

**ESTADO DEL ARTE, ANÁLISIS Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS
CENTRÍFUGAS.**

**SERGIO ANDRES ALVAREZ TATIS.
MIGUEL RICARDO QUEZADA ROMERO.**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECANICA
CARTAGENA
2008**

**ESTADO DEL ARTE, ANÁLISIS Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS
CENTRÍFUGAS.**

**SERGIO ANDRES ALVAREZ TATIS.
MIGUEL RICARDO QUEZADA ROMERO.**

Monografía Presentada para optar el Título de Ingeniero Mecánico

**DIRECTOR:
Alfredo Abuchar Curi
INGENIERO MECANICO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECANICA
CARTAGENA
2008**

Cartagena, Junio Del 2008

Señores:

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y MECATRONICA
COMITÉ DE EVALUACION DE PROYECTO DE GRADO.

Ref: entrega de monografía como requisito para optar el título profesional.

Cordial saludo.

Con toda la atención me dirijo al comité de evaluación con el objetivo de hacer entrega formal de la monografía titulada “**ESTADO DEL ARTE, ANALISIS Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS CENTRIFUGAS**” como requisito para optar por el título profesional en ingeniería mecánica.

Agradecemos de antemano la atención prestada.

Atentamente.

Sergio A. Álvarez Tatis.

Cartagena, Junio Del 2008

Señores:

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y MECATRONICA
COMITÉ DE EVALUACION DE PROYECTO DE GRADO.

Ref: entrega de monografía como requisito para optar el título profesional.

Cordial saludo.

Con toda la atención me dirijo al comité de evaluación con el objetivo de hacer entrega formal de la monografía titulada **“ESTADO DEL ARTE, ANALISIS Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS CENTRIFUGAS”** como requisito para optar por el título profesional en ingeniería mecánica.

Agradecemos de antemano la atención prestada.

Atentamente.

Miguel R. Quezada Romero.

Cartagena, Junio Del 2008

Señores:

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y MECATRONICA
COMITÉ DE EVALUACION DE PROYECTO DE GRADO.

Ref: entrega de monografía como requisito para optar el título profesional.

Cordial saludo.

Con toda la atención me dirijo al comité de evaluación con el objetivo de hacer entrega formal de la monografía titulada **“ESTADO DEL ARTE, ANALISIS Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS CENTRIFUGAS”** como requisito para optar por el título profesional en ingeniería mecánica, la cual fue realizada por los estudiantes SERGIO ANDRES ALVAREZ TATIS y MIGUEL RICARDO QUEZADA ROMERO, a quienes asesore en su ejecución.

Atentamente.

Alfredo Abuchar curi..

ARTICULO 105

La Universidad Tecnológica de Bolívar, se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados, y no se pueden ser explotados comercialmente sin autorización.

Nota de aceptación

Firma de presidente de jurado

Firma de jurado

Firma de jurado

Cartagena, Junio de 2009

Dedicatorias.

En primer lugar a Dios quien me ha bendecido inmensamente y me ha permitido ser la persona que hoy día soy.

A mis padres, porque gracias a su amor y a su apoyo he podido avanzar en mi carrera dando lo mejor de mí para alcanzar las metas que me he propuesto en mi vida, Gracias a ellos quienes me han transmitido los mejores mensajes y consejos y los cuales he puesto en práctica de la manera mas sensata posible.

A mis hermanos quienes son parte del motor de mis sueños y por los cuales me he esmerado para ser el mejor ejemplo que ellos puedan tener, gracias por ayudarme cuando los he necesitado

A mis profesores, compañeros de estudios y a los demás familiares que me apoyaron en mi formación profesional.

SERGIO ANDRES ALVAREZ TATIS

Ante todo dedicar este logro al Señor mi Dios por haber permitido llegar hasta donde he llegado y por haberme llevado de la mano por el hermoso camino que nos conduce a Él.

Como segundo motivo a mi familia Papá, Mamá y Hermana que me llenaron el corazón de amor, me apoyaron y se esforzaron mucho para que saliera adelante y fuera un triunfador basado en principios de ética, moral y respeto a las personas.

Al resto de mis familiares que siempre estuvieron pendiente de mí y que aportaron su granito de arena para que pudiera alcanzar uno de mis mas grandes sueños, A mi compañera sentimental que siempre creyó en mí, me brindo toda su ternura, confianza y me supo dar los mejores consejos en momentos difíciles.

A mis amigos que me tendieron la mano cuando los necesite durante toda esta formación, a mis profesores, compañeros de estudios y todas esas personas que hicieron parte de esta realidad que ahora estoy viviendo.

MIGUEL RICARDO QUEZADA ROMERO

AGRADECIMIENTO

Los autores de este proyecto expresan sus más sinceros agradecimientos a:

- ❖ El Señor Alfredo Abuchar, Ingeniero Mecánico, Director y Asesor del Proyecto.
- ❖ FLOWSERVE Colombia Ltda. (Compañía fabricante de Bombas centrifugas, sellos mecánicos y válvulas).
- ❖ Y a todas las personas que de una u otra forma ayudaron para que este trabajo se realizara. .

CONTENIDO

INTRODUCCION

1. OBJETIVOS	20
1.1 Objetivo General.....	20
1.2 Objetivos Especificos.....	21
2. JUSTIFICACION	22
3. ASPECTOS GENERALES	24
3.1 Innovaciones en bombas.....	26
3.1.2 Sistemas de recirculación para enfriar bombas centrifugas.....	33
3.1.3 Innovaciones en impulsores.....	34
3.1.4 Innovaciones en los materiales de fabricación de bombas.....	39
3.1.4.1 Materiales de fabricación-corrosión.....	40
4 FUNDAMENTOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS	43
4.1 Conceptos Básicos.....	45
4.1.1 Cabezal.....	45
4.1.2 Cabezal de Succión, Hs.....	45
4.1.3 Cabezal de Levantamiento, He.....	45
4.1.4 Cabezal Total de Descarga, Hd.....	45
4.1.5 Cabezal Total del Sistema, H.....	46
4.1.6 Cabezal Neta de Succión Positiva, NPSH.....	46
4.1.6.1NPSH requerido, NPSHr.....	47
4.1.6.2 NPSH disponible, PSHd:.....	47
4.1.7 Presión de Vapor.....	48

4.1.8 Cabezal Estático:.....	48
4.1.9 Cabezal de Velocidad:.....	48
4.1.10 Cabezal de Presión:	49
4.1.11 Perdidas Hidráulicas.....	49
4.1.12 Perdidas Volumétricas.....	49
4.1.13 Perdidas Mecánicas:..	49
4.1.14 Punto de Mejor Eficiencia, BEP.....	50
4.1.15 Flujo Mínimo Continuo Estable, mcsf.....	50
4.1.16 Flujo Mínimo Térmico Estable, mctf.....	50
4.1.17 Punto Normal de Operación.....	50
4.1.18 Punto de Operación Nominal.....	50
4.1.19 Cebado.....	50
4.1.20 Potencia Hidráulica, Ph:	51
4.1.21 Eficiencia, η :.....	51
4.1.22 Potencia Mecánica, Pm:.....	51
5. OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS.....	52
5.1 Curva de la bomba.....	52
5.2 Curva Q vs. H.....	53
5.3 Factores que afectan la curva característica de las bombas.....	55
5.4 Curva del sistema.....	55
5.4.1 Punto de funcionamiento de una bomba centrífuga.....	57
5.5 Bombas operando en paralelo.....	58
5.6 Bombas operando en serie.....	60
5.7 Lectura de curvas de bombeo.....	61
6. CLASIFICACION Y TIPOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS.....	64
6.1. Clasificación de bombas centrífugas.....	64
6.2. Clasificación API.....	70

7. DESCRIPCION DE PARTES DE BOMBAS CENTRIFUGAS	78
7.1 Componentes básicos.....	78
7.1.1 Voluta.....	79
7.1.2 Impulsor o rodete.....	81
7.1.3 Cámara de sellado.....	83
7.1.4 Dispositivo de sellado.....	83
7.1.5 Cámara de cojinetes.....	89
7.1.6 Eje.....	91
7.1.7 Cojinetes.....	91
7.1.7.1 Tipos de cojinetes de fricción.....	91
7.1.8 Anillos de desgaste.....	93
7.2 Materiales de fabricación de partes de bombas centrifugas.....	94
8. SELLOS MECANICOS	95
8.1 Componentes básicos de Un sello mecánico.....	96
8.2 Funcionamiento de un sello mecánico.....	97
8.3 Materiales De Construcción De Sellos Mecánicos.....	98
8.4 Clasificación De Los Sellos Mecánicos.....	101
8.5 Problemas en los sellos Mecánicos.....	107
8.6 Montaje de Sellos Mecánicos.....	109
8.7 Planes de sellado o ambientación de Sellos mecánicos.....	111
9 NORMAS API	113
9.1 Instituto Americano del petróleo.....	113
9.2 API 610.....	119
9.3 API 682.....	121
9.3.1 Descripción del API-682 Primera Edición.....	121
9.3.2 Conceptos introducidos en la primera edición de API 682.....	121
9.3.3 Contenido de la norma.....	121

9.3.4 Limitaciones a la Primera Edición.....	125
9.3.5 Aplicaciones de la Primera Edición.....	125
9.4 Descripción de los Cambios en la Segunda Edición.....	126
9.4.1 Extensión del alcance.....	126
9.4.4 Códigos para Sellos Mecánicos API 682, 2da Edición.....	130
9.5 Requerimientos Generales de Diseño para API 682, 2da Edición.....	132
9.6 Materiales de fabricación de componentes de sellos mecánicos según API 682, 2da edición.....	138
10. MANTENIMIENTO DE BOMBAS.....	140
10.1 Como hacerle mantenimiento a una bomba.....	141
10.1.1 Aspectos generales mantenimiento y reparación.....	142
10.2 Reparación de bombas centrifugas.....	144
10.3 Reensamblaje.....	146
10.4 Pruebas a bombas centrifugas.....	147
10.5 Recomendaciones para el mantenimiento de bombas.....	153
10.5.1 Selección.....	153
10.5.2 Arranque y operación de bombas centrifugas.....	167
10.5.3 Instalación de bombas centrifugas.....	168
10.5.3.1 Alineación.....	169
10.6 Puesta en servicio.....	172
10.7 Programación del mantenimiento.....	178
11 FALLAS Y PROBLEMAS EN BOMBAS CENTRIFUGAS.....	180
11.1. Cavitación.....	181
11.1.1 Descripción del proceso de Cavitación.....	181
11.1.2 Tipos De Cavitación.....	183
11.1.2.1 Cavitación Vaporosa.....	184

11.1.2.2 Cavitación Gaseosa.....	184
11.1.3 Síntomas de la cavitación.....	184
11.1.4 Daños a los componentes por cavitación.....	186
11.2 Corrosión.....	189
11.3 Fatiga en el Material.....	192
11.4 Roce.....	192
11.5. Fallas de Mantenimiento.....	192
11.5.1. Fallas en Rodamientos.....	192
11.5.2 Fallas en Eje.....	195
11.5.3 Falla en Impulsor y carcasas o revestimientos.....	196
11.5.4 Trouble Shooting.....	196
12. LEYES DE SEMEJANZA.....	198
12.1 Objetivos de las Leyes de Afinidad.....	199
12.2 Ecuaciones de Leyes de Afinidad.....	201
13. COSTO DEL CICLO DE VIDA EN BOMBAS.....	205
13.1 ¿Que es el costo del ciclo de vida?.....	208
13.1.1 Ecuación del costo del ciclo de vida en bombas.....	208
13.2 Costo Total del ciclo de vida en bombas.....	221
14. TRABAJO DE CAMPO.....	225
14.1 Planteamiento del caso.....	225
14.2 Desmontaje del equipo.....	226
14.3 Proceso de reparación bomba tag p- 14– Abocol.....	226
14.4 Proceso de ensamble.....	237
14.4.1. Ensamble del rotor.....	237
14.4.2. Balanceo del rotor.....	237

14.4.3. Run – out final.....	238
14.4.4. Ensamble.....	239
14.4.5. Pintura general y embalaje.....	240
15. EMPRESAS FABRICANTES DE BOMBAS.....	241
15.1 EMPRESAS FABRICANTES DE BOMBAS EN COLOMBIA.....	241
15.1.1 Hidromac.....	241
15.1.2 Bombas hydral ltda.....	242
15.1.3 Colbombas, división industrial de colpozos s.a.....	245
15.1.4 Sterling fluid systems (colombia) s.a.....	247
15.1.5 Barnes de Colombia s.a.....	250
15.1.6 Flowserve.....	254
15.1.7 Bombas IHM.....	257
16. CONCLUSION.....	260
BIBLIOGRAFIA.....	262
ANEXOS.....	264

Nota: Esta Monografía cuenta con un CD de datos en el cual se encuentra toda la información aquí contenida y algunos anexos y documentos de interés.

TABLAS.

