</sup>  
L<sub>0</sub> = 50.8 mm

CARGA Kg	ALARGAMIENTO mm	TENSION MPa	%e
0.00	0.00	0.00	0.00
100.00	0.20	37.44	0.39
200.00	0.40	74.89	0.79
300.00	0.50	112.33	0.98
400.00	0.60	149.77	1.18
500.00	0.70	187.21	1.38
600.00	0.80	224.66	1.57
800.00	1.00	299.54	1.97
1000.00	1.20	374.43	2.36
1200.00	1.40	449.31	2.76
1400.00	1.60	524.20	3.15
1600.00	1.80	599.08	3.54
1800.00	2.00	673.97	3.94
2000.00	2.20	748.85	4.33
2200.00	2.40	823.74	4.72
2400.00	2.60	898.63	5.12
2600.00	2.90	973.51	5.71
2800.00	3.20	1048.40	6.30
3000.00	3.40	1123.28	6.69
3100.00	3.60	1160.73	7.09
3200.00	4.40	1198.17	8.66
3223.00	5.20	1206.78	10.24
3200.00	6.40	1198.17	12.60
3100.00	6.90	1160.73	13.58
3000.00	7.10	1123.28	13.98
2950.00	7.20	1104.56	14.17

Limite Elastico = 1171.90 MPa  
Res. a la Traccion = 1206.78 MPa  
Tension de Ruptura = 1104.56 MPa  
Reduccion de Area = 12.41 %  
Alargamiento = 14.17 %

# FIG 13 CURVA TENSION-DEFORMACION

Temp: 25C Aleacion de Titanio



ENSAYO DE TRACCION A 300°C  
 PISTON PARA MOTOR DE COMBUSTION INTERNA  
 (Aluminio ASTM B-108 aleación 242)

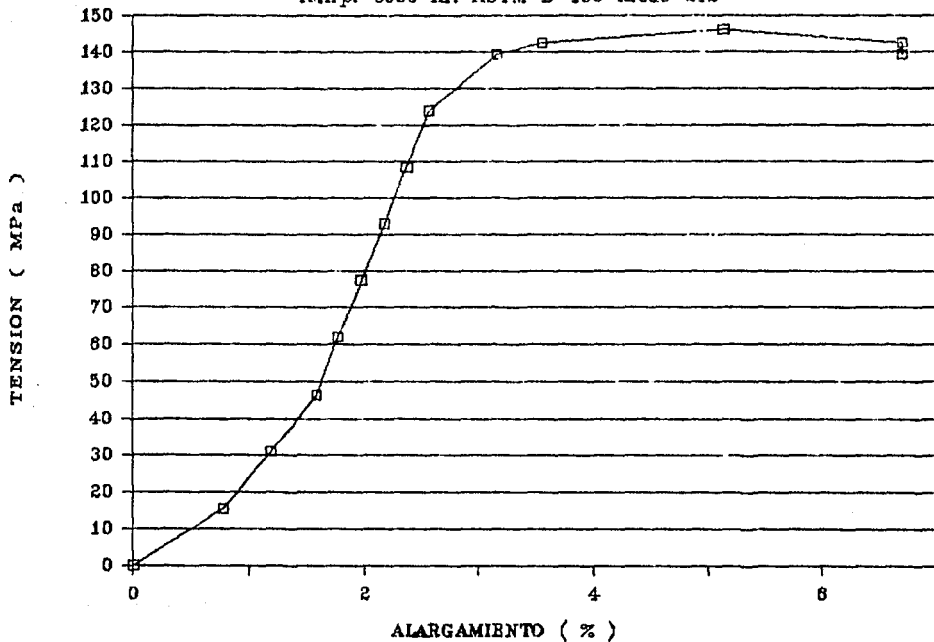
AREA TRANSVERSAL = 31.669 mm<sup>2</sup>  
 Lo = 25.40 mm

CARGA Kg	ALARGAMIENTO mm	TENSION MPa	%e
0.00	0.00	0.00	0.00
50.00	0.20	15.49	0.79
100.00	0.30	30.98	1.18
150.00	0.40	46.46	1.57
200.00	0.45	61.95	1.77
250.00	0.50	77.44	1.97
300.00	0.55	92.93	2.17
350.00	0.60	108.42	2.36
400.00	0.65	123.91	2.56
450.00	0.80	139.39	3.15
460.00	0.90	142.49	3.54
471.70	1.30	146.12	5.12
460.00	1.70	142.49	6.69
450.00	1.70	139.39	6.69

Límite Elástico = 134.0 MPa  
 Res. a la Tracción = 146.1 MPa  
 Tensión de Ruptura = 139.4 MPa  
 Reducción de Area = 6.2 %  
 Alargamiento = 6.7 %

# FIG 14 CURVA TENSION-DEFORMACION

Temp: 300C Al. ASTM B-108 Aleac 242



## CAPITULO IV

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Considerando los resultados obtenidos en las pruebas metalúrgicas realizadas y a la información recabada, en cada una de las refacciones, se efectuó un análisis de los resultados el cual se presenta a continuación:

- Válvula de Escape

La válvula estudiada es del tipo bimetalica, siendo el material de la cabeza un material base níquel, se explica que sea diamagnético tal como se obtuvo en la prueba magnética realizada, dado que la aleación está constituida por la fase gamma la cual es de naturaleza no magnética; en el caso del vástago se obtuvo que es magnético, lo cual se explica en base a que se trata de un acero cuya microestructura está constituida por martensita, la cual es de naturaleza magnética; acorde con lo encontrado en la bibliografía,<sup>(1)</sup> la cabeza de la válvula es de un material que reúne mejores propiedades mecánicas que el utilizado en el vástago, en virtud de que la primera está sometida a condiciones de trabajo más severas.

