



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

**SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA
TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO**

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO

NOMBRE DE PROYECTO:

**DESARROLLO Y ANÁLISIS DE MATERIALES PARA DETERMINAR EL
REEMPLAZO DE CHUMACERAS DE BRONCE A MATERIAL SINTÉTICO
(TERMO PLÁSTICO ARTH) EN BOMBAS SUMERGIBLES PARA EL
ENFRIAMIENTO DEL REACTOR**

OPCION: TITULACION INTEGRAL TESIS

**PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERIA MECANICA**

**ESPECIALIDAD:
GESTION DEL MANTENIMIENTO**

ALUMNOS:

CESAR YAHIR ANDRADE CHAPARRO 144990283

JOSE JUAN GARCIA HERNANDEZ 14990282

Agradecimientos

Hago estos agradecimientos en primer lugar pensando en mi familia por haberme respaldado en cualquier momento, gracias a ellos es por el cual ahora yo estoy en este lugar, siempre mostrándome su cariño, brindándome el apoyo necesario para salir adelante, por permitirme lograr uno de mis muchas metas que tengo y poder llenarlos de orgullo, y que me alegra haber escuchado cada consejo que me dieron, los valores que me inculcaron y también la educación. Dedico este trabajo en especial a ti mamá con todo mi amor y mi corazón por nunca dejar de creer en tu hijo.

Mi principal agradecimiento es a dios por guiarme y darme la fuerza por seguir adelante con mis proyectos.

Y también a mi pequeña familia a mi mama, mi hermana y mi novia por siempre apoyarme incondicionalmente y darme la fortaleza para seguir trabajando día con día y cumplir con este proyecto.

A nuestro asesor del Tecnológico, ing. Jesús Villar, por ser mi guía en la redacción de este proyecto y hacerme ver las formas de mejorarlo aún más permaneciendo hasta la entrega del trabajo final.

También agradecer a nuestros revisores al ing. Osbar Arana y ing. Fernando Arenas por el tiempo de ayudarnos a mejorar este proyecto.

“Gracias por todo”.

Resumen

El presente proyecto de titulación presenta un análisis de materiales con los que se fabrican chumaceras, bujes deslizantes o cojinetes utilizados en las bombas TSW específicamente las utilizadas en la Central Nuclear Laguna Verde, examinando un material con características de vanguardia comparando sus propiedades considerando como referencias materiales que ya se han implementado en otras ocasiones.

Las propiedades de un nuevo material muestran mayores aportaciones en resistencia a comparación de las usadas anteriormente como una forma de encaminarse a la mejora en la calidad de los elementos de máquinas y la cual se debe seguir como tendencia.

Con este proyecto se determina una oportunidad de mejora para implementar un nuevo material en un elemento de una máquina que en un tiempo determinado cumple con su función y por cuestiones de operatividad de la bomba debe ser reemplazado, lo que se busca es alargar la vida útil de este elemento e integrar de manera completa a otros equipos en los que sea factible implementarlo

Se presentan a su vez las características que distinguen a una bomba centrífuga vertical, las variaciones que estas tienden a tener, su uso en la industria de la generación de energía por medios nucleares y los elementos que la componen, para mostrar todo el proceso que se lleva a cabo cuando se realiza una actividad de mantenimiento en la CLV, desde que se analiza por parte de ingeniería la integración de un producto o material nuevo que se utilizara en un equipo, la planeación que deriva a la actividad para asegurar la comunicación con los grupos interdisciplinarios, y la puesta en marcha del desensamble de la bomba, así como su inspección, dimensionamiento de cada una de sus partes y posteriormente su montaje con el monitoreo que le corresponde al término del montaje para verificar si el trabajo estuvo correctamente realizado.

Como parte extra de este proyecto se realizan diseños mecánicos de los elementos de la bomba incluyendo las chumaceras en una herramienta CAD en este caso el software de SolidWorks que permite la realización de dibujos en 3D de una forma bastante fácil, con la finalidad de ser una ayuda para la ilustración del contenido informativo.

Índice General

Índice General	i
Índice de Figuras.	iv
Índice de Tablas.....	viii
Nomenclatura	ix
1.1 Introducción.....	1
1.1.1 Antecedentes.....	3
1.1.1.1 Recepción de una bomba TSW en 2010.....	4
1.2 Descripción de la empresa y área de trabajo.....	7
1.2.1 Infraestructura.....	8
1.2.2 Misión.....	9
1.2.3 Visión	9
1.2.4 Nuestra Historia.....	9
1.2.5 Datos técnicos de la Central Laguna verde.	11
1.2.6 Estructura Organizacional de la empresa y del área.....	12
1.3. Planteamiento del problema.....	13
1.4 Objetivos.	14
1.4.1 Objetivo general.	14
1.4.2 Objetivos específicos.....	14
1.5 Justificación	14
1.5.1 Alcance	14
1.5.2 Limitaciones	15
1.5.3 Herramientas.....	15
2.1 Marco teórico.....	17
2.1.1 Clasificación de las bombas	17
2.1.2 Bombas verticales.....	18
2.1.2.1 Bombas verticales de pozo húmedo	18
2.1.2.2 Bombas verticales de pozo seco	19
2.1.2.3 Descripción de los componentes de las bombas.....	25
2.1.2.4 Características de las bombas centrífugas verticales.....	37
2.1.2.5 Corrosión y erosión en bombas.	38
2.1.2.6 Vibraciones de la bomba.	40
2.1.3 Lubricación.....	47

2.1.4	Diseño de chumaceras o cojinetes deslizantes.	53
2.1.4.1	Tipos de chumaceras.	55
2.1.5	Configuración de la chumacera.	56
2.1.5.1	Formas del muñón.	59
2.1.6	Ecuación de presión para una película lubricante.	60
2.1.6.1	Ecuación de Reynolds	60
2.1.6.2	Chumaceras lubricadas con líquido.....	62
2.1.7	Mantenimiento industrial.....	63
3.1	Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.	69
3.1.1	Análisis general de los materiales para chumaceras.....	70
3.1.2	Bronce (Aleaciones de cobre) como material usado para chumaceras de la bomba TSW. SAE-64, Naval Brass, SAE-40.....	77
3.1.2.1	Bronces en general.....	77
3.1.2.2	Conductividad.....	78
3.1.2.3	Resistencia.....	78
3.1.2.4	Conformabilidad.....	78
3.1.2.5	Unión.....	79
3.1.2.6	Corrosión.....	79
3.1.2.7	Bronces al estaño y bronce al estaño emplomadas.....	79
3.1.2.8	Familias de Aleaciones de Cobre.....	80
3.1.2.9	El bronce SAE 64 tiene como equivalencia UNS C93700.....	82
3.1.2.10	El bronce SAE 40 tiene como equivalencia UNS C83600.....	83
3.1.2.11	El bronce Naval Brass tiene como equivalencia UNS 85700.....	84
3.1.3	Elastómero utilizado como material para chumaceras de la bomba TSW.	89
3.1.3.1	Thordon XL.....	91
3.1.3.2	Thordon XSL.....	91
3.1.3.3	Composición Thordon (GM2401).....	92
3.1.4	ARTH, Material nuevo termoplástico para chumaceras de la bomba TSW.	93
3.1.5	Herramienta CAD para el dibujo de la bomba.	96
3.1.6	Especificaciones para la fabricación de las chumaceras.	100
3.1.7	Preparación para el cambio de bomba.	103
3.1.8	Desensamble de la bomba.....	104
3.1.9	Verificación del motor de la bomba que se quitó.....	115
3.1.10	Inspección de la bomba de reserva.	116
3.1.11	Balanceo del conjunto rotatorio.....	122

3.1.12 Ensamble y montaje de la bomba.....	129
3.1.13 Actividades de retrabajo	142
4.1 Resultados	148
4.1.1 Análisis de los materiales de chumaceras.....	148
4.1.2 Análisis de vibraciones del mantenimiento.	151
4.1.3 Búsqueda de falla.....	154
4.1.3.1 Falta de atención en la colocación de los impulsores	154
4.1.3.2 Problemas con el orden de los pasos del procedimiento	155
4.1.3.3 Buje cónico dañado	155
4.1.4 Monitoreo de los parámetros del retrabajo	156
Conclusiones.	161
Competencias desarrolladas y/o aplicadas.	164
Referencias bibliográficas.	166
Anexos.....	168

Índice de Figuras.

Figura 1. Columnas sin recubrimiento.	4
Figura 2. Cabezal con material desconocido.	4
Figura 3. Motor sin inspección.	5
Figura 4. Porta-chumacera sin especificaciones.	5
Figura 5. Estopero en condiciones inaceptables.	6
Figura 6. Tazón con desprendimiento de material.	6
Figura 7. Ubicación geográfica de la Central Laguna Verde.	7
Figura 8. Ubicación de los edificios en Laguna Verde.	9
Figura 9. Estructura organizacional de la empresa.	12
Figura 9. Estructura Organizacional del área de mantenimiento.	12
Figura 10. Clasificación de las bombas.	17
Figura 11. Bomba vertical de pozo húmedo.	18
Figura 12. Bombas verticales de pozo seco.	19
Figura 13. Componentes básicos de bomba vertical.	20
Figura 14. Ensamble del cuerpo de tazones de la bomba.	21
Figura 15. Comparación de los álabes y sus velocidades específicas.	26
Figura 16. Tipos de sujeción del impulsor a la flecha.	27
Figura 17. Bomba de dos etapas.	29
Figura 18. Impulsor en tazón sin partes renovables.	30
Figura 19. Construcción de un solo anillo en la campana de succión.	30
Figura 20. Construcción de doble anillo de desgaste (impulsor y campana)	31
Figura 21. Prensaestopas convencional.	33
Figura 22. Prensaestopas convencional con anillo de fondo.	34
Figura 23. Anillo linterna o jaula de sellado.	34
Figura 24. Componentes principales de un transductor típico de vibraciones de baja frecuencia.	43
Figura 25. Representación gráfica de la ecuación (23), (24) y (25).	43
Figura 26. Transformación rápida de Fourier de la señal de vibración.	44
Figura 27. Esquema de una señal típica de aceleración-tiempo obtenida a partir del acelerómetro de baja frecuencia.	44
Figura 28. FFT de la señal vibratoria-tiempo.	45
Figura 29. Superficies concordantes.	47
Figura 30. Superficies no concordantes.	48
Figura 31. Notación de muñón y chumacera.	53
Figura 32. Tres regímenes de lubricación: I, película gruesa; II, película delgada; III, frontera.	54
Figura 33. Chumaceras de casquillos.	55
Figura 34. Chumaceras de dos piezas.	55
Figura 35. Vistas desarrolladas de patrones características de ranuras de lubricación.	56
Figura 36. Configuración de la chumacera.	56
Figura 37. Formas de muñón. a) Hourglass; b) Barril; c) Tronco cónico; d) De espina de pescado; e) De patrón simétrico parcialmente ranurado; f) De patrón asimétrico parcialmente ranurado.	59
Figura 38. Diagrama de una película de fluido incompleta.	62
Figura 39. Colada de bronce.	77

Figura 40. Cobre como conductor eléctrico	78
Figura 41. Piezas de bronce SAE 64.	82
Figura 42. Bronce SAE 40.....	83
Figura 43. Bronce Naval Brass en rodamiento de manguito para maquinaria pesada.	84
Figura 44. Límite elastico de SAE 64, SAE 40 y Naval Brass.....	86
Figura 45. Resistencia a la Tracción para las aleaciones SAE 64, SAE 40 y Naval Brass. .86	
Figura 46. Dureza Brinell para las aleaciones SAE 64, SAE 40 y Naval Brass.....	87
Figura 47. Alargamiento para las aleaciones SAE 64, SAE 40 y Naval Brass.	87
Figura 48. Coeficiente medio de exp. térmica para las aleaciones SAE 64, SAE 40 y Naval Brass.	88
Figura 49. Módulo de Young o elástico para las aleaciones SAE 64, SAE 40 y Naval Brass.	88
Figura 50. Chumaceras de Thordon.	89
Figura 51. Chumacera Thordon montada en una bomba vertical.....	89
Figura 52. Thordon grado XL.....	91
Figura 53. Thordon grado XSL.	91
Figura 54. Thordon grado (GM2401).....	92
Figura 55. Tasas de desgaste típico de las chumaceras de material elastómero.....	92
Figura 56. Material termoplástico ARTH.....	93
Figura 57. Cambio porcentual de desgaste en materiales.....	95
Figura 58. Diseño de Motor en SolidWork.	96
Figura 59. Diseño del Cabezal en SolidWorks.	96
Figura 60. Diseño de la tubería lado descarga en SolidWorks.....	97
Figura 61. Diseño de las columnas en SolidWork.	97
Figura 62. Diseño de cuerpo de tazones en SolidWorks.	98
Figura 63. Diseño de impulsores en SolidWorks.	98
Figura 64. Ensamble de la bomba en SolidWorks.	99
Figura 65. Presión de descarga.	107
Figura 66. Acordonamiento del área	107
Figura 67. Distancia de la tuerca de ajuste y parte superior de la flecha 1.....	108
Figura 68. Traslado del motor 1.	108
Figura 69. Toma de nivelación 1.	109
Figura 70. Desmontaje e inspección de válvula check.	109
Figura 71. Paralelismo radial y axial.	110
Figura 72. Levantamiento del cabezal 1.	110
Figura 73. Maniobra para desensamble de bomba.	111
Figura 74. Retiro de flecha intermedia superior.	111
Figura 75. Levantamiento de columnas.....	112
Figura 76. Columnas del desensamble de la bomba.....	112
Figura 77. Traslado de cuerpo de tazones para inspección.	113
Figura 78 Inspección de chumaceras gastadas.	113
Figura 79. Inspección de impulsores usados de bomba anterior.	114
Figura 80. Inspección de estator.	115
Figura 81. Bomba de reserva ubicada en el edifiio de obra de toma.....	116
Figura 82. Reensamble motor 1.....	116
Figura 83. Reensamble del motor 2.....	117
Figura 84. Reensamble del motor 3.....	117

Figura 85. Datos de lubricación de baleros del motor.....	118
Figura 86. Dimensionamiento de chumaceras.....	120
Figura 87. Ensamble del conjunto rotatorio 1.	122
Figura 88. Ensamble del conjunto rotatorio 2.	122
Figura 89. Ensamble del conjunto rotatorio 3.	123
Figura 90. Preparativo del balanceo 1.	123
Figura 91. Preparativo de balanceo 2.	124
Figura 92. Montaje en la balanceadora.....	124
Figura 93. Interfaz de la balanceadora 1.....	125
Figura 94. Interfaz de la balanceadora 2.....	125
Figura 95. Interfaz de balanceadora 3.	125
Figura 96. Interfaz de balanceadora 4.	126
Figura 97. Interfaz de la balanceadora 5.....	126
Figura 98. Interfaz de balanceadora 6.	126
Figura 99. Control de velocidad de la balanceadora.	127
Figura 100. Datos del desbalance en pantalla.....	127
Figura 101. Placa en impulsores mal colocadas.	128
Figura 102. Placa en impulsor mejor colocada.	128
Figura 103. Ensamble de conjunto rotatorio y tazones.	129
Figura 104. Colocación de antiferrante en columna inferior.....	130
Figura 105. Colocación de columna intermedia, verificación de giro y traslado de cabezal.	131
Figura 106. Toma de nivelación 2.....	131
Figura 107. Paralelismo radial y axial.....	132
Figura 108. Colocación y apriete de válvula check.....	132
Figura 109. Nivelación con indicador de cuadrante y nivel de precisión.....	133
Figura 110. Colocación de empaquetadura.	133
Figura 111. Primer prueba de contacto.....	134
Figura 112. Rectificación con piedra.....	134
Figura 113. Segunda prueba de contacto.....	135
Figura 114. Tercer prueba de contacto.	135
Figura 115. Posición de las cajas de conexión del motor.	136
Figura 116. Conexión eléctrica de fuerza del motor.	136
Figura 117. Toma de vibraciones de la bomba.....	137
Figura 118. Tuerca de ajuste atascada en flecha motriz.	138
Figura 119. Dimensionamiento de flecha nueva.	139
Figura 120. Ajuste de cuñero y carrera de los impulsores.....	139
Figura 121. Diagrama de la corriente de arranque del motor.....	140
Figura 122. Posición de la toma de vibraciones.	141
Figura 123. Inspección de partes de la bomba (Retrabajo).	142
Figura 124. Balanceo del conjunto rotatorio (Retrabajo).	142
Figura 125. Balanceo del rotor.	143
Figura 126. Limpieza de las cuerdas de la chumacera roscada.	143
Figura 127. Rectificación en torno de chumacera roscada.	144
Figura 128. Presión de descarga en la bomba TSW.....	146
Figura 129. Comparación material termoplástico y bronces (resistencia a la tracción)	148

Figura 130. Comparación material termoplástico y bronce (elongación%).....	149
Figura 131. Comparación material termoplástico y bronce (dureza).....	149
Figura 132 Comparación material termoplástico y bronce (perdida de material).....	150
Figura 133. Posición en la toma de parámetros de las vibraciones.....	151
Figura 134. Registro de vibración.....	153
Figura 135. Búsqueda de falla.....	154
Figura 136. Monitoreo de vibración mecánica (retrabajo).....	157
Figura 137. Curva corriente al arranque del motor.....	158
Figura 138. Porcentaje de actividades realizadas del tiempo total.....	159

Índice de Tablas

Tabla 1. Bombas principales del TSW (Características)	1
Tabla 2. Infraestructura de la Central Laguna Verde.	8
Tabla 3. Fechas importantes de las unidades de la Central.	10
Tabla 4. Datos técnicos.	11
Tabla 5. Tipos de acoplamientos en bombas verticales.	36
Tabla 6. Características de algunas bombas verticales Byron Jackson.	37
Tabla 7. Causa probable de vibración en diferentes rangos de frecuencia (n es la velocidad de rotación de la bomba en revoluciones/s, m es el número de álabes, k es el número de álabes difusores).	46
Tabla 8. Características de los regímenes.	54
Tabla 9. Propiedades físicas de los materiales de chumaceras.	71
Tabla 10. Aplicaciones de materiales en aleaciones para chumaceras.	73
Tabla 11. Calificaciones de rendimiento del 5 (alto) a 1 (bajo) para materiales aleados de chumaceras.	74
Tabla 12. Información general sobre los materiales para chumaceras autolubricantes.	75
Tabla 13. Criterios de selección de material para chumaceras.	76
Tabla 14. Categorías UNS de aleaciones de Cobre	80
Tabla 15. Composición Nominal de las aleaciones.	81
Tabla 16. Comparación de las propiedades mecánicas de las aleaciones de bronce usadas en la Bomba TSW.	85
Tabla 17. Comparación de Tres grados de Thordon.	90
Tabla 18. Propiedades mecánicas del material termoplástico.	94
Tabla 19. Especificaciones de las fabricación de chumaceras	100
Tabla 20. Cargas a levantar de la bomba.	103
Tabla 21. Herramientas y materiales usados.	104
Tabla 22. Ficha técnica de motor US motors.	115
Tabla 23. Características del motor Fairbanks-Morse.	118
Tabla 24. Deflexión de las flechas.	119
Tabla 25. Registro dimensional de Chumaceras	121
Tabla 26. Relación de las temperaturas de las fases.	140
Tabla 27. Primera toma de vibraciones de la bomba en función.	141
Tabla 28. Toma de vibraciones prueba en vacío (Retrabajo)	145
Tabla 29. Toma de vibraciones de la bomba con carga (Retrabajo)	146
Tabla 30. Comparacion material termoplastico y bronce	148
Tabla 31. Registro de vibraciones mecánicas.	151
Tabla 32. Registro de vibraciones re trabajo	156
Tabla 33. Temperaturas y corrientes del motor.	158
Tabla34. Registro de tiempo de las actividades	159

Nomenclatura

	<i>Español</i>	<i>Inglés</i>
TSW	Agua de servicio a la turbina	Turbine Services Water
CFE	Comisión Federal de Electricidad	
A	Amperes	
Cu	Cobre	Copper
CW	Agua de circulación	Circulation Water
Al	Aluminio	
GPM	Galones por minuto	
HX	Intercambiador de calor	
Kv	KiloVoltio	
°F	Grados Fahrenheit	
TCCW	Circuito Cerrado de Agua de enfriamiento a la Turbina	Turbine Closed Circuit Water
MW	MegaWatio	
1-TSW-P-001	Bomba TSW de la unidad 1	
Pb	Plomo	
Rpm	Revoluciones por minuto	
Sb	Antimonio	
Ton	Toneladas	
WANO	Asociación Mundial de Operadores Nucleares	World Association of Nuclear Operators
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotores	Society of automotive Engineers
HP	Caballos de fuerza	Horse Power
TDH	Altura Dinámica Total	Total Dinamyc Heat
SIIP	Edificio del Sistema integral de Información de Proceso	
NPSH	Altura Neta positiva en la aspiración	Net Positive Suction Head
AISI	Instituto Americano del Hierro y el Acero	American Iron and Steel Institute
FTT	Transformada Rápida de Fourier	Fast Fourier Transformation
ISO	Organización Internacional de Normalización	International Organization for Standardization
In	Pulgadas	Inches
Btu	Unidad Térmica Británica	Brtish Thermal Unit
M	Masa	
V	Velocidad	
P	Presión	
γ	Peso específico	
Z	Elevación estática de fluido	
G	Magnitud de la gravedad	
H	Energía añadida de la bomba	
h_f	Energía de fricción	
h_p	Energía de presión	
h_v	Energía de velocidad	
h_{vpa}	Presión de vapor de líquido	
Q	caudal o capacidad de un fluido	
SP.GR	Gravedad específica	
P_{atm}	Presión atmosférica	
P_{man}	Presión manométricas	
P_{abs}	Presión absoluta	
P_{vacio}	Presión de Vacío	
$P_{succión}$	Presión de Succión	
$P_{descarga}$	Presión de descarga	
D	Diámetro	
K	coeficiente para valor de ajuste en accesorios	

CAPÍTULO I.

GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción.

El presente proyecto de titulación tiene como principal propósito hacer el análisis y luego la implementación de chumaceras de alta resistencia para la bomba centrífuga vertical de marca Fairbanks-Morse TSW, para mejorar la disponibilidad mecánica de este equipo, para esto ha sido necesario hacer ciertos análisis y describir las características de la bomba, el tipo de fluido que mueve, el ambiente en el que se desarrolla sus funciones y todas las fuerzas involucradas.

Es necesario tener la información acerca de los materiales disponibles para la fabricación de chumaceras para hacer la comparación y tener una buena elección en lo que corresponde a la sustitución del antiguo material usado en este tipo de bombas.

El sistema TSW es esencialmente un sistema abierto de enfriamiento que succiona agua de mar de (Golfo de México), mediante tres bombas del 50% de capacidad c/u, las cuales descargan a un cabezal común., el sistema TSW está diseñado para remover del Sistema TCCW, la máxima carga térmica posible, durante operación normal y transitoria del turbogenerador, sus auxiliares y los demás equipos enfriados dentro del edificio de turbina, este sistema deberá mantener el agua del TCCW, a la salida de los intercambiadores de calor, a una temperatura máxima de 35°C.

El sistema consta de tres bombas centrífugas verticales, de alto flujo (12000 gpm c/u) y baja presión de descarga, con el objeto de suministrar un alto flujo de agua de enfriamiento a una presión menor que la del TCCW, para evitar fugas de agua de mar hacia éste último. El agua del TSW fluye por el lado tubos de los intercambiadores de calor, mientras que el TCCW lo hace por el lado de carcasa.

A continuación, se muestra una tabla con la descripción de las bombas principales del TSW (Ver tabla 1)

Tabla 1. Bombas principales del TSW (Características)

Bomba	200 HP, (A y B) Fabricante Fairbanks Morse (C) US Motors.
Tipo	Centrífuga Vertical, cabeza de descarga (TDH) 14.3 m
Flujo	45420 lt/min. (12 000 gpm), 900 rpm
Motor eléctrico	150 Kw. (200 HP), 3 fases, 60 Hz, 480 VCA, 900 rpm
Fabricante	(A y B) Fairbanks Morse, (C) Us Motors
Tipo	Inducción
Características Especiales	La bomba es autolubricada, con la succión sumergida hasta la elevación de -5.2 m de la obra de toma.

Las protecciones contra la sobrecarga de los motores de las bombas del TSW, están calibradas a 320 A cuando se presenten de forma retardada y a 2400 A, si se presentan de forma instantánea. El sistema TSW debe tener los siguiente valores de temperatura y presión en los intercambiadores de calor:

Máx. Presión	3.5 Kg/cm ²
Temperatura	29 °C _{entrada} y 34°C _{salida}
ΔP	5.28 Kg/cm ²

Estas bombas del sistema de enfriamiento son de mucha importancia para la Central laguna verde por lo que permite que la central genere energía en una operación normal y segura por medios nucleares.

Es necesario que estas bombas y todos los equipos ubicados dentro de la central trabajen de la manera correcta y eficiente, cumpliendo con los objetivos particulares de la Subgerencia de mantenimiento, para ubicar a la central entre las mejores del mundo, de acuerdo con WANO y ser más competitivos, generando electricidad con seguridad, calidad y costo, a través del trabajo en coordinación con la subgerencia General de Operación y las áreas de Mantenimiento eléctrico, mantenimiento mecánico, mantenimiento predictivo.

Es importante destacar el impacto que tiene la generación de energía ya que hoy en día el consumo de energía eléctrica es una necesidad indispensable. La importancia de la electricidad está en que es una de las principales formas de energía usadas en el mundo actual. Las comunicaciones, el transporte, el abastecimiento de los alimentos, y la mayor parte de los servicios de los hogares, oficinas y fábricas dependen de un suministro confiable de energía eléctrica.

Tomando como referencia toda la necesidad de la utilización de la energía eléctrica en México y en el mundo es cuando se dio lugar al desarrollo de tecnologías que eviten como resultado a la generación de energía ser fuentes de contaminación grave al medio ambiente y en su lugar formar plantas generadoras de electricidad con resultados amistosos en la obtención de energía limpia.

1.1.1 Antecedentes.

Desde el inicio de operaciones de la unidad 1, en la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde en 1976 y la integración de la unidad 2 en 1977 se tuvo estimado el uso de bombas para circulación de agua del edificio del reactor entre otra muchas bombas que estarían dispuestas en el edificio de obra de toma, donde se utilizarían por mayor eficiencia y dada las características que se presentaban las condiciones de trabajo las bombas verticales centrífugas de la Fairbanks-Morse. Cuyo uso de los componentes verían reflejados el desempeño de cada una de las bombas y también, así como los tipos de mantenimientos debidamente planificados. Desde el momento que fueron colocadas dichas bombas lo que restaba por parte de los técnicos e sistemas de ingeniería en la central era proteger ciertos equipos dándole mantenimiento tanto preventivo como correctivo, y hasta predictivo para prevalecer con el buen funcionamiento.

En los años 2008-2010 en la central se realizó un proyecto de aumento de potencia (EPU), en el cual se requería incrementar el flujo de agua de enfriamiento del sistema TSW hacia los intercambiadores de calor, lado tubos y este aumento pasó de 12000 gpm a 18200 gpm. El sistema contaba con dos bombas de capacidad al 100% y al agregar una tercera bomba la condición de operación sería de 2 bombas operando (Manejando el 50% del flujo total del sistema) y una en reserva de esta forma el sistema proporcionaría una mayor flexibilidad operacional.

El 10 de mayo del 2010 se puso en servicio la tercera bomba, al iniciar el motor se disparó por alta vibración y sobrecarga, el motor no se dañó debido a la protección del disparo. Se libró el equipo para poder desacoplar, luego se realizó una prueba en vacío del motor y esta si fue satisfactoria. El 11 de mayo se revisó bien la bomba, tenía algunos problemas, como que la placa base no estaba bien nivelada, y se tuvo que rellenar con belzona, pero se dejó lograr funcional.

El 5 de julio del 2010, se verifico la chumacera del estopero y estaba fuera de parámetros, pero no se corrigió solo se verifico la carrera del motor, y se acoplo de nuevo, al ponerse en servicio nuevamente durante aproximadamente 2 minutos se disparó el motor por altas vibraciones. Se procede a desensamblar la bomba, al retirarla completamente, se encuentra que las chumaceras presentan desgaste anormal, a lo largo de toda la flecha, y la sugerencia para evitar posibles disparos imprevisto por parte de la bomba, dada altas vibraciones que se derivan de desgaste, es eliminar camisas y fabricar camisas de un solo diámetro, fabricar nuevos coples a las flechas, poner juntas entre bridas para evitar fuga por las roscas de los tornillos, también considerar cambiar el material de las chumaceras a Bronce B1 B145-54-4A.

En la siguiente descripción se muestra como fue recibida la bomba TSW Canadá y demuestra algunos junto con los anteriores antecedentes alguno de los problemas a los que se han enfrentado los técnicos y supervisores en la Central Laguna Verde, a pesar de todo el cuidado que se tiene y el mantenimiento que se les da a los equipos, por lo que siempre se busca aprender de esas fallas, y buscar mejores soluciones como opción para el funcionamiento de las bombas, y todos los equipos involucrados en la central.

1.1.1.1 Recepción de una bomba TSW en 2010

Columnas: (Ver figura 1)

- No fueron modificadas.
- No se observó recubrimiento protector por posible ataque del agua de mar.



Figura 1. Columnas sin recubrimiento.

Cabezal: (Ver figura 2)

- Presentó un recubrimiento, se desconoce el material.



Figura 2. Cabezal con material desconocido.

Motor: (Ver figura 3)

- No se inspeccionó por parte del fabricante.
- Se desconoce si se presentó algún daño en el rodamiento.



Figura 3. Motor sin inspección.

Porta-chumacera: (Ver figura 4)

- El fabricante lo retorna sin corregir las socavaciones en el material.
- Solo la chumacera ya instalada con solo dos retornos de lubricación
- Se desconoce el material de los bujes.



Figura 4. Porta-chumacera sin especificaciones.

Estopero: (Ver figura 5)

- Traen tornillos galvanizados (se requieren de acero inoxidable)
- Presentó un mal acabado.
- Llegaron 2 estoperos iguales.



Figura 5. Estopero en condiciones inaceptables.

Juego de tazones: (Ver figura 6)

- En el juego de tazones se presenta daños por erosión, y al realizar la limpieza ocurre un desprendimiento de material.



Figura 6. Tazón con desprendimiento de material.

1.2 Descripción de la empresa y área de trabajo.

En México contamos con la Central Nuclear Laguna Verde, la cual consta de 2 unidades. Ambas unidades nos aportan de manera exitosa alrededor del 5% de la electricidad que consumimos a nivel nacional y es la única nucleoelectrica del país.

Nuestra planta se ubica sobre la costa del Golfo de México en el Km 42.5 de la carretera federal Cardel-Nautla, en la localidad denominada Punta Limón del Municipio de Alto Lucero, Veracruz, México.

Geográficamente se localiza a 60 km al noreste de la Cd. de Xalapa, a 70 km al noreste del Puerto de Veracruz y a 290 km al noreste de la Cd. de México. (Ver figura 7)

Contamos con un área de 419 hectáreas rodeada de abundante vegetación, el mar del Golfo de México y una laguna verde de donde tomamos el nombre para la central.



Figura 7. Ubicación geográfica de la Central Laguna Verde.

En las cercanías a la Central Laguna Verde se encuentran pequeñas comunidades rurales que se han beneficiado económicamente con el emplazamiento de nuestra central.

Abunda la flora y fauna tropical de diversas especies en un ecosistema muy puro y natural. A pocos kilómetros se encuentra Quiahuiztlán, una de las zonas arqueológicas más importantes de la región denominada Totonacapan, en donde se desarrolló la cultura totonaca.

La central nuclear debía construirse en un lugar que resistiera hasta los fenómenos naturales más extremos, como sismos, huracanes, razón por la que dimos excepcional importancia a la selección del sitio para la construcción de Laguna Verde. Bajo cuatro criterios básicos definimos el sitio más adecuado:

- Relativa cercanía a los centros de consumo (especialmente la Cd. de México)
- La disponibilidad de agua de enfriamiento
- La estabilidad sísmica del lugar
- Tipo de suelo rocoso para la cimentación de la construcción

Analizamos además factores como la demografía, meteorología, hidrología, ecología, geología y sismicidad, estudios realizados por instituciones especializadas con personal experto en la materia. El potencial de expansión y la facilidad de acceso por mar, nos significaron ventajas muy importantes, ya que es precisamente el agua de mar la que se utiliza para el sistema de enfriamiento.

1.2.1 Infraestructura

Nuestras unidades constan básicamente de 6 edificios principales y otros auxiliares. Los edificios principales son:

Tabla 2. Infraestructura de la Central Laguna Verde.

1.- Edificio del Reactor: Alberga en su interior al reactor nuclear con sus sistemas auxiliares y dispositivos de seguridad, la plataforma de recarga para cambio de combustible y la alberca de combustible gastado. 2.- Edificio Turbogenerador: Aloja turbinas de alta y baja presión, el generador eléctrico., el condensador, los precalentadores de agua de alimentación y los recalentadores de vapor. 3.- Edificio de Control: Contiene el cuarto de control principal, sistema de adquisición de datos del proceso, cuarto de cables, sistemas de aire acondicionado, bancos de baterías, laboratorios radioquímicos y el acceso del personal a la unidad. 4.- Edificio de Generadores Diésel: Aloja generadores eléctricos operados por motores diésel que respaldan eléctricamente a los sistemas de refrigeración de emergencia del reactor. 5.- Edificio de Obra de Toma: Alberga en su interior las bombas para proveer el agua de enfriamiento del Golfo de México para el condensador y los componentes nucleares.	6.- Subestación Eléctrica: Contiene un banco de transformadores elevadores de 22/400 KV alimentados por los generadores principales y otro banco de auto-transformadores reductores de 400/230/34.5 KV. Utiliza interruptores de hexafluoruro de azufre (SF6); y enlaza la Central al Sistema Eléctrico Nacional mediante cinco líneas de 400 KV y dos de 230 KV. Los edificios auxiliares son: 7.- Edificio de Tratamiento de Residuos Radioactivos/Edificio de Purificación. 8.- Edificio del Sistema Integral de Información de Proceso (SIIP). 9.- Edificio de Planta de Tratamiento de Agua. 10.- Caseta de Hipoclorito de Sodio. Otros edificios en la central: 11.- Casa de Guardias. 12.- Edificio Técnico Administrativo. 13.- Estación Central de Alarmas. 14.- Almacén de Partes de Repuesto. 15.- Talleres. 16.- Laboratorio de Metrología.
---	--

* Edificios externos a la central son: Gerencia, Almacén temporal de residuos de mediano y bajo nivel de radiactividad, Torre Meteorológica, Control de Acceso, Entrenamiento y Centro de Información.

En la siguiente figura se muestran la ubicación de los edificios en la central Nuclear.



Figura 8. Ubicación de los edificios en Laguna Verde.

1.2.2 Misión

Con máxima prioridad en la seguridad y respeto al medio ambiente, generar energía eléctrica por medios nucleares, garantizando la operación rentable y confiable de la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde.

1.2.3 Visión

Ser la central nuclear con el mejor desempeño en su tipo

1.2.4 Nuestra Historia

El proceso para la instalación de una central generadora nuclear inicia mucho antes de su construcción, debido a los rigurosos estudios que se llevan a cabo para que su diseño garantice tanto la seguridad de sus instalaciones como la protección de su entorno natural.

De estos estudios es de excepcional importancia la adecuada selección de sitio en el que se localizará una central nucleoeléctrica. En el caso de Laguna Verde en agosto de 1966, la CFE (Comisión Federal de Electricidad) inició la investigación sobre la localización de sitios posibles donde podría ubicarse la Central y dada la importancia de los factores sísmicos, se integraron en esta tarea el Instituto de Geofísica, el Instituto de Ingeniería de la UNAM y consultores internacionales expertos, algunos de ellos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). En la siguiente tabla se muestran unas de las fechas importantes (Tabla 3).

Tabla 3. Fechas importantes de las unidades de la Central.
UNIDAD 1 **UNIDAD 2**

Octubre 1976	Inicio de construcción	Junio 1977	Inicio de construcción
Octubre 1988	Autorización para carga de combustible	Junio 1994	Autorización para carga de combustible
Octubre 1988	Inicio de carga de combustible	Agosto 1994	Inicio de carga de combustible
Noviembre 1988	Primera Criticidad	Septiembre 1994	Primera Criticidad
Marzo 1989	Primera vez, presión y temperatura nominal	Octubre 1994	Primera vez, presión y temperatura nominal
Abril 1989	Primer rodado de turbina principal	Noviembre 1994	Primer rodado de turbina principal
Abril 1989	Primera Sincronización a la red	Noviembre 1994	Primera Sincronización a la red
Julio 1990	Inicio de Operación Comercial	Abril 1995	Inicio de Operación Comercial
Del 2008 al 2011	Aumento de Potencia de la Central Laguna Verde	Del 2008 al 2011	Aumento de Potencia de la Central Laguna Verde

1.2.5 Datos técnicos de la Central Laguna verde.

Tabla 4. Datos técnicos.

REACTOR		TURBINAS DE BAJA PRESIÓN	
Número de Unidades:	2 x 810 Mwe	Cantidad	2 turbinas
Tipo de Reactor	BWR-5 Reactor de agua ligera en ebullición	Tipo	Tandem Compound, doble Flojo axial
Marca del Reactor	General Electric	Velocidad	1800 rpm
Combustible	Dióxido de Uranio enriquecido por pastilla desde 0.71% hasta 4.9%	Temperatura del Vapor a la Entrada	266.9 °C
Potencia Térmica	2317 MWt	Presión del Vapor a la Entrada	12.86 kg/cm ²
Presión Nominal	70.69 Kg/cm ²	Presión del Vapor a la Salida	50.8 mmHg abs
Barras de Control Cruciformes	109 barras de acero inoxidable con varillas que contienen carburo de boro y hafnio	Número de Extracciones	4
Flujo de Vapor	4536.38 Ton /h	GENERADOR	
Calidad del Vapor	99.96%	Tipo	Cerrado, refrigerado con hidrógeno y agua
Bombas de Recirculación	2 con 4500 hp de potencia c/u	Potencia Efectiva	810 MWe
Flujo Nominal Total de Recirculación al 100% de potencia	9489.16 Ton / h	Frecuencia	60 Hz
Flujo de Agua de Alimentación	4527.7 Ton / h	Voltaje	22kV
Potencia Nominal de cada Bomba Recirculación	4500 hp	Velocidad	1800 rpm
Bomba Jet Internas de Recirculación	20	Corriente	24931 A
Altura de la Vasiija	20.80 m	Factor de Potencia	0.9
Diámetro Exterior	5.30 m	Numero de Polos	4
Espesor	13 cm en pared y 18 cm en el fondo	EXCITADOR	
Peso	544.8 Ton	Tipo	"Brushless" (sin escobillas), enfriado con aire
Peso de la Tapa	63.5 Ton	Capacidad	1984 Kw
		Voltaje	413 V
		Corriente	4804 A
ENSAMBLAS DE COMBUSTIBLE		CONDENSADOR	
Tipo	GE12 / GE14	Tipo	2 cuerpos c/u con 2 cajas: a la entrada, 2 y a la salida
Geometría del Combustible	Ge12 10x10 (92 varillas de combustible 78 de 381 cm de longitud activa y 14 varillas de 228.6 cm de longitud actia y 2 barras de agua equivalentes a 8 varillas) Ge12 10x10 (92 varillas de combustible 78 de 381 cm de longitud activa y 14 varillas de 213.4 cm de longitud actia y 2 barras de agua equivalentes a 8 varillas)	Capacidad	1.279 x 10 ⁹ Kca/hr (1487 Mw)
Peso total del Uranio	88 Ton	Número de Tubos	52704
Material del Encamisado	Zircaloy 2	Superficie efectiva total	48710 m ²
TURBINA DE ALTA PRESIÓN		Caudal de agua de mar para enfriamiento	27.8 m ³ /s
Cantidad	1 Turbina	DATOS GENERALES	
Tipo	Tandem compound, doble flojo axial	Ahorro anual de gas natural por la Central	3,183,050,710 m ³ de gas natural
Velocidad	1800 rpm	Ahorro anual en combustóleo por la Central	16,904,337.10 barriles de combustóleo pesado
Temperatura del Vapor a la Entrada	282 °C	Líneas de transmisión	5 de 400 kV a: Cruz Azul Maniobras (Puebla), Poza Rica II, Puebla II y 2 a Manlio Fabio Altamirano(Veracruz) y 2 de 230 kV a la Cd. de Veracruz
Presión del Vapor a la entrada	62.6 Kg / cm ² abs		
Presión del vapor a la salida	13.9 Kg / cm ² abs		

1.2.6 Estructura Organizacional de la empresa y del área.

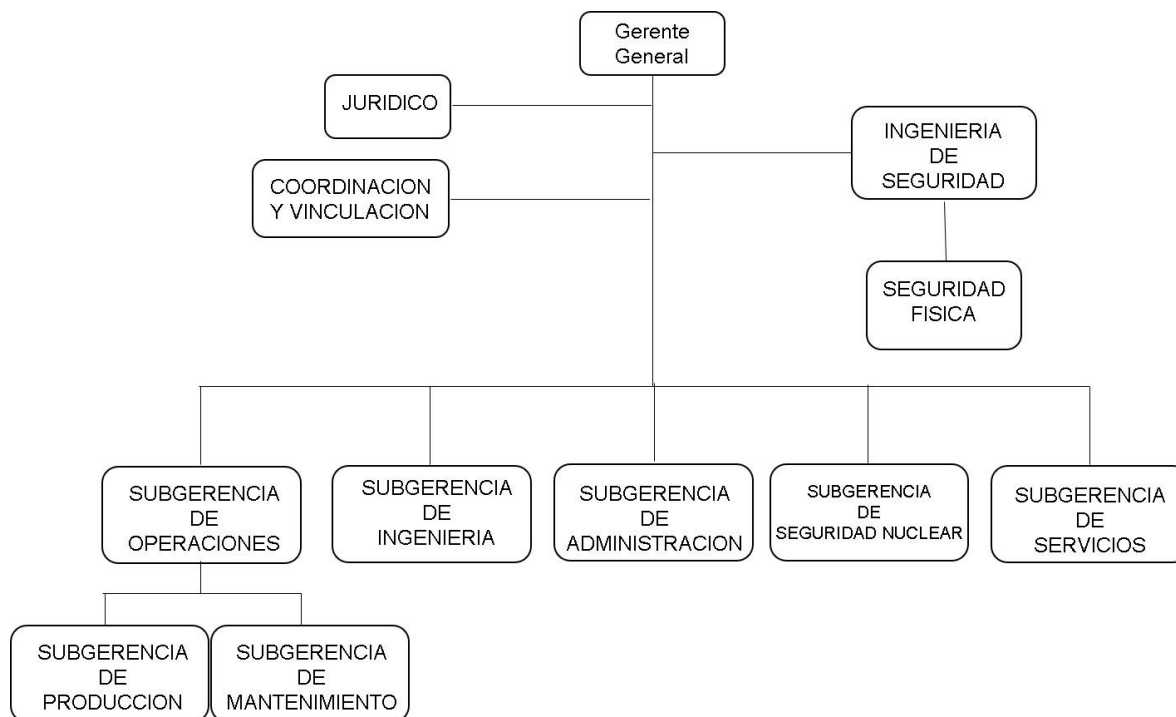


Figura 9. Estructura Organizacional de la Empresa

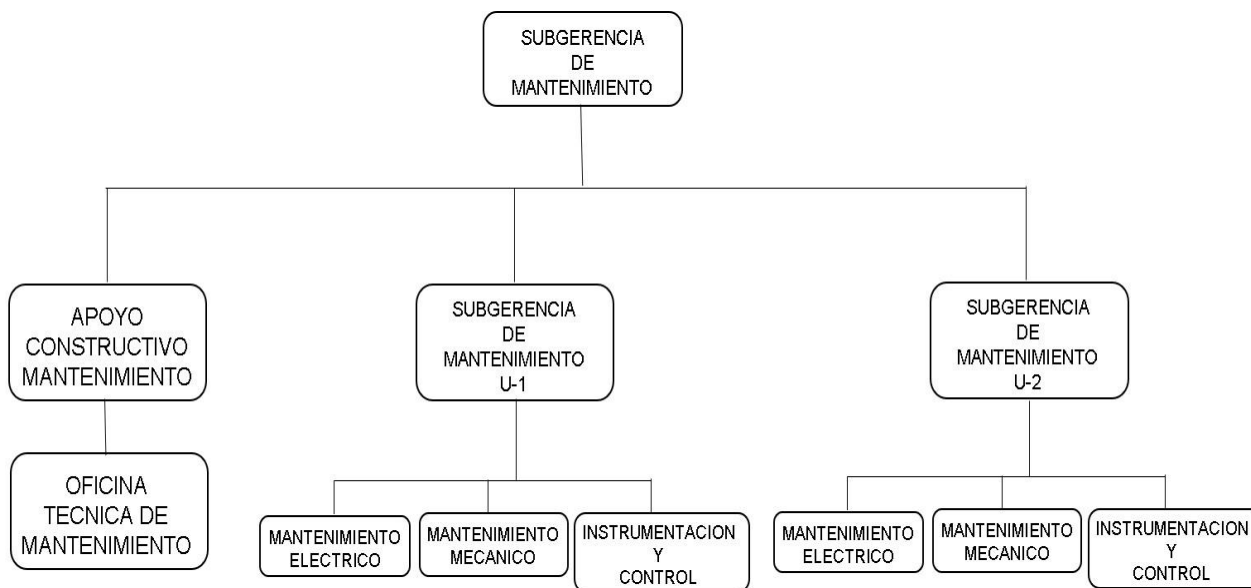


Figura 9. Estructura Organizacional del área de mantenimiento.

1.3. Planteamiento del problema.

Dentro de un análisis enfocado a la operación de la central nucleoelectrica de laguna verde, a raíz de la necesidad de aumentar la potencia de enfriamiento del sistema TSW hacia los intercambiadores de calor, pasando de 12000 GMP a 18200 GMP, lo que requeriría de la inclusión de una tercera bomba y con ello maximizar su operación.

Desde mayo el año 2010 se ha estado operando con este sistema (3 bombas), sin embargo, se han tenido diversos problemas en los motores de las bombas por la alta vibración y sobre carga, este proyecto tiene como finalidad atender los problemas ocasionados en la chumacera.

Una vez que se desinstalaron las bombas para su revisión, entre los múltiples problemas encontrados, se detectó que la chumacera se encontraba fuera de sus parámetros normales pero no se le busco una solución definitiva a esta situación sino se decidió reducir los tiempos de los mantenimientos preventivos y sustituir las chumaceras cada 6 meses para evitar su desgaste y que esto ocasionara sobre cargas por exceso de vibración, esto llevo a cambiar el material de la chumacera a diversas aleaciones de bronce, sin embargo no ha sido la mejor solución y se continua realizando su sustitución cada 6 meses.

Con la creciente demanda de la generación de energía eléctrica en el país la central de laguna verde cuenta con un gran papel, con lo cual todos los sistemas deberían trabajar a la perfección, en el caso de las bombas centrifugas verticales que se encuentran en el edificio de obra de toma, se notó que las chumaceras que se han usado a lo largo de mucho tiempo que han sido de material sae-40, sae-64 o el naval brass son aleaciones de bronce que si en su momento representaron una muy buena alternativa como material para los sistemas que requerían buena resistencias al agua de mar, pero el mantenimiento que se les tenía asignado es del reemplazo de las chumaceras cada 6 meses con lo cual esto se podría traducir a la programación de trabajo por parte de los técnicos que deben hacer la ejecución del trabajo y los ingenieros que deben supervisar las actividades a realizar, todo esto implica un gasto horas-hombres para la empresa.

Debido a la importancia crítica de la disponibilidad que deberían tener estos componentes es que se realiza la investigación hacia nuevos materiales de alta resistencia (termoplásticos ARTH) como alternativa para los componentes de los equipos usados en cada una de las áreas, en este caso en equipos que serían las bombas centrifugas verticales.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general.

Analizar y comparar los diferentes tipos de materiales con los que han sido fabricadas las chumaceras utilizadas en las bombas centrífugas verticales para realizar la implementación de aquellos materiales que en base a sus características y composición mantendrán por tiempos más prolongados la operación de los procesos y prolongara los tiempos de mantenimiento por desgaste de estas.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Reducir los costos del mantenimiento
- Reducir los mantenimientos ya que como serían con materiales nuevos con mucho más alta resistencia se mantendría la disponibilidad del equipo más tiempo
- Reducir tiempos de desgaste a los componentes de las bombas
- Reducir los Scram no programados por la indisponibilidad de las Bombas verticales
- Abrir paso a un cambio en la mejora de los materiales de los elementos de las máquinas.

1.5 Justificación

La Central Laguna Verde debe contar con planes innovadores hacia sus equipos así pueda mantener la disponibilidad de cada uno de ellos, y a su vez pueda seguir funcionando de manera confiable, en las óptimas condiciones. El enfoque de este proyecto está vinculado a equipos de bombas que son clave fundamental del funcionamiento de una planta de este tipo por lo que si existen fallas o mantenimientos que causen atraso a la producción, provocaría momentos discontinuos y no se estaría llevando a cabo la resolución de problemas y cambios en las estructuras funcionales en caminado al progreso y a la disminución de distintos problemas que pudiesen presentarse. Este tipo de intervenciones por parte del área de ingeniería para mejorar la idea utilizar nuevos materiales para darle una prolongación a la vida de los componentes de las máquinas es bien recibida por parte de la central.

1.5.1 Alcance

- Consulta de documentación relacionada con chumaceras de alta resistencia.
- Una vez instalados los componentes la manera correcta y eficiente tendrán un efecto muy positivo con lo cual impulsará a la mayor disponibilidad de los equipos, así no tener paros imprevisto ni pérdida de tiempo a la hora de realizar los cambios de componentes por mantenimiento.

- Implementación de nuevos materiales para componentes lo que podría abrirse camino para dar paso a una revolución para la mejora.
- Inspeccionar el uso de los nuevos componentes.
- Inspeccionar el nuevo procedimiento en caso que así se le requiera.

1.5.2 Limitaciones

- Puede que estos materiales no sea viable adaptarlos a cualquier equipo en la central.
- Se necesita un buen desempeño en el maquinado para que este sea preciso y el material cumpla con la función correspondiente que le tocaría desarrollar a la hora de estar en servicio.
- Tiempos de ajuste limitado para los cambios de material, ya que este tipo de mantenimientos para implementar un nuevo material ya está programado con lo que se debe tener cuidado el no rebasar esos límites de tiempo.

1.5.3 Herramientas

- Texto y documentación de tipo investigación científica proporcionado por los diseñadores de los nuevos materiales, con el fin de tener la información necesaria para su mejor aplicación.
- Equipo de protección personal para mantener la seguridad y poder realizar la supervisión cuando se lleve a cabo el proceso de la actividad.
- Equipos de medición para hacer uso del análisis de los parámetros antes, durante y después de que sean instalados los equipos.
- Coordinación de las diferentes áreas que puedan involucrarse en el proceso de la realización del ensamble de la bomba vertical con chumacera del material nuevo.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1 Marco teórico.

2.1.1 Clasificación de las bombas

Las bombas son máquinas en las cuales se produce una transformación de la energía mecánica en energía hidráulica (velocidad y presión) comunicada al fluido que circula por ellas atendiendo el principio de funcionamiento, un sistema racional de clasificación ha sido desarrollado por el Hydraulic Institut como se muestra en la figura.

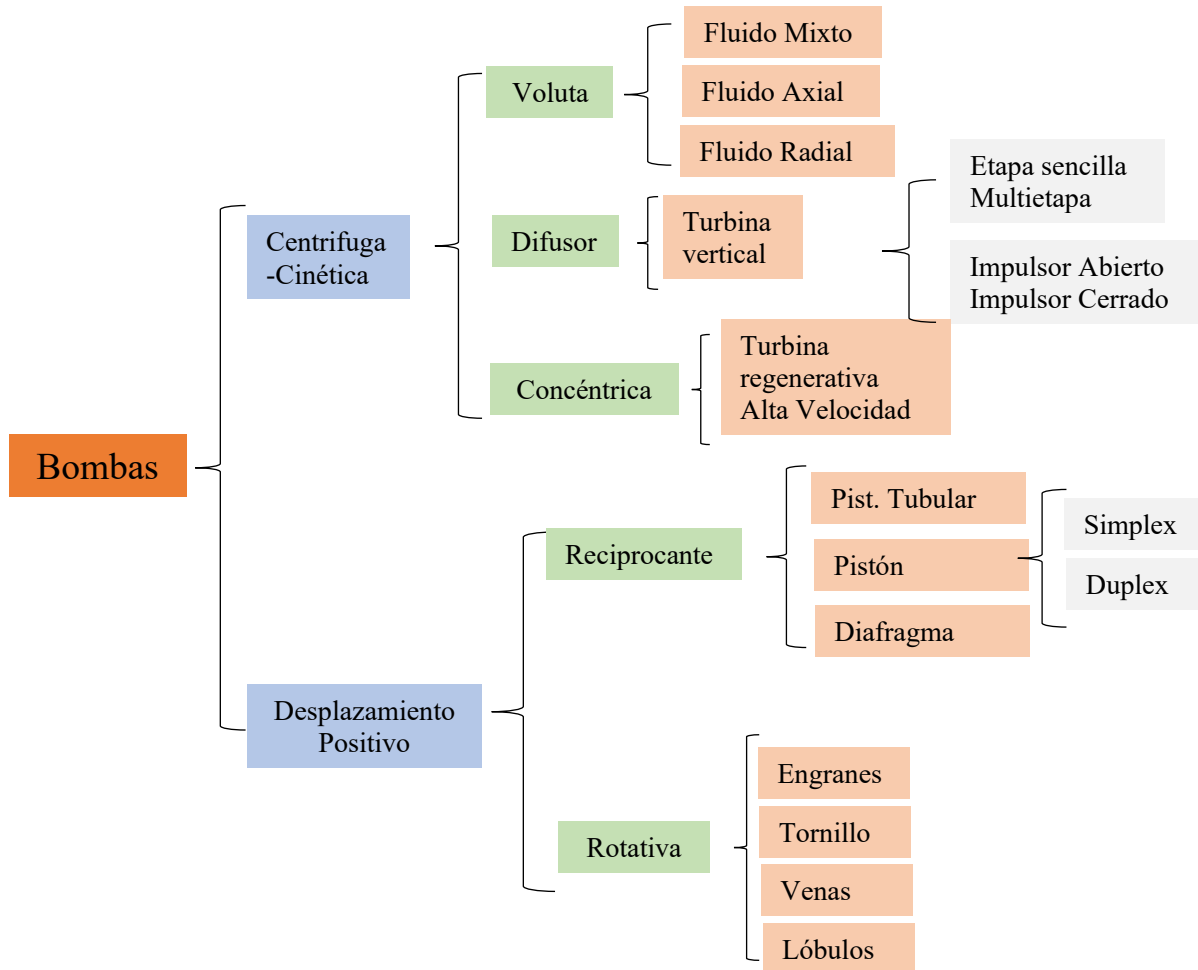


Figura 10. Clasificación de las bombas.

