



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

**"Mejoramiento de partes de bomba centrífuga de uso general
adaptada para uso marino"**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Alejandro Paúl Carmigniani Cárdenas

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2008

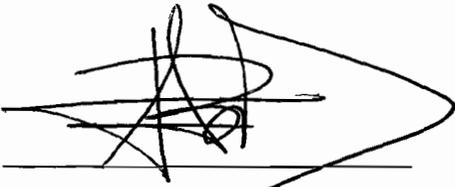
AGRADECIMIENTO

A mi esposa, apoyo fundamental que me ha permitido ir cumpliendo mis metas en la vida y a mi madre por todo el esfuerzo, dedicación, ejemplo y cariño que me ha entregado.

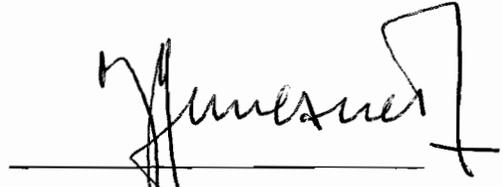
DEDICATORIA

A mis hijos, María Paula y Paúl
para quienes entrego todo mi
esfuerzo y compromiso.

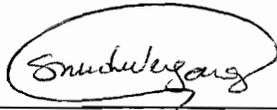
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

A complex, stylized handwritten signature consisting of several overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

Ing. Jorge Abad M.
DELEGADO POR EL
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

A handwritten signature in cursive script, featuring a large, prominent loop at the end, positioned above a horizontal line.

Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR DE TESIS

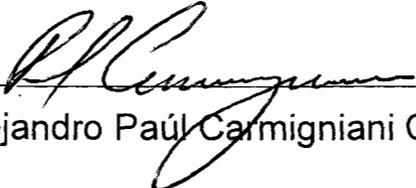
A handwritten signature in cursive script, enclosed within an oval shape, positioned above a horizontal line.

Ing. Sandra Vergara G.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Alejandro Paúl Carmigniani Cárdenas

RESUMEN

En el presente trabajo se logra el mejoramiento de partes: carcasa e impulsor, de las bombas WACKER PT3 que fueron adquiridas por la Armada Nacional.

Se trabajó con una aleación moldeada por fundición de Cu – 20 Ni para reemplazar los materiales originales de producción en serie. Tal como el hierro gris de especificación ASTM A47, grado 30.

Se consideraron también los aceros inoxidable como posibles materiales de aplicación aunque se tomaron en cuenta: los costos, tiempos de fabricación y el grado de dificultad en la producción. De esta manera se resolvió un problema de postventa de un número considerable de unidades vendidas.

Se aplicaron métodos de ingeniería para seleccionar y producir artesanalmente las partes requeridas, se ensamblaron en el equipo y permanecen en funcionamiento después de 6 años con excelente desempeño y sin problemas de corrosión que fue lo que motivó el cambio de materiales. Los costos de los reemplazo mejorados no causaron impacto negativo en el precio de venta.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1 Historia del caso.....	3
1.2 Análisis de las partes afectadas.....	6
1.3 Materiales apropiados para la corrosión marina.....	10
1.4 Factores en consideración para la selección del material y proceso de fabricación.....	21

CAPITULO 2

2. SOLUCIÓN IMPLANTADA.....	40
2.1 Evaluación de materiales existentes en el mercado.....	40
2.2 Cámara de niebla salina: construcción y pruebas	45

2.3 Ensayos en la cámara de niebla salina, material seleccionado.....	48
2.4 Proceso de fundición y partes.....	54
2.5 Calidad Metalúrgica de Partes Fundidas.....	57

CAPITULO 3

3. EVALUACIÓN TECNICO Y ECONOMICA.....	60
3.1. Condiciones de trabajo de la bomba.....	60
3.2 Comparación de piezas en hierro gris y en Cu-Ni al 20%.....	61
3.3 Pruebas FAT y DAT	62
3.4 Costo del Proyecto y la incidencia en el proceso de la bomba.....	63

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
4.1 Conclusiones.....	64
4.2 Recomendaciones.....	65

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

UNS	Unified Numbering System
ASTM	American Society for Testing Metals
AISI	American Iron and Steel Institute
SAE	Society of Automotive Engineers
Cu	Cobre
Al	Aluminio
Si	Silicio
Ni	Níquel
Mo	Molibdeno
Nb	niobio
Cr	Cromo
Fe	Hierro
K	Potasio
Mn	Manganeso
FCC	Cúbica centrada en la cara
SCC	Cúbica simple
BCC	Cúbica centrada en el cuerpo
CCT	Tetragonal centrada en el cuerpo
Mg	Miligramos
Cm	Centímetros
In	Pulgada
RHC	Dureza rockwell
μm	Micras
RPM	Revoluciones por minutos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Bomba.....	5
Figura 1.2	Material de la carcasa	7
Figura 1.3	Material del impulsor.....	8
Figura 1.4	Dirección del flujo de corriente entre ánodo y catodo.....	24
Figura 2.1	Microestructura Inoxidable Austenítico.....	41
Figura 2.2	Microestructura inoxidable Austenítico del material 2.....	42
Figura 2.3	Microestructura de bronce al níquel.....	43
Figura 2.4	Microestructura de hierro gris	44
Figura 2.5	Cámara de niebla salina con las muestras en su interior.....	46
Figura 2.6	Muestras antes de realizar pruebas.....	47
Figura 2.7	Diagrama de flujo del proceso.....	54
Figura 2.8	Preparación de arenas.....	55
Figura 2.9	Preparación de modelos para construir moldes.....	55
Figura 2.10	Piezas terminadas.....	56
Figura 3.1	Piezas en Cu-Ni al 20%	61
Figura 3.2	Piezas Originales.....	62
Figura 3.3	Prueba de aceptación por el cliente.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Ficha Técnica – PT 3A.....	4
Tabla 2	Características y Ventajas – PT 3A.....	5
Tabla 3	Resultados de Análisis vía espectrómetro.....	8
Tabla 4	Los contenidos de C y S analizados por determinador Lecho.....	9
Tabla 5	Eletronegatividades de elementos constitutivos de la fundición De hierro gris.....	9
Tabla 6	Matriz de decisión.....	32
Tabla 7	Composición química del acero inoxidable.....	41
Tabla 8	Composición química del acero inox. Austenítico SAE 304.....	42
Tabla 9	Composición química del bronce al níquel	43
Tabla 10	Composición química del hierro gris.....	44
Tabla 11	Resultados No. de Horas 0.....	50
Tabla 12	Resultados No. de Horas 24.....	51
Tabla 13	Resultados No. de Horas 72.....	52
Tabla 14	Resultados No. de Horas 192.....	53
Tabla 15	Composición Química	57
Tabla 16	Análisis químico vía espectrómetro.....	58
Tabla 17	Resultados de Ensayo de Tracción.....	59

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad buscar una solución técnico económica a una limitación de aplicación que teníamos con bombas de agua de pequeña capacidad en nuestro mercado. Los distribuidores locales ofrecen bombas para tres tipos de aplicaciones que son: la Industrial, la agrícola y la alimenticia, dentro de la aplicación industrial se ofrecen bombas para transportar químicos o productos industriales altamente corrosivos así como para agua en general, para el sector agrícola se ofrecen bombas de todo tipo sin encontrar requerimientos muy especializados. En la clasificación alimenticia encontramos bombas cuyo principal requisito es no contaminar el producto que están transportando y que luego va a ser usado para consumo humano.

En nuestro caso puntual la aplicación va a ser la limpieza de tanques de almacenamiento, achique de centinas, así como atender emergencias en el caso de incendios para buques de medio calado mientras estén acoderados en los muelles; normalmente esta aplicación implica mover agua salada y las bombas especializadas que se encuentran en el mercado son excesivamente caras, por tal efecto una solución es la bomba Wacker PT3A, que poseemos en el mercado pero en una aplicación industrial cuyo impulsor e impelente son de hierro fundido por lo que se deberá reemplazar éstas piezas por unas fabricadas en un material que se comporte de mejor manera frente a la

acción del agua salada y así mejorar notablemente las condiciones de operación, sin aumentar considerablemente su costo inicial.

El problema a solucionar consiste en seleccionar y producir las partes requeridas, de entre las múltiples opciones de materiales de fabricación local que nuestro mercado ofrece ya que éstas partes no existen en fábrica a ningún precio. La mejor opción para nuestra aplicación estará basada en conocimientos de ingeniería, que, para el efecto respaldarán esta tesis, mediante la investigación bibliográfica y experimental sobre la resistencia a la corrosión de materiales usados en las bombas que trabajen con agua salada.

CAPÍTULO 1

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Historia del caso

La Armada del Ecuador solicita a las casas comerciales que proveen de bombas de agua auto propulsadas en el mercado local, que hagan una oferta para reemplazar unas bombas de achique obsoletas, que operan con motores dos tiempos y sirven además como sistema de respaldo contra incendios para sus embarcaciones guardacostas.

Nuestra casa comercial les ofreció la bomba Wacker modelo PT3A con un motor a gasolina de 4 tiempos como una opción económica y adecuada para su requerimiento. Ésta bomba de agua cumple o excede con todos los requerimientos técnicos requeridos por la Armada del Ecuador como por ejemplo Caudal de descarga, cabezal, diámetros de succión y descarga, etc., por lo tanto es escogida como equipo aprobado por la Armada del Ecuador.

TABLA 1
FICHA TÉCNICA – PT 3A

Descripción	Métrico	Imperial
Diámetro de succión y descarga	75 mm	3 in
Largo x ancho x alto	675 x 505 x 570 mm	26 x 20 x 23 in
Peso de operación	64 kg	141 lb
Peso de transporte (con embalaje)	72 kg	158 lb
Dimensiones de transporte	690 x 520 x 610 mm	27 x 21 x 24 in
Altura de presión hidrostática máxima	29 m	96 ft
Descarga máxima	1.515 l/min	400 US gpm
Succión máxima	7,6 m	25 ft
Tamaño máx. de sólidos	38 mm	1,5 in
Tipo de motor	refrigerado por aire, 1 cilindro, 4 tiempos Honda motor a gasolina	
Cilindrada	242 cm ³	14,8 in ³
Máxima potencia según norma DIN-ISO 3046*	6 kW	8 hp
Velocidad de marcha	3.500 1/min	3.500 rpm
Contenido del tanque	6,0 l	6,4 US qt
Consumo máx. de combustible	2,7 l/h	2,8 US qt/h

Las especificaciones pueden variar debido a continuos desarrollos de los productos.

*La potencia de salida real puede variar según las condiciones de uso específico.

[Subir](#) | [Accesorios](#) | [Ficha técnica](#) | [Características y ventajas](#) | [Manuales](#) | [Contenido de entrega](#)

TABLA 2

CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS – PT 3A

<ul style="list-style-type: none">● Bomba autocebante de alto rendimiento capaz de bombear sólidos de hasta 38 mm. de diámetro. Ideal para la mayoría de los lugares de trabajo en los cuales se requiere bombear rápidamente el agua sin aviso previo.
<ul style="list-style-type: none">● El impulsor de hierro de fundición nodular templado y la voluta, con patentados insertos de voluta, proveen una bomba robusta y de fácil mantenimiento la cual durará más tiempo en la obra.
<ul style="list-style-type: none">● La carcasa liviana, de alta resistencia, compacta y de fácil acceso ofrece un prolongado funcionamiento libre de problemas.
<ul style="list-style-type: none">● El diseño de flujo radial permite bombear mayores volúmenes y una mayor altura de presión hidrostática lo que se traduce en un bombeo de rendimiento superior.
<ul style="list-style-type: none">● Los componentes de alta calidad, como el sello mecánico de carbón cerámico, extienden la durabilidad de la bomba.

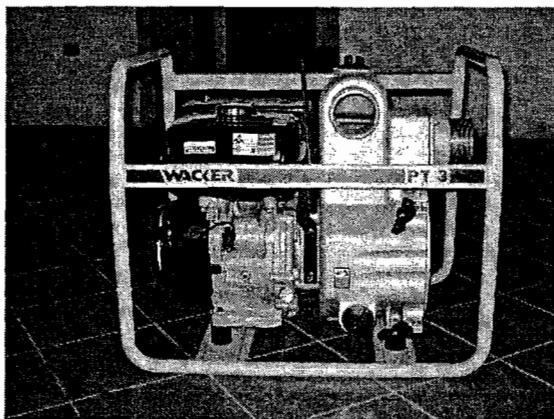


FIGURA 1.1 BOMBA

Luego de poco tiempo de haber entrado en operación una bomba de prueba que vendimos, con la finalidad de que la Armada del Ecuador pueda hacer pruebas reales de operación con el equipo, se pudo

apreciar que las piezas como impulsor y carcaza, que son de hierro gris habían sido afectadas por una agresiva corrosión por efecto del contacto con el agua de mar, debido a que estas bombas son usadas continuamente para achique de las embarcaciones y por lo tanto trabajan con agua salada.

Con la finalidad de solucionar éste inconveniente, la Armada del Ecuador solicitó que se adapte la bomba, es decir se cambien las piezas que son susceptibles del efecto de la corrosión por agua de mar por unas de un material que resista mejor ésta aplicación, analizando nuestra bomba encontramos que todo el alojamiento de la bomba es de aluminio por tal efecto lo único que deberemos mejorar para conseguir el objetivo de adaptación de la bomba, es cambiar el impulsor y la carcaza.

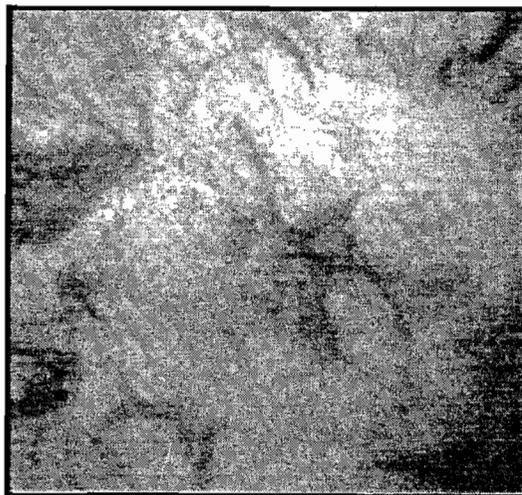
1.2 Análisis de las partes afectadas

Caso de corrosión generalizada por contacto del agua salada ácida con el hierro gris: El ataque que sufre el hierro gris en un medio altamente corrosivo como es el agua salada con niveles de PH inferiores a 7 da como resultado un deterioro de los elementos mecánicos que se encuentren realizando un trabajo, además considerando condiciones de temperatura, movimiento constante y

presión, como en nuestro caso, en el área del impulsor donde tanto la carcasa y el impulsor muestran señales de corrosión en un medio acuático.