La microestructura obtenida en la cabeza (Ver Figura 8), tiene una dureza de 30.4 Rc, que se obtuvo a partir de un tratamiento térmico de solución y envejecimiento, el cual es factible de realizarse dado que el material contiene Aluminio y Titanio, los cuales proporcionan la precipitación de la fase gamma prima la cual se dispersa en la matriz y es la causante de incrementar la re-

sistencia y la dureza de la aleación; la composición de la fase gamma prima es  $Ni_3(Al, Ti)$  éste es un compuesto intermetálico - fcc. En la fotomicrografía obtenida para esta aleación, no se observaron dichos precipitados, ya que a éstos aumentos no se detectan, para lograr verlos se necesita de un microscopio electrónico que alcance 5000x que permitan su observación; sin embargo, estamos seguros de su presencia en la microestructura del Inconel 751 en virtud de que la dureza y resistencia mecánica que tiene el material evidencian la presencia de la fase gamma prima. La resistencia obtenida a 800 C es inferior a la que tiene el material a temperatura ambiente,<sup>(16)</sup> esto se explica en base a que a temperaturas elevadas la fase endurecedora (gamma prima) se disuelve en la matriz con la consecuente disminución en la resistencia y en la dureza. Del ensayo de tracción realizado se tiene que la resistencia a la tracción y el % de alargamiento están de acuerdo a los resultados reportados en la bibliografía,<sup>(2)</sup> la curva de la Figura 12 muestra que el material tiene un elevado límite elástico y que se deforma bastante antes de fracturarse, por tanto presenta un comportamiento dúctil a la temperatura del ensayo.

La elevada dureza que se tiene en la punta del vástago (56.9 Rc), respecto al resto del vástago (36.8 Rc), para el material encontrado acero de medio carbono, es posible de alcanzarse con un tratamiento térmico de endurecimiento superficial localizado, habiéndose realizado en este caso un temple por inducción o a la ..



flama.

Considerando que los materiales encontrados en la cabeza y en el vástago son de diferente naturaleza y analizando la unión entre ambos materiales (ver Figura 8) se deduce que el tipo de soldadura más apropiada para realizar dicha unión es por fricción.

El material del inserto de la cabeza es una aleación base cobalto, la cual fue aplicada como depósito de soldadura, su dureza elevada (45.2 Rc) está acorde al tipo de material y a la microestructura que presenta (ver Figura 8), esta dureza es requerida dado que en esta parte de la válvula se necesita buena resistencia al desgaste, puesto que se tienen contactos metal-metal a temperaturas elevadas, lo cual no permite utilizar lubricantes, el utilizar este tipo de materiales en el inserto garantiza buena resistencia al desgaste, elevada dureza y además de que estas propiedades se mantienen a las altas temperaturas de trabajo (700-800 C).

Acorde con la norma SAE J775 presentada en la página 16 y a los análisis químicos efectuados, los materiales de la válvula fueron identificados, ubicándolos bajo las siguientes especificaciones:

- La cabeza es de una aleación SAE HEV-3 desig. comercial Inconel 751.
- El inserto es de una aleación SAE VF-2, desig. comercial Estellite 6.
- El vástago es de una aleación SAE NV-2, desig. AISI 1047.

La composición química de estos materiales se muestra en las Tablas 1 y 2.

En base a los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas y a las observaciones realizadas, se deduce que el proceso de manufactura de la cabeza de la válvula es por forja, el del vástago es un laminado en tanto que el inserto es un depósito de soldadura.

#### - Pistón

De la bibliografía consultada, los materiales que más se utilizan para fabricar pistones son: Aleaciones de aluminio, hierros-grises, maleables y nodulares; las aleaciones de aluminio utilizadas son tratables térmicamente, ya que se requieren buenas propiedades mecánicas en los pistones, como se discutió anteriormente (Ver pág. 28 ). En el pistón estudiado se encontró una aleación de aluminio aleada con Cu, Mg y Ni, con inserto de hierro gris - austenítico en la zona de anillos.

La microestructura observada en el cuerpo del pistón (ver Figura 9) es producto de un tratamiento térmico de solución y envejecimiento, esto es factible de realizarse en virtud a que los elementos de aleación propician la precipitación de compuestos intermetálicos que incrementan la resistencia y la dureza; además, estos elementos incrementan la resistencia a la corrosión y aumentan la estabilidad térmica del material.

La dureza encontrada corresponde a la condición de envejecimiento artificial, mediante la cual se obtienen las máximas propiedades ..

des mecánicas de tracción, fluencia y dureza.

Del ensayo de tracción realizado a 300 C se tiene que la resistencia a la tracción y la tensión de fluencia (0.2%) están acordes a los valores reportados en la bibliografía y que el material sigue un comportamiento frágil a esa temperatura.

El material encontrado en la zona de anillos, cuya microestructura se muestra en la Figura 9, corresponde a la condición de fundido con un tratamiento térmico de relevado de esfuerzos; este hierro es no magnético en virtud de que tiene una matriz austenítica, la cual es de naturaleza diamagnética; la presencia del Ni produce la estructura austenítica, en tanto que la adición de Cu incrementa la resistencia a la corrosión.

Se utiliza este hierro gris (Ni-resist) en el inserto para darle al pistón buena resistencia al desgaste en la zona de anillos, además este hierro tiene un coeficiente de expansión térmica similar al de la aleación del pistón a la temperatura de trabajo<sup>(10)</sup> lo cual permite que la dilatación del pistón se realice de acuerdo a la temperatura de trabajo en cada zona y se logre la estanquidad de los cilindros.

Los materiales del pistón e inserto fueron identificados bajo las siguientes especificaciones:

- El pistón es de una aleación de aluminio ASTM B-108 aleación - 242.
- El inserto es de hierro gris austenítico ASTM A-436 tipo I designación comercial Ni-resist tipo I.

Con base en las observaciones realizadas, se deduce que el proceso de manufactura es por fundición en arena o molde permanente - para el inserto, en tanto que para el pistón es fundición en molde permanente.

- Impulsor.

El material encontrado en esta pieza pertenece a la familia de los aceros inoxidables martensíticos, por lo cual es susceptible a endurecerse por tratamiento térmico.

La microestructura observada (ver Figura 10) corresponde a la que se obtiene con un tratamiento de temple y revenido, efectuados el revenido a una baja temperatura para mantener una dureza elevada que le proporcione al impulsor buena resistencia al impacto y al desgaste por erosión.