Tabla 1. Tipos de bombas y clasificación API.....	70
Tabla 2. Figuras de bombas centrifugas según clasificación API.....	71
Tabla 3. Codificación de Ductos para Bridas de sellos mecánicos sencillos...	137
Tabla 4. Codificación de Ductos para Bridas de sellos mecánicos dobles.....	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de disposición de bomba sumergible.....	28
Figura 2. Bomba sumergible.....	28
Figura 3. Seccional bomba magnética.....	29
Figura 4. Isométrico bomba magnética Plastomec.....	29
Figura 5. Bomba autocebante de anillo liquido FZX2000.....	30
Figura 6. Bomba sumergible, panel solar e inversor.....	31
Figura 7. Bomba para el medio ambiente bombeo de agua subterránea.....	32
Figura 8. Seccional bomba tipo N, priorizando en su impulsor.....	35
Figura 9. Bomba tipo N,.....	35
Figura10. Impulsor de dos partes con imán conducido encapsulado r.....	37
Figura11.Impulsor de canal inatascable	38
Figura12.Impulsor semiaxial de alabe largo.....	38
Figura 13. Esquema Energético, Bomba Funcionando en buenas condiciones.....	43
Figura 14. Triangulo de velocidades en un impulsor.....	44
Figura 15. Señalización de diferentes cabezales.....	46
Figura 16. Corte seccional de un impulsor de una Bomba centrifuga.....	47
Figura 17. Localización puntual de las perdidas en una bomba centrifuga.....	49
Figura 18. Curva Caudal vs. Cabeza (Bomba).....	53
Figura 19. Curva Caudal vs. Cabeza, Izquierda curva inclinada, Derecha curva plana.....	54
Figura 20. Curva Caudal vs. Cabeza, Izquierda curva inclinada, Derecha curva plana.....	56
Figura 21. Curva del sistema vs. curva de la Bomba.....	57
Figura 22. Curva del sistema vs. curva de la Bomba	58
Figura 23. Disposición de bombas conectadas en paralelo.....	59
Figura 24. Curva Generada con la disposición de bombas en paralelo.....	59
Figura 25. Disposición de bombas Conectadas en serie.....	60
Figura 26. Curva generada con la disposición de bombas en serie.....	60
Figura 27. Curva de bomba sumergible.....	62
Figura 28. Curva de bomba sumergible.....	62
Figura 29. Curva mas completa, con eficiencias y otros datos de interés.....	63
Figura 30. Bomba durco MK III de flujo radial.....	65
Figura 31. Bomba centrifuga ETA 300-350 de flujo mixto.....	65

Figura 32. Bomba centrífuga ZLB(Q), ZWB(Q), ZXB(Q), de flujo axial.....	66
Figura 33. Bomba centrífuga de doble succión modelo 3408 (8100), 3409 (9100), 3410, 3415 y 3420.....	67
Figura 34. Bomba centrífuga de succión simple.....	67
Figura 35. Bombas centrífugas Multietapas HEGA.....	68
Figura 36. Bombas centrífugas Multietapas	68
Figura 37. Ilustración de posición de boquillas de succión y descarga en bombas centrífuga.....	69
Figura 38. Ilustración de posición de boquillas de succión y descarga en bombas centrífugas.....	69
Figura 39. Ilustración de posición de boquillas de succión y descarga en bombas centrífugas..	69
Figura 40. Seccional de bomba tipo OH1, señalando sus componentes.....	78
Figura 41. Izquierda, Voluta sencilla - Derecha, Voluta doble.....	80
Figura 42. Ilustración de un difusor utilizado en bombas Multietapas.....	80
Figura 43. Ilustración de diferentes impulsores.....	73
Figura 44. Clasificación de dispositivos de sellado.....	83
Figura 45. Buje de fondo de caja.	85
Figura 46. Esquema de suposición de laminillas en Sellos de laberinto.....	86
Figura 47. Sello de laberinto 954 de sealco.....	86
Figura 48. Sello de labio (juntas rotativas).....	86
Figura 49. Bosquejo de instalación de una empaquetadura).....	87
Figura 50. Ilustración de Empaquetadura para sellado.....	88
Figura 51. Housing Bearing de Bombas Worthington Modelo D-1000.....	89
Figura 52. Diferencial de presiones en un Impeler cerrado de simple succión.....	90
Figura 53. Diferencial de presiones en un impeler de doble succión.....	90
Figura 54. Fabricación de eje para Bomba Worthington modelo D-1000.....	91
Figura 55. Composición – Anillos de desgaste.....	93
Figura 56. Anillos de desgaste en bronce – bomba Wx modelo LR.....	93
Figura 57. Componentes de un sello Mecánico.	96
Figura 58. Componentes de un sello Mecánico.....	98
Figura 59. Sello Mecánico de montaje interno.....	101
Figura 60. Sello Mecánico de montaje Externo.....	101
Figura 61. Sello Mecánico, configuración Espalda Contra Espalda.....	102
Figura 62. Sello Mecánico, configuración Cara Contra Cara.....	102
Figura 63. Sello Mecánico, configuración Tandem.....	102
Figura 64. Sello Mecánico, Balanceado.....	103

Figura 65. Sello Mecánico, No Balanceado.....	103
Figura 66. Sello Mecánico de Resortes Múltiples.....	104
Figura 67. Sello Mecánico Monoresorte.....	104
Figura 68. Disposición de sello mecánico de tipo empuje.....	105
Figura 69. Disposición de sello mecánico de tipo empuje, señalando partes del sello.....	105
Figura 70. Disposición de sello mecánico de tipo empuje.....	106
Figura 71. Disposición de sello mecánico de no empuje, señalando partes del sello.....	106
Figura 72, Montaje de sello Cartucho, tipo ISC 1Px.....	109
Figura 73, Montaje de sello Cartucho, tipo ISC 1Px.....	109
Figura 74, Montaje de sello tipo No Cartucho.....	110
Figura 75. Funcionamiento de planes API, en un sello mecánico.....	111
Figura 76. Categorías contempladas por la API 682, para aplicación de sellos mecánicos.....	128
Figura 77. Grafica de Aplicación de sellos mecánicos de acuerdo a rangos de presión y temperatura.....	129
Figura 78. Sello mecánico tipo cartucho, con señalización de materiales de componentes según API 682, 2da edición.....	132
Figura 79. Requerimientos dimensionales de camisa para S. mecánico según API 682, 2da edición.....	133
Figura 80. Requerimientos dimensionales de camisa para S. mecánico según API 682, 2da edición.....	134
Figura 81. Requerimientos dimensionales de bridas para S. mecánico según API 682, 2da edición.....	135
Figura 82. Requerimientos dimensionales de bridas de sellos contenedores según API 682, 2 edición	135
Figura 83. Requerimientos de conductos de bridas para sellos mecánicos según API 682, 2 edición	136
Figura 84. Portada del Software FLYPS versión 2.1.....	150
Figura 85. Ventana de la opción selección de bombas.....	151
Figura 86. Ventana de la opción Catálogo Eléctrico.....	152
Figura 87. Ventana de la opción Dimensionamiento del Sistema.....	153
Figura 88. Ventana de la opción Análisis de Performance.....	154
Figura EJ1. Sistema de proceso de bomba para analizar.....	161
Figura EJ2. Tubería de succión del sistema.....	163
Figura EJ3. Tubería de descarga del sistema.....	164

Figura EJ4. Curva de la bomba a seleccionar.....	166
Figura 89. Explosionado – alineación interna.....	169
Figura 90. Explosionado – alineación Externa.....	169
Figura 91. Bosquejo – Maquina motriz, Maquina dirigida.....	170
Figura 92. Punto de referencia para medir grado de desalineación.....	170
Figura 93. Elemento movil Vs elemento estacionario.....	171
Figura 94. Disposición de indicadores de carátula para hacer medición de desalineación utilizando alineación en reversa.....	172
Figura 95. Esquemático – Check List antes de arrancar una bomba centrífuga.....	174
Figura 96. Esquemático, Posición de válvulas de succión y descarga en bombas centrífuga.....	176
Figura 97. Proceso de implosión de burbujas durante el fenómeno de Cavitación.....	182
Figura 98. Posibles posiciones de burbujas en un proceso de cavitación.....	182
Figura 99. Posibles posiciones de burbujas en un proceso de cavitación.....	183
Figura 100. Daños producidos por la cavitación en un impulsor.....	188
Figura 101, Fallas en rodamientos, sobrecalentamiento.....	193
Figura 102, Fallas en rodamientos, Falso Brinelling.....	194
Figura 103. Consecuencias de la Selección de equipos.....	209
Figura 104. El Efecto de la Instalación.....	211
Figura 105. El Efecto de los Costos Energéticos.....	212
Figura 106. El Efecto del Funcionamiento.....	215
Figura 107. El Efecto de las Reparaciones por Mantenimiento.....	216
Figura 108. El Efecto de la Avería.....	218
Figura 109 El Efecto del Costo Medioambiental.....	219
Figura 110. El Efecto de los Costos de Retirada.....	220

ANEXOS.

AEXO 1. SUBM, bombas y motores sumergibles refrigeración interna por aceite y por agua.....	264
ANEXO 2. Materiales de fabricación de bombas Centrifugas.....	266
ANEXO 3 Materiales de fabricación de bombas Centrifugas.....	268
ANEXO 4. Longitudes de posicionamiento de partes de sello mecánico Flowserve tipo RO, de montaje no cartucho.....	271
ANEXO 5. Planes de Ambientación para sellos mecánicos.....	273
ANEXO 6. Grado de desalineación.....	285
ANEXO 7. Alineación con laser.....	287
ANEXO 8. Artículo informativo de Cubaban. Nota técnica N°038.....	293
ANEXO 9. Compilación de problemas y posibles soluciones para bombas centrifugas.....	295
ANEXO 10. IOM de Bombas IR modelo ALB tamaño 6 ALB.....	301

INTRODUCCIÓN.

Con el desarrollo y los adelantos de la humanidad en cuanto a la ciencia y las nuevas tecnologías se ha llegado a la conformación de una estructura industrial muy potente y arraigada firmemente, cuya ideología se dirige a la optimización y facilidad en el flujo de los procesos industriales teniendo muy claro la productividad de las plantas. Por tal motivo, hoy en día podemos ser testigos de la creación de industrias que desarrollan tecnologías y actividades de producción muy complejas, pero que a su vez debido a los avances tecnológicos son sumamente fáciles de operar y controlar.

De acuerdo a lo anterior y a la necesidad de optimización y gestión de procesos se han creado muchas maquinaria y equipos que son de forma puntual los encargados de convertir la energía que se les suministra en trabajo notable para la planta y que a través de la instrumentación adecuada se les da el manejo y control que ellos requieren, Entre estas maquinarias de forma particular encontramos las BOMBAS CENTRIFUGAS, las cuales, debido a sus fundamentos operacionales son una de los equipos mas representativos de la industria de hoy en día .

Este maravilloso invento tiene inicio desde tiempos antes de cristo, Cuando se daba el desarrollo cultural que se produjo en el reinado de Ptolomeo II Filadelfo y del cual tenemos evidencia en la Biblioteca de Alejandría. Luego, **Cresebio**, nacido en Alejandría 285 a.C. - 222 a.C. imparte clases de mecánica, y de igual manera inicia la promoción de los tratados sobre neumática junto a su colaborador y discípulo Filón de Bizancio real, como consecuencia de este proceso se crea la bomba centrifuga, la cual se fundamenta en la conversión de la potencia de entrada (rotativa, motor) en energía cinética en el fluido por medio de un mecanismo giratorio, el impulsor.

Es fascinante saber como un invento de tal antigüedad ha permanecido en el tiempo y se ha convertido en un equipo fundamental en el transporte de fluidos líquidos y acuosos, en las industrias, esta es la razón por la cual una vez se tengan funcionando se deben tener en optimas condiciones de operación.

Para cumplir con este objetivo, es esencial tener conocimientos sobre los aspectos relacionados con este tipo de maquinaria y en este documento se encontraran tales conceptos, por ello se puede considerar como una guía importante donde se describen los fundamentos operacionales, los fundamentos de ingeniería, los componentes, las fallas, las condiciones normales y anormales de operación y los conceptos generales de las bombas centrifugas. Además de lo anterior en este documento se presentara de manera detallada una practica de reparación y mantenimiento realizada a una bomba centrifuga que se encontraba en muy malas condiciones de funcionamiento.

De igual manera, se presenta el tema de sellos mecánicos, los cuales son componentes fundamentales de las bombas centrifugas y a pesar de su antigüedad son desconocidos por muchos estudiantes de ingeniería, pero que sin duda alguna son partes que ofrecen soluciones a problemáticas de escapes y fugas de liquido bombeado por una bomba centrifuga.

1. OBJETIVOS.

1.1 GENERAL:

➤ Realizar un documento completo, basado en investigaciones e información de fabricantes y experiencias de trabajos de campo en el cual se especifiquen todos los aspectos relacionados con las Bombas centrifugas, enfocados en brindar información, mostrar los conocimientos en cuanto a funcionamiento, principios básicos, mantenimiento, innovaciones y procedimientos de montaje y arranque de estos equipos, de los cuales se puede decir que son equipos trascendentales en el entorno de las industrias por las que nos encontramos rodeados, argumentando que son equipos roto-dinámicos y por lo tanto ameritan gran atención en los procesos y procedimientos de operación y mantenimiento.

1.2 ESPECIFICOS.

- ❖ Identificar y conocer los conceptos relacionados con bombas centrifugas
- ❖ Identificar claramente las partes de una bomba centrifuga
- ❖ Conocer las funciones de cada una de las partes de una bomba centrifuga
- ❖ Aprender las estrategias y técnicas de mantenimiento para los equipos de bombeo
- ❖ Tener conocimientos sobre las normas y procedimientos para tratar a las bombas centrifugas
- ❖ Conocer la importancia de las bombas centrifugas en las aplicaciones industriales
- ❖ Determinar y conocer como hacer inspecciones a bombas centrifugas
- ❖ Desarrollar metodologías para llegar a calcular eficiencia en una bomba centrifuga
- ❖ Aprender a comparar bombas centrifugas trabajando con parámetros adecuados con otras que lo hagan fuera de rango
- ❖ Identificar los problemas que se presenten en las bombas centrifugas
- ❖ Tener conocimientos sobre sellos mecánicos.
- ❖ Valorar una bomba centrifuga teniendo en cuenta el costo de ciclo de vida de la misma.
- ❖ Tener conocimiento acerca de los fabricantes de bombas nacionales e internacionales y de los modelos de bombas que estos ofrecen.

2. JUSTIFICACIÓN.

Si bien es cierto el tema de bombas centrifugas es un temática muy estudiada y de la cual se tiene mucha información, en cualquier libro de maquinas hidráulicas podemos encontrar contenido que hable de forma general sobre conceptos y principios bajo los cuales se basan estas maquinas, ahora bien, la prioridad de los autores es muy diversa y generalmente el contenido de los textos es reducido en algunos conceptos y no cuentan con la globalización de múltiples fuentes informativas.

La idea de la realización de este documento radica en la integración de conceptos referentes a las bombas centrifugas por medio de un compendio que reúna información clasificada y de primera mano de múltiples fuentes relacionadas con este tema, *(uno de los aspectos a resaltar es que este compendio cuenta con conceptos y recomendaciones de compañías fabricantes de estos equipos e innegablemente estos son quienes tienen un bagaje informativo y una experiencia muy amplia en el tema)*, escrito en un lenguaje sencillo y entendible para cualquier persona que lo consulte, apoyado en graficas, videos, ejemplos y simulaciones para dar mayor claridad en los conceptos desarrollados, de gran utilidad para los múltiples proyectos que frecuentemente desarrollan los grupos de investigación del departamento de ingeniería mecánica de la universidad.