2.1.2 Bombas verticales.

En una bomba centrífuga (montada vertical u horizontalmente), el líquido es forzado por la atmósfera u otra presión, en un conjunto de paletas giratorias. Estas paletas constituyen un impulsor, que descarga el líquido en su periferia a mayor velocidad. Esta velocidad se convierte en energía de presión por medios de una voluta o por un conjunto de paletas de difusión estacionarias que rodean la periferia del impulsor.

Las bombas con cubiertas de voluta generalmente se denominan bombas de voluta, mientras que las que tienen paletas de difusión se llaman bombas difusoras. Las bombas difusoras solían llamarse bombas de turbina, pero Este término se ha aplicado más selectivamente a las bombas difusoras centrífugas verticales de pozo profundo generalmente se denominan bombas de turbina verticales.

Las bombas verticales se dividen en dos clasificaciones, pozo seco y pozo húmedo. Las bombas de pozo seco están rodeadas por aire o tener la voluta o la carcasa incrustada en hormigón. Las bombas de pozo húmedo están completamente o parcialmente sumergido en el líquido manejado.

2.1.2.1 Bombas verticales de pozo húmedo

Las bombas de pozo húmedo son las bombas verticales más comunes instaladas en instalaciones nucleares. Las bombas verticales de pozo húmedo (Véase la figura 29) están diseñadas para operación sumergida y se fabrican en una gran cantidad de diseños, principalmente dependiendo del servicio para el cual Están destinados. Las bombas de pozo húmedo se pueden clasificar como:



Figura 11. Bomba vertical de pozo húmedo.

- Bombas de turbina verticales
- Hélice o bomba de hélice modificadas
- Bombas de voluta.

2.1.2.2 Bombas verticales de pozo seco

Muchas bombas verticales de pozo seco (Figura 30) son diseños básicamente horizontales con modificaciones menores (generalmente en los rodamientos) para adaptarlos para un accionamiento de eje vertical. Rodamientos para bombas verticales de pozo seco y para el soporte de guía intermedio son generalmente tipos lubricados con grasa antifricción para simplificar el problema de retener un lubricante en una carcasa con un eje que se proyecta verticalmente a través de él. Los rodamientos Babbitt selfoiling con ranuras de aceite en espiral se utilizan con unidades más grandes, para las cuales los rodamientos antifricción no están disponibles o son deseables. La bomba está conectada por un acoplamiento rígido a su motor, que está provisto de una línea y un cojinete de empuje.



Figura 12. Bombas verticales de pozo seco.

En instalaciones nucleares, las aplicaciones más comunes para bombas verticales de pozo seco son el calor residual eliminación (RHR) en plantas de reactores de agua a presión (PWR) y agua de circulación del condensador, que toma succión de torres de enfriamiento.

Las bombas verticales constan de tres componentes básicos (ver Figura 31):

- el tazón
- El conjunto de la columna.
- El conjunto de la cabeza.

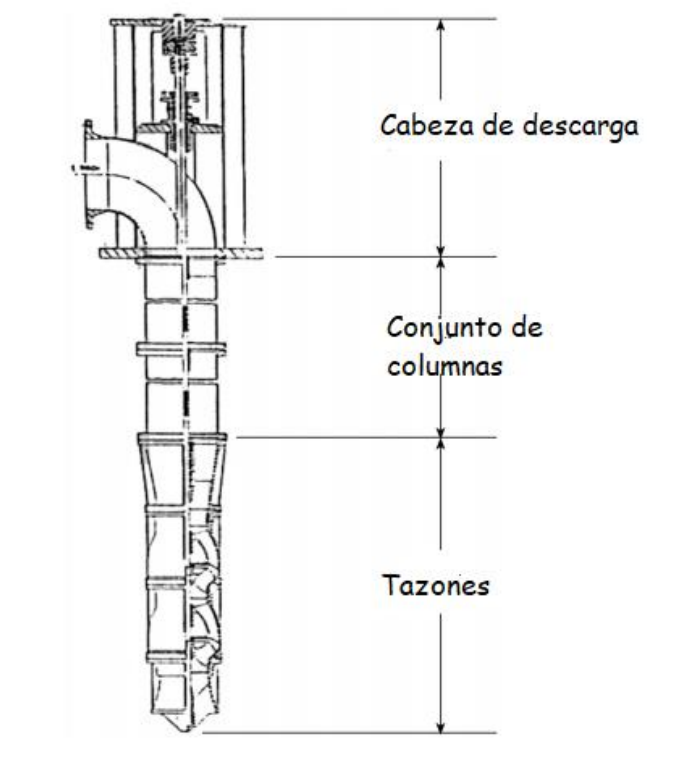


Figura 13. Componentes básicos de bomba vertical.

Ensamblajes del tazón. (Véase la figura 32)

La configuración de ensamblaje de tazón más simple consiste en un eje recto con collar cónico montado impulsores y cuencos que están unidos con hilos rectos y provistos de un encogimiento rodamiento ajustado. Los impulsores pueden ser: a) Diseño cerrado con una cubierta trasera y otra delantera b) diseño abierto sin cubierta, c) diseño semiabierto.

El cojinete de la caja inferior del motor normalmente está lubricado permanentemente con grasa; los demás cojinetes están lubricados por el líquido bombeado. Este diseño se presta bien a bombas más pequeñas con hasta un diámetro de tazón de 18 pulgadas y un diámetro de eje de 2 pulgadas. Sin embargo, cabe señalar las siguientes limitaciones:

- El montaje de las turbinas en suspensión cónica, dependiendo del diámetro del eje y de las combinaciones de materiales, sólo se recomienda para manipular líquidos de 0 a 200 F. La misma limitación de temperatura se aplica a las turbinas semiabiertas.

- Un rodamiento inferior lubricado con grasa sólo se recomienda para el servicio de agua a temperatura ambiente; de lo contrario, la lubricación con el líquido bombeado debe utilizarse con filtración cuando sea necesario.

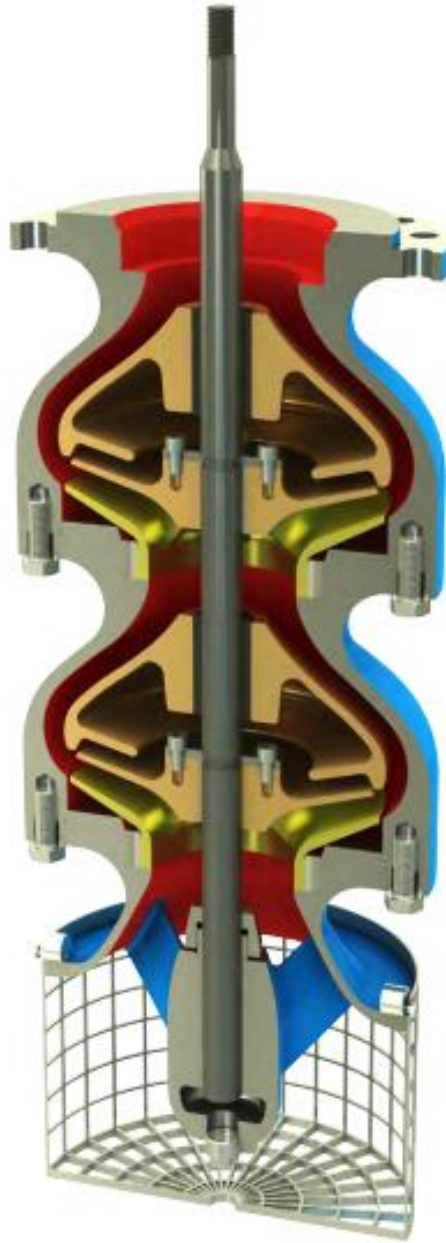


Figura 14. Ensamble del cuerpo de tazones de la bomba.

Para bombas más grandes o cuando se manipulan líquidos calientes o fríos, se recomiendan las siguientes prácticas de diseño:

- Las juntas del cuenco deben estar bridadas y atornilladas. Se prefieren las juntas de metal a metal con juntas tóricas para sellar.

- Deben utilizarse registros masculinos y femeninos entre bridas de apareamiento con tolerancias estrictas para los ajustes de registro, concentricidad, paralelismo y perpendicularidad necesarios para mantener la alineación interna de la bomba (es decir, línea central).
- Los impulsores deben ser montados en el eje con accionamientos de llave, y asegurado axialmente con anillos de división y collares de empuje.

Al seleccionar impulsores cerrados o semiabiertos, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Los impulsores cerrados deben utilizarse siempre para manipular líquidos calientes o criogénicos.
- Los impulsores cerrados presentan un empuje inferior cuando están en la configuración axialmente desequilibrada.
- Los impulsores cerrados son más fáciles de montar para bombas grandes con más de tres etapas. Los impulsores semiabiertos son más eficientes debido a la eliminación de la fricción de disco de la cubierta frontal.
- La pérdida de eficiencia debida al desgaste de las paletas de impulsores semiabiertas puede recuperarse ajustando el ajuste del impulsor en el acoplamiento ajustable bomba-conductor.
- Cuando los impulsores semiabiertos se equilibran axialmente para reducir el empuje axial, el empuje hacia abajo se puede mantener en todo el rango de funcionamiento. Esto evita que el látigo del eje suba el empuje con el desgaste asociado del rodamiento.
- Los impulsores semiabiertos pueden ser fácilmente superficie dura para la protección contra la erosión.
- Es menos probable que los impulsores semiabiertos se agarren al manipular arena o material extraño.

Columna de ensamble

El conjunto de la columna consta de tres componentes principales:

- La columna exterior, que sirve como conducto y límite de presión para el flujo del conjunto del recipiente.
- El eje de columna, o eje de línea, que transmite el par del conductor a los impulsores en el eje de la bomba y lleva el empuje hidráulico del conjunto de la taza al cojinete de empuje en el conjunto cabeza/conductor.
- El eje que encierra el tubo, o columna interior, que alberga los cojinetes de la columna, sirve como conducto para la lubricación del cojinete, y protege el eje. El tipo de líquido que se bombea determina si se requiere o no un tubo de cierre de eje.

Eje de la columna

Las secciones del eje de menos de 4 pulgadas de diámetro se unen comúnmente por acoplamientos roscados, que transmiten tanto el par como el empuje axial. En el caso de bombas con esta construcción, es imperativo que los conductores sean controlados para una rotación correcta antes de ser conectados a la bomba. Los acoplamientos roscados en la rotación inversa se desenroscan y el movimiento de elevación resultante puede causar graves daños a la bomba y/ o motor. Sin embargo, la rotación inversa del flujo de retorno a través de los impulsores no hará que los acoplamientos se desatornillen porque la dirección del par del eje sigue siendo la misma que para el funcionamiento normal.

Para ejes de columna de 4 pulgadas y más de diámetro, se debe utilizar un acoplamiento de manga con llave para transmitir el par. El empuje axial debe ser llevado a través de anillos de división retenidos por empuje o collares de retención. Los rodamientos con bridas, tanto en la columna como en el conjunto del cuenco, se recomiendan para perforaciones de 4 pulgadas y más grandes.

Cabezal de descarga

El cabezal de descarga de una bomba vertical funciona para cambiar eficientemente la dirección del flujo del líquido del eje vertical al eje horizontal del tubo de descarga.

El cabezal de descarga puede acomodar todos los modos de los conductores, incluyendo el eje hueco y motores de eje sólido, engranajes de ángulo recto, motores diésel, y turbinas de vapor verticales.

El cabezal de descarga está diseñado para:

- Apoyar las partes estacionarias de la bomba peso lleno de líquido de la unidad de bombeo Alojar el dispositivo de sellado del eje
- Proporcionar apoyo para el conductor
- Ser el principal soporte estructural de posicionamiento de todos los componentes, giratorio y estacionario.

El dispositivo de sellado del eje debe ser adecuado para la presión máxima a la que se puede someter la bomba, que muy probablemente sería la suma de la presión de cierre de la bomba (flujo cero) de la curva de rendimiento y la presión de aspiración máxima. El dispositivo de sellado se encuentra en una caja de relleno que puede ser colocado en la corriente de descarga para el lavado o montado externamente para el enfriamiento y lavado. El sellado real se puede hacer con un embalaje o un sello mecánico.

El acoplamiento de accionamiento estándar para bombas verticales con conductores de eje sólido es un diseño rígido, capaz de transmitir el par máximo del conductor y la fuerza axial combinada del empuje hidráulico más el peso del elemento giratorio. Para permitir el ajuste

del impulsor dentro de los cuencos, el acoplamiento normalmente incorpora un disco (tuerca de ajuste) roscado en el extremo superior del eje de la columna y sujetado entre las dos mitades de acoplamiento. En el caso de los conductores, como un motor de eje hueco con capacidad de transporte de empuje limitada, podría incorporarse un rodamiento de empuje en el diseño de la cabeza de descarga. En el caso de bombas que utilizan conductores de eje hueco, el par se transmite al eje de la columna superior o al eje de la cabeza a través de un acoplamiento en la parte superior del motor; el ajuste del impulsor se realiza mediante una tuerca situada en la parte superior del embrague.

La mayoría de las bombas verticales tienen un diseño estructuralmente flexible. Esto significa que la frecuencia natural estructural del primer orden es el mismo orden de magnitud que la velocidad de operación. Por lo tanto, debe analizarse cuidadosamente el diseño del cabezal de descarga, en relación con sus cimientos y el conductor conectado y las tuberías del sistema, para garantizar que la frecuencia natural combinada no coincida con la velocidad de funcionamiento de la bomba. Del mismo modo, los cálculos de desviación de la unidad deben realizarse para garantizar que la alineación de la bomba no se vea afectada cuando se somete a las cargas de la boquilla y al peso lleno de líquido.

2.1.2.3 Descripción de los componentes de las bombas.

Impulsores.

Los impulsores se clasifican según la dirección principal del flujo en relación con el eje de rotación del impulsor. Las bombas centrífugas pueden tener impulsores de flujo radial (figura 15,16 y 17), impulsores flujo axial (figura 18), o impulsores de flujo mixto (figura 19). Los impulsores de flujo mixto combinan los principios de diseño de los impulsores de flujo radial y axial. Los impulsores se clasifican además como aspiración simple o doble. Los impulsores de aspiración única tienen una sola entrada en un lado, mientras que los impulsores de aspiración doble tienen entradas simétricas en ambos lados.

Los impulsores también pueden clasificarse por la forma de sus álabes (véase la figura 23):

- Impulsor de paleta radial
- Impulsor de paleta tipo Francis
- Impulsor de flujo mixto
- Elice de flujo axial.

Uno de los problemas a los que se enfrentan los ingenieros es la selección del tipo de bomba (o forma de bomba) adecuado para su uso en una aplicación específica. En general, la forma de la bomba tiene un fuerte efecto sobre el caudal de la bomba y la cabeza total desarrollada. La regla general es que el área de los caudales del impulsor tiene un impacto directo en el caudal, mientras que el diámetro del impulsor afecta a la cabeza total desarrollada. Las diferentes formas de la bomba las hacen adecuadas para su uso en diferentes aplicaciones, como por ejemplo.

- Las bombas de tipo radial son las más adecuadas para los requisitos de cabezas de energía altos y caudales bajos.
- Las bombas de flujo mixto son las más adecuadas para requisitos de caudales moderados y cabezas de energía moderados.
- Las bombas de flujo axial son las más adecuadas para cabezas de energía bajas pero flujos de caudales altos.

La velocidad específica N_s es un factor de forma que ayuda al ingeniero a determinar el tipo de bomba a utilizar en una aplicación específica sin referencia al tamaño de la bomba. Es una cantidad sin dimensiones usado para clasificar impulsores de la bomba y determinar la eficiencia óptima de la misma (Véase la figura 33)

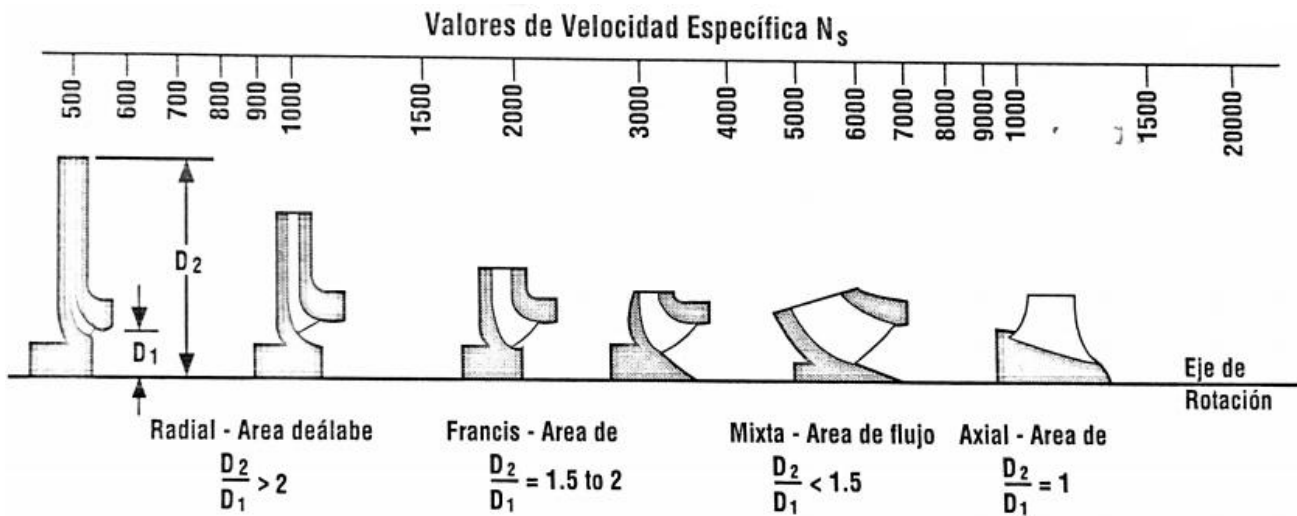
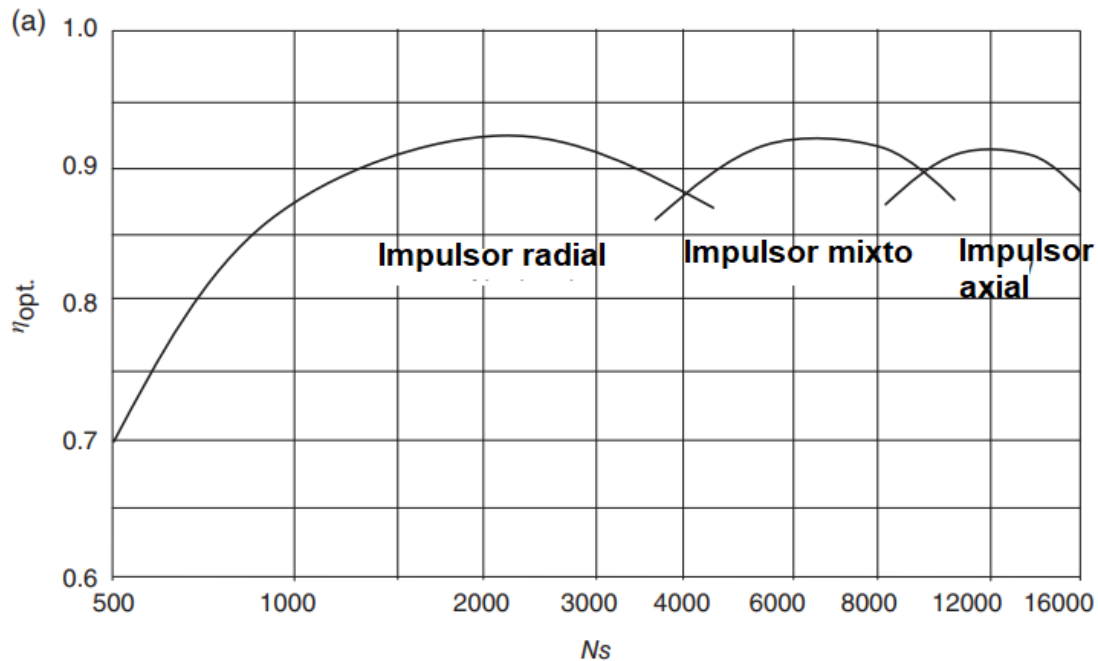


Figura 15. Comparación de los álabes y sus velocidades específicas.

Nota: Estos son los perfiles de varios diseños de impulsor de bomba, que van desde un flujo radial de baja velocidad específica a la izquierda a un flujo axial de alta velocidad específica a la derecha, se colocan de acuerdo a la escala de velocidad especificada.

Existen cuatro métodos principales para la fijación del impulsor al eje (véase la figura 16):

- Drive collet
- Lock collet
- Split ring and retaining ring
- Lock collar

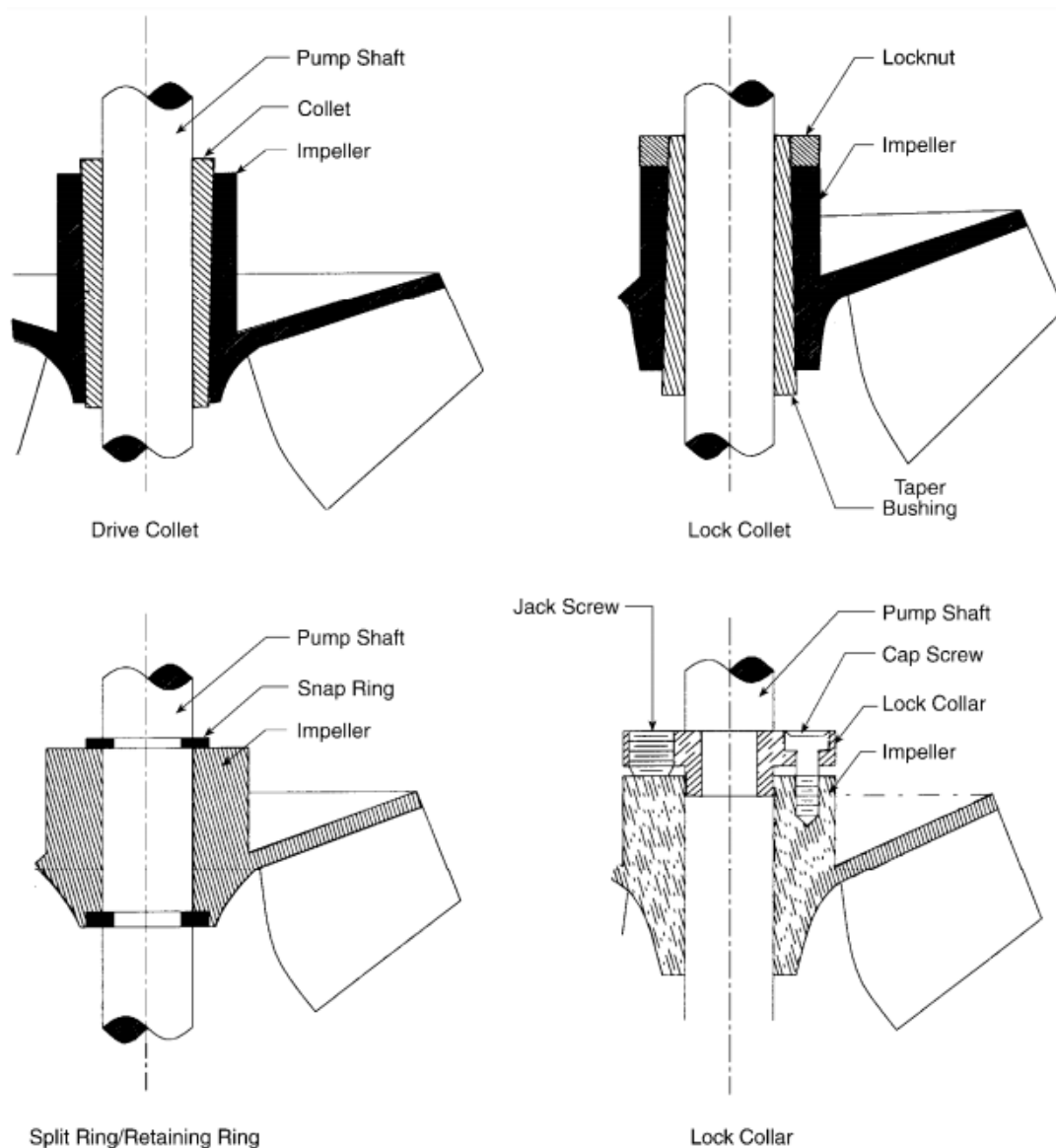


Figura 16. Tipos de sujeción del impulsor a la flecha.

El drive collet es el más simple de los cuatro arreglos y se utiliza típicamente en unidades pequeñas. Es esencialmente una espiga cónica que se conduce entre el eje y el ajuste cónico del orificio del impulsor. El montaje de la unidad no es una operación controlable. La calidad del implemento depende del entorno y de la capacidad del individuo que ensambla la bomba. Si la pinza no es lo suficientemente apretada, o si la suciedad o el aceite están presentes en el impulsor o el eje encaja, el impulsor se deslizará bajo la carga y el rendimiento de la bomba se verá afectado negativamente. La ventaja de la unidad de collet es el menor costo inicial.

El lock collet es similar a la clavija de transmisión, excepto que se añade una tuerca roscada en el extremo pequeño de la clavija. Esto da lugar a que el collet tener un ajuste más ajustado y mayor fiabilidad. Aunque la pinza de bloqueo tiene un ajuste más ajustado que la pinza de

accionamiento, todavía puede tener problemas de montaje y la posibilidad de deslizamiento bajo carga.

El siguiente arreglo utiliza una combinación de anillo de división/anillo de retención para asegurar el impulsor en el eje. El anillo de división transmite el empuje axial hacia abajo, y el anillo de retención transmite el empuje axial hacia arriba. El par se transmite por una llave en el eje. Este método es sustancialmente más fiable que la unidad y la collet de bloqueo. La desventaja de este diseño es que requiere dos ajustes registrados para garantizar la estanqueidad entre el impulsor y el eje. Cualquier error de fabricación dará lugar a un ajuste suelto, haciendo que el impulsor se mueva durante el funcionamiento y el aumento de la vibración de la bomba en general.

El último método de fijación es un dispositivo de cuello partido. El collar encaja en una ranura del eje y se fija al buje del impulsor por tornillos de tapa. Una vez más, el par es transmitido por una llave en el eje. Este diseño coloca con precisión el impulsor en el lugar adecuado y lo sujeta rígidamente en todas las condiciones de funcionamiento, incluyendo la rotación inversa. Este diseño es el método recomendado para la fijación del impulsor.

Tazón de la bomba.

El líquido que sale del impulsor tiene alta energía cinética y descarga en el recipiente de la bomba. El conjunto de tazones contiene aletas difusoras dispuestas axialmente para transformar eficientemente esta energía cinética en energía de presión. El tazón puede estar equipado con anillos de desgaste y tener uno o más rodamientos. Las funciones del cuenco son:

- Guiar el fluido
- Limitar la pérdida de energía
- Conectar la campana de succión y las columnas
- Apoyar los rodamientos de las bombas, cojinetes deslizantes o chumaceras.

Observese la figura 17 que muestra la campana de succión y los tazones.



Figura 17. Bomba de dos etapas.

Anillos de desgaste.

Los anillos de desgaste proporcionan una junta de fuga fácil y económicamente renovable entre el impulsor y la carcasa. En la figura 36 se muestra una junta de fuga sin partes renovables. La restauración de las limpiezas originales en este diseño requiere la acumulación de las áreas desgastadas a través de soldadura u otros medios, seguido por el mecanizado de las limpiezas de diseño, o la compra de nuevos componentes. La opción existe, cuando se requieren reparaciones, para el impulsor o tazón o ambos para ser modificados para anillos de desgaste renovable. Esto podría ser más económico que la soldadura o sustitución de piezas existentes y elimina el problema para la próxima reparación.

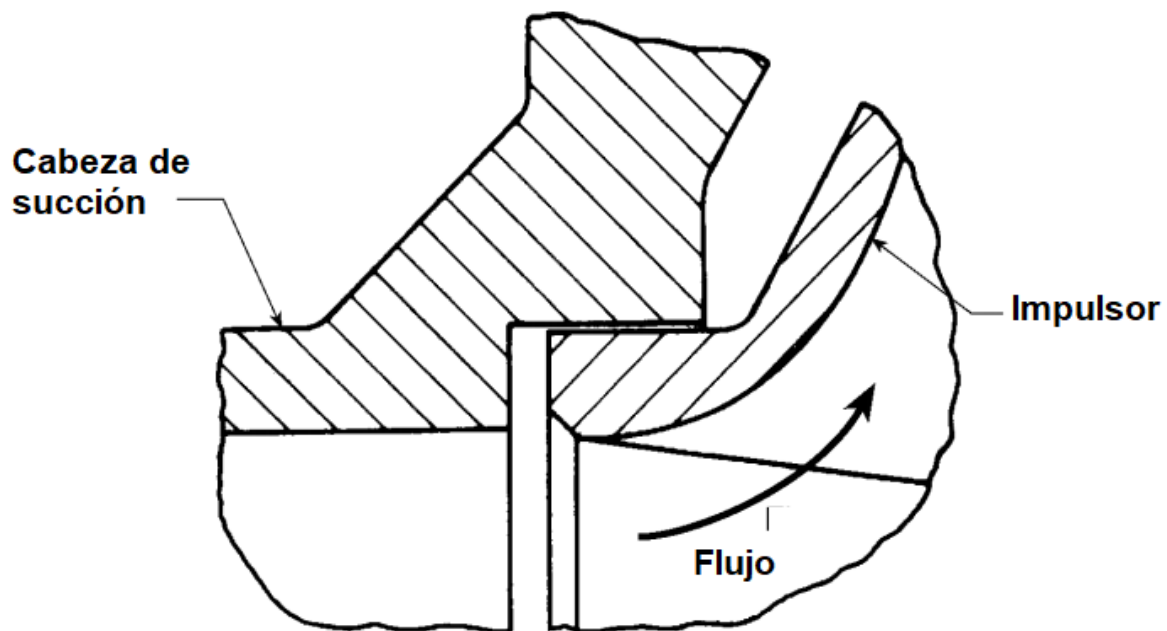


Figura 18. Impulsor en tazón sin partes renovables.

Los anillos de desgaste están disponibles para impulsores cerrados y tazones. Esto proporciona una manera de restablecer las autorizaciones iniciales de operación y recuperar la eficiencia de la bomba al menor costo. Para una vida más larga, también están disponibles mejoras en los anillos de desgaste tales como mejoras de materiales, endurecimiento por tratamiento térmico, revestimiento duro y diferencial de dureza entre superficies de desgaste. Los anillos de desgaste de impulsor y tazón pueden ser opciones ofrecidas por un fabricante de bombas pero, típicamente, se proporcionan anillos de desgaste de tazón renovables, mientras que los anillos de desgaste de impulsor se ofrecen como opción (ver Figuras 37 y 38).

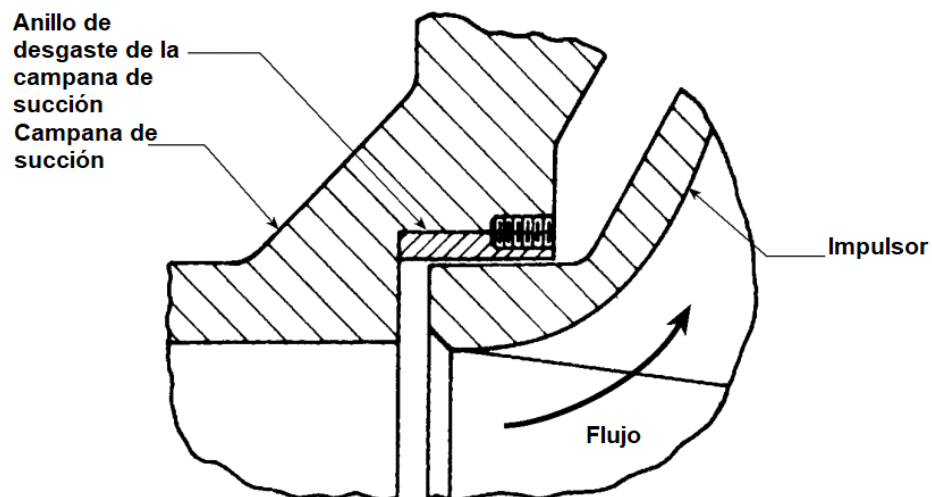


Figura 19. Construcción de un solo anillo en la campana de succión.

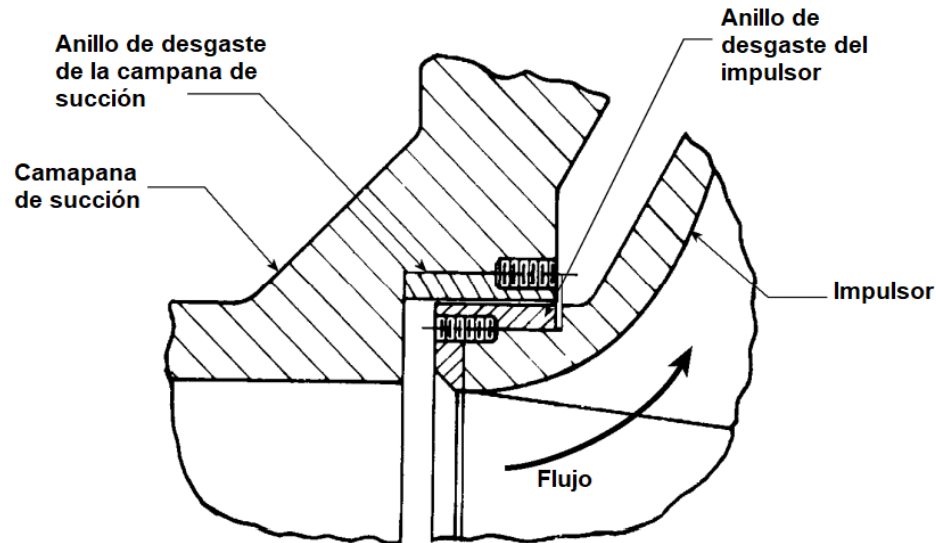


Figura 20. Construcción de doble anillo de desgaste (impulsor y campana)

Columnas.

El conjunto de columna es la pieza de la que conecta el conjunto de tazón a la cabeza de descarga; puede consistir en una o más secciones. Las secciones de columna de las bombas más grandes están bridadas y provistas de ajustes de rabbet para alineación positiva. Las longitudes de las columnas dependen del tipo de construcción del eje (abierto o cerrado). Para la construcción de línea abierta, la longitud de la columna coincide con el espacio de rodamiento (para permitir el soporte del rodamiento mediante el uso de una araña situada en la pestaña) a menos que esta longitud supere la capacidad de mecanizado del fabricante y/o la capacidad de manipulación en el campo.

Ejes y camisas

La función básica de un eje de bomba es transmitir el par producido durante el arranque y el funcionamiento de la bomba centrífuga, mientras que sirve de soporte de la turbina y otros componentes giratorios. El eje deberá realizar esta función con una deformación inferior a la distancia mínima entre las partes giratorias y estacionarias. Los ejes de la bomba pueden ser rígidos o flexibles. Un diseño de eje rígido para una bomba centrífuga es uno con una velocidad de funcionamiento inferior a su primera velocidad crítica. Un eje flexible es uno con una velocidad de funcionamiento que es mayor que su primera velocidad crítica.

Por lo general, los diámetros de los ejes de las bombas son mayores que lo que realmente se necesita para transmitir el momento de torsión, debido a que su tamaño es determinado por la deflexión máxima permisible o deseable del eje. Esta deflexión se escoge para evitar un posible contacto en las superficies de desgaste, mientras se mantienen claros razonables que no afectarán muy desfavorablemente la eficiencia de la bomba. La primera velocidad crítica de un eje se relaciona con su deflexión. Se entiende que el diseño de un eje que permite una deflexión de, por ejemplo, 0.005 a 0.006 pulg (0.13 0.15 mm) tendrá una primera velocidad crítica de 2400 a 2650 rpm. Esta es la razón por la cual se usan ejes rígidos (que operan abajo

de su primera velocidad crítica) para bombas que operan a 1750 rpm o menos. Las bombas de etapas múltiples que operan a 3600 rpm o más usan ejes de igual rigidez (para el mismo propósito de evitar el contacto de anillo de desgaste). Sin embargo, su velocidad crítica correspondiente es alrededor de 25 a 40% menor que su velocidad de operación. Este margen es suficiente para evitar cualquier peligro de la operación, causado por efecto de la velocidad crítica.

Los ejes de las bombas, por lo general, se protegen contra la erosión, corrosión y desgaste en las cajas prensaestopas, sellos contra fugas y en las vías de agua, con camisas renovables. La función más común de las camisas del eje es protegerlo contra el desgaste en las chumaceras, o cojinetes. Las camisas de ejes que sirven para otra función se les dan nombres específicos para indicar su propósito. Por ejemplo, camisa interetapa o de intervalo es el nombre de una camisa de eje que se usa entre dos impulsores para formar un sello contra fuga entre ambas etapas.

Caja prensaestopas.

Las cajas prensaestopas tienen como función básica proteger la bomba contra fugas en el punto del eje atraviesa la carcasa de la bomba. Si la bomba efectúa una elevación succión y la presión en el extremo interior en la caja prensaestopas, es inferior a la atmosférica, la función de la caja prensaestopas es evitar filtraciones de aire al interior de la bomba. La caja prensaestopas toma la forma de un vaso cilíndrico que aloja un número de anillos de empaquetadura alrededor del eje o camisa del eje. Si se desea sellar la caja, se usa un anillo linterna o jaula de sellado, para separar los anillos de empaquetadura en secciones aproximadamente iguales. Se comprime la empaquetadura para dar el ajuste deseado sobre el eje o camisa, por medio de un collarín, que puede ser ajustado en dirección axial.

Puede introducirse agua o algún otro fluido para sellar bajo presión en el espacio proporcionado por la jaula de sellado provocando un flujo del fluido del sellado en ambas direcciones axiales. Esto es útil para bombas que manejan líquidos inflamables o químicamente activos y peligrosos.

Las altas temperaturas o presiones complican el problema de mantenimiento de la empaquetadura de la caja prensaestopas. A las bombas en estos servicios más difíciles, por el general, se les dota de cajas prensaestopas enfriadas por agua y enchaquetadas. Si debido a la presión que se desarrolla en la caja prensaestopas, el sellado no es satisfactorio, puede colocarse una estación reductora de presión, para ser regresada en algún punto de presión inferior en el ciclo de bombeo.

Básicamente la empaquetadura de la caja prensaestopas, es un dispositivo reductor de presiones, con la suficiente plasticidad para ajustarse adecuadamente en la operación. Los tipos más comunes de empaquetaduras son los metálicos y de asbesto; el metálico está compuesto de hilos metálicos flexibles u hojas con grafico o aceite lubricante con un núcleo de asbesto o plástico.

En bombas verticales:

Para sellar, la prensa estopa es normalmente un hueco cilíndrico que puede acomodar una serie de anillos de embalaje alrededor del eje o manga del eje (ver figuras 39 y 40). Si es necesario sellar la caja de relleno, puede añadirse un anillo de lámpara o una jaula de cierre entre números iguales de anillos de empaque (véase la figura 41) para permitir la inyección de agua de sellado. La compresión del embalaje por una glándula de embalaje proporciona el ajuste deseado en el eje o manguito del eje. El líquido de sellado suministrado a la caja de relleno generalmente proviene de la tubería de descarga de la bomba, o una fuente externa de agua limpia.

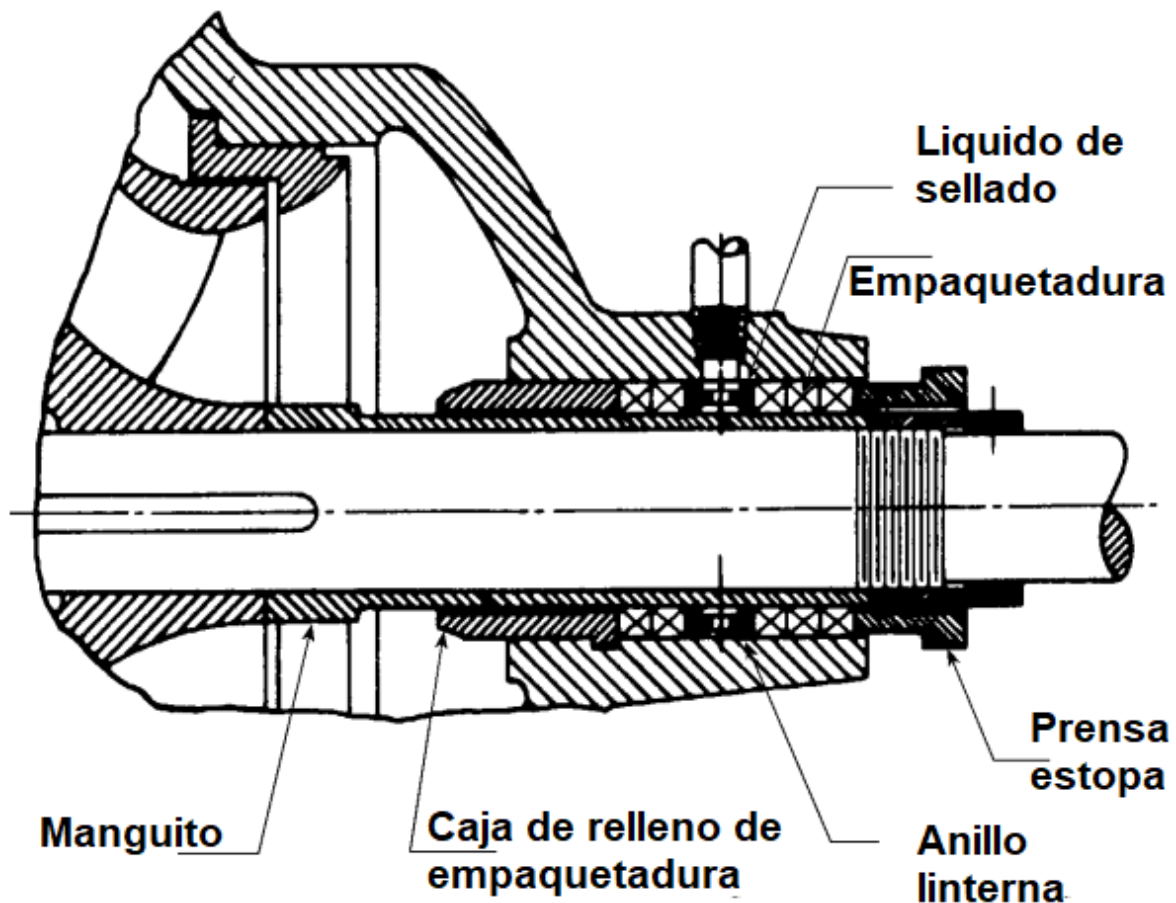


Figura 21. Prensaestopas convencionales.

El empaque de la caja prensa estopa funciona como un dispositivo de ruptura de presión y debe ser algo elástico para que pueda ser ajustado para un funcionamiento adecuado. El embalaje también debe absorber energía sin fallar ni dañar el eje o el manguito del eje.

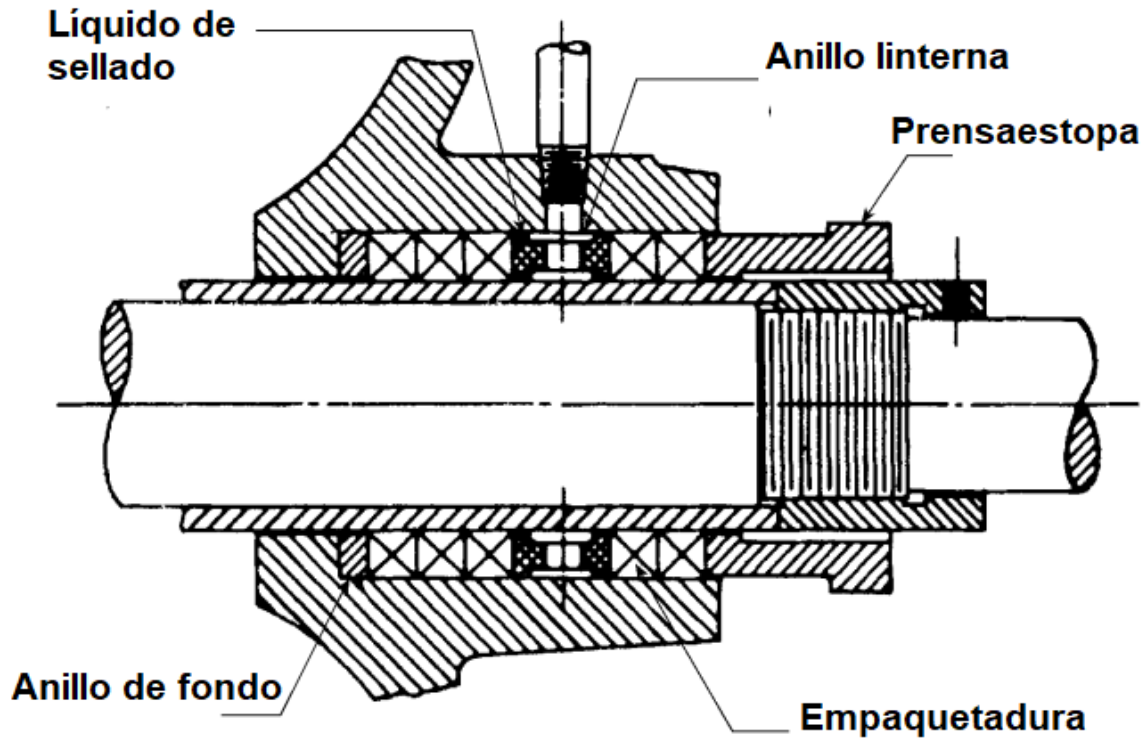


Figura 22. Prensaestopas convencionales con anillo de fondo.

Se presenta en numerosas formas y materiales y se suministra en bobinas continuas de sección cuadrada o en anillos moldeados a presión preformados. Los anillos de empaque moldeados son preferibles porque están disponibles en tamaños exactos y en juegos. Esto asegura un ajuste exacto al eje o al manguito del eje y al orificio de la caja de relleno, asegurando al mismo tiempo la misma densidad de embalaje en toda la caja de relleno.

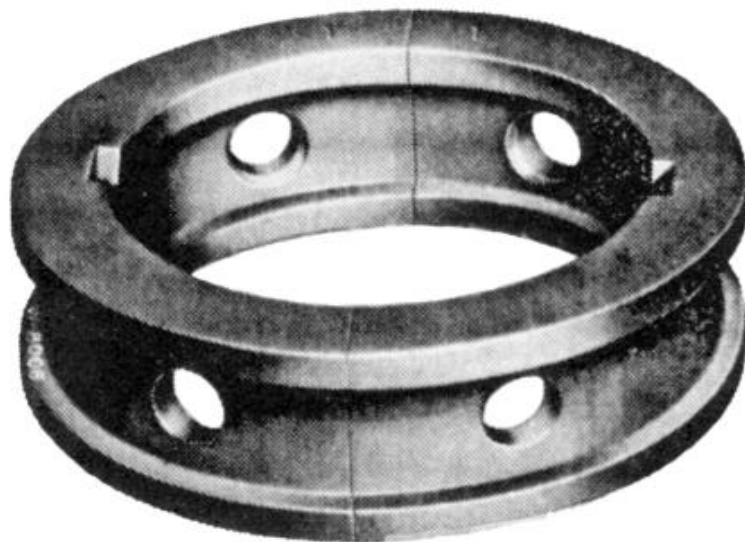


Figura 23. Anillo linterna o jaula de sellado.

Cojinetes

Los rodamientos en bombas centrífugas mantienen el eje y los elementos giratorios en correcta alineación con los componentes estacionarios bajo la acción de cargas radiales y axiales. En las bombas se utilizan los tres tipos básicos de rodamientos siguientes:

- Rodamiento deslizante, de manguito o chumaceras.
- Rodamientos antifricción de bolas
- Rodamientos axiales.

Los rodamientos de manguitos sólo pueden alojar cargas radiales. Los rodamientos de bolas antifricción acomodan cargas radiales, y algunos tipos también pueden acomodar cargas axiales de empuje. Algunos tipos especiales de rodamientos están diseñados para acomodar sólo las cargas de empuje.

Las bombas verticales suelen estar equipadas con rodamientos de manguitos en todos los lugares en los que el eje pasa a través del cabezal de descarga de la bomba, en cada cuenco y dentro de las secciones de columna de la bomba (dependiendo de la longitud del eje). Las bombas verticales de turbina a menudo incluyen un rodamiento adicional situado en la parte inferior del eje en el cabezal de aspiración. Los rodamientos de manguitos suelen estar diseñados para ser lubricados por el fluido bombeado.

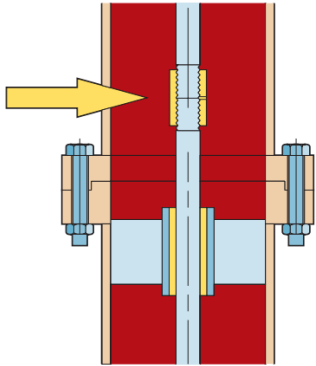
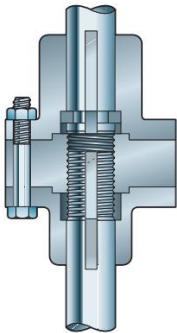
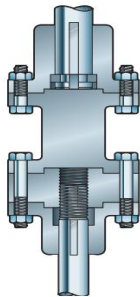
Todas las bombas verticales requieren un rodamiento de empuje para soportar el peso del eje, los impulsores y el empuje hidráulico desequilibrado. En diseños comúnmente este rodamiento se encuentra normalmente en el motor.

Los rodamientos de los manguitos consisten en un casquillo montado dentro de un manguito cilíndrico rígido que proporciona estabilidad dimensional para el casquillo. Los casquillos para aplicaciones de bomba de condensado se fabrican típicamente con un material de baja fricción y larga duración como carbono, aleación de grafito o nitrato; el manguito del eje se fabrica típicamente de acero inoxidable. La mayoría de las otras aplicaciones utilizan rodamientos de bronce, caucho y rodamientos de estilo marino. Ganando en popularidad es los materiales sintéticos de aleación de polímeros de rodamientos (por ejemplo, los fabricados por Thordon Bearings, Inc.).

Acoplamientos.

Los tipos de acoplamiento utilizados en sistemas de accionamiento de bombas pueden incluir acoplamientos rígidos o flexibles. Se utiliza un acoplamiento siempre que sea necesario conectar un motor primario (motor) a una máquina (bomba centrífuga). Una aplicación común para acoplamientos rígidos es en bombas verticales, donde el motor principal (motor) se coloca por encima de la bomba. (Véase la tabla 5)

Tabla 5. Tipos de acoplamientos en bombas verticales.

Acoplamiento del eje de transmisión enroscado	Eje de transmisión con chaveta o cuñero roscado
El acoplamiento del eje de transmisión enroscado se utiliza comunmente en bombas de baja potencia en caballos de fuerza. Es más económico. 	Se recomienda el acoplamiento de eje de transmisión de chaveta para motores de capacidad superior a los 700 HP. Ofrece Facilidad de mantenimiento. 
Acoplamiento ajustable (Tipo A)	Acoplamiento espaciador ajustable (tipo AS)
Para el elemento motor con eje parejo vertical, el ajuste del impulsor se lleva a cabo al usar la placa ajustable del acoplamiento. 	Misma Función que el acoplamiento tipo A con el agregado del espaciador. El espaciador puede extraerse para el mantenimiento del sello mecánico sin extraer el elemento del motor. 