Análisis metalográfico de materiales de carcasa e impulsor

Se procedió a obtener una muestra del metal de cada uno de los elementos mecánicos y se prepararon probetas en las que se realiza el pulido mecánico con lijas de carburo de silicio y luego se pasó al pulido final con pasta de Alúmina, siendo el resultado de la preparación de la superficie la Figuras 1.1, 1.2. (Micrografías # 1 y # 2)

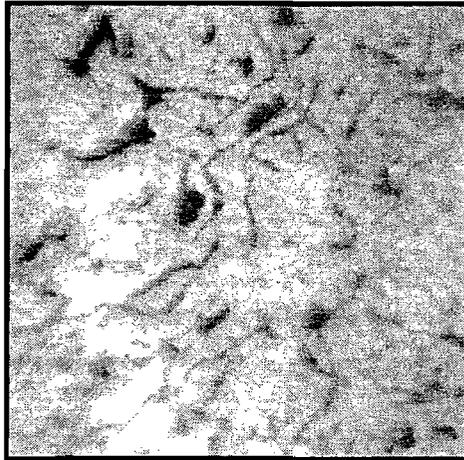


400X

Nital 2%

Micrografía N°1

FIGURA 1.2 MATERIAL DE LA CARCASA. LAS FASES PRESENTES SON DE PERLITA Y LÁMINAS DE GRAFITO. ESTRUCTURA TÍPICA DE UN HIERRO GRIS ASTM A247 CLASE 30



100X Nital 2%

Micrografía N°2

FIGURA 1.3 MATERIAL DEL IMPULSOR. LAS FASES PRESENTES SON DE PERLITA Y LÁMINAS DE GRAFITO QUE IDENTIFICAN UN HIERRO GRIS CUYA ESPECIFICACIÓN ES ASTM A47 CLASE 35.

Se realizó análisis químico de las muestras de los materiales por medio de espectrómetro de Rayos X y determinador Lecco para analizar C y S y los resultados se han tabulado y se exponen a continuación.

TABLA 3

RESULTADOS DE ANÁLISIS VÍA ESPECTROMETRO

Muestra	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
Carcasa		0,4	2,15	0,12		0,002	0,01	0,001	0,03
Impulsor		0,45	2,35	0,08		0,002	0,01	0,001	0,03

TABLA 4
LOS CONTENIDOS DE C Y S ANALIZADOS POR
DETERMINADOR LECCO

Muestra	C	S
Carcasa	3,2	0,08
Impulsor	3,25	0,06

Potencial de corrosión de las partes

La composición química del hierro gris consta de seis elementos principales a más del Fe: carbono, manganeso, silicio, fósforo y azufre. Cada uno de estos elementos posee un valor de electronegatividad (escala de Pauling).

TABLA 5
ELETRONEGATIVIDADES DE ELEMENTOS
CONSTITUTIVOS DE LA FUNDICIÓN HIERRO GRIS

Elemento	Electronegatividad
Fe	1.83
C	2.55
Mn	1.55
Si	1.9
P	2.19
S	2.58

Estas electronegatividades determinan el potencial de corrosión de la aleación. El apéndice 4 (Tabla de potenciales de corrosión de varios metales y aleaciones en agua salada) indica que los aceros de bajo carbono e hierros fundidos presentan un elevado potencial de corrosión lo cual se hace al hacer la comparación de -0.7 E (v) vs. VSCE * que es un electrodo de referencia.

* Saturated Calomel Electrode

Como se puede apreciar, el hierro gris es uno de las aleaciones que mayor potencial de corrosión tiene después de las aleaciones de aluminio.

1.3 Materiales apropiados para la corrosión marina

En nuestro mercado tenemos limitada variedad de metales y aleaciones para producir piezas especializadas para la corrosión en el ambiente de agua salada de nivel de PH 6.7 que tiene alta agresividad. Este trabajo tiene como objetivo básico encontrar metales en el mercado nacional que sean económicos y resistentes a la corrosión en un medio marino, materiales como aleaciones ferrosas (aceros) de carbono aleado e inoxidable y aleaciones no ferrosas (cobre-níquel) este tipo de definición incluye algunas aleaciones, pero en la practica los materiales actualmente usados están limitados a unos pocos.

Antes de entrar a describir los materiales que son aplicables para nuestro trabajo empezaremos por una descripción del sistema encargado para la identificación de cada uno de los materiales existentes, es así que las normas más comunes en el mercado mundial son: AISI (American Iron and Steel Institute), ASTM (American Society for Testing Materials) y UNS (Unified Numbering System). La primera aleación a considerar para fabricar las piezas requeridas para modificar las bombas son los aceros inoxidable que son de producción normal en Intramet.

Aceros inoxidables.

Los Aceros Inoxidables son aleaciones ferrosas que tienen Cromo, en una cantidad superior a 10%, hasta valores del orden de 30%.

El Cr es un metal reactivo y se combina con el Oxígeno del aire o en cualquier otra condición oxidante para formar una película sobre el acero inoxidable que lo aísla del medio agresivo.

La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables es el resultado de la presencia de esta fina, densa (no porosa), continua, insoluble, adherente, tenaz, autoregenerante e impermeable capa de óxido hidratado de Cromo en la superficie de estos aceros que impide, una vez formada esta, el contacto del acero con el medio oxidante. A

esta situación se la denomina pasivación y la película formada es inerte frente a las condiciones oxidantes de la atmósfera terrestre.

Esta película es transparente, brillante y confiere al acero inoxidable la habilidad de retener su apariencia "Inmaculada" (stainless, en Inglés), agradable a la vista. El rango de condiciones bajo las cuales un Acero Inoxidable desarrolla pasivación puede ser amplio o reducido, la pasividad puede ser destruida por pequeños cambios de las condiciones. En condiciones favorables a la pasivación el metal adquiere potenciales de disolución cercanos al de los metales nobles.

Cuando la pasividad se destruye el potencial se acerca al del hierro.

Hay un número importante de Aceros Inoxidables. Su resistencia a la corrosión, propiedades mecánicas y costo varia en un rango muy amplio, por esa razón es importante seleccionar el acero inoxidable más apropiado para una aplicación dada. El costo se eleva entre 5 y 10 veces el de un acero al carbono.

Conviene tener en cuenta que el término "Inoxidable" es término genérico q involucra en UNS^a a más de 130 aleaciones de aceros y/o aleaciones inoxidables con composiciones químicas diferentes. Pueden estar aleados además del Cr y el Ni, con Cu, Al, Si, Ni, Mo,

Nb, Ti que también aumentan su resistencia a la corrosión, directa o indirectamente, en condiciones específicas.

Al seleccionar un acero inoxidable debe evitarse seguir el mismo sistema utilizado con los aceros al Carbono. Resultados satisfactorios de un acero dado en condiciones específicas de temperatura, PH, concentración del medio agresivo, etc., no pueden extrapolarse a otras condiciones aunque parezcan similares.

El método idóneo de selección se basa en la experiencia ya sea del usuario como la del fabricante del acero inoxidable. A medida que aumenta el riesgo de corrosión es necesario aumentar la concentración de Cr aunque debe recordarse que el aumento de resistencia a la corrosión no tiene por que ser proporcional.

Sin embargo con alrededor de 18% de Cr el acero esta en condiciones de soportar las más rigurosas condiciones atmosféricas, específicamente el acero 18-8, AISI 304 o UNS S30400 con 18% de Cr y 8% de Ni es capaz de soportar tales condiciones más de 12 años. Los aceros Inoxidables no son atacados por el ácido nítrico u otros ácidos oxidantes, sino más bien estos ácidos facilitan la formación de la película protectora. Por otra parte estos aceros no

resisten la presencia de ácidos reductores como el ácido clorhídrico o fluorhídrico, y son atacados por las sales de ellos (cloruros, fluoruros, bromuros y yoduros) debe recordarse que cuando los aceros Inoxidables sufren corrosión esta no es uniforme como en el caso de los aceros al carbono, sino localizada, por picaduras (Pitting) o fisuras por corrosión bajo Tensión.

Para un mejor estudio de estos materiales se los a clasificado en familias (apéndice A2) las cuales diferencian el uno del otro por su estructura cristalográfica dando como resultado metales con diferentes propiedades físicas y mecánicas tales como dureza, tenacidad, color, resistencia a la corrosión etc. Tenemos tres grupos de familias más importantes y que son designados comúnmente de acuerdo a su microestructura de la siguiente manera:

- Austeníticos.
- Ferríticos .
- Martensíticos.

Efecto de la composición química

Los aceros inoxidables son bases de hierro aleados con otros metales los cuales les dan características diferentes dependiendo del tipo de material y porcentaje que se combine, entre estos tenemos:

Cromo.- Es uno de los elementos esenciales en la formación de la película pasiva que impide que el hierro reaccione químicamente con el medio en el cual se está desarrollando.

El contenido en porcentaje por volumen del cromo es variable entre un rango de 10.5% hasta un 26%, sin embargo un alto contenido de cromo pueden tener efectos inversos en las propiedades mecánicas, y la soldabilidad.

Níquel.-en suficientes cantidades es protagonista de una estructura austenítica; mejora las propiedades mecánicas, hace más efectiva la película de pasividad del acero, en especial cuando estamos hablando de ambientes ácidos. Una desventaja que si es necesario puntualizarla es su alto costo en el mercado.

Manganeso.- es usado en moderadas cantidades para que conjuntamente con el níquel aumente su efectividad en conseguir un material con mejores propiedades, aunque en las piezas fundidas es necesario llegar a niveles de 2% para mejorar la colabilidad.

Molibdeno.- este tipo de metal se hace más importante cuando se necesita efectividad para el control de pitting y corrosión en

hendiduras, pero es un material caro y difícil de conseguir en nuestro medio, por esto se lo mantiene en bajos niveles.

Carbono.- es el elemento que permite obtener diferentes grados de dureza a través de un tratamiento térmico y pasar a un grado martensítico, en los demás tipos de inoxidable los contenidos de carbono se mantienen en niveles tan bajos como 0.08 y hasta 0.03.

Nitrógeno.- es usado en pequeñas cantidades en especial los austénicos de grado AISI 200.

Fundiciones de hierro.

En general, la fundición es un material estructural particularmente resistente, aun cuando se trata de unos de los más económicos y se utiliza mucho en la industria. Existen diferentes fundiciones, en este trabajo definiremos un poco los tipos que se ha usado en las piezas con las que vinieran de fábrica.

Fundición gris.

De bajo costo y fácil de moldear con formas complejas, contienen hierro, carbono, silicio y manganeso siendo los dos primeros los de mayor presencia en porcentaje, el carbono entre 1.7% y 4.5% se encuentra como carbono combinado y grafito. Se producen

fundiciones grises con diversos valores de resistencia, haciendo variar el tamaño, la cantidad y la distribución de la lamina de grafito. La fundición gris obtenida por moldeo, con algunas excepciones importantes, suelen tener una resistencia a la corrosión similar a la que poseen el acero al carbono. Resiste la corrosión atmosférica, así como también el ataque de suelos neutros y aguas naturales o neutras en PH. Sin embargo este material es atacado por ácidos diluidos y en especial el medio salino, excepto si es aleado con 15% Ni para hacer una aleación conocida con Ni resistente pero de alto costo.

Aleaciones de cobre

Este metal forma aleaciones con otros metales principalmente por la sustitución de sus átomos en la estructura de este. Este tipo de aleaciones se ven afectadas por una disminución en su conductividad eléctrica y térmica, pero son beneficiadas por un aumento en resistencia y dureza.

Entre las principales aleaciones que se pueden obtener, partiendo de las designaciones que dan las normas ASTM, SAE, UNS, tenemos:

Cobre-zinc o también llamadas latones

Cobre-aluminio que se conocen por bronce al aluminio.

Cobre-silicio son bronce que reemplazan a los bronce al estaño a bajo precio.

Cobre-níquel, también llamados bronce silverados o bronce plata, de alta resistencia a la corrosión

A continuación hablaré sobre este último el cuál fue utilizado en este trabajo.

Aleaciones Cobre-níquel

Estas son aleaciones de cobre con níquel llamadas cuproníquel (apéndice 6), con un contenido de níquel en un rango que varia de 2.5% a un 30% , tienen una alta resistencia mecánica, buena maleabilidad y excelente resistencia a la corrosión; este tipo de material tienen una buena solubilidad en estado líquido ya que son aleaciones del tipo sustitucional y prácticamente se combinan el Ni y el Cu en todo el rango de composición.

Las aleaciones que se pueden considerar en la aplicación que tratamos en el presente caso, tenemos los siguientes:

- Aleación C96400 (70Cu – 30Ni)

Composición química: 65.0 a 69.0 % Cu; 28.0 a 32.0 %Ni; 0.50 a 1.50 % Nb; 0.25 a 1.50 % Fe; 1.50 % max. Mn; 0.50 % max. Si; 0.15

% max. C; 0.03 % max. Pb (0.01 max. Pb para aplicaciones en soldadura).

Aplicaciones: centrifugado, colada continua y forjado son los procesos de manufactura usados. La fundición en arena de: válvulas, cuerpos de bombas, álabes y codos para aplicaciones que requieren de resistencia a la corrosión marina son de aplicación común.

Propiedades mecánicas:

Tensión: esfuerzo de tensión 470 MPa; esfuerzo de fluencia 255 MPa a 0.50% bajo carga de extensión; elongación 28% en 50 mm o 2 pulgadas (longitud).

Dureza: 140 HB (con carga de 3000 kg).

Módulo de elasticidad: 145 GPa (tensión).

Resistencia al impacto: 106 J (ensayo Charpy V).

Resistencia a la fatiga: 125 MPa a 10^8 ciclos (flexión).

Propiedades de masa: densidad 8.94 kg/cm³ (a 20°C).

Propiedades térmicas: Temperatura de líquido 1238°C.