Otro de los aspectos relevantes de este documento es el hecho de estar en la vanguardia en cuanto a los últimos adelantos e investigaciones que se han hecho en el tema de las bombas centrifugas, pues ítems como nuevos materiales, nuevas técnicas de mantenimiento, sellos mecánicos (el cual es un tema con escasa información por ser dispositivos relativamente modernos, pero que toma auge ampliamente debido a las ventajas que ofrece) y modelos actualizados de bombas hacen de este compendio una herramienta importante en la formación de conocimientos de los usuarios.

En lo que respecta a la actualización de los modelos de bombas, una novedad importante que diferencia este compendio de cualquier libro radica en la base de datos creada con los fabricantes de bombas nacionales más importantes, pues en formato digital existe una recopilación con las especificaciones y modelos de las bombas más representativas de cada fabricante.

Según todo lo mencionado anteriormente podemos designar este documento como importante dentro de las herramientas útiles de formación, estudio y análisis de las bombas centrifugas, para que una vez en la industria o en determinada circunstancia aquel usuario encuentre información pertinente del tema de estos equipos.

3. ASPECTOS GENERALES

En lo referente a las bombas centrifugas se hace necesario a nuestro juicio iniciar tratando el tema desde que se habló por primera vez de hidráulica, para poder entender la evolución y el desarrollo que se ha tenido a través del paso del tiempo en el campo del traslado de flujo.

En este aspecto, cuando se habla de “hidráulica nos referimos a la rama de la física y la ingeniería que se relaciona con el estudio de la propiedades mecánicas de los fluidos”¹, ahora bien, de igual manera hay que tener en mente una serie de personajes de los cuales se puede decir son los padres de ella, “entre estos personajes podemos mencionar a **Euler ,Bernoulli, Reynolds, Saint Venant, Newton, Pascal**, etc, los cuales con sus invenciones e investigaciones hicieron multiplicar los esfuerzos en lo que se refiere al trabajo físico y así tener una vida mas fácil refiriéndonos al traslado de líquidos a grandes distancias”².

Ahora, hablaremos de esos equipos mecánicos que se encargan de transportar los fluidos especialmente líquidos como son las bombas.

La mayoría de los procesos en las industrias de procesos químicos (IPQ) incluyen la conducción de líquidos o transferencia de un valor de presión o de energía estática a otro, La bomba es el medio mecánico para obtener esta conducción o transferencia, por ello es parte esencial de todos los procesos y teniendo en

⁽¹⁾ <http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%A1ulica>

⁽²⁾ <http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%A1ulica>

cuenta que las bombas centrífugas constituyen no menos del 80% de la producción mundial de bombas, porque es la más adecuada para manejar más cantidad de líquido que la bomba de desplazamiento positivo

Lo anterior sin obviar que el crecimiento y perfeccionamiento de los procesos están ligados con las mejoras en el equipo de bombeo y con un mejor conocimiento de cómo funcionan las bombas y cómo se deben aplicar.

“Una bomba centrífuga transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio en la energía cinética y potencial requerida”³, aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la punta de los alabes o periferia del impulsor y de la densidad del líquido. La cantidad de energía que se aplica por libra de líquido es independiente de la densidad del líquido.

El continuo proceso de investigación y desarrollo de nuevos productos, permite satisfacer e incluso avanzarse a las exigencias del mercado, aportando una amplia gama de bombas de alta calidad, con diseños avanzados y características tecnológicas diferenciadas, fruto de **la innovación y la creatividad**.

La utilización y combinación de **materiales de alta calidad**, como el acero inoxidable, latón o diferentes tipos de termoplásticos han dado como resultado la obtención de altos rendimientos y una larga duración de los principales componentes de las bombas.

La continua **innovación tecnológica** en los aparatos de prueba y los frecuentes y rigurosos controles que se realizan durante el proceso de ensamblaje y sobre el producto terminado antes de su distribución aseguran un producto de alta calidad, **totalmente garantizado**.

⁽³⁾ Diez, Fernández Pedro. Bombas centrífugas y Volumétricas. U de Cantabria.

3.1 INNOVACIONES EN BOMBAS.

Entrando mas firmemente en el tema de los desarrollos de las bombas centrifugas debemos empezar diciendo que hoy día existen innumerables modelos de bombas centrifugas las cuales trabajan bajo el mismo principio de funcionamiento pero su diferencia radica en la utilización de las mismas de acuerdo al tipo de fluido que se requiere manejar, y es por ello que de manera mas especifica las bombas centrífugas pueden ser agrupadas en distintos tipos según los criterios aplicados en función del diseño, construcción, servicio, etc. por lo que una bomba en particular puede pertenecer simultáneamente a dos o mas grupos a la vez; algunos de estos grupos son los siguientes:

- Basados en el cumplimiento con normas de la industria
- Basado en el número de rotores o rodets
- Basado en la succión del rotor o rodete
- Basado en el tipo de voluta
- Basado en la ubicación de las conexiones
- Basada en la orientación del eje
- Basado en la orientación de la división de la carcasa
- Basado en el soporte de los rodamientos
- Basado en la conexión del eje al accionamiento
- Basado en el tipo de servicio

Se mencionarán a continuación algunas innovaciones que se han venido haciendo en las bombas para mejorar su eficiencia a través de los años.

“La primera bomba construida por el hombre fue la jeringa y se debe a los antiguos egipcios, quienes la utilizaron para embalsamar las momias. CTESIBIUS en el siglo II A.C., la convirtió en una bomba de doble efecto, luego, la bomba centrífuga fue creada por el griego Cresebio y el fundamento de su invento radica en la conversión de la potencia de entrada (rotativa, motor) en energía cinética en el fluido por medio de un mecanismo giratorio, el impulsor”⁴.

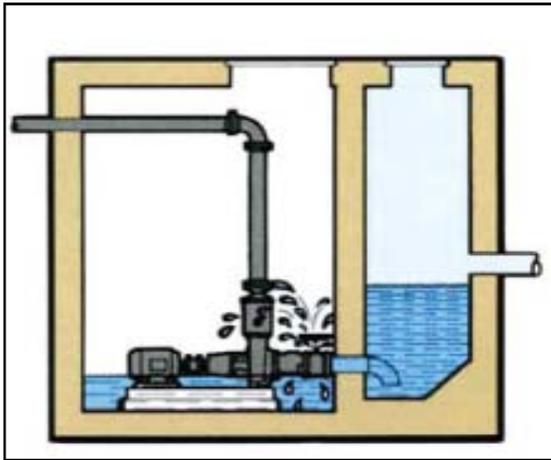
A raíz de esto se han fabricado infinidad de bombas, desde los tamaños mas pequeños hasta monstruos gigantescos capaces de mover inmensos volúmenes de fluido, y partiendo de diferentes configuraciones y formas, con ejes verticales y/o horizontales, multietapas o de un solo impulsor, en fin son muchos los modelos que se pueden tener hoy día.

De forma particular se han desarrollado también “**las bombas sumergibles**, (ver figura 1 y 2 , para mayor claridad revisar simulación de este tipo de bombas que se encuentra en el CD de datos de esta monografía) las cuales como su nombre lo indican tienen la capacidad de estar inmersas en el fluido que se esta manejando mas específicamente en aguas residuales, pues ellas son las preferidas por la mayoría de los usuarios cuando se construyen nuevas estaciones de bombeo de aguas residuales y se modifican las viejas. La característica principal de estas bombas es la impermeabilidad de todos los accionamientos eléctricos, lo que le permite a las bombas trabajar sin fallos por debajo del nivel de líquido si el tipo de instalación es bajo”⁵

⁽⁴⁾ Enciclopedia Jackson, tomo VI, Ingeniería Mecánica

⁽⁵⁾ Articulo Submersible pumps for wastewater applications. Feature submersible

Figura 1. Esquema de disposición de bomba sumergible



Submersible pumps for wastewater applications. Feature submersible

Figura 2. Bomba sumergible

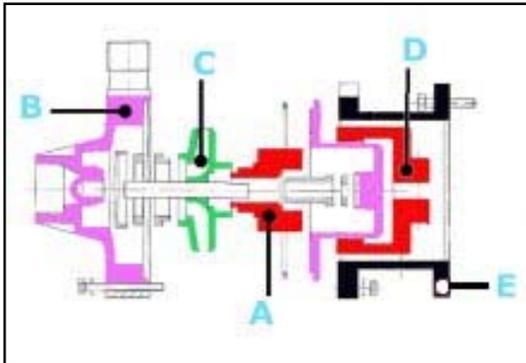


www.directindustry.es

Por otra parte, las innovaciones de las bombas también se reflejan en la construcción de nuevos modelos, “tenemos el caso de las bombas magnéticas (ver figura 3 y 4) las cuales trabajan con un sistema de tracción magnética el cual aporta la ventaja de no ser necesarios pasos de ejes ni cierres o empaquetaduras, para establecer la conexión motor/turbina, ya que de ello se encargan imanes permanentes actuando a través de la pared hermética del cuerpo de la bomba, lo que se refleja como ganancia en el mantenimiento de los sellos y un a mayor eficiencia en cuanto al manejo de caudal en comparación con las bombas convencionales. Estas cualidades, unidas a la selección en su fabricación de plásticos técnicos específicos, hacen de este tipo de bombas equipos adecuados para el trasiego y vehiculación de productos químicos agresivos, dentro de un amplio campo de procesos y aplicaciones industriales y de laboratorio. Sin embargo no deben emplearse con líquidos que arrastren partículas sólidas gruesas, o que puedan cristalizar en el interior del cuerpo, ya que podrían dañarse”⁶.

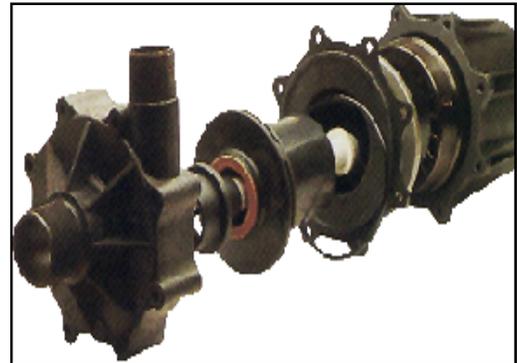
⁽⁶⁾ www.aiqsa.com/productos/comercial/bombas/bombas_inicio.htm

Figura 3. Seccional bomba magnética



<http://www.directindustry.es>

Figura 4. Isométrico bomba magnética Plastomec



www.plastoquimica.com/cas/productos/b61.htm

En donde:

- A. Imán interno.
- B. Cuerpo bomba anterior.
- C. Rodete.
- D. Imán externo.
- E. Armazón motor

Llevando la tecnología a sus límites y buscando nuevas alternativas, se han iniciado técnicas de fabricación y tecnología de bombeo que han sido propagadas por fabricantes líderes de bombas.

El avance en técnicas para manipular acero inoxidable permitió la producción en masa de bombas completamente construidas en este material y esos mismos principios han sido aplicados a las nuevas bombas íntegramente hechas de titanio. Cada paso ha cambiado en forma fundamental las percepciones sobre la resistencia a la corrosión en bombas, de tal manera que ahora ni siquiera el agua de mar representa una amenaza.

En los últimos años, se ha puesto énfasis en mejorar la eficiencia y en reducir costos. La bomba accionada por energía solar fue una de las soluciones más innovadoras en lo que se refiere a la reducción del consumo de energía. En la década del 80, se inició el camino en las bombas electrónicas auto-reguladas. Además, se están presentando motores de imán permanente de alta eficiencia,

lo cual ha permitido reducir el tamaño de las bombas, Para así, una vez más, lograr minimizar los consumos de energía.

Algunos avances de forma mas particular se refieren a componentes y/o sistemas adicionales para dar mayor eficiencia y alargar la vida de un abomba centrifuga, a continuación se describirán estos adelantos.

Un adelanto impresionante para mejorar el rendimiento de las bombas centrifugas y tratar de optimizar los procesos de bombeo se refleja en “La bomba autocebante de anillo líquido (ver figura 5), la cual proporciona nuevas posibilidades a la hora de manejar productos con aire retenido al usar un impulsor y una carcasa especialmente diseñados, esta bomba mantiene su fuerza cuando las bombas convencionales se ceban debido al aire. Esta característica hace de la bomba una excelente elección para un vaciado completo de tanque y tuberías.

Figura 5. Bomba autocebante de anillo líquido FZX2000



www.delphy.com.mx

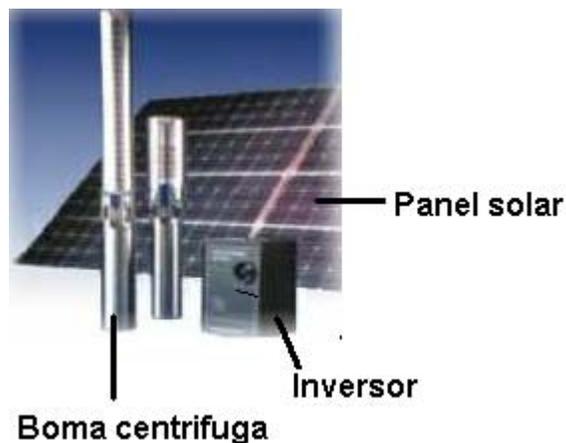
Estas bombas se encuentran disponibles ya sea con un sello mecánico simple o con uno externo doble, incluyendo un tubo de descarga opcional. La bomba puede manejar una viscosidad del producto de hasta 500 cps.

Continuando con las innovaciones en aplicaciones y modelos de bombas centrífugas, Un tema puntual de innovación en bombas es estudiado por el ingeniero **Adrian Poza madrigal** el cual en sus artículos examina el campo de las bombas para riego, Éste en uno de sus artículos estudia los adelantos presentados en:

Bombas sumergibles accionadas por energía solar. (Ver figura 6)

Existen bombas sumergibles accionadas por energía solar, mantienen un caudal máximo de 180 m³/día, una altura máxima de 200m y una temperatura máxima de 40 °C. Los sistemas solares son útiles para suministro de agua y riego en zonas sin suministro eléctrico o donde se dispone de poco combustible.

Figura 6. Bomba sumergible, panel solar e inversor.