2.1.2.4 Características de las bombas centrífugas verticales.

Las bombas centrífugas verticales tipo turbina tienden a tener alta eficiencia debido a su diseño, con bajos requerimientos de NPSH, lo cual puede ser de gran utilidad en distintos tipos de usos en los que se requiere tales como para una circulación continua de agua, una mezcla de líquidos o agitación de líquidos abrasivos y procesos en plantas tratadoras de aguas negras. En la siguiente figura se muestran algunos tipos de bombas de la familia de la Byron Jackson con sus distintas características y las recomendaciones en su aplicación. (Véase la tabla 6)

Tabla 6. Características de algunas bombas verticales Byron Jackson.



VERTICAL DOBLE DESCARGA	CIRCULACION VERTICAL	TURBINA VERTICAL	CIRCULACIÓN HQ
Para cargas, booster, alimentación a calderas, en condensado, tuberías, cascadas.	Torre de enfriamiento, deshidratación, circulación de condensadores, toma de río, riego, dilución térmica.	Pozos de agua, riego, sumidero, circulación, residuos industriales, fuentes, pozos.	Industrial, refrigeración, procesamiento de aguas, grandes pozos.
Motor montado, alta presión y bajo NPSH, compacta, una sola etapa o multietapa. Embalaje o sellos mecánicos. Diseño vertical que ahorra espacio	Simple o multietapa, lubricación de agua o aceite. Descarga por encima o bajo tierra. Instalación sencilla, pequeño espacio sin fosa seca especial, alta eficiencia.	Diseño de tazón e impulsor y materiales para adaptarse a cualquier necesidad. Lubricación de aceite o agua, instalación de pozo, rodamiento de bypass extra largo y combinación de juntas. Capuchon eficaz, impulsores cerrados y semiabiertos.	Instalación de pozo o superficie. Ahorro de espacio. Eje vertical solido o huevo, aceite o lubricante de agua. Simple o multi etapa.
20,000-50,000 gpm	Hasta 130,000 gpm	Hasta 10,000 gpm	Hasta 12,000 gpm
55-2000 pies	Hasta 500 pies	Hasta 800 pies	Hasta 150 pies por etapa

2.1.2.5 Corrosión y erosión en bombas.

La corrosión causa un enorme daño a la economía de los países. Esto se manifiesta en la pérdida irreversible anualmente de millones de toneladas de metales. Por ejemplo, a causa de la corrosión se pierde cerca del 10% de todo el metal ferroso producido. En una serie de industrias, aparte de las pérdidas, los óxidos de los metales formados como resultado de la corrosión, impurifican los productos.

Tipos de corrosión/erosión.

General o en conjunto: La más fácil de predecir. Incrementa con la temperatura. Asegúrese de notar que los limpiadores y solventes, así como el vapor, sean usados para lavar el sistema y las líneas. Los componentes del sello deben ser compatibles con estos limpiadores.

Celda concentrada o hendiduras de corrosión: Causada por una diferencia en la concentración de iones de oxígeno en áreas estancadas causando el flujo de una corriente eléctrica. Es común con juntas tornillos y pequeñas hendiduras.

Picadura de un metal: Encontrado en otras áreas que no están estancadas. Extremadamente localizada. Los cloruros son una causa común. Pueden ser reconocidos por picadas y hoyos en el metal.

Fractura por tensión y corrosión: El valor de tolerancia no es conocido. Una combinación de carga de tensión, cloruros y calor son necesarios.

Corrosión intergranular: Se forma en las ligaduras del grano. Ocurre en el acero inoxidable a 800 - 1600°F (412-825°C) a menos que la tensión haya sido retirada. Un problema con las piezas soldadas.

Corrosión Galvánica: Ocurre al ponerse en contacto materiales que no son similares o cuando son conectados por una corriente eléctrica. Común en aplicaciones de salmuera y agua salada.

Erosión/Corrosión: Ataque acelerado por una combinación de corrosión y un mecanismo de desgaste. La cavitación es un caso especial. Los sólidos en el líquido a una alta velocidad incrementa el problema.

Lixiviación Selectiva: Involucra el removimiento de un elemento de una aleación, es común en aplicaciones de agua destilada.

Combinación de Corrosión y Erosión

El proceso de diagnóstico de la presente condición inicia con el entendimiento de la distribución de velocidad en el interior de una bomba centrífuga típica.

- La velocidad más baja es normalmente en la entrada de succión.

- La velocidad se acelera mientras el líquido entra al ojo del impulsor y se incrementa grandemente cuando se descarga de las puntas de los álabes.
- En la carcasa de la voluta, la velocidad se convierte en presión y la velocidad desacelera gradualmente desde la lengüeta al interior de la boquilla de descarga.
- Condiciones de alta velocidad adicionalmente localizadas, ocurrirán en las uniones de fugas creadas por los anillos de desgaste y el espacio entre el D.E. de los álabes del impulsor y la lengüeta.

Por lo tanto, el daño más severo en el interior de la bomba estaría esperado que sea donde la velocidad es mayor cuando se manejan abrasivos duros.

El ataque corrosivo puede ocurrir independiente de la velocidad, las superficies de baja velocidad deben ser inspeccionadas cuidadosamente para un ataque típico de corrosión uniforme en la superficie.

Otros factores contribuyentes:

- Elevación inesperada de la temperatura de bombeo. Un incremento de 18° en la temperatura puede duplicar los valores de corrosión en los metales.
- Ampliar la bomba causará una excesiva recirculación interna debido a un excesivo estrangulamiento de la descarga. Disminuyendo el tamaño de la bomba o del impulsor, son alternativas para instalar una línea de derivación para recirculación de el líquido de regreso a la fuente de succión.
- La selección de materiales, materiales no-metálicos y materiales de altas aleaciones son confiables y de un efectivo costo hoy en día.

Valores de pH

El valor pH de un líquido es un indicativo de las calidades corrosivas tanto ácidas como alcalinas. Es una medida de la concentración de iones de hidrógeno o hidróxido en un equivalente de gramos por litro.

La escala de valores de pH es de cero a 14 con 7 como el punto neutro. De seis a cero denota un incremento de la concentración de iones hidrógeno y un incremento en acidez. De ocho a 14 denota un incremento en la concentración de iones hidróxido y un incremento en alcalinidad.

El valor de pH solo debe ser usado como una guía para soluciones acuosas débiles (agua). Para soluciones altamente corrosivas, la temperatura y composición química son críticas para una selección apropiada de materiales de construcción. Las tasas de corrosión metalúrgica pueden duplicarse con un incremento de solo 18°F en la temperatura.

2.1.2.6 Vibraciones de la bomba.

La vibración de la bomba es uno de los problemas graves que pueden resultar en un fallo completo de uno o más de los componentes de la bomba. Estos componentes pueden incluir (pero no limitado a) la caja estopera o sello mecánico, rodamientos, anillos de desgaste, impulsores y acoplamiento bomba/motor. El movimiento radial y axial del eje de la bomba debido a las vibraciones mecánicas tendrá un efecto perjudicial sobre el material de empaquetadura en la caja estopera y también puede causar un desgaste excesivo en el eje o manguito del eje. Los sellos mecánicos son muy sensibles a las vibraciones del eje, y la vida del sello puede acortarse drásticamente como resultado de vibraciones severas. Las vibraciones afectarán a las dimensiones y tolerancias críticas, tales como la separación del anillo de desgaste, el ajuste del impulsor y las holguras de los dispositivos de equilibrado axial. Otro efecto perjudicial de la vibración mecánica es la posibilidad de desarrollar cavitación cerca de la superficie sólida vibrante (p.ej. carcasa de la bomba). Esta cavitación puede crear erosión material (picaduras de piezas metálicas) como resultado de la presión localizada muy alta asociada a este fenómeno. Las causas de la vibración de la bomba son numerosas y se pueden clasificar bajo causas mecánicas, hidráulicas, y otros.

Causas mecánicas.

Las fuerzas periódicas desequilibradas procedentes de los componentes mecánicos de la bomba representan la principal fuente de vibración de la bomba. Estas incluyen:

- desequilibrio mecánico procedente de partes giratorias (p. ej., impulsores, eje, manguitos de eje, acoplamientos, sello mecánico, tambor de equilibrado y disco de equilibrado).
- desequilibrio del impulsor debido a la erosión/corrosión del material del impulsor; esto también puede originarse de un impulsor obstruido.
- funcionamiento cerca de la velocidad crítica del eje.
- desalineación de los ejes de la bomba y del motor. Se pierde concentricidad.
- Cojinetes defectuosos, desgastados o sueltos.
- Piezas dañadas sueltas como anillos de desgaste e impulsores.
- Tuberías tensadas o con sobre esfuerzo debido a problemas de diseño o crecimiento térmico.
- Vibraciones provocadas por la mala colocación del motor o mal balanceo de este.

Causas hidráulicas.

En algunos casos, la vibración de la bomba puede originarse ya sea de las fuerzas del fluido o de la interacción entre el fluido y las partes sólidas de la bomba. Estos incluyen:

- formación e implosión de burbujas de vapor debido a la cavitación.
- Excitaciones de paso de aletas resultantes de un pequeño espacio entre las paletas impulsoras y el agua cortada o entre el impulsor y las paletas difusoras.
- fuertes ondas de presión debido al martillo de agua.
- flujo inestable causado por la sobretensión de la bomba.
- recirculación interna (p. ej., recirculación en el ojo de entrada y/o en la salida del impulsor).

- funcionamiento de la bomba lejos de su mejor punto de eficiencia (BEP).
- Fuga de aire en el lado de aspiración de la bomba.

Otras causas.

En algunos casos, las fuentes externas pueden causar vibraciones de la bomba como

- Vibraciones de equipos cercanos.
- Vibraciones procedentes de una caja de cambios (o poleas si la bomba es accionada por bandas).
- problemas de instalación de la bomba (p. ej. cimientos demasiado pequeños o pernos de sujeción sueltos).
- vibraciones críticas pueden resultar de la interacción entre dos o más de las fuentes anteriores, tales como las excitaciones de paso de aleta de la misma frecuencia que la frecuencia natural de las líneas de aspiración o descarga.

Principios básicos de vibraciones.

Toda vibración es causada inicialmente por una fuerza. El resultado de esta fuerza es el movimiento. El movimiento se puede describir por estos tres parámetros básicos:

- Amplitud.
- Frecuencia.
- Angulo de fase.

Amplitud.

La amplitud de la vibración es una medida de la magnitud de la vibración. El nivel de magnitud es una indicación de la gravedad de la vibración. Una máquina de funcionamiento normal generalmente tendrá una lectura de amplitud estable a un nivel aceptablemente bajo. Cualquier cambio en la amplitud significa un cambio en la condición de la máquina. La amplitud puede expresarse en términos de desplazamiento, velocidad o aceleración. Al medir el desplazamiento, la amplitud del movimiento puede ser absoluta, o relativa a algún marco de referencia.

El desplazamiento también es una herramienta útil cuando se mide en relación con algún marco de referencia. Las sondas de proximidad situadas en o cerca de rodamientos dan el desplazamiento relativo del eje a los rodamientos. Conociendo la holgura del diseño, el desplazamiento relativo del eje puede convertirse en una herramienta muy valiosa para determinar la integridad de la máquina.

La velocidad es el método más común de expresar la amplitud de las vibraciones hoy en día. Su popularidad se debe al hecho de que la velocidad es una excelente indicación de la gravedad de la vibración a cualquier frecuencia porque la severidad sigue las líneas de velocidad constante en el rango de frecuencia útil.

La aceleración es un medio más funcional de expresar la vibración cuando hay un deseo de cuantificar las fuerzas que actúan ($F = ma$), particularmente en una frecuencia más alta donde los desplazamientos podrían ser bastante pequeños.

Frecuencia.

La frecuencia cuantifica la relación de tiempo de una señal de vibración. El período de movimiento es el número de segundos que tarda en completar un ciclo. La frecuencia de movimiento es la inversa del período (ciclos/seg). La frecuencia no está directamente relacionada con la gravedad de la vibración; sin embargo, la frecuencia es muy útil para determinar la causa de la vibración. La frecuencia de vibración a menudo identifica el mecanismo que está creando las fuerzas anormales en una máquina.

En las máquinas rotativas, la frecuencia se expresa más comúnmente en múltiplos de la velocidad de rotación del equipo porque las vibraciones de la máquina ocurren generalmente en múltiplos directos o submúltiplos de esta velocidad. Algunos ejemplos son los siguientes:

1 x La frecuencia de vibración es la misma que la velocidad de rotación del equipo.

2 x: La frecuencia de vibración es el doble de la velocidad de rotación del equipo.

1/2 x: La frecuencia de vibración es la mitad de la velocidad de rotación del equipo.

Z x X: Frecuencia de vibración es la frecuencia de vane-pass del equipo donde Z es el número de paletas de impulsor y X es un término para expresar la velocidad de rotación del equipo.

Ángulo de fase.

El ángulo de fase es en realidad una medida de tiempo relativo que se convierte en un ángulo de rotación basado en algún punto de referencia y frecuencia. El punto de referencia puede ser un evento, como una referencia en la superficie del eje, u otra fuente de señal de vibración.

Para los ejes de rotación, la fase corresponde normalmente al punto alto del rotor a medida que pasa el transductor, o el punto alto de la onda sinusoidal para cualquier frecuencia específica.

Ángulo de fase versus frecuencia, cuando se traza coincidentemente con amplitud versus frecuencia, es un buen medio de determinar las frecuencias naturales componentes. Para un libro de texto de frecuencia natural, habrá un cambio de ángulo de fase de al menos 90 y un aumento de amplitud correspondiente, dependiendo de la cantidad de amortiguación del sistema.

El ángulo de fase es esencial en el equilibrio de componentes y otras técnicas de diagnóstico avanzadas, tales como pruebas modales, estudios de operación, análisis de orden de seguimiento y análisis de órbita.

Medición de vibraciones.

La gravedad de las vibraciones mecánicas puede determinarse mediante mediciones estándar de las vibraciones. Estas mediciones se pueden utilizar para programar el mantenimiento regular. También se puede utilizar, con una precisión razonable, para identificar el origen de la excitación por vibración (herramienta de diagnóstico de problemas). Estas mediciones estándar incluyen frecuencia de oscilaciones, amplitud, velocidad y aceleración y también pueden incluir emisiones acústicas. Los transductores de medición de vibraciones son de baja o alta frecuencia.

Un típico transductor de baja frecuencia se muestra en la Figura 42 y está hecho de una masa m rodeado por una bobina y apoyado por un resorte y un dashpot. La carcasa está equipada con un imán permanente, como se muestra en la figura. En algunos transductores, la masa móvil es el imán permanente, y la bobina se fija en la carcasa. La tensión de salida es proporcional a la velocidad relativa entre el imán y la bobina.

Esa velocidad relativa cambia periódicamente durante el movimiento oscilante, y la frecuencia de la señal de salida es la misma que la frecuencia del cuerpo vibrante.

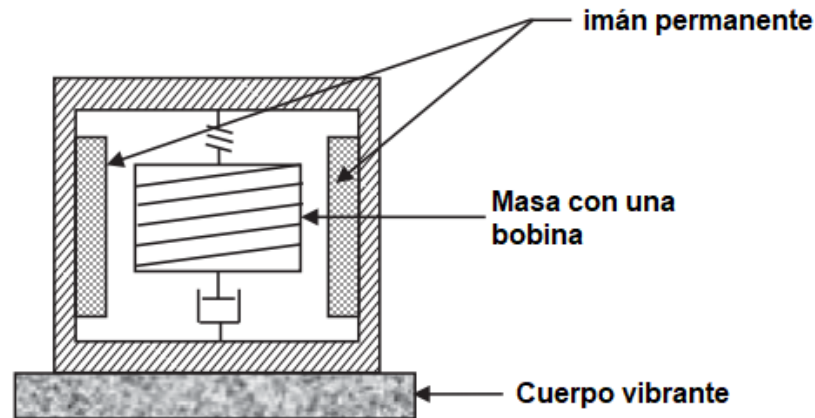


Figura 24. Componentes principales de un transductor típico de vibraciones de baja frecuencia.

Análisis de las señales de vibración.

Consideremos un cuerpo vibrando en un simple movimiento armónico en la forma de la Ec. (23), abajo, debido a una excitación armónica que tiene la misma frecuencia. Si se aplica otra fuerza excitante con diferente frecuencia, y resulta en un movimiento armónico en la forma de la Ec. (24), el movimiento resultante será en la forma de la Ec. (25) y los tres movimientos se presentan gráficamente en la Figura 44.

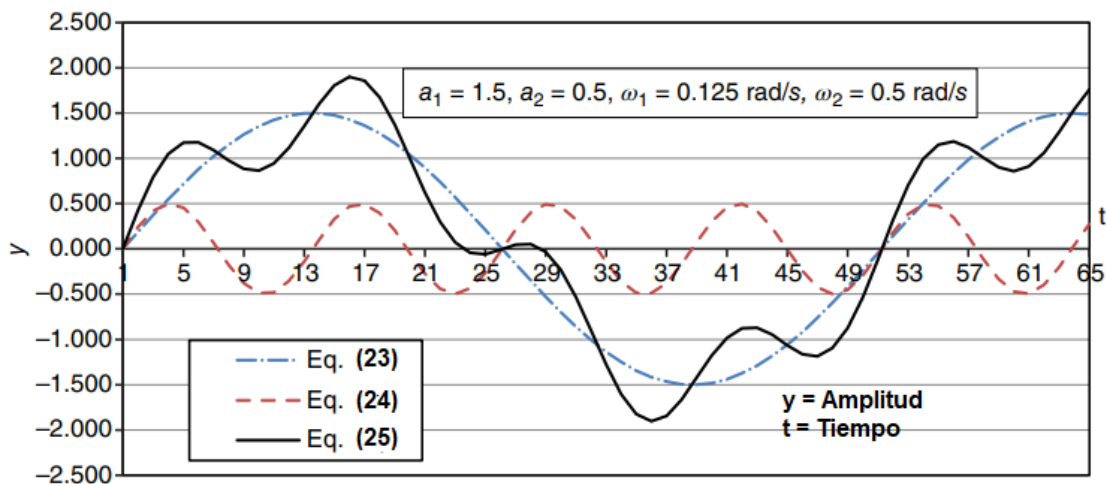


Figura 25. Representación gráfica de la ecuación (23), (24) y (25).

Ahora, si realizamos la transformación rápida de Fourier (FFT) para la tercera señal Ec. (25), podemos convertir los datos de tiempo de vibración en datos de frecuencia de vibración como se muestra en la Figura 45. La señal de tiempo de vibración puede ser en forma de

desplazamiento, velocidad, aceleración, y la ordenada de la Figura 44 puede representar la amplitud de cualquiera de las tres señales. La magnitud de esta amplitud es indicativa de la gravedad de la excitación.

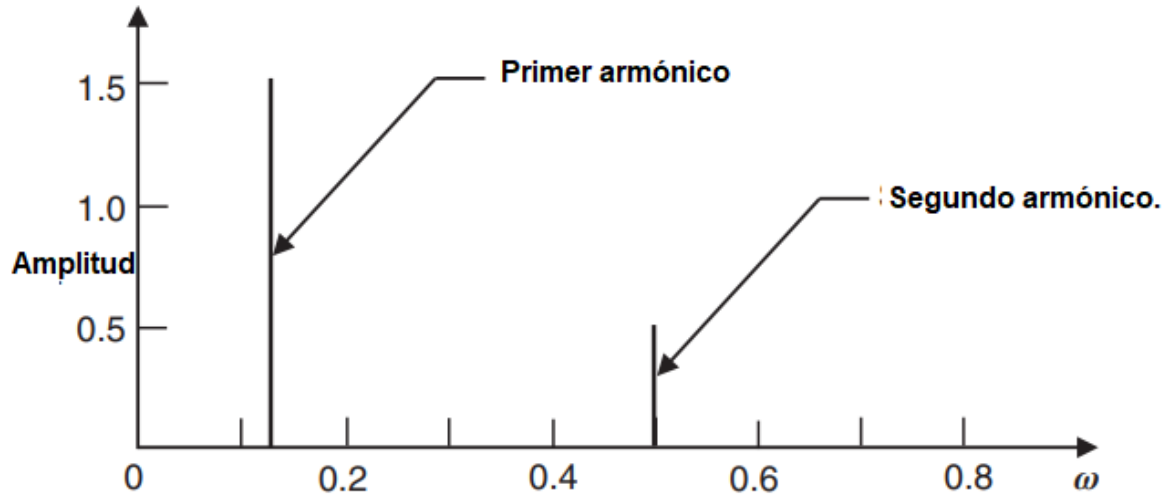


Figura 26. Transformación rápida de Fourier de la señal de vibración.

El análisis de las vibraciones de la bomba comienza con la selección del transductor de vibraciones y los componentes necesarios del sistema, tales como filtros (filtros de paso alto y/o paso bajo), procesador FFT (separación de señales variables en el tiempo a componentes de frecuencia individuales). Se tomarán y analizarán muestras de mediciones del tiempo de vibración. La Figura 45 muestra una típica muestra de tiempo de vibración y la Figura 47 muestra la misma muestra en el dominio de frecuencia de amplitud.

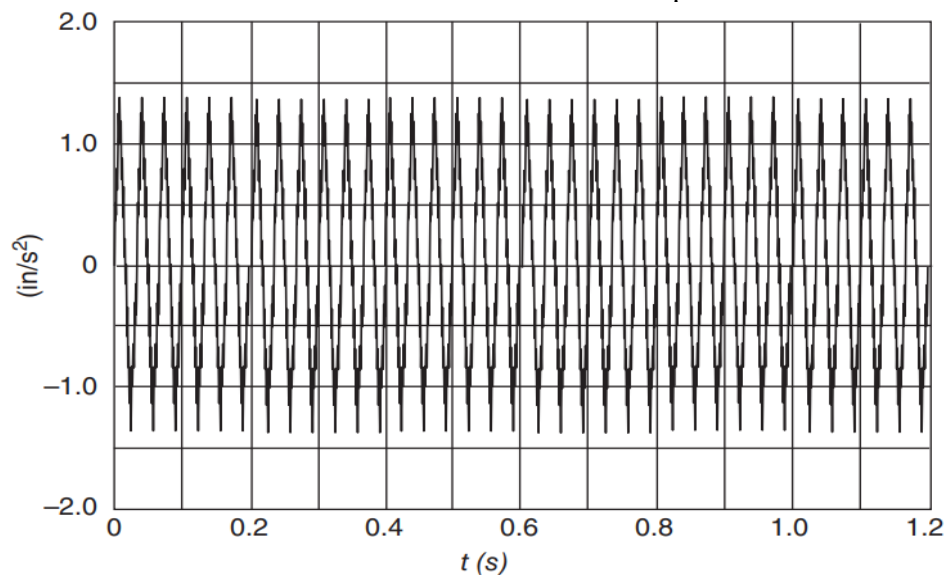


Figura 27. Esquema de una señal típica de aceleración-tiempo obtenida a partir del acelerómetro de baja frecuencia.

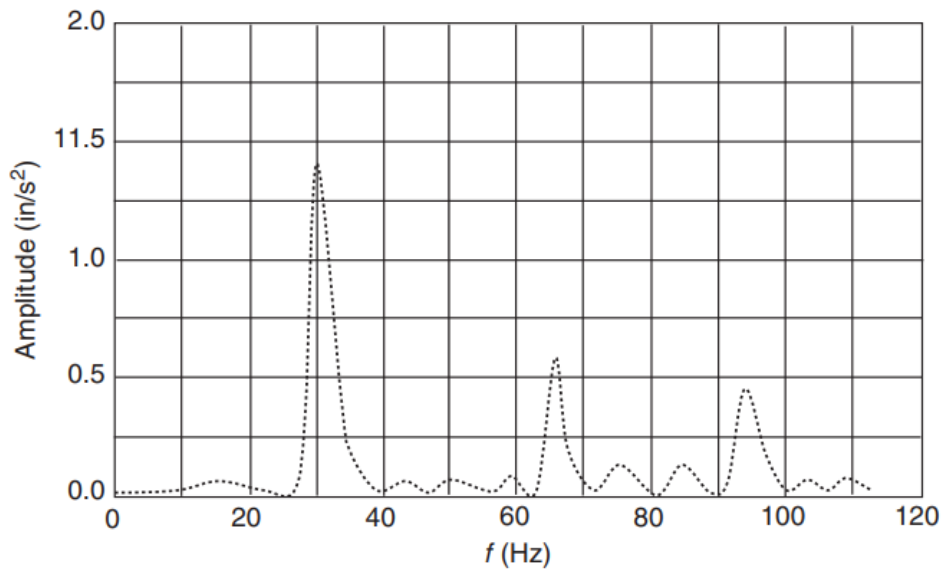


Figura 28. FFT de la señal vibratoria-tiempo.

La magnitud de la amplitud de la vibración (amplitud de la aceleración) a diferentes frecuencias puede entenderse como la descomposición de la señal de vibración en un gran número de armónicos con diferentes amplitudes para diferentes frecuencias. Comparando las frecuencias con las características de la bomba y observando las grandes amplitudes, podemos averiguar con precisión la fuente de la excitación de vibraciones severas.

Por ejemplo, las excitaciones a frecuencias iguales a la velocidad del eje indican desequilibrio de un rotor (p.ej. eje de la bomba, impulsor, acoplamiento, dispositivo de equilibrio de empuje). Por otra parte, las excitaciones a altas frecuencias (1 a 20 kHz) indican la presencia de cavitación. Las excitaciones a frecuencias iguales a N veces la velocidad del eje (donde N es el número de álabes impulsores) pueden indicar la pulsación de la presión de paso de la hoja. En la tabla 7 se indica la causa probable de las vibraciones en cada intervalo de frecuencia.

Tabla 7. Causa probable de vibración en diferentes rangos de frecuencia (n es la velocidad de rotación de la bomba en revoluciones/s, m es el número de álabes, k es el número de álabes difusores).

Causa probable de vibración	Frecuencia de vibración (Hz)
Aumento de potencia.	Muy baja frecuencia ($\ll n$)
Puesto de rotación a baja capacidad debido a un choque en la entrada de la paleta (velocidad relativa no tangencial al ángulo de la aleta) o debido a la recirculación ocular de entrada	$.6 n - 0.9 n$
Desequilibrio mecánico de los diferentes rotores que incluya uno o varios de los elementos siguientes: Impulsor erosionado o obstruido Desbalanceo del conjunto rotatorio. Desalineación del acoplamiento bomba-Conductor. Exceciva excentricidad entre el impulsor y la voluta Lengua de la voluta muy cerca del impulsor. Desequilibrio de las camisas del eje o de cualquiera de los dispositivos de equilibrio de empuje	$1 n$
1.- Pulsación de presión debido a la avería o obstrucción de los conductos del impulsor 2.- Retenedor de cojinetes suelto o grietas del eje. 3.-Desalineación del acoplamiento bomba-conductor.	$2 n$
1.- Aleta pulsación de presión de paso debido a un pequeño aclaramiento entre la punta de la paleta y la lengua de la voluta. 2.- pulsación en la presión de descarga. 3.- Pulsación en la presión de succión. 4.- Resonancia acústica en tuberías de aspiración o descarga.	$m n$
Aleta pulsación de presión de paso debido a la pequeña distancia entre la punta de la paleta y las paletas difusor.	$k m n$
Desalineación de cojinetes, transmisión de engranajes suelta o mal lubricada, carcasa de cojinete suelta o carcasa de bomba suelta.	Varios multiplos de n
Desprendimiento de vórtice en el lado de succión.	Frecuencia de desprendimiento de vórtice (depende de la fuente)
Cavitación	Alta frecuencia (1 a 20 kHz)

2.1.3 Lubricación.

La tribología se define como el estudio de la lubricación, la fricción y el desgaste de partes móviles o estacionarias. La lubricación, la fricción y el desgaste tienen una función importante en la vida de los elementos de máquinas. El esfuerzo de diseño no sólo debe ser menor que el esfuerzo permisible y la deformación no debe exceder ningún valor máximo, sino que la lubricación, la fricción y el desgaste (consideraciones tribológicas) también deben ser apropiadamente comprendidas para que los elementos de máquinas se diseñen con éxito. La interacción de las superficies en movimiento relativo implicada en la tribología no se debe considerar como un tema especial. Como en la resistencia de materiales, la tribología es la base para cada diseño de ingeniería de elementos de máquinas. Muy pocos elementos de máquinas no dependen de las consideraciones tribológicas.

La lubricación por película fluida ocurre cuando dos superficies opuestas se separan completamente por una película lubricante y ninguna aspereza está en contacto. La presión generada dentro del fluido soporta la carga aplicada, y la resistencia por fricción al movimiento se origina completamente del cortante del fluido viscoso.

Las superficies concordantes se ajustan bastante bien unas con otra con un alto grado de conformidad geométrica de manera que la carga se transfiere a un área relativamente grande. Por ejemplo, el área de lubricación de la chumacera sería 2π por el radio por la longitud. El área de superficie que soporta una carga permanece esencialmente constante mientras la carga se incrementa. Las chumaceras de película fluida (Figura 47) y los cojinetes deslizantes tienen superficies concordantes. En las chumaceras la holgura radial entre el cojinete y el manguito es comúnmente un milésimo del diámetro del cojinete.

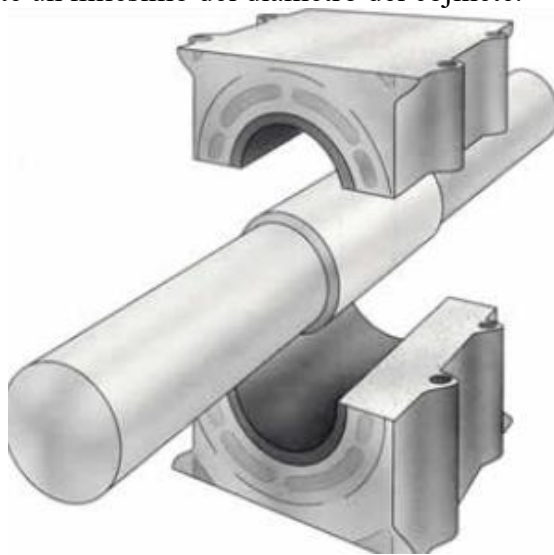


Figura 29. Superficies concordantes.

Muchos elementos de máquinas lubricados por una película fluida tienen superficies que no concuerden entre sí. Entonces un área pequeña de lubricación debe soportar todo el peso de la carga. El área de lubricación de una conjunción no concordante es comúnmente tres

órdenes de magnitud menor que la de una superficie concordante. En general, el área de lubricación entre superficies no concordantes se agranda bastante con el incremento de la carga; pero aún es más pequeña que el área de lubricación entre las superficies concordantes. Algunos ejemplos de superficies no concordantes son el acoplamiento de los dientes de un engrane, leva y sus seguidores, y los cojinetes de elementos rodantes (Figura 48).

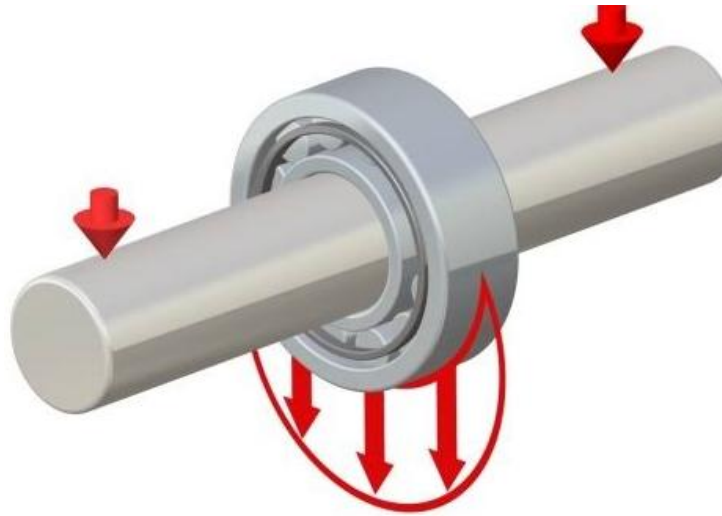


Figura 30. Superficies no concordantes.

Fricción.

No toda la fricción es perjudicial. Considere la necesidad de que las ruedas motrices usen la fricción para desarrollar fuerzas de propulsión contra pisos, rieles o carreteras. Los embragues y los frenos emplean la fricción para arrancar la máquina, acelerarla, desacelerarla, pararla o mantenerla en una posición. Las mordazas y los mandriles usan la fricción para sujetar piezas o herramientas durante operaciones de manufactura. En esas aplicaciones conviene que las fuerzas de fricción sean grandes y consistentes.

La mayor parte de otras aplicaciones, donde existe contacto deslizante entre los componentes acoplados, requieren que la fricción se minimice para minimizar las fuerzas, pares torsionales y la potencia requerida para impulsar el sistema.

Los fenómenos principales que intervienen para crear fricción son la adhesión, los efectos elásticos, como la resistencia a la rodadura, los efectos visco elásticos, y la resistencia hidrodinámica. La adhesión es el pegado entre materiales distintos. La resistencia a la adhesión depende de la estructura y las propiedades químicas de los materiales en contacto. También contribuyen las características de las superficies, como la altura de los picos y valles máximos de rugosidad, llamados asperezas. Algunas asperezas de las partes en contacto se deforman o fracturan durante el movimiento relativo, mientras que en otras condiciones, el movimiento es resistido cuando las asperezas se enciman entre sí. La resistencia a la rodadura se debe a la deformación elástica del cuerpo en movimiento, o de la superficie sobre la que se mueve. La geometría de los elementos en contacto de rodadura, la magnitud de las fuerzas

aplicadas y la elasticidad de los materiales en contacto, juegan su parte en la determinación de la cantidad de resistencia. Los efectos viscoelásticos se relacionan con las fuerzas causadas por la deformación de materiales flexibles, como los elastómeros durante el contacto, la resistencia hidrodinámica, llamada también efecto viscoso, se debe al movimiento relativo de las moléculas de los lubricantes fluidos, entre los componentes acoplados en movimiento. Ésta es la principal forma de resistencia en los cojinetes lubricados hidrodinámicamente con capa gruesa. Todas o muchas de esas formas de fricción existen al mismo tiempo en la mayor parte de las maquinas reales.

Lubricantes.

Algunas de las funciones importantes de los lubricantes consisten en reducir la fricción, retirar el calor de los cojinetes y demás elementos de máquina donde exista fricción, y apartar los contaminantes. Varias propiedades contribuyen a que el funcionamiento de un lubricante sea satisfactorio:

- Buena lubricidad u oleosidad produzca baja fricción
- Viscosidad adecuada para la aplicación
- Baja volatilidad bajo las condiciones de funcionamiento
- Características satisfactorias de flujo a las temperaturas que se encuentran durante el uso.
- Conductividad y calor específico adecuados para realizar la transferencia de calor
- Buena estabilidad química y térmica, y la capacidad de mantener características adecuadas de flujo durante periodo razonable de uso.
- Compatibilidad con otros materiales en el sistema, como los cojinetes, los sellos y las partes de máquinas en especial desde el punto de vista de la protección contra corrosión y degradación.
- Compatibilidad con el ambiente.

A continuación, se describe la naturaleza básica de los aceites, grasas y lubricantes sólidos.

Aceites. Los proveedores de aceites lubricantes ofrecen una gigantesca variedad de grados. Una clasificación general concentra dos categorías: los aceites de petróleo natural refinado y los lubricantes sintéticos. En forma típica, los aceites naturales tienen menor costo y dan un servicio satisfactorio en lubricación de propósito general. Con frecuencia se incorporan aditivos al aceite natural para aumentar la viscosidad, mejorar el índice de viscosidad, reducir el potencial de corrosión retardar la oxidación y otras formas de descomposición química, o aumentar la capacidad de resistir alta presión localizada. Los lubricantes sintéticos son formulaciones químicas de diseño especial, y se pueden adaptar a aplicaciones específicas. Si bien su desempeño es mejor que el de los aceites naturales, su costo es mayor, en el caso típico.

Los lubricantes se ofrecen en categorías, como aceites para motor, para engranes, compresores, turbinas, de propósito general, cadenas, cojinetes, maquinaria para alimentos, fluidos para transmisión automática, hidráulicos y para trabajo de metales.

Los grados de viscosidad suelen ser reportados con el sistema de evaluación de ISO. El número de grado es la viscosidad cinemática del aceite, en centistokes a 40°C. Los grados ISO comunes para lubricante son 32, 46, 68, 100, 150, 220, 320, 460, 680 y 1000. Los aceites para engranes suelen tener los grados 150 a 680, dependiendo de la temperatura ambiente y la intensidad de carga. Con la frecuencia también se cita la viscosidad a 100°C como indicio de la variación de la viscosidad con la temperatura. Eso no es parte de la clasificación ISO, y depende principalmente de la propiedad del índice de viscosidad.

Los grados de viscosidad SAE también se usan para indicar la viscosidad de un aceite. Se parecen a los grados que se usan en los motores de automóviles; estos aceites SAE también son buenos para lubricación en general y para transmisiones con engranes. Los grados comunes son SAE 20, 30, 40, 50, 60, 85, 90, 140, 250. Estos grados se deben pagar a límites de viscosidad cinemáticas en centistokes, medidos a 100°C. Grados de los aceites SAE, como el SAE 20W, deben tener viscosidades menores que los límites especificados a bajas temperaturas, los cuales van de -5°C a -55°C. Esto garantiza que el lubricante puede llegar a las superficies críticas en ambientes fríos, en especial durante el arranque del equipo. Los aceites para engranes suelen ser SAE grados 80 a 250.

El índice de viscosidad (IV) es una medida del cambio de la viscosidad de un fluido con la temperatura. El IV se determina al medir la viscosidad de una muestra de un fluido a 40°C y a 100°C, y comparar esos valores con los de ciertos fluidos de referencia a los que se asignaron valores de IV de 0 a 100.

- Un fluido con un IV grande tiene poco cambio de viscosidad, en función de la temperatura.
- Un fluido con un IV pequeño tiene mucho cambio de viscosidad, en función de la temperatura.

Para la mayoría de los lubricantes, conviene tener IV grande porque entonces su protección sería más confiable y tendrían un funcionamiento más uniforme cuando varíe la temperatura. Los lubricantes disponibles en el comercio citan valores de IV desde aproximadamente 90 a 250. Los lubricantes para engranes tienen un IV aproximado de 150. Para mejorar la viscosidad y ajustar el índice de viscosidad se usan aditivos, los cuales muchas veces son polímeros orgánicos.

La protección contra la corrosión de los metales se puede adaptar a aplicaciones específicas, al incorporar varios aditivos al aceite base. Son comunes los inhibidores de oxidación para materiales ferrosos, o la protección del cobre y el bronce contra la corrosión. Los inhibidores de oxidación se usan para prolongar la vida de los aceites. Los aditivos para presión extrema ayudan a evitar el desgaste abrasivo en aplicaciones con mucha carga. Los aditivos de control de espuma evitan la formación de espuma, cuando los engranes u otros elementos de máquina se bañan en aceite.

Grasas. La grasa es un lubricante en dos fases, compuesta por un espesador dispersado en un fluido base, que en forma típica es un aceite. Cuando se aplica a la interface entre componentes en movimiento, la grasa tiende a quedarse en su lugar y adherirse a las

superficies. El aceite suministra lubricación en forma parecida a la descrita. Siempre que exista cantidad suficiente de grasa en la interfase, se tiene una lubricación continua. Se dice que algunos mecanismos están lubricados de por vida. Sin embargo, el diseñador debe tener mucho cuidado para asegurarse que la grasa no sea desplazada de zonas críticas donde se necesite, o para diseñar el sistema pueda aplicar grasa de forma periódica. Algunos componentes, como los rodamientos tienen conexiones engrasadas para completar el suministro y para descargar la grasa contaminada u oxidada.

Se usan varios tipos de espesadores en combinación con los aceites naturales o sintéticos. Los espesadores son jabones que se forman por reacción de grasas animales o vegetales con sustancias alcalinas, como base de litio, calcio un complejo de aluminio, arcilla, poliuria y otros. El que se usa con más frecuencia es el 12-hidroxistato de litio. Los jabones tienen una consistencia uniforme como la mantequilla, y retienen al aceite en suspensión hasta que entra a la zona que se va a lubricar. Los aditivos dan la capacidad de resistir presiones, protección contra moho, estabilidad frente a la oxidación y mejor facilidad de bombeo de grasa.

Lubricantes sólidos. En algunas aplicaciones no se pueden usar aceites o grasas, por la contaminación de otras partes del sistema, exposición a alimentos, temperaturas excesivamente altas o bajas, trabajo al vacío u otras consideraciones ambientales. En esos casos se buscan materiales sólidos que posean propiedades lubricantes buenas o agregar lubricantes sólidos sobre superficies críticas. El PTFE (Polietrafluoretileno) es un ejemplo de material con buena lubricidad.

Un lubricante sólido es una capa delgada sólida que reduce la fricción y el desgaste. Algunos se aplican como sólidos, con grocha, aspersión o inmersión, y entonces se adhieren a las superficies de contacto. Con frecuencia, se mezclan aglomerantes con el material base, para facilitar su aplicación y promover la adhesión. Se requiere el curado en aire o por horneado.

El disulfuro de molibdeno (MoS_2) y el grafito son dos lubricantes sólidos que se usan con frecuencia. Se usan también el yoduro de plomo (PbI_2) el sulfato de plata (AgSO_4), el disulfuro de tungsteno y el ácido esteárico. Un ejemplo de su eficacia es la reducción del coeficiente de fricción dinámica del acero sobre acero, desde aproximadamente 0.50 con superficies secas y limpias, hasta el intervalo de 0.03 a 0.06.

Desgaste.

El desgaste es la eliminación gradual de material de una superficie deslizante. Es un proceso complicado que tiene numerosas variables. Sólo con pruebas bajo condiciones de servicio reales se puede predecir el desgaste real en determinado sistema. Puede haber varios tipos de desgaste:

- Picadura, aspereza, ralladura o escoriación, que en el caso típico se deban a grandes esfuerzos de contacto y a la fatiga del material superficial durante el contacto con rodadura o con deslizamiento.
- Desgaste abrasivo, roscado mecánico, corte o ralladura, como por contaminantes duros en la interface de las partes en contacto.

- Fisura miento, que es el deslizamiento cíclico de amplitud muy pequeña, que se desplaza material de la superficie. La acumulación siguiente de basura tiende a acelerar el proceso. La operación continuada produce una superficie de apariencia similar a la de la corrosión, y puede generar pequeñas grietas donde puede originarse la falla última por fatiga. Con frecuencia se presenta cuando partes de ajuste estreso se someten a cargas oscilantes o a vibración.
- Desgaste por choque o impacto causado por la erosión del material debido a que materiales duros en movimiento pegan contra la superficie, quizá impulsados por aire o fluidos. Los fluidos con gran velocidad, como la descarga de lavadores a chorro de alta presión, pueden casuarle desgaste.

Si bien, no es posible recetar métodos específicos para reducir el desgaste, un diseñador puede intentar lo siguiente, aunque, como se ha visto, la prueba es la única forma de asegurar que la operación sea satisfactoria.

1. Mantenga baja la fuerza de contacto entre las superficies deslizantes.
2. Mantenga baja la temperatura en las superficies de contacto.
3. Use superficies de contacto duras.
4. Produzca superficies lisas en contacto.
5. Mantenga una lubricación continua para reducir la fricción.
6. Mantenga baja la velocidad entre las superficies en contacto.
7. Especifique materiales que tengan buenas propiedades contra desgaste.

Muchos proveedores de materiales informan las propiedades de sus productos respecto al desgaste, cuando trabajan contra un material igual o distinto. Estos datos se adquieren con pruebas bajo condiciones controladas con cuidado en laboratorios. El caso típico es el de una parte de un par de materiales que se mueve a una velocidad conocida, por ejemplo, en rotación. El material acoplado se mantiene estacionario, bajo una carga conocida. Se hacen mediciones cuidadosas del peso y dimensiones originales de los especímenes se vuelven a pesar y medir, para determinar el material que ha desaparecido.

2.1.4 Diseño de chumaceras o cojinetes deslizantes.

El diseño de chumaceras es de importancia considerable para el desarrollo de maquinaria rotatoria. Las chumaceras son componentes esenciales de las máquinas en compresoras, bombas, turbinas, motores de combustión interna, motores, generadores, y en una gran variedad de máquinas.

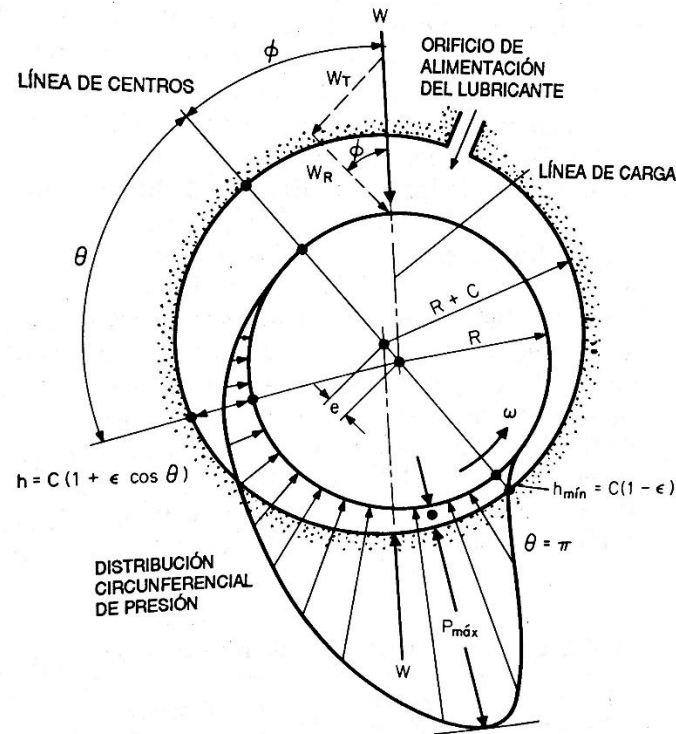


Figura 31. Notación de muñón y chumacera.

En su forma más elemental (Fig. 31), una chumacera consta de una flecha que se puede hacer girar (el muñón) contenida dentro de un manguito cilíndrico de ajuste estrecho (la chumacera). Generalmente, pero no siempre, la chumacera está fija dentro de una carcasa o alojamiento. Las superficies del muñón y la chumacera están separadas por una película lubricante (líquido o gas) que se alimenta en la holgura entre las superficies. Ésta generalmente es bastante pequeña (del orden de un milésimo del radio del muñón) y tiene cuatro funciones principales:

- Permitir el ensamble del muñón y la chumacera
- Proporcionar espacio para el lubricante.
- Dar cabida a las expansiones térmicas inevitables.
- Tolerar cualquier desalineamiento o deflexión de la flecha.

El propósito fundamental de una chumacera es proporcionar soporte radial a una flecha giratoria. Bajo carga, los centros del muñón de la chumacera no son coincidentes, si no que están separados por una distancia llamada excentricidad. Esta disposición excéntrica

establece una formación de cuña convergente que, junto con el movimiento relativo entre el muñón y la chumacera, permite que se desarrolle una presión por efectos viscosos dentro de la delgada película lubricante y produce, en consecuencia, una capacidad de soportar cargas. Sin embargo, si la carga es demasiado grande o la rotación de la flecha es demasiado lenta, la configuración en forma de cuña no se formará y podría ocurrir contacto de sólido con sólido.

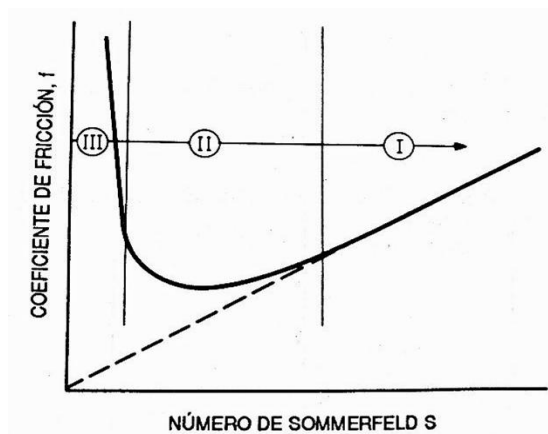


Figura 32. Tres regímenes de lubricación: I, película gruesa; II, película delgada; III, frontera.

Las chumaceras pueden trabajar en cualquier de los regímenes de lubricación: lubricación de película gruesa, lubricación película delgada o lubricación límite. Generalmente se prefiere la operación con película gruesa. La figura 50 es un diagrama de los tres regímenes. La tabla proporciona algunas de las características de cada régimen.

Tabla 8. Características de los regímenes.

Régimen de lubricación	Contacto de superficies de la chumacera	Rango del espesor de la película, in	Coefficiente de fricción	Grado de desgaste	Comentarios.
<i>Película gruesa</i>	Sólo durante el arranque o detención	10^{-3} a 10^{-4}	0.01 – 0.005	Ninguno	1. Régimen de alta velocidad y carga ligera. 2. Coeficiente de fricción proporcional
<i>Película delgada</i>	Intermitente: Dependiente de la rugosidad de las superficies	10^{-4} a 0.5×10^{-4}	0.005 – 0.5	Suave	1. Altas temperaturas de operación
<i>Límite</i>	Superficie a superficie.	0.5×10^{-4} a espesor molecular	0.05 – 0.15	Grande	1. Régimen de operación a baja velocidad (<60 fpm, pies por minuto) y con carga pesada (carga unitaria >3000 psi) 2. La generación de calor y la fricción no dependen de la viscosidad del lubricante.

Las chumaceras pueden clasificarse de acuerdo al mecanismo de fluido que establece la capacidad de carga de la película: Las chumaceras hidrodinámicas, llamadas también chumaceras auto accionadas, dependen por completo del movimiento relativo del muñón y la chumacera para establecer presión en la película para soportar la carga. Las chumaceras hidrostáticas, llamadas también chumaceras externamente presurizadas, logran soporte para la carga por medio del suministro de fluido desde una fuente externa de alta presión y no requieren movimiento relativo entre las superficies del muñón y la chumacera. Las chumaceras híbridas se diseñan para usarse tanto con el principio hidrodinámico como con el principio estático para conseguir soporte para la carga entre las superficies de movimiento.

2.1.4.1 Tipos de chumaceras.

Un cojinete puede ser tan simple como un agujero maquinado en un elemento de máquina de fundición. No obstante su simplicidad, requiere procedimientos de diseño detallados, como, por ejemplo, el cojinete ranurado de dos piezas de una biela y lubricado a presión, en un motor de automóvil. O puede ser tan complejo como los cojinetes grandes con lubricación por anillos y enfriados por agua, con depósitos de lubricante integrados, que se emplean en maquinaria pesada.

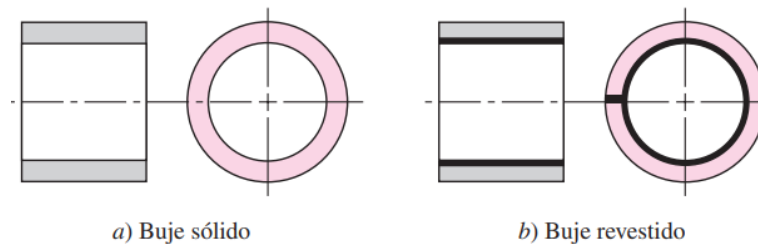


Figura 33. Chumaceras de casquillos.

En la figura 33 hay dos tipos de bujes. El buje sólido está hecho mediante fundición, embutido y maquinado o a través de un proceso de metalurgia de polvos. El buje revestido normalmente es del tipo dividido. En un método de fabricación, el material fundido del revestimiento se vacía de manera constante sobre una tira delgada de acero continua. Luego se recubre con metal babbitt y se procesa con el empleo de prensas, talladoras y escariadoras, lo que da como resultado un buje revestido. Se puede cortar (maquinar) cualquier tipo de ranura en los bujes. Los bujes se ensamblan con ajuste a presión y se terminan por medio de rectificado, escariado o bruñido.

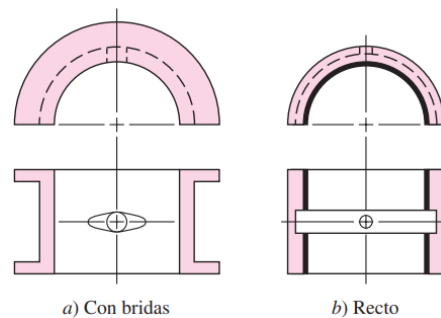


Figura 34. Chumaceras de dos piezas.

En la figura 52 se muestran cojinetes bridados y rectos de dos piezas; están disponibles en muchos tamaños, tanto de pared gruesa como de pared delgada, con o sin material de revestimiento. Un pasador de traba ubica el cojinete y previene su movimiento axial o rotacional en el alojamiento.

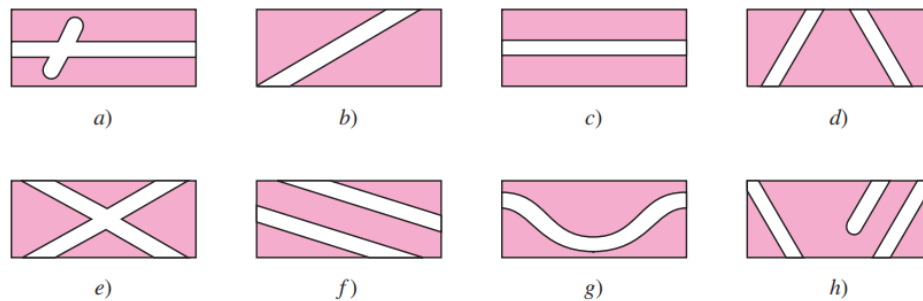


Figura 35. Vistas desarrolladas de patrones característicos de ranuras de lubricación.