La presencia del níquel incrementa la ductilidad del material y su resistencia a la corrosión.

El material se ubicó en la especificación ASTM A-743 grado CA-6NM,<sup>(10)</sup> y pertenece a la familia de los aceros recomendados en la bibliografía<sup>(14)</sup> para utilizarse en bombas centrífugas que transportan petróleo crudo.

En la microestructura observada se encontró ferrita libre, lo cual se debe principalmente al elevado contenido de cromo (ver Diagrama de Shaeffler),<sup>(5)</sup> la precipitación de carburos dispersos incrementa la dureza del acero.

Lo anterior nos permite concluir que el proceso de manufactura del impulsor es por fundición y moldeo en arena seguida de un ma

quinado para adecuar las dimensiones, aplicación del tratamiento térmico y como última etapa un maquinado final.

- Flecha.

El material encontrado en la flecha es un acero de baja aleación al Cr-Mo, con la especificación AISI 4140.

La microestructura observada (ver Figura 10) es obtenida con un tratamiento térmico de temple y revenido efectuándose éste último a una alta temperatura para disminuir la dureza y tener una alta ductilidad en la flecha.

Dentro de la bibliografía consultada<sup>(6)</sup> se recomienda utilizar aceros al carbono o aceros de baja aleación para fabricar las flechas de bombas centrífugas para transporte de petróleo crudo. En particular para la flecha en estudio es más conveniente utilizar aceros aleados ya que tienen mayor templabilidad que los aceros al carbono y es factible obtener propiedades similares en toda la masa de flecha a pesar de su espesor (4").

El proceso de manufactura para esta pieza es maquinado de una barra laminada en frío o en caliente, templado y revenido en aceite y maquinado final para adecuar dimensiones y acabados.

- Centrador.

La discusión de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el centrador se efectuó sobre las siguientes partes: Muelle, Manga retenedora, Manga intermedia y tornillos prisioneros, considerando la representatividad de las partes mencionadas. (Ver página 41).

Para el muelle se encontró que se trata de una aleación de titanio con contenidos de aluminio, vanadio y estaño. De acuerdo con la microestructura observada (ver Figura 11) ésta corresponde a la de una aleación de titanio alfa+beta, siendo la fase alfa estabilizada por el aluminio y el estaño en tanto que la fase beta lo es por el vanadio. Dicha microestructura fue obtenida a partir de un tratamiento de solución y envejecimiento por precipitación; ambas fases (alfa+beta) son de naturaleza no magnética, -- acorde con lo determinado en la prueba de magnetismo realizada. Al ser la fase beta estable a elevadas temperaturas<sup>(6)</sup> con el tratamiento de precipitación se obtiene la dispersión de la fase alfa en la fase beta (ver Figura 11), lo cual proporciona excelentes propiedades mecánicas a este tipo de aleaciones; la dureza encontrada en el muelle corresponde al tratamiento térmico mencionado, siendo esta dureza (39.2 Rc) comparable a la que se obtiene en aceros en la condición de templados, pero su bajo peso específico lo hace insustituible por estos.

Del ensayo de tracción realizado se observa que el material tiene un alto límite elástico, pero el % de deformación que soporta antes de fracturarse es bajo (9.0%), por lo cual se deduce que tiene un comportamiento frágil (ver Figura 13).

Lo anterior hace que el material sea adecuado para funciones de muelle, ya que soporta elevados esfuerzos sin deformarse plásticamente.

Acorde a su composición química esta aleación tiene la especificación USA MILITARY MILD-T-9046, no encontrándose en la biblio--

graffa alguna designación comercial.

En la bibliograffa consultada los materiales que se recomiendan para los muelles de los centradores son aleaciones de titanio en virtud de sus buenas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión aunados con su bajo peso específico, pero no se detallan si estas aleaciones son del tipo alfa, beta, o alfa+beta; sin en bargo la elección recae normalmente en las aleaciones tipo alfa+beta, ya que en éstas se obtienen las mejores propiedades.

El proceso de manufactura sugerido para la fabricación de este tipo de muelles consiste en el corte y maquinado de fleje o lámina, y aplicación del tratamiento térmico mencionado.

En la manga retenedora se encontró un material magnético, acorde con la microestructura obtenida (ver Figura 11), en la cual la martensita es gruesa.

Este material es un acero inoxidable endurecible por precipitación, en el cual el cobre es el principal elemento endurecedor; la especificación del material es la siguiente:

Acero ASTM 630 designación comercial 17-4 PH.

Dicha microestructura se obtuvo con un tratamiento térmico de solución y endurecimiento por precipitación, a la cual corresponde una elevada dureza acorde a las determinaciones realizadas (35 - Rc), la cual se alcanza por la precipitación de partículas intermetálicas de cobre.

Las principales propiedades de estos aceros son: Elevada dureza, gran resistencia mecánica y excelente resistencia a la corrosión,

..

por lo cual se recomienda utilizarlas en la fabricación de los -  
centradores.

El proceso de manufactura para estas piezas es fundición con mol  
deo en arena, maquinado, aplicación del tratamiento térmico y ma  
quinado final para adecuar dimensiones.

En la manga intermedia se encontró un acero inoxidable del tipo-  
18-8, específicamente un acero AISI 304, el cual al tener una mi  
croestructura constituida por granos de austenita (ver Figura -  
11), es no magnético y tiene una baja dureza (77 Rb).

La microestructura y la dureza del material corresponden a la --  
condición de recocido, el cual tiene como objetivo incrementar --  
la resistencia a la corrosión del acero.

El proceso de manufactura es un maquinado de tubo y aplicación -  
del tratamiento térmico, en tanto que para el pasador es un tro-  
quelado de lámina seguido del tratamiento térmico antes menciona  
do.

Los tornillos prisioneros son de acero de baja aleación, especí-  
ficamente de acero AISI 4140, cuya microestructura observada - -  
(ver Figura 11) corresponde a la condición de templado y reveni-  
do; dicha microestructura es de naturaleza magnética acorde a lo  
encontrado en la prueba realizada, la elevada dureza de los tor-  
nillos se puede alcanzar realizando el revenido a baja temperatu  
ra.