<http://usuarios.advance.com.ar/jcalva/images/fotosB3.jpg>

El inversor convierte la corriente continua procedente del panel solar en corriente alterna trifásica, con frecuencia variable para la alimentación del motor sumergible.

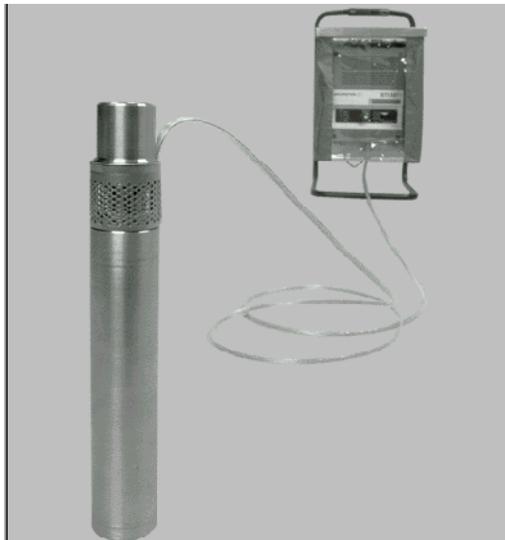
Además de estas placas solares, pueden existir convertidores de energía eólica en eléctrica, para aquellas zonas en las que las condiciones de viento sean altas.

Bombas para el medio ambiente. (Ver figura 7)

Son un tipo de bombas especiales, que tratan un tema tan importante hoy en día como es todo lo relacionado con las mejoras en Naturaleza.

Este tipo de bombas proporcionan un caudal aprox. de 22 m³/h, una altura de 215 m, trabajando a una temperatura del líquido que varia entre 0 y +40 °C, y con una profundidad en la instalación de hasta de 600 m. Son bombas adecuadas para el bombeo de agua subterránea contaminada y para la toma de muestras⁷.

Figura 7. Bomba para el medio ambiente bombeo de agua subterránea.



POZA, Madrigal Adrián. Grupos de bombeo actuales e innovaciones. Valladolid

⁽⁷⁾ POZA, Madrigal Adrián. Grupos de bombeo actuales e innovaciones. Valladolid

3.1. 2 Adelantos en sistemas de recirculación para enfriar bombas

centrifugas. Este es otro de los aspectos importantes a tener en cuenta en el desarrollo de las bombas centrifugas.

“Las bombas centrífugas se enfrían con el líquido que bombean y éste arrastra el calor producido por los componentes rotatorios y cojinetes. Cuando las bombas funcionan con caudales grandes, son suficientes para evitar el sobrecalentamiento, con menores volúmenes de bombeo, el enfriamiento puede ser inadecuado y hay el riesgo de falla de la bomba por pegadura de cojinetes o dilatación térmica excesiva del impulsor, de igual forma la ayuda para disipar el calor en los cojinetes brindada por los sistemas de lubricación es fundamental para asegurar una temperatura aceptable en la bomba, un caso específico es la configuración de las bombas SUBM del fabricante Byron Jackson (ver anexo 1 Bombas SUBM – refrigeración interna por aceite), otro método de lubricación de cojinetes es el de lubricación forzada, el cual ayuda a la refrigeración de los mismos, (Ver simulación 1 en el CD de datos de esta monografía).

Para asegurar el funcionamiento seguro de la bomba con todos los caudales, en especial cuando funciona a menos del 25 % de su capacidad nominal, se utilizan los sistemas de recirculación (derivación). Estos sistemas impiden que el caudal de bombeo baje a menos del mínimo requerido para evitar el sobrecalentamiento, y el exceso de líquido se recircula al depósito o sumidero.

Los sistemas de recirculación también se utilizan para mejorar el control del flujo bombeado. Algunas bombas centrífugas, en especial las pequeñas de alta velocidad utilizadas en las plantas de procesos químicos tienden a ser inestables con caudal bajo.”⁸.

⁽⁸⁾ Tecnología, Artículos de información Flowserve.

3.1.3 Innovaciones en impulsores para bombas centrífugas. Las bombas centrífugas, además de producir la carga necesaria con la capacidad requerida, deben poder manejar una variedad casi infinita de líquidos que se caracterizan, en parte, por su viscosidad, densidad y la presencia o ausencia de sólidos.

“La bomba se puede adaptar a las variaciones en esas propiedades mediante impulsores de diferentes diseños adecuados que son su componente más esencial. Aunque hay casi tantos diseños de impulsores como clases de líquidos, se los clasifica en general como abiertos o cerrados.

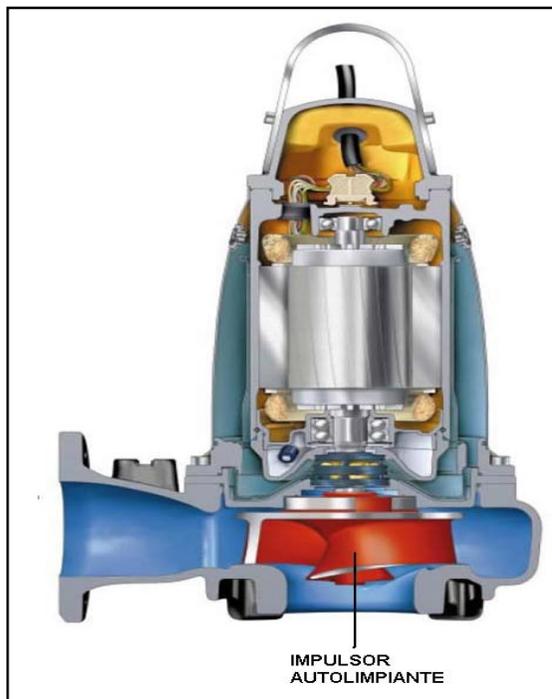
- ❖ **Impulsor abierto.** Debido a sus álabes abiertos, este impulsor se debe instalar con una holgura mínima entre sus caras y las paredes de la carcasa, para reducir el deslizamiento o recirculación del líquido dentro de la bomba. El fácil acceso a los alabes de este impulsor es una ventaja para mantenimiento y reparación. Los impulsores abiertos se utilizan para muchos servicios que incluyen tanto líquidos limpios como pastas aguadas abrasivas.

- ❖ **Impulsor cerrado.** En este impulsor se guía el líquido con las paredes del impulsor en vez de las paredes de la carcasa, con lo cual se reducen el deslizamiento y el desgaste de las paredes de la carcasa. La recirculación es mínima por las pequeñas holguras entre la pared delantera y la pared de la carcasa en la entrada de succión. El impulsor cerrado se suele utilizar con líquidos limpios, libres de abrasivos”⁸.

⁽⁸⁾ Capacitación. Fundamentos de bombas centrífugas. Jhon Crane

Existen investigaciones solo para mejorar la efectividad de los impulsores una de las innovaciones que se han venido haciendo en estos dispositivos es en el producto de aguas negras industriales. “Para las aplicaciones en aguas negras se están diseñando impulsores cerrados de dos y tres alabes útiles para manejar grandes sólidos y mantener extraordinaria eficiencia hidráulica. También en este mismo campo se han desarrollado los impulsores autolimpiantes, los cuales por su diseño evacuan los sólidos suspendidos que pueden desmejorar el funcionamiento normal de una bomba, estos impulsores son utilizados en las bombas tipo N de Flygt (Ver figura 8 y 9)”⁹.

Figura 8. Seccional bomba tipo N, priorizando en su impulsor.



www.bomohsa.com/images/flygt/tipo_n_serie_c.jpg

Figura 9. Bomba tipo N,



www.bomohsa.com/images/flygt/tipo_n_serie_c.jpg

⁽⁹⁾ Artículo Submersible pumps for wastewater applications, Feature *submersible*

Un adelanto notable en el tema de los impulsores fue desarrollado por Ansimag, con su impulsor de dos partes con imán conducido encapsulado, (ver figura 10) el cual ofrece las siguientes ventajas frente a impulsores convencionales:

- Eliminación del maquinado: el maquinado posterior al moldeo atenta contra la resistencia química de la pieza exponiendo potenciales vías de pérdida hacia el imán conductor. Ansimag utiliza la más moderna tecnología de moldeo obteniendo el imán interno totalmente terminado de modo que no requiere ningún mecanizado.
- Materia Prima ETFE reforzado con fibras de Carbono pues no todo el ETFE es igual. Ansimag se ha asociado con sus proveedores para sumar esfuerzos y crear las mezclas plásticas diseñada especialmente para los mas severos servicios químicos. Esto maximiza las propiedades químicas y mecánicas de las piezas.
- Eliminación de las soldaduras plásticas: la soldadura agrega variables en los procesos de producción y es una potencial fuente de filtraciones de producto hacia el imán encapsulado.
- Se ha mejorado el diseño incorporando nervaduras que elimina la chaveta. De este modo se facilita la colocación del buje dentro del impulsor ya que no se requiere de alineación. Simplemente se presenta en cualquier posición y se empuja hasta su posición final¹⁰.

Importante: El impulsor Nuevo diseño solo está disponible para las bombas serie K construidas en ETFE

⁽¹⁰⁾ www.drotec.com.ar/drotec

Figura10. Impulsor de dos partes con imán conducido encapsulado r.



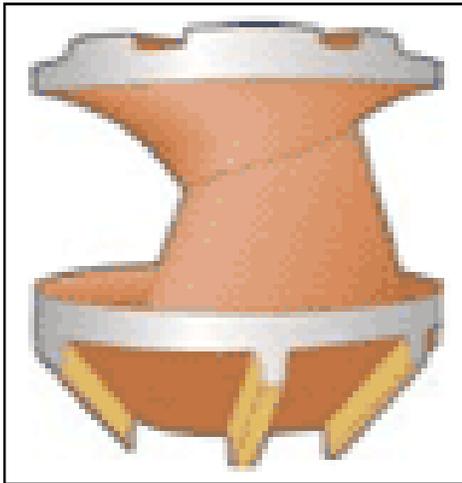
www.drotec.com.ar/drotec

Otra innovación para este componente de la bomba es la desarrollada por Grundfos, (proveedor de bombas y soluciones de bombeo), el cual construye los impulsores de canal Grundfos como se describe a continuación:

- ❖ **“Impulsor de canal inatascable** (ver figura 11): Los impulsores de canal son diseñados con un paso libre grande - 80 ó 100 mm según los modelos - combinado con álabe largo. Son ideales para los tratamientos pesados en estaciones de bombeo grandes.
- ❖ **Impulsor semiaxial con álabe largo** (Ver figura 12): Cuanto más largo es el álabe del impulsor, más largas son las fibras que pueden atravesar la bomba sin quedar atrapadas”¹¹.

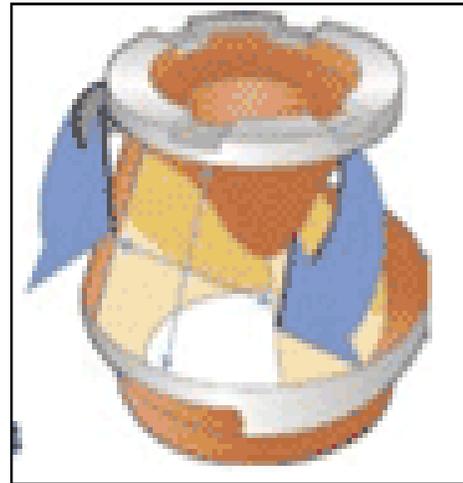
⁽¹¹⁾ www.grundfos.com/web/homees.nsf/Webopslag/PROI-5ETLLW

Figura11. Impulsor de canal inatascable



www.grundfos.com/web/homees.nsf/Webopslag

Figura12. Impulsor semiaxial de alabe largo



www.grundfos.com/web/homees.nsf/Webopslag

Por otra parte, la mayoría de las bombas para servicio general usan impulsores de bronce, que tienen una vida razonablemente larga. Ocasionalmente esas bombas operan en elevaciones de succión altas o a capacidades parciales y ambas cosas afectan la vida del impulsor más adecuado para esas condiciones.

Las bombas que manejan agua que contiene arena pueden usar impulsores de bronce, hierro colado, ferro níquel fundido y aún de acero al cromo, dependiendo de la cantidad de arena, su grado de abrasión y el carácter del agua.

Generalmente, se deberán usar siempre los materiales para los impulsores que forman una cubierta o película protectora, que se adhiera firmemente a los metales subyacentes y no se deslave con la corriente de agua o fluido manejado. Sin embargo, el material abrasivo naturalmente erosión esta película protectora en muchos metales, haciendo su uso indeseable.

3.1.4 Innovaciones en los materiales de fabricación de bombas: La elección de los materiales para los diferentes elementos de las bombas centrífugas se efectúa a partir de sus propiedades mecánicas, aunque las condiciones específicas de temperatura, sobrecarga, abrasividad, etc. pueden influir en la misma.

Lo anterior, basados en la información del artículo Desarrollo y mejora de materiales el cual describe que hay adelantos notables en este campo, pues, hoy día existen investigaciones en el manejo de nuevos materiales para distintas aplicaciones de acuerdo al uso de la bomba, ya que se sabe que por medio de estos equipos se puede bombear todo tipo de productos empezando por pulpas, slurry o fluidos con partículas en suspensión hasta fluidos menos densos y peligrosos, es por ello que si se mejoran los materiales con los cuales se fabrican las piezas que componen a los equipos se tendrá mayor eficiencia, durabilidad y efectividad en el bombeo del fluido¹².

Se han desarrollado materiales que mejoren la eficiencia y disminuyan las fallas de las bombas en general y de las partes que la constituyen, un ejemplo de esto son los materiales anticavitantes como su nombre lo dice son aquellos diseñados para resistir la falla por cavitación en bombas.

Los metales conocidos no resisten la acción de la cavitación. Todos, de una manera más o menos rápida, resultan dañados, son más resistentes aquellos metales que, además de tener una alta resistencia mecánica poseen una mayor estabilidad química; por ejemplo, el bronce con respecto a los aceros corrientes o al hierro fundido.

El hierro fundido y los aceros al carbono son especialmente sensibles a la acción destructora de la cavitación. El empleo de materiales más estables en la

⁽¹²⁾ Artículo Desarrollo y mejora de materiales

construcción de la máquina puede aumentar el tiempo de trabajo en condiciones de cavitación moderada, sin daños apreciables. Sin embargo, el estimable aumento del costo justifica su uso para casos específicos: sobrecargas cortas en la aspiración, aumento temporal del caudal o de la altura de succión. En cualquier otro caso, rara vez resulta una buena solución.