- Aleación C97600 (64Cu – 4 Sn – 4Pb – 8Zn - 20Ni)

Composición química: 63.0 a 67.0 % Cu; 3.5 a 4.5 % Sn; 3.0 a 5.0 % Pb; 3.0 a 9.0 % Zn; 19.0% a 21.5% Ni; 1.5 % max. Fe; 1.0 % max. Mn; 0.25 % max. Sb; 0.15 % max. Si; 0.08 % max. S; 0.05 % max. P; 0.005 % max. Al.

Aplicaciones: centrifugado, por moldeo de precisión, forjado y por fundición en arena para aplicaciones marinas, accesorios sanitarios, ornamentales, válvulas y bombas.

Propiedades mecánicas:

Tensión: esfuerzo de tensión 310 MPa; esfuerzo de fluencia 165 MPa a 0.50% bajo carga de extensión; elongación 20% en 50 mm o 2 pulgadas (longitud).

Compresión: resistencia a la compresión 205 MPa (a permanente deformación de 1%) y 395 MPa (a permanente deformación de 10%).

Dureza: 80 HB (con carga de 500 kg).

Módulo de elasticidad: 130 GPa (tensión).

Resistencia al impacto: 15 J (ensayo Charpy V).

Resistencia a la fatiga: 107 MPa a 10^8 ciclos (flexión).

Propiedades de masa: densidad 8.90 kg/cm³ (a 20°C).

Propiedades térmicas: Temperatura de líquido 1142°C.

- Aleación C97800 (66.5Cu – 5Sn – 1.5Pb – 2Zn - 25Ni)

Composición química: 64.0 a 67.0 % Cu; 4.0 a 5.5 % Sn; 1.0 a 2.5 % Pb; 1.0 a 4.0 % Zn; 24.0% a 27.0% Ni; 1.5 % max. Fe; 1.0 % max. Mn; 0.20 % max. Sb; 0.15 % max. Si; 0.08 % max. S; 0.05 % max. P; 0.005 % max. Al.

Aplicaciones: por moldeo por cera perdida, molde permanente o molde metálico y fundición en arena para aplicaciones ornamentales, accesorios sanitarios, cuerpos de válvulas, asientos de válvulas y componentes de instrumentos musicales.

Propiedades mecánicas:

Tensión: esfuerzo de tensión 380 MPa; esfuerzo de fluencia 205 MPa a 0.50% bajo carga de extensión; elongación 15% en 50 mm o 2 pulgadas (longitud).

Dureza: 130 HB (con carga de 3000 kg).

Módulo de elasticidad: 130 GPa (tensión).

Propiedades de masa: densidad 8.86 kg/cm³ (a 20°C).

Propiedades térmicas: Temperatura de líquido 1180°C.

1.4 Factores en consideración para la selección del material y proceso de fabricación

La Corrosión.- Podemos definir la corrosión como el deterioro que sufre un metal en sus propiedades debido a una reacción con el medio. Si se pretenden comprender los métodos de control de la corrosión es necesario describir primero en un cierto grado de profundidad las reacciones y los factores que influyen en el fenómeno.

La mayoría de los metales se encuentran en estado natural formando parte de minerales, ya sea como óxido o metales. El mineral común de hierro se asemeja al herrumbre, este es convertido a hierro metálico mediante el empleo de energía y esta misma energía es la que se libera cuando el hierro se convierte en herrumbre debido al efecto de corrosión, es la energía que guarda el metal durante el proceso de refinación lo que hace posible el proceso de corrosión.

El fenómeno corrosión puede ser definido también como el deterioro de los materiales, a causa de alguna reacción con el medio ambiente en que son usados. Este fenómeno no siempre involucra un cambio de peso o un deterioro visible, ya que muchas formas de corrosión se manifiestan por un cambio de las propiedades de los materiales, disminuyendo su resistencia. El caso de las aleaciones metálicas y particularmente, el del acero, el más ampliamente difundido; en estos casos la corrosión se debe detallar con más precisión basándose en la estructura atómica de la materia.

En este caso el átomo está formado por un equilibrio de cargas positivas llamadas protones y de cargas negativas llamadas electrones; los materiales tienden a perder electrones o en otras palabras cierta energía, formando un ión positivo, la cual se separa

del metal perdiendo masa. Esto sucede cuando normalmente al entrar un metal en contacto con un electrolito (medio conductor de corriente) dando lugar a reacciones electroquímicas de oxidación y reducción.

Decimos entonces, que ha comenzado un proceso de corrosión en medio húmedo con una circulación simultánea de corriente eléctrica, normalmente denominada pila galvánica. Como hemos visto, en el caso particular del acero han aparecido algunos nuevos conceptos que toman parte del proceso de corrosión, lo que nos lleva a una definición más específica: La Corrosión, es un proceso de destrucción o deterioro electroquímico de un metal por acción y reacción de éste con el medio que lo rodea (reacciones de oxidación y reducción simultánea).

Naturaleza electroquímica de la corrosión.

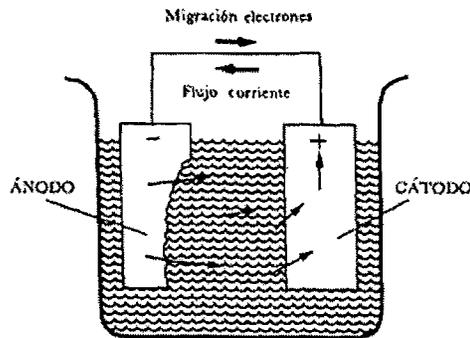
Los problemas de corrosión que ocurren en la producción industrial son debidos a la presencia de agua. Estando este presente en grandes o pequeñas cantidades siempre será necesaria para el proceso de corrosión. A causa de lo anterior, entonces la corrosión en presencia de agua es un proceso electroquímico, lo cual quiere decir que hay flujo de corriente eléctrica en el proceso de corrosión y para que esto fluya tiene que existir una fuerza impulsora, la cual

actúa como una fuente con diferencia de potencial y con esto se completa el circuito eléctrico.

La fuente potencial en este proceso es la energía almacenada por el metal durante el proceso de refinación. Según el metal es la cantidad de energía en su refinación y por eso tendrán diferentes tendencias a corroerse. La magnitud de esta fuerza impulsora generada por el metal cuando esta en contacto con una solución acuosa se llama potencial del metal. Este valor se relaciona con la energía que se libera cuando el metal se corroe.

Circuito eléctrico de la corrosión.

En conjunto con la fuente de voltaje debe existir un circuito completo; este consiste en dos partes:



**FIGURA 1.4 DIRECCIÓN DE FLUJO DE CORRIENTE ENTRE
ÁNODO Y CÁTODO**

Ánodo.- Es aquella porción de la superficie del metal que se está corroyendo. Es el lugar donde el metal se disuelve y pasa a la solución; al momento de ocurrir esto es por que los átomos metálicos pierden electrones y pasan a la solución como iones.

Los átomos contienen la misma cantidad de protones y electrones y al ocurrir una pérdida de electrones ocurre un exceso de carga positiva lo que resulta un ión positivo.

Cátodo.- Es la cantidad de superficie metálica que no se disuelve y es el sitio de otra reacción química necesaria para que ocurra el proceso de corrosión. Los electrones que se liberan al dividirse el metal en el ánodo viajan hasta la zona catódica en donde se consumen por la reacción de un agente oxidante presente en el agua. El consumo de electrones se llama reacción de reducción.

Electrolito.- Para que se complete el circuito eléctrico la superficie metálica, tanto como el cátodo como el ánodo, deben estar cubiertas por una solución conductora de electricidad, es decir, de electrolito. El electrolito conduce la corriente del ánodo al cátodo y luego vuelve al ánodo a través del metal, completando el circuito.

La combinación de estos tres componentes es conocida como celdas de corrosión.

Composición del electrolito.-Existen dos aspectos por los cuales la composición del electrolito afecta la corrosión; primero afecta la conductibilidad y segundo el potencial de corrosión básico del sistema, este último se relaciona por la presencia o no de agentes oxidantes en la solución los cuales son importantes para construir la parte catódica de la celda de corrosión.

Afortunadamente tenemos dos agentes oxidantes en la mayoría de los problemas, ellos son el ión hidrógeno y el oxígeno molecular. Las medidas para combatir la corrosión dependen del sistema que participe en la celda, por lo tanto lo primero que se debe hacer es definir las reacciones catódicas que participan.

Conductividad.- Como ya se ha dicho anteriormente la superficie metálica debe estar cubierta de una solución eléctricamente conductora para conducir corriente eléctrica desde el ánodo al cátodo en la celda de corrosión; entre mejor conductor sea el electrolito más fácil va a fluir la corriente y ocurrirá mayor corrosión.

En el caso de electrolitos poco conductores existe una gran resistencia al flujo de corriente minimizándose la reacción de disolución. Es importante recalcar que la cantidad de metal que se disuelve es directamente proporcional a la cantidad de corriente que fluye entre el ánodo y el cátodo.

PH.-La velocidad de corrosión del acero aumenta a medida que disminuye el ph, el cual al ser muy altos suele ser muy corrosivo. La velocidad de corrosión con el ph está influenciada por la composición del electrolito.

Al aumentar la concentración del ión hidrógeno es más ácida la solución y es menor el valor de ph. La magnitud de ph nos indica la intensidad de acidez o alcalinidad del medio. Esta magnitud se indica por medio de una escala la cual la número siete indica que la solución con ph es neutra; los números menores de siete indican que es ácida y los mayores alcalinidad.

Gases disueltos.- El oxígeno, dióxido de carbono y el ácido sulfhídrico disueltos en agua aumentan la corrosividad de esta, por lo tanto, los gases son la principal causa de los problemas de corrosión.

Oxígeno disuelto.- De los gases disueltos es el peor de todos, basta con una pequeña concentración y puede producir una corrosión severa y si uno de los otros gases disueltos está presente aumenta la corrosión. El oxígeno siempre acelera la corrosión ya que es un oxidante fuerte y se reduce rápidamente en el cátodo, lo que significa que se combina muy fácil con los electrones del cátodo, con lo cual la velocidad de corrosión estará limitada con la rapidez con

este gas se difunde desde el seno electrolito a la superficie del metal.

Dióxido de carbono disuelto. - Si el dióxido de carbono se disuelve en agua se forma ácido carbónico, disminuyendo el pH de la solución y aumentando su corrosividad. Tanto este como el oxígeno causan un picado y la corrosión causada por el dióxido de carbono se conoce como corrosión suave.

Ácido sulfhídrico disuelto.- El ácido sulfhídrico es muy soluble con agua y se comporta como un ácido débil y causa un picado. La presencia de este se conoce como una corrosión ácida.

La unión de este con el dióxido de carbono es más agresiva que el ácido sulfhídrico solo y esta combinación es la que se encuentra en los pozos petrolíferos. Si en estas condiciones se presenta una pequeña cantidad de oxígeno, el resultado es desastroso.

Variables físicas.

Temperatura.- Al igual que las reacciones químicas, la velocidad de corrosión aumenta generalmente con la temperatura; la velocidad se duplica por cada diez grados centígrados que aumenta la temperatura.

Una excepción de esto podría ser en un sistema abierto a la atmósfera la velocidad de corrosión inicial aumenta disminuyendo posteriormente si la temperatura se aumenta.

Presión. La presión afecta la velocidad de las reacciones químicas en la que participan gases y por consiguiente las reacciones de corrosión no son una excepción.

Tipos de Corrosión.- Se clasifican de acuerdo a la apariencia del metal corroído, dentro de las más comunes están:

1. Corrosión uniforme: Donde la corrosión química o electroquímica actúa uniformemente sobre toda la superficie del metal.
2. Corrosión galvánica: Ocurre cuando metales diferentes se encuentran en contacto, ambos metales poseen potenciales eléctricos diferentes lo cual favorece la aparición de un metal como ánodo y otro como cátodo, a mayor diferencia de potencial el material más activo será el ánodo.
3. Corrosión por picaduras: Aquí se producen hoyos o agujeros por agentes químicos.
4. Corrosión intergranular: Es la que se encuentra localizada en los límites de grano, esto origina pérdidas en la resistencia que desintegran los bordes de los granos.

5. Corrosión por esfuerzo: Se refiere a las tensiones internas luego de una deformación en frío.

Protección contra la corrosión Dentro de las medidas utilizadas industrialmente para combatir la corrosión están las siguientes:

1. Uso de materiales de gran pureza.
2. Presencia de elementos de adición en aleaciones, por ejemplo los aceros inoxidable.
3. Tratamientos térmicos especiales para homogeneizar soluciones sólidas, así como el alivio de tensiones.
4. Inhibidores que se adicionan de corrosión, al agua para disminuir los efectos de las soluciones corrosivas ejemplo los anticongelantes usados en radiadores de los automóviles.
5. Recubrimientos superficiales: pinturas, capas sobre los metales.
6. Protección catódica

Metales en ambientes marinos.- La exposición de los metales en agua salada introduce una serie de factores que no están presentes cuando se desenvuelven en atmósferas marinas. Es por eso que la selección de un metal que tenga un buen desempeño en estos ambientes es un poco complicada. Sin embargo en el mercado

existen aleaciones de metales ferrosos y no ferrosos, que tienen sus ventajas y desventajas, las mismas que tienen que ser analizadas basándose en la necesidad (estructuras, intercambiadores de calor, tuberías, elementos como propulsores, etc.)

La durabilidad de los metales va a depender de cuán resistente sea la película pasiva del metal, dando origen a un desgaste del metal por corrosión. El efecto de la composición de la aleación juega un papel importante, ya que esta nos va a poner las limitaciones o condiciones de trabajo del metal.

Resultados de una serie de tests en aceros inoxidable (ferríticos y austeníticos) y aleaciones de cobre níquel, han demostrado tener un buen desempeño para este tipo de aplicaciones. Atendiendo a criterios prácticos y de ingeniería se realiza una evaluación de 5 materiales de entre los mencionados anteriormente con el objetivo de preseleccionar un metal que tenga un mejor comportamiento en un ambiente agresivo que produzca corrosión en el mismo. A continuación se resume el resultado de esta evaluación en una matriz de decisión que considera 6 aspectos determinantes de acuerdo a la aplicación que tenemos, estos son: costo, complejidad tecnológica, tiempo de fabricación, resistencia a la corrosión marina, resistencia mecánica y maquinabilidad. La evaluación requiere de

asignar un valor entre 0 y 5, siendo 0 un valor que indica que el material es "menos favorable" y el 5 un valor que indica que el material es "más favorable".