En la figura 53 se ilustran algunos patrones de ranuras comunes. En general, el lubricante se introduce desde el extremo del buje, a través del árbol o de la chumacera. El flujo será intermitente o continuo. La práctica preferida consiste en introducir el aceite en el centro de la chumacera, de tal forma que fluya hacia ambos extremos, lo cual incrementa el flujo y la acción de enfriamiento.

2.1.5 Configuración de la chumacera.

Existe una amplia variedad de configuraciones a disposición de diseñador la figura 54 muestra varias de estas chumaceras. Las configuraciones varían desde las chumaceras muy simples hasta la muy complicada chumacera de almohadillas oscilante.

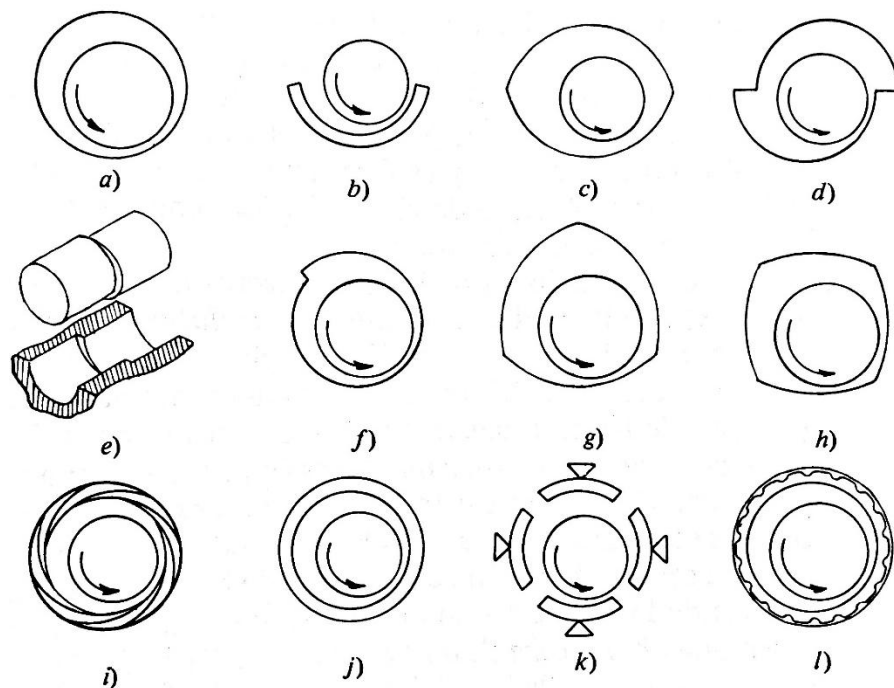


Figura 36. Configuración de la chumacera.

La elección de la configuración de la chumacera depende de varios factores. Entre los más importantes están el costo, la carga, la pérdida de potencia, las propiedades dinámicas, la facilidad de construcción y la dificultad de la instalación.

Las chumaceras se denominan chumaceras completas (Fig 54 a). Cuando la superficie de la chumacera rodea por completo al muñón. Debido a que son fáciles de hacer y no cuestan mucho, las chumaceras completas son las mas comúnmente usadas en maquinaria rotatoria. Las chumaceras completas llegan a distorsionarse durante la instalación y por ello resultan que no son completamente circulares.

Las chumaceras llamadas chumaceras parciales cuando la superficie de las mismas se extiende solo a lo largo de un segmento de la circunferencia, generalmente 180° o menos (fig. 54 b). Las chumaceras parciales se usan en situaciones en las que la carga es principalmente unidireccional. Se ha encontrado que las chumaceras parciales reducen el par de fricción sobre el muñón y proporcionan una conveniente accesibilidad y además no requieren, en muchas circunstancias, una tolerancia estricta de fabricación. Las chumaceras parciales en las que el radio de la chumacera excede el radio del muñón son llamadas chumaceras con holgura, mientras que las chumaceras parciales en las que los radios de la chumacera y el muñón son llamadas chumaceras con holgura, mientras que las chumaceras parciales en las que los radios de las chumaceras y el muñón son iguales se denominan chumaceras ajustadas.

Las configuraciones en las que se emplean dos sectores circulares son llamadas chumaceras elípticas o de limón (Figura 54 c). Estas no son realmente elípticas del todo pero se fabrican uniendo dos mitades de una chumacera circular que hubiese tenido sus caras correlativas maquinadas en forma tal que la chumacera tiene una apariencia aproximadamente elíptica. Las chumaceras de limón son probablemente el tipo de chumacera que se utiliza más a velocidades bajas y moderadas. Son utilizadas de manera muy extensa en turbinas.

Las chumaceras elípticas en las que las dos mitades cilíndricas se desplazan lateralmente a lo largo del eje mayor son llamadas chumaceras descentradas (Figura 54 d). Cuando la mitad superior de la chumacera se desplaza horizontalmente en la dirección de rotación, la chumacera tiene un preajuste negativo. Se ha encontrado que la capacidad de carga aumenta con el preajuste. Las chumaceras descentradas tienen una rigidez horizontal relativamente alta que ayuda a evitar la inestabilidad dinámica. Más aún las chumaceras descentradas permiten un mayor flujo de lubricante y opera más frías. Se han estudiado mucho los nuevos diseños de chumaceras descentradas para reducir la pérdida de potencia y el desgaste en ciclos de trabajo que combinan carga no reversible con oscilación angular de muñón o en operación constante en contrarrotación del muñón y la chumacera bajo una carga constante. En estas aplicaciones se encuentra que las chumaceras convencionales desarrollan películas de lubricante extremadamente delgadas, las cuales a su vez producen alta fricción y desgaste.

La figura 54 e. muestra una chumacera en la que tanto el muñón como la chumacera se dividen axialmente en segmentos de ejes descentrados. Esta disposición produce un movimiento oscilatorio dinámico que provoca una película de lubricación más gruesa. De acuerdo con el ensamblaje, este juego ha sido denominado chumacera oscilante.

Cuando se maquina un escalón en la superficie de la chumacera (Figura 54 f) la chumacera resultante se llama chumacera de escalón o quicionera. El propósito del escalón es crear presión dinámica adicional en la parte superior del muñón a medida que el lubricante se hace pasar por el escalón. A su vez, esta formación crea presión y aumenta la carga sobre el muñón y en consecuencia disminuye su susceptibilidad a los problemas de vibración. Las chumaceras quicionera son muy populares en la industria petroquímica.

Las configuraciones de las chumaceras que constan de tres o más sectores (Figura 54 g y h) son llamadas de lóbulos o multilobulares. En general, las chumaceras con más de tres lóbulos se usan sólo en aplicaciones de chumaceras lubricadas con gas. Las chumaceras multilobulares actúan como varias chumaceras parciales en serie. El costo de las chumaceras multilobulares se considera moderado.

Las chumaceras de hojas múltiples (Figura 54 i) es una variante de la chumacera multilobular. Consta de cierto número de arcos circulares idénticos, u hojas, cuyos centros están igualmente espaciados alrededor del círculo generador. Las características de operación de una chumacera de hojas múltiples son prácticamente independientes de la dirección de la carga para chumaceras con ocho o más hojas.

En una chumacera de anillo “Flotante” (Figura 54 j) la película lubricante se divide en dos por medio de la adición de un anillo flotante entre el muñón y la chumacera. Las chumaceras de anillo flotante tienen menos pérdidas de fricción y una reducida generación de calor y proporcionan una mejor estabilidad.

Las chumaceras hidrodinámicas se pueden distinguir por el hecho de que la superficie de la chumacera puede pivotar. La ventaja básica de las chumaceras que pivotan o de las almohadillas inclinables (Figura 54 k) Sobre una chumacera de almohadilla fija es que pueden absorber, con poca pérdida de rendimiento, cualquier deflexión o desalineamiento de la flecha.

Una chumacera de hoja (Figura 54 l) consiste en una superficie muy delgada que descansa en la parte superior de una serie de corrugaciones. Cuando se la compara con una chumacera convencional de gas, la chumacera de hoja tiene una película más gruesa, mayor capacidad de carga, menor pérdida de potencia, mejor estabilidad, y una durabilidad superior a altas temperaturas de operación.

2.1.5.1 Formas del muñón.

Aunque se supone generalmente que el muñón es perfectamente circular, los efectos de desgaste o una manufactura defectuosa pueden conducir a tener muñones con formas como las muestra en la figura 38 a, b y c. Además, se ha investigado la posibilidad de desarrollar presión por ranuramiento de la superficie del muñón. Tres modelos ranurados que se encontró que producen buenas características de estabilidad se muestran en las figuras 37 d, e y f.

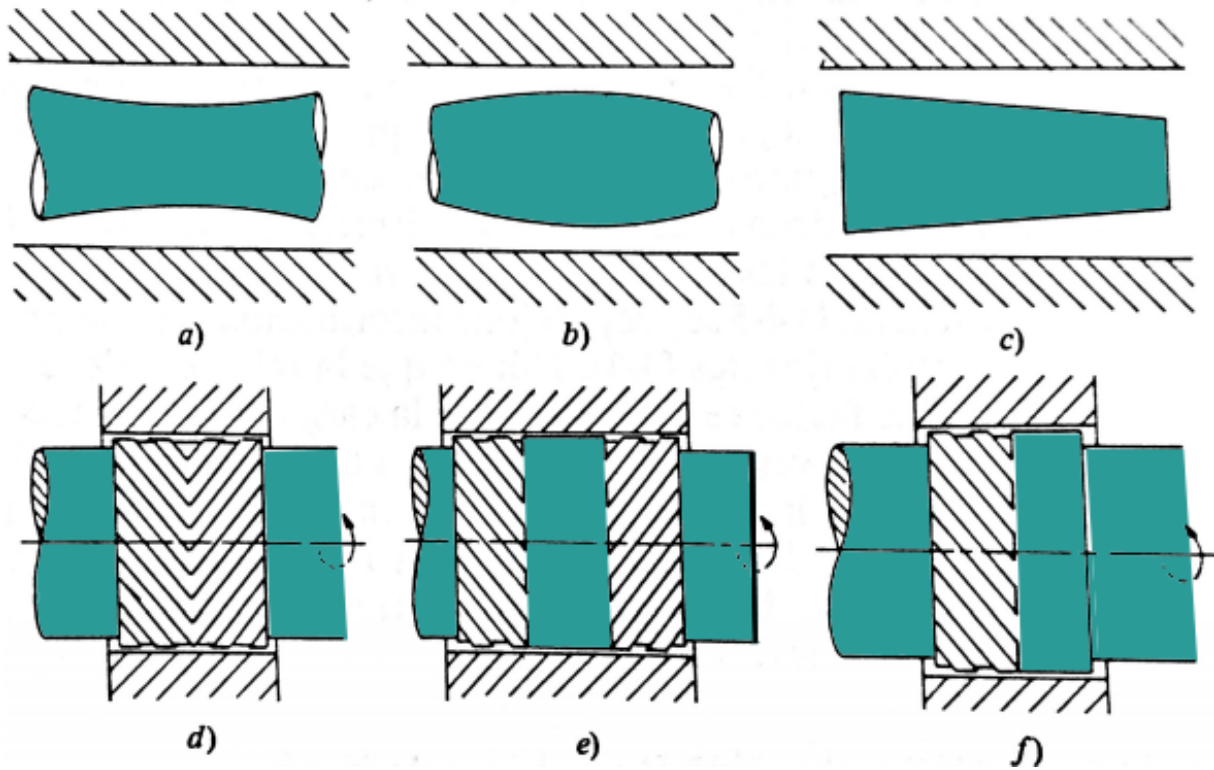


Figura 37. Formas de muñón. a) Hourglass; b) Barril; c) Tronco cónico; d) De espina de pescado; e) De patrón simétrico parcialmente ranurado; f) De patrón asimétrico parcialmente ranurado.

2.1.6 Ecuación de presión para una película lubricante.

2.1.6.1 Ecuación de Reynolds

La ecuación diferencial que gobierna la presión en una película de lubricante se llama ecuación de Reynolds. Una vez que se tiene a la mano su solución se puede evaluar el rendimiento de la chumacera.

Para desarrollar la ecuación de Reynolds, considérese una porción de la película de fluido de una chumacera (Figura 50). En general, existen tres componentes de velocidad en la película; u , v y w . Existen tres ecuaciones de movimiento (Ecuaciones de cantidad de movimiento o momentum), para cada dirección de coordenada.

El conjunto es conocido como ecuaciones de Navier-Stokes, y cada ecuación puede escribirse en la siguiente forma:

$$\text{Fuerzas de inercia} = \text{Fuerzas de presión} + \text{Fuerzas de cuerpo} + \text{fuerzas viscosas} \quad (1)$$

La ecuación de Navier-Stokes en su forma completa están implicadas en una solución analítica. Ellas, sin embargo, se reducen, y subsecuentemente se resuelven haciendo varias simplificaciones por suposiciones pertinentes.

1. El flujo es laminar
2. Las fuerzas de inercia y de cuerpo son pequeñas comparadas con la presión y las fueras viscosas.
3. La curvatura de la película es despreciable; las superficies de la chumacera son por lo tanto, casi paralelas.
4. La variación de presión a través de la película dp/dy es tan pequeña que se puede despreciar.
5. La componente de velocidad transversal a través de la película, v , es tan pequeña en comparación con las otras componentes de velocidad.
6. Los gradientes de velocidad a través de la película dominan a todos los otros gradientes de velocidad.

La aplicación de estas suposiciones a las versiones matemáticas de la ecuación 27, y a una versión integrada de la conservación de la masa (la ecuación de la continuidad), da la ecuación de Reynolds para una chumacera lubricada con líquido:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6(U_b + U_j) \frac{\partial h}{\partial x} + 6h \frac{\partial (U_b + U_j)}{\partial x} + 12 \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

El primer agrupamiento del lado derecho de la ecuación (28) se llama con el término de cuña y debe ser negativo para generar presiones positivas. El tercer término de la derecha es llamado término de aplastamiento, y generará presiones positivas cuando $\frac{\partial h}{\partial t} < 0$. El término aplastamiento se desvanece para una chumacera con carga constante. Tanto el 'termino de cuña como el de aplastamiento se desvanecen para el caso meramente hidrostático. Si la superficie de la chumacera es fija ($U_b = 0$) si la flecha está girando a una velocidad ω (esto

es, $U_j = U = R \omega$), y si la viscosidad del lubricante es constante, entonces la ecuación (28) se puede escribir como:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6\mu\omega \frac{\partial h}{\partial x} + 6\mu h \frac{\partial(U)}{\partial x} + 12 \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3)$$

Con propósito de comparación, es útil volver a calcular la versión constante de la ecuación (2) en una forma no dimensional. Esto se puede logra definiendo las siguientes variables no dimensionales:

$$\theta = \frac{x}{R} \quad \xi = \frac{z}{L} \quad H = \frac{h}{C}$$

$$\dot{P} = \frac{p}{6\mu \left(\frac{U}{R} \right)} \left(\frac{C}{R} \right)^2 = \frac{p}{6\mu\omega} \left(\frac{C}{R} \right)^2$$

También, puesto que $\omega = 2\pi N$,

$$\dot{P} = \frac{p}{12\mu\pi N} \left(\frac{C}{R} \right)^2$$

Sustituyendo estas variables en la ecuación (29) nos da

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \left(H^3 \frac{\partial \dot{P}}{\partial \theta} \right) + \left(\frac{D}{L} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \xi} \left(H^3 \frac{\partial \dot{P}}{\partial \xi} \right) = \frac{\partial H}{\partial \theta} \quad (4)$$

Esta ecuación se puede interpretar como:

Flujo de presión circunferencial + flujo de presión axial = flujo cortante.

2.1.6.2 Chumaceras lubricadas con líquido

En la operación hidrodinámica de una chumacera lubricada con líquido, generalmente se supone que el lubricante se comporta como un fluido continuo e incompresible. Sin embargo, a no ser que el lubricante sea admitido en la chumacera con una carga hidrostática relativamente alta, la película de líquido puede sufrir vaporización periódica que puede originar la ruptura de la película y formar bolsillas inestables, o cavidades, dentro de la misma. A esta disrupción de la película se le llama cavitación y ocurre cuando la presión dentro la chumacera cae a la presión de vapor del lubricante. Las chumaceras lubricadas por una capa delgada de líquido son especialmente susceptibles a este problema. La figura 56 ilustra la condición general de la película en la que el lubricante es admitido a través de una ranura de lubricación en alguna posición angular θ . Las películas claramente incompletas dificultan el análisis, y por lo mismo el diseño, de una chumacera lubricada con líquido.

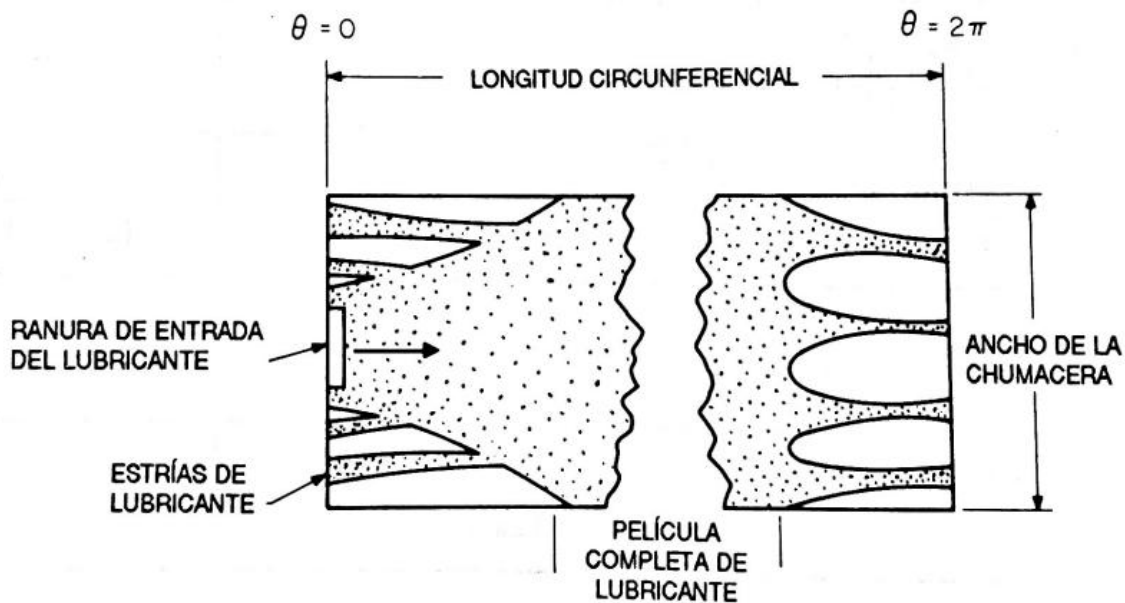


Figura 38. Diagrama de una película de fluido incompleta.

2.1.7 Mantenimiento industrial.

Gestión del mantenimiento industrial.

El Mantenimiento en una empresa de acuerdo con Porter (1985) es la parte activa de las operaciones de la empresa, teniendo una vital importancia dentro de esta al igual que otras áreas como: producción, recursos humanos, calidad, ventas, mercadotecnia, finanzas, etc. Sin un adecuado mantenimiento se ve mermado el crecimiento del negocio, reflejado en otras áreas.

Hoy en día, la empresa ya no es vista como un edificio con divisiones internas que separan las actividades de cada área, sino como un todo en constante movimiento que forma parte de una cadena productiva, conformada por participantes internos y externos enfocados hacia el objetivo de satisfacer al cliente, entregando productos y servicios de calidad en el menor tiempo y a un bajo costo. Al analizar el comportamiento de la producción y los problemas que se generan en los procesos y sistemas, se llegan a encontrar administraciones deficientes, conflictos entre las diversas áreas administrativas y productivas y en muchas ocasiones cuellos de botella en las líneas productivas.

Como resultado aparecen efectos negativos relacionados con las variables que afectan directamente el desempeño de la empresa.

- La Eficiencia en el proceso de producción.
- Los Costos de producción.
- La Calidad del producto y el ritmo de trabajo.
- La Confiabilidad de la empresa (cumplimiento de contratos).

Estas variables están relacionadas directamente con las actividades de operaciones. Por ello dentro de las operaciones y los objetivos principales del mantenimiento busca cumplir con.

- Optimizar la disponibilidad del equipo productivo y Recursos humanos.
- Disminuir los Costos de mantenimiento.
- Maximización de la Vida útil de los activos.

La gestión mantenimiento es un proceso sistemático donde se deben planear acciones ayudadas por procedimientos que lleven una secuencia lógica a fin de conseguir confiabilidad y disponibilidad de los objetos a mantener. A partir de esto el objetivo fue implantar en procesos productivos las nuevas tendencias de mantenimiento partiendo del Mantenimiento Productivo Total y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, que en proceso de optimización se obtiene el Mantenimiento Clase Mundial. La gestión mantenimiento dentro de cualquier organización debe permitir la retroalimentación o evaluación de esta, ya que partiendo de esto se puede concebir medidas para el mejoramiento continuo, además ayuda a optimizar los recursos y reduce costos por paradas no programadas, factor que afecta en gran medida la productividad.

“El gerenciar el mantenimiento es una labor compleja, donde los resultados se ven reflejados en la calidad de los trabajos” . El recurso humano juega un papel importante en el mantenimiento, es por ello que hay que capacitarlos de forma que se sientan comprometidos e involucrados con la finalidad de ser consistentes, contundentes y en la mayor parte, efectivos. Ante la realidad de los parques industriales así como la cultura y la razón de ser de

las organizaciones, se hace necesario que a partir de las nuevas tendencias tal como lo son el mantenimiento productivo total, el mantenimiento centrado en confiabilidad y el mantenimiento clase mundial que han surgido y han abarcado el mundo.

Conocimiento de la organización mantenimiento.

Una vez conocido el sistema productivo se debe ir al área objeto de estudio para comenzar a visualizar la situación en la que se encuentra inmersa, es de preferencia realizar diagnósticos cualitativos y cuantitativos, con el fin de conocer y corregir los problemas concernientes a la función mantenimiento, permitiendo descubrir las actividades que aún no han sido desarrolladas eficazmente. Este diagnóstico servirá como referencia para el mejoramiento de la situación actual.

Desagregación de los objetos.

Los objetos o sistemas se encuentran constituidos por partes que permiten su funcionamiento, es así como además de conocer la cantidad de objetos existentes se debe profundizar más para que se pueda realizar el mantenimiento de forma detallada y completa al todo, ya que si falla una de sus partes se puede paralizar completamente o trabajar de forma deficiente, siendo esta la razón principal de realizar la desagregación de los equipos. Esta información permite una adecuada logística de materiales, ya que si se conocen las partes a utilizar con sus características, más fácil será su localización.

Sistema de Codificación.

Una vez levantada la información del inventario e identificada cada una de las partes que componen el todo de un objeto, se deben codificar los equipos y sus componentes y no solo de estos, sino también las herramientas, equipos, instrumentos, materiales y repuestos, a fin de facilitar su ubicación dentro del sistema productivo. Una forma sencilla es, desglosar el código de acuerdo a. planta, proceso, línea de producción, equipo, subsistema y componente. Se debe diseñar un sistema con un lenguaje sencillo, que permita identificar a los objetos de forma clara y rápida. Este código puede ser una combinación alfanumérica.

Registro de Información Técnica.

Una vez obtenido el inventario y la codificación se debe a registrar la información técnica de los objetos. En el registro detallado se deben resaltar las características más importantes de dicho objeto a fin de tener un mayor conocimiento para facilitar su ubicación ante la presencia de fallas o acciones de mantenimiento.

Índice de Instrucciones Técnicas.

Cada uno de los objetos inventariados, codificados y registrados debe poseer una serie de instrucciones técnicas de mantenimiento que pueden ser de mantenimiento rutinario y/o programado. Existen dos tipos de fichas de Instrucciones técnicas, una donde se listan todas las instrucciones técnicas para todos los equipos, destacándose que estas instrucciones deben ser generalizadas para que puedan ser utilizadas por más de un objeto y la otra es la lista de instrucciones técnicas para cada uno de los equipos.

Equilibrio de la Programación.

Una vez obtenida la información anterior se procede a efectuar la programación del mantenimiento rutinario, programado y/o circunstancial. El objetivo de la programación de mantenimiento es el de señalar la periodicidad de la realización de las instrucciones técnicas. En el mantenimiento programado los programas abarcan periodos de un año, en el rutinario hasta semanales y en circunstancial como no se tiene una fecha fija de arranque se debe hacer el programa para un ciclo de funcionamiento. Para realizar el equilibrio de la programación se debe calcular la semana básica en la cual se comienzan a ejecutar las instrucciones técnicas para el mantenimiento de los equipos y a partir de allí equilibrar todas las instrucciones técnicas de todos los objetos. La forma de realizar este paso del modelo puede depender de cada proceso, en esta investigación se utilizó una técnica creada por los autores.

Cuantificación de Personal.

Una vez obtenida la programación de las actividades de mantenimientos y de los diferentes chequeos se tienen los datos necesarios para cuantificar el personal necesario para ejecutar las acciones de mantenimiento mediante parámetros matemáticos establecidos al igual que para el punto anterior. La forma de realizar este paso del modelo puede depender de cada proceso, en esta investigación se utilizó una técnica creada por los autores.

Chequeos de Mantenimiento Rutinario.

Estos chequeos deben ser realizados por el personal de la Organización de Mantenimiento, así esta asegura que las instrucciones asignadas sean cumplidas a cabalidad con el fin de lograr la optimización de funcionamiento del sistema productivo y de los objetos a través de la inspección de los componentes de estos, logrando de esta manera la reducción de paradas, mantener y alargar la vida útil de los objetos.

Recorridos de Inspección.

Se efectuarán recorridos de inspección de los equipos a fin de registrar cualquier falla que no haya sido detectada y verificar que las acciones se están ejecutando según lo programado. El recorrido de inspección debe ser realizado por la Organización de Mantenimiento ya sea trimestral o semestral o de acuerdo a las políticas que se tengan en el sistema productivo.

Detección, Reporte y Registro de averías.

A pesar de que se ejecuten el mantenimiento rutinario y el mantenimiento programado se pueden presentar hechos fortuitos donde cualquier objeto del sistema productivo presenten averías por lo tanto se debe llevar un registro semanal de fallas a fin de tomar las acciones a ejecutar para subsanar la falla, este procedimiento se debe realizar semanalmente y sirve para controlar y priorizar la ejecución de las acciones de mantenimiento.

Orden de Trabajo para Mantenimiento por Averías.

Cuando se presenta una avería se debe proceder a realizar la reparación que se necesita para colocar el equipo nuevamente en funcionamiento, para ello se debe emitir una orden de trabajo para Mantenimiento por Avería, la emisión de órdenes de trabajo representa la base

más importante para el historial de fallas de los objetos de mantenimiento ya que en el mismo se registra información acerca del tipo y causa de la falla, materiales, repuestos, herramientas, instrumentos, equipos y horas hombre a utilizar para la realización de la acción de mantenimiento.

Salida de Materiales, Repuestos, Equipos, Instrumentos y Herramientas.

En la emisión de órdenes de trabajo se hace la solicitud de Materiales y/o repuestos necesarios para la corrección de la falla presentada, estos materiales son solicitados al almacén de materiales, repuestos, equipos, Instrumentos y Herramientas de mantenimiento o del sistema productivo.

Tipos de mantenimiento.

La importancia del mantenimiento industrial radica en la necesidad que tienen las empresas de conservar todas sus máquinas e instalaciones trabajando continua y eficientemente. Existen diferentes maneras de implementar el mantenimiento, una es el mantenimiento correctivo dedicado a la reparación de los equipos en el momento en que fallan; otra, es el mantenimiento preventivo encargado de detectar daños en los equipos antes de que estos dejen de funcionar y detengan el proceso de producción y por último el mantenimiento predictivo el cual es un tipo de mantenimiento establecido para no afectar la producción con técnicas no invasivas para detectar posibles fallos en la maquinaria. Las grandes industrias, conscientes de las pérdidas que se producen cuando una la máquina se descompone e interrumpe su producción, destinan una buena parte de su presupuesto en actividades de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo posee una herramienta básica muy importante el mantenimiento predictivo. Este mantenimiento realiza un seguimiento de cada una de las variables relacionadas con el funcionamiento de las máquinas para poder predecir posibles fallas y tomar las acciones correctivas más apropiadas en el momento oportuno. A pesar del alto costo que implica el desarrollo del mantenimiento predictivo, hoy en día es el tipo de mantenimiento más implementado en las industrias gracias a la ventaja que posee de poder mostrar en cualquier instante de tiempo el estado general de cada una de las máquinas de la planta permitiendo controlar su óptimo funcionamiento.

Mantenimiento correctivo.

Es la acción de carácter puntual a raíz del uso, agotamiento de la vida útil u otros factores externos, de componentes, partes, piezas, materiales y en general, de elementos que constituyen la infraestructura o planta física, permitiendo su recuperación, restauración o renovación, sin agregarle valor al establecimiento. Se establece como la primera implementación del mantenimiento, debido a que sin ningún tipo de estudio se fue realizando a medida que surgía la necesidad de reparar piezas de las maquinas que presentaban el fallo. Al principio se conocía como el primer avance en mantenimiento debido a que así la maquina fallará no se iba a desechar inmediatamente, se pretendía arreglar el fallo, es por esto que fue la primera implementación, que mucho tiempo después tendría evolución, debido a que se

fue observando como este tipo de mantenimiento producían pérdidas en las empresas, esperar hasta que se presentará el fallo no era la mejor opción, debido a que se veía afectada la producción directamente, por paros de la maquinaria que generaba no entregas a tiempo, pérdida de recursos tanto tangibles como intangibles pero que en su momento fue el desarrollo para las empresas designar a las personas que se encargaría de arreglar los fallos de las maquinas

Mantenimiento preventivo.

Serie de intervenciones que se le realizan a la máquina de forma periódica con el fin de optimizar su funcionamiento y evitar paros de la maquinaria, el mantenimiento preventivo se aplica fundamentalmente para impedir, mediante la adecuada planificación y programación de las intervenciones periódicas que se harán, las fallas previstas en equipos, sistemas e instalaciones, que transforman ya sea el proceso productivo o el desempeño normal del elemento dañado. Este tipo de mantenimiento, a diferencia del correctivo, tiende a conservar en las mejores condiciones las instalaciones, los equipos, los sistemas, la maquinaria, y cualquier otro elemento que esté sometido a él. El mantenimiento preventivo se hace mediante un programa de actividades (revisiones y lubricación), con el fin de anticipar a las posibles fallas en el equipo. Se tiene en cuenta cuales actividades se deben realizar sobre el equipo en marcha o cuando esté detenido.

Mantenimiento predictivo.

Consiste en efectuar una serie de mediciones o ensayos no destructivos con equipos sofisticados a todas aquellas partes de la maquinaria susceptibles de deterioro, pudiendo con ello anticiparse a la falla catastrófica. La mayoría de estas mediciones se efectúan con el equipo en marcha y sin interrumpir la producción. Debido a que cada día la producción cada día es mayor, se implementa un tipo de mantenimiento en el cual no se vea afectada de ningún modo la producción, es por esto que se establece una nueva manera de desarrollar el mantenimiento en las industrias y es el mantenimiento predictivo, el cual sin invadir la maquinaria que se está evaluando, prevé el fallo de la maquinaria, mediante el seguimiento del funcionamiento de la maquinaria, cuando se presenta algún tipo de cambio o variación en dicha máquina se entra a evaluar con el fin de evitar el fallo, basado en las condiciones de los equipos.

CAPÍTULO III.

DESARROLLO

3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.

Las actividades realizadas durante el periodo de las prácticas profesionales que se llevaron a cabo tomando en cuenta todas las actividades del proyecto fueron:

- Familiarización con el área de mantenimiento mecánico
- Elección del proyecto a realizar.
- Lectura de manuales y procedimientos de las bombas centrífugas verticales
- Obtención de información acerca de los materiales usados en las chumaceras anteriormente
- Capacitación del uso del equipo de protección personal
- Obtención de equipos de protección personal.
- Revisión documental del material nuevo para las chumaceras
- Recorrido para conocer el área donde se realizará la actividad
- Preparativos para el cambio de bomba
- Coordinación para realizar la actividad del cambio de bomba
- Retiro de la bomba de su posición funcional
- Inspección de partes de la bomba retirada
- Inspección de partes de la bomba de reserva
- Colocación de la bomba de reserva con las nuevas chumaceras
- Medición de los parámetros de la nueva bomba
- Análisis de resultados.

3.1.1 Análisis general de los materiales para chumaceras.

El análisis que se presenta a continuación es de una manera general para conocer ciertas propiedades tanto físicas como químicas con las que cuentan los materiales para la fabricación de las chumaceras, y también para tener en cuenta muchas de las situaciones a las cuales son empleadas dichas chumaceras, en el caso del presente proyecto que es tener en cuenta la comparación de chumaceras de distintos materiales ya que ya se han utilizado, y se buscan obtener mejores opciones para futuras aplicaciones en los elementos de máquinas de la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde.

Materiales para chumaceras.

El material ideal para chumaceras tendría las siguientes características:

1. Alta resistencia a la compresión para soportar la carga radial aplicada.
2. Alta resistencia a la fatiga para resistir los cambios cíclicos en la dirección y/o la intensidad de carga.
3. La compatibilidad con el material del muñón para evitar el escoriamiento superficial y el agarre de la chumacera cuando las superficies del muñón y la chumacera entran en contacto (por ejemplo, durante el arranque).
4. La inscrustabilidad para permitir que las partículas extrañas en el lubricante penetren en la superficie de la chumacera y evitar con ello el escoriamiento y el desgaste
5. Conformabilidad de la superficie para tolerar el desalineamiento, la deflexión o las imprecisiones de la manufactura del muñón.
6. Alta resistencia a la corrosión para soportar el ataque químico del lubricante.
7. Alta conductividad térmica para evitar que el calor generado sea alejado de la película lubricante.
8. Coeficiente apropiado de expansión térmica para evitar las diferentes de expansión entre el muñón y la chumacera.
9. Desgaste escaso para evitar la destrucción de la superficie, en especial en condiciones de lubricación límite (esto es, lubricación de alta fricción con película delgada) y en consecuencia el alargamiento de la vida de la chumacera.

Además, el material debe ser barato, fácil de conseguir y maquinar. Con seguridad, ningún material simple se ha desarrollado para combinar satisfactoriamente todas las características del material ideal para chumacera. De hecho, algunas de las características son contradictorias. Por ejemplo, los materiales suaves para chumacera generalmente no tienen resistencia suficiente. Para reforzar los materiales suaves para chumaceras, frecuentemente van unidos materiales de respaldo más fuertes. Los forros o capas superpuestas pueden ser fundidos, electrodepositados, rociados, o aplicados químicamente, y tienen espesores que varían de 0.01 a 0.5 in.

En general, los materiales para chumaceras pueden dividirse de una manera en dos grupos: Los metálicos y los no metálicos. El grupo metálico incluye aleaciones de aluminio, babbits (con base estaño, plomo y aluminio), las aleaciones de cobre (latón y bronce), zinc y fierro. El grupo de los materiales no metálicos incluye plásticos, grafitos de carbono, carburos cementados, y otros materiales. Los no metálicos se han usado de manera amplia en casos de autolubricación porque pueden proporcionar baja fricción y escaso desgaste sin la ayuda de un lubricante.

Debido a la amplia diversidad de materiales disponibles para usarse en las chumaceras, es difícil proporcionar tablas que comprendan todas las propiedades relevantes. Los fabricantes y los proveedores de materiales son las mejores fuentes para esa información. De todas formas, algunas propiedades físicas de una cierta variedad de materiales para chumaceras, se presentan en la siguiente tabla 9. Las aplicaciones típicas y algunos comentarios útiles concernientes a algunas aleaciones de chumaceras se muestran en la tabla 10, mientras que la tabla 11 contiene una clasificación numérica de las características de rendimiento de estas aleaciones.

En la tabla 12 se proporciona información general para una variedad de materiales autolubricantes. Nótese que la tabla contiene valores máximos del factor PV Este factor es el producto de la carga en la chumacera por unidad de área proyectada y la velocidad de deslizamiento (o sea, la velocidad en revoluciones por minuto por la circunferencia de la chumacera). El parámetro PV proporciona una indicación del desgaste del material y la generación interna de calor. La falla en las chumaceras autolubricadas es, con frecuencia, el resultado directo del sobrecalentamiento interior.

Tabla 9. Propiedades físicas de los materiales de chumaceras.

Material	Dureza HB	Resistencia a la tensión kpsi	Módulo de elasticidad Mpsi	Conductividad térmica, Btu/(h*ft*°F)	Coefficiente de expansión µin/(in*°F)	Densidad lbm/ft ³
Metales						
Babbitt de base plomo	21	10	4.2	14	14	630
Babbitt de base estaño	25	11	7.6	32	13	462
Plomo con base de cobre	25	8	7.6	170	11	562
Plata	25	23	11	238	10.9	655
Cadmio	35	...	8	53	16.6	537
Aleación de aluminio	45	22	10.3	119	13.5	181

Bronce al plomo	60	34	14	27	9.9	555
Bronce al estaño	70	45	16	29	10	549
Acero	150	75	30	29	6.4	487
Hierro fundido	180	35	23	30	5.7	449
Metales porosos.						
Bronce	40	18	...	17	10.5	399
Hierro	50	25	...	16	6.7	381
Aluminio	H55*	15	...	...	...	144
Plásticos						
TFE	D60**	3	.06	.1	55	137
Nylon	M79*	11	.41	.14	55	71
Fenólicos	M100	10	.5	.21	12	85
Acetatos	M94	10	.41	.12	45	89
Policarbonatos	M70	8.5	.32	.11	70	75
Polimídicos llenos	E99*	7.5	...	.44	22	89
Otros no metálicos						
Hule	...	...	...	0.09	43	75
Madera	...	1.1	1.8	0.11	2.7	42
Grafito de carbono	75 ψ	2	2	10	1.5	106
Carburo de tungsteno cementado	A91*	130	81	40	3.3	886
Óxido de aluminio fundido.	A85	30	50	1.6	8.2	243
*Rockwell **Durómetro Shore ψ Escleroscopio Shore.						

Tabla 10. Aplicaciones de materiales en aleaciones para chumaceras.

Material	Composición nominal, % por peso	Aplicaciones y observaciones.
Aluminio, bajo estaño	Al 92 Sn 8	El estaño se agrega para mejorar la compatibilidad; demasiado estaño reduce la resistencia. Tiene problemas de expansión térmica en alojamientos de acero. Requiere muñones duros. Bueno a altas temperaturas. Usado en motores diésel y compresores.
Aluminio, alto estaño	Al 80 Sn 20	Producido por trabajo especial y proceso de recocido para que el contenido de estaño no reduzca en grande la resistencia. Usado en motores automotrices (cigüeñales) y en equipo de aviones.
Babbitt, con base de estaño	Sn 84 Cu 8 Sb 8	La resistencia a la fatiga disminuye a medida que aumenta el espesor. Baja capacidad de carga y en consecuencia va unido a uno (bimetal) o dos (trimetal) metales de respaldo. Bueno en casos de suciedad abundante y motores.
Babbitt, con base plomo	Pb 75 Sn 10 Sb 15	Si el antimonio (Sb) es más del 15% puede originar fragilidad. Más barato que el Babbitt con base de estaño. Se usa en chumaceras de cigüeñal, bujes de transmisión y equipo eléctrico.
Bronce al plomo	Cu 70 Pb 25 Sn 5	Bueno para aplicaciones de alta velocidad con carga elevada; puede usarse con muñones suaves. Se usa en forma de bujes en bombas, en muchos artefactos caseros y en carros de ferrocarril.
Bronce al fósforo	Cu 80 Sn 10 Pb 10	Buje popular para una gran diversidad de usos; se agrega el estaño para mejorar la resistencia. Tiene dureza alta; debe usarse con muñones más bien duros. Buena resistencia al impacto; se usa en tornos, bombas y aplicaciones caseras
Plomo al cobre (Fundición)	Cu 75 Pb 25	Plomo en bolsas en una matriz de cobre. El plomo mejora la superficie de apoyo pero tiene problemas de corrosión. Se usa frecuentemente como material de recubrimiento de chumaceras con respaldo de acero. Utilización en aplicaciones en trabajo pesado.
Plomo al cobre (sinterizado)	Cu 75 Pb 25	Usado con frecuencia con una sobrecarga de Babbitt en chumaceras trimetálicas. Ampliamente utilizado en casos de trabajo pesado (alta temperatura y carga elevada)
Plata (depositada en horno)		Usado con frecuencia con sobrecapa de indio al plomo.

Tabla 11. Calificaciones de rendimiento del 5 (alto) a 1 (bajo) para materiales aleados de chumaceras.

Material	Resistencia a la fatiga	Resistencia a la corrosión	Resistencia al agarre	Incrustabilidad	Compatibilidad	Conductividad térmica
Aluminio, estaño bajo	2	4	2	1	1	4
Aluminio, alto estaño	2	4	2	2	2	4
Babbitt con base de estaño	1	5	4	5	4	3
Babbitt con base de plomo	1	3	4	5	4	2
Bronce al plomo	4	2	3	3	2	3
Bronce al fósforo	4	2	3	1	2	3
Plomo al cobre (Fundición)	3	1	3	3	3	4
Plomo al cobre (sinterizado)	3	1	3	3	3	4
Plata (capa por arriba)	5	4	1	1	1	5

Tabla 12. Información general sobre los materiales para chumaceras autolubricantes.

Material	Carga Máxima* Kpsi	Velocidad Máxima, fpm	Factor PV Máximo ** Kpsi*fpm	Coefficiente de fricción	Temperatura crítica, °F	Resistencia la humedad	Resistencia a las sustancias químicas.Ψ
Nylon	1.5	200-400	1	0.1-0.4	400	Aceptable	Buena
Acetal	1.5	200-500	1	0.1-0.4	300	Buena	Buena
Polimídicos	10	1000	0.3	0.1-0.3	600	Buena	Buena
Fenólicos	4	1000	0.1	0.9-1.1	300-400	Buena	Buena
Nylon relleno	2	200-400	1	0.1-0.4	400	Aceptable	Buena
Relleno de PTFE acético	1.8	800	2.5	0.05-0.15	300	Buena	Buena
Polimídico de relleno	10	1000	6	0.1-0.3	600	Buena	Buena
Fenólico reforzados	4-5	200	4	0.1-0.4	300-400	Buena	Buena
PTFE Rellenado	1	500-1000	5-20	0.05-0.25	500	Excelente	Excelente
PTFE	100	50	1-10	0.05-0.25		exclente	Excelente
*Carga en el área proyectada a velocidad cero, ** Para servicio continuo Ψ En la superficie de apoyo de la chumacera.							

Criterio de selección del material para chumaceras.

La selección de un material para chumacera invariablemente requiere una concesión basa en las características particulares consideradas por el diseñador como de importancia principal en la aplicación concreta. DeGee ha desarrollado un aproximación metódica para selecciona un material para chumaceras lubricada. En este método ciertos criterios se identifican dentro de grupos de propiedades mayores. La tabla 13 contiene ese listado.

No todos los criterios presentados en la tabla 13 necesitan tomarse en cuenta. Por ejemplo, en una utilización particular las condiciones ambientales pueden no ser pertinentes debido a que las chumaceras trabajan en un ambiente limpio, de temperatura moderada y no son parte de máquinas eléctricas.

Después de que se ha establecido una lista de criterios, cada criterio componente de las lista se compara con todos los otros, y se asigna una calificación desde 0 si no existe se compara con todos los otros, y se asigna una calificación desde 0 si no existe diferencia en los criterios, a 3 si existen grandes diferencias. Por ejemplo, la resistencia a la fatiga (A2), pero recibir 3

cuando se compara con la conductividad térmica (B1), y así sucesivamente. Cuando todos los criterios establecidos se haya comparado uno con otro y se les hay asignado calificaciones o marcas de graduación, se suman tales marcas o calificaciones y se divide el total de todas la sumas entre cada cantidad, para obtener los factores de peso específico de los criterios que intervienen. La suma de todos los factores de ponderación obviamente es la unidad.

En seguida se dan las calificaciones a los materiales candidatos para los diversos criterios que intervienen. Estas calificaciones varían de 5 (excelente, o alto) a 1 (pobre, o bajo). Por ejemplo, se sabe que los babbitts con base de estaño solamente tienen (2) baja resistencia a la fatiga mientras que tienen una excelente (5) resistencia a la corrosión. La clasificación final de los materiales candidatos se obtiene comparando las sumas de los productos de todos los factores de ponderación de criterios intervinientes así como las calificaciones.

Tabla 13. Criterios de selección de material para chumaceras.

Grupo de propiedades mayores	Criterios de los componentes
A. Mecánicas	1. Resistencia a la compresión 2. Resistencia a la fatiga 3. Conformabilidad (Módulo de elasticidad)
B. Térmicas	1. Conductividad térmica 2. Expansión Térmica
C. Químicas	1. Velocidad de Corrosión
D. De fabricación	1. Costo 2. Maquinabilidad 3. Disponibilidad de material
E. Ambientales	1. Comportamiento en condiciones abrasivas 2. Resistencia contra las picaduras por descarga eléctrica 3. Resistencia a la degradación térmica.
F. Tribológicas	1. Velocidad de desgaste. 2. Coeficiente de fricción 3. Resistencia a la erosión por cavitación.

3.1.2 Bronce (Aleaciones de cobre) como material usado para chumaceras de la bomba TSW. SAE-64, Naval Brass, SAE-40.

3.1.2.1 Bronces en general

El cobre y las aleaciones de cobre se usan extensamente en una variedad de productos que hacen posible y mejoran nuestra vida cotidiana. Tienen excelente conductividad eléctrica y térmica, presentan gran resistencia y Conformabilidad, tienen una resistencia superior a la corrosión y fatiga y por lo general no son magnéticas. Pueden ser fácilmente soldadas y muchas pueden ser unidas mediante diversos métodos de gas, arco y resistencia. Pueden ser pulidos y cepillados hasta lograr casi cualquier textura y reflejo. El cobre en estado puro se usa ampliamente para alambres y cables eléctricos, contactos eléctricos y varias otras piezas por las que debe pasar la corriente eléctrica. El cobre y algunos tipos de latón, bronce y cobre-níquel se usan para radiadores de automóviles, intercambiadores de calor, sistemas de calefacción residencial, colectores solares y varias otras aplicaciones que requieren una conducción rápida del calor a través o a lo largo de una pieza metálica. Debido a su capacidad sobresaliente para soportar la corrosión, los distintos tipos de cobre, latón, bronce y cobre-níquel también se usan para tuberías, válvulas y conexiones en sistemas que transportan agua potable, procesan agua u otros fluidos acuosos y gases industriales.

Originalmente se utilizó el término Bronce a las aleaciones de cobre con estaño, pero hoy en día, este término es utilizado para nombrar cualquier aleación que tenga como elemento principal el cobre. Existe una excepción que son las aleaciones de cobre con zinc, que son conocidas como latones y que poseen hasta un 12% del principal elemento de aleación. Los bronce comerciales principales son aleaciones de cobre con estaño, silicio, aluminio o berilio; además pueden tener fósforo, plomo, níquel o zinc, para brindar diferentes propiedades mecánicas y físicas al material. (Avner, 1988) (Ver figura 57).



Figura 39. Colada de bronce.

3.1.2.2 Conductividad

De todos los metales comunes, el cobre posee la mayor calificación de conductividad eléctrica y térmica. La alta conductividad, unida a su resistencia, conformabilidad y resistencia a la corrosión intrínsecas, hacen que las aleaciones de cobre sean únicas como conductores de electricidad, lo que los hace ideales para su uso en conectores y otros productos eléctricos/electrónicos. Ver figura 58

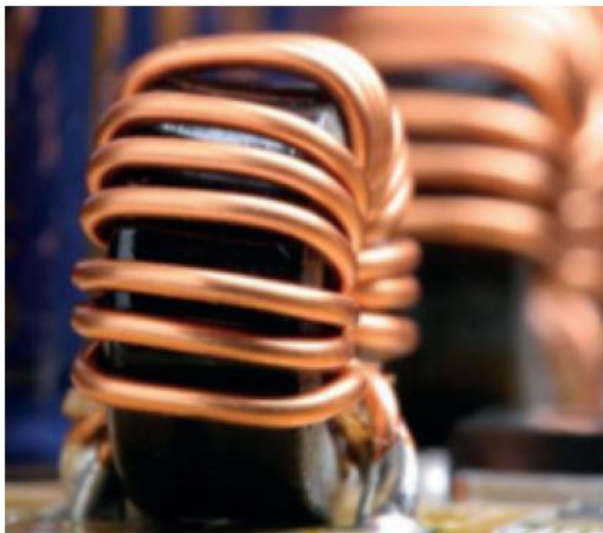


Figura 40. Cobre como conductor eléctrico

3.1.2.3 Resistencia

El cobre es un metal relativamente blando y maleable con excelente conformabilidad, lo que lo hace ideal para aplicaciones arquitectónicas tales como techos, revestimiento de muros, canaletas y canaletas de agua. La adición de otros elementos al cobre lo hace aún más resistente y forma aleaciones de cobre, tales como latón, bronce fosfórico y cobre-níquel. Las aleaciones de cobre poseen propiedades de tracción superiores a algunas aleaciones de aluminio y se acercan a las de los aceros inoxidable, y pueden ser usadas en una multitud de aplicaciones. La miniaturización de los dispositivos y componentes electrónicos se ha beneficiado de esta gran resistencia y conductividad moderada a alta que presentan las aleaciones de cobre especiales.

3.1.2.4 Conformabilidad

La excepcional conformabilidad del cobre se demuestra rápidamente por su capacidad de producir cables del tamaño de un micrón usando un mínimo de recocidos de ablandamiento. En general, las aleaciones de cobre presentan una mayor resistencia proporcional a la cantidad y naturaleza del elemento de aleación. En el latón, bronce, alpaca, cobre-níquel y otras familias de aleación, la resistencia aumenta en proporción a la cantidad de trabajo en frío. La embutición profunda, el forjado, expansión y doblado son métodos comunes usados para dar forma a componentes tales como accesorios de baño y otros productos para el hogar. El latón para cartuchería refleja esa característica de embutición profunda de esa aleación. Los tubos de cobre-níquel se conforman generalmente a partir de láminas y después se instalan a medida como haces de condensador.

3.1.2.5 Unión

El cobre y las aleaciones de cobre pueden unirse fácilmente mediante métodos comunes, como soldadura blanda y fuerte, forja, anclaje, remachado, embutición y unión adhesiva. La instalación de accesorios y piezas de tubería ofrece ejemplos de aplicaciones típicas de soldadura blanda y fuerte. Las técnicas de soldadura se usan normalmente en los tubos soldados de cobre y cobre níquel que se utilizan en los sistemas de distribución de agua, intercambiadores de calor y aparatos de aire acondicionado.

3.1.2.6 Corrosión

El cobre y sus aleaciones se usan ampliamente en muchos ambientes y aplicaciones debido a su excelente resistencia a la corrosión. Las instalaciones y accesorios arquitectónicos de cobre, latón y bronce siguen usándose en ambientes de interior y exterior. Las aleaciones de cobre se corroen a niveles despreciables en el aire y agua no contaminados y ácidos no oxidantes deaereados. Se han descubierto muchos artefactos hechos de aleaciones de cobre en un estado casi perfecto después de haber sido enterrados bajo la superficie durante miles de años. Se ha descubierto que los techos de cobre se corroen a tasas de menos de 0.015 pulgadas (0,4 mm) en 200 años. Las aleaciones de cobre resisten muchas soluciones salinas, alcalinas y de químicos orgánicos. Las aplicaciones típicas del cobre y las aleaciones de cobre que proporcionan un servicio superior incluyen componentes arquitectónicos de interior y exterior, líneas de suministro de agua fresca y tuberías, intercambiadores de calor y condensadores, instalaciones marítimas de agua dulce y salada, equipamiento para plantas de procesamiento químico e industrial, cables y conexiones eléctricas, placas de circuito impresa y productos industriales.

3.1.2.7 Bronces al estaño y bronce al estaño emplomados

Las aleaciones de cobre-estaño se denominan bronce al estaño. Se refieren a los bronce al fósforo, ya que siempre está presente como agente desoxidante en la fundición. (Avner, 1988). Al añadir estaño en una aleación de cobre, lo que se pretende es ir aumentando la resistencia del material, la cual llega a su punto máximo al 20% de Sn. Si se supera este valor, la resistencia se verá afectada y disminuirá. De todas maneras, es difícil llegar a un contenido del 20% de Sn, ya que la solubilidad máxima del mismo en cobre es alrededor del 15% en peso. Los bronce que contienen entre el 9 y el 11% de estaño presentan una gran resistencia mecánica y tenacidad, pero moderada ductilidad. Comparados a los latones, los bronce al estaño son más resistentes a la corrosión y al agrietamiento por corrosión con esfuerzo. (Mangonon, 1999) Como la estabilidad química de los bronce es alta, se utilizan para ser accesorios para tuberías (de vapor, de agua, etc.). Así, pues, las aplicaciones principales de los bronce son para piezas de fundición complejas, para casquillos de cojinetes y para accesorios de tuberías.

En ciertas ocasiones, se utiliza zinc para sustituir una parte del estaño, logrando una mejora en las propiedades y en la tenacidad, casi sin afectar su resistencia al desgaste. (Avner, 1988). Una ventaja de utilizar zinc es un abaratamiento en la producción de bronce industriales. Con el fin de mejorar la maquinabilidad y la resistencia al desgaste de los bronce al estaño, se añade a esta aleación plomo, obteniéndose aleaciones conocidas como bronce al estaño emplomados. El bronce al estaño al alto plomo contiene hasta un 25% de plomo.