1.1.4.1 Materiales de fabricación-corrosión: Los materiales con que se fabrican las bombas centrífugas inciden considerablemente en su costo. La resistencia a la corrosión constituye la principal propiedad para elegir entre distintos materiales de similares características mecánicas a fin de trabajar en diferentes condiciones de explotación. A continuación veamos la aplicabilidad de los distintos materiales para fabricación de cuerpos y partes de bombas centrífugas, basados en el artículo informativo Desarrollo y mejora de materiales.

“El hierro fundido es el material más barato empleado en estas máquinas. Los aceros al carbono tienen mejores propiedades mecánicas, resisten tensiones mayores y son ampliamente usados, en especial para la construcción de impulsores. Su costo es un 30 % o 40 % mayor que el del hierro fundido.

Los bronce que sustituyen a los aceros en medios ácidos son aún más caros. Los aceros inoxidable, en general aleaciones con níquel o con cromo, trabajan confiablemente en medios ácidos y son 1,4-1,5 veces más caros que los aceros comunes y hasta dos veces más caros que el hierro fundido. El níquel es 1,5-1,8 más caro. Su aleación, el monel (níquel-bronce), es un poco más barata. Los Hastelloys: aleación de níquel con molibdeno y otros componentes, son 20-40 % más baratos. El titanio,

altamente resistente a la corrosión, es hasta 7 veces más caro que los aceros comunes y por lo menos dos veces más que el níquel.

Desde los años cincuenta transcurre la introducción de los plásticos en la fabricación de diferentes elementos de las bombas centrífugas. Este proceso ha avanzado de forma relativamente lenta, debido a que las propiedades mecánicas y físicas de estos materiales no siempre responden a las exigencias de distintos elementos de máquinas y, en gran medida, dependen del tiempo de acción de las cargas. Por otro lado, estos materiales están limitados a temperaturas relativamente bajas y, además, la tecnología de fabricación tiene sus propias exigencias que, en ocasiones, obliga a cambiar las formas más adecuadas.

Las máquinas con velocidades de rotación más bajas y, en consecuencia menores velocidades específicas, se ven compensadas en parte, por mejores condiciones de aspiración. En la actualidad son ampliamente utilizados, entre otros, el PVC, PVC clorado y, últimamente, el fluoruro de polivinilideno (PVF2). También se emplean el polipropileno y el etileno. Existen en el mercado marcas registradas de estos materiales: Teflón, Kynar y otros, cuya presencia no altera la esencia de lo analizado y sus costos suelen ser más altos. En la práctica, las limitaciones debidas a la temperatura se mantienen: el PVC puede ser utilizado para temperaturas de hasta 60°C; el PVC clorado, 90°C, y el PVF2 y el polipropileno hasta 120°C.

Debe señalarse que las temperaturas antes mencionadas pueden variar por las propiedades de los diversos líquidos que se transportan: diferentes plásticos a una misma temperatura pueden comportarse de manera bien distinta para varios productos químicos. En la práctica actual, los plásticos no han sustituido a los metales como materiales para la fabricación de

bombas centrífugas, pero alcanzan un papel de importancia en diversas aplicaciones específicas”¹³.

Sin embargo, “Actualmente encontramos bombas centrífugas hechas de plástico para servicio corrosivo, con los años, los metalurgistas han perfeccionado una gran variedad de aleaciones que resisten a la mayor parte de los fluidos corrosivos, pero muchas veces ni los metales o aleaciones más modernas pueden dar rendimiento satisfactorio. Entre las razones están el alto costo de las aleaciones especiales para soportar este servicio y las limitaciones que tienen los metales para utilizarlos con la variedad de líquidos comunes en la industria química. Por ello, cada vez más las empresas están cambiando a bombas centrífugas de diseño especial, hechas con plásticos. La combinación de diseño y materiales de estas bombas ofrecen la máxima duración en servicio con mínimos problemas de mantenimiento. En muchos casos, las bombas de plástico cuestan mucho menos que sus equivalentes de metal. Las bombas hechas con plástico se obtienen con facilidad y gracias a sus adelantos en diseño el mantenimiento es mínimo y el reemplazo de piezas es sencillo”¹⁴.

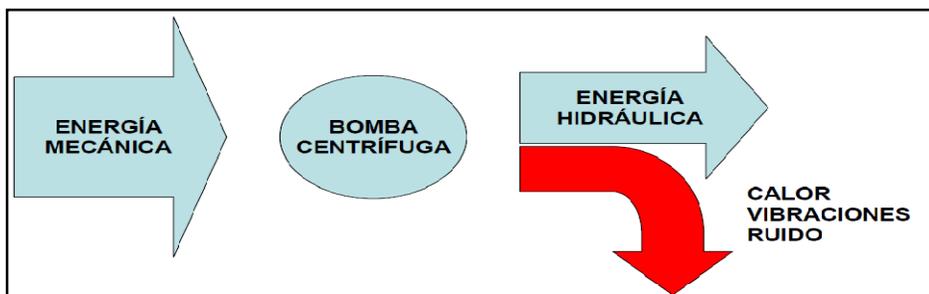
(¹⁴) Artículo informativo, Nuevos materiales, Flowserve.

(¹³) Artículo. Desarrollo y mejora de materiales

4. FUNDAMENTOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS

En la actualidad, la utilización de los equipos de bombeo es significativamente amplio, debido a la importancia que tienen estas maquinas en la realización y operación de plantas de procesos, pues una bomba centrífuga se define como un “equipo transformador de energía mecánica a energía de fluido en forma de presión, posición o de velocidad, esto es porque la función primaria de una bomba es la de mover un fluido, generalmente un liquido de un lugar a otro. Para lograrlo la bomba le agrega energía al fluido”¹⁵. Como se muestra en el esquema 13:

Figura 13. Esquema Energético, Bomba Funcionando en buenas condiciones



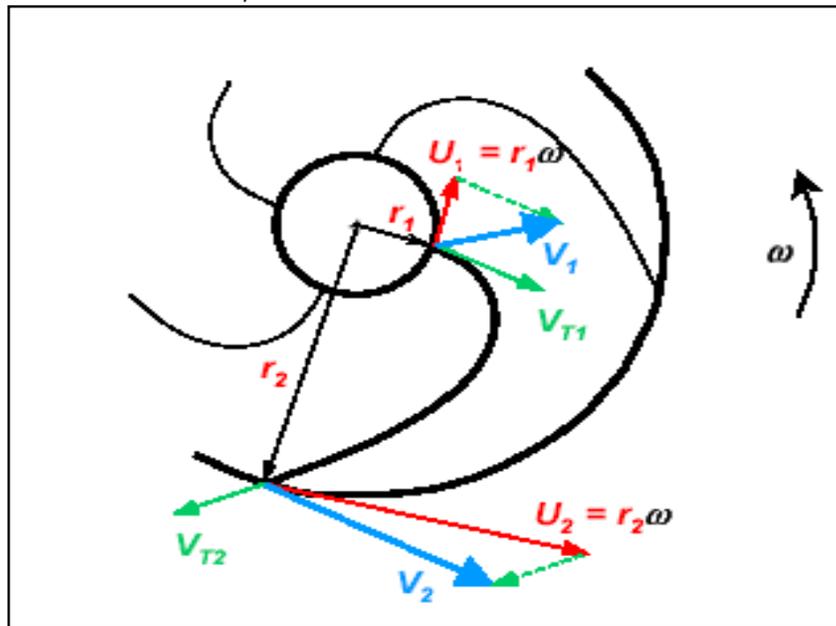
Capacitación. Fundamentos de bombas centrífugas. John Crane

Pero, ¿como es el proceso en el que la bomba transforma un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico (presión)?, la respuesta es la siguiente: Esto ocurre porque la presión se genera con la conversión de cabezal de velocidad en cabezal estático, mediante el movimiento rotativo del impulsor(es) que transfiere energía al fluido en la forma de un incremento de la velocidad que se convierte en presión, en la sección de difusión (voluta) del cuerpo de la bomba.

⁽¹⁵⁾ Capacitación. Fundamentos de bombas centrífugas. Jhon Crane

Esto se demuestra con el triangulo de velocidades (Figura 14) aplicado a un impulsor de flujo radial. Donde la componente “U” (velocidad relativa), esta dada por el producto de la distancia radial, “r”, por velocidad angular, “ ω ”. Y la componente, “VT”, velocidad tangencial a los alabes y está relacionada a la velocidad del líquido a medida que fluye por los alabes.

Figura 14. Triangulo de velocidades en un impulsor.



Capacitación. Fundamentos de bombas centrifugas. Jhon Crane

La velocidad a la entrada y salida se determina sumando los respectivos vectores de “U” y “VT”. A la salida del impulsor se obtiene la mayor velocidad. El incremento de “U” desde la entrada hasta la salida es responsable de la ganancia en velocidad total, “V”.

Una vez conocido este proceso, debemos señalar las otras variables que se encuentran alrededor de la operación de las bombas centrifugas y que son indicadores de control para garantizar la marcha correcta de la bomba.

4.1 CONCEPTOS BASICOS

4.1.1 “cabezal (H): el cual se define como el incremento de la energía específica del fluido entre las boquillas de succión y descarga.

El cabezal se mide en unidades de pies o de metros y puede ser de 4 formas y cada forma es medida por diversos medios.

4.1.2 Cabezal de Succión, Hs: existe cuando el nivel del reservorio de líquido está situado por encima de la línea central de la bomba. En una instalación existente, Hs será igual a la lectura del manómetro en la brida de succión convertida a pies o metros de líquido y corregida a la línea de elevación central de la bomba, más el cabezal de velocidad en pies o metros de líquido existente en el punto donde está colocado el manómetro.

4.1.3 Cabezal de Levantamiento, He: existe cuando el nivel líquido en el reservorio está por debajo de la línea central de la bomba o del ojo del impulsor. El cabezal total de levantamiento es igual a la distancia del centro de la línea del ojo del impulsor por encima del nivel del líquido, más las pérdidas en la tubería de entrada.

4.1.4 Cabezal total de Descarga, Hd: se define como la suma de:

1. Cabezal estático de descarga.
2. Todas las pérdidas por fricción en la línea de descarga.
3. Presión en el reservorio de descarga.
4. Pérdidas por expansión súbita

En una instalación existente, Hd sería la lectura de la presión manométrica en la boquilla de descarga, en pies o metros de líquido, y corregida a la

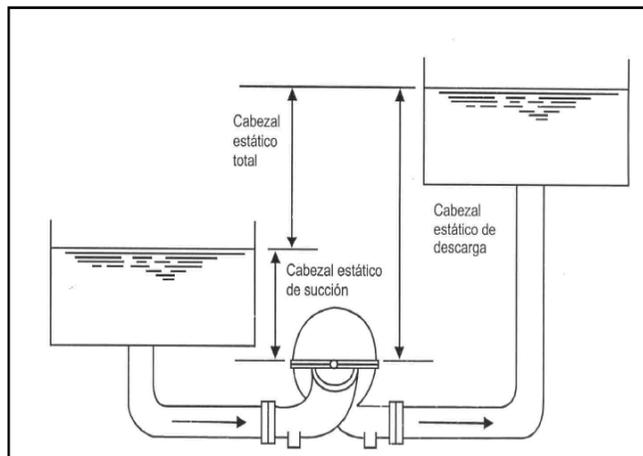
línea de centro de la bomba u ojo del impulsor más el cabezal de velocidad en pies o metros de líquido, en el punto de conexión del manómetro.

4.1.5 Cabezal Total del Sistema, H: se define como la diferencia entre el cabezal total de descarga (H_d) menos el cabezal total de succión (H_s), (Ver figura 15), se calcula según la siguiente ecuación: (ecuación 1)

Ecuación 1.
$$H = H_d - H_s \text{ (cabezal de succión)}$$

$$H = H_d + H_s \text{ (cabezal de levantamiento)}$$

Figura 15. Señalización de diferentes cabezales.



Capacitación. Fundamentos de bombas centrífugas. Jhon Crane

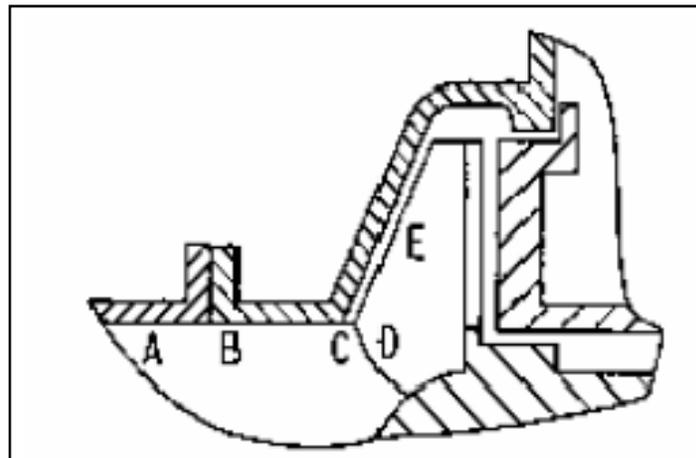
4.1.6 Cabezal Neto de Succión Positiva, NPSH: se define como el cabezal total de succión, en pies o metros del líquido bombeado menos la presión de vapor absoluta a la misma temperatura. Es una medición de la energía específica en el fluido por encima de la energía específica requerida para mantener el fluido en una fase líquida.

Existen dos tipos de NPSH:

4.1.6.1 *NPSH requerido, $NPSH_r$* : (ver figura 16) es la cabeza de succión requerida para prevenir la vaporización en la entrada del impulsor. Esta es igual a la suma de todas las pérdidas de la cabeza / reducciones entre la entrada de la bomba (A) y el punto de presión mas baja en la bomba (D).

Es determinado por el fabricante de la bomba y depende de varios factores incluyendo, geometría del impulsor, velocidad de giro, naturaleza del liquido, caudal, etc. Se grafica en la curva característica de funcionamiento de una bomba.

Figura 16. Corte seccional de un impulsor de una Bomba centrifuga.