El proceso de manufactura sugerido para estos tornillo- consiste  
en una forja, maquinado y aplicación del tratamiento térmico.



## CAPITULO V

DIAGNOSTICO DE MATERIALES

El diagnóstico de materiales y procesos de manufactura es la culminación de la caracterización metalúrgica de refacciones importadas, ya que mediante este diagnóstico se seleccionan los materiales y procesos para fabricar dichas refacciones nacionalmente, basándose en los resultados de las pruebas metalúrgicas realizadas y en la disponibilidad en el mercado nacional de los materiales y procesos de fabricación encontrados en las piezas importadas.

En el presente estudio el diagnóstico se efectuó para cada una de las 5 refacciones, y consistió en hacer una investigación en el mercado nacional de las refacciones bajo estudio, así como de sus materiales y procesos de manufactura encontrados, a fin de conocer si se fabrican en México este tipo de refacciones, y la disponibilidad de los materiales; en el caso de que se disponga nacionalmente del material encontrado y del proceso de fabricación, la refacción importada se puede fabricar nacionalmente sin ningún tipo de obstáculo técnico.

Cuando el material identificado en la refacción importada no se fabrica en el país, se procedió a buscar materiales nacionales que tengan propiedades físicas, químicas y mecánicas similares al de importación, a fin de que se cumpla con los requerimientos en servicio de la pieza.

En los casos en que no se encontró en el mercado nacional algún-

material para sustituir al importado se propuso que se fabriquen nacionalmente las refacciones, utilizando para ello los materiales importados.

A continuación se presenta la secuencia seguida en el diagnóstico seguida para cada una de las refacciones bajo estudio:

- Válvula de escape.

Actualmente se fabrican en México diversos tipos de válvulas tanto de admisión como de escape para motores de combustión interna de gasolina y diesel; para los motores de gasolina utilizados comercialmente (en automóviles), la mayor parte de las válvulas -- son fabricadas en México con aceros inoxidable e inserto de stellite.

En el caso de los motores diesel, las válvulas que se fabrican en el país son las utilizadas en motores de camiones y autobuses principalmente, utilizándose aceros inoxidable e inserto de stellite en su manufactura.

La generalidad de estos motores desarrollan potencias de 200 a 400 H.P. y 2500 RPM con 6 u 8 cilindros colocados en "V" o en linea.

Referente a los motores diesel de aplicaciones industriales que desarrollan potencias mayores de 600 H.P. las válvulas no se fabrican en México sino que éstas se compran en el extranjero.

La válvula en estudio pertenece a un motor con potencia de 1350 H.P. en el cual las válvulas de admisión tienen los mismos materiales utilizados en las de escape, este motor funciona con 12 ..

válvulas de escape y 12 de admisión.

En la investigación del mercado nacional de los materiales identificados en la válvula se encontró lo siguiente:

El material del vástago de la válvula (acero AISI 1047) se produce en el país, lo mismo que el material del inserto (stellite 6), este último está disponible en electrodos para depósitos de soldadura en las compañías U.T.P. y AGA entre otras. El material de la cabeza de la válvula (inconel 751) no se fabrica nacionalmente.

En lo que respecta al proceso de manufactura de este tipo de válvulas se encontró que existen empresas que cuentan con la infraestructura necesaria para fabricarlas, de las que destaca MCRESA. Ante esta situación se buscó un material de fabricación nacional que pueda sustituir el inconel 751. De los aceros para válvulas que se producen en México, el que reúne las mejores propiedades mecánicas para trabajo en caliente es el Silchrome 751; sin embargo éstas son bajas respecto a las del inconel 10N, tal como se muestra en las siguientes comparaciones:

Propiedades mecánicas en la condición de recocido<sup>(2)</sup>

	Silchrome 10N		Inconel 75	
	T=25 C	T=760 C	T=25 C	T=760 C
Resistencia a la tracción	896 MPa	276 MPa	1103 MPa	552 MPa
Límite elástico	620 MPa	220 MPa	621 MPa	443 MPa
Tensión para 1% de deformación en 100 hrs. (2)				
Condición	732 C		815 C	
	Inc. 751	Sil. 10N	Inc. 751	Sil. 10N
Forjado	--	41-55 MPa	--	--
Trat de solución y envejecimiento	331 MPa	116 MPa	172 MPa	--

## Tensión para ruptura en 100 hrs.

Condición	732 C		815 C	
	Inc. 751	Sil.10N	Inc.751	511.10N
Forjado	--	110 MPa	--	--
Trat. de solución -y envejecimiento	345 MPa	124-151 MPa	179 MPa	--
Dureza en caliente. <sup>(2)</sup> (BHN)				
Temperatura (C)	426	438	649	704
Silchrome 10N	150	150	145	130
Inconel	220	200	190	180

Comparando las propiedades de ambos materiales, se observa que el inconel 751 mantiene mejores características que el silchrome 10N para el trabajo en caliente, lo cual se explica en base a la composición química (ver Tabal 2) y microestructura (compuestos-intermetálicos dispersos en fase gamma).

Se aprecia que al incrementar la temperatura, las propiedades mecánicas disminuyen, por lo cual los materiales para válvulas deben utilizarse hasta una temperatura máxima a la cual se conserven las propiedades en los valores requeridos. Si no se tiene este cuidado en el diseño se ocasionan fallas por quemado y fracturas, las cuales son de origen mecánico y térmico.

Para el tipo de motor al que pertenece la válvula en estudio, -- con temperaturas de trabajo de hasta aprox. 800 C es necesario fabricar éstas con superaleaciones ya que materiales como el Silchrome 10N presentan bajas propiedades a esas temperaturas, y el utilizarlas causaría daños al motor como: corrosión, picado y -- distorsiones en la cabeza, mismas que disminuirían la compresión en la cámara de combustión.