Estas aleaciones se utilizan para la producción de bujes y cojinetes que estarán sometidos a cargas ligeras o moderadas. (Avner, 1988) En la producción de bronce al estaño es necesario

evitar la oxidación del estaño en SnO_2 . Si se llega a formar este elemento, aparecerá como manchas en la superficie, debilitando al material y volviéndolo frágil. Por ello es necesario el uso de fósforo, para desoxidar la mezcla al momento de fundir.

El contenido normal de fósforo en los bronce al estaño está entre 0.01 y 0.5%. A parte de evitar la oxidación de estaño, el fósforo mejora las propiedades del material. Este tipo de bronce se caracterizan por una buena tenacidad, alta resistencia a la corrosión y un bajo coeficiente de fricción. Sus usos principales son en diafragmas, arandelas de sujeción, seguros, bujes, discos de embrague y resortes. (Mangonon, 1999).

3.1.2.8 Familias de Aleaciones de Cobre

Las aleaciones de cobre se identifican por el Sistema de Numeración Unificado (Unified Numbering System o UNS) que clasifica las familias de aleaciones según su composición elemental. Los productos forjados van desde UNS C10000 hasta UNS C79999; a los productos fundidos se les asignan números desde UNS C80000 hasta UNS C99999. (Ver Tabla 14)

Tabla 14. Categorías UNS de aleaciones de Cobre

ALEACIÓN	FORJADOS	FUNDIDOS
Cobre	C10100 a C13000	C80100 a C81200
Latón	C20500 a C28580	C83300 a C85800
Latón de Estaño	C40400 a C48600	C83300 a C84800
Bronce - Fósforo	C50100 a C52400	C90200 a C91700
Bronce al Aluminio	C60800 a C64210	C95200 a C95900
Bronce al Silicio	C64700 a C66100	C87000 a C87999
Latón al Silicio Rojo	C69400 a C69710	C87300 a C87900
Cobre - Níquel	C70100 a C72950	C96200 a C96900
Alpaca	C73500 a C79900	C97300 a C97800

En la siguiente tabla se muestra algunas de las aleaciones de cobre con sus composiciones. La cual servirá de ayuda para tomar de ahí las aleaciones usadas para la fabricación de las chumaceras para la bomba TSW, y que tiene como complemento otra tabla más en las que muestra las especificaciones de las propiedades mecánicas de dichos materiales. (Tabla 15)

Tabla 15. Composición Nominal de las aleaciones.

Classification	Copper Alloy UNS No.	Previous Designation	Commercial Designation	Copper	Tin	Lead	Zinc	Nickel	Iron	Alum- inum	Man- ganese	Sili- con	Nio- bium	Bis- muth
Leaded red brass	C83450	...	...	88	2½	2	6½	1	...	...	...	...	...	...
	C83600	B145-4A	85-5-5-5 or No. 1 composition	85	5	5	5	...	...	...	...	...	...	...
	C83800	B145-4B	commercial red brass, 83-4-6-7	83	4	6	7	...	...	...	...	...	...	...
Leaded semi-red brass	C84400	B145-5A	valve composition, 81-3-7-9	81	3	7	9	...	...	...	...	...	...	...
	C84800	B145-5B	semi-red brass, 76-2½-6½-15	76	2½	6½	15	...	...	...	...	...	...	...
Leaded yellow brass	C85200	B146-6A	high-copper yellow brass	72	1	3	24	...	...	...	...	...	...	...
	C85400	B146-6B	commercial No. 1 yellow brass	67	1	3	29	...	...	...	...	...	...	...
	C85700	B146-6C	leaded naval brass	61	1	1	37	...	...	...	...	...	...	...
High-strength yellow brass	C86200	B147-8B	high-strength manganese bronze	63	...	...	27	...	3	4	3	...	...	...
	C86300	B147-8C	high-strength manganese bronze	61	...	...	27	...	3	6	3	...	...	...
	C86400	B147-7A	leaded manganese bronze	58	1	1	38	...	1	½	½	...	...	...
	C86400	B 132-A												
Silicon bronze + silicon brass	C86500	B147-8A	No. 1 manganese bronze	58	...	...	39	...	1	1	1	...	...	...
	C86700	B 132-B	leaded manganese bronze	58	1	1	34	...	2	2	2	...	...	...
	C87300	B198-12A	silicon bronze	95	...	...	...	...	...	...	1	4	...	...
	C87400	B198-13A	silicon brass	82	...	½	14	...	...	...	...	3½	...	...
	C87500	B198-13B	silicon brass	82	...	...	14	...	...	...	...	4	...	...
	C87600	B198-13C	silicon bronze	91	...	...	5	...	...	...	...	4	...	...
	C87610	B198-12A	silicon bronze	92	...	...	4	...	...	...	...	4	...	...
	C87710	...	silicon bronze	86	...	...	10	...	...	...	...	4	...	...
Bismuth selenium brass	C87850 ^A	...	silicon brass	76	...	...	20.9	...	...	...	...	3	...	...
	C89510 ^B	...	sebiloy I	87	5	...	5	...	...	...	...	...	...	1.0
	C89520 ^C	...	sebiloy II	86	5½	...	5	...	...	...	...	...	...	1.9
	C89530 ^D	...		86.5	4.7	...	8.0	...	...	...	...	...	...	1.5
	C89535	...		86.5	3.0	...	7.0	0.65	...	...	...	...	...	1.4
Bismuth red brass	C89833	...	bismuth brass	89	5	...	3	...	...	...	...	...	...	2.2
Bismuth bronze	C89836	...	lead-free bronze	89.5	5.5	...	3.0	...	...	...	...	...	...	2
Bismuth semi-red brass	C89844	...	bismuth brass	84½	4	...	8	...	...	...	...	...	...	3
Tin bronze + leaded tin bronze	C90300	B143-1B	modified "G" bronze, 88-8-0-4	88	8	...	4	...	...	...	...	...	...	...
	C90500	B143-1A	"G" bronze, 88-10-0-2	88	10	...	2	...	...	...	...	...	...	...
	C92200	B143-2A	steam or valve bronze-Navy "M"	88	6	1½	4½	...	...	...	...	...	...	...
	C92210	...	...	88	5	2	4	1	...	...	...	...	...	...
	C92300	B143-2B	87-5-1-4, Navy PC	87	8	1	4	...	...	...	...	...	...	...
	C92600	...	87-10-1-2	87	10	1	2	...	...	...	...	...	...	...
High-lead tin bronze	C93200	B144-3B	83-7-7-3	83	7	7	3	...	...	...	...	...	...	...
	C93500	B144-3C	85-5-9-1	85	5	9	1	...	...	...	...	...	...	...
	C93700	B144-3A	80-10-10	80	10	10	...	...	...	...	...	...	...	...
	C93800	B144-3D	78-7-15	78	7	15	...	...	...	...	...	...	...	...
	C94300	B144-3E	71-5-24	71	5	24	...	...	...	...	...	...	...	...
	C94700	B 292-A	nickel-tin bronze Grade "A"	88	5	...	2	5	...	...	...	...	...	...
Nickel-tin bronze + leaded nickel-tin bronze	C94800	B 292-B	leaded nickel-tin bronze Grade "B"	87	5	1	2	5	...	...	...	...	...	...
	C94900	...	leaded nickel-tin bronze Grade "C"	80	5	5	5	5	...	...	...	...	...	...
	C96800	...	...	82	8	...	...	10	...	...	...	...	0.2	...
	C97300	B149-10A	12 % leaded nickel silver	57	2	9	20	12	...	...	...	...	...	...
Leaded nickel bronze	C97600	B149-11A	20 % leaded nickel silver	64	4	4	8	20	...	...	...	...	...	...
	C97800	B149-11B	25 % leaded nickel silver	66	5	2	2	25	...	...	...	...	...	...

3.1.2.9 El bronce SAE 64 tiene como equivalencia UNS C93700.

Es parte de los bronce especiales y pertenece al grupo de Bronces al Estaño Emplomados. Tiene una designación comercial 80-10-10 por el contenido nominal de los elementos principales que forman la aleación,. Es conocido como Bronce al Estaño de Alto Plomo, por su alto contenido de ambos elementos; o también como Bronce Fosforoso al Plomo.

La composición química de la aleación varía en porcentajes de los elementos principales contenidos según la norma y tienen un rango de aceptación con un mínimo y un máximo de cada uno de ellos y otros elementos de aleación, que le dan las propiedades específicas a este tipo de bronce. Es un bronce con excelentes características físicas para el trabajo pesado. El alto contenido de plomo le permite ser un producto con excelente característica antifricción. El plomo en esta aleación baja el coeficiente de fricción del bronce, permitiendo que el material se desgaste más lentamente. Es por ello que podría soportar sin lubricación por algún tiempo o con lubricante seco. El estaño le brinda una mayor resistencia mecánica al material. Los elementos aleantes juntamente con el cobre, le brindan una alta resistencia a la corrosión y oxidación a las diferentes piezas fabricadas con este material. Todo esto le brinda a esta 14 aleación características físicas primordiales para el trabajo pesado. (Ivan Bohman C.A., 2006). Además, posee una excelente maquinabilidad. (Ver figura 41)



Figura 41. Piezas de bronce SAE 64.

3.1.2.10 El bronce SAE 40 tiene como equivalencia UNS C83600.

Esta aleación pertenece al grupo del bronce al estaño y tiene una designación comercial de 85-5-5-5 de cobre, estaño, plomo, Zinc.

El Bronce UNS C83600 o también llamado SAE 40, es utilizado en una amplia gama de aplicaciones, ya que es una aleación de buena resistencia a la corrosión, el desgaste, la fatiga, y el impacto. Posee una excelente calidad antifriccional, buena conductividad, además de ser resistente al agua de mar. Se trata de un bronce de muy buena presentación.

Su resistencia de tensión es de 2,090 kg/cm² y posee una dureza de 60 – 65 Brinell. (Ver figura 42)

Se emplea en:

- Válvulas para agua y vapor
- Conexiones
- Cuerpos de impulsores para bombas
- Anillos de asientos de válvulas
- Cojinetes de fricción de sollicitación moderada
- Aplicaciones hidráulicas
- Válvulas
- Impulsores para bombas
- Flechas
- Bujes



Figura 42. Bronce SAE 40.

3.1.2.11 El bronce Naval Brass tiene como equivalencia UNS 85700

La aleación C85700 tiene 61% de cobre con 1% de plomo, 1% de estaño y 37% de Zinc. Tiene excelentes características de fundición y mecanizado. La calificación de maquinabilidad es de 80 (Corte de latón = 100). Es adecuado para ser unido por soldadura (buena) y soldadura (buena) pero no es recomendable para soldadura de oxiacetileno o soldadura por arco.

Métodos de fundición recomendados para esta aleación: centrífuga, inversión, yeso y arena.

La aleación no responde a tratamientos térmicos.

Los Latones son aleaciones hechas de cobre y zinc, presentan una buena resistencia y ductilidad y son fácilmente trabajables en frío, propiedades que mejoran con un incremento de zinc hasta el 35%. La coloración del latón va del rojo al amarillo dorado, dependiendo de la cantidad de zinc que contenga la aleación.

Los latones fundidos se usan como accesorios de tubería, elementos metálicos decorativos, molduras arquitectónicas, válvulas de alta y baja presión, engranajes, rodamientos y poseen una buena forjabilidad en caliente.

Los rodamientos de manguitos de bronce con plomo utilizados en esta cargadora de palas (inserto) pueden acomodar lubricantes sucios o contaminados. También sigue funcionando si la lubricación se interrumpe temporalmente. (Ver figura 43)



Figura 43. Bronce Naval Brass en rodamiento de manguito para maquinaria pesada.

En la siguiente tabla se muestran las comparaciones de las anteriores aleaciones de bronce que se han estado utilizando a lo largo del tiempo en las bombas de servicio al edificio de turbina, la intención es mostrar las características de cada aleación y sus propiedades físicas.

Tabla 16. Comparación de las propiedades mecánicas de las aleaciones de bronce usadas en la Bomba TSW.

	Material	Bronce al estaño	Bronce al plomo	Latón alta resistencia (Naval Brass)
Normas actuales y equivalencia	SAE	40	64	
	UNS	C83600	C93700	C85700
	ASTM	B-145-4A	B-144-3A	B-146-6C
Propiedades Mecánicas	Resistencia a la Tracción (Mpa)	207	207	276
	Límite elástico (Mpa)	93	84	97
	Alargamiento %	20	15	15
	Dureza Brinell	62	60	75
	Densidad (Kg/m ³)	8830	8950	8410
	Coeficiente Medio de Exp. Térmica $\mu/^{\circ}\text{C}$ (20-100 $^{\circ}\text{C}$)	18	18.5	20.7
	Conductividad Eléctrica Vol. (%IACS a 20 $^{\circ}\text{C}$)*	15	10	22
	Modulo elástico (Gpa)	96	76	87

*La conductividad eléctrica del cobre puro fue adoptada por la Comisión Electrotécnica Internacional en 1913 como la referencia estándar para esta magnitud, estableciendo el I.A.C.S. o International Annealed Copper Standard (Estándar Internacional del Cobre Recocido). Según esta definición, la conductividad del cobre recocido medida a 20 $^{\circ}\text{C}$ es igual a $58,108 \cdot 10^6$ S/m. A este valor de conductividad se le asigna un índice 100% IACS y la conductividad del resto de los materiales se expresa en porcentaje de IACS.

Como es sabido, el límite elástico, también denominado límite de elasticidad o límite de fluencia, es la tensión máxima a la que puede ser sometida un material sin sufrir deformaciones permanentes, es decir, que al cesar la carga la pieza recupera su dimensión inicial. (Ver figura 44)

Pero si a la pieza se le aplican unos niveles de cargas superiores que superan el límite elástico, entonces el material sufre deformaciones permanentes y ya no recupera su forma original cuando cesan estas cargas. Es entonces cuando el material entra en el régimen plástico hasta alcanzar el punto de rotura o resistencia a la tracción. (Ver figura 45)

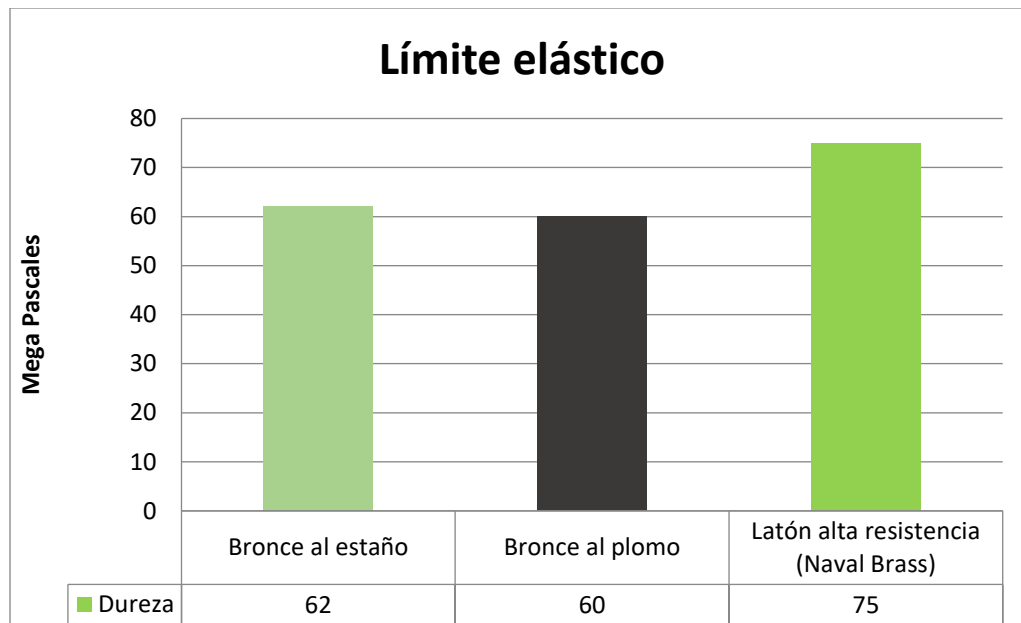


Figura 44. Límite elástico de SAE 64, SAE 40 y Naval Brass.

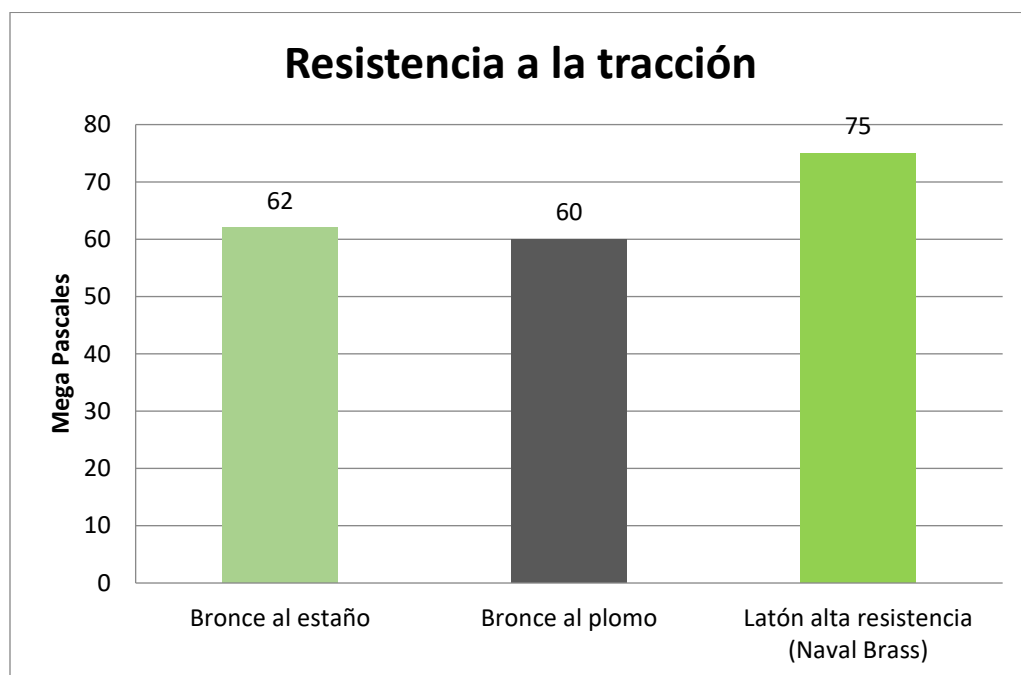


Figura 45. Resistencia a la Tracción para las aleaciones SAE 64, SAE 40 y Naval Brass.

La dureza es una propiedad que mide la capacidad de resistencia que ofrecen los materiales a procesos de abrasión, desgaste, penetración o de rallado. Existen varios métodos para calibrar la dureza de un material, siendo el método Brinell y el método Rockwell los más comunes. (Ver figura 46)

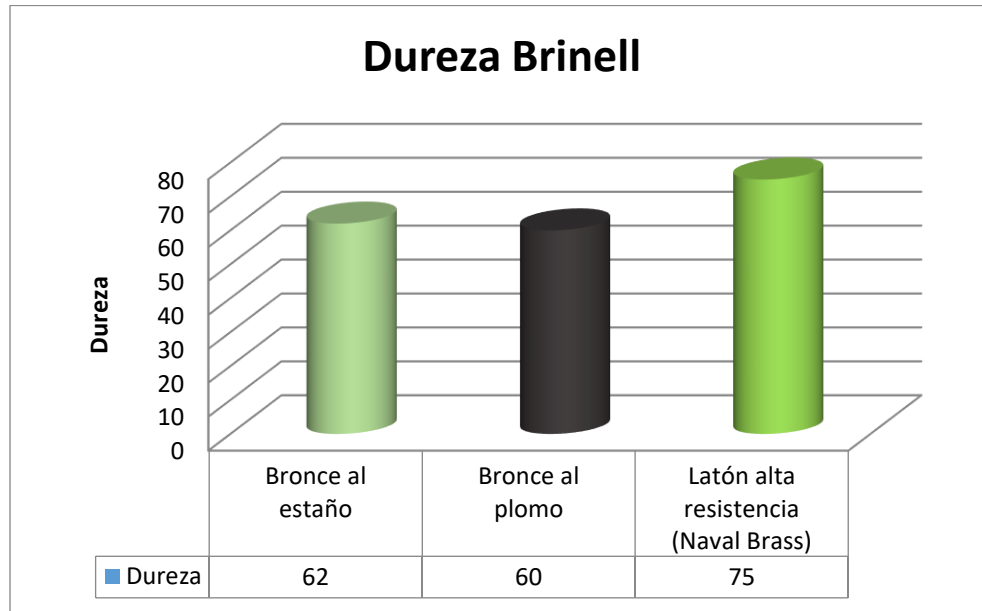


Figura 46. Dureza Brinell para las aleaciones SAE 64, SAE 40 y Naval Brass.

El alargamiento en materiales también conocido como elongación es una magnitud que mide el aumento de longitud que experimenta un material cuando se le somete a un esfuerzo de tracción antes de producirse su rotura. (Ver figura 47)

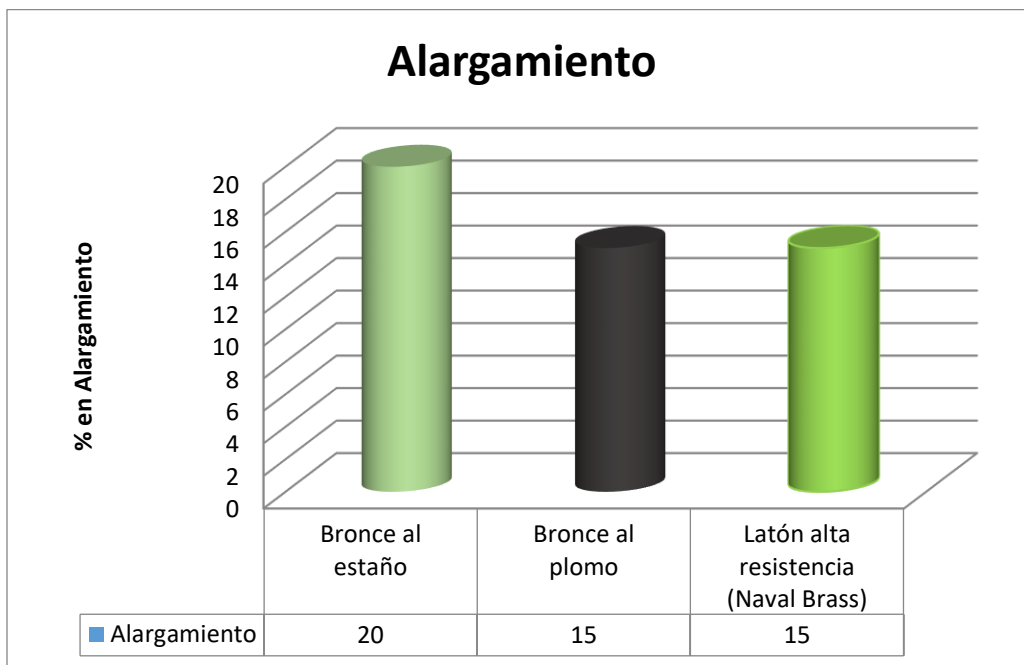


Figura 47. Alargamiento para las aleaciones SAE 64, SAE 40 y Naval Brass.

El coeficiente de dilatación (o más específicamente, el coeficiente de dilatación térmica) es el cociente que mide el cambio relativo de longitud o volumen que se produce cuando un cuerpo sólido o un fluido dentro de un recipiente cambia de temperatura provocando una dilatación térmica. Ver figura 48.

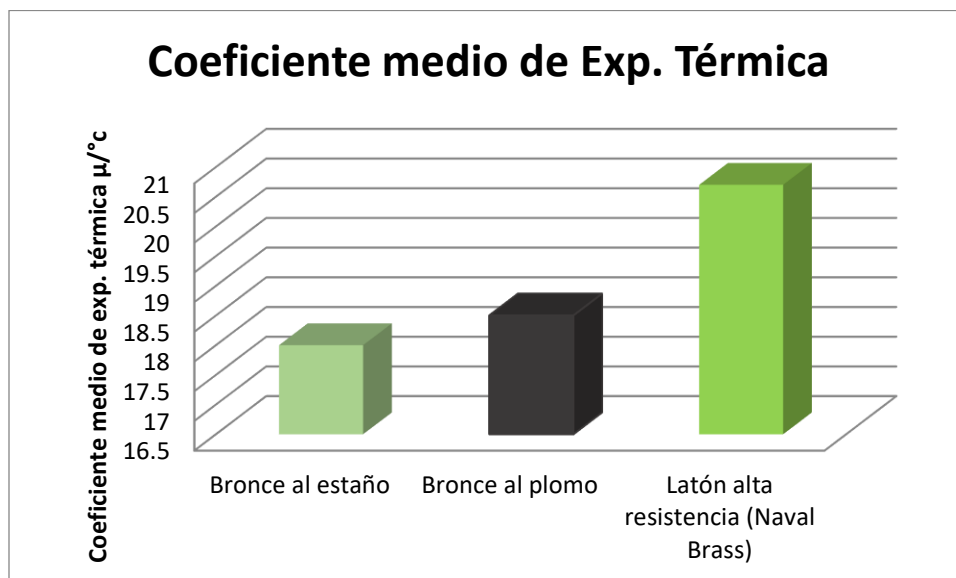


Figura 48. Coeficiente medio de exp. térmica para las aleaciones SAE 64, SAE 40 y Naval Brass.

El módulo de elasticidad longitudinal o módulo de Young (E) relaciona la tensión aplicada a una pieza según una dirección con la deformación originada en esa misma dirección, y siempre considerando un comportamiento elástico en la pieza. Ver figura 49.

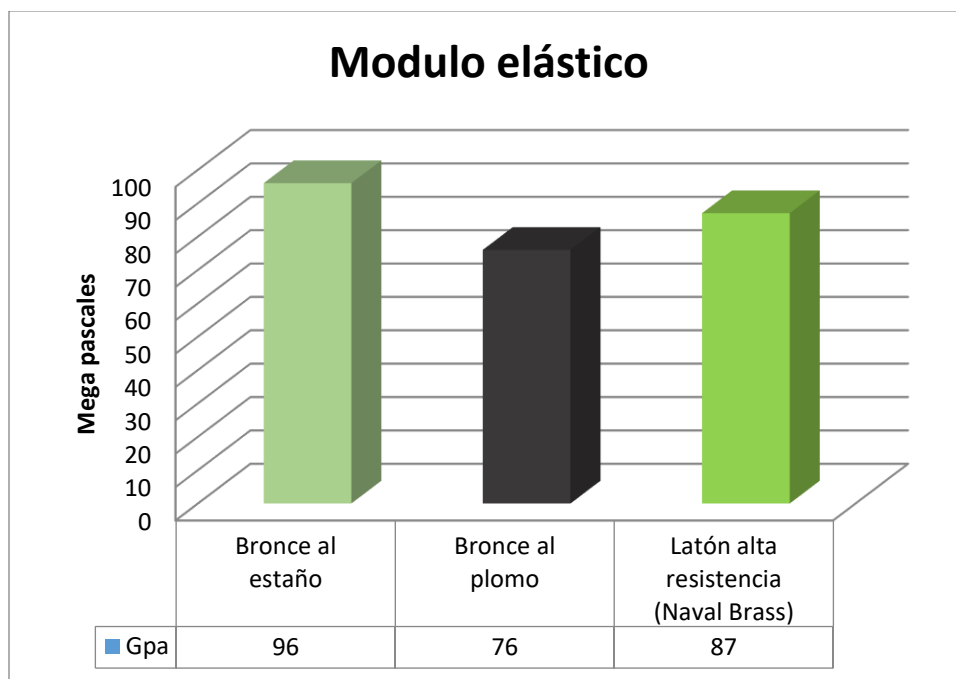


Figura 49. Módulo de Young o elástico para las aleaciones SAE 64, SAE 40 y Naval Brass.

3.1.3 Elastómero utilizado como material para chumaceras de la bomba TSW.

La marca del material elastómero que es utilizado para fabricar las chumaceras es Thordon Bearings, ya que ofrece sus servicios como una muy buena opción para tener en cuenta en cuanto a chumaceras de alta resistencia en centrales Nucleares, por lo que la Central Nuclear Laguna Verde no fue la excepción para adquirir de sus servicios.

Thordon Bearings es el fabricante líder mundial de rodamientos de alto rendimiento y larga duración que no requieren aceite ni grasa. Miles de talleres de reparación de bombas, fabricantes de equipos originales y usuarios finales de todo el mundo reconocen los rodamientos Thordon como la opción probada para el rendimiento y el valor. Los rodamientos Thordon están contruidos para durar, sin impacto en el medio ambiente. (Ver figura 50)



Figura 50. Chumaceras de Thordon.

Thordon Bearings diseña y fabrica la línea más completa de rodamientos de bombas verticales libres de aceite y grasa en la industria. Los grados de elastómero ofrecen la mejor combinación de resistencia y rigidez con flexibilidad y elasticidad, junto con una alta resistencia a la abrasión. (Ver figura 51)

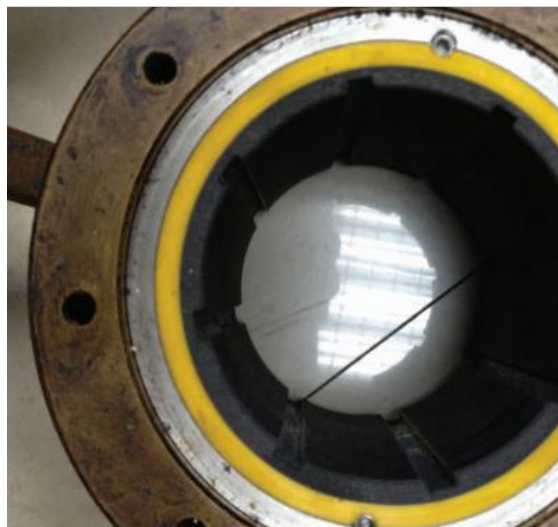


Figura 51. Chumacera Thordon montada en una bomba vertical

Independientemente de su grado o configuración, los rodamientos Thordon no requieren grasa o lubricación de aceite en condiciones secas o húmedas, y pueden utilizarse en una amplia gama de bombas verticales lubricadas con agua y productos.

Características generales de las chumaceras Thordon.

- Una larga vida útil y alta resistencia para la abrasión que se traduce a unos costes de mantenimiento más bajos significan unos costes previsibles y de ciclo de vida más bajos.
- La autolubricación elimina la contaminación
- Capacidad de arranque en seco.
- Baja fricción y no provoca “Stick-Slip” (Que es un fenómeno mecánico que se refiere a la fricción de deslizamiento, causada por el movimiento espontáneo y caracterizado por aceleraciones que se producen entre dos superficies en contacto deslizante)
- Flexibilidad de dimensionamiento y que es fácil de instalar en el sitio.
- Operación libre de contaminación ya sea húmeda o seca.
- Alta resistencia al impacto.
- Par de arranque reducido.
- Fácil y seguro de maquinar.

La siguiente tabla muestra una comparación físicas de tres grados del material Thordon usado para las chumaceras en bombas verticales. Ver tabla 17.

Tabla 17. Comparación de Tres grados de Thordon.

Parámetro	Grados de Thordon		
	XL	SXL	Composición (GM2401)
Descripción	Aleación de polímero elastómero	Aleación de polímero elastómero	Aleación de polímero elastómero.
Temperatura límite	60°C (140°F)	60°C (140°F)	60°C(140°F)
Adecuado para arranque en seco	No	Si	No
Resistencia a los ácidos	Limitada	Limitada	Limitada
Resistencia a los alcalinos	Limitada	Limitada	Limitada
Adecuado para hidrocarburo	Si	Si	Si
Resistencia a la abrasión	Buena	Muy buena	Excelente
Claros en la instalación	Medio	De media a bajo	Alto
Material de la manga del eje	Bronce, Acero inoxidable	Bronce, Acero inoxidable	Ni-Cr-B Recomendado
Lubricación	Agua, Agua de mar, Fluidos (pH 5-10)	Agua, Agua de mar, Fluidos (pH 5-10)	Agua, Agua de mar, Fluidos (pH 5-10)
Observaciones	Buen equilibrio entre la resistencia a la abrasión y el nivel medio de fricción	Baja fricción; Adecuado para arranque seco; Buena resistencia a la abrasión	Para uso en entornos operativos altamente abrasivos

3.1.3.1 Thordon XL (Ver figura 52)

- Larga vida útil con bajo coeficiente de fricción seca
- Buena resistencia a la abrasión
- Rendimiento óptimo en aplicaciones de agua limpia.



Figura 52. Thordon grado XL.

3.1.3.2 Thordon XSL (Ver figura 53)

- Opción preferida para la capacidad de arranque en seco
- Menor coeficiente seco de fricción típicamente 0.10 – 0.20
- Presión de trabajo de hasta 10 Mpa (1450 Psi)
- Operación Húmeda o seca.
- Alta resistencia a la abrasión, carga de choque y vibración.



Figura 53. Thordon grado XSL.

3.1.3.3 Composición Thordon (GM2401) (Ver figura 54)

- Fabricado específicamente para usar en ambientes de agua muy abrasivos
- Más rígido y al menos el doble de la resistencia a la abrasión del caucho normal
- Menor tiempo de inactividad de mantenimiento
- Lubricado por agua sin grasa
- Fácil de instalar.



Figura 54. Thordon grado (GM2401).

En la siguiente gráfica se muestra mediante una prueba de rotación de tambor la pérdida de material que sufren los distintos grados y composición de los materiales usados para chumaceras de apartado de los elastómeros, el Thordon grado (GM2401) es el material usado en las partes de las columnas de una de las bomba del TSW ubicadas en el edificio de obra de toma en la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde. Ver grafica 55.

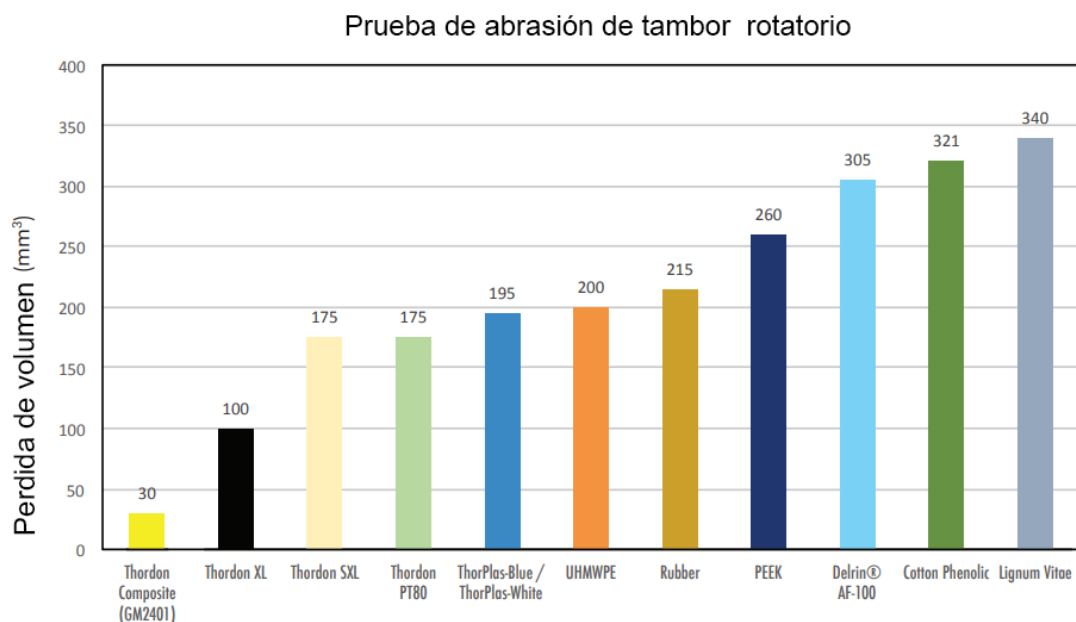


Figura 55. Tasas de desgaste típico de las chumaceras de material elastómero.

3.1.4 ARTH, Material nuevo termoplástico para chumaceras de la bomba TSW.

Termoplástico altamente resistente a los abrasivos

ARHT es un material termoplástico patentado desarrollado específicamente para usarse como bujes, cojinetes y anillos de desgaste en bombas que manejan medios abrasivos hasta 121°C (250°F). ARHT ofrece una resistencia excepcional contra sustancias químicas, choque térmico e impactos, haciéndolo una mejor opción en materiales de desgaste que los materiales tradicionales de hule, cerámica o bronce. Los materiales termoplásticos AR patentados de Greene, Tweed poseen características excepcionales contra el desgaste en medios que contienen sólidos. AR combina una excelente resistencia a la abrasión, capacidad adecuada para el funcionamiento en seco y características superiores de amortiguación de vibraciones, sin hidrólisis o hinchamiento.

ARHT trabaja bien en una gran variedad de bombas para uso en medios abrasivos, incluidas aquellas que funcionan en la recirculación de agua, para agua de enfriamiento en sistemas abiertos o cerrados, agua de río y bombas de lavado con filtro y de petróleo crudo. Al emplear ARHT, los usuarios de bombas pueden operar sus equipos con claros mucho más estrechos, elevando la eficiencia y mejorando la confiabilidad de los procesos. (Ver figura 56)



Figura 56. Material termoplástico ARTH.

Características y beneficios.

- Un rango de temperatura alta mucho más amplio lo hace ideal para aplicaciones de agua caliente, petróleo crudo e hidrocarburos abrasivos.
- Mejor confiabilidad de la bomba que la ofrecida por los cojinetes fabricados con materiales tradicionales gracias a un menor desgaste al estar en medios abrasivos.
- Propiedades que evitan la corrosión por frotamiento y desgaste ayudando a evitar paros no programados causados por fallas en las bombas debidas a una vibración excesiva o arranques en seco.

- Extiende la vida y funcionamiento de los sellos mecánicos y de las bombas gracias a sus excelentes características de amortiguación de las vibraciones.
- Un coeficiente de fricción más bajo ayuda a la supervivencia de las bombas cuando éstas trabajan en condiciones de bombeo distintas a las recomendadas, tales como funcionamiento en seco intermitente, mejor que el de materiales tradicionales como en el inserto de hule en el casquillo metálico.
- Fácil de maquinarse e instalarse con dimensiones con acabado de gran precisión, reduciendo los tiempos y los costos de reparación de las bombas.
- Su bajo índice de hidrólisis e hinchamiento facilita el diseño de las partes y ayuda a mantener sus propiedades físicas en aplicaciones que involucran agua.
- Sus excelentes propiedades físicas permiten que los cojinetes reciban el impacto del eje o de la camisa del eje sin romperse o agrietarse durante el funcionamiento de la bomba.

Usos

- Bombas recirculadoras de agua
- Bombas para agua de río
- Bombas multifásica para petróleo
- Bombas de lavado con filtro crudo
- Bombas sumergidas
- Bombas de agua de enfriamiento en sistemas cerrados y abiertos.

En la siguiente tabla 18. se muestran las propiedades típicas del material Termoplástico.

Tabla 18. Propiedades mecánicas del material termoplástico.

PROPIEDADES TÍPICAS		
Propiedades físicas	Método de la ASTM	Valor típico
Color		Gris
Peso específico	D1457	1.63
Dureza, Shore D, Puntos	D2240	80
Mecánico		
Resistencia a compresión, MPa (psi)	D695	70 (9,800)
Elongación, %	D638	2.2
Módulo de flexión de 0.5% secante, MPa (psi)	D790	3,400 (495,000)
Tensión a la flexión a la ruptura, %	D790	2.9
Resistencia a la flexión a la ruptura, MPa (psi)	D790	60 (8,700)
Módulo de tracción de 0.5% secante, MPa (psi)	D638	3,200 (461,000)
Resistencia a la tracción, MPa (psi)	D638	35 (5,100)
Módulo de flexión de Young, MPa (psi)	D790	3,600 (527,000)
Módulo de tracción de Young, MPa (psi)	D790	3,900 (562,000)
Térmico		
Coeficiente de expansión térmica, mm/mm/°C (pulg./pulg./°F), (-73°C a 121°C/-100°F a 250°F)	—	28.8 x 10 ⁻⁶ (16 x 10 ⁻⁶)
Rango de temperatura de servicio*, °C (°F)		-73°C to 121°C (-100°F to 250°F)

En la siguiente gráfica se muestra el cambio porcentual del peso (pérdida) por hora del material termoplástico ARTH comparado con los materiales tradicionales, que anteriormente se han usado como parte de elementos de máquinas y en este caso fabricación de chumaceras. (Ver figura 57)

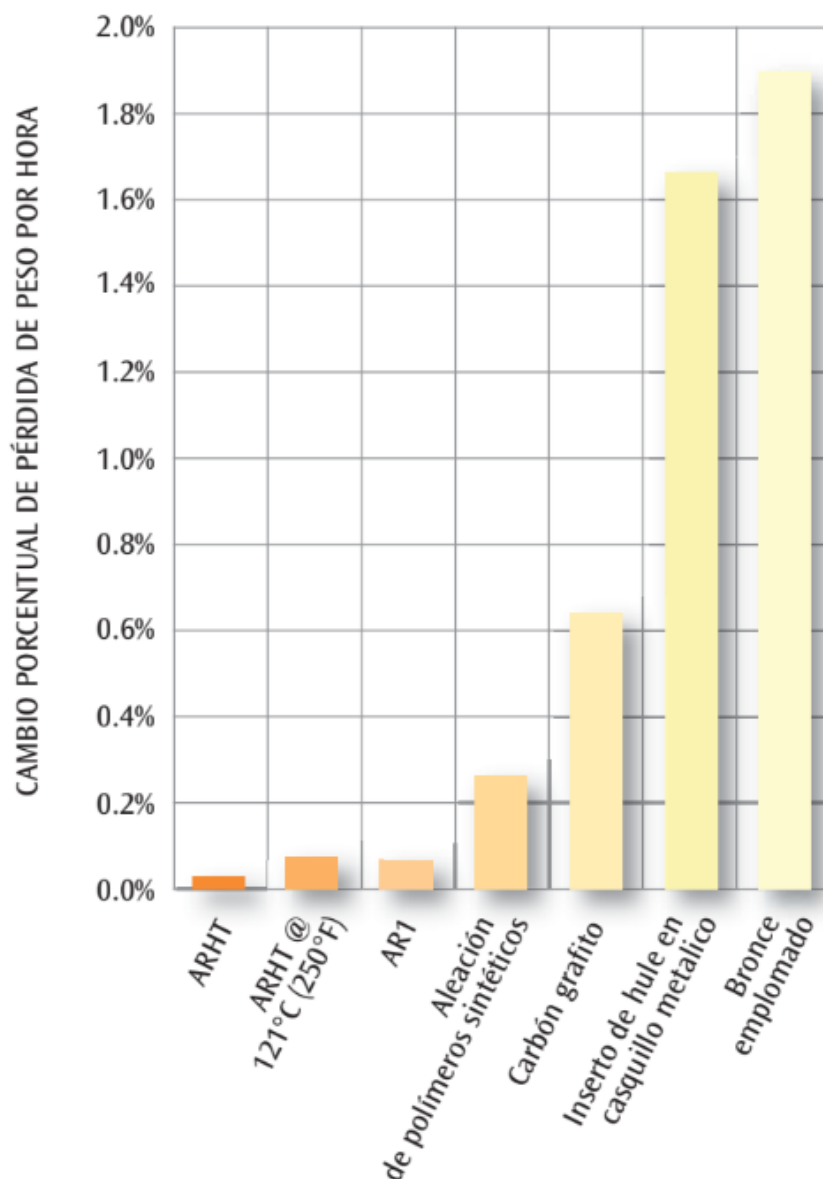


Figura 57. Cambio porcentual de desgaste en materiales.

Nota: Los cojinetes fabricados de cada uno de los materiales (tamaño: 5.08 cm. x 3.81 cm. x 3.81 cm./2 in. x 1.5 in. x 1.5 in.) fueron sometidos a pruebas a 900 rpm bajo 0.172 MPa (25 psi). El tiempo de duración de la prueba fue de ocho horas. La prueba se llevó a cabo en un eje SS de la serie 300, en 95% de agua y 5% de arena de sílice. Todas las pruebas de los materiales se realizaron a una temperatura de 22°C (70°F). Adicionalmente, ARHT se probó a 121°C (250°F) en etilenglicol.

3.1.5 Herramienta CAD para el dibujo de la bomba.

Si bien los programas CAD son una herramienta muy útil para los ingenieros mecánicos, dentro de una de las actividades realizadas en la residencia fue el elaborar el diseño de la bomba TSW en un programa de dibujo que en nuestro caso fue SolidWorks, se elaboraron solo las piezas más destacadas de la bomba como ayuda para tener una mejor visión de las partes que conforman la bomba, y el diseño se realizó en base a la visualización de la bomba original y al dibujo del vendedor de la bomba que está en el anexo N° 1.

Una de las primeras piezas que se diseñó en el programa de SolidWork fue el motor como se muestra a continuación en la figura. (Ver figura 58)

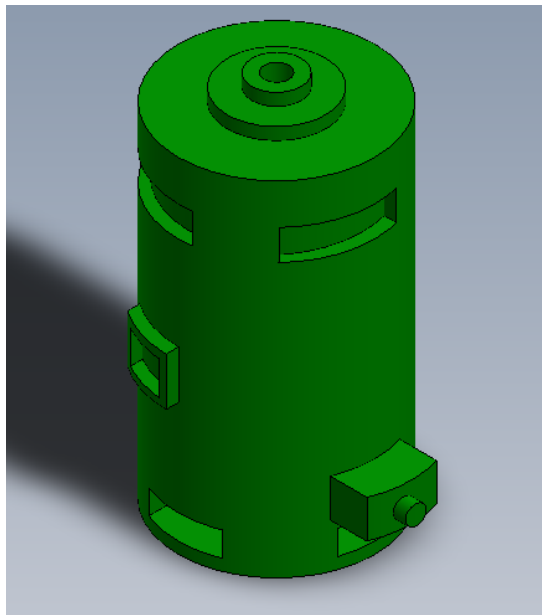


Figura 58. Diseño de Motor en SolidWork.

El siguiente dibujo realizado fue el de el cabezal de la bomba. (Ver figura 59)

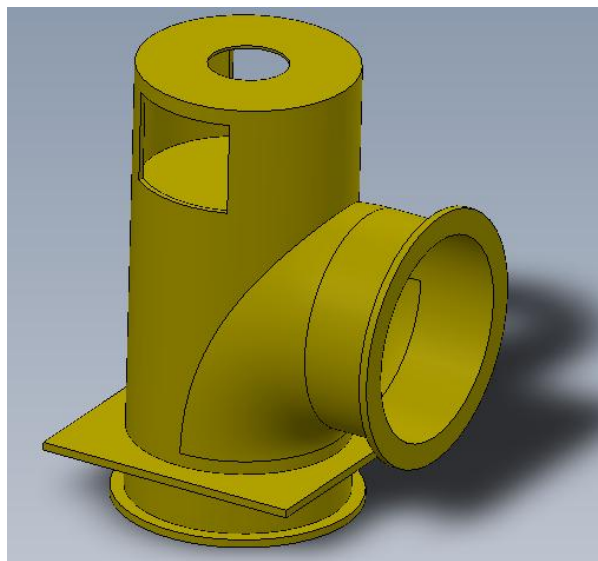


Figura 59. Diseño del Cabezal en SolidWorks.

Las siguientes partes que fueron diseñadas fueron la válvula check, con una tubería de descarga, el patín donde se asienta la tubería de descarga y con el cual se puede ajustar la nivelación de la bomba a la hora de la instalación de la misma, y la válvula de expansión que tiene como función principal el absorber los esfuerzos en la dirección axial que se originen sin tener deformaciones plásticas. (Ver figura 60)

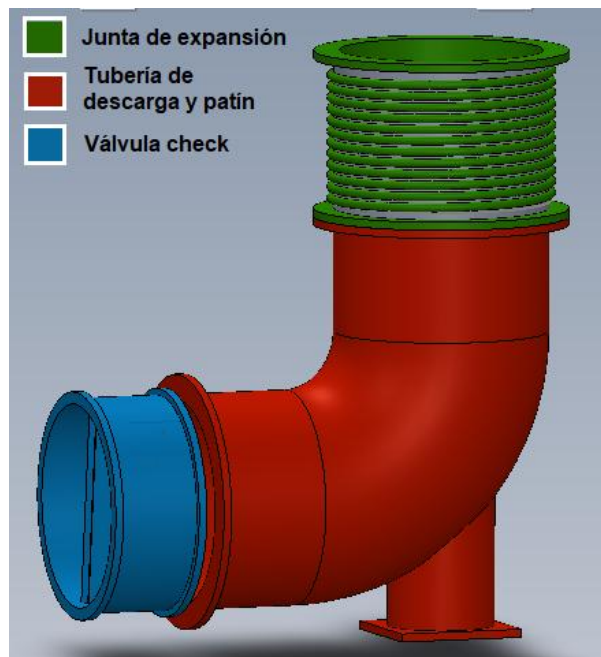


Figura 60. Diseño de la tubería lado descarga en SolidWorks.

Las partes que fueron creadas en el programada de solidwork fue las columnas, tanto la superior, intermedia e inferior. (Ver figura 61)

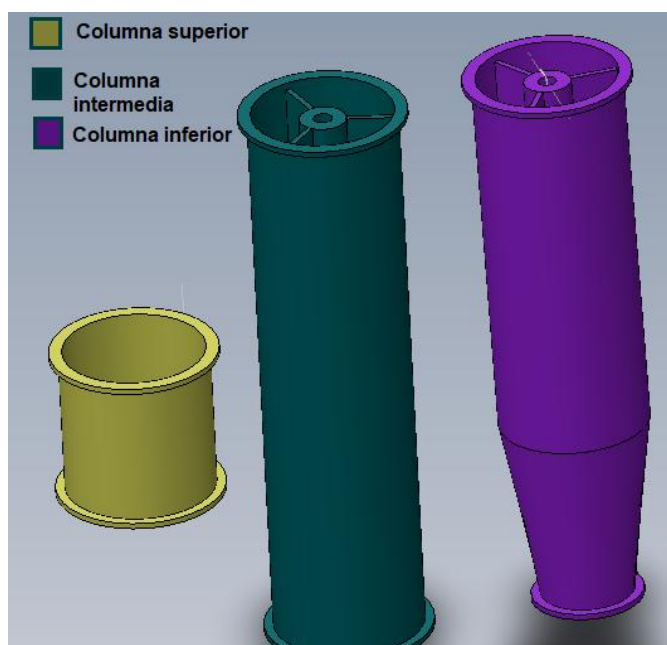


Figura 61. Diseño de las columnas en SolidWork.

También otra elemento importante que no podía faltar es el cuerpo de tazones, el cual está conformado por el tazón de descarga, tazón intermedio y su campana de succión. (Ver figura 62)

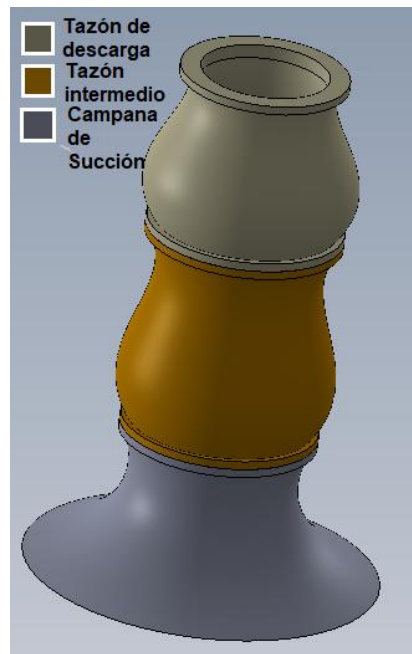


Figura 62. Diseño de cuerpo de tazones en SolidWorks.

Y por último el diseño de los impulsores que son abiertos de flujo axial. (Ver figura 63)

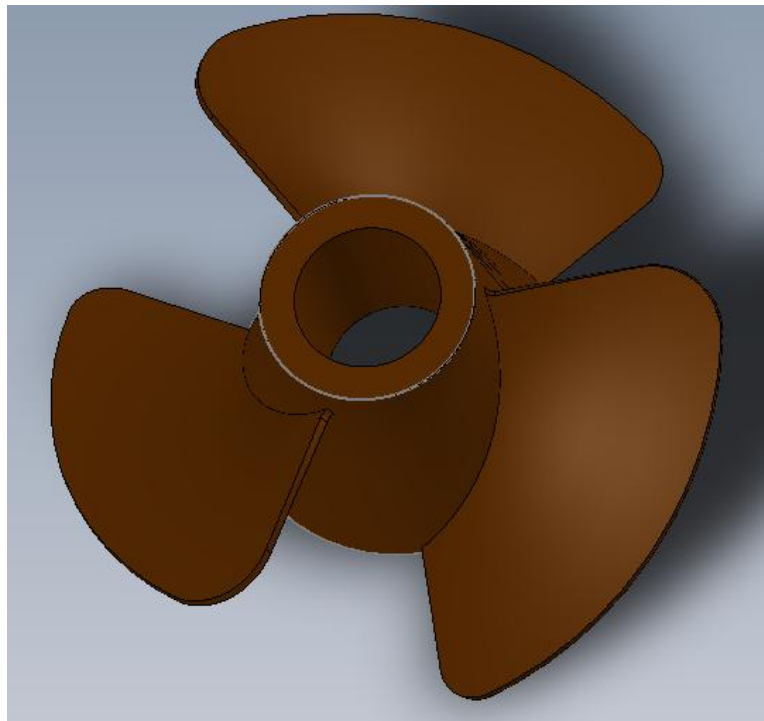


Figura 63. Diseño de impulsores en SolidWorks.