TABLA 6
MATRIZ DE DECISIÓN

	Hierro Gris	Acero Inox. SAE 304	Acero Inox. SAE 247	Bronce níquel 20%	Cobre níquel 30%
Costo	5	1	1	3	2
Complejidad tecnológica	5	1	1	3	3
Tiempo de fabricación	4	4	4	4	3
Resistencia a la corrosión marina	1	3	4	5	5
Resistencia mecánica	3	5	5	5	5
Maquinabilidad	3	3	3	3	3
	21	17	18	23	21

Escala de valores
0 : menos favorable, 5 : más favorable

Como producto de la matriz de decisión esta preselección, tenemos que el material que cumpliría mejor las expectativas de buen comportamiento en un medio corrosivo sería la aleación de cuproníquel al 20%.

Pruebas de corrosión.

El propósito principal de la selección de materiales es proporcionar los equipos óptimos para un proceso de aplicaciones en términos de materiales de construcción, diseño y control y medida de la corrosión. Se considera óptimo un compromiso entre la mejor combinación de costes, vida, seguridad y fiabilidad.

La selección de materiales será utilizada en el diseño basándose en el conocimiento del comportamiento de los materiales y los principios que gobiernan dicho comportamiento. Si se incorporan al diseño materiales de construcción adecuados, los equipos se deteriorarán a una velocidad prevista y uniformemente, y permitirán un mantenimiento programado o una reposición a intervalos graduales.

Si formas de corrosión localizadas son características de la combinación de materiales y medio ambiente, los ingenieros de materiales deben ser capaces de predecir la probabilidad de vida del equipo, o idear un calendario de inspección adecuados para prevenir fallos inesperados. Los conceptos de mantenimiento predictivo, o al

menos preventivo, constituyen el requerimiento mínimo para una selección adecuada. Esta forma de considerar el mantenimiento intenta reducir la posibilidad de cierre de producción no programada por fallos de corrosión, que conlleva posibles pérdidas económicas, peligro para el personal y los equipos y la contaminación ambiental como última consecuencia.

Probablemente el mejor modo de encarar el estudio de selección de materiales es clasificar los tipos principales de sustancias químicas que pueden encontrarse, describir sus características inherentes y generalizar sobre las características de corrosión de material de construcción dominante en cada ambiente.

La información básica sobre la que descansa la selección de materiales deriva muchas fuentes. En muchos casos, información como la resistencia a la corrosión de un material en un ambiente específico no está disponible y debe deducirse experimentalmente. Por eso es necesario que se sigan las primeras observaciones de este apartado.

Desafortunadamente, no hay un método patrón o un modo preferido para evaluar una aleación en un ambiente determinado. Mientras las características de operaciones de la planta química pueden a veces duplicarse en el laboratorio, factores de velocidad, efectos de

paredes frías calientes, resquicios, reacciones químicas del fluido durante el ensayo, niveles de tensión de los equipos, contaminación con productos de corrosión, trazas de impurezas, gases disueltos y otros, tienen también un efecto controlador en la calidad de la respuesta. Además también el progreso de la reacción de corrosión variará en el tiempo. No obstante los ensayos de inmersión siguen siendo los métodos más utilizados para seleccionar materiales de construcción. No hay una forma convencional ni preferida para efectuar un ensayo de la corrosión; el método se debe escoger según la finalidad del ensayo. Los tipos de pruebas principales son, en orden decreciente de fiabilidad:

1. Experimentos operacionales reales con equipo de plantas a escala completa, expuesta al medio corrosivo.
2. Experimentos con equipos de planta en pequeña escala, ya sea en condiciones comerciales o de planta piloto.
3. Ensayos de muestra sobre el terreno. Estos incluyen: muestra de acero, muestras tensionadas, sondas de resistencia eléctrica expuestas al medio de corrosión de planta o muestras expuestas a la atmósfera, a tierras o aguas dulces, salobres o saladas.
4. Ensayos de laboratorio con muestras expuestas a líquidos de plantas "reales" o ambientes simulados. Las pruebas de corrosión en la planta o sobre el terreno son útiles para:

- La selección del material más apropiado para resistir un ambiente dado y estimar su duración probable en ese ambiente.
- El estudio de la eficacia de los medios para prevenir la corrosión.

Prueba de corrosión: en laboratorio.- Los metales y las aleaciones no responden del mismo modo a todas las influencias de los numerosos factores que participan en la corrosión. Por tanto, no es práctico establecer procedimientos estándar universales de laboratorio para los ensayos de corrosión, con excepción de las pruebas de inspección. Sin embargo algunos detalles de las pruebas en laboratorio requieren una atención adecuada cuidadosa para poder obtener resultados útiles.

A menudo, los ensayos de corrosión en el laboratorio son los medios más rápidos y satisfactorios para efectuar una selección preliminar de los materiales más adecuados a utilizar. No obstante lamentablemente, no se encuentra todavía dentro del estado actual de las pruebas del laboratorio la predicción exacta del comportamiento del material escogido en las condiciones operacionales de la planta. La dificultad principal recae no tanto en efectuar el ensayo como en interpretar los resultados y en

traducirlos a términos de operación de la planta. Un ensayo de laboratorio de tipo común proporciona primordialmente un factor: la resistencia química del material propuesto al agente corrosivo.

Hay otros muchos factores que influyen en el comportamiento del material en la planta, como gases disueltos, velocidad, turbulencia, abrasión, condiciones de agrietamientos, efectos de paredes calientes, efectos de paredes frías, niveles de esfuerzos de los metales, trazas de impurezas en el material corroído, que actúan como aceleradores o inhibidores de la corrosión y variaciones en la composición del material corroído.

Piezas para ensayo. El tamaño y la forma de las piezas variarán de acuerdo a la finalidad del ensayo, la naturaleza del material y el aparato que se utilice. Son convenientes una relación grande de superficie en masa y una relación pequeña de área de borde a área total.

Esas proporciones se pueden alcanzar mediante la utilización de muestras rectangulares o circulares. de espesor mínima. Las muestras circulares se deben cortar preferentemente de láminas y no de barras, con el fin de reducir el número de granos de los extremos que estén expuestos.

Para los ensayos de corrosión de laboratorio una forma adecuada será una muestra circular de aproximadamente 38 mm (1.5 in) de diámetro. Con un espesor aproximadamente de 3 mm (1/8 de pulgada) y un orificio con diámetro de 8 u 11 mm (5/16 o 7/16 de pulgada) para el montaje, esas muestras pasarán con facilidad por una junta de cristal esmerilado de 45/50 de una caldera de destilación.

El área de superficie total de una muestra circular se obtiene mediante una muestra de ecuación:

$$A = \pi/2 (D^2 - d^2) + t \pi D + t \pi d$$

Donde:

t = espesor

D = diámetro de la muestra.

d = diámetro del orificio de montaje

Si el orificio está completamente cubierto por un soporte de montaje, se omite el término final (t π d) de la ecuación.

Las muestras de acero en láminas [50 por 25 por 1,6 o 3,2 mm (2 por 1 por 1/16 o 1/18 de pulgadas)] pueden referirse como

muestras de corrosión, sobre todo si se deben estudiar, mediante pruebas en laboratorio, efecto de intercara o línea de líquido . Todas las muestras se deberán medir con cuidado para permitir el cálculo exacto de la zona expuesta. Por lo común, es adecuado un cálculo de área con una precisión de hasta, más o menos, 1 por 100.

CAPÍTULO 2

2. SOLUCIÓN IMPLANTADA

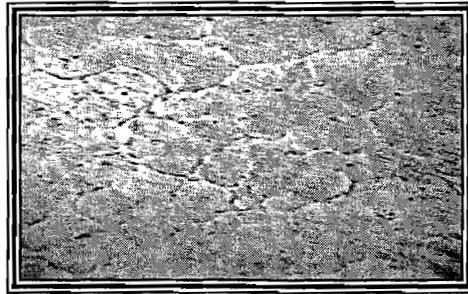
2.1 Evaluación de los materiales existentes en el mercado

El primer capítulo de este trabajo estuvo enfocado a cubrir parámetros que teníamos que considerar para hacer una preselección de materiales que podrían tener un buen desenvolvimiento en ambientes marinos (cuatro metales).

En esta parte del trabajo comenzaremos con las preparaciones de las muestras, para luego conocer su microestructura, su constitución química, dureza y el ensayo en la cámara de niebla salina. Conociendo todas estas cuantificaciones se procederá a realizar un análisis técnico que proveerá el suficiente criterio para realizar una

selección idónea del material con el cual se fabricaran los elementos mecánicos.

Se trabajó con la norma ASTM B117 del Apéndice N-1_y se procedió a elaborar probetas de cada unas de los siguientes materiales, los mismos que se les hizo un análisis Metalográfico y químico para conocer todas sus características, Figura 2.1.



N 200 x

Reactivo Vilella

Micrografía No.3

FIGURA 2.1 MICROESTRUCTURA INOX. AUSTENÍTICO

TABLA 7

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO INOXIDABLE.

% C	% Cr	% Ni	% Mo	% Mn	% Si	% S	%Fe
0.03	26.0	12.0	0.02	0.80	0.85	0.02	El resto



200 x

Reactivo Vilella

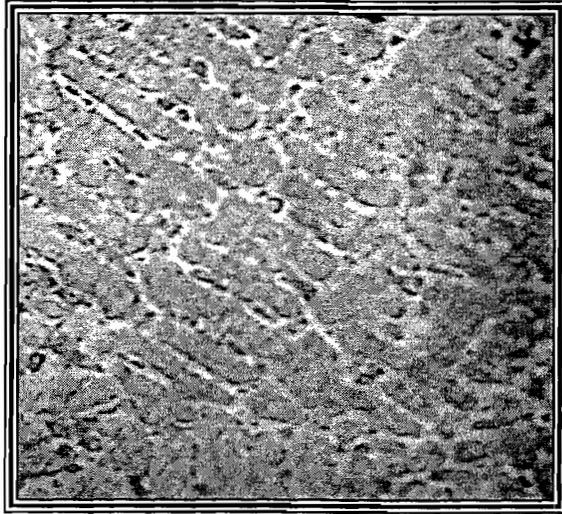
Micrografía No.4

**FIGURA 2.2 MICROESTRUCTURA INOX. AUSTENÍTICO.
MATERIAL 2**

TABLA 8

**COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO INOXIDABLE
AUSTENITICO SAE 304**

% C	% Cr	% Ni	% Mo	% Mn	% Si	% S	%Fe
0.06	18	8	0.02	1.00	1.00	0.03	El resto



200 x

Dicromato de Potasio

Micrografía No.5

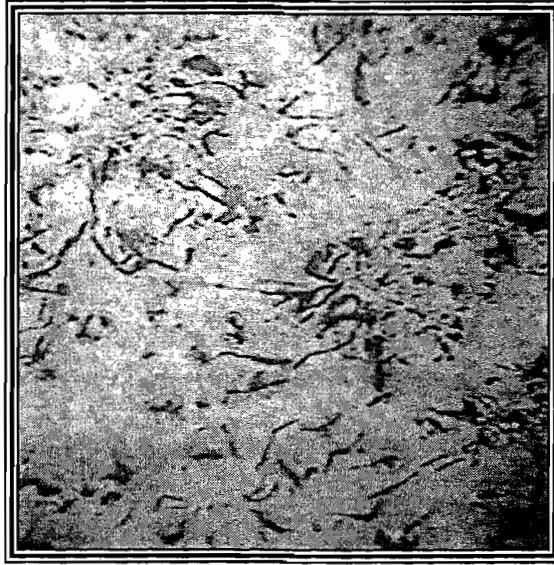
FIGURA 2.3 MICROESTRUCTURA DE BRONCEAL NIQUEL

En la microestructura se aprecian las fases de una solución sólida de Ni en Cu (matriz) y una fase clara de un compuesto de cuproníquel.

TABLA 9

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BRONCE AL NIQUEL

% Ni	% Sn	% Pb	% Zn	% Cu
20	4	3	8	65



200 x

Nital al 3%

Micrografía No. 6

FIGURA 2.4 MICROESTRUCTURA DE HIERRO GRIS

La microestructura es típica de un hierro gris con láminas de grafito tipo A y rosetas con grafito tipo G. La matriz de la microestructura es de perlita .

TABLA 10

COMPOSICION QUIMICA DEL HIERRO GRIS

% C	% Mn	% Si	% Mo	% Cr	% Ni	% S	% Cu	% P
3.2	0.60	0.3	0.10	0.003	0.003	0.04	0.11	0.03

2.2 Cámara de niebla salina: construcción y pruebas

El principio de una cámara de niebla salina es básicamente una cámara que me va permitir tener aislar electroquímicamente a las muestras del medio exterior y entre ellas.

Es por eso que el material del cuál esta construida esta recamara es de vidrio un material no conductor de la electricidad.

Otra parte importante de la cámara de niebla salina es obtener en su interior agua salada en forma atomizada para hacer que las muestras se empañen del fluido corrosivo.

La cámara de niebla salina se construyó bajo especificaciones de la norma ASTM B 117 – 97, para lo cual modelamos este equipo a través de la construcción de un cubo de 8000 cm^3 , totalmente en vidrio; dejando una cara libre para permitir el ingreso de las muestras y del agua salada en forma atomizada.

Para lograr atomizar el agua salada se compro en el mercado pistola para proyección de pintura dando excelentes resultados de empañamiento.

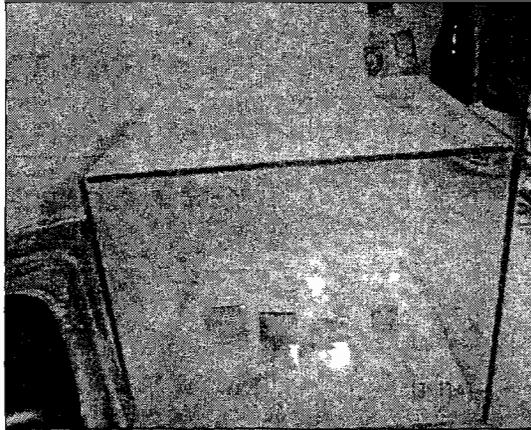


FIGURA 2.5 CAMARA DE NIEBLA SALINA CON LAS MUESTRAS EN SU INTERIOR

Preparación de las muestras

Los materiales preseleccionados son tres, más otro metal; que sería en el que originalmente viene construida la turbina de las bombas y se lo tiene que considerar para realizar una comparación de resultados cuando pase por la cámara de niebla salina.