Los materiales y la secuencia propuesta para fabricar en México este tipo de válvulas, se realizó considerando los resultados obtenidos en las pruebas metalúrgicas efectuadas y la discusión antes presentada, para llegar al dictamen final mostrado a continuación:

- Materiales recomendados:

- a) Cabeza: Aleación base níquel SAE HEV-3 (designación comercial inconel 751).
- b) Vástago: Acero AISI 1047.
- c) Inserto: Aleación base cobalto SAE VF-2 (designación comercial stellite 6 6 UTP A 706 AWS E CoCr-A).

- Durezas requeridas:

- a) Cabeza: 30-34 Rc.
- b) Vástago: 35-40 Rc.  
Punta : 52 Rc.
- c) Inserto: 40-44 Rc.

- Tratamientos térmicos:

- a) Cabeza: <sup>(16)</sup> Tratamiento de solución a 1150 C durante 3 hrs. con enfriamiento en aire hasta Temp. ambiente.  
Tratamiento de envejecimiento a 850 C durante 20 hrs. con enfriamiento en aire hasta Temp. ambiente.
- b) Vástago: <sup>(13)</sup> Temple en aceite desde 830-860 C y revenido hasta alcanzar dureza requerida.  
Punta templada por inducción.
- c) Inserto: Sin tratamiento térmico.

- Proceso de manufactura sugerido:

- 1) Cortar en caliente (700 C) una barra laminada de inconel 751,

- enfriar hasta temperatura ambiente en aire y eliminar escamas, virutas; también matar filos de las aristas.
- II) Formar la cabeza por forja a 1060-1180 C, enfriar hasta temperatura ambiente en aire y cortar hasta la longitud a soldar.
- III) Aplicar el tratamiento de solución y envejecimiento.
- IV) Inspección de la cabeza.
- V) Cortar barra de acero AISI 1047 para el vástago.
- VI) Aplicar tratamiento de temple al vástago.
- VII) Inspección del vástago.
- VIII) Aplicar tratamiento térmico de revenido al vástago.
- IX) Eliminar virutas, escamas y matar filos de las aristas.
- X) Soldar por fricción la cabeza con el vástago.
- XI) Aplicar tratamiento térmico de relevado de esfuerzos en la soldadura a 370 C mínimo.
- XII) Inspección de la soldadura.
- XIII) Enderezar la válvula en caliente (350 C).
- XIV) Aplicar relevado de esfuerzos a 370 C en toda la válvula.
- XV) Aplicar el inserto como depósito de soldadura por arco eléctrico.
- XVI) Inspección del inserto.
- XVII) Maquinar inserto.
- XVIII) Aplicar tratamiento térmico de temple localizado en la punta del vástago con calentamiento por inducción o a la flama.
- XIX) Maquinar para ajustar dimensiones finales de la válvula.
- XX) Inspección final de la válvula.
- a) Durezas.

- b) Acabados
- c) Defectos
- d) Dimensiones

- Pistón para motor diesel.

En la actualidad son fabricados nacionalmente pistones tanto para motores de gasolina como para motores Diesel. Estos pistones se hacen de aleaciones de aluminio y de hierros grises o nodulares. El pistón en estudio pertenece a un motor turbocargado con potencia de 750 H.P. el cual tiene 12 cilindros colocados en "V" y -- por tanto requiere de 12 pistones.

La situación de los materiales del pistón bajo estudio dentro -- del mercado nacional es la siguiente:

El material del inserto (Ni-resist tipo1) se produce en el país, lo mismo que el material del pistón (aluminio aleado al Cu-Ni-Mg) ya que ambos son materiales para piezas fundidas y su composición química puede ajustarse a las normas durante su fusión.

Respecto al proceso de manufactura, para hacer estos pistones se encontró que existen compañías que pueden fabricarlos, tales como: SIDENA, MORESA y KELSEY HAYES de Chihuahua.

Contemplando que existe disponibilidad en el mercado nacional de los materiales para fabricar estos pistones y se dispone de in--fraestructura industrial para su producción, además de conside--rar los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas, se propo--ne el siguiente dictamen para fabricar en México estas piezas.

- Materiales recomendados:

- a) Pistón: Aluminio ASTM B-108 aleación 242.  
 b) Inserto: Hierro gris austenítico ASTM A-436 tipo 1.  
 (Designación comercial Ni-resist tipo 1).

- Durezas requeridas:

- a) Pistón: 115-125 BHN.  
 b) Inserto: 130-170 BHN.

- Tratamientos térmicos:

- (18)  
 a) Pistón: Tratamiento de solución a 515 C durante 6 hrs. con enfriamiento en agua caliente (65-100 C). Tratamiento de envejecimiento a 220 C durante 4 hrs.  
 (10)  
 b) Inserto: Recocido de relevado de esfuerzos a 650 C.

- Proceso de manufactura sugerido:

- I) Fundir Ni-resist tipo 1 a 1280 C en un horno de inducción.  
 II) Vaciar el metal fundido en un molde de arena y enfriar en aire hasta temperatura ambiente.  
 III) Aplicar el tratamiento térmico de relevado de esfuerzos.  
 IV) Inspección del inserto.  
 V) Maquinar inserto.  
 VI) Fundir la aleación de aluminio a 660 C en un horno de crisol.  
 VII) Vaciar el metal fundido en un molde permanente con el inserto colocado previamente  
 VIII) Maquinar Pistón.  
 IX) Aplicar tratamiento de solución y envejecimiento.  
 X) Inspección del pistón.  
 XI) Maquinar para ajustar dimensiones finales.  
 XII) Inspección final:



- a) Durezas
- b) Acabados
- c) Defectos
- e) Dimensiones

- Impulsor.

Actualmente en la industria metalúrgica nacional se fabrican los diferentes tipos de impulsores que se utilizan en bombas para diversas aplicaciones industriales. Dichos impulsores se producen principalmente de bronces, hierros grises, hierros nodulares y aceros inoxidables, mediante el moldeo de los mismos.

La situación del material identificado en el impulsor bajo estudio es la siguiente dentro del mercado:

El acero inoxidable ASTM A-743 grado CA-6NM se produce en el país; respecto al proceso de manufactura para fabricar este tipo de impulsores, se encontró que existen diversas compañías que pueden hacerlos, tales como: <sup>(15)</sup>

- Fundiciones de hierro y acero.
- Fundidora Tepeyac.
- Fundición Monclova.
- Fundición BAF.