Capacitación. Fundamentos de bombas centrifugas. Jhon Crane

4.1.6.2 *NPSH disponible, $NPSH_d$* : depende del arreglo del sistema de succión de la bomba y debe ser mayor al requerido para evitar la formación de burbujas en el ojo del impulsor¹⁶

⁽¹⁶⁾ Capacitación. Fundamentos de bombas centrifugas. John Crane

En la práctica: (ecuación 2)

$$NPSH_d = 10 - H_{s,v} (+/-) H_{z,geo}$$

Donde:

(Cabezal estático) = **H_{z,geo}**

Sumatoria de todas las pérdidas de cabezal de presión = **H_{s,v}**

Importante

- El NPSH disponible es calculado de la línea de succión.
- El NPSH requerido es el que especifica la bomba.
- El NPSH disponible = NPSH_r X FS

Donde:

FS = 1.1 Instalaciones generales

FS = 1.25 Alimentación a calderas

Siguiendo con las definiciones asociadas según fuente de capacitación de la multinacional Wood group:

“4.1.7 Presión de Vapor: cuando la temperatura de succión es suficiente para que el líquido alcance el calor de vaporización, los vapores atrapados alcanzan la superficie y escapan de ella, pero antes de escapar ejercen una presión llamada presión de vapor, que ocasiona que el líquido se vaporice. La presión de vapor de un líquido se mide determinando la presión que los vapores del líquido ejercen en un recipiente cerrado

4.1.8 Cabezal Estático: es el trabajo que el líquido puede desarrollar cuando su altura desciende de un nivel a otro.

Cabezal Estático = H_{z,geo}

4.1.9 Cabezal de Velocidad: es la energía cinética del fluido que al hacerla específica queda expresada en longitudes de columna de líquido.

Ecuación 3.

$$\text{Cabezal de velocidad} = \frac{v^2}{2g}$$

4.1.10 Cabezal de Presión: en un líquido en reposo dentro de un recipiente con determinada altura, la presión en cualquier punto de su superficie siempre será la misma.

Ecuación 4

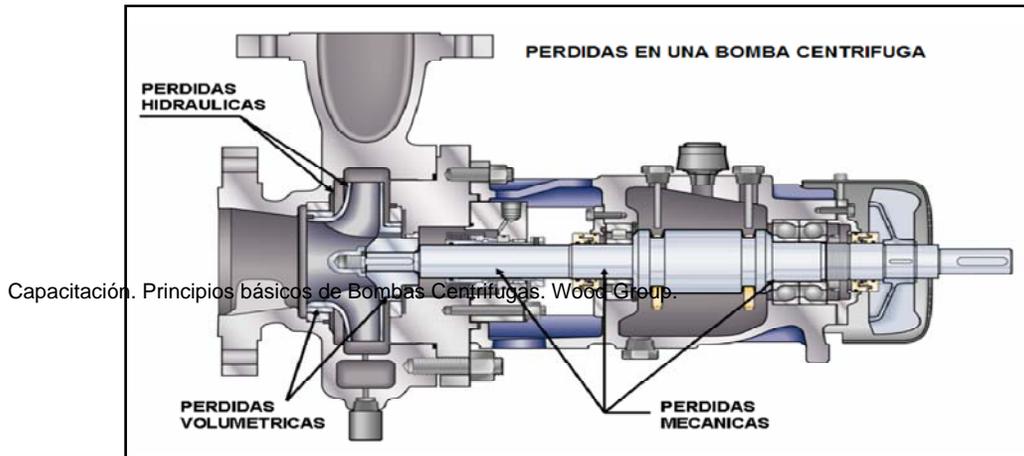
$$\text{Cabezal de presión} = \frac{pe + pb + Pd}{Pg}$$

4.1.11 Pérdidas Hidráulicas: son las pérdidas debidas al rozamiento o fricción del fluido con la carcasa y el impulsor y las ocasionadas por turbulencias originadas por los cambios bruscos de dirección.

4.1.12 Pérdidas Volumétricas: son las recirculaciones de fluido que salen de la descarga y regresan a la succión del mismo. Es el fluido que se pierde en los dispositivos de sellado.

4.1.13 Pérdidas Mecánicas: son las ocurridas en los cojinetes, en el alojamiento del dispositivo de sellado y en los dispositivos de compensación del empuje axial. En la grafica 14 se aprecia en que punto se dan estas pérdidas.

Figura 17. Localización puntual de las pérdidas en una bomba centrífuga



Sumatoria de todas las pérdidas de cabezal de presión = H_{sv}

4.1.14 Punto de Mejor Eficiencia, BEP: flujo al cual la bomba alcanza su máxima eficiencia.

4.1.15 Flujo Mínimo Continuo Estable, mcsf: flujo mínimo al cual puede operar una bomba centrífuga sin exceder los límites de vibración establecidos por las Normas Internacionales.

4.1.16 Flujo Mínimo Térmico Estable, mctf: flujo mínimo al cual puede operar una bomba centrífuga sin que se observe un aumento en la temperatura del fluido bombeado.

4.1.17 Punto Normal de Operación: punto en el cual se espera opere una bomba en condiciones normales.

4.1.18 Punto de Operación Nominal: punto en el cual el fabricante de la bomba certifica que el desempeño de la misma se encuentra dentro de las tolerancias establecidas por las Normas Internacionales.

4.1.19 Cebado: se llama cebado a la operación que consiste en extraer el aire de la tubería de aspiración y de la bomba para que quede llena con líquido. Se puede realizar esta operación por medio de dos sistemas:

- a) Llenando la tubería con líquido ya sea desde una fuente exterior o bien desde una tubería de impulsión mediante un By-Pass
- b) Extrayendo el aire por medio de una bomba de vacío

4.1.20 Potencia Hidráulica, Ph: se define como la energía necesaria que debe ser transferida al fluido para alcanzar el cabezal al caudal deseado, Normalmente viene expresada en Hp o Kw. La potencia hidráulica esta en función del caudal manejado, la altura manométrica y la gravedad específica.

Ecuación 5.

$$Ph = \frac{\text{lbs. de liquido levantado por min} \times H(\text{pies})}{33000} \text{ (Whp)}$$

$$Ph = \frac{Q(\text{gpm}) \times H(\text{pies}) \times sg}{3960} \text{ (Whp)}$$

4.1.21 Eficiencia, η : es una medida de cuan bien la bomba puede convertir la energía (BHP) suministrada a ella por el elemento accionador en la energía impartida al líquido.

Ecuación 6.

$$\eta = \frac{\text{salida}}{\text{entrada}} = \frac{Ph \text{ (Whp)}}{Pm \text{ (Bhp)}}$$

4.1.22 Potencia Mecánica, Pm: se define como la energía total entregada por el elemento accionador. El Pm es superior a la Ph ya que se deben vencer todas las pérdidas de la bomba (hidráulicas, mecánicas, fricción, etc.) ⁽¹⁷⁾.

Ecuación 7.

$$Pm = \frac{Q(gpm) \times H(pies) \times sg}{3960 \times Eficiencia\ de\ la\ bomba}$$

⁽¹⁷⁾ Principios básicos de bombas centrifugas. Wood Group

5. OPERACIONES DE BOMBAS CENTRIFUGAS

GENERALIDADES.

Para una velocidad de rotación dada, la bomba centrífuga es capaz de manejar una capacidad de flujo desde cero, hasta un máximo que depende del diseño, tamaño y condiciones de succión presentes. El cabezal total desarrollado por la bomba, la potencia requerida para moverla y la eficiencia resultante varían con la capacidad del flujo. La interrelación entre estas variables se conoce comúnmente como curvas características de la bomba.

Ya que el cabezal producido por una bomba centrífuga es independiente de la gravedad específica, agua a temperatura normal, es el líquido que universalmente se usa para establecer la curva característica de una bomba.

Las características hidráulicas de una bomba centrífuga permite un rango de operación bastante amplio. Idealmente el punto de diseño y de operación debe mantenerse cercanos al punto de mejor eficiencia (B.E.P), pero es muy poco común que se tenga un equipo trabajando en este punto.

A continuación se describirán los conceptos relacionados con las curvas que se deben tener en cuenta para controlar y entender el funcionamiento de una bomba centrífuga, (Tomado de **Bombas Hidráulicas – resumen, Universidad de Concepción, departamento de ingeniería**)

5.1-Curva de la bomba. Las curvas características de las bombas son relaciones gráficas entre la carga, el gasto, potencia y rendimiento. Excepto cuando se trata de bombas de muy pequeño tamaño es indispensable conocer las curvas características antes de adquirir una bomba, ya que solo así podremos saber el comportamiento de ella una vez instalada en un determinado sistema hidráulico.

5.2 Curva Q vs H: En esta curva se lleva en abscisa el gasto y en ordenada la carga total, a velocidad constante. (Ver Figura 18). Se construye según la ecuación 8 teniendo diferentes caudales de operación y obviamente diferentes cabezas.

Ecuación 8.

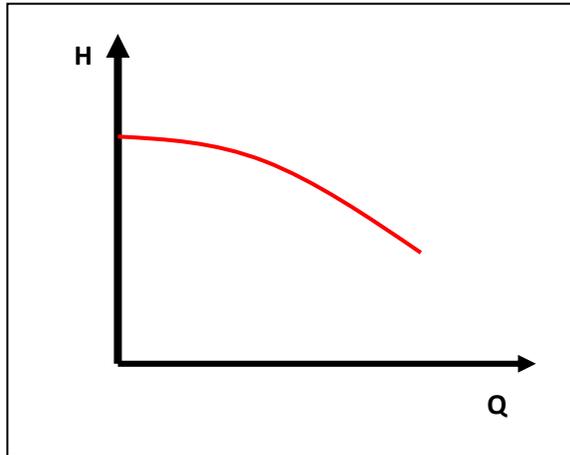
$$H = H_0 + A_0 Q^2 .$$

Donde:

$$H_0 = \frac{\sum_i^n H_i \sum_i^n Q_i^4 - \sum (H_i Q_i^2) \sum_i^n Q_i^2}{n \sum_i^n Q_i^2 - \left(\sum_i^n Q_i^2 \right)^2}$$

$$A_0 = \frac{n \sum_i^n (H_i Q_i^2) - \sum_i^n Q_i^2 \sum H_i}{n \sum_i^n Q_i^2 - \left(\sum_i^n Q_i^2 \right)^2}$$

Figura 18. Curva Caudal Vs Cabeza (Bomba)

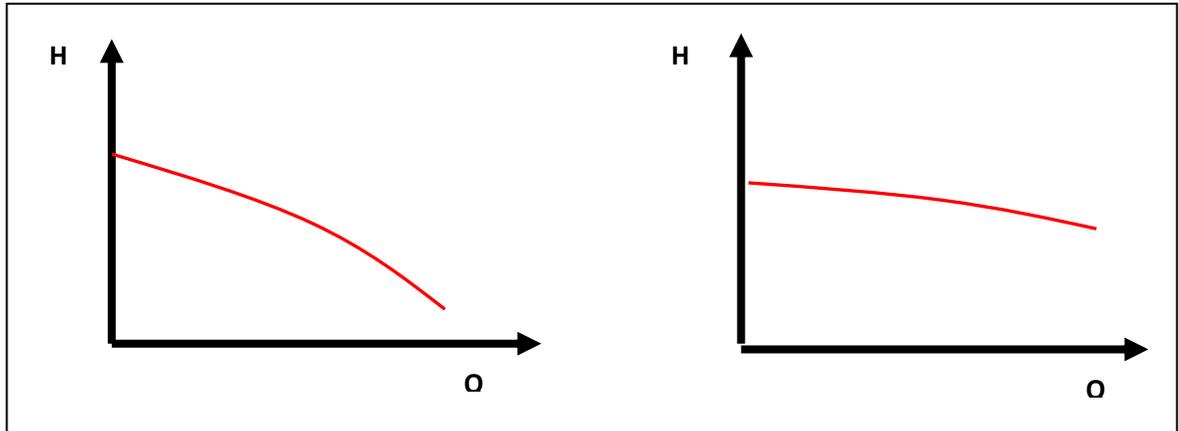


Bombas Hidráulicas – resumen Universidad de concepción. Departamento de ingeniería.

El valor de H que resulta para $Q = 0$ es la presión que desarrolla la bomba cuando la válvula de salida esta totalmente cerrada y es generalmente un 15 % a un 30% superior a la presión normal. Las bombas centrifugas al contrario de las de émbolo, permiten que se cierre la válvula de salida pues su presión de estrangulamiento es limitada y su caja resiste perfectamente esa presión.

Por otra parte, se habla de curvas planas o inclinadas según sea la pendiente. (Ver grafica 19) Las bombas de curva QH inclinadas son más convenientes cuando las condiciones de altura de elevación son variables, ya que para una variación dada de H la variación de Q es mucho menor que en el caso de una curva plana.

Figura 19. Curva Caudal vs. Cabeza, Izquierda = curva inclinada, Derecha = curva plana



Bombas Hidráulicas – resumen Universidad de concepción. Departamento de ingeniería.

5.3 Factores que afectan la curva característica de las bombas centrífugas. Entre estos podemos mencionar:

1. Propiedades del fluido manejado, (Viscosidad) cuando la viscosidad aumenta, la eficiencia y la capacidad para generar cabezal disminuyen. Este fenómeno se debe a que las mayores pérdidas en una bomba centrífuga son ocasionadas por la fricción del fluido dentro del cuerpo de la bomba.
2. Desgaste de los elementos internos (Impulsor, Anillos de Desgaste, Voluta o Difusor, etc). Estos desgastes generan mayores recirculaciones internas.

5.4 Curva del sistema. Si consideramos el sistema hidráulico dentro del cual opera la bomba, podemos dibujar una curva (según la ecuación de Bernoulli 9) que nos de en abscisas el gasto y en ordenadas las pérdidas de carga totales, es decir la suma de las pérdidas de carga por frotamiento

en las tuberías ($\sum J_L$) y de las pérdidas de carga de tipo singular $\sum k \frac{V^2}{2g}$, evidentemente esta curva debe pasar por el origen (Figura 20 - izquierda).