La preparación comienza con pedazos de metales obtenidos en los distribuidores de metales aquí en el país, muestras de metales que deberán adquirir tamaño y forma de acuerdo a lo recomendado por la norma ASTM B117. Algo que también es importante resaltar, esto

es apegándonos a la normas es la forma como se llevó a cabo la limpieza de las muestras, las mismas que tendrían que ser limpiada de tal forma que sus características físicas y químicas no sean afectadas bajo ningún concepto

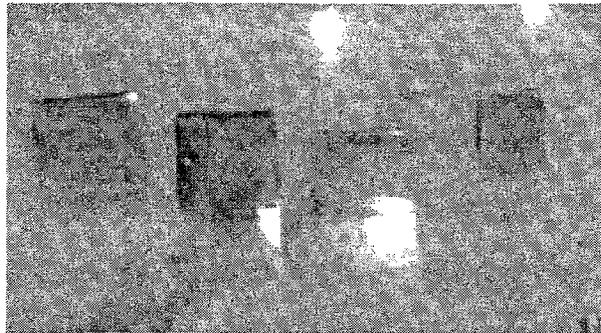


FIGURA 2.6 MUESTRAS ANTES DE REALIZAR PRUEBAS

En la Figura 2.6 se observan de izquierda a derecha: acero inoxidable austenítico (26% Cr – 12% Ni), fundición gris, bronce al níquel, acero inoxidable austenítico (18% Cr – 8% Ni).

Descripción del procedimiento de acuerdo a la norma

Una vez que tenemos los equipos, las muestras y materiales; armamos nuestro escenario para realizar las pruebas de acuerdo a lo establecido por la norma. La preparación de la solución de agua salada consistirá de 5 ± 1 partes en peso de cloruro de sodio (sal)

con un 95 partes en peso de agua, ya sea esta destilada o sin mucha materia sólida disuelta, esto es para obtener una agua que se encuentre en el rango neutro de PH. En cuanto a la posición de la recamara de vidrio se le tuvo que dar una pequeña inclinación con respecto al suelo, esto es con el único objetivo de lograr que la solución de sal que se acumulaba en el fondo de la recamara salga y que esta no sirva como un electrolito entre las muestras que se encontraban asentadas. La norma recomienda que las muestras se encuentren elevadas una cierta altura con respecto al fondo de la recamara, esto no fue capas de lograr debido a la no-existencia de herramientas para realizar un agujero en la muestra (dureza entre 50 y 60 RHC en los aceros inoxidable) y así suspenderlas.

2.3 Ensayos en la cámara de niebla, material seleccionado.

La duración de esta prueba fue de 8 días (192 Horas), en los cuales se llevo un estricto control de todos los acontecimientos que se iban presentando en las muestras conforme avanzaba el tiempo. La prueba comienza con la colocación de las muestras en la recamara y con una rociada de la solución de sal, la misma que se tiene que hacer en forma periódica (cada dos horas) durante la permanencia de la prueba, esto es con el único plan de mantener a las muestras en contacto con la solución de sal.

De la misma condición como sé hacia el rociado de las muestras se aprovechaba para hacer una inspección visual y en el caso de ocurrir algo relevante en algunas de las muestras se procedía a tomar nota de lo observado con su respectiva foto para evidenciar lo sucedido en una forma más comprensible. Algo que se considero en esta prueba fueron las condiciones ambientales como son la temperatura y presión, variables que no fueron tan complicadas su manejo por tratarse de cambios muy pequeños que se dan entre mañana, tarde y noche; que para este ensayo se los puede considerar despreciables. A continuación presento una tabla en donde se resume todo lo acontecido durante el estudio de los especímenes.

El contenido de esta tabla estará basada en el número de horas que ha pasado desde que se inicio el ensayo hasta donde se quiere poner en consideración algún dato, también describiremos el aspecto superficial, como también el porcentaje de la superficie afectada de la muestra.

Las muestras fueron enumeradas con el único objetivo de evitar aglomeraciones de palabras en la tabla:

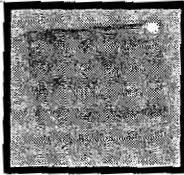
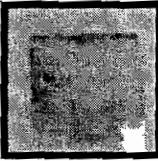
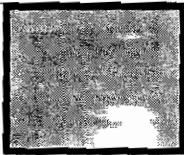
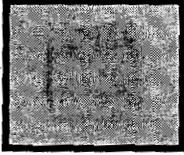
Muestra n.- 1 acero inoxidable austenítico (26% Cr, 12% Ni)

Muestra n.- 2 fundición gris.

Muestra n.- 3 aleación bronce al níquel

Muestra n.- 4 acero inoxidable austenítico (SAE 304)

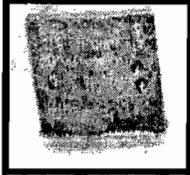
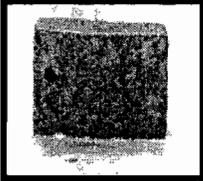
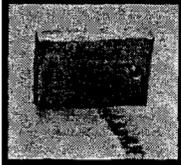
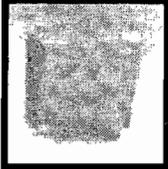
TABLA 11
RESULTADOS No. De Horas 0

MUESTRAS	% DE SUP. AFECTADA	ASPECTO SUPERFICIAL
1	0	
2	0	
3	0	
4	0	

Comentario # 1.

Se colocaron las muestras en la cámara de niebla salina, las mismas que fueron rociada con la solución. Como se puede apreciar las muestras no presentan ningún síntoma de corrosión.

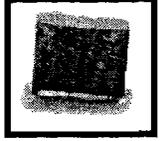
TABLA 12
RESULTADOS No. DE HORAS: 24

MUESTRAS	% DE SUP. AFECTADA	ASPECTO SUPERFICIAL
1	30	
2	60	
3	2	
4	3	

Comentario # 2

A partir de este tiempo se comenzó a producir en muestra 1 y 2 una capa como especie de calamina, mientras que en muestras 3 y 4 no se producía ningún efecto.

TABLA 13
RESULTADOS No. HORAS 72

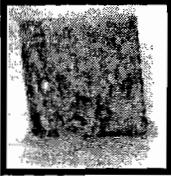
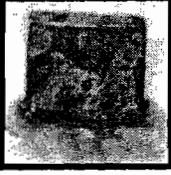
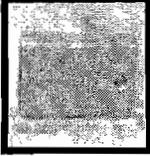
MUESTRAS	% DE SUP. AFECTADA	ASPECTO SUPERFICIAL
1	70	
2	95	
3	5	
4	5	

Comentario # 3.

Seguido del comentario anterior, las muestras 1 y 2 comenzaron tener síntomas de corrosión, la cuál se mostraba que venia de manera muy agresiva, siendo mas fuerte en muestra 2, por otro lado las muestras 3 presentaba inmunidad completa, hablando de la muestra 4 comenzaba su proceso de formación de la capa pasiva de típica de los inoxidables.

TABLA 14

RESULTADOS No. DE HORAS 192

MUESTRAS	% DE SUP. AFECTADA	ASPECTO SUPERFICIAL
1	95	
2	100	
3	8	
4	9	

Comentario #4

Las fotos muestran los especímenes 1 y 2 totalmente corroídos por lo tanto no sirven para nuestra aplicación; a juzgar por los que miren estas imágenes la selección está entre muestra 3 y 4 donde hacemos primero una comparación de nivel de corrosión en la cual el acero

inoxidable de características austenítico presentan pequeños síntomas de corrosión en comparación con muestra 3.

2.4 Proceso de fundición de partes.

El proceso de fundición surgido en las instalaciones de Intranet sigue el esquema que mostramos a continuación.

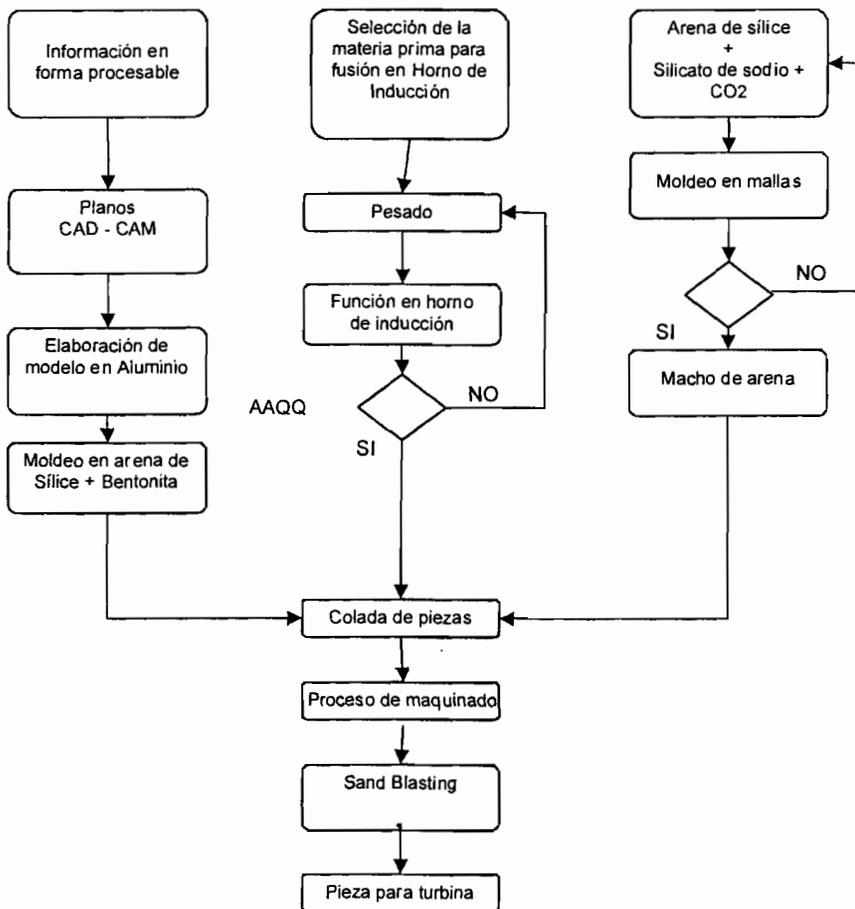


FIGURA 2.7 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

A continuación se presentan algunas fotos siguiendo el proceso de fundición de las partes requeridas por el proyecto, en primer lugar se tiene la preparación de las arenas de moldeo con arena de sílice a la cual se le agrega bentonita calcica y agua y se sigue la técnica con arenas en verde o húmeda.

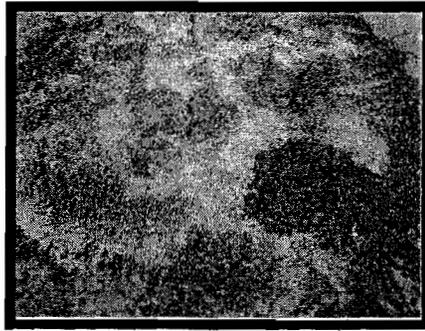


FIGURA 2.8 PREPARACION DE ARENAS

Posteriormente se seccionarán con electroerosión por hilo las piezas originales que se constituyeron en modelos para moldear y obtener el volumen en arena de moldeo.

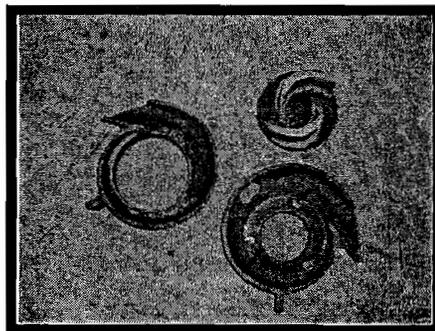


FIGURA 2.9 PREPARACIÓN DE MODELOS PARA CONSTRUIR MOLDES.

Una foto del colado de las piezas y luego las fotografías de las piezas terminadas.

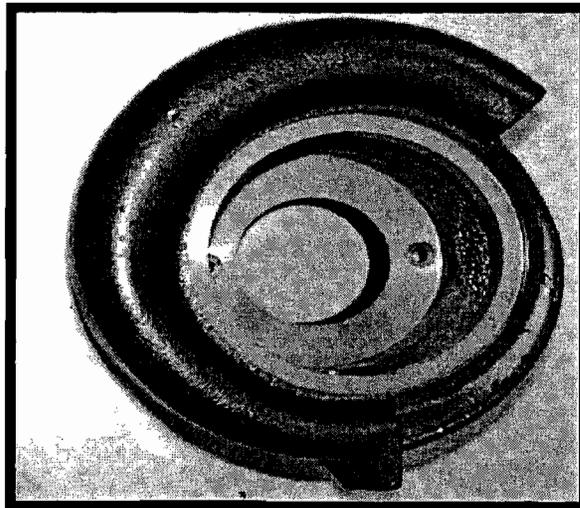
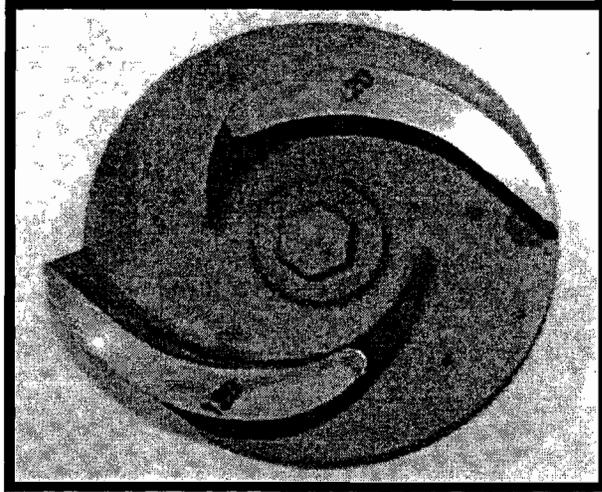


FIGURA 2.10 PIEZAS TERMINADAS

2.5 Calidad Metalúrgica de Partes Fundidas

El material con que fueron fundidas las partes de la bomba y que luego fueron sometidas al ensayo de niebla salina y pasó esta prueba de corrosión acelerada con excelentes resultados tiene la especificación ASME SB 584, mismo que tiene equivalente en ASTM de 584 y tiene la equivalencia en ASM C97600 con una composición promedial de 64% cobre, 4% estaño, 4% plomo, 8% Zinc, 20% Niquel y los rangos de composición se ubican en el siguiente cuadro:

TABLA 15
COMPOSICION QUÍMICA

Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Fe	Mn	Sb	Si	S	P	Al
63,0-17,0	3.5-4.5	3.0-5.0	3.0-9.0	19.0-21.5	1.5 max	1.0 max	0.25 max	0.15 max	0.08 max	0.05 max	0.005 max

De acuerdo con esta especificación los usos típicos que se destacan para esta aleación son para fundiciones de uso marina, válvulas y bombas y accesorios sanitarios sean hechos por centrifugación, cera perdida o fundición en arena.