Teniendo en cuenta que existe disponibilidad de este material, y que se cuenta con la infraestructura industrial para fabricar estos impulsores, se propone el siguiente dictamen para producir en México este tipo de piezas:

- Material Recomendado: Acero inoxidable ASTM A-743 grado CA-6NM.
- Dureza requerida: 38-42 Rc.
- Tratamiento térmico: <sup>(10)</sup> Templado desde 980 C con enfriamiento - en aceite y revenido hasta alcanzar dureza requerida.

- Proceso de manufactura sugerido:

I) Fundir el acero inoxidable CA-6NM a 1540 C en un horno de inducción.

II) Vaciar el metal fundido en un molde de arena y enfriar en aire hasta temperatura ambiente.

III) Maquinar el impulsor.

IV) Aplicar el tratamiento térmico de temple.

V) Inspección del impulsor.

VI) Aplicar tratamiento térmico de revenido.

VII) Maquinar para ajustar dimensiones finales.

VIII) Inspección final:

- a) Dureza.
- b) Defectos.
- c) Dimensiones.
- d) Acabados.

- Flecha.

Las flechas se utilizan tanto en bombas, compresores, motores -- eléctricos, y turbinas principalmente, por lo cual constituyen - refacciones de gran demanda en la industria petrolera.

Actualmente se puede fabricar en México prácticamente cualquier

tipo de flechas, siendo los materiales más utilizados: aceros al carbono, aceros de baja aleación y aceros inoxidable.

La flecha bajo estudio puede ser fabricada por cualquiera de las siguientes empresas:

Bogar de México.

Borma, S.A.

Sulzer.

Fabricación y Partes Industriales, S.A.

El material identificado (acero ISI 4140) se produce en el país por lo que no existen impedimentos técnicos para su fabricación; considerando lo anterior, se propone el siguiente dictamen para fabricar en México estas flechas:

- Material recomendado: Acero AISI 4140.
- Dureza requerida: 24-28 Rc.
- Tratamiento térmico: Templado desde 815-845 C con enfriamiento en aceite y revenido hasta alcanzar dureza requerida.
- Proceso de manufactura sugerido:
  - I) Cortar una barra de acero AISI 4140 a las dimensiones requeridas.
  - II) Maquinar la barra.
  - III) Aplicar tratamiento térmico de temple.
  - IV) Inspección.
  - V) Aplicar tratamiento térmico de revenido.
  - VI) Maquinar para ajustar dimensiones finales.

## VII) Inspección:

- a) Dureza.
- b) Acabados.
- c) Dimensiones.
- d) Defectos.

## - Centrador.

Algunos tipos de centradores son fabricados en México, principalmente de acero de media aleación, los cuales no pueden trabajar en condiciones tan severas como las que se tienen en el servicio del centrador bajo estudio.

La factibilidad de fabricación nacional de estos centradores es la siguiente:

Las empresas Cfa. Industrial FYL, S.A. y Bakerline de México pueden fabricarlos; en tanto que para los materiales identificados se encontró que el material de la manga retenedora (acero inoxidable 17-4 PH) se produce en el país, lo mismo que el material de la manga intermedia (acero AISI 304) y el de los tornillos -- (acero AISI 4140), pero el material del muelle (aleación de titanio alfa+beta) no se produce en México.

Cabe mencionar que los tornillos están disponibles en el mercado, por lo que no se incluye en este estudio su manufactura.

Ante esta situación se procedió a buscar un material nacional -- que pueda sustituir al titanio, sin embargo no se encontró ninguno que reúna la combinación de propiedades que tiene el material importado, entre las cuales destacan elevada resistencia a la --

tracción y elevado límite elástico además de buena resistencia a la corrosión y bajo peso específico.

Este material aún siendo de importación es poco comercial, por lo cual se seleccionó una aleación base titanio con más disponibilidad en el mercado de U.S.A. y que tenga propiedades similares al material original; el material seleccionado fué una aleación de titanio ASTM B-265 grado 5, basándose en las siguientes comparaciones: (12)

Propiedades a temperatura ambiente con trat. de solución en envej.

	MTL-T-9046	ASTM B-265 GRADO 5
Resistencia a la tracción	1277 MPa	1173 MPa
Límite elástico	1173 MPa	1104 MPa
Alargamiento	10%	10%
Dureza	42 Rc	41 Rc

Como puede observarse, las propiedades de ambos materiales son muy similares, por lo cual se justifica la sustitución del material original por el material recomendado.

Considerando lo anterior se propone el siguiente dictamen para fabricar en México estos centradores:

~ Materiales recomendados:

- a) Manga retenedora, manga, collar de fijación y anillo retenedor: Acero inoxidable ASTM tipo 630 (designación comercial -- 17-4 PH).
- b) Manga intermedia y pasador: Acero AISI 304.
- c) Tornillos prisioneros: Acero AISI 4140.
- d) Muelle: Aleación base titanio ASTM B-265 grado 5.

Forro del muelle: Neopreno.

- Durezas requeridas:

- a) Manga intermedia y partes representativas: 33-36 Rc.
- b) Manga intermedia y pasador: 70-90 Rb.
- c) Tornillos prisioneros: 40-48 Rc.
- d) Muelle: 38-42 Rc.

Forro del muelle: 85+ 2 shore A2.

- Tratamientos térmicos:

- a) Manga retenedora y partes representativas: (5)

Tratamiento de solución entre 1025-1055 C, seguido de un enfriamiento en aire hasta 150 C, para terminar de enfriar en agua por debajo de 25 C.

Tratamiento de envejecimiento a 595 C durante 6 hrs. con enfriamiento en aire.

- b) Manga intermedia y pasador: (5)

Recocido a 1010-1121 C con enfriamiento en agua hasta temperatura ambiente.

- c) Tornillos prisioneros: (13)

Temple en aceite desde 815-845 C y revenido hasta alcanzar dureza requerida

(12)

- d) Muelle:

Tratamiento de solución a 950 C con enfriamiento en agua.