Ecuación 9

$$\frac{P_a}{\gamma} + Z_a + \frac{V_a^2}{2g} + H = \frac{P_b}{\gamma} + Z_b + \frac{V_b^2}{2g} + h_p$$

Donde;

P_a = Presión en un punto en la succión de la bomba

V_a = velocidad en un punto en la succión de la bomba

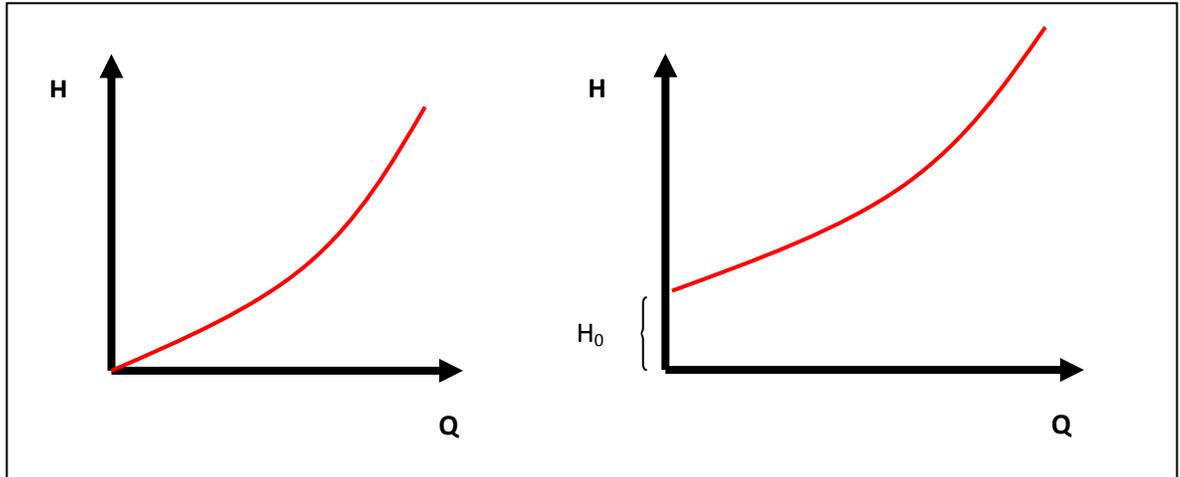
P_b = presión en un punto en la descarga de la bomba

V_b = Velocidad en un punto en la descarga de la bomba

γ = peso específico del fluido bombeado

Si hacemos que esta curva, en vez de partir desde cero, corte al eje de las ordenadas en el punto H_0 igual a la altura estática de elevación total, tendremos lo que se denomina curva de carga del sistema. En otras palabras la curva en la figura de la izquierda se ha trasladado paralelamente en la cantidad H_0 . (Figura 20 - derecha)

Figura 20. Curva Caudal vs. Cabeza, Izquierda = curva inclinada, Derecha = curva plana

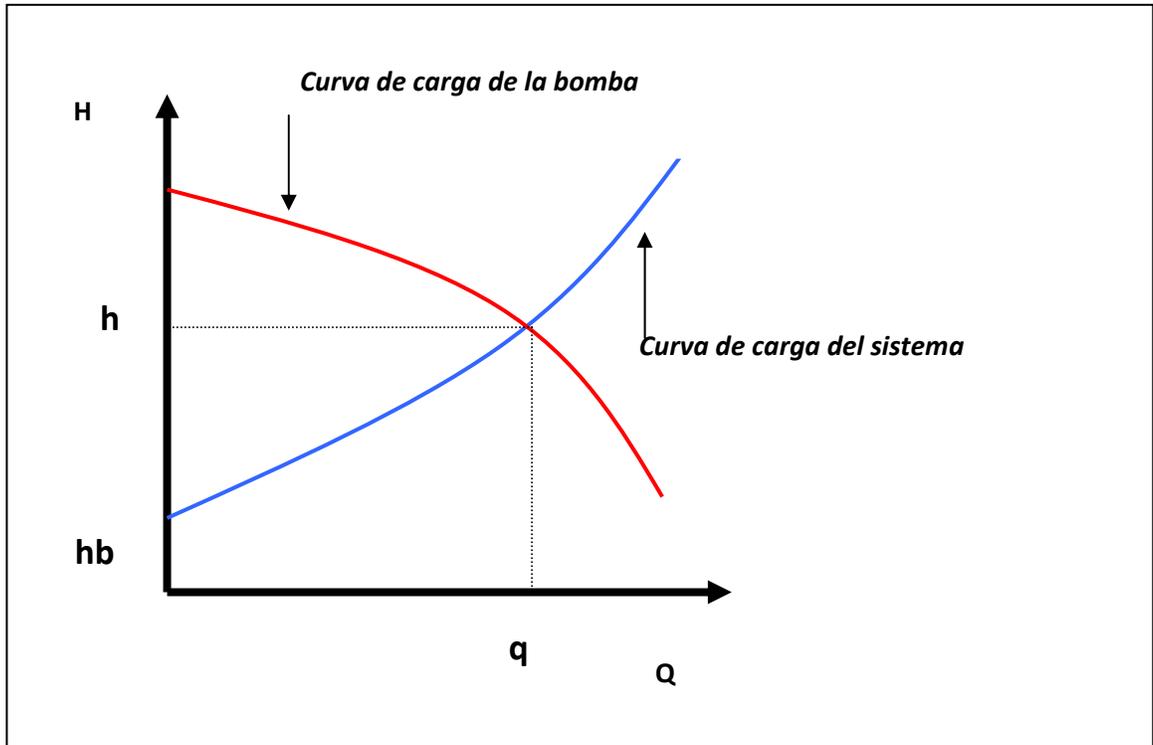


Bombas Hidráulicas – resumen Universidad de concepción. Departamento de ingeniería.

Esta curva para cada valor del gasto nos da la altura manométrica total de elevación. Es muy sencilla de construir y bastan tres a cuatro puntos, ya que su forma es aproximadamente parabólica. Depende exclusivamente de las características hidráulicas del sistema.

5.4.1 Punto de funcionamiento de una bomba centrífuga. Si combinamos la curva de carga del sistema con la curva Q-H de la bomba, obtenemos el punto de intersección de ambas, las características de funcionamiento, es decir el gasto y la altura con las cuales funcionará la bomba, como se puede ver en la figura 21.

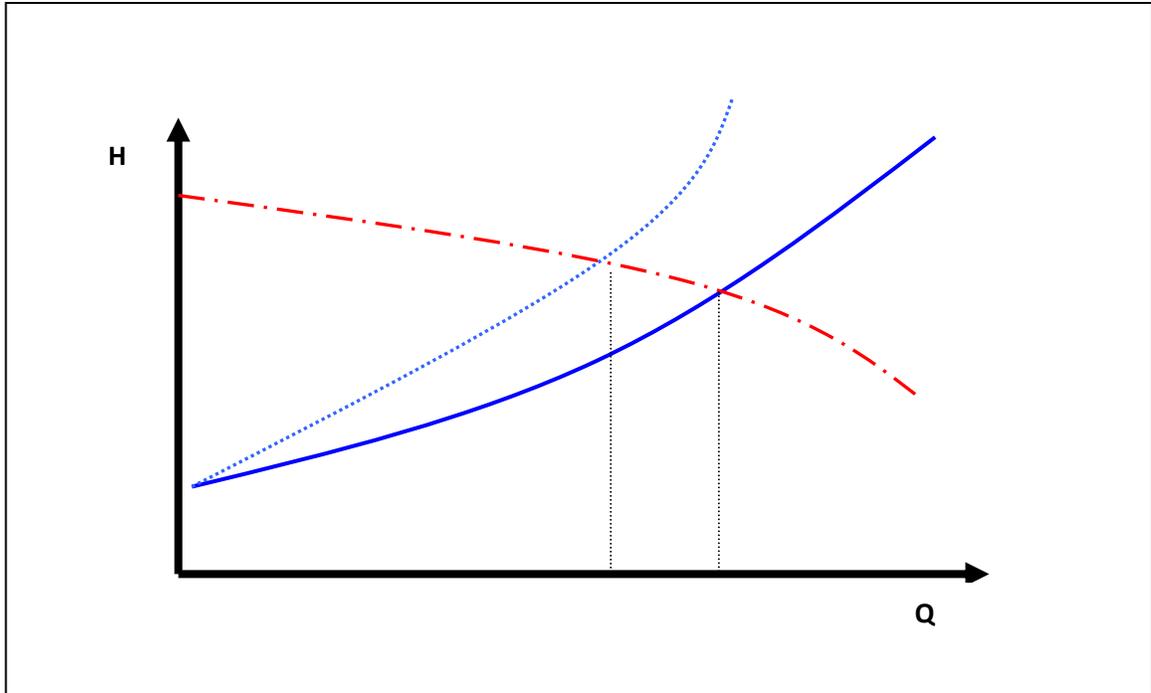
Figura 21. Curva del sistema Vs curva de la Bomba



Bombas Hidráulicas – resumen Universidad de concepción. Departamento de ingeniería.

Supongamos ahora que se estrangula parcialmente la válvula de salida o una válvula cualquiera del sistema. En ese caso la curva de carga del sistema variará como se indica con la línea de segmentos. Se obtiene así mayor altura de elevación de la bomba, pero menor gasto (ver grafica 22)

Figura 22. Curva del sistema Vs curva de la Bomba (estrangulamiento en válvula de salida)



Bombas Hidráulicas – resumen Universidad de concepción. Departamento de ingeniería.

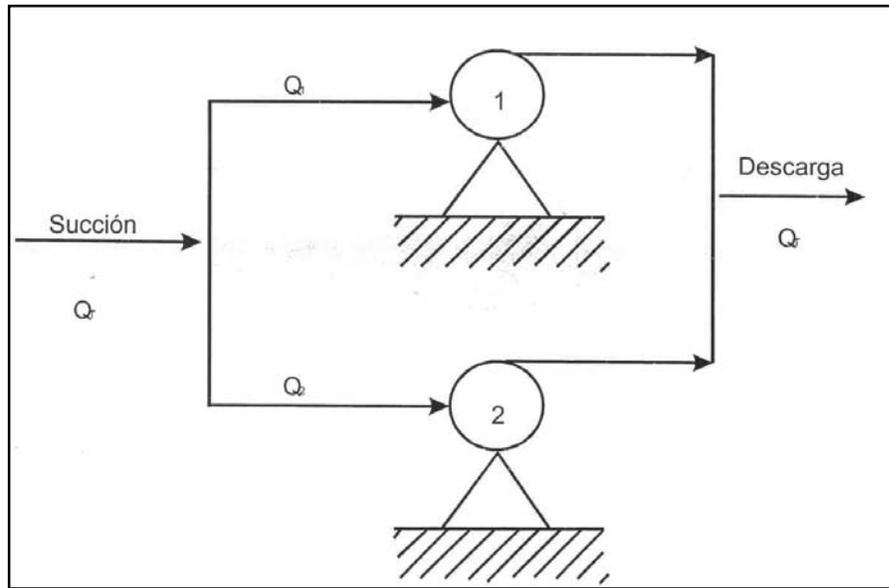
Por otra parte es muy común en la industria ver agrupadas dos bombas o mas, por lo general trabajan dos de manera simultánea y quedando una de reserva presta a trabajar a la hora de presentarse alguna falla en las que ya se encuentran trabajando. Estas maneras de agrupar las bombas pueden ser de dos formas, en paralelo y en serie.

5.5 Bombas operando en paralelo. Para operación en paralelo de dos o más bombas, la curva característica combinada se obtiene sumando horizontalmente los caudales de cada bomba a un mismo valor de cabezal. (Según ecuación 10) Estos arreglos se utilizan para alcanzar un amplio rango de requerimientos operacionales. (Ver figura 23 y 24)

Ecuación 10.

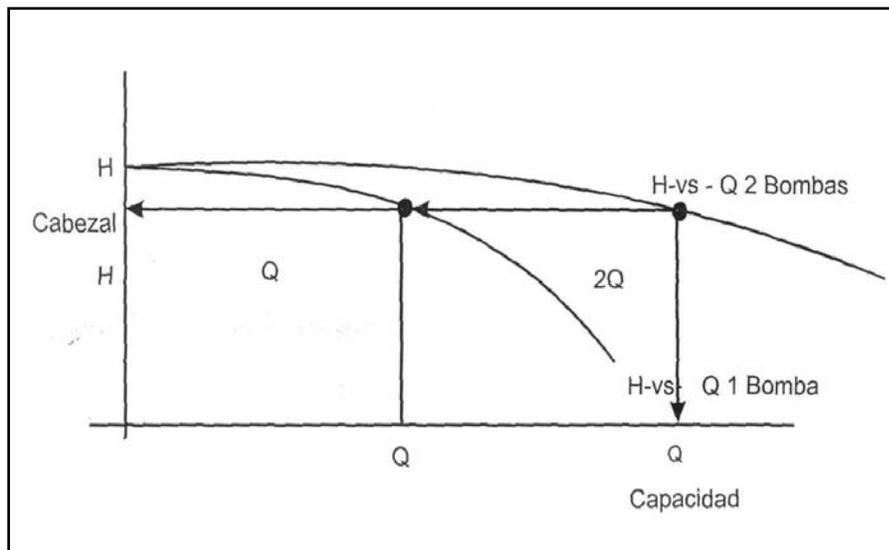
$$H = H_0 + A_0 \left(\frac{Q}{n} \right)^2, \text{ donde } n \text{ es el número de bombas a acoplar.}$$

Figura 23. Disposición de bombas conectadas en paralelo.



Bombas Hidráulicas – resumen Universidad de concepción. Departamento de ingeniería.

Figura 24. Curva Generada con la disposición de bombas en paralelo..

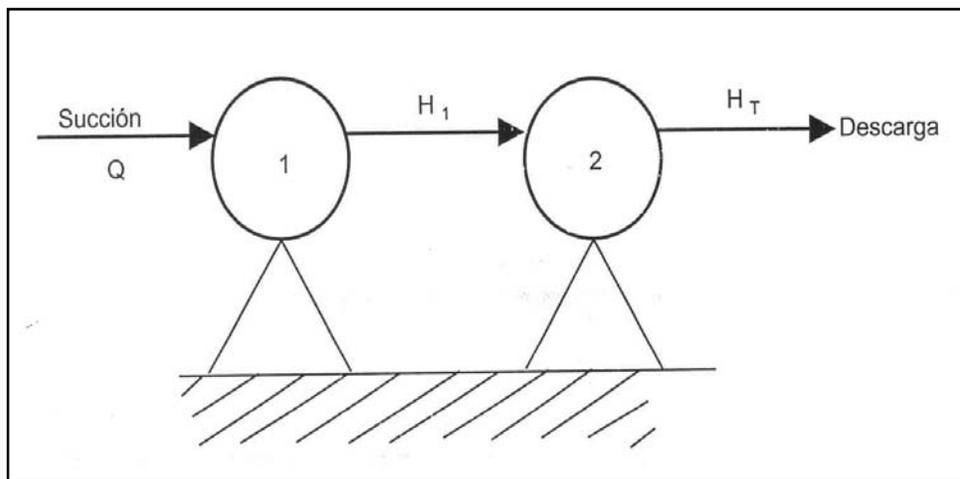


Bombas Hidráulicas – resumen Universidad de concepción. Departamento de ingeniería.