Las propiedades de las piezas fundidas en arena tienen como resultados la resistencia , la tensión 310 MPA (45000 lbs x plg²).

La resistencia a la fluencia 165 MPA (24000 lbs x plg^2) y una enlogación de 20% teniendo como zona de prueba 50mm de longitud o 2". La dureza en Brinnel con 500Kgs de carga es de 80 HB.

La maquinabilidad es de 70% de la aleación C36000 llamada también latón de maquinado fácil y que sirve como referencia de la maquinabilidad de la aleación de cobre por lo tanto su maquinabilidad es 100%.

En cuanto a la soldabilidad, no es recomendable usar soldadura por fusión, se usa soldadura blanda o por adherencia con varilla de latón.

Se realizaron ensayos de laboratorio para verificar las características metalúrgicas con el material con el que se fundieron las piezas de la bomba. En primer lugar se hicieron los análisis químicos vía espectrómetro por chispa y los resultados fueron los siguientes:

TABLA 16
ANÁLISIS QUÍMICO VÍA ESPECTÓMETRO

Cu%	Sn%	Pb%	Zn%	Ni%	Fe%	Mn%	Sb%	Si%
63.2	3.8	3.6	8.9	19.5	0.35	0.36	0.1	0.05

También se hizo el ensayo de tracción en la máquina universal de ensayos para la cual se preparó una probeta plana con una zona de prueba de 50 mm de longitud y una sección (12 mm x 3mm) y los resultados son los siguientes:

TABLA 17
RESULTADOS DE ENSAYO DE TRACCIÓN

Probeta	Espesor mm	Ancho	Area	Carga de fluencia (Kgf)	Carga de Rotura (Kgf)	Resistencia a fluencia (Kgfmm ²)	Resistencia a la tracción (Kgfmm ²)	Enlogación %
1	3	12.1	36.30			165	315	
2	3	11.9	35.7			170	320	
3	3	12	36.00			166	318	

La dureza del material fue tomada en la escala Brinnel y para el ensayo se usó bolas de acero de 10 mm y una carga de 500 Kgs y los resultados promediales de 5 penetraciones es de 83 HB.

Estos resultados comparados con los de la especificación C97600 no tienen ninguna inconformidad por lo tanto el material con que el que han sido hechas las piezas para las bombas corresponden a esta especificación.

CAPITULO 3

3. EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA

3.1 Condiciones de trabajo de la bomba.

Las características técnicas de ésta bomba centrífuga están adjuntas en el cuadro que encontramos a continuación y contra éstos datos es que se compararán los resultados obtenidos en nuestra pruebas de campo para confirmar la correcta operación de la bomba.

Entre los parámetros principales están la presión de succión o vacío de acuerdo al fabricante que es 12 PSI, la presión de descarga máxima es 41 PSI y la altura de descarga o cabezal de la bomba.

Todos los parámetros de operación de la bomba se confirmaron con la utilización de herramientas como manómetros de vacío para la succión y un manómetro de 100 psi para la descarga, luego de las

pruebas se corroboraron los valores obtenidos con los datos del fabricante, incluso no solo los que tienen que ver con la eficiencia de la bomba sino también en lo que respecta a él tamaño de sólidos en suspensión en el agua, cumpliendo en todos los parámetros.

Presión de succión o vacío	12 PSI
Presión de descarga	41 PSI
Cabezal	29 metros
Caudal máximo de descarga	400 GPM
Tamaño máximo de sólidos	38 mm

3.2 Comparación de piezas en hierro gris y en Cu-Ni al 20%

Adjunto a continuación fotos donde se puede apreciar las piezas construidas en Cu-Ni al 20% y las fotos de las piezas originales en hierro gris.

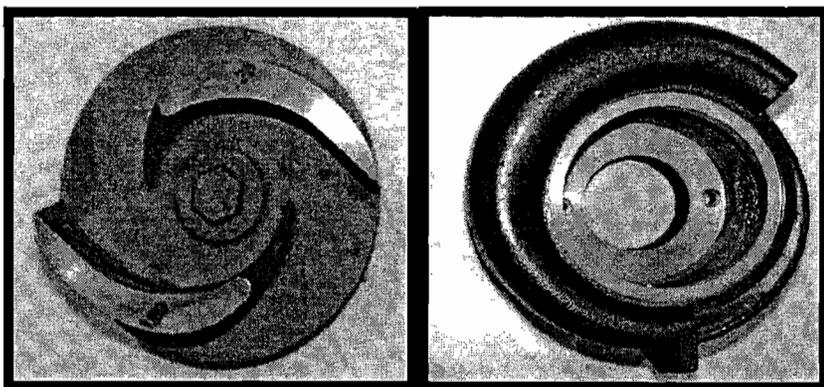


FIGURA 3.1 PIEZAS EN CU-NI AL 20%

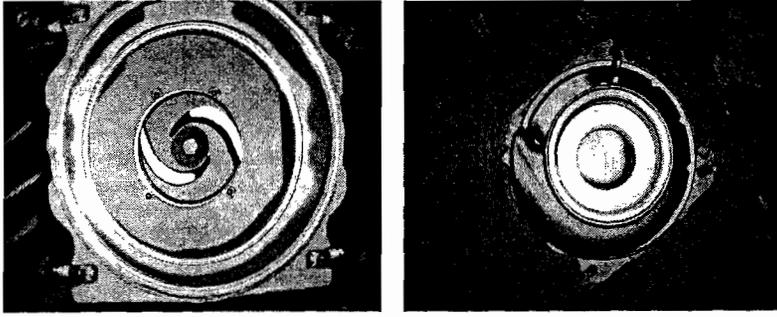


FIGURA 3.2 PIEZAS ORIGINALES

3.3 Pruebas FAT y DAT

Luego de terminar las pruebas en el taller se procedió a hacer las pruebas de aceptación con el cliente, es decir se llevaron a cabo las pruebas llamadas FAT (Factory acceptance test) y DAT (Dock acceptance test), se realizaron pruebas de muelle y sobre la embarcación cumpliendo todos los requerimientos técnicos de los equipos.

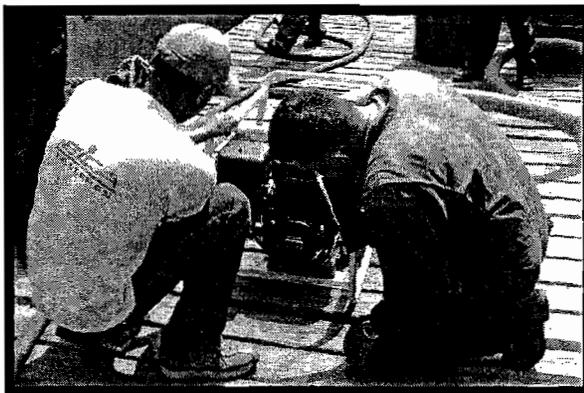


FIGURA 3.3 PRUEBA DE ACEPTACIÓN POR EL CLIENTE

Hechas todas estas verificaciones y realización de ajuste se procedió a la entrega de las bombas a los clientes (Armada Nacional), los mismos que con su personal técnico procedieron a la revisión y control del equipo que ellos solicitaron.

3.4 Costo del proyecto y la incidencia en el precio de la bomba

El precio de venta de una bomba centrífuga de estas características, sin modificaciones, es decir con su impulsor e impelente original en hierro gris es de alrededor \$ 2,300 dólares.

Una bomba marinizada es decir apta para uso marino (agua salada) está en alrededor de \$ 8,500 dólares y no se consiguen en el mercado local, pues hay que importarlas.

El costo de fabricación del impulsor y el impelente en aleación Cu-Ni 20% localmente, fue de \$ 550 dólares cada juego, incluyendo la mecanizada. Al marinizar nuestra bomba, cambiando el impulsor e impelente de hierro gris por uno de aleación Cu-Ni 20%, nos fue posible venderla en \$4.500 dólares obteniendo una mayor rentabilidad, con un tiempo de entrega casi inmediato que fue lo que ayudó a convencer al cliente de comprar los equipos.

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Con relación a los resultados encontrados a través de investigación bibliográfica, aplicación de la norma ASTM para calificación de materiales expuestos a la corrosión e investigación y desarrollo de la fabricación de partes y tenemos la siguientes conclusiones:

- El material con el cual se construyeron las piezas tiene un alto grado de resistencia a la corrosión. Construidos los elementos y probados en la bomba fue cuestión de aplicación de conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera. El método de ingeniería utilizado ha sido efectivo para seleccionar la aleación UNS C97600 (64 %Cu-20%Ni).El proceso de manufactura utilizado para hacer las partes requeridas en la adaptación del equipo para manejar agua

de mar ha demostrado su eficacia con la operación de las partes durante 6 años de trabajo.

- Los demás materiales presentan fallas a la corrosión; por lo que para esta aplicación no son útiles.
- Los costos del cambio fueron aceptables ya que fueron absorbidos por la empresa vendedora. Cabe destacar que hace seis años cuando se llevo a cabo este trabajo, el costo de la aleación empleada era en promedio de \$16.00 / kg; en la actualidad ese costo promedio es de \$75.00 / kg, disminuyendo la rentabilidad.
- Existe en nuestro medio la tecnología para acometer cualquier tipo de adaptación para mejoramiento de equipos, modificación o cambio de equipos originales consiguiendo su mayor versatilidad y competitividad de la industria.

4.2 Recomendaciones.

A partir del éxito conseguido con las bombas vendidas a la Armada del Ecuador, se han emprendido otros trabajos tales como: construcción de bomba de vacío para carros usados en limpieza de alcantarillas, accesorios para motores marinos y tambores de frenos de camiones de 3 toneladas, etc. donde la empresa ha demostrado a la industria local tener capacidad técnica para resolver problemas que nuestra matriz no puede resolver; por tanto me permito

recomendar la contratación de empresas locales de ingeniería para fortalecerlas y que tengan un desarrollo sostenido.

APÉNDICES

Apéndice A	Clasificación de los Aceros Inoxidables
Apéndice B	Propiedades Físicas-Químicas del agua salada
Apéndice C	Desempeño de metales según el medio
Apéndice D	Tabla de Potenciales de corrosión de varios metales Y aleaciones en agua salada
Apéndice E	Norma ASTM B-117
Apéndice F	Composición química y propiedades mecánicas Típicas de aleaciones de cobre del grupo 1
Apéndice G	Datos Técnicos de bomba

BIBLIOGRAFÍA

1. TAYLOR LYMANS, Metal handbook tomo III, IX y XIII, A . B; Editorial Metal handbook 1945-1973.
2. BABOIAN ROBERT, Corrosion test & standard; editorial ASTM; Manual Serie MNL20.
3. RASKELAND DONALD, La ciencia e Ingeniería de los materiales.
4. H. PERRY ROBERT, Manual el ingeniero Químico; séptima edición (cuarta en español); tomo IV; capítulo 28 Materiales de construcción. 28-13 Métodos de ensayos de corrosión.
5. ASTM B 117 – 97; Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.
6. ASTM Tomo XIII, 9º edición; Corrosión
7. ASTM Tomo IX, 9º edición; Metallography and Microstructures
8. Metalografía Práctica; Preparación de probetas metalográficas.

APÉNDICE B

PROPIEDADES FÍSICAS-QUÍMICAS DEL AGUA SALADA

THE MAJOR CONSTITUENTS OF SEAWATER

Chlorinity = 19%

Anions	Parts Per Million	Millequivalents Per Litre
Chloride	18980	535.3
Sulfate	2649	55.2
Bicarbonate	142	2.3
Bromide	65	0.8
Fluoride	1.4	0.07
Borate	24.9	0.58
		594.25
Cations		
Sodium	10561	459.4
Potassium	380	9.7
Magnesium	1272	104.4
Calcium	400	20.0
Strontium	13	0.3
		593.6

CHEMICAL COMPOSITION OF SUBSTITUTE SEAWATER^(a)

Compound	Concentration (g/L)
NaCl	24.53
MgCl ₂	5.20
Na ₂ SO ₄	4.09
CaCl ₂	1.16
KCl	0.695
NaHCO ₃	0.201
KBr	0.101
H ₃ BO ₃	0.027
SrCl ₂	0.025
NaF	0.003
Ba(NO ₃) ₂	0.0000994
Mn(NO ₃) ₂	0.000034
Cu(NO ₃) ₂	0.0000308
Zn(NO ₃) ₂	0.0000096
Pb(NO ₃) ₂	0.0000066
AgNO ₃	0.0000049

^(a)Chlorinity = 19.38. Adjust pH to 8.2 with 0.1 N NaOH.