Tratamiento de envejecimiento a 500 C durante 2 horas con enfriamiento en aire.

- Proceso de manufactura sugerido:

- I) Fundir el acero 17-4 PH en un horno de inducción.

- II) Vaciar el metal fundido en moldes de arena para la manga intermedia, manga, collar de fijación y anillo retenedor.
- III) Maquinar las partes fundidas.
- IV) Aplicar el tratamiento de solución y envejecimiento.
- V) Inspección de las partes fundidas.
- VI) Cortar fleje o lámina de la aleación de titanio a las dimensiones del muelle.
- VII) Maquina muelle.
- VIII) Aplicar tratamiento térmico de solución y envejecimiento - al muelle.
- IX) Inspección del muelle.
- X) Cortar un tubo de acero AISI 304 a las dimensiones de la manga intermedia.
- XI) Maquinar la manga intermedia.
- XII) Cortar lámina de acero AISI 304 a las dimensiones del pasador.
- XIII) Ensamblar el centrador.
- XIV) Maquinar para ajustar dimensiones finales.
- XV) Inspección final:
  - a) Dureza
  - b) Defectos
  - c) Dimensiones
  - d) Acabados.

## CAPITULO VI

C O N C L U S I O N E S

De las 5 refacciones de uso generalizado en la industria petrolea contempladas en el estudio realizado, 3 de ellas (impulsor, - pistón y flecha) se pueden fabricar íntegramente en el país, ya que existen diversas empresas que cuentan con la infraestructura industrial requerida en su manufactura, y se tiene disponibilidad de los materiales identificados en las refacciones importadas.

En las 2 refacciones restantes (válvula y centrador), aunque se dispone de los procesos para manufacturarlas, se tienen limitaciones en los materiales, ya que algunos no se producen en el país (específicamente titanio o inconel 751), lo cual hace necesaria la importación de los mismos, en virtud de que no se encontraron materiales de fabricación nacional que puedan sustituir a los importados.

Por tanto podemos afirmar que actualmente nuestra industria metal-mecánica puede fabricar la mayor parte de las refacciones mecánicas que requieren las diversas industrias tanto del sector público como del privado, para su mantenimiento y operación, las cuales son adquiridas generalmente de importación.

En consecuencia, la sustitución de importaciones en refacciones-mecánicas ofrece grandes perspectivas tanto económica como tecnológicamente, ya que mediante esta se obtienen grandes beneficios como el ahorro de divisas, el fomento a la investigación y desarrollo de tecnología, así como el aprovechamiento de la infraes-



estructura en la industria metal-mecánica nacional.

En conclusión, a partir del estudio efectuado se sugieren los siguientes puntos para sustituir refacciones importadas:

- Efectuar la selección de piezas para fabricarlas nacionalmente considerando factores operativos y técnicos principalmente.
- Recabar la mayor cantidad de información técnica de la refacción a sustituir, apoyándose en los manuales de operación, bibliografía, y en el personal que opera a los equipos que utilizan la refacción importada.
- Caracterizar metalúrgicamente la refacción importada, realizando las pruebas de laboratorio que sea necesarias para identificar plenamente los materiales y propiedades mecánicas de la refacción bajo estudio.
- Adecuar los materiales y procesos de manufactura identificados en la refacción importada a las posibilidades que ofrece la industria metal-mecánica nacional y conforme a ello elaborar un dictamen final que contenga los materiales y la secuencia para fabricar esta refacción.

Lo anterior es la culminación del estudio metalúrgico en la sustitución de importaciones, el cual se debe impulsar ampliamente a fin de promover el crecimiento y el desarrollo de la industria metalúrgica en nuestro país, así como alcanzar la independencia tecnológica en esta área.

APENDICE A  
EVALUACION ECONOMICA

En el desarrollo del presente estudio, se mencionaron los diversos beneficios que aporta la sustitución de importaciones tanto en materia tecnológica como económica; sin embargo para justificarla plenamente es preciso realizar una evaluación económica -- que contemple el precio de una refacción cuando se adquiere de importación, y el precio de la misma cuando es de fabricación nacional, a fin de realizar un estudio comparativo de costos y estimar la rentabilidad económica del proyecto en función de la demanda tiene dicha refacción.

El precio de la refacción cuando es de importación, se obtiene de las adquisiciones realizadas más recientemente, en tanto que el nacional se obtiene a partir de la cotización que presentan las compañías potenciales de fabricar dicha refacción.

De las piezas comprendidas en el presente trabajo, se eligió el pistón como representativo para efectuar la evaluación económica cuyo estudio quedó dividido en las siguientes etapas:

I.- Demanda.

II.- Precio de importación.

III.- Precio estimado (fabricación nacional).

La primera etapa consistió en investigar la cantidad de pistones para motor Caterpillar que se requieren en los programas de mantenimiento de Petróleos Mexicanos anualmente, encontrándose lo siguiente:

- Actualmente se tienen instalados aproximadamente 200 motores - de este tipo en los diversos centros de trabajo, cada motor tiene 12 pistones cuya vida media es de 8500 horas y en promedio cada motor trabaja 12 horas al día.

- A partir de esta información se obtuvo que la demanda es de -- 1250 pistones al año.

#### Precio de Importación.

El precio de estos pistones se obtuvo de la compañía Caterpillar Corporation quienes la suministran a PEMEX a un precio que equivale en moneda nacional a \$ 359,640.00 con fecha del 18 de mayo de 1988.

#### Precio Estimado.

La estimación de este precio se realizó en base a una cotización presentada por la compañía MORESA, la cual se efectuó teniendo como base los dibujos del pistón mostrados en las Figuras 15 y - 16, y en la caracterización metalúrgica realizada.