La siguiente figura muestra el ensamble de todas las partes que fueron diseñadas en SolidWork y no solo eso, sino que son las principales protagonistas que estuvieron en el desarrollo del mantenimiento mecánico, tanto el desensamble de la bomba como el ensamble de la bomba con las chumaceras nuevas del termoplástico.

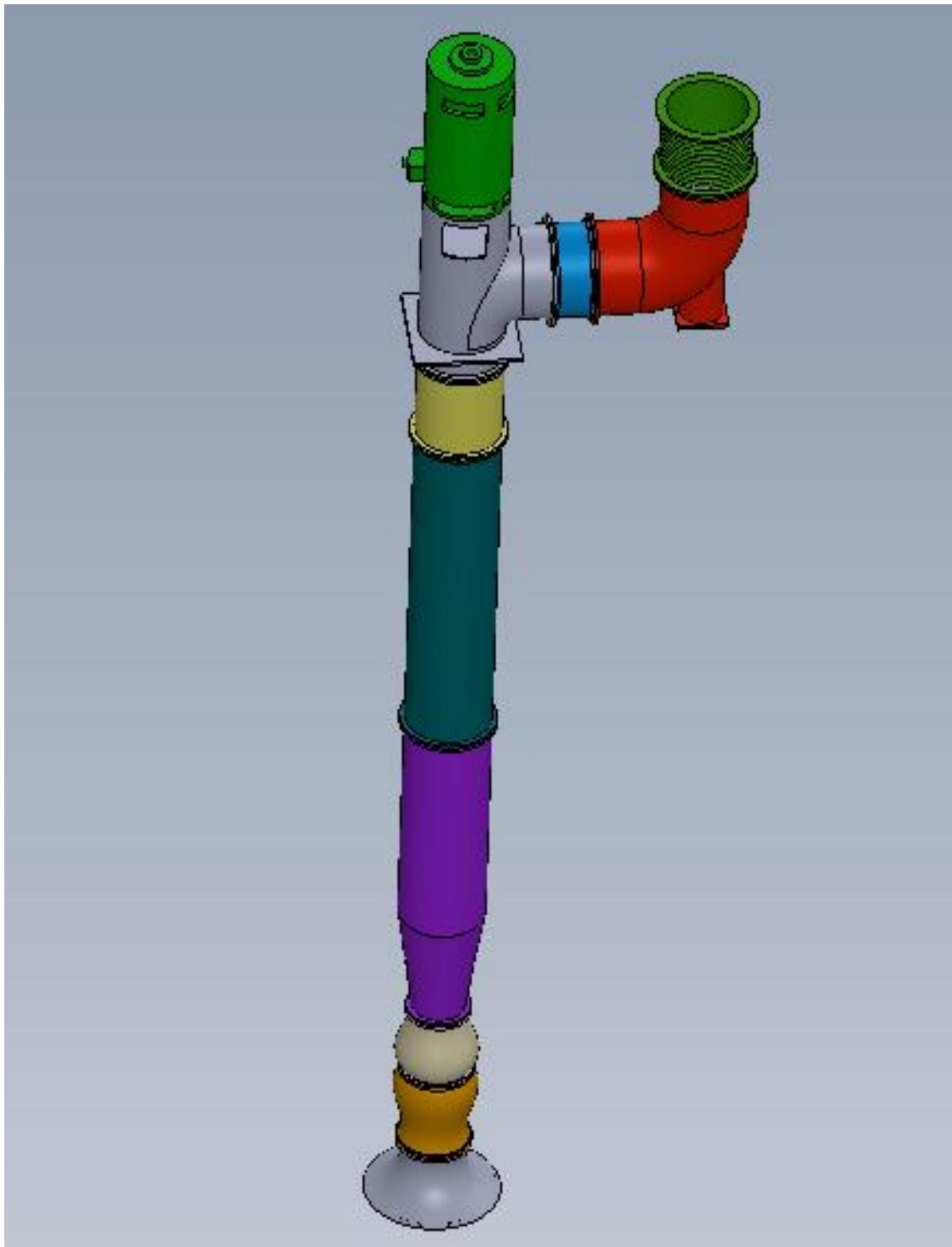
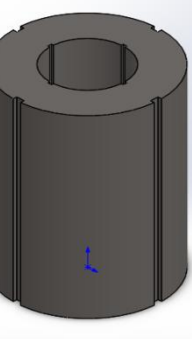
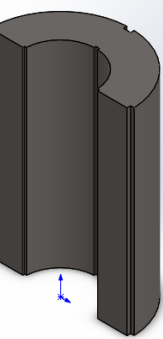
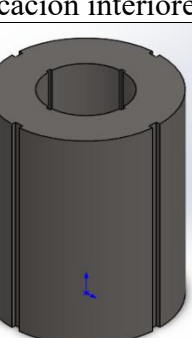
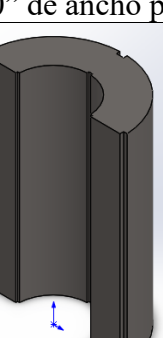


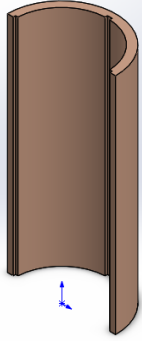
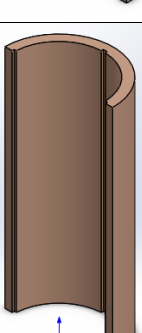
Figura 64. Ensamble de la bomba en SolidWorks.

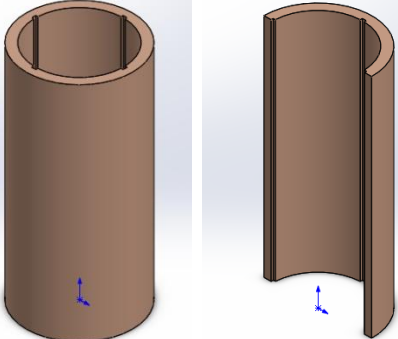
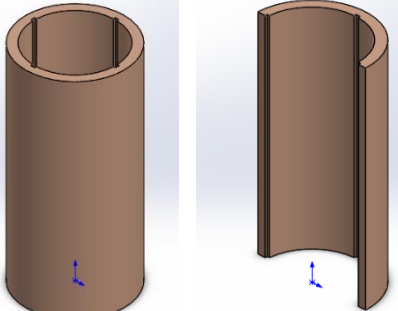
3.1.6 Especificaciones para la fabricación de las chumaceras.

Para que se puedan fabricar las chumaceras, se debe realizar una orden de fabricación, esta orden de fabricación dentro de la central Laguna verde se puede hacer mediante un formato como el que aparece en el anexo N° 2, donde se proporcionando datos con la descripción del trabajo que se requiere. En la siguiente tabla se muestran las especificaciones para realizar la fabricación de las chumaceras tanto de bronce como del nuevo material termoplástico.

Tabla 19. Especificaciones de las fabricación de chumaceras

		Chumacera del Estopero (Termoplástica) Longitud : 6” Ø exterior: 2.881” +0.001 , – 0.003 Ø Interior: 2.450” +0.001 , – 0.003 Con cuatro venas de lubricación interiores lineales de 0.125” de profundidad por 0.125 “ de ancho
		Chumacera 2 columna intermedia (Termoplástica) Longitud : 6.750” Ø exterior: 2.881” +0.001 , – 0.003 Ø Interior: 2.450” +0.001 , – 0.003 Con cuatro venas de lubricación interiores lineales de 0.125” de profundidad por 0.125 “ de ancho Cuatro venas lineales exteriores a 90° una de otra que coincida con las venas de lubricación interiores de .250” de ancho por .250” de profundidad.
		Chumacera 3 columna inferior (Termoplástica) Longitud : 6.750” Ø exterior: 2.881” +0.001 , – 0.003 Ø Interior: 2.450” +0.001 , – 0.003 Con cuatro venas de lubricación interiores lineales de 0.125” de profundidad por 0.125 “ de ancho Cuatro venas lineales exteriores a 90° una de otra que coincida con las venas de lubricación interiores de .250” de ancho por .250” de profundidad.

		Chumacera 4 superior del tazón de descarga (Bronze) Longitud : 7" $\varnothing$ exterior: 2.881" +0.001 , - 0.003 $\varnothing$ Interior: 2.698" +0.001 , - 0.003 Con cuatro venas de lubricación interiores lineales de 0.125" de profundidad por 0.125 " de ancho
		chumacera 5 inferior del tazón de descarga (Bronze) Longitud : 7" $\varnothing$ exterior: 2.881" +0.001 , - 0.003 $\varnothing$ Interior: 2.695" +0.001 , - 0.003 Con cuatro venas de lubricación interiores lineales de 0.125" de profundidad por 0.125 " de ancho
		Chumacera 6 superior del tazón intermedio (Bronze) Longitud : 7" $\varnothing$ exterior: 3.257" +0.001 , - 0.003 $\varnothing$ Interior: 2.698" +0.001 , - 0.003 Con cuatro venas de lubricación interiores lineales de 0.125" de profundidad por 0.125 " de ancho
		Chumacera 7 inferior del tazón intermedio (Bronze) Longitud : 7" $\varnothing$ exterior: 3.257" +0.001 , - 0.003 $\varnothing$ Interior: 2.698" +0.001 , - 0.003 Con cuatro venas de lubricación interiores lineales de 0.125" de profundidad por 0.125 " de ancho

	Chumacera 8 superior de tazón de succión (Bronze) Longitud : 5.5” Ø exterior: 3.255” +0.001 , – 0.003 Ø Interior: 2.698” +0.001 , – 0.003 Con cuatro venas de lubricación interiores lineales de 0.125” de profundidad por 0.125 “ de ancho
	Chumacera 9 inferior de tazón de succión (Bronze) Longitud : 5.5” Ø exterior: 3.255” +0.001 , – 0.003 Ø Interior: 2.698” +0.001 , – 0.003 Con cuatro venas de lubricación interiores lineales de 0.125” de profundidad por 0.125 “ de ancho

3.1.7 Preparación para el cambio de bomba.

Antes de realizar cualquier actividad de mantenimiento, instalación o desinstalación de algún equipo o componente dentro de la Central Nuclear Laguna Verde, se deben realizar los preparativos pertinentes, es obligación realizar una reunión pre-trabajo, con los diferentes departamentos que estarán inmersos en la actividad y que de la preparación y organización depende la calidad con la que se realizará el trabajo, en este caso se dio una reunión pre-trabajo con los grupos de mantenimiento mecánico, eléctrico y grupo de maniobras.

El propósito de una buena reunión pre-trabajo es asegurar el entendimiento de lo que se quiere lograr y lo que se espera evitar y como tener éxito en ello.

Una reunión pre-trabajo efectiva se asegura de comunicar a los trabajadores antes del inicio de los trabajos los requerimientos de seguridad (personal y del equipo), instrucciones de trabajo y las lecciones aprendidas. La efectividad depende de las participaciones dinámicas del personal.

Se brinda la oportunidad a todos los involucrados en la tarea para hacer preguntas, entender totalmente la tarea, las consecuencias potenciales, comprender totalmente sus roles y responsabilidades de cada uno. El líder de la actividad debe dar oportunidad para que los participantes realicen preguntas para asegurar el entendimiento del trabajo asignado.

Como es una actividad en la cual se están involucrando el levantamiento y movimiento de cargas de mucha consideración, el grupo de maniobras tiene que tener un plan de izaje donde se tiene que tomar en cuenta, la carga que se está levantando, la altura a la que se está levantando, la forma que tiene el objeto y el movimiento que se tiene que hacer para trasladarlo de un lugar a otro, un formato para considerar estas situaciones se ve en el anexo N°3.

En la siguiente tabla se muestran algunos de las magnitudes de las cargas que se consideran para hacer las maniobras. (ver tabla 20)

Tabla 20. Cargas a levantar de la bomba.

<i>Equipo/Pieza/Componente</i>	<i>Carga a levantar en kg</i>
<i>Motor</i>	1200
<i>Cabezal</i>	771
<i>Columna</i>	1427
<i>Cuerpo de tazones</i>	1025

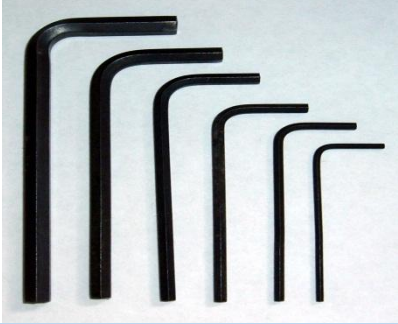
Es muy importante tener una zona acordonada en la cual se van estar realizando los trabajos, esto con el fin que personas ajenas a la actividad sufran algún percance, ocurra algún accidente o la actividad no sea realice de la forma más adecuada.

Para las actividades de maniobras, se cuenta con una grúa de capacidad de hasta 32 toneladas, un polipasto, y las eslingas seleccionadas adecuadamente de acuerdo a su capacidad de levantamiento.

3.1.8 Desensamble de la bomba

Antes de empezar el desensamble se verificó que el técnico de mantenimiento responsable de la actividad estuviese calificado para hacer el mantenimiento a la bomba de agua de servicio nuclear; que se contaran con todas las partes de repuesto necesarias para el mantenimiento, la disponibilidad de la grúa viajera en el edificio de obra de toma, y que se contara con la disponibilidad de herramientas de izaje y maniobra aparte de que contaran con la certificación vigentes, además de las herramientas que se presentan a continuación que fueron necesarias para realización de la actividad. Ver tabla 21

Tabla 21. Herramientas y materiales usados.

Material o herramienta	Imagen
Rectificador angular	
Llave de cadena	
Juego de llaves mixtas	
Llaves allen	

Juego de dados	
Martillo de bola	
Martillo de goma	
Barra de bronce	
Extensión con luz	
Juego de desarmadores	
Nivel de precisión	

Manguera de aire con niple	
Vernier	
Micrómetro	
Torquímetro	
Pistola neumática	
Lainas	
Indicador de cuadrante	

Para el desensamble del motor se solicitó al grupo de operación que realizara el paro de la bomba, y que se libara el equipo para su manipulación manual, una vez que se dejó librada la bomba, se solicitó al grupo eléctrico que hiciera la desconexión eléctrica del motor.

La bomba que se trabajó para el mantenimiento tenía una presión de descarga de 1.25 kg/cm^2 como se muestra en la figura 65.



Figura 65. Presión de descarga.

Al terminar la desconexión eléctrica del motor, se solicitó al grupo de maniobras colocará un andamio el cual será de gran utilidad para realizar todas las operación de desmontaje y montaje del motor. Y acordonara el área para su posterior trabajo. (Ver figura 66)



Figura 66. Acordonamiento del área

Al tener instalado el andamio el técnico mecánico pudo escalar y a su vez desmontar la tapa del trinquete, al retirar la tapa del trinquete se tomó la distancia existente entre la parte superior de la tuerca de ajuste de la carrera del impulsor y la parte superior de la flecha. Se registró una distancia de .1250". Ver figura 67.



Figura 67. Distancia de la tuerca de ajuste y parte superior de la flecha 1.

Se retiraron los tornillos prisioneros completamente de la tuerca, se colocó el indicador de cuadrante en la punta de la flecha, se aflojó poco a poco la tuerca de ajuste que tiene una rosca hacia la derecha, se dejó que cayera el conjunto de impulsores completamente, y también se registró la carrera encontrada o el claro del impulsor; Carrera encontrada: .120".

Se retiró completamente la tuerca de ajuste del claro del impulsor, luego para poder desacoplar se retiró el buje y la cuña que se encontraba en el trinquete de el mismo. También se retiraron todos los tornillos de sujeción del motor con el pedestal de la bomba, para luego retirar de manera cuidadosa el motor sin dañar la cuerda de la flecha y se lleva a un lugar seguro con ayuda de la grúa viajera que se encuentra en el edificio de obra de toma. Ver figura 68.

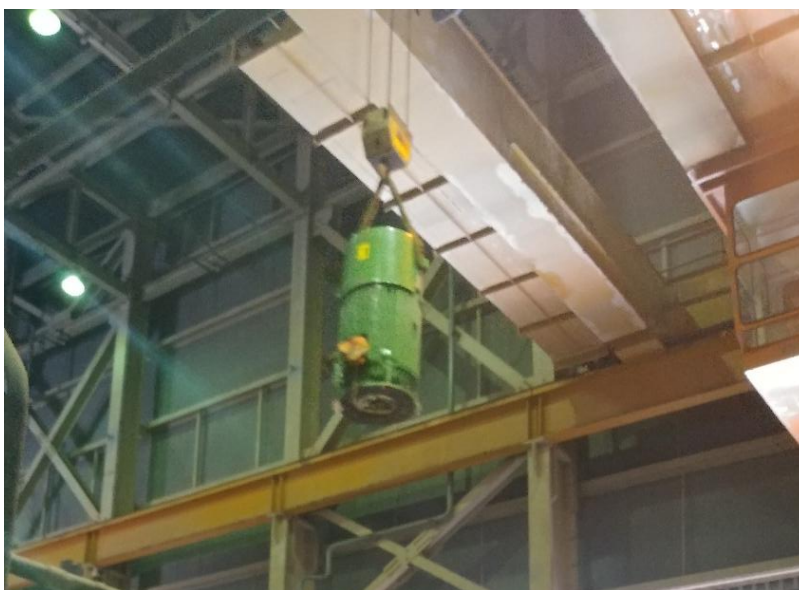


Figura 68. Traslado del motor 1.

Al trasladar el motor lo siguiente fue colocar una tuerca o capuchón con rosca derecha en la flecha motriz superior, para luego desenroscarla del cople que la unía la flecha estopera y así poder ser llevada también a un lugar seguro.

Después de retirar la flecha motriz se procede a realizar una verificación de la nivelación de la bomba, la cual nos servirá de referencia para la siguiente colocación de la bomba, o si en el mantenimiento que se le dé al cabezal se hizo un buen trabajo en la nivelación, al hacer la verificación de la nivelación se ven anotar las lecturas encontradas. Lecturas encontradas ; 0.0035 milésimas de pulgada/pie. Oeste, 0.0035" Norte, 0.0015" Este, 0.0015" Sur. Ver figura 69.

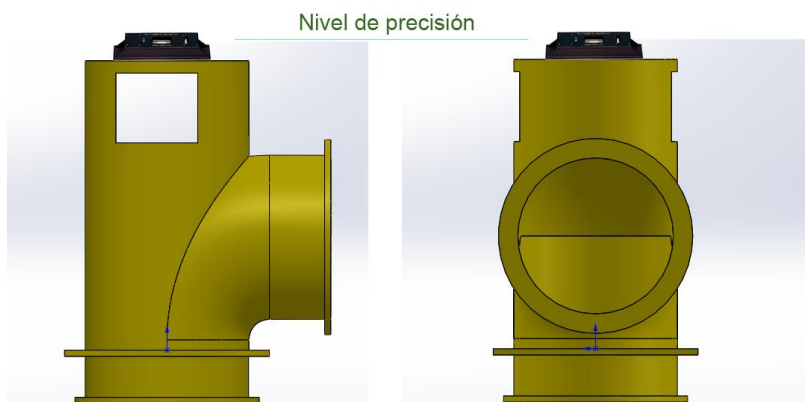


Figura 69. Toma de nivelación 1.

Una vez tomados los parametros de nivelación se desmontó la valvula de retención (válvula Check) de la descarga de la bomba, se efectuo una inspección y también una limpieza de la misma. (Ver figura 70)



Figura 70. Desmontaje e inspección de válvula check.

Se realizó una medición del paralelismo radial y axial entre las caras de las bridas del cabezal y tubo de descarga cada 45° y se registraron las medidas, el parámetro de referencia no deben de revasar los 5 mm. (Ver figura 71.)

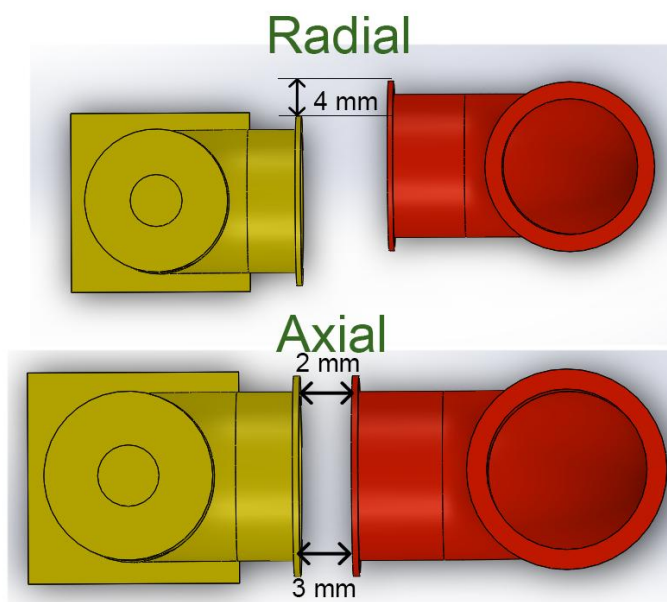


Figura 71. Paralelismo radial y axial.

Se retiraron las tuercas que mantienen la fijación del cabezal de descarga de la bomba al suelo, para poder levantar el cabezal hasta una altura en la que se apoyó la segunda sección bridada. Ver figura 72



Figura 72. Levantamiento del cabezal 1.

La figura 91 muestra la forma en la cual se deberán ir levantando y colocando las columnas, descansando en las partes de las bridas en la estructuras metálicas.

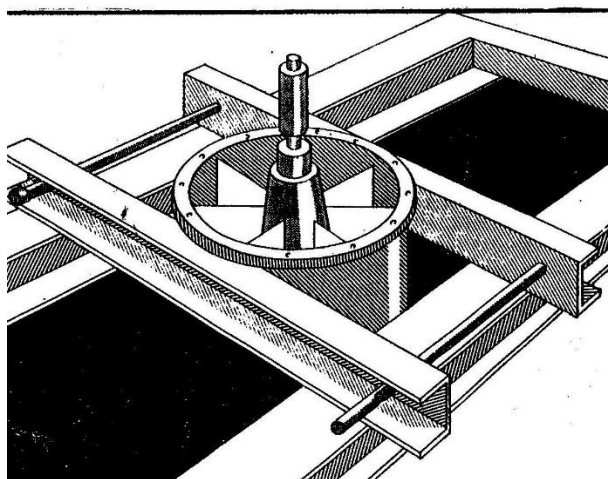


Figura 73. Maniobra para desensamble de bomba.

Se desacopló el cabezal de descarga con la primera columna, y se retiró para ser llevado a un lugar de fácil acceso para su posterior limpieza e inspección. Se levantó la siguiente columna hasta apoyarla en la siguiente sección bridada como referencia de la posición esta la figura 90, y se retiró la columna superior que es la columna corta, una vez retirada la columna corta se pudo acceder fácilmente al retiro de la flecha intermedia superior de la columna intermedia (Rosca izquierda) con ayuda del capuchón y las herramientas de izajes por parte de las flechas. Ver figura 74



Figura 74. Retiro de flecha intermedia superior.

A lo largo de todo el proceso de izaje después del retiro del cabeza, queda un espacio al descubierto por lo que se le deberá poner unas cubiertas tipo EME para evitar que objetos no deseados vayan a dar a la bahía.

Se levantó la columna siguiente para apoyarse en su parte bridada, se retiró toda la tornillería de la brida en la cual es la que se encuentra sostenida la columna, y al termino del retiro de la tornillería se pudo desmontar la columna intermedia y así colocarla en un lugar seguro, esta va posicionada sobre unos calzos de madera en forma horizontal. Ver figura 75.



Figura 75. Levantamiento de columnas.

Y así poco a poco se fueron retirando las flechas y las columnas con maniobra de forma segura hasta tener ya en un lugar seguro los tres tramos de columnas, y cuatro flechas que eran las ; motriz, estopera, intermedia superior y la intermedia inferior. Todas las partes quedaron completamente posicionadas en forma horizontal sobre los calzos de madera para su inspección visual. Ver figura 76



Figura 76. Columnas del desensamble de la bomba.

Después se levantó el cuerpo de tazones y campana de succión para colocarlos sobre unas calzas de madera que estaban nivelados verticalmente, estos se llevaron a un lugar donde se pudiera efectuar la inspección, limpieza y el desensamble correcto de los impulsores. Ver figura 77.

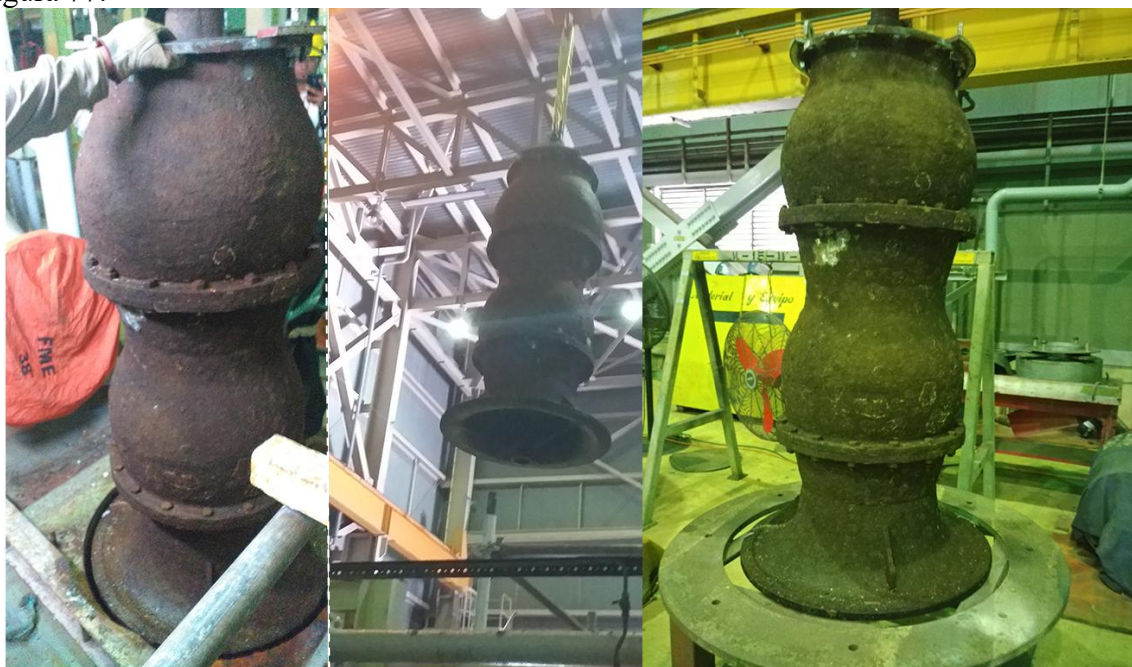


Figura 77. Traslado de cuerpo de tazones para inspección.

Al terminar de colocar todos los componentes de la bomba en una zona segura, se procedió a la inspección de algunos componentes, se checó las chumaceras que estaban en las columnas y se notó que ya presentaban cierto desgaste debido a la abrasión, por lo que se encontraban fuera de parámetros. Ver figura 78.



Figura 78. Inspección de chumaceras gastadas.

Se tomó en cuenta utilizar dos impulsores que se tenían de reserva, pero antes de proceder a su instalación se decidió hacer una inspección visual para ver si contaban con las características de calidad necesarias para ser de nuevo ensamblados en el conjunto rotatorio de la nueva bomba. Ver figura 79.



Figura 79. Inspección de impulsores usados de bomba anterior.

Se llenó un registro del examen de la inspección visual como se observa en el anexo 4 con el cual se determinó que los impulsores del primer y segundo paso de la bomba presentaban en el cuerpo del impulsor partes con corrosión de hasta un 40% aproximado por lo cual no fueron aptos para colocarlos a la nueva bomba, y se decidió utilizar nuevos impulsores.

3.1.9 Verificación del motor de la bomba que se quitó.

Otra de las partes que estuvieron sujetas a inspección fue el motor retirado de la bomba, con la idea ver si sería opción utilizar el mismo motor que se había quitado, para realizar la inspección a detalle, se removió el mecanismo del trinquete del motor, se aflojaron los tornillos de la caja inferior y de la caja superior, así como la cubierta superior.

También se quitó la tuerca candado con las llaves de nariz, se extrajo el collarín que salió con los dos rodamientos que este posee. Una vez que se había removido el collarín se procedió a quitar la caja superior para así mismo tener la facilidad de quitar el estator.

Al quitar el estator se pudo inspeccionar la parte del rotor. Ver figura 80.



Figura 80. Inspección de estator.

El motor con el cual estaba en servicio la bomba era un motor de marca US motor que tiene las siguientes características como se presenta en la tabla. Ver tabla 22.

Tabla 22. Ficha técnica de motor US motors.

Modelo #	M2011	Tipo de servicio	Continuo
Serie	Z 01-ADP-M2011-M2	Vibración	1.62 mm/seg
Eficiencia nominal	149.2 kW	Elevación de temp.	105°C a FS = 1.00
Armazón	449 TP	Voltaje	440 V
Fases	3 fases	Amperes	297 A
Clase aisl.	F		
F.P	80.2 % max	60.8 % min	
Temp. Max.	40°C a 1000 msnm		
Ambiente	30°C a 2280 MSNM		
Lubricación lado carga	Grease		

Al terminar de hacer la revisión se descubrió que el estator se encontraba en buen estado, pero la mirilla del aceite presentaba una fuga, por lo cual se descartó la posibilidad de utilizar ese mismo motor para la colocación de la nueva bomba.

3.1.10 Inspección de la bomba de reserva.

Una vez que se realizó el desensamble total de la bomba que se encontraba en función, se trasladó al edificio de obra de toma la bomba de reserva que en este caso iba a tomar el lugar de la bomba que se desensambló, ya teniendo la bomba ubicada la bomba de reserva se procedió a la inspección de cada una de sus partes para verificar que si cumplía con los parámetros pertinentes. Ver figura 81.



Figura 81. Bomba de reserva ubicada en el edificio de obra de toma

Como se había descartado la posibilidad de utilizar el motor de la marca US Motors, se comenzó a inspeccionar un motor de reserva que ya se encontraba en el edificio de obra de toma, pero este motor era de la marca Fairbanks-Morse, con características similares para poder ser usado en esta bomba, para llevar a cabo el reensamble del motor se montó primero la contra tapa, para luego colocar un rodamiento al rotor del motor con su candado, Se agregó aceite light en la contra tapa del motor para que sirva como lubricación y poder posicionar el rotor, se colocó el rotor en la contra tapa, al tener el rotor en su posición se procedió a colocar el estator de forma alineada, y se aplicó antiferrante en las uniones para evitar que se peguen y no haya problemas en el desensamble. Ver figura 82.



Figura 82. Reensamble motor 1

Al tener ya posicionada la parte del estator a las otras piezas, se colocó la parte superior de la carcasa del motor y luego se colocó el collarín del motor que cuenta con doble rodamiento, ya que son los que soportan la carga axial y es donde se realizan los mayores esfuerzos, se apretó la tuerca de ajuste del motor para poder subir el rodamiento inferior a la medida que está establecida para el buen funcionamiento y evitar que tenga carga axial. Ver figura 83.



Figura 83. Reensamble del motor 2.

Al terminar las actividades anteriores se colocó la tapa superior del motor de la bomba para poder realizar la colocación del trinquete, que se armó con anterioridad, el trinquete es un elemento muy importante el motor de la bomba ya que evitan el movimiento a una dirección no esperada del giro de la flecha del motor, y en dado caso que esto sucediera se llevaría a cabo un disparo de la bomba por sobre carga de corriente. Al terminar la colocación del trinquete y toda la tapa superior, se procedió a la lubricación total del motor con sus especificaciones. Ver figura 84.



Figura 84. Reensamble del motor 3.

El motor de la marca Fairbanks Morse presenta las siguientes características, que son muy parecidas a las características del motor con el cual ya estaba en funcionamiento la bomba que se desensambló. Ver tabla 23

Tabla 23. Características del motor Fairbanks-Morse.

C.P.	200	ARM	2488
Fases	3	CL	KZKV 3
KW	149	EST	PMA-1C1-143
Volts	440	NUM	X21-29633
50	Ciclos		60
285	AMP		268
750	RPM		800

Y para que el motor fuese lubricado de la manera correcta y con los rodamientos pertinentes para su buen funcionamiento nos guiamos con la placa de datos que maneja el motor a un costado, y así poder realizar el ensamble de una forma excepcional.



Figura 85. Datos de lubricación de baleros del motor.

Al terminar el reensamble del motor, se llevó a cabo el dimensionamiento de algunos elementos de la bomba de reserva, como lo son las flechas y las chumaceras que su dimensionamiento es de vital importancia ya que si las medidas de ciertos elementos no se encuentran dentro del rango de parámetros establecidos por los manuales y procedimientos, el ensamble de la bomba no procederá y se deberá buscar otra solución.

Para el dimensionamiento de la flecha se ocupó un indicador de cuadrante que estaba dentro de las fechas de calibración para evitar los errores en las medidas y se colocaron cada una de las flechas en una base con rodamientos para permitir su libre giro, a su vez, se marcaron en cada flecha las referencias de los ángulos en los cuales se tomarían las medidas, y también la distancia de cada pie de longitud en la flecha.

En la siguiente tabla se muestran las dimensiones de la deflexión que se obtuvieron al medir cada una de las flechas. Ver tabla 24

Tabla 24. Deflexión de las flechas.

Flecha superior o Motriz										
Lado cople	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Grados
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0°
-0.001	0.000	0.001	-0.001	0.000						90°
-0.001	0.000	-0.001	-0.001	0.000						180°
0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000						170°
Flecha intermedia superior o estopera										
Lado cople	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Grados
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0°
0	-0.001	-0.001	0.000	0.001	0.000					90°
0	-0.001	-0.001	0.000	0.001	0.000					180°
0.000	0.000	-0.001	0.000	0.001	0.000					170°
Flecha intermedia										
Lado cople	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Grados
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0°
-0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	-0.001	0.000	-0.001	0.001	-0.001	90°
-0.001	0.000	0.002	0.001	-0.001	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	180°
0.000	0.000	0.001	0.000	-0.001	0.000	-0.001	-0.001	0.001	0.001	170°
Flecha inferior										
Lado cople	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Grados
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0°
-0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.000	-0.001	90°
-0.001	0.001	0.000	0.001	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	180°
-0.001	0.001	-0.001	0.000	-0.001	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	170°

Flecha del conjunto rotatorio									
Lado cople	2	3	4	5	6	7	8	9	10 Grados
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0°
0.000	0.001	0.000	-0.001	0.001	0.000	0.000	0.000		90°
0.000	0.001	-0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000		180°
0.000	0.001	-0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000		170°

Ya teniendo esta relación de la deflexión de la flecha se pudo interpretar los resultados del dimensionamiento, y según el procedimiento con el cual se llevó a cabo el mantenimiento de la bomba y motor, la deflexión de la flecha no deberá ser mayor de 0.002” por pie de longitud, y al revisar la tabla de la deflexión se notó que todas las flechas estaban dentro de los parámetros de aceptación por lo que se prosiguió con las actividades.

La siguiente actividad que se llevó a cabo fue el dimensionamiento de las chumaceras, todas las chumaceras se dimensionaron para ver de igual manera si estaban dentro de los parámetros, para este caso las herramientas utilizadas fueron un micrómetro y calibradores telescópicos, los cuales fueron empleados para medir los diámetros interiores de cada una de las chumaceras, en 3 partes de forma axial, una medida de la parte superior, del centro e inferior, y en un ángulo de 0°-180° y de 90°-270°, en la figura siguiente se pueden notar alguna de las chumaceras que fueron dimensionadas, en este caso las primeras dos de la izquierda son del nuevo material termoplástico y que corresponde a las chumacera del buje estopero y de una de las columnas, y la tercer foto es de una chumacera de bronce que se encuentra en uno de los tazones de la bomba. Ver figura 86.



Figura 86. Dimensionamiento de chumaceras.

En la siguiente tabla se muestran las medidas correspondientes del dimensionamiento de cada una de las chumaceras, así como también las medidas de las flechas a la cual corresponden cada una de ellas, y así conocer el claro o diferencia de diámetro al cual están sometidos y si están dentro del rango de parámetros permitidos por diseño. Ver tabla 25.

Tabla 25. Registro dimensional de Chumaceras

	DIMENSIONES EN PLG (")				CLARO
	ARRIBA	CENTRO	ABAJO		
1.- CHUMACERA O BUJE ESTOPERO (Termoplástica)	2.449	2.4495	2.450	0° - 180°	0.015"
	2.448	2.449	2.450	90° - 270°	
2.- CHUMACERA DE COLUMNA INTERMEDIA (Termoplástica)	2.447	2.448	2.448	0° - 180°	0.013"
	2.448	2.448	2.448	90° - 270°	
3.- CHUMACERA DE COLUMNA INFERIOR (Termoplástica)	2.450	2.448	2.448	0° - 180°	0.014"
	2.450	2.448	2.448	90° - 270°	
4.- CHUMACERA SUPERIOR DEL TAZÓN DE DESCARGA (Bronce)	2.698	2.698	2.698	0° - 180°	0.011"
	2.698	2.698	2.698	90° - 270°	
5.- CHUMACERA INFERIOR DEL TAZÓN DE DESCARGA (Bronce)	2.695	2.695	2.696	0° - 180°	0.011"
	2.696	2.695	2.698	90° - 270°	
6.- CHUMACERA SUPERIOR DEL TAZÓN DE INTERMEDIO (Bronce)	2.698	2.697	2.697	0° - 180°	0.011"
	2.698	2.697	2.698	90° - 270°	
7.- CHUMACERA INFERIOR DEL TAZÓN INTERMEDIO (Bronce)	2.698	2.697	2.697	0° - 180°	0.011"
	2.698	2.697	2.697	90° - 270°	
8.- CHUMACERA SUPERIOR DE TAZÓN DE SUCCIÓN (CAMPANA) (Bronce)	2.697	2.698	2.698	0° - 180°	0.011"
	2.697	2.698	2.698	90° - 270°	
9.- CHUMACERA INFERIOR DE TAZÓN DE SUCCIÓN (CAMPANA) (Bronce)	2.698	2.698	2.698	0° - 180°	0.011"
	2.697	2.698	2.698	90° - 270°	
DIAMETRO DE LA FLECHA DEL CONJUNTO ROTATORIO	2.687				
DIAMETRO DE LA FLECHA DE LAS COLUMNAS Y ESTOPERO	2.435				

Al haberse tomado las lecturas de los diámetros interiores de las chumaceras, tanto del estopero, columna, tazones y campana, y los diámetros exteriores de las flechas de acuerdo al procedimiento con el cual se realiza el mantenimiento a la bomba, el claro mínimo que debe existir entre ellas es de 0.011" y el máximo es de 0.015", tomando en cuenta que se cambiaría alguna de las chumaceras o algún elemento si este no se hubiese encontrado en las condiciones establecidas por los manuales y procedimientos, en este caso se encontró que todos los elementos, chumaceras como flechas, tienen las medidas correctas para estar dentro de los parámetros establecidos y así poder tener la confianza de que podrán funcionar de la mejor manera correspondiente.

3.1.11 Balanceo del conjunto rotatorio

Al tener todas las medidas necesarias, y la certeza de que los elementos de las chumaceras y flechas trabajarían de la mejor manera de acuerdo a su diseño lo que prosiguió fue el montar el conjunto rotatorio para posteriormente ser llevado al taller para que con ayuda del grupo predictivo se llevara a cabo el balanceo del mismo.

Antes de empezar con el ensamble de la bomba se limpiaron perfectamente todas las partes de la bomba, se instaló el desarenador de la flecha de impulsores dejando 12” de la parte baja del desarenador al extremo inferior de la flecha, luego se colocó la campana de succión sobre calzos de madera en posición vertical, para poder montar la flecha en la campana y se instaló el buje cónico, el impulsor y la tuerca del impulsor, también se colocó una placa de acero con un tornillo en la parte inferior de la flecha para evitar que la flecha se moviera, se prosiguió a apretar el primer impulsor, con lo que fue requerido hacerlo con un mazo y un cincel de bronce para ir apretando de manera uniforme la tuerca del impulsor. Ver figura 87.



Figura 87. Ensamble del conjunto rotatorio 1.

Al terminar de de apretar el primer impulsor, se marcó la posición del primer impulsor y se tomó la distancia de la punta de la flecha al buje cónico que fue una distancia obtenida de 64 5/16 “, luego se instaló el tazón intermedio sobre la campana de succión con su tornillería limpia y se apretó manualmente, se prosiguió a instalar el buje cónico, el impulsor y su tuerca de ajuste del impulsor para después hacer el apriete, se marcó la posición del segundo impulsor manualmente, y se midió la distancia de la punta de la flecha superior al buje cónico obteniendo una medida de 37 3/16”. Ver figura 88.



Figura 88. Ensamble del conjunto rotatorio 2.

Una vez obtenida cada una de las medidas de la posición de cada impulsor que servirán de referencia para su colocación, se retiró la tuerca del impulsor, impulsor y buje cónico del segundo paso, también se retiró el tazón intermedio, se colocó el buje cónico, se volvió a poner el impulsor y su tuerca del segundo paso en las marcas y en la distancia que se habían tomado en los pasos anteriores, para así posteriormente ser trasladado la flecha del conjunto rotatorio con los impulsores instalados y con el apoyo del grupo de maniobras, al taller de mantenimiento mecánico para realizar el balanceo. Ver figura 89.



Figura 89. Ensamble del conjunto rotatorio 3.

Al tener el conjunto rotatorio ya en el taller de mantenimiento, se hicieron los preparativos para llevar a cabo el balanceo, con ayuda del grupo de maniobras se coloca el conjunto en la balanceadora, se verificó el antes de iniciar el sentido del giro, se colocó el rotor con la precaución de usar la zona de rodamientos como apoyo en la balanceadora ya que es la zona de mejor maquinado, se colocaron soportes superiores y laterales junto con balines al extremo de cada lado de la flecha esto con el fin de evitar los movimientos axiales que se pudiesen presentar, y dejando un claro de $1/16''$. Ver figura 90.



Figura 90. Preparativo del balanceo 1.

Se colocó también una cinta reflejante, en dirección de la cuña, esta cinta se tomó como referencia del ángulo 0° , Se colocó el sensor en posición vertical, a una distancia aproximadamente de 1" sobre la línea reflejante. Ver figura 91.

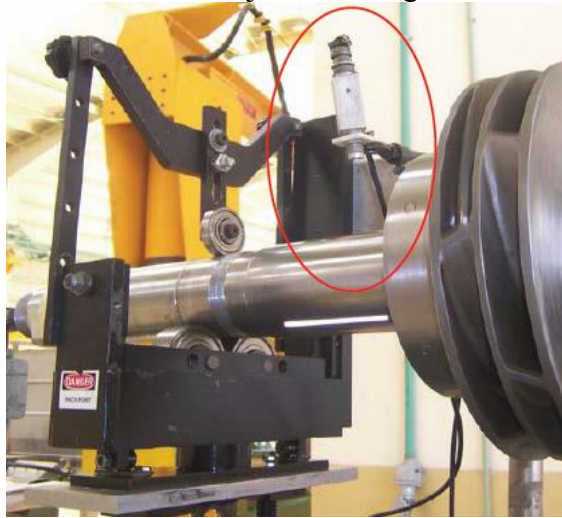


Figura 91. Preparativo de balanceo 2.

Se colocó correctamente cada uno de los puntos de seguridad de la balanceadora en su posición de trabajo, ya con el conjunto rotatorio en su puesto para así iniciar con los pasos, de toma de parámetros en la computadora de la balanceadora y las especificaciones técnicas para brindar un balanceo confiable. Ver figura 92.



Figura 92. Montaje en la balanceadora.

Antes de iniciar se verificó las conexiones eléctricas, se encendió la máquina y el monitor, se seleccionó MENU en la pantalla principal. Ver figura 93.



Figura 93. Interfaz de la balanceadora 1.

Se seleccionó la calidad del balanceo el cual debe estar en 2.50. Ver figura 94.

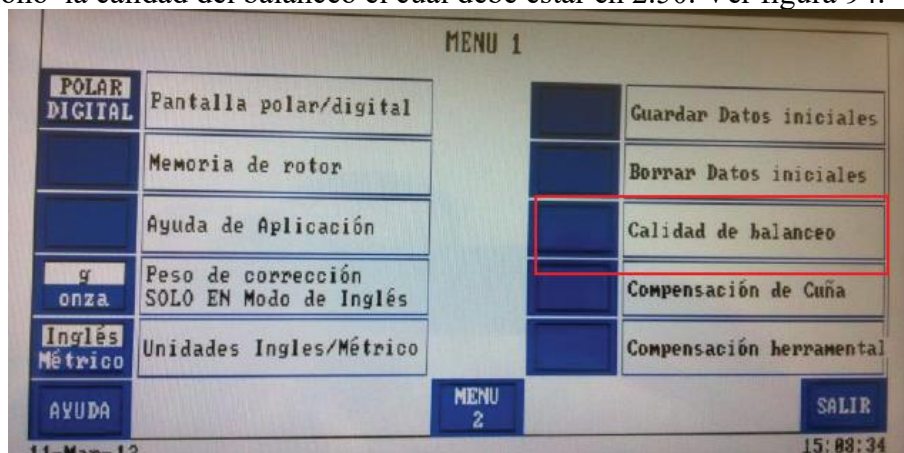


Figura 94. Interfaz de la balanceadora 2.

Se anotó la masa del rotor en Lb y la velocidad en sitio del rotor que en este caso, era de 800 rpm y 2000 lb, ver figura 95.

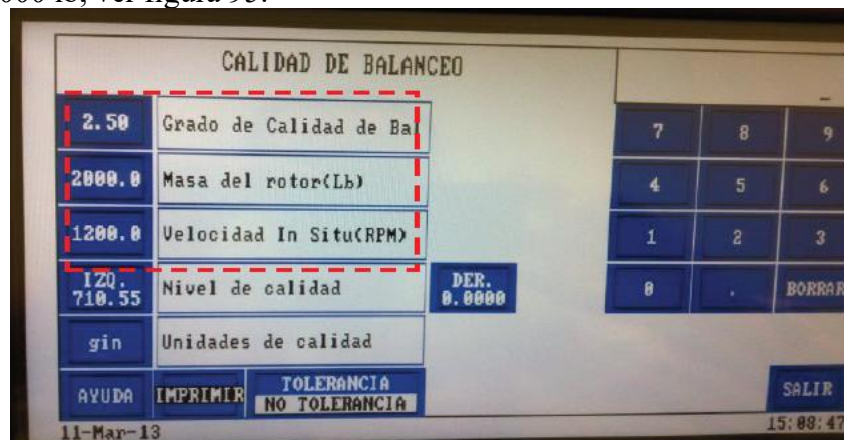


Figura 95. Interfaz de balanceadora 3.

Se oprimió salir y en la pantalla siguiente se volvió a oprimir para llegar a la pantalla principal, luego se seleccionó la opción montar el rotor. Ver figura 96.

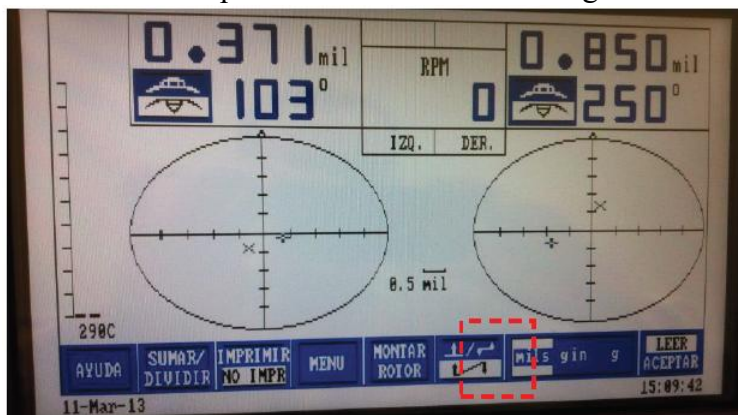


Figura 96. Interfaz de balanceadora 4.

La siguiente opción que se seleccionó fue configuración del rotor, y después de acuerdo al rotor y la configuración en la que se montó en la balanceadora se eligió la opción que a esta le correspondía. Ver figura 97.

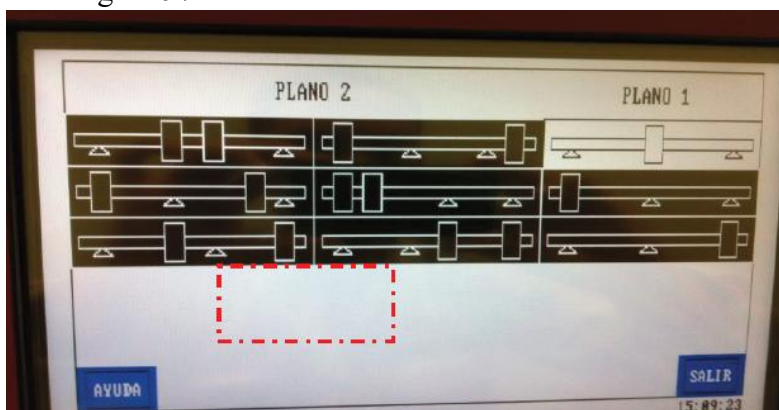


Figura 97. Interfaz de la balanceadora 5.

Se tomaron las medidas del rotor de acuerdo a lo indicado en la imagen y se capturaron cada una de esas medidas en la pantalla con la mayor precisión que fue necesaria para con eso brindar la confiabilidad del balanceo. Ver figura 98.

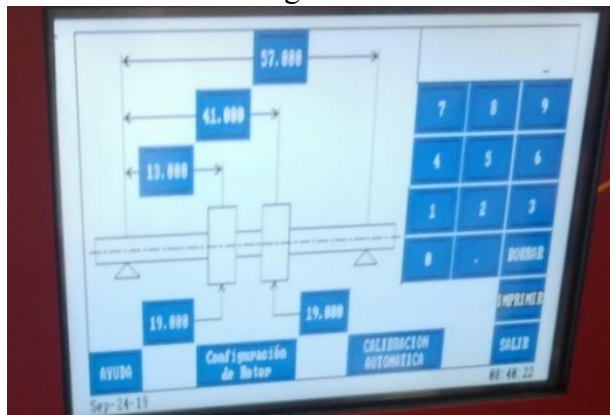


Figura 98. Interfaz de balanceadora 6.

Y una vez que se encontraron listas las medidas del rotor en la pantalla se aprieta en la pantalla el botón de calibración automática. Al tener toda la interfaz con los datos registrados se oprimió RUN para iniciar el rodado aumentando la velocidad gradualmente con la perilla de SPEED. Ver figura 99.



Figura 99. Control de velocidad de la balanceadora.

Se verificó en la pantalla en la parte inferior derecha que estuviese seleccionada la opción de Leer, y se anotaron los valores de cómo se encontró, una vez que se estabilizó el rotor se seleccionó la opción ACEPTAR, también se seleccionó “g” (gramos y a que ángulo pide que se coloque el pe.so de prueba). Ver figura 100.

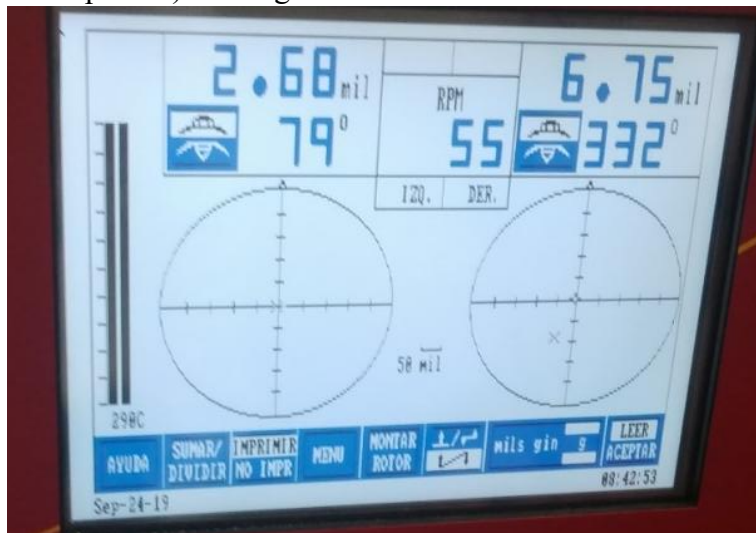


Figura 100. Datos del desbalance en pantalla.

Se anotaron los datos que se obtuvieron y la distancia que marcaba en el desbalance que en este caso fueron 2.68 y 6.75 milésimas de pulgadas, luego la balanceadora pidió como solución colocar dos pesos uno de 6 g a 327° y otro de 10 g a 76°, y las vibraciones bajaron hasta .8 y .9, por lo que se tuvo que repetir una y otra vez el agregar pesos y mover los ángulos de estos hasta llegar a un nivel de vibración por debajo de las .4 milésimas que son las que marcan los procedimientos, después de un turno de repetidas operaciones para el logro del balance del rotor se logró ajustar el impulsor de la parte inferior quedando en .3 milésimas con 228 grs de material, y el impulsor superior con .2 milésimas y con 131 gramos de material.

Al aplicarse la soldadura la placa quedó concentrada en una sola posición cuando debió haberse dispersado tomando más área, eso pasó en ambos impulsores lo que disparó la vibración al realizarse la prueba de balanceo en la balanceadora y quedó con una vibración de 2 milésimas, y 1 milésimas en el impulsor inferior y superior respectivamente, lo cual quedaba fuera de parámetros. Ver figura 101.