APÉNDICE C

DESEMPEÑO DE METALES SEGÚN EL MEDIO

TABLA 2B.2 - Propiedades generales de corrosión de algunos metales y diversas aleaciones *

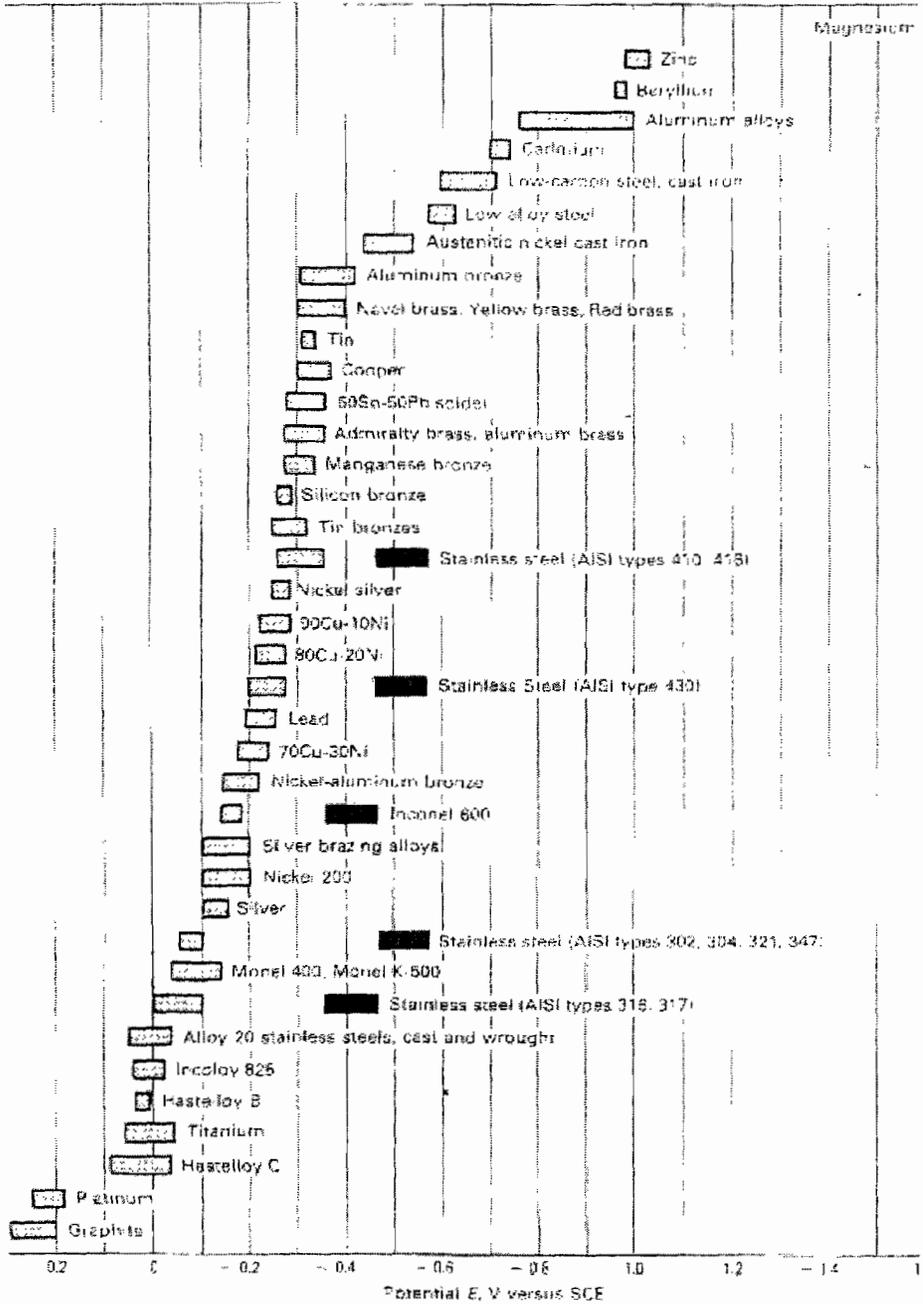
* Clasificación:
 0: No apropiado. No disponible en la forma necesaria o no apropiado para las condiciones de laboratorio o no adecuado para las condiciones de operación.
 1: Muy adecuado.
 2: Regular. Para condiciones adecuadas o cuando sea posible se requieren condiciones de laboratorio.
 3: Regular a bueno.
 4: Bueno. Aprobados, según los estándares superiores de una clasificación.
 5: Bueno a excelente.
 6: Excelente.
 Desventajas: Ventajas de las condiciones de servicio pueden afectar de modo que cubra la resistencia a la corrosión. Por ejemplo, en los estándares de corrosión se basan en pruebas que se realizan en el laboratorio y no en el servicio.

Materiales	Medios acuosos o húmedos				Líquidos					Gases					
	Soluciones ácidas, oxidantes o ácidas oxidantes; por ejemplo, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido clorhídrico, ácido acético, ácido oxalico y ácido fosfórico.	Soluciones neutras; por ejemplo, solución salina, solución de agua de cal, solución de amoníaco y solución de sulfato de sodio.	Soluciones de bases, por ejemplo:		Medios oxidantes			Almacenamiento de agua dulce		Agua salada		Medios orgánicos y gases			
			Ácido sulfúrico y ácido nítrico y ácido clorhídrico	Hidróxido amoníaco y sodio	Soluciones fuertes por ejemplo, sulfuro	Soluciones neutras o oxidantes; por ejemplo, peróxido y permanganato	Medios de oxidación; por ejemplo, ácido nítrico	Almacenamiento de agua dulce	Fuente de almacenamiento	Tanques	Industria de procesamiento de alimentos	Industria de petróleo	Medios orgánicos	Medios orgánicos y gases	Medios orgánicos y gases
Aluminio, aleaciones, aluminio puro	1	2	4	5	7	4	0	4	5	4	2	1	1	1	1
Aluminio y aleaciones, aleaciones con níquel y aluminio (por ejemplo, aleaciones de aluminio)	1	1	5	5	0	3	0	3	4	4	7	4	1	1	1
Aluminio, aleaciones, aleaciones con níquel y aluminio	4	5	5	5	0	5	0	5	5	5	5	1	5	1	4
Aluminio, aleaciones, aleaciones con níquel y aluminio	6	6	2	5	0	6	3	5	5	5	5	6	4	1	0
Aluminio, aleaciones, aleaciones con níquel y aluminio	1	3	4	5	0	4	0	4	3	4	2	4	4	7	2

Acero inoxidable, austenítico (17 por 100 Cr)	2	4	4	6	4	7	0	4	0	1	4	1	0	2	2	4
Acero inoxidable, austenítico (18 por 100 Cr, 10 por 100 Ni)	3	4	5	6	6	6	0	0	0	2	5	6	5	2	5	7
Acero inoxidable, austenítico (18 por 100 Cr, 12 por 100 Ni, 2,5 por 100 Ni)	4	5	5	6	5	6	1	6	6	3	5	6	5	2	4	6
Acero inoxidable, austenítico (20 por 100 Cr, 20 por 100 Ni, 2,5 por 100 Ni, 2,5 por 100 Cu)	5	6	5	6	5	6	2	5	6	1	6	6	6	2	4	6
Acero inoxidable, austenítico (21 Cr, 2 Ni, 1,5 Cu, 20 por 100 Ni)	6	6	5	6	5	6	2	6	6	1	6	6	6	2	5	6
Acero inoxidable, austenítico (17 por 100 Cr, 17 por 100 Ni, 17 por 100 Cr, 6 por 100 Ni)	5	6	5	6	4	6	5	6	6	6	6	6	6	1	5	6
Acero inoxidable, austenítico (18 por 100 Cr, 20 por 100 Ni, 6 por 100 Ni)	6	6	5	6	6	6	1	6	6	5	6	6	6	1	5	6
Acero inoxidable, austenítico (18 por 100 Cr, 13 por 100 Ni)	5	6	5	6	5	6	1	6	6	5	6	6	6	1	5	6
Acero inoxidable, austenítico (18 por 100 Cr, 13 por 100 Ni)	4	5	3	0	0	4	6	6	6	0	0	6	5	2	2	5
Acero inoxidable, austenítico (18 por 100 Cr, 13 por 100 Ni, 13 por 100 Cu)	5	6	5	1	0	5	7	6	6	4	6	6	6	1	5	6
Acero inoxidable, austenítico (19 por 100 Cr, 10 por 100 Ni)	4	5	5	1	0	5	7	6	6	3	6	6	6	1	5	6
Acero inoxidable, austenítico (18 por 100 Cr, 10 por 100 Ni)	4	4	4	0	0	4	6	6	5	4	6	6	6	2	2	3
Acero inoxidable, austenítico (18 por 100 Cr, 12 por 100 Ni)	5	4	2	0	0	1	2	6	6	4	6	6	6	1	2	5
Acero inoxidable, austenítico (18 por 100 Cr, 10 por 100 Ni, 3 por 100 Cu)	4	4	2	0	0	4	6	6	6	4	6	6	6	1	2	5
Acero inoxidable, austenítico (18 por 100 Cr, 10 por 100 Ni, 3 por 100 Cu)	4	5	1	0	0	5	6	6	5	5	6	6	6	1	2	5
Aluminio y aleaciones	1	3	0	3	0	0	0	4	3	0	5	2	2	4	2	
Aluminio y aleaciones	4	3	2	2	0	0	0	6	5	2	5	2	2	4	2	
Aluminio y aleaciones	4	4	0	1	0	2	0	6	6	5	5	6	5	4	2	
Aluminio	1	6	2	0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	3	1	
Aluminio	5	6	4	0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	3	6	

APENDICE D

TABLA DE POTENCIALES DE CORROSIÓN DE VARIOS METALES Y ALEACIONES EN AGUA SALADA



(2) Having the silk solution in solution and add one to two or maintain it at 95.3 for approx- imately 10 to 15 minutes. The silk solution is added before adding the rest of the materials. The silk solution is added before adding the rest of the materials. The silk solution is added before adding the rest of the materials.

(3) The spray gun is used to spray the silk solution into the chamber. The spray gun is used to spray the silk solution into the chamber. The spray gun is used to spray the silk solution into the chamber.

(4) The chamber is then closed and the silk solution is allowed to dry. The chamber is then closed and the silk solution is allowed to dry. The chamber is then closed and the silk solution is allowed to dry.

(5) The finished product is then removed from the chamber. The finished product is then removed from the chamber. The finished product is then removed from the chamber.

(6) The finished product is then dried. The finished product is then dried. The finished product is then dried.

(7) The finished product is then packaged. The finished product is then packaged. The finished product is then packaged.

(8) The finished product is then stored. The finished product is then stored. The finished product is then stored.

(9) The finished product is then distributed. The finished product is then distributed. The finished product is then distributed.

(10) The finished product is then sold. The finished product is then sold. The finished product is then sold.

(11) The finished product is then used. The finished product is then used. The finished product is then used.

(12) The finished product is then disposed of. The finished product is then disposed of. The finished product is then disposed of.

(13) The finished product is then recycled. The finished product is then recycled. The finished product is then recycled.

(14) The finished product is then reused. The finished product is then reused. The finished product is then reused.

(15) The finished product is then repurposed. The finished product is then repurposed. The finished product is then repurposed.

(16) The finished product is then recycled. The finished product is then recycled. The finished product is then recycled.

(17) The finished product is then reused. The finished product is then reused. The finished product is then reused.

characteristics, as noted, in covered, if heat- ing conditions regarding the mold. The heat- ing conditions regarding the mold. The heat- ing conditions regarding the mold.

When the heat is not used, the heat- ing conditions regarding the mold. The heat- ing conditions regarding the mold. The heat- ing conditions regarding the mold.

When the heat is used, the heat- ing conditions regarding the mold. The heat- ing conditions regarding the mold. The heat- ing conditions regarding the mold.

When the heat is not used, the heat- ing conditions regarding the mold. The heat- ing conditions regarding the mold. The heat- ing conditions regarding the mold.

When the heat is used, the heat- ing conditions regarding the mold. The heat- ing conditions regarding the mold. The heat- ing conditions regarding the mold.

When the heat is not used, the heat- ing conditions regarding the mold. The heat- ing conditions regarding the mold. The heat- ing conditions regarding the mold.

When the heat is used, the heat- ing conditions regarding the mold. The heat- ing conditions regarding the mold. The heat- ing conditions regarding the mold.

TABLE A3 Equipment and Instrument Requirements for Operation of Text of 45.1

Equipment	Requirements	Text of 45.1
Air Pressure	12-14 lb	A
Temperature	19-17-19	7
Air Pressure	4-6	24
Air Pressure	6-8	29

TABLE A4 Measuring Characteristics of Paper Spun Nails

Sample	Air Flow (lb/min)	Air Pressure (lb)	Air Pressure (psi)	Air Pressure (psi)
1	1.2	1.2	1.2	1.2
2	1.2	1.2	1.2	1.2
3	1.2	1.2	1.2	1.2
4	1.2	1.2	1.2	1.2
5	1.2	1.2	1.2	1.2
6	1.2	1.2	1.2	1.2
7	1.2	1.2	1.2	1.2
8	1.2	1.2	1.2	1.2
9	1.2	1.2	1.2	1.2
10	1.2	1.2	1.2	1.2
11	1.2	1.2	1.2	1.2
12	1.2	1.2	1.2	1.2
13	1.2	1.2	1.2	1.2
14	1.2	1.2	1.2	1.2
15	1.2	1.2	1.2	1.2
16	1.2	1.2	1.2	1.2
17	1.2	1.2	1.2	1.2
18	1.2	1.2	1.2	1.2
19	1.2	1.2	1.2	1.2
20	1.2	1.2	1.2	1.2
21	1.2	1.2	1.2	1.2
22	1.2	1.2	1.2	1.2
23	1.2	1.2	1.2	1.2
24	1.2	1.2	1.2	1.2
25	1.2	1.2	1.2	1.2
26	1.2	1.2	1.2	1.2
27	1.2	1.2	1.2	1.2
28	1.2	1.2	1.2	1.2
29	1.2	1.2	1.2	1.2
30	1.2	1.2	1.2	1.2
31	1.2	1.2	1.2	1.2
32	1.2	1.2	1.2	1.2
33	1.2	1.2	1.2	1.2
34	1.2	1.2	1.2	1.2
35	1.2	1.2	1.2	1.2
36	1.2	1.2	1.2	1.2
37	1.2	1.2	1.2	1.2
38	1.2	1.2	1.2	1.2
39	1.2	1.2	1.2	1.2
40	1.2	1.2	1.2	1.2
41	1.2	1.2	1.2	1.2
42	1.2	1.2	1.2	1.2
43	1.2	1.2	1.2	1.2
44	1.2	1.2	1.2	1.2
45	1.2	1.2	1.2	1.2
46	1.2	1.2	1.2	1.2
47	1.2	1.2	1.2	1.2
48	1.2	1.2	1.2	1.2
49	1.2	1.2	1.2	1.2
50	1.2	1.2	1.2	1.2
51	1.2	1.2	1.2	1.2
52	1.2	1.2	1.2	1.2
53	1.2	1.2	1.2	1.2
54	1.2	1.2	1.2	1.2
55	1.2	1.2	1.2	1.2
56	1.2	1.2	1.2	1.2
57	1.2	1.2	1.2	1.2
58	1.2	1.2	1.2	1.2
59	1.2	1.2	1.2	1.2
60	1.2	1.2	1.2	1.2
61	1.2	1.2	1.2	1.2
62	1.2	1.2	1.2	1.2
63	1.2	1.2	1.2	1.2
64	1.2	1.2	1.2	1.2
65	1.2	1.2	1.2	1.2
66	1.2	1.2	1.2	1.2
67	1.2	1.2	1.2	1.2
68	1.2	1.2	1.2	1.2
69	1.2	1.2	1.2	1.2
70	1.2	1.2	1.2	1.2
71	1.2	1.2	1.2	1.2
72	1.2	1.2	1.2	1.2
73	1.2	1.2	1.2	1.2
74	1.2	1.2	1.2	1.2
75	1.2	1.2	1.2	1.2
76	1.2	1.2	1.2	1.2
77	1.2	1.2	1.2	1.2
78	1.2	1.2	1.2	1.2
79	1.2	1.2	1.2	1.2
80	1.2	1.2	1.2	1.2
81	1.2	1.2	1.2	1.2
82	1.2	1.2	1.2	1.2
83	1.2	1.2	1.2	1.2
84	1.2	1.2	1.2	1.2
85	1.2	1.2	1.2	1.2
86	1.2	1.2	1.2	1.2
87	1.2	1.2	1.2	1.2
88	1.2	1.2	1.2	1.2
89	1.2	1.2	1.2	1.2
90	1.2	1.2	1.2	1.2
91	1.2	1.2	1.2	1.2
92	1.2	1.2	1.2	1.2
93	1.2	1.2	1.2	1.2
94	1.2	1.2	1.2	1.2
95	1.2	1.2	1.2	1.2
96	1.2	1.2	1.2	1.2
97	1.2	1.2	1.2	1.2
98	1.2	1.2	1.2	1.2
99	1.2	1.2	1.2	1.2
100	1.2	1.2	1.2	1.2