5.6-Bombas operando en serie. Para construir la curva característica de un sistema de bombeo en serie se suman los cabezales para los diferentes caudales (según ecuación 11). Los arreglos de bombas en serie son usados cuando la curva del sistema esta gobernada por pérdidas. (Ver figura 25 y 26)

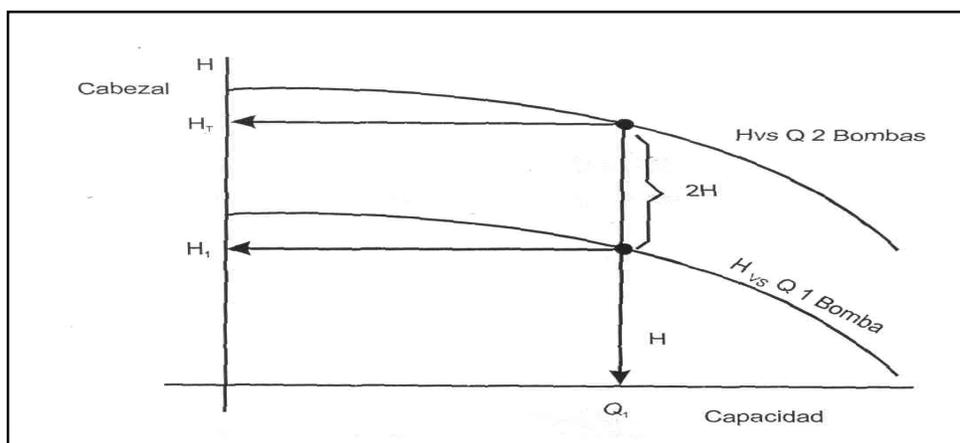
Ecuación 11.
$$H = n (H_0 + A_0 Q^2)$$

Figura 25. Disposición de bombas Conectadas en serie



Bombas Hidráulicas – resumen Universidad de concepción. Departamento de ingeniería.

Figura 26. Curva generada con la disposición de bombas en serie



Bombas Hidráulicas – resumen Universidad de concepción. Departamento de ingeniería.

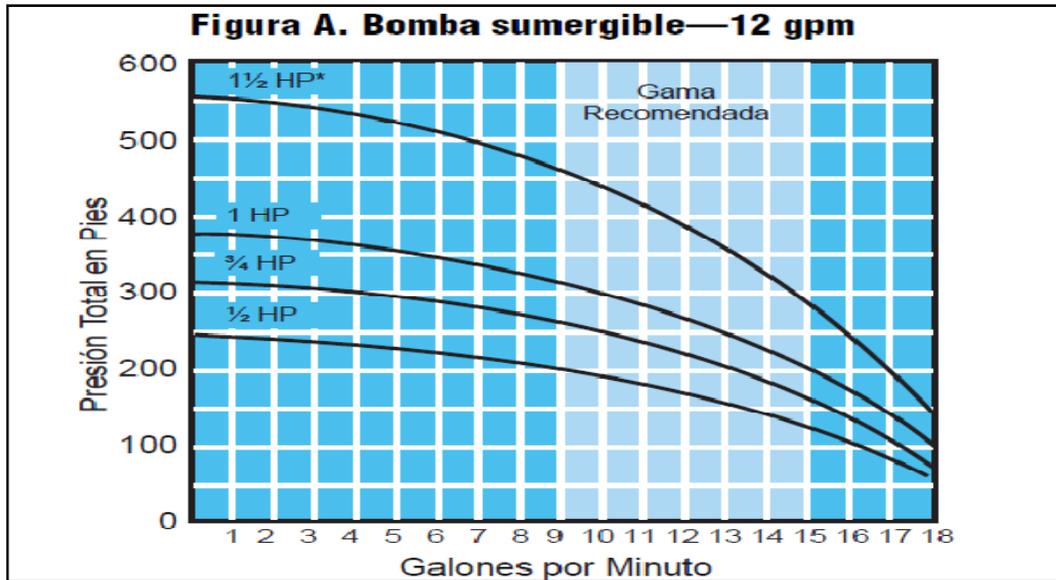
(18) Bombas Hidráulicas–resumen Universidad de concepción. Dpto. de ingeniería.

5.7 Lectura de curvas de bombeo. De acuerdo a los temas tratados anteriormente ya podemos saber cual es la función y la importancia de las curvas de las Bombas, pues de manera general Una curva de bombeo es la representación gráfica de una característica específica del rendimiento de una bomba. Interpretar estas gráficas puede ser útil, tanto para especificar las bombas para una aplicación, como para determinar si una bomba que ya ha sido instalada está rindiendo al nivel de su capacidad. Con base en esto el paso a seguir es saber leer e interpretar lo que las curvas nos quieren dar a conocer.

Para esto expondremos el siguiente ejemplo.

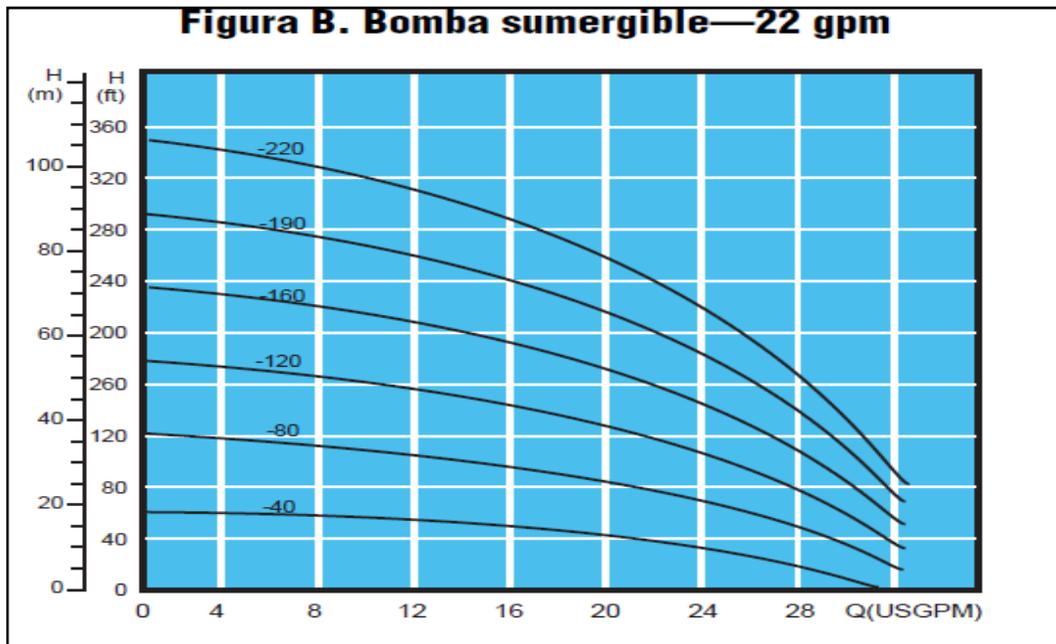
“Las gráficas muestran más o menos misma bomba con motores que tienen distinto número de caballos de fuerza. Para seleccionar una bomba, se debe calcular la presión dinámica requerida y el flujo necesario. Se traza una línea desde el punto en el eje vertical Y que muestra la presión requerida paralela al eje horizontal X; luego se selecciona el flujo necesario y se traza una línea desde ese punto, paralelo al eje vertical es decir, el eje Y. La bomba requerida es aquella cuya línea está por encima del punto de intersección de esas dos líneas en la gráfica. (Ver grafica 27 y 28

Figura 27. Curva de bomba sumergible



Myers/Pentair Pump Group, The Rustler 4", K3153 Rev. 02/01.

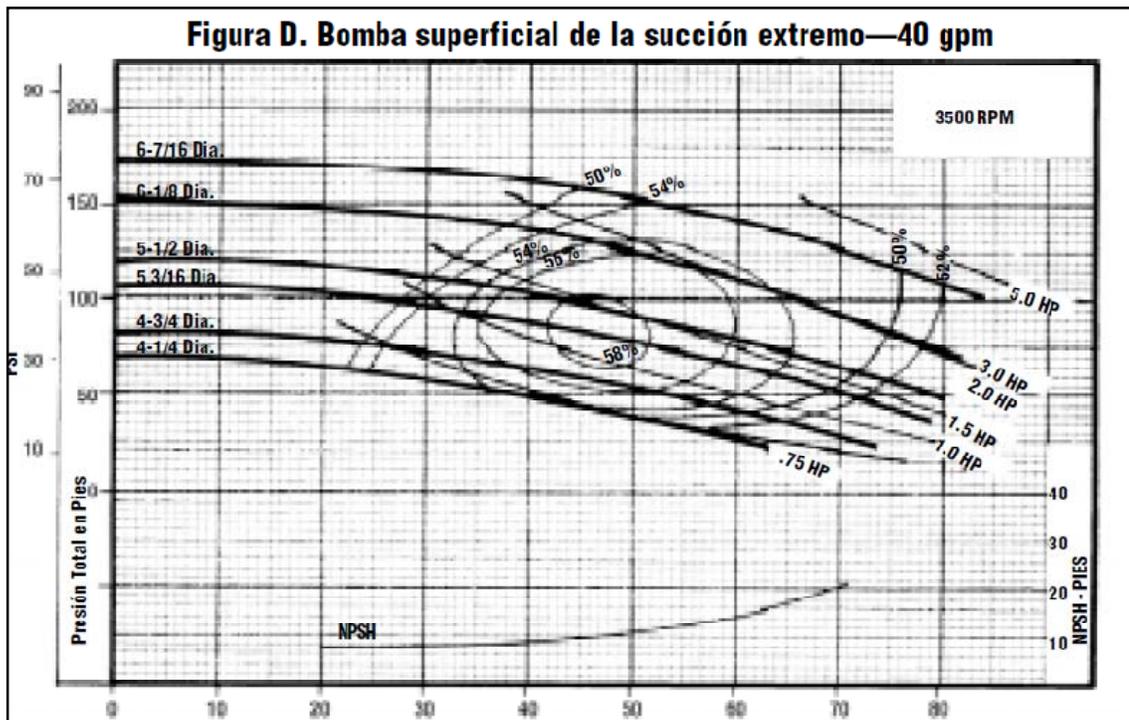
Figura 28. Curva de bomba sumergible



Grundfos, SQ/SQE Series, L-SQ-SL-011, Rev. 01/02.

En algunos casos, se añade más información a la gráfica. Los fabricantes de bombas a menudo añaden una gráfica de eficiencia a la tabla, y cuando uno ha seleccionado una bomba que satisface los requisitos mínimos, se puede observar dónde queda, en términos de eficiencia (ver figura 29).¹⁹

Figura 29. Curva mas completa, con eficiencias y otros datos de interés.



Jacuzzi Bros., D Series, Model DB1, 1" Discharge x 1-1/2" Suction, Catalog MS58B 2001

⁽¹⁹⁾ Lecturas de Curvas de Bombeo, Referencia, Artículos de Ingeniería Hidráulica.

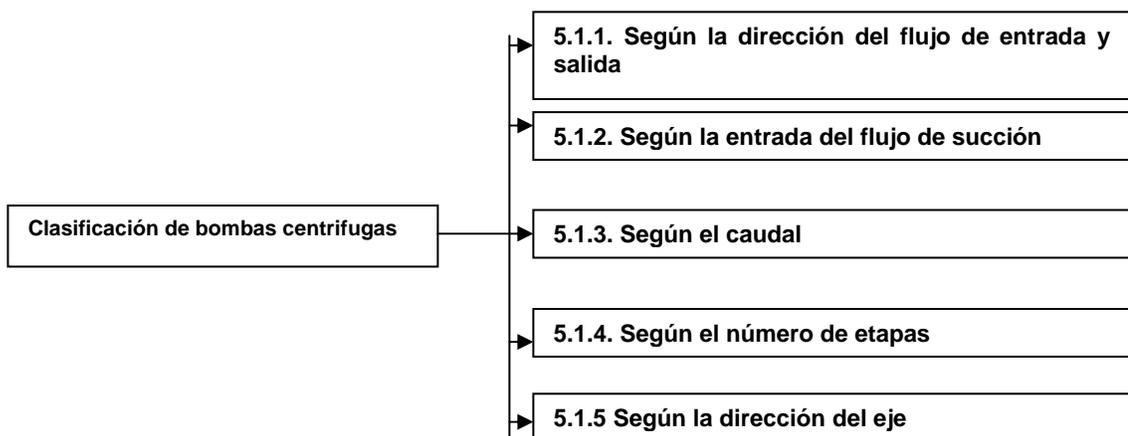
6. CLASIFICACION Y TIPOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS

GENERALIDADES.

Debido a las múltiples aplicaciones y a la diferencia de fluidos que existen, es preciso tener varias opciones de equipos de bombeo, dependiendo también de las exigencias de los procesos, pues las bombas se diseñan y se seleccionan dependiendo de los requerimientos del mismo. Teniendo esto claro hablaremos a continuación de la calificación general de las bombas centrifugas para luego especificar los tipos de bombas que existen actualmente en la industria.

Esta clasificación se toma según los autores Igor J. Karassik, Joseph P. Messina, Paul Cooper and Charles C. Helad de libro Handbook. Tercera edición

6.1. Clasificación de bombas centrifugas Hay diferentes criterios para clasificar las bombas, dentro de los más relevantes y utilizados encontramos:



6.1.1. Según la dirección del flujo de entrada y salida Se clasifican en:

- ❖ **Centrífugas de flujo radial** (ver figura 30): el flujo entra axial