Figura 101. Placa en impulsores mal colocadas.

Como solución se removió el material de aporte y disperso la placa de material de manera más uniforme. En la siguiente figura se ve las placas nuevas que se soldaron de una forma más adecuada. Ver figura 102.



Figura 102. Placa en impulsor mejor colocada.

Al realizarse la solución y colocar la placa de manera adecuada, se volvió a realizar la prueba del balance del rotor en la balanceadora, y los datos que se obtuvieron en la toma de vibraciones fue de .38 y .55 milésimas en el impulsor inferior y superior respectivamente con lo cual se nota que uno está por un poco fuera de los parámetros pero se da como bueno y se sigue con las siguientes actividades a realizar.

3.1.12 Ensamble y montaje de la bomba.

Teniendo el conjunto rotatorio balanceado por el grupo de mantenimiento predictivo, se procedió a trasladarlo al edificio de obra de toma donde se ensamblaría el conjunto rotatorio con sus tazones correspondientes y así luego montar la bomba en su posición correspondientes para realizar su función, el traslado se dio a través del apoyo de grupo de maniobras.

Al llegar el conjunto rotatorio al edificio de obra de toma lo primero que se hizo fue posicionarlo sobre la campana de succión, se retiró la tuerca del impulsor, también el impulsor y su buje cónico para ser posicionados en un lugar seguro para uso después, luego se instaló el tazón inferior, o primer tazón sobre la campana de succión y con un torquimetro se apretaron los tornillos a un torque de 150 lb/pie.

Se instaló un capuchón en la flecha para esta ser levantada por la grúa y así comprobar que esta girara libremente, se instaló después una plancha con arandela y su tornillo en la parte inferior de la flecha para evitar que la flecha se corra al instalar el segundo tazón.

Se instaló el segundo tazón, con su buje cónico en la flecha apretando la tuerca de sujeción lo suficiente para evitar que esta se deslice sobre la flecha, se volvió a levantar ligeramente la flecha para volver a verificar que girara libremente, se instaló el tazón superior sobre el tazón inferior apretando la tornillería de igual manera con un torque de 150 lb/pie. Ver figura 103.



Figura 103. Ensamble de conjunto rotatorio y tazones.

Se trasladó el cuerpo de tazones hasta el cárcamo y se instaló sobre la estructura donde descansara antes de ser sumergido en la bahía, se instaló a su vez un cople y la flecha de columna inferior, también se colocó la columna inferior y se apretaron los tornillos a 150 lb/pie, tanto en las cuerdas de la flecha como en las bridas del conjunto de tazones y la columna inferior fue colocado antiferrante para conseguir que las piezas no se adhieran o se peguen, y sean fácilmente removibles para próximos mantenimientos.

Se verificó que las flechas estuviesen alineadas entre sí y centradas en las columnas, se levantó ligeramente con un capuchón la columna, para comprobar que giraran libremente, en la siguiente figura se puede observar la columna inferior descansando sobre la plataforma y con una cubierta EME colocada esta con el fin de evitar la inmersión de materiales extraños al interior de la bomba.



Figura 104. Colocación de antiferrante en columna inferior.

Al tener la columna inferior ya apoyada en la plataforma se procedió a colocar la columna intermedia, apretando toda su tornillería y verificando que la flecha quedará centrada y girara libremente, una vez puesta la columna intermedia se levantó el conjunto y se retiró la plataforma del ensamble para permitir el descenso de todo el conjunto y así volver a posicionar la brida superior de la columna intermedia en la plataforma.

Se instaló el cople y la flecha del estopero, se verificó su giro, una vez posicionada la flecha, se colocó la columna corta en el cabezal con el antiferrante en las bridas, y apretando la tornillería a 150 lb/pie. Se trasladó el cabezal y la columna corta a la posición de la bahía para ser colocadas en la posición que le correspondía. En la siguiente figura se puede observar todo el proceso.



Figura 105. Colocación de columna intermedia, verificación de giro y traslado de cabezal.

Se instaló el cabezal de descarga, limpio y teniendo mucha precaución de no dañar el prensaestopas con la flecha, se levantó con la grúa todo el conjunto ligeramente y se retiró la plataforma de ensamble, se limpió el lugar donde se asentaría la bomba, al colocar el cabezal de descarga en su posición se midió la distancia entre el cabezal y la tubería de descarga para verificar si la válvula check entraría correctamente.

Se procedió a medir el cabezal encontrado un nivel ligeramente fuera de los parámetros, se utilizaron lanas para saber la medida necesaria para la nivelación lecturas de nivelación con las que se dejó el cabezal fueron : 0.003" Este, 0.005" Norte, 0.003" Este, 0.005" Sur. Ver figura 106.

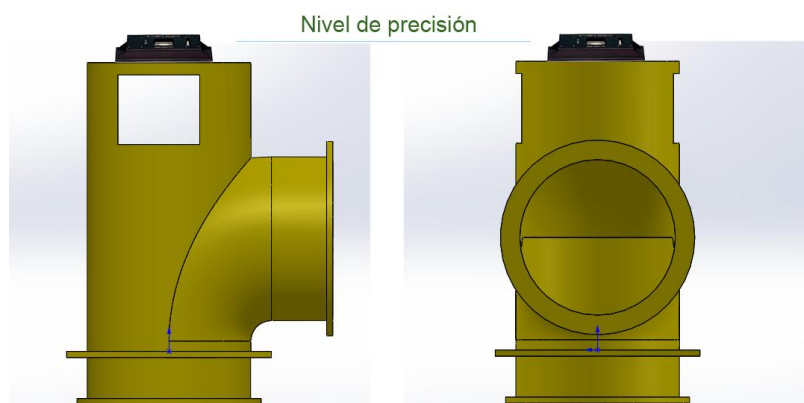


Figura 106. Toma de nivelación 2.

Se apretaron los pernos de la base proporcionándoles un torque de 160 lb/pie, verificando que la nivelación no sea mayor de 0.005". Con el apoyo de la grua y un diferencial, se colocó un capuchón en la flecha para levantar todo el conjunto rotatorio y así verificar que este gire libremente.

Se realizó la medición de paralelismo radial y axial entre las caras de las bridas del cabezal y tubo de descarga cada 45° y la medidas se registraron, se debían pasar o ser mayor a 5 mm. Ver figura 107.

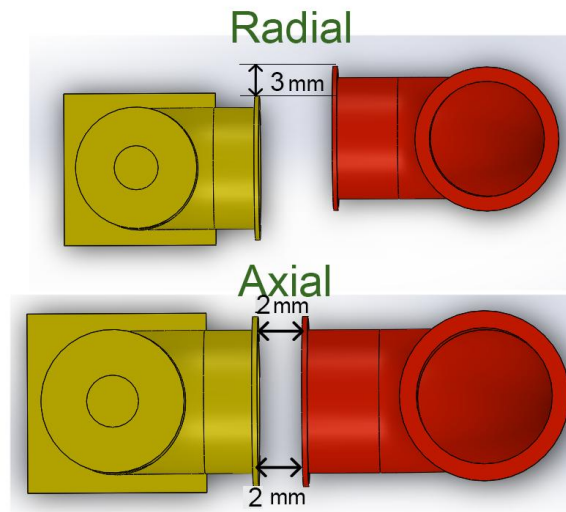


Figura 107. Paralelismo radial y axial

Se procedió a colocar la válvula de retención o válvula check, una vez colocada se empezó a nivelar el codo ya que la válvula check no estaba 100% cerrada, se baja el patín y se aprieta hacia la bomba, y se cierra la check, una vez encontrada su posición ideal se inicia el apriete de la válvula de expansión. Ver figura 108.



Figura 108. Colocación y apriete de válvula check.

Con una lina delgada de 3 milésimas de pulgada se verifica si aún existe claro entre la válvula check y el codo de descarga y lado de la bomba. Se comenzó a lijar la placa del patín para poder lubricarla y hacerla pegar con el tubo de descarga.

Al realizar los movimiento de patín y apriete en la tornillería de la válvula check, se verificó mediante un indicador de cuadrante, y el nivel de precisión que la nivelación no sobrepasara los 0.005"/pie



Figura 109. Nivelación con indicador de cuadrante y nivel de precisión.

Se procedió a cortar la empaquetadura que irá en el estopero para tener una fuga controlada, esto ayudará a disipar el calor generado por la fricción y la empaquetadura, servirá como lubricante cuando la bomba se encuentre en servicio, se tuvo cuidado al apretar, ya que si se aprieta de más la bomba se puede amarrar y dañar la flecha, se colocaron 4 anillos de empaquetaduras. Ver figura 110.



Figura 110. Colocación de empaquetadura.

Se trasladó el motor con ayuda del grupo de maniobras para realizar una prueba de contacto del motor con la cual se verifica si este asentará de manera correcta, el contacto que se obtenga debe ser mayor o igual al 70% de la superficie.

Se realizó la primer prueba de contacto entre el motor y el cabezal, para esta prueba se embarró el cabezal de antiferrante el cual nos ayudará el porcentaje (%) entre las superficies de contacto y se aprieta la tornillería del motor, después se volvió aflojar y se hizo la inspección visual, en la primera prueba se encontró alrededor del 40% de contacto. Ver figura 111.

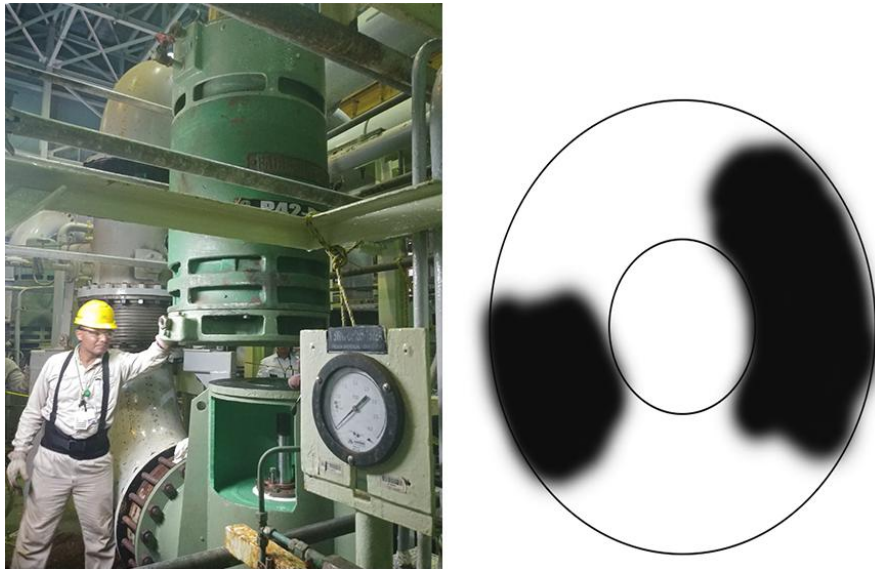


Figura 111. Primer prueba de contacto.

Como se encontró que la superficie de contacto no tuvo el resultado esperado, se empezó a rectificar las superficies o caras de contacto tanto del cabeza como del motor con piedra. Ver figura 112.



Figura 112. Rectificación con piedra.

Se realizó una segunda prueba de contacto con el mismo procedimiento que el anterior, y al hacer la inspección visual se observó que mejoró de manera significativa el contacto entre las superficies, con un contacto alrededor de un 70 % entre las caras de contacto, el problema fue que se concentró un vacío en un solo punto y esto pudiese haber generado o dar origen a altas vibraciones cuando estuviera en funcionamiento la bomba.

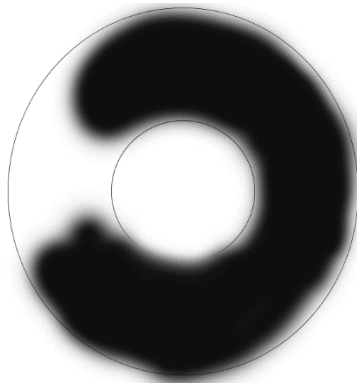


Figura 113. Segunda prueba de contacto.

Se volvió a trabajar en las superficies con la piedra para tratar de rectificar aun más, y al realizar la tercer prueba de contacto se generó un resultado muy favorable con un contacto de alrededor del 95% entre las superficies. Ver figura 114.

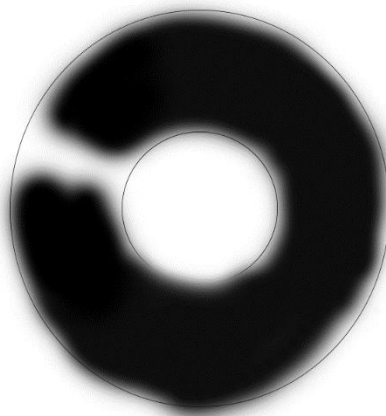


Figura 114. Tercera prueba de contacto.

Al terminar la prueba de contacto, se procedió a colocar la flecha motriz la cual se acoplo a la flecha estopera, también se colocó el cople deflector de hule, también se terminó de agrega aceite al motor, se comenzó la colocación del motor arriba del cabezal ya con las superficies de contacto con su debida película de antiferrante, para que el motor quedara posicionado correctamente se colocan tornillos que sirven como guía, y se comprobó con inspección visual que la flecha haya entrado de manera satisfactoria, y también haya logrado salir por la tapa del motor.

Una vez que se colocó el motor en su posición y también la flecha motriz, se comenzó a hacer la conexión de las resistencias calefactoras del motor y la función de estas resistencias es prevenir riesgos de corto circuitos durante la fase de arranque del motor, ya que se produce por la aparición de condensaciones en los devanados, y obra de toma en un lugar con mucha humedad por lo que es necesario el uso de las resistencias. En la siguiente figura se muestra la posición en la cual se encuentran tanto la caja de conexión de las resistencias calefactoras como de la conexión de fuerza del motor. Ver figura 115.



Figura 115. Posición de las cajas de conexión del motor.

Después de conectar las resistencias calefactores se realizó la conexión eléctrica del motor, para su posterior arranque en vacío. Ver figura 116.

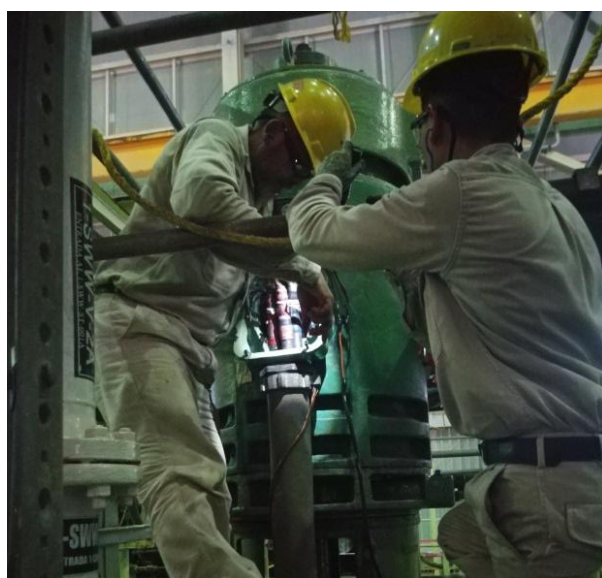


Figura 116. Conexión eléctrica de fuerza del motor.

Al tener las conexiones eléctricas listas, se realizó el arranque para la prueba en vacío y verificar los parámetros de corriente y designar si el funcionamiento del motor era el apropiado, se tomaron las lecturas de corriente y a su vez las lecturas de vibraciones.

Las lecturas fueron tomadas por el grupo de mantenimiento predictivo a través de un equipo de vibración digital, tipo lector de datos con toma de espectros y forma de onda, que puede capturar valores de desplazamiento, velocidad y aceleración. Ver figura 117.



Figura 117. Toma de vibraciones de la bomba.

Las lecturas de las corrientes que fueron obtenidas son las siguientes:

I_{NOMINAL} 264 A

$I\Phi_A$: 102.7 A

$I\Phi_B$: 99.1 A

$I\Phi_C$: 101.3 A

Las lecturas tomas de la primer prueba en vacío estuvieron dentro de los parámetros aceptables.

Al realizar la primer prueba en vacío hubo un problema con el trinquete y la flecha motriz ya que al estar en posicionada de forma libre en el motor con el movimiento del motor al estar en funcionamiento, tuvo contacto esta con el trinquete y lo sacó de su posición, haciendo que oscilara, los parámetros de vibraciones y corrientes no fueron tomados en cuenta por esa situación.

Para volver a realizar la prueba se decidió sacar la flecha motriz y evitar que volviera a suceder lo mismo, que volviera a tener contacto con el trinquete y lo sacara de su posición al volver a realizar la prueba se volvió a tomar los parámetros de corriente y vibraciones.

Las lecturas de las corrientes que fueron obtenidas en la segunda prueba en vacío son las siguientes:

$I_{NOMINAL}$ 264 A

$I\Phi_A$: 105 A

$I\Phi_B$: 103.6 A

$I\Phi_C$: 107.3 A

Estas lecturas que se obtuvieron en la segunda prueba en vacío de las corrientes del motor, también estuvieron dentro de los parámetros aceptables.

Cuando se terminó de realizar la segunda prueba en vacío se procedió a realizar la prueba funcional con carga (Con el motor acoplado a todo el conjunto de flecha y conjunto rotatorio), pero sucedió un problema al tratar de colocar la tuerca de ajuste a la flecha motriz, se presume que las cuerdas de la flecha se dañaron al chocar con el trinquete. La tuerca de ajuste quedó bloqueada en la flecha y se tuvo que desacoplar la flecha, para tratar de quitar la tuerca, en un lugar más cómodo, en la siguiente figura se muestra la flecha con la tuerca de ajuste bloqueada. Ver figura 118.



Figura 118. Tuerca de ajuste atascada en flecha motriz.

Se trató de retirar la tuerca de ajuste de diferentes formas, agregando WD-40, aplicando más torque, y no se pudo retirar, la única forma que encontraban un poco prudente para retirar la tuerca y ver si se salvaba la flecha era hacerle un corte a la tuerca en la distancia del cuñero.

La solución inmediata para continuar con las actividades del trabajo fue solicitar una nueva tuerca de ajuste y ocupar una flecha que se encontraba en el edificio de obra de toma, se realizó la toma de parámetros de la flecha y se encontró que estaba en buen estado dentro de los parámetros permisibles para su uso. Ver figura 119.



Figura 119. Dimensionamiento de flecha nueva.

Se procedió a acoplar la flecha a la bomba, se colocó la cuña entre el trinquete y la nueva flecha, para luego hacer el ajuste de la carrera de los impulsores, se posicionó un indicador de cuadrante en la parte superior de la flecha motriz. De acuerdo al procedimiento este marca una medida del claro de los impulsores de 0.0625" a 0.125" de la base del tazón a los impulsores para conseguir la eficiencia necesaria para su funcionamiento. Ver figura 120.



Figura 120. Ajuste de cuñero y carrera de los impulsores.

Se levantaron los impulsores mientras se apretaba la tuerca de ajuste, verificando la lectura en el indicador de cuadrante, y se colocaron los opresores de la tuerca para que coincidieran en el cuñero la carrera obtenida de los impulsores quedó en 0.077"

Una vez que se le dio la carrera a los impulsores se procedió hacer el arranque de la bomba para una funcional con carga, pero a los 15 segundos de encendido de del motor, se notó débil para funcionar lo que llevó a paro inmediato del equipo, se revisó la gráfica de corriente y se encontró inconsistencia en el funcionamiento del equipo, como si los impulsores estuviesen pegados a los tazones o rozándolos, y por eso no tenía la fuerza suficiente para moverlos. Ver figura 121.

Corriente eléctrica en bomba TSW

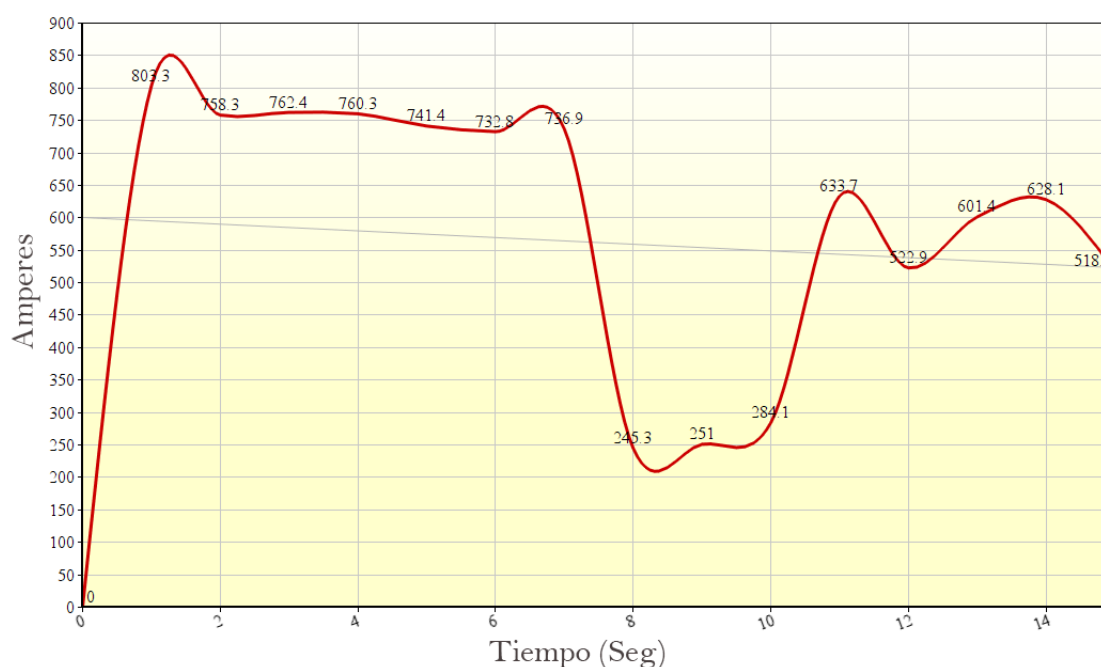


Figura 121. Diagrama de la corriente de arranque del motor.

Se volvió a realizar la segunda prueba de la TSW con carga, se alzó la carrera de los impulsores alrededor de 30 milésimas de pulgada, con lo cual se esperaba que la carrera quedara en un total de 0.110" y al hacer la prueba se notó un mejor funcionamiento ya que las corrientes al tomar las medidas se encontraron estables, también las temperaturas de cada una de las fases se encontraban dentro de los parámetros. Ver tabla 26.

Tabla 26. Relación de las temperaturas de las fases.

Tiempo	Posición y temperatura		
	Fase a	Fase b	Fase c
5 min	34 °C	37 °C	37 °C
10 min	34 °C	37 °C	37 °C
15 min	35 °C	37 °C	38 °C

Se encontraron temperaturas estables en cada una de las fases, no hubo algún incremento significativo que marcara alguna posible falla en el futuro.

Al realizar la prueba con carga y estar monitoreando los parámetros y criterios de aceptación, uno de los únicos parámetros que estuvo fuera de los lineamientos fueron las vibraciones mecánicas de la bomba, con las siguientes medidas obtenidas por el analizador de vibraciones. Ver figura 122.

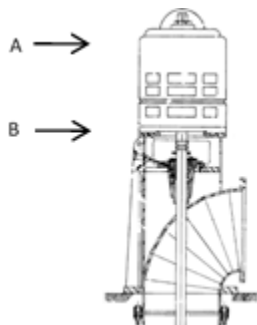


Figura 122. Posición de la toma de vibraciones.

De acuerdo a los criterios de aceptación de vibraciones en términos de velocidad de 0 a 0.30 plg/seg es ACEPTABLE , >0.30 a 0.45 plg/seg es ALARMA, y >0.45 plg/seg significa CORRECCIÓN. En este caso las vibraciones cayeron en la condición de corrección. Ver tabla 27.

Tabla 27. Primera toma de vibraciones de la bomba en función.

Vibración (Velocidad)	Posición	Punto
0.16 plg/seg	Horizontal	A
0.46 plg/seg	Vertical	
0.17 plg/seg	Axial	
0.07 plg/seg	Horizontal	B
0.29 plg/seg	Vertical	
0.14 plg/seg	Axial	

Como una solución de altas vibraciones se propone balancear el motor en campo por lo que en la primer prueba de balanceo se agregaron 70 gramos a 30 °en uno de los pozos que tiene el motor para balanceo, la vibración no cesó como se esperaba y se agregan ahora 75 grs a 90°, luego 120 grs a 330°, después 150 grs a 330° y se logró bajar las vibraciones, teniendo una máxima vibración en el punto A en posición Vertical del 0.26 plg/seg dentro del rango aceptable de acuerdo a los procedimientos, pero luego de una semana las vibraciones se alzaron muy por arriba de la zona de aceptación y se concentró en la zona de corrección, con una Velocidad en el punto A en posición vertical de 1.03 plg/seg, se trató de volver a corregir las altas vibraciones haciendo de nuevo balanceo en campo, pero ya la bomba no respondía de forma positiva a los balanceos que se realizaron, por lo que se decidió librar la bomba, y desensamblarla para checar la falla que pudiese haber tenido.

3.1.13 Actividades de retrabajo

Se presumió que el problema de la bomba debió estar en la parte de los tazones y el conjunto rotatorio por lo que se volvió a desensamblar la bomba, para poder hacer una inspección de los elementos de la bomba. Ver figura 123.



Figura 123. Inspección de partes de la bomba (Retrabajo).

Al sacar los tazones se inspeccionó la flecha y los impulsores se encontraron algunos detalles en la flecha por fricción por lo que se procedió a ser cambiada, también se cambió el buje cónico de uno de los impulsores ya que no deslizaba como debía hacerlo, luego se pusieron los impulsores otra vez en su posición para ser llevados de nuevo al taller y con apoyo del grupo predictivo volver hacer el balanceo del conjunto rotatorio. Ver figura 124.



Figura 124. Balanceo del conjunto rotatorio (Retrabajo).

A la hora de hacer el balanceo del conjunto rotatorio se logró tener un desplazamiento de .65 mils y .64 milésimas de pulgada en impulsor inferior y superior respectivamente, y solo se agregó una placa de 84 gr en un solo impulsor. En la figura 142 se puede observar la placa que se soldó.

Por parte del motor se decidió desensamblarlo para sacar su rotor y también fue llevado al taller para lograr de algún modo balancearlo. El rotor fue montando en la balanceadora para llevar a cabo su balanceo, después de agregarle 14 grms, con tornillería su desplazamiento quedo en .19 milésimas de pulgada en forma vertical, y .15 milesimas de pulgada en forma horizontal, con eso se encontraría dentro de los parámetros aceptables. En la figura 143 se puede observar la posición en la cual fue agregado uno de los tornillos que sirvió para el balanceo.

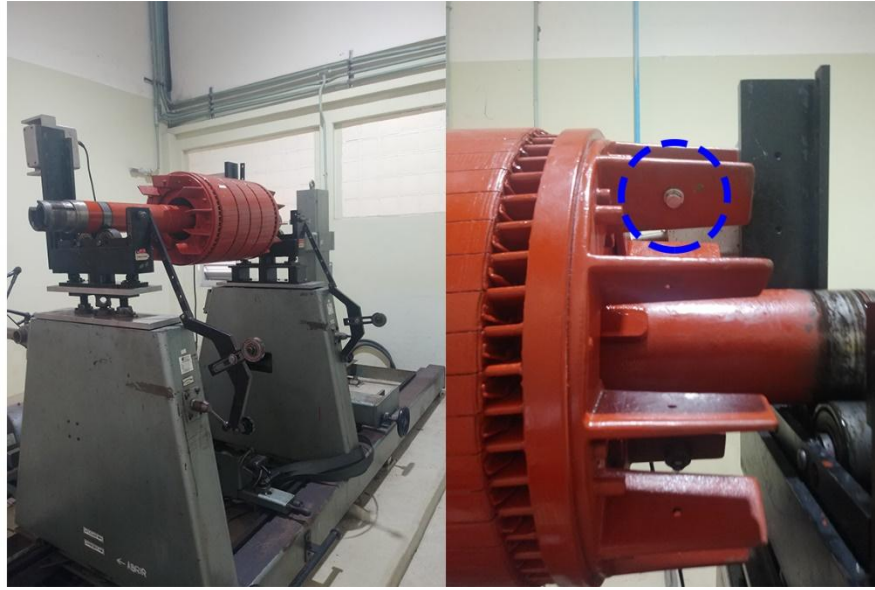


Figura 125. Balanceo del rotor.

Por otra parte al ya tener balanceado tanto el conjunto rotatorio con el rotor, se procedió a acoplamiento del cuerpo de tazones, y al hacerlo se presentó un problema con la chumacera roscada que va en el tazón de la segunda etapa, el problema era que no permitía el giro libre de el conjunto rotatorio, por lo que se tuvo que identificar el por qué de la situación, se sacó la chumacera enroscada para hacer una limpieza interior y exterior de las cuerdas.



Figura 126. Limpieza de las cuerdas de la chumacera roscada.

Al hacer la inspección visual de la chumacera roscada, se nota un pequeño desgaste que tal vez pudo haber ocasionado el amarre de la flecha en la primer prueba funcional con carga, la solución que se propuso fue llevarla al tornero para realizar una rectificación, fue una operación viable ya que está dentro aun de los parámetros de las tolerancias, y se le podía remover material unas milésimas más.

La chumacera roscada tenía un diámetro interior de 2.699" y la flecha tiene un diámetro de 2.687 por lo que el máximo diámetro permisible para la chumacera de acuerdo a la tolerancia de 0.015" es de 2.702", por esa razón se llevó al torno hacer la rectificación. Ver figura 127.



Figura 127. Rectificación en torno de chumacera roscada.

Al terminar de hacer el rectificado removiéndole dos milésimas de pulgadas a la chumacera roscada, y hacerle la limpieza en las cuerdas de la rosca, se procedió hacer el ensamble del cuerpo de tazones, con las especificaciones del procedimiento, y de la misma manera en la que se había realizado en su montaje pasado.

Se pidió el apoyo al grupo de maniobras para llevar a cabo todo el montaje de la bomba, en la bahía que le correspondía, con ayuda de la grúa, se logró posicionar la bomba y se manipuló tanto el patín, como el cabezal, y la válvula de expansión para darle en nivel correspondiente a los criterios de aceptación de la bomba, y no se generara ningún problema respecto a ello.

El claro de los impulsores que se aplicó para tener la eficiencia correspondiente se dejó con la medida de 0.098”.

Se realizó la prueba funcional en vacío obteniendo las siguientes corrientes correspondientes a la prueba.

Las lecturas de las corrientes que fueron obtenidas son las siguientes:

$I_{NOMINAL}$ 264 A

$I\Phi_A$: 102 A

$I\Phi_B$: 102 A

$I\Phi_C$: 104 A

Las lecturas tomas de la primer prueba en vacío del retrabajo correspondiente estuvieron dentro de los criterios de aceptación.

Luego se tomaron las vibraciones del motor en vacío, y resultaron como en la siguiente tabla 28.

Tabla 28. Toma de vibraciones prueba en vacío (Retrabajo)

Vibración (Velocidad)	Posición	Punto
0.15 plg/seg	Horizontal	A
0.18 plg/seg	Vertical	
0.06 plg/seg	Axial	
0.08 plg/seg	Horizontal	B
0.10 plg/seg	Vertical	
0.01 plg/seg	Axial	

Las vibraciones en vacío resultaron aceptables, y es obvio debido a que no se realiza tanto esfuerzo por el motor, y puede trabajar de menor manera estando en vacío pero la situación cambia y es más importante cuando se le agrega carga.

Al terminar la prueba en vacío y notar los resultados satisfactorios de la prueba, se decidió realizar la prueba con carga, primero se tomaron los parámetros de corriente, se obtuvieron las siguientes magnitudes.

I_{NOMINAL} 263 A

$I\Phi_A$: 262.62 A

$I\Phi_B$: 265.16 A

$I\Phi_C$: 263.20 A

Las corrientes estuvieron estables, y luego se tomaron las vibraciones con la bomba en función con todo el conjunto rotatorio. Ver tabla 39.

Tabla 29. Toma de vibraciones de la bomba con carga (Retrabajo)

Vibración (Velocidad)	Posición	Punto
0.12 plg/seg	Horizontal	A
0.25 plg/seg	Vertical	
0.12 plg/seg	Axial	
0.07 plg/seg	Horizontal	B
0.15 plg/seg	Vertical	
0.06 plg/seg	Axial	

Tabla: Toma de vibraciones de la bomba con carga (Retrabajo)

Las vibraciones se comportaron mucho mejor, dando un resultado positivo con la actividad de retrabajo y todas las actividades de inspección que se realizaron.

Como parámetro final se verificó la presión en la descarga de la bomba con una presión de 1.4 kg/cm^3 lo que demuestra en conjunto la eficacia que se tuvo del retrabajo, y dejando en funcionamiento la bomba TSW como se esperaba y con eso se concluye la implementación y mantenimiento de la bomba TSW, solo quedó esperar por vigilancias de los parámetros de vibraciones y presión de descarga. Ver figura 128.



Figura 128. Presión de descarga en la bomba TSW.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS

4.1 Resultados

4.1.1 Análisis de los materiales de chumaceras.

La siguiente tabla muestra algunas de las propiedades de más relevancia que se tomaron en cuenta para la comparación de los materiales del uso de las chumaceras. Ver tabla 30

Tabla 30. Comparación material termoplástico y bronce.

Designación del material	Bronce al estaño	Bronce al plomo	Latón alta resistencia (Naval Brass)	AR®HT (Termoplástico)
Resistencia a la tracción (Mpa)	207	207	276	35
Elongación %	20	15	15	2.2
Dureza Brinell	62	60	75	163
Coefficiente Medio de exp. Térmica $\mu/^{\circ}\text{C}$ (20-100°C)	18	18.5	20.7	28.8
Modulo de Young (Gpa)	96	76	87	39

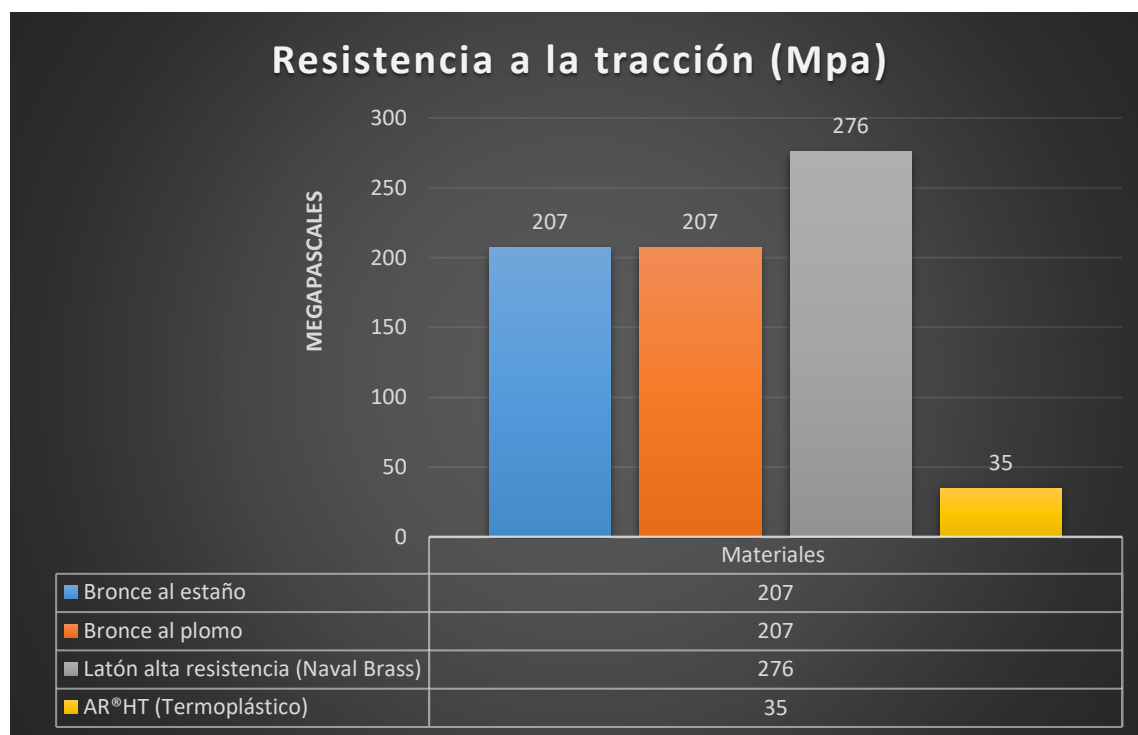


Figura 129. Comparación material termoplástico y bronce (resistencia a la tracción)

La primera comparación que se realizó es la de la resistencia a la tracción en la cual se nota que los bronce tienen una tendencia similar, son muy resistentes a la tracción, y el material termoplástico sufre en esta propiedad, esto quiere decir que en dado caso que el material estuviera expuesto a un esfuerzo mecánico de tracción tendría muchos problemas, pero la situación en la cual desempeña su uso, no ocurre este problema, en el caso de formar parte del material para una chumacera ya que no está expuesto a esfuerzos mecánicos tan grandes.

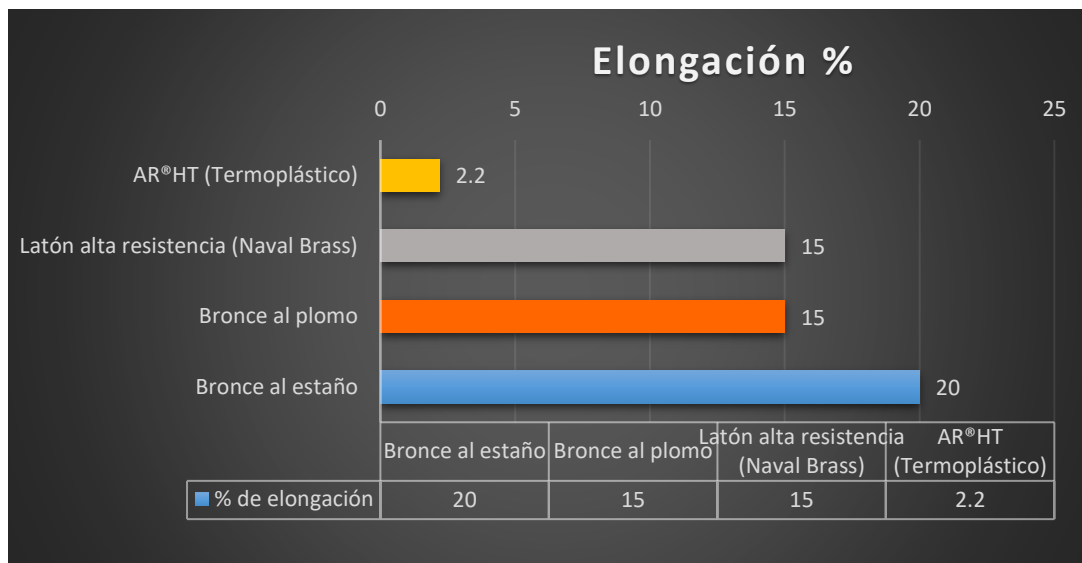


Figura 130. Comparación material termoplástico y bronce (Elongación %)

La elongación también fue una de las propiedades comparadas entre los materiales, y es la interpretación del porcentaje del estiramiento del material cuando llega a límite elástico, aquí se notó la gran diferencia entre los materiales de aleaciones metálicas que tienen un comportamiento muy parecido contra la del material termoplástico que no comparte las características de ser un material que al agregarle una carga mecánica tenga una buena resistencia elástica, que pueda devolver su posición antes de la deformación plástica, y va de la mano con la resistencia a la tracción que también es muy poca. Ver figura 130.

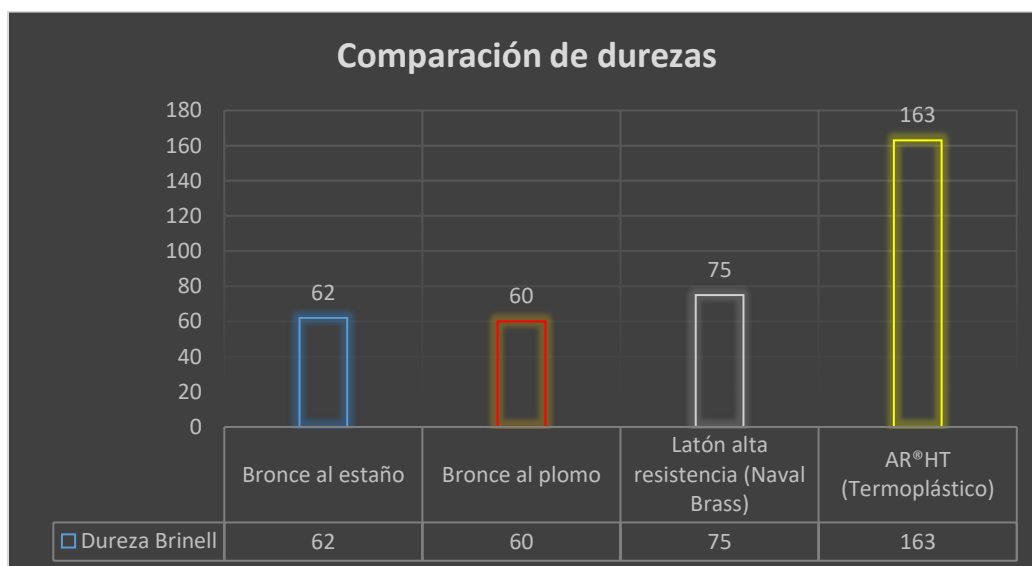


Figura 131. Comparación material termoplástico y bronce (dureza)

La tercer comparación que se dio fue la de la dureza, y es aquí donde radica una diferencia de manera positiva en el material termoplástico, correspondiendo a una mayor dureza y eso va directamente conectado con el desgaste que tiene durante su uso o la capacidad de ser rayado por otro material. Ver figura 131.

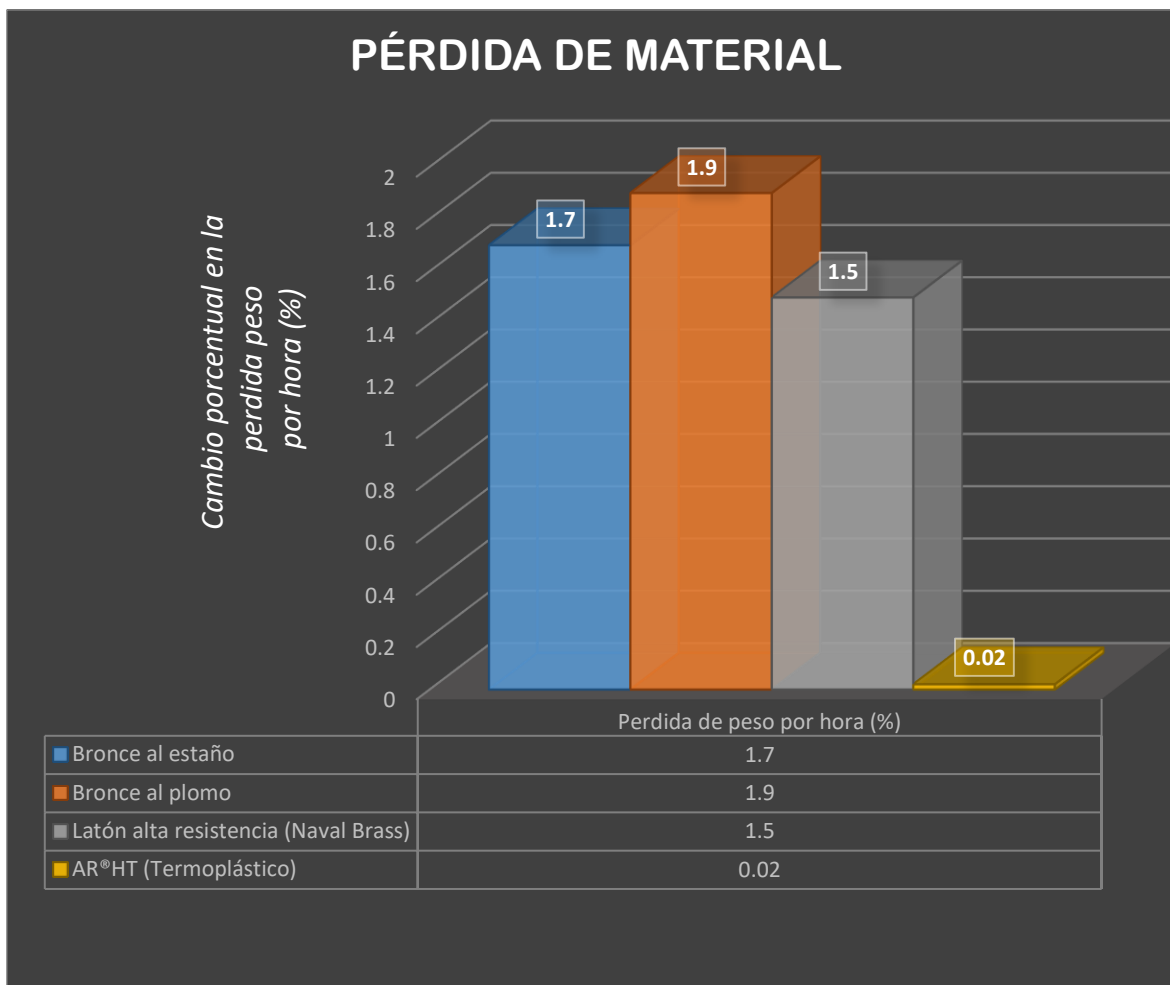


Figura 132. Comparación material termoplástico y bronce (pérdida de material)

La cuarta grafica muestra el análisis de una prueba que se realizó comparando el material termoplástico con las aleaciones de bronce, en la cual se fabricaron cojinetes de cada uno de los materiales de uso para chumaceras, con medidas estandarizadas y utilizadas de la misma manera, y fueron sometidas a condiciones de 900 revoluciones por minuto y en un entorno de 95% de agua y 5% de arena de sílice para tener un medio abrasivo, como las condiciones normales de operación de una bomba del servicio nuclear con agua de mar, la temperatura fue una temperatura promedio de 22°C, esta grafica lo que indicó fue la gran resistencia que obtuvo el material termoplástica, una resistencia muy por arriba de las observadas por las aleaciones de bronce, que tienen una perdida porcentual de material muy parecidas entre ellas pero mucho mayor que la generada por el material termoplástico, y es por esta la razón principal que se decidió involucras este nuevo material en los elementos de la chumaceras de la bomba TSW, por el momento como parte de un proyecto de prueba ya que no se colocaron las chumaceras en todo el sistema de la bomba, sino que solo fueron colocadas en 3 posiciones, se espera encontrar un resultado muy bueno para los próximos mantenimientos y así considerar la idea de utilizar este material no tan solo en toda las 9 chumaceras que componen la bomba, si no en otras bombas del edificio de obra de toma que tengan las misma condiciones de operación que esta.

4.1.2 Análisis de vibraciones del mantenimiento.

Al hacer la implementación de las nuevas chumaceras, y el montaje con el mantenimiento de la bomba de reserva, se hizo el análisis de las vibraciones al término de la actividad.

En la siguiente imagen se observa los puntos en los cuales se toma los parámetros de vibraciones y su correcta posición, todo con ayuda del software de SolidWorks. Ver figura 133.

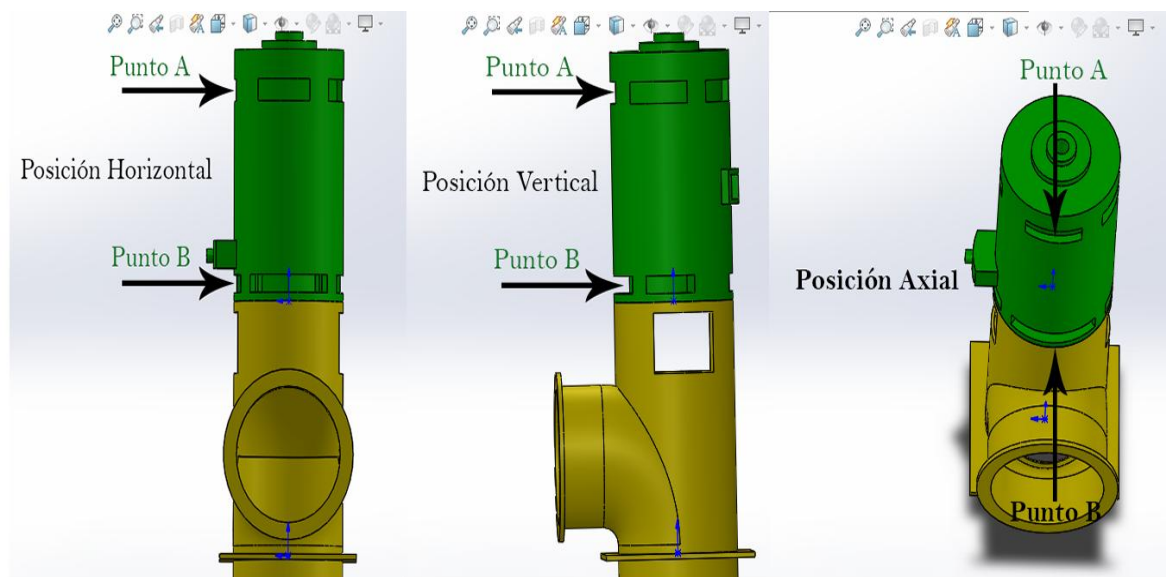


Figura 133. Posición en la toma de parámetros de las vibraciones.

En la siguiente tabla se muestra la relación de la toma de parámetros que se fueron obteniendo a medida que se hacían cada una de las mediciones correspondiente. Ver tabla 31.

Tabla 31. Registro de vibraciones mecánicas.

	Medición		Desplazamiento		Velocidad		Aceleración
	Punto	Pos.	Mils	CPM	Plg/Seg.	CPM	G
Primera medición (Necesita corrección)	A	H	4.18		0.16		1.18
		V	9.58		0.46		0.61
		A	3.51		0.17		0.33
	B	H	1.43		0.07		0.16
		V	5.90		0.29		0.12
		A	2.81		0.14		0.21
Segunda medición (Se agrega peso de prueba 90 grs)	A	H	3.07		0.13		0.97
		V	8.17		0.40		0.28
		A	0.90		0.06		0.36
	B	H	1.16		0.05		0.10
		V	4.40		0.21		0.10
		A	1.58		0.08		0.11

Tercera medición (Se agregan 70 grs)	A	H	2.97		0.12		0.95
		V	7.84		0.39		0.29
		A	1.56		0.13		1.16
	B	H	1.22		0.06		0.13
		V	4.36		0.21		0.11
		A	1.66		0.09		0.09
Cuarta medición (Se agregan 75 grs)	A	H	3.31		0.14		1.18
		V	8.97		0.44		0.48
		A	3.43		0.16		0.28
	B	H	1.59		0.08		0.10
		V	3.91		0.18		0.09
		A	2.38		0.11		0.13
Quinta medición (Se agregan 120 grs)	A	H	3.57		0.10		0.81
		V	5.44		0.27		0.49
		A	2.13		0.12		0.25
	B	H	1.11		0.06		0.14
		V	2.60		0.13		0.25
		A	1.80		0.11		0.36
Sexta medición (Se agregan 150 grs)	A	H	2.83		0.13		0.16
		V	5.55		0.26		0.47
		A	2.28		0.14		0.36
	B	H	0.95		0.05		0.09
		V	2.48		0.12		0.21
		A	1.51		0.09		0.29
Séptima medición (Monitoreo)	A	H	2.31		0.13		1.32
		V	5.72		0.26		0.44
		A	1.57		0.10		0.34
	B	H	1.04		0.05		0.29
		V	2.50		0.12		0.33
		A	1.14		0.07		0.12
Octava medición (Monitoreo)	A	H	2.84		0.11		0.91
		V	4.99		0.26		0.43
		A	1.99		0.11		1.32
	B	H	1.12		0.05		0.07
		V	2.33		0.11		0.09
		A	1.30		0.07		0.14
Novena medición (Disparo de vibración)	A	H	3.20		0.17		1.12
		V	25.14		1.20		0.46
		A	5.84		0.29		0.15
	B	H	2.08		0.11		0.08
		V	12.85		0.60		0.13
		A	4.06		0.20		0.15

En la siguiente gráfica se muestra el registro de las vibraciones y las zonas en las cuales pueden caer las vibraciones, Aceptación, Alarma y corrección. Ver figura 134.