TABLE A5 Measuring Characteristics of Paper Spun Nails

Sample	Air Flow (lb/min)	Air Pressure (lb)	Air Pressure (psi)	Air Pressure (psi)
1	1.2	1.2	1.2	1.2
2	1.2	1.2	1.2	1.2
3	1.2	1.2	1.2	1.2
4	1.2	1.2	1.2	1.2
5	1.2	1.2	1.2	1.2
6	1.2	1.2	1.2	1.2
7	1.2	1.2	1.2	1.2
8	1.2	1.2	1.2	1.2
9	1.2	1.2	1.2	1.2
10	1.2	1.2	1.2	1.2
11	1.2	1.2	1.2	1.2
12	1.2	1.2	1.2	1.2
13	1.2	1.2	1.2	1.2
14	1.2	1.2	1.2	1.2
15	1.2	1.2	1.2	1.2
16	1.2	1.2	1.2	1.2
17	1.2	1.2	1.2	1.2
18	1.2	1.2	1.2	1.2
19	1.2	1.2	1.2	1.2
20	1.2	1.2	1.2	1.2
21	1.2	1.2	1.2	1.2
22	1.2	1.2	1.2	1.2
23	1.2	1.2	1.2	1.2
24	1.2	1.2	1.2	1.2
25	1.2	1.2	1.2	1.2
26	1.2	1.2	1.2	1.2
27	1.2	1.2	1.2	1.2
28	1.2	1.2	1.2	1.2
29	1.2	1.2	1.2	1.2
30	1.2	1.2	1.2	1.2
31	1.2	1.2	1.2	1.2
32	1.2	1.2	1.2	1.2
33	1.2	1.2	1.2	1.2
34	1.2	1.2	1.2	1.2
35	1.2	1.2	1.2	1.2
36	1.2	1.2	1.2	1.2
37	1.2	1.2	1.2	1.2
38	1.2	1.2	1.2	1.2
39	1.2	1.2	1.2	1.2
40	1.2	1.2	1.2	1.2
41	1.2	1.2	1.2	1.2
42	1.2	1.2	1.2	1.2
43	1.2	1.2	1.2	1.2
44	1.2	1.2	1.2	1.2
45	1.2	1.2	1.2	1.2
46	1.2	1.2	1.2	1.2
47	1.2	1.2	1.2	1.2
48	1.2	1.2	1.2	1.2
49	1.2	1.2	1.2	1.2
50	1.2	1.2	1.2	1.2
51	1.2	1.2	1.2	1.2
52	1.2	1.2	1.2	1.2
53	1.2	1.2	1.2	1.2
54	1.2	1.2	1.2	1.2
55	1.2	1.2	1.2	1.2
56	1.2	1.2	1.2	1.2
57	1.2	1.2	1.2	1.2
58	1.2	1.2	1.2	1.2
59	1.2	1.2	1.2	1.2
60	1.2	1.2	1.2	1.2
61	1.2	1.2	1.2	1.2
62	1.2	1.2	1.2	1.2
63	1.2	1.2	1.2	1.2
64	1.2	1.2	1.2	1.2
65	1.2	1.2	1.2	1.2
66	1.2	1.2	1.2	1.2
67	1.2	1.2	1.2	1.2
68	1.2	1.2	1.2	1.2
69	1.2	1.2	1.2	1.2
70	1.2	1.2	1.2	1.2
71	1.2	1.2	1.2	1.2
72	1.2	1.2	1.2	1.2
73	1.2	1.2	1.2	1.2
74	1.2	1.2	1.2	1.2
75	1.2	1.2	1.2	1.2
76	1.2	1.2	1.2	1.2
77	1.2	1.2	1.2	1.2
78	1.2	1.2	1.2	1.2
79	1.2	1.2	1.2	1.2
80	1.2	1.2	1.2	1.2
81	1.2	1.2	1.2	1.2
82	1.2	1.2	1.2	1.2
83	1.2	1.2	1.2	1.2
84	1.2	1.2	1.2	1.2
85	1.2	1.2	1.2	1.2
86	1.2	1.2	1.2	1.2
87	1.2	1.2	1.2	1.2
88	1.2	1.2	1.2	1.2
89	1.2	1.2	1.2	1.2
90	1.2	1.2	1.2	1.2
91	1.2	1.2	1.2	1.2
92	1.2	1.2	1.2	1.2
93	1.2	1.2	1.2	1.2
94	1.2	1.2	1.2	1.2
95	1.2	1.2	1.2	1.2
96	1.2	1.2	1.2	1.2
97	1.2	1.2	1.2	1.2
98	1.2	1.2	1.2	1.2
99	1.2	1.2	1.2	1.2
100	1.2	1.2		

selected. Nozzle design is important in the selection of the material and must be placed in the design of the nozzle to insure proper flow and to prevent a siphon effect.

A1.4 Air In Association

A1.4.1 The air in association with the spray must be of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The air must be of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The air must be of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed.

A1.4.2 The air in association with the spray must be of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The air must be of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The air must be of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed.

A1.5 Types of Construction

A1.5.1 A typical construction of a spray nozzle is shown in Fig. A1. The nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed.

A1.5.2 A typical construction of a spray nozzle is shown in Fig. A2. The nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed.

A.1. USE OF THE SAFE SPRAY (TYPE) NOZZLE

A1.1 The design of the nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed.

A1.2 The design of the nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed.

A1.1 The design of the nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed.

A1.2 Temperature Control

A1.2.1 The temperature of the spray must be of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The temperature of the spray must be of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed.

A1.2.2 The temperature of the spray must be of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The temperature of the spray must be of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed.

A1.3 Spray Nozzle

A1.3.1 The design of the spray nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The spray nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed.

A1.3.2 The design of the spray nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The spray nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed.

A1.3.3 The design of the spray nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The spray nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed.

A1.3.4 The design of the spray nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The spray nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed.

A1.3.5 The design of the spray nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed. The spray nozzle is of such a nature that it will not cause any damage to the material being sprayed.

B 117

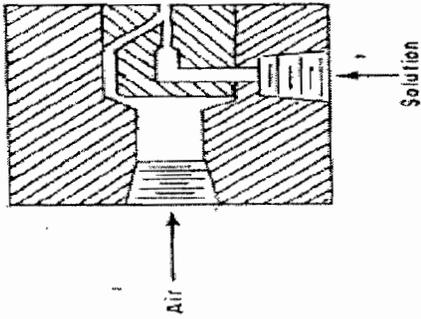


FIG. A3. Typical Spray Nozzle.

By publication of this standard no opinion is given with respect to the validity of any patent rights which may exist in connection therewith and the American Society for Testing and Materials does not undertake to insure anyone utilizing the standard against liability for infringement of any patent rights which may exist.

APÉNDICE F

COMPOSICIÓN QUÍMICA NOMINAL Y PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS DE ALEACIONES DE COBRE DEL GRUPO I

Table 1 Nominal chemical composition and typical mechanical properties for group I alloys

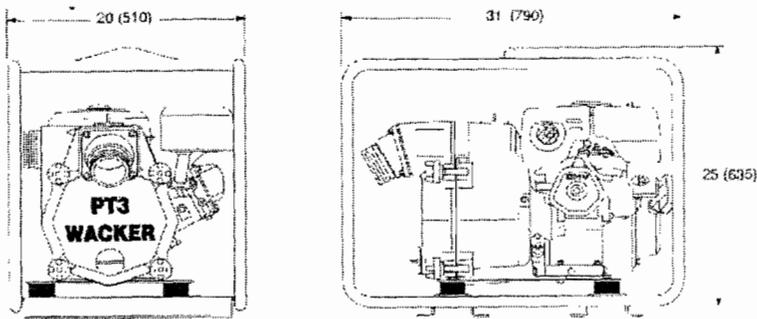
Alloy type	UNS No.	Composition, %										Yield strength(1), 0.2% MPa			Tensile strength(1)			Elongation(1), %
		Cu	Su	Pb	Zn	Ni	Fe	Al	Mn	Si	Other	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi		
Copper	C81100	100											28	4	124	18	40	
Chrome copper	C81500	99											276	40 (HT)	34	5 (HT)	17 (HT)	
Yellow brass	C85200	72	1	3	24								90	11	262	38	35	
	C85400	67	1	3	29								83	12	234	44	35	
	C85700	61	1	1	37								124	18	345	50	40	
	C85800	62	1	1	36								207	30	379	55	15	
	C87900	65			34								241	35	483	70	25	
Manganese bronze	C86200	63			27				1				331	48	654	95	20	
	C86300	61			27								476	69	793	115	15	
	C86400	58	1	1	38								172	25	448	65	20	
	C86500	58			39								207	30	489	71	30	
	C86700	58	1	1	34								290	42	586	85	20	
	C86800	55			36								262	38	565	82	22	
Aluminum bronze	C95200	88											186	27	552	80	35	
	C95300	89											186-290	27-42 (HT)	317-586	75-85 (HT)	25-48 (HT)	
	C95400	86											241-317	35-46 (HT)	586-758	85-110 (HT)	20-42 (HT)	
	C95410	84											248-400	36-58 (HT)	662-800	96-116 (HT)	15-10 (HT)	
	C95500	81											303-496	44-72 (HT)	717-827	104-120 (HT)	12-6 (HT)	
	C95600	91											234	34	517	75	18	
	C95700	75											310	45	655	95	26	
	C95800	81											262	38	655	95	25	
Nickel bronze	C97300	57	2	9	20								117	17	241	35	30	
	C97600	64	4	4	8								163	24	310	45	20	
	C97800	66	5	2	2								207	30	379	55	15	
White brass	C99700	58			2								172	25	379	55	25	
	C99750	58			1								221	32	446	65	30	

APÉNDICE G

DATOS TÉCNICOS DE BOMBA

Technical Data (PT3)

in. (mm)



10075026

Technical Data (PT3) cont.

Engine		PT3A	PT3V	PT3Y
Engine Make		Honda	Vanguard	Yanmar
Engine Model		GX 240 K1 QA	185432	L70AE-D
Rated Power	Hp (kW)	8.0 (6.0)	9.0 (7.0)	7.0 (5.0)
Spark Plug	type	(NGK) BPR 6ES BOSCH WR 7DC	CHAMPION RC12YC	—
Electrode Gap	in. (mm)	0.028-0.031 (0.7-0.8)	0.030 (0.76)	
Engine Speed - full load	rpm	3500 ± 100	3500 ± 100	3400 ± 100
Engine Speed - idle	rpm	1800 ± 100	1600 ± 100	1600 ± 100
Air Cleaner	type	Dual element	Dual element	Dry type, paper element w/foam precleaner
Engine Lubrication	oil grade service class	SAE 10W30 SF, SE, SD, SC	SAE 10W30 SF, SE, SD, SC	SAE 10W30 SAE 20W40
Engine Oil Capacity	oz. (ml)	37 (1100)	41 (1200)	37 (1100)
Fuel	type	Regular Unleaded Gasoline	Regular Unleaded Gasoline	No. 2 Diesel cetane > 45
Fuel Tank Capacity	qts. (l)	6.4 (6.1)	6.3 (6.0)	3.6 (3.5)

Pump

Weight	lbs. (kg)	164 (74)	177 (80)	187 (85)
*Max. Suction Lift	ft. (m)	*25 (7.5)	*25 (7.5)	*25 (7.5)
Max. Total Head	ft. (m)	95 (29)	95 (29)	82 (25)
Mechanical Seal Lubrication	oil grade oz.	SAE 30 Approx. 4 (120)	SAE 30 Approx. 4 (120)	SAE 30 Approx. 4 (120)
Suction / Discharge Dia.	in. (mm)	3 (75)	3 (75)	3 (75)
Max. Solid Size	in. (mm)	1.5 (38)	1.5 (38)	1.5 (38)

* Based on pump operating at sea level. Maximum suction lift will be less at higher altitudes.

Sound Measurements

The required sound specifications, per Appendix 1, Paragraph 1.7.4.f of the EC-Machine Regulations, are:

		PT3A	PT3V	PT3Y
Sound pressure level at operator's location	(L _{oA})	86 dB (A)		
Sound power level	(L _{wa})	97 dB (A)		

These sound values were determined according to ISO 3744 for the sound power level (L_{wa}) and ISO 6081 for the sound pressure level (L_{pa}) at the operator's location.

The sound measurements were obtained with the unit operating on pavement at nominal speed.