De la cotización presentada por MORESA se tiene que la cantidad de pistones que se desean fabricar influye en el precio unitario de los mismos, tal como se observa en las siguientes estimaciones económicas:

	ESTIMACIONES ECONOMICAS			
	100	500	1000	2000
Producción (piezas)				
Desarrollo de Ingeniería (miles pesos)	5000	5000	5000	5000
Modelos (miles de pesos)	25000	25000	25000	25000
Manufactura (miles de pesos)	253	253	233	233

Costo Unitario (miles pesos)	553	313	263	248
---------------------------------	-----	-----	-----	-----

A partir de los costos estimados que se obtuvieron para diferentes producciones, se observa que para cantidades pequeñas (100 - pistones) no es rentable fabricarlos nacionalmente; sin embargo, para producción de más de 1000 pistones si es justificable la -- sustitución de estos pistones.

Considerando que la demanda anual es de 1250 pistones, se tiene que el costo unitario de fabricación nacional es de \$263,000.00, el cual comparativamente es menor al de importación (\$359,640.-) lo cual justifica plenamente la propuesta de sustituir su importación.



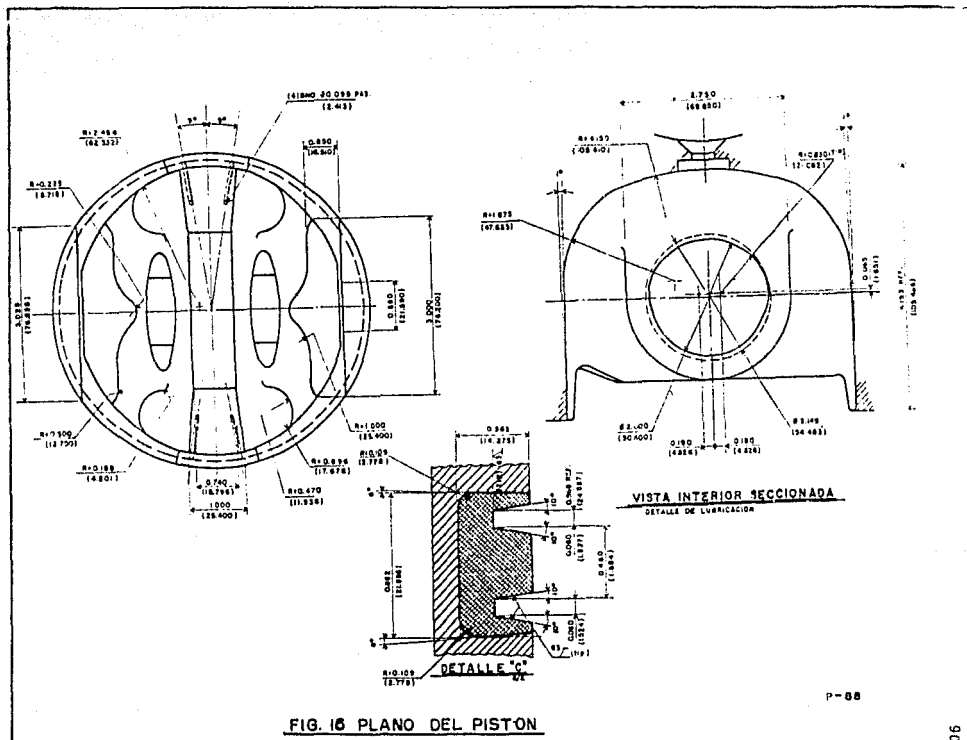


FIG. 16 PLANO DEL PISTON

B I B L I O G R A F I A

- 1) W.S. Giles, Fundamentals of Valve Design and Material Selection; SAE, U.S.A. (1980).
- 2) ASM Committee on Engine Valves, The Selection of Material for Engine Valves; Metals Handbook Vol.1 8th edition U.S.A. (1972).
- 3) A.M. Aksoy, H. Alonso Uria y J.M. Palacios, Aceros para válvulas de Motores de explosión; Revista Metal CENIM Vol. 6 España (1970).
- 4) ASM Handbook Committee Atlas of Microstructures of Industrial Alloys; Metals Handbook Vol. 7 8th edition U.S.A. (1972).
- 5) Inchaurrea Zabala Adrian, Aceros Inoxidables y Aceros Resistentes al calor; Editorial Limusa, 1a. edición México (1982).
- 6) Apraiz Barreiro Jose, Aceros Especiales y Otras Aleaciones; - Editorial Dossat, 5a. edición España (1982).
- 7) Ruigi Luis, Preparación de Motores de Competición; Ediciones-CEAC, 3a. edición España (1981).
- 8) Mirelles de Imperial Juan y Villalta Esquius Juan, Motor Diesel Inyección y Combustión; Ediciones CEAC, 1a. edición España (1984).
- 9) Kehl George, Principles of Metallographic Laboratory Practice; Mc Graw-Hill Book Company, edition U.S.A.
- 10) American Society for Testing and Materials, Iron and Steel - Products Vol. 1.02 Ferrous Castings; U.S.A. (1986).

..

- 11) American Society for Testing and Materials, Nonferrous Metal Products Vol. 2.02 Die-Cast Metals, Aluminium and Magnesium - Alloys; U.S.A. (1986).
- 12) American Society for Testing and Materials, Nonferrous Metal Products Vol. 2.04 Nickel, Lead, Tin Alloys, Precious, Primary, Reactive Metals; U.S.A. (1986).
- 13) Metal Engineering Handbook Board of the American Society of Mechanical Engineers, ASME Handbook of Metals Properties; -- Mc Graw-Hill Book Company, first edition U.S.A. (1954).
- 14) Theodore Baumeister III, Eugene A. Avallone. T. Baumeister, - Manual de Ingeniero Mecánico; Mc Graw-Hill Book Company 8a.- edición México (1985).
- 15) Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, PEMEX, Catálogo de Fabricantes de la Rama Metalmeccánica; México (1985).
- 16) ASM Handbook Committee, Heat Treating, Cleaning and Finishing; Metals Handbook Vol. 2 8th edition U.S.A. (1964).
- 17) American Society for Testing and Materials, Iron and Steel - Products Vol. 1.05 Steel-Bars, Forgings, Bearing, Chain, - - Springs; U.S.A. (1986).
- 18) Kaiser Aluminium and Chemical Sales Inc., Kaiser Casting - - Aluminium; U.S.A. (1974).