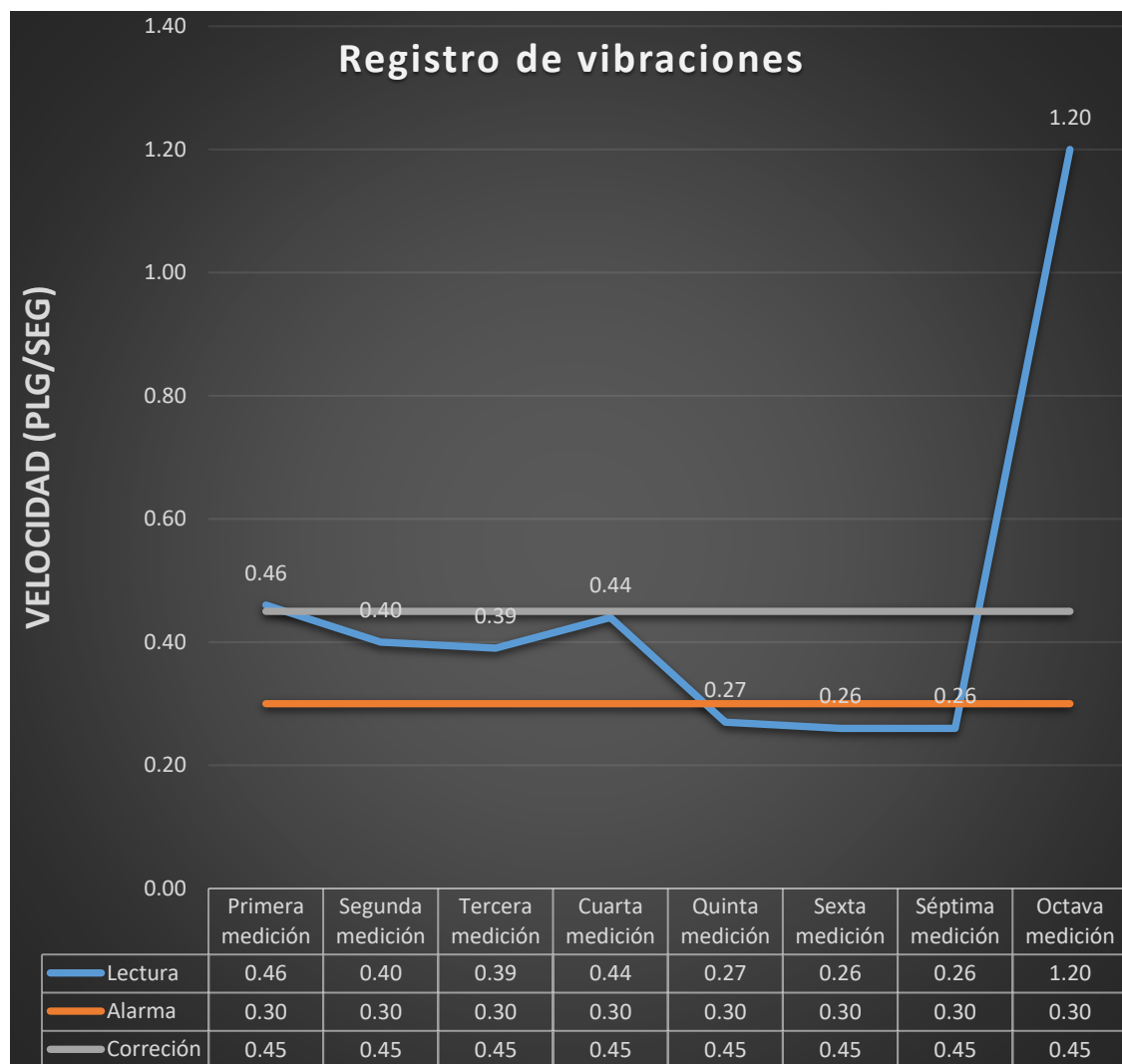


Figura 134. Registro de vibraciones.

Este grafico demostró cómo fue la tendencia de las vibraciones en las cuales se trató de hacer un balanceo agregando pesos en los pozos del motor, se intentó 4 veces el agregar pesos, y en el cuarto intento, se logró reducir la vibración hasta la zona de aceptación por debajo de la zona de alarma, se tomaron 3 medidas en las cuales no se notó cambio alguno en las vibraciones, no fue hasta una semana después durante un monitoreo en la cual las vibraciones superaron por mucho la zona de corrección por lo cual se procedió al desensamble de la bomba para verificar la falla que se tuvo, ahí radica la importancia del registro de las vibraciones ya que una de las principales consecuencias está directamente ligada con las chumaceras de la bomba, las cual pudiesen presentar algún problema y ser notado por las vibraciones.

4.1.3 Búsqueda de falla

Al tener altas vibraciones en el equipo se decidió desmontar la bomba para hacer unas inspección y verificar la falla que correspondían a las altas vibraciones, corregir el problema y volver a montar el equipo para dejarlo funcional dentro de los parámetros correspondientes. El siguiente diagrama muestra algunas de las fallas que se pensaban pudo haberse sido la que ocasiono el problema.

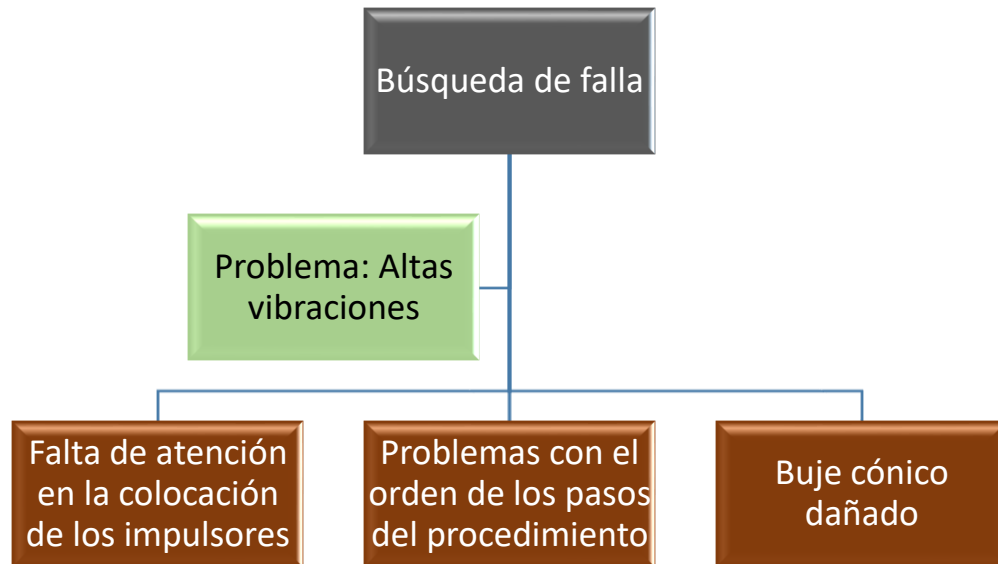
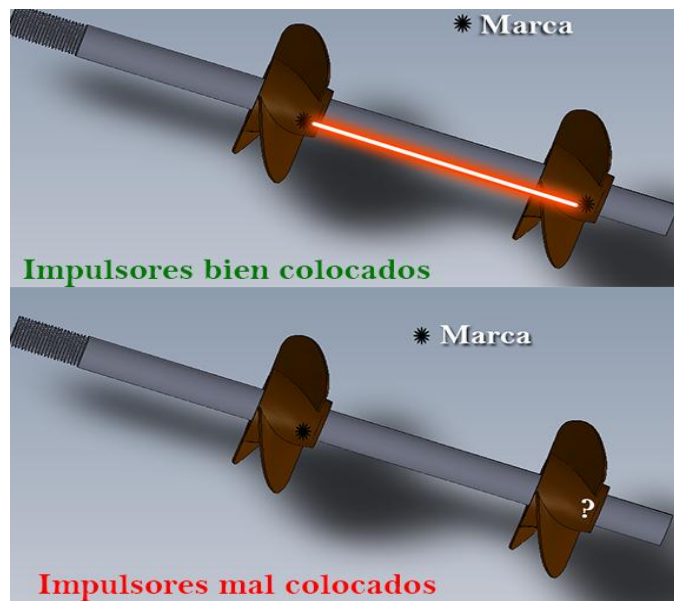


Figura 135. Búsqueda de falla

4.1.3.1 Falta de atención en la colocación de los impulsores: Este problema se creyó fue una resultado de una mala comunicación entre el grupo predictivo y el grupo mecánico en el cual se presentó a la hora de realizar el balanceo del conjunto rotatorio en el taller mediante la balanceadora en la siguiente imagen se muestra la posición de los impulsores.



En la imagen se puede apreciar la colocación de los impulsores, la idea de la falla que residió en esto, fue de la falta de comunicación a la hora de llevarse a cabo el balanceo ya el conjunto rotatorio fue balanceado en una posición determinada, y la responsabilidad del grupo predictivo era dejar una marca para validar la correcta colocación del impulsor, y pudo haber ocurrido que se colocaron mal y eso fue la causa de las altas vibraciones por el desbalance del conjunto rotatorio.

4.1.3.2 Problemas con el orden de los pasos del procedimiento

Este problema ocurrió dado al orden de los pasos del procedimiento donde indicaba realizar el acoplamiento de la flecha motriz con la flecha estopera, y una vez que esta estuviese conectada se realizaría la prueba funcional del equipo, pero al realizar la prueba funcional del equipo este se movió por la inercia del arranque y el estator hizo contacto con la flecha motriz, y a su vez la flecha motriz hizo contacto con el trinquete del motor, sacándolo de su posición, al realizar el levantamiento y volver a colocar el trinquete este no se colocó en posición que debería ir, y ya al hacer la prueba funcional con carga, se hizo el ajuste de la carrera de los impulsores pero no se levantó lo suficiente los impulsores, al contrario cayo por completo el trinquete en su lugar, esto pudo haber hecho que los impulsores no tuviesen carrera y estuviesen en contacto con la base de los tazones, por eso al realizar la prueba funcional hubo una inconsistencia en la corriente del motor que elevó mucho el amperaje consumido ya que se estaba esforzando de más por mover los impulsores. En la figura 139 se puede observar la curva de la corriente del motor.

4.1.3.3 Buje cónico dañado

El buje cónico es una pieza importante para el ajuste de los impulsores con la flecha cuando se hizo la inspección de la flecha y se desensambló el cuerpo de tazones se encontró daño en el buje cónico lo que revela no haber ajustado como debía al impulsor, este no se logró apretar como debía, esto pudo haber ocasionado el impulsor estuviese haciendo contacto con el tazón y haya alzado la corriente consumida por el motor, es la teoría con más certeza de las tres y se cree que fue la que sucedió y detonó el retrabajo del mantenimiento, La causa principal de las altas vibraciones de la bomba se debió al desbalance que este tenía y por eso nunca se pudo recuperar las vibraciones como debía.

4.1.4 Monitoreo de los parámetros del retrabajo

Una vez que se volvió a instalar la bomba TSW se observaron de cerca los parámetros para verificar si el trabajo realizado fue bien hecho y presentara ninguna falla al momento ni una falla al futuro de la instalación que volviese a implicar un retrabajo más.

Tabla 32. Registro de vibraciones retrabajo.

	Medición		Desplazamiento		Velocidad	Aceleración
	Punto	Pos.	Mils	CPM	Pg/Seg.	G
Primera toma de vibraciones (motor en vacío)	A	H	3.99		0.15	0.04
		V	3.85		0.18	0.07
		A	1.22		0.06	0.02
	B	H	1.65		0.08	0.02
		V	2.14		0.10	0.02
		A	0.35		0.01	0.01
Segunda toma de vibraciones (Motor con carga)	A	H	3.79		0.12	0.72
		V	4.80		0.25	0.45
		A	1.74		0.12	0.42
	B	H	1.63		0.07	0.06
		V	2.73		0.15	0.10
		A	0.53		0.06	0.13
Tercer toma de vibraciones (Motor con carga)	A	H	3.46		0.13	0.87
		V	5.52		0.27	0.46
		A	1.68		0.09	0.35
	B	H	1.48		0.07	0.07
		V	3.48		0.16	0.11
		A	0.67		0.05	0.12
Cuarta toma de vibraciones (Motor con carga)	A	H	3.55		0.14	0.90
		V	4.97		0.24	0.44
		A	1.60		0.09	0.33
	B	H	1.37		0.07	0.11
		V	2.79		0.14	0.07
		A	0.32		0.06	0.18
Quinta toma de vibraciones (Motor con carga)	A	H	3.15		0.16	1.57
		V	4.92		0.23	0.54
		A	2.28		0.13	0.43
	B	H	1.08		0.05	0.16
		V	1.91		0.10	0.24
		A	1.57		0.08	0.34

Sexta toma de vibraciones (Motor con carga)	A	H	3.40		0.13		1.11
		V	4.95		0.24		0.37
		A	1.56		0.09		0.33
	B	H	1.24		0.06		0.10
		V	2.63		0.14		0.11
		A	0.69		0.04		0.16
Septima toma de vibraciones (Motor con carga)	A	H	3.08		0.14		1.01
		V	5.18		0.24		0.53
		A	2.80		0.15		0.33
	B	H	1.10		0.08		0.11
		V	2.61		0.13		0.21
		A	1.34		0.07		0.41

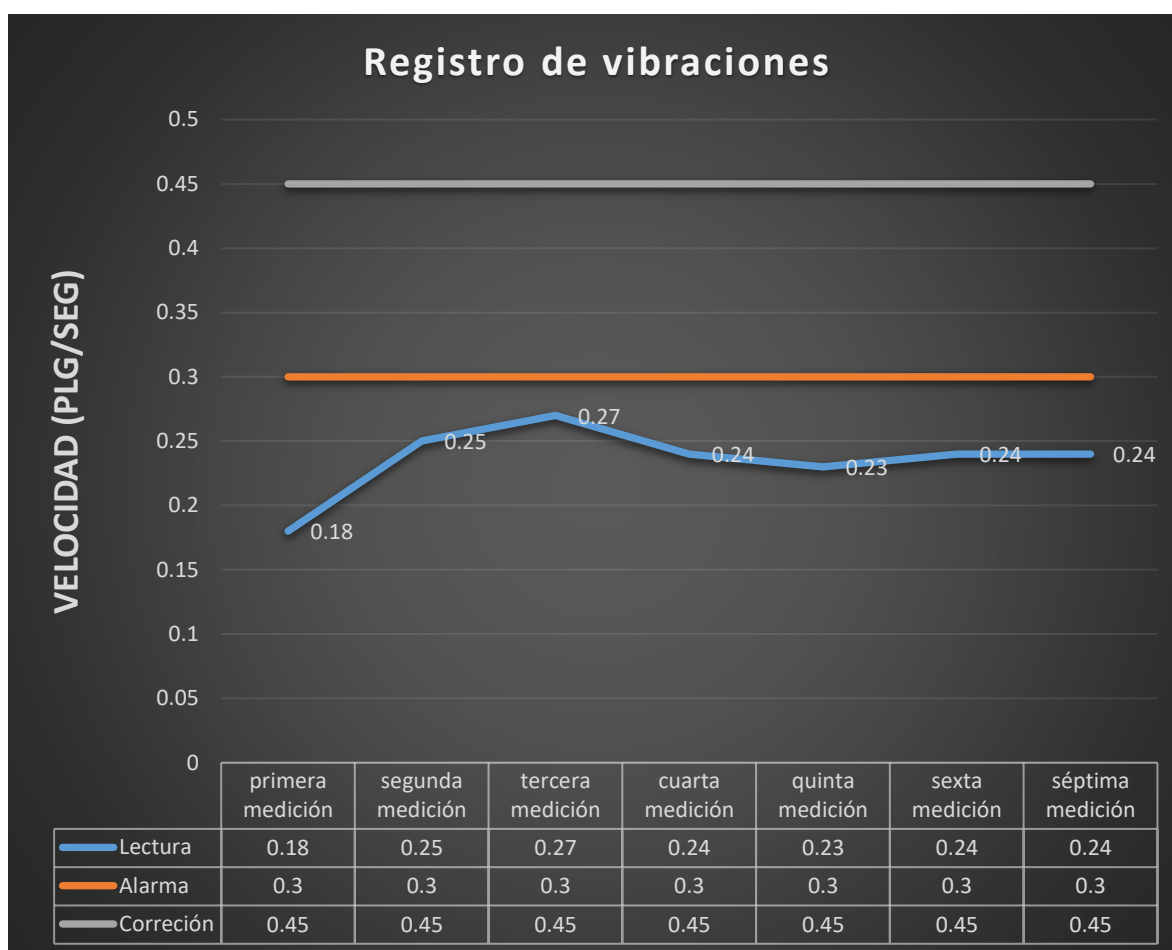


Figura 136. Monitoreo de vibraciones mecánicas (retrabajo)

Ya en con la bomba en servicio después del retrabajo se nota la mejora con respecto a las vibraciones, se mantiene dentro de los parámetros permitidos por el diseño de la bomba por debajo de la línea de alarma, esto demuestra el buen trabajo realizado para la corrección de la falla que se presentaba.

Aparte del monitoreo de las vibraciones mecánicas también se llevó acabo el monitoreo de los parámetros eléctricos para ver si estaban acorde al diseño de la bomba y los parámetros también de temperatura del motor. Ver figura 137

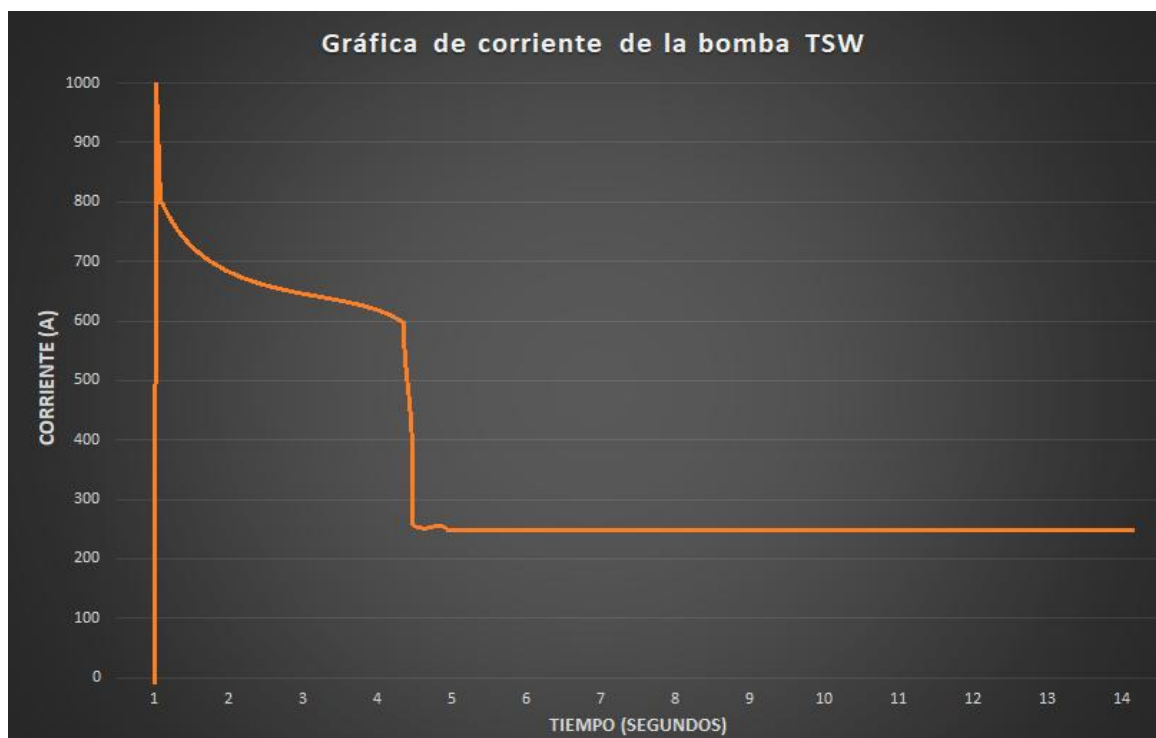


Figura 137. Curva de corriente al arranque del motor.

La gráfica muestra la medición de la corriente al arranque del motor en los primeros 14 segundos lo cual demuestra que tuvo un arranque normal de ese tipo de motor, y significa que no tuvo problemas por esa parte.

Tabla 33. Temperaturas y corrientes del motor.

Corriente en vacío		Temperaturas del motor	
Corriente Fase "A"	102.7 ACA	Máxima lado inferior	36 °C
Corriente Fase "B"	99.1 ACA	Máxima en los devanados	40° C
Corriente Fase "C"	101.3 ACA	Máxima en lado superior	35° C
Corriente con carga		Temperatura máxima en terminales	34° C
Corriente Fase "A"	262.62 ACA		
Corriente Fase "B"	265.16 ACA		
Corriente Fase "C"	263.20 ACA		
Corriente nominal	262 ACA		

En la tabla 33, se muestra las corrientes y las temperaturas del motor cuando está en servicio, y estas magnitudes demostraron que el motor de la bomba TSW estaba trabajando de buena forma en las condiciones aceptables para su funcionamiento, después del retrabajo no se tuvo ningún problema con las vibraciones ni la parte eléctrica y mucho menos con la presión de descarga que era de 1.4 kg/cm²

Al realizar las actividades de trabajo se desfasa lo que se tenía contemplado por la planeación adelantada del mantenimiento de la bomba TSW esto se traduce a un aumento en el costo, tiempo prolongado, utilización de personal, alarmas por sistema importante en el servicio del enfriamiento del circuito cerrado del edificio de turbina, entre otras cosas más. Ver tabla 34

Tabla 34. Registro de tiempo de las actividades.

Días ocupados	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Actividades planeadas																
Desensamble de bomba																
Limpieza de partes																
Mantenimiento a motor																
Medición de chumaceras y deflexión de flechas																
Balanceo del conjunto rotatorio																
Ensamble de bomba nueva																
Actividades de retrabajo (No planeado)																
Desensamble de bomba																
Inspección de partes de la bomba																
Balanceo del conjunto rotatorio																
Reensamble de la bomba																

En la tabla anterior se muestran los días ocupados por las actividades, lo que se tenía en cuenta con la planeación y todo los días extras que se tuvieron que realizar actividades por el retrabajo de la falla que se dio.

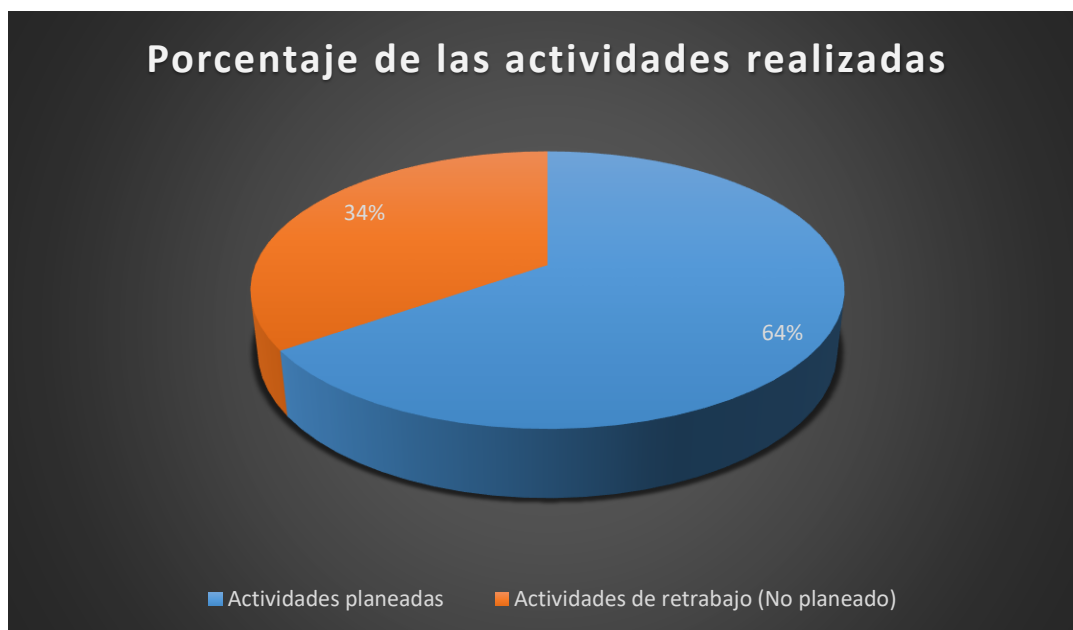


Figura 138. Porcentaje de actividades realizadas del tiempo total..

El gráfico de pastel muestra los porcentaje del tiempo del total que se ocupó para dejar funcional la bomba TSW, lo que representa el 34% por parte de las actividades retrabajo que es un número bastante grande que se espera no vuelva a suceder en un futuro.

CONCLUSIONES

Conclusiones.

Al realizar el análisis que derivó este proyecto como parte de comparar las propiedades de chumaceras, se encontró que la principal característica por la cual se decidió implementar este material es por su resistencia a medios abrasivos siendo una mucho mejor opción el uso de este material termoplástico en las bombas TSW que se encuentran en la CLV en el edificio de obra de toma, ya que estas bombas el fluido que mueven es agua de mar lo que representa que estarán en contacto con partículas o sólidos que causan la abrasión y poco a poco van desgastando de manera considerable las chumaceras, que al paso de un tiempo necesitan ser retiradas para su posterior reemplazo.

Se espera que en un futuro se alcancen los objetivos planteados al inicio del proyecto y que a su vez este proyecto sirva como fuente de información cuando se decida desmontar la bomba para su inspección y ahí verificar de manera practica el comportamiento de las chumaceras, y sacar el verdadero dictamen en la ventaja que presenta este nuevo material comparándolo con los materiales que se han usado con anterioridad.

Durante el proceso del mantenimiento, en el montaje de la bomba, se presentaron ciertas barreras o limitaciones para llevar a cabo el mantenimiento de la manera más adecuada y más que nada en el tiempo que se tenía asignado para la actividad. Pero gracias a las condiciones que se fueron presentando servirán como experiencias ayudará a que se eviten ese tipo de problemas.

Se verificó que el personal de mantenimiento responsable de la actividad estuviese calificado para hacer el mantenimiento a la bomba de agua de servicio nuclear; que se contaran con todas las partes de repuesto necesarias para el mantenimiento, la disponibilidad de la grúa viajera en el edificio de obra de toma, y que se contara con la disponibilidad de herramientas de izaje y maniobra aparte de que contaran con la certificación vigentes, por lo que se logró constatar que existe un alto nivel de responsabilidad y calificación para cada actividad, esto para lograr el objetivo y resultado al que llegamos al culminar los trabajos de mantenimiento.

Se tuvo un retrabajo, el cual ocurrió dado que hubo problemas con el orden de los pasos del procedimiento y se tuvo un buje cónico dañado, es importante recalcar una de las filosofías de trabajo, que es la doble verificación y la regla de los dos minutos previo a realizar una actividad, para evitar caer en inconsistencias en la realización y llevado de pasos de un procedimiento, ya que es de vital importancia en la industria seguir estos procedimientos para obtener un correcto resultado.

La tendencia es utilizar este tipo de materiales como opción de reducir los costos derivados en reparaciones, tiempos de inactividad no planificados y consecuentemente de la producción de energía.

Dentro de las recomendaciones que puedo brindar está el corregir el orden del procedimiento utilizado para las bombas del servicio nuclear de turbinas en la cual se establece que debe colocar la flecha motriz y realizar la prueba en vacío, a mi parecer esa prueba en vacío se debe realizar sin esa flecha y después ya hacer el acoplamiento.

También hubiese preferido que se colocara el nuevo material termoplástico a lo largo de todas las chumaceras de la bomba TSW, para ver realmente cuanto es el tiempo de su vida útil y no solo poner 3 chumaceras en la bomba.

Con respecto a la experiencia personal adquirida fue muy agradable el conocer y relacionarme con las personas que trabajan en esta central y que cada una tiene una historia muy particular, que a su vez aportan algo de sí mismas para que esta planta siga produciendo, el aprender a tener empatía por otras personas fue otra de las cosas que me puedo llevar y tomar lo bueno que cada persona tiene para dar.

Acerca de la experiencia profesional, me siento satisfecho por los conocimientos que pude adquirir y así mismo demostrar, esos conocimientos que a lo largo de toda una vida de estudiante se pueden aprender, de haber elegido la carrera de ingeniería mecánica. Y tener la oportunidad de poder realizar las prácticas en el área de mantenimiento mecánico, un área muy demandante en la industria ya que es parte fundamental de la producción y mantener la fiabilidad de los equipos, pude observar situaciones que se presentaban a lo largo de un mantenimiento muy tedioso y que involucraba un alto estándar de concentración y seguridad, el estar en esta central me inculco mucho la importancia en cuanto a seguridad se refiere, más cuando se trata de mantener seguro algo como un reactor nuclear.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS

Competencias desarrolladas y/o aplicadas.

Es necesario para avanzar con éxito en puesto de trabajo tener ciertas competencias profesionales, aunque algunas tienden hacer componentes innatos, otras se pueden ir trabajando mediante cursos o formaciones de crecimiento o desarrollo personal, el realizar mis prácticas en la central Nuclear Laguna verde me sirvió para darme cuenta de las competencias que tenía y pude aplicar, y otras en las que tenía ciertas debilidades pero fui poco a poco desarrollando, como las siguientes.

- **Comunicación y trabajo en equipo:** Fue necesario tomar en cuenta esta competencia por el tipo de trabajo que se realiza en el área de mantenimiento, es de vital importancia llevar a cabo estas competencias y que son el indicativo que si se realizan adecuadamente aseguran el éxito de los trabajos.
- **Relaciones sociales:** Ser parte de un grupo de trabajo ayuda a estar en contacto con todo el personal que labora en la central y con lo cual es importante también el mostrar empatía con las personas que te rodean.

El desarrollo del presente proyecto de residencias, permitió reafirmar los conocimientos adquiridos durante los diferentes cursos en la carrera de Ingeniería Mecánica. Demostrando así la capacidad personal para analizar, diseñar e implementar estrategias para la solución de problemas industriales, aplicando las habilidades directivas desarrolladas a lo largo de la carrera, así como la ingeniería en el diseño, mantenimiento, gestión de actividades con una orientación para la toma de decisiones en situaciones complicadas

Se utilizaron las Tecnologías de la información y comunicación en la organización, tanto para la realización del presente proyecto, como para el registro en planta de las actividades. Fue importante utilizar una herramienta de diseño CAD para ilustrar el proyecto aparte que es una potente ventaja el desarrollar habilidades en el manejo de Softwares de diseño mecánico.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Referencias bibliográficas.

- [1] (EPRI). (2012). *Nuclear Maintenance Applications Center: Vertical Pump Maintenance Guide*. Palo Alto, California, USA.
- [2] Badr, H., & Ahmed, W. (2015). *Pumping machinery theory and practice* (1st ed.). United Kingdom: Wiley.
- [3] Hamrock, B., Jacobson, B., & Schimd, S. (2000). *Elementos de máquinas*. México: McGraw-Hill.
- [4] Budynas, R., & Nisbett, J. (2008). *Diseño En Ingeniería Mecánica De Shigley* (8th ed.). México, D. F: McGraw-Hill/InterAmericana Editores, s.a. de c.v.
- [5] Hall, A., Holowenco, A., & Laughlin, H. (1971). *Diseño de máquinas* (1st ed.). Serie de compendios Schaum.
- [6] Petrochemical Thermoplastics & Elastomers - Petrochemical Sealing Solutions | Greene Tweed. Recuperado de <https://www.gtweed.com/markets/petrochem-power/>
- [7] Vertical Pumps. Thordons Bearings Inc. Recuperado de <https://thordonbearings.com/vertical-pumps>.
- [8] C46400 (Naval Brass, Uninhibited) Recuperado de <https://www.nationalbronze.com/pdfs/C46400.pdf>
- [9] Comisión Federal de Electricidad (CFE), *Procedimiento operativo de mantenimiento: Bombas de agua del servicio de Turbina (TSW)* .(Revisión 10). MP- 3725.
- [10] Comisión Federal de Electricidad (CFE), *Procedimiento operativo de mantenimiento: Motor de bombas de agua de servicio de turbina (TSW)*.(Revisión 9). MP-3726
- [11] Comisión Federal de Electricidad (CFE). *Procedimiento operativo: Balanceo de equipo rotatorio de la central*. (Revisión 1). MG-4942.

[12] Fairbanks-Morse. *Instalación, operación y mantenimiento: Bombas verticales tipo helice (Propeller)*. Chicago, Illinois.

[13] VIT Vertical Industrial Turbine Pumps | Goulds Pumps. Recuperado de <https://www.gouldspumps.com/es-CL/Products/VIT/>

[14] Sánchez A. (2017) *Técnicas de mantenimiento predictivo. metodología de aplicación en las organizaciones*. (Tesis de licenciatura). Universidad Católica De Colombia. Bogotá, Colombia.

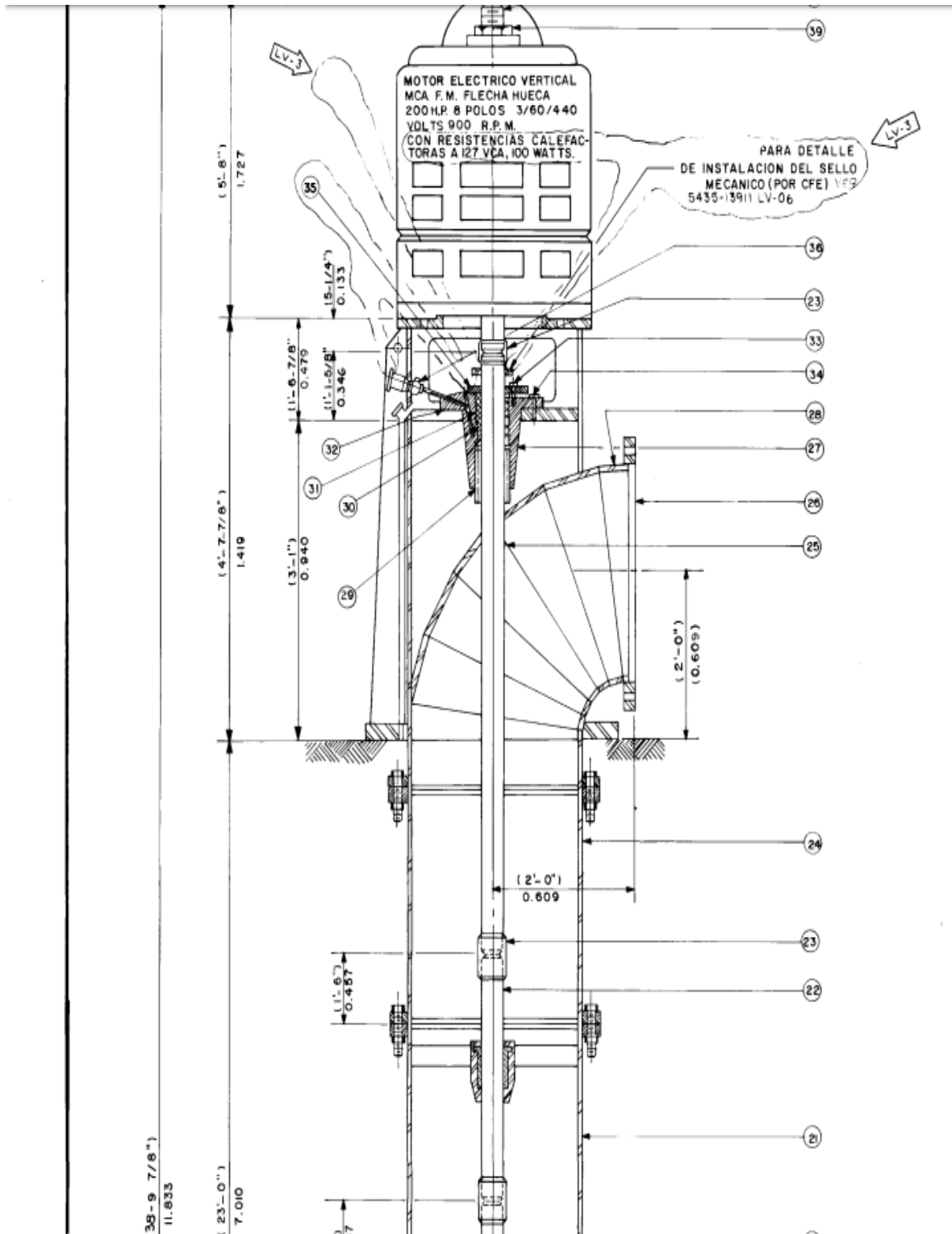
[15] Flowserve. *Guía de bombas*. Servicios educativos de Flowserve.

[16] Narváes A. (2013). *Desarrollo de tecnología para la elaboración de bronce fosfórico UNS C93700 para aplicaciones en construcción de partes y elementos de máquina de forma artesanal*. (Tesis de licenciatura). Universidad de las Fuerzas Armadas. Sangolquí.

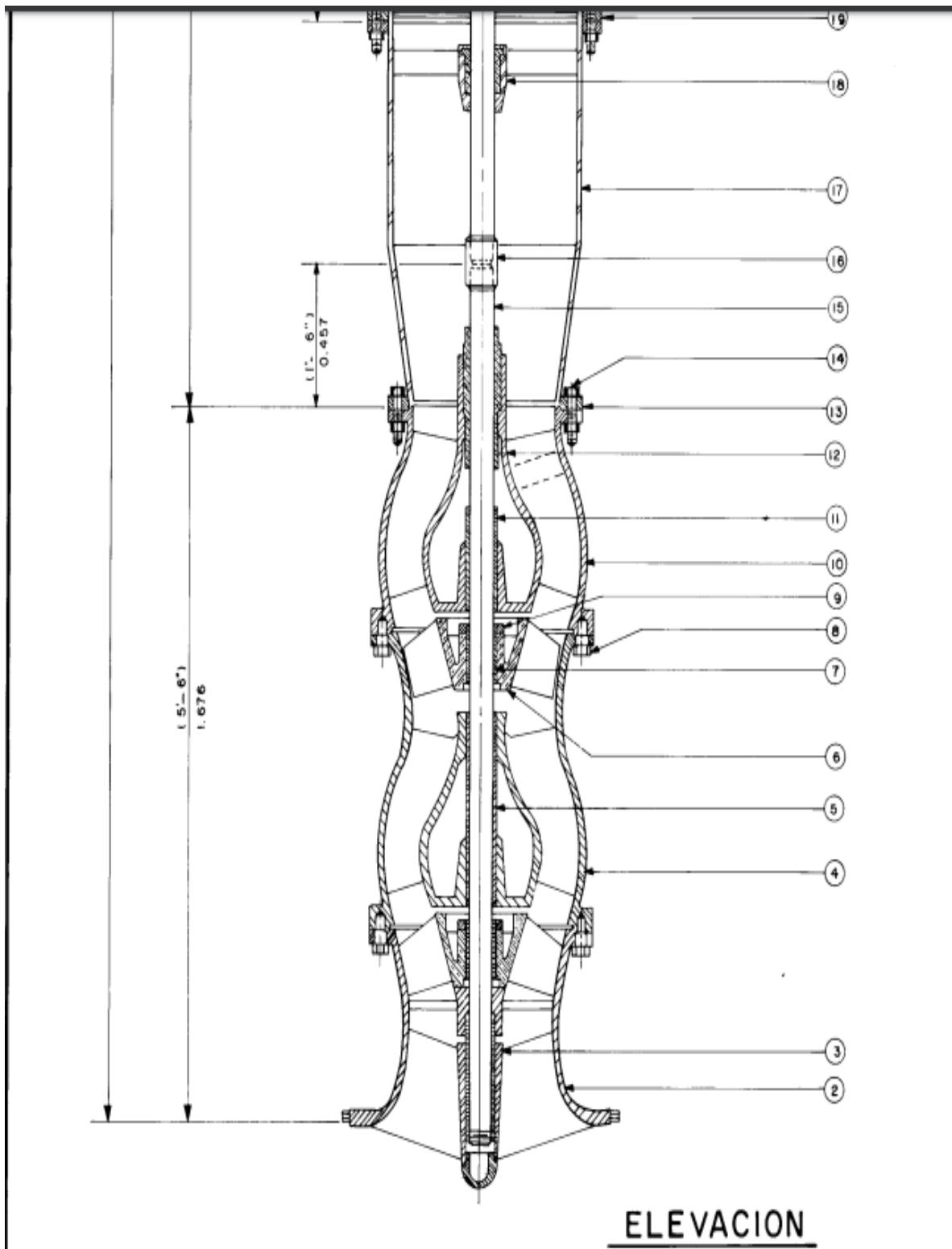
[17] Universidad de Barcelona. *CMEmaterials*. Recuperado de <http://www.ub.edu/cmematerials/es/materials>

ANEXOS

Anexo 1. Dibujo de la bomba TSW por parte de Fairbanks-Morse. (1/3)



Anexo 1 (2/3)



Anexo 1 (3/3)

LISTA DE PARTES					
MCA	CANT	DESCRIPCION	SIMBOLO	MATERIAL	SAE-ASTM
2	1	TAZON SUCCION	F2E6 D-ESP.	NI-RESIST.CIO	A296-49T
3	1	CHUMACERA TAZON SUCCION	F2E27-ESP.	BRONCE BI	B145-54-4A
4	1	TAZON INTERMEDIO	F2E7-ESP.	NI-RESIST.CIO	A296-49T
5	2	CHUMACERA TAZON INTERMEDIO	N3M83-ESP.	BRONCE BI	B145-54-4A
6	2	IMPULSOR	F2E9L-ESP.	NI-RESIST.CIO	A296-49T
7	2	BUJE DE IMPULSOR	F2E10-ESP.	ACERO INOX.316	A276-49T
8	32	TORNILLOS Y TUERCAS (DE TAZONES)	S/S	AC. INOX.316	A276-49T
9	2	TUERCA DE IMPULSOR	T5L139-ESP.	NI-RESIST.CIO	A296-49T
10	1	TAZON DESCARGA	F2E8B-ESP.	NI-RESIST.CIO	A296-49T
11	1	CHUMACERA INF. TAZON DESCARGA	N3M83F	BRONCE BI	B145-54-4A
12	1	CHUMACERA SUP. TAZON DESCARGA	F2E29A-ESP.	BRONCE BI	B145-54-4A
13	1	EMPAQUE TAZON A COLUMNA	R2V247	GARLOCK7021	
14	12	TORNILLOS Y TUERCAS (TAZON A COL)	S/S	AC. INOX.316	A276-49T
15	1	FLECHA DE BOMBA	F2E2C-ESP.	AC. INOX.316	A276-49T
16	1	COPL FLECHA DE BOMBA	S4L462B-ESP.	AC. INOX.316	A276-49T
17	1	TUBO INF. DE COLUMNA	R2X110A2-ESP.	AC. SI Y SI6	SI-PLACA-A283-52T SI6-TUBO-A252-46
18	2	PORTA-CHUMACERA	R2R258-ESP.	AC. SI	PLACA A283-52T
19	3	EMPAQUE TUBO DE COLUMNA	R2X247-ESP.	GARLOCK7021	
20	1	FLECHA INFERIOR DE COLUMNA	S4K36-ESP.	AC. INOX.316	A276-49T
21	1	TUBO INTERMEDIO DE COLUMNA	R2X99-2-ESP.	AC. SI Y SI6	SI-PLACA-A283-52T SI6-TUBO-A252-46
22	1	FLECHA INTERMEDIA DE COLUMNA	S4K36-ESP.	AC. INOX.316	A276-49T
23	3	COPL FLECHA DE COLUMNA	S3K86-ESP.	AC. INOX.316	A276-49T
24	1	TUBO SUPERIOR DE COLUMNA	R2X128-1	AC. SI Y SI6	SI-PLACA-A283-52T SI6-TUBO-A252-46
25	1	FLECHA SUPERIOR SECCION INFERIOR	S4K143-ESP.	AC. INOX.316	A276-49T
26	1	BRIDA DE DESCARGA	BL24X	AC. SI	A283-52T
27	1	CAJA DE EMPAQUES	H6T37B-ESP.	BRONCE BI	B145-54-4A
28	1	CABEZAL DE DESCARGA	R2X328-1-ESP.	AC. SI Y SI6	SI-PLACA-A283-52T SI6-TUBO-A252-46
29	1	TUBO AQUETADOR	2S4S690-ESP.	AC. INOX.316	A276-49T
30	1	BUJE DE CAJA DE EMPAQUE	H6T756D	BRONCE BI	B145-54-4A
31	1	BUJE DEL ESTOPERO	H6P(CFE)	BRONCE BI	
32	1	EMPAQUE	H6PI29A	GARLOCK 670	
33	2	BIRLOS	MS194FR	LATON B40	B16
34	6	TORNILLOS CAJA DE EMPAQUE	S/S	LATON B40	B16
35	1	EMPAQUE DEL SELLO MEC.	HP61(CFE)	GARLOCK	ASBESTO
36					
37					
38					
39	1	TUERCA DE AJUSTE	MS1151P-ESP.	AC. INOX.316	A276-49T
40	1	CUÑA FLECHA SUP. (NO SE MUESTRA)	MS134FR-ESP.	AC. INOX.316	A276-49T
41	1	FLECHA SUPERIOR SECCION SUP.	S4K823-ESP.	AC. INOX.316	A276-49T

Anexo 2. Orden de fabricación de chumaceras.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO	No. de Procedimiento: CP-6067
Título: FABRICACIÓN EN TALLER DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES, SOPORTES PARA TUBERÍAS, DUCTOS, ACCESORIOS Y COMPONENTES MEC. EN LA CLV.	Nivel de Uso: REFERENCIA
	Revisión: 6
	Página 19 de 26

ANEXO CP-6067-1 ORDEN DE FABRICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y ACCESORIOS

ORDEN DE FABRICACIÓN No 1-TSW-057-2017 26-06-2017
Unidad-Sistema-Consecutivo-Año RC-24199 AC-1

DATOS PROPORCIONADOS POR EL ORIGINADOR

PAQUETE DE MODIF: N/A SISTEMA 1-TSW EDIFICIO OBRA DE TOMA 5.20 MTS UNIDAD 1

CATEGORÍA DEL MATERIAL A FABRICAR: RS NRS XX RW SPC NR-S1

ANEXO: DIBUJO N/A PLANO N/A MUESTRA N/A

No. DE DOCUMENTO ANEXADO FECHA DE ENTREGA REQUERIDA INMEDIATA

MATERIAL PARA INSTALARSE DURANTE: REC PARO OP. NORMAL XX

NÚMERO DE ORDEN DE TRABAJO (OT): 2124200

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO FABRICAR LAS CHUMACERAS DE LAS COLUMNAS DE LA BOMBA
1-TSW-P-RESERVA DE ACUERDO A LO INDICADO EN LAS HOJAS ANEXAS A ESTA ORDEN DE FABRICACION,
LA FABRICACION DE LAS CHUMACERAS SERA A PARTIR DE BARRA DE BRONCE DE 6" DE DIAMETRO X 14"
DE LONGITUD Y CODIGO R3: 389582 (BRONCE ESPECIFICACION SAE 64).

NOMBRE	FIRMA	FECHA	DPTO.
ORIGINADOR <u>ING. HECTOR MURIEL CRUZ</u>	<u>26-06-2017</u>	<u>9/11/17</u>	<u>MANTTO. MEC.</u>
AUTORIZADA POR: <u>ING. RUBEN ISAAC MESA TRUJILLO</u>	<u>(NOMBRE, FIRMA, FECHA)</u>	<u>9/25/17</u>	<u>Q.R.R.</u>

RESPONSABLE DE LA FABRICACIÓN

CANT. DE PIEZAS A FABRICAR/REPARAR 8

FECHA DE INICIO DE FABRIC. 2017-JUN-24 FECHA DE TERMINACIÓN 2017-JUL-14

CANT. DE PIEZAS FABRICADAS 8 FECHA DE ENTREGA 2017-JUL-14

LIBERACIÓN POR Q.C (CUANDO APLIQUE) N/A

(NOMBRE, FIRMA Y FECHA)

RESPONSABLE DE LA INSTALACIÓN

RECIBIDA POR: Ruben Isaac Mesa Trujillo 2017-JUL-14 DEPTO. /ÁREA Mantto mec

(NOMBRE, FIRMA Y FECHA)

NOTA: LA PERMANENCIA DE LAS COPIAS EN TALLER SERA POR UN AÑO. (AC 1 DEL RC 37439 CAC N2)

Anexo 3. Formato para los izajes de la CLV

Tarjeta Verde de Maniobras			
Solo para izaje mayor a 25 Kg. hasta 2000 Kg.			
Equipo/componente: _____			
OT: _____			
Carga a levantar: _____			
Peso de la carga: _____ kg.			
Capacidad limite de maniobras tal como está configurada. _____ kg.			
	SI	NO	N/A
1.- Reunión pre-trabajo?	☐	☐	
2.- Controlador de Maniobras/persona de señales designado?	☐	☐	
3.- Pre-requisitos verificados/limitaciones de capacidad de carga permitidas han sido cumplidos?	☐	☐	☐
4.- Inspección semestral de todas las hts. y equipos de maniobras estén incluidos en la base de datos (CHEMAI)?	☐	☐	
5.- Todos los equipos y herramientas de maniobras y puntos de izaje han sido inspeccionados visualmente y son aceptables para su uso?	☐	☐	
6.- Requiere asistencia de Ingeniería Civil en Sitio para el levantamiento?	☐	☐	☐
7.- Si se utiliza una eslinga en un enganche de canasta, su proporción de carga es mayor?	☐	☐	☐
8.- Si los protectores de filos son requeridos y si son del tamaño apropiado para instalarse?	☐	☐	
9.- El área de maniobras que esta determinada como segura, esté libre de personal no involucrado con el izaje?	☐	☐	
10.- Asegurarse que las rutas de evacuación han sido identificadas por todo el personal en la zona de caída de carga?	☐	☐	
11.- Asegurarse que el limite de la zona de caída de carga ha sido establecida?	☐	☐	☐
12.- Tomar medidas para asegurarse que el personal no estará debajo de la carga?	☐	☐	☐
13.- Asegurarse que la carga no esta atorada y su izaje este libre?	☐	☐	
14.- El Jefe de Taller de Mantto dirigió la Reunión Pre-Trabajo?	☐	☐	
(RC-80395 AC-3)			
Nombre y firma de la persona a cargo			

Si no se comprueba cualquier pregunta, contacte con el Jefe de Taller de Mantenimiento o maniobrista avanzado para dar concurrencia en la realización del izaje			

Tarjeta Verde de Maniobras	
Solo para izaje mayor a 25 Kg. hasta 2000 Kg.	
Equipo/componente: _____	
OT: _____	
Los atributos de esta tarjeta de maniobras han sido verificados, para garantizar que las condiciones no han sido cambiadas ó alteradas.	

Maniobrista a cargo	

Fecha	

Controlador de Maniobras	

Fecha	

Maniobrista	

Fecha	

EVALUACION DE INGENIERIA EN SITIO	

NOMBRE Y FIRMA: _____	
NOTAS 1).- Todos los izajes realizados con esta tarjeta deberán pesar menos de 2000 kg. 2).- Como mínimo utilizar eslingas 3).- Los ángulos de la eslinga deberán ser iguales o mayores a 45° sobre la horizontal, para poder usar esta tarjeta 4).- Durante la maniobra de izaje, el personal no esencial (todo aquel que no es requerido en el área para realizar el izaje) debe permanecer fuera de la zona de la carga suspendida la cual debe incluir la zona de la estructura del ensamble temporal. (RC 52515 AC.3) 5).- Se deberá instalar letreros de advertencia en la zona acordonada donde se vaya a realizar maniobra de izaje el cual deberá decir "no pasar maniobra en proceso zona de riesgo de caída" (RC 53317 AC.1)	

Anexo 4. Examen visual de los impulsores

FORMATO IES-PND-EV-23		REGISTRO DE EXAMEN VISUAL EV-1				No. 19123413		
CENTRAL LAGUNA VERDE UNIDAD 1		FECHA: (DD-MM-AA) 24 SEP 19		VERIFICACIÓN DE TIEMPO: (24 HORAS)				
		DOCUMENTO DE TRABAJO: AVISO#400311861		CPVDC: ☒	LUNÓMETRO: ☐	INICIALES	EXAMEN	
				INICIO	1310	JAF	INICIO	1311
				INTERMEDIA	N/A		TERMINO	1345
				TERMINO	1346	JAF		
SISTEMA: TSW		LINEA / COMPONENTE: 1-TSW-P-001 A		IDENTIFICACIÓN: IMPULSOR 1ER PASO				
LOCALIZACIÓN (Lo): VER DIBUJO		LOCALIZACIÓN (Wo): VER DIBUJO		TIPO DE SOLD. (-FLUJO-): N/A		EXAMEN VISUAL DIRECTO ☒ REMOTO ☐		
EXAMINADOR (NOMBRE Y FIRMA): JOSE ANTONIO FIGUEROA LUNA		NIVEL: II		EQUIPO UTILIZADO: LUPA: ☐ ESPEJO: ☐ LAMPARA: ☒				
EXAMINADOR (NOMBRE): N/A		NIVEL: N/A		CPVDC: DE45075 RECAL: 2019-10-04				
				LUNÓMETRO: N/A RECAL: N/A				
				OTRO: MEDICIÓN DE ELONGACIÓN (D816076) RECALIB: 2019-12-24				
IND. No.	LOC. (L)	LOC. (W)	LOC. FLUJO ARRIBA O ABAJO	TIPO REDONDA O LINEAL	TAMAÑO DIAMETRO O LONG.	INICIALES	OBSERVACIONES	
1	5/8"	1 1/2"	N/A	REDONDA	5" X 2 1/2"	JAF	NOTA: INDICACION 1 CORROSION SIN PROFUNDIDAD. INDICACION 2. CORROSION SIN PROFUNDIDAD. INDICACION 3. CORROSION 1/32" APROXIMADO DE PROFUNDIDAD.	
2	7 1/2"	1 1/2"	N/A	REDONDA	2 1/2" X 7 1/2"	JAF		
3	13 1/2"	1 1/2"	N/A	REDONDA	2 1/2" X 5 1/2"	JAF		
							SE OBSERVA EN EL CUERPO DEL IMPULSOR PARTES CON CORROSION EN UN 40% APROXIMADO.	
							(JAF)	
DIBUJO: IMPULSOR 1er PASO.								
						(JAF)		
EVALUACIÓN DE INGENIERIA (NOMBRE, FIRMA Y FECHA)						ACEPTABLE ☒ RECHAZABLE ☐		
Alvaro Vázquez Hernández								
LIMITACIONES: NINGUNA		(JAF)						
REVISADO POR (NOMBRE Y FIRMA):		Guadalupe Verónica Aguilar		NIVEL: E.V. II		FECHA: 24 Sep 19		
						HOJA: 1 DE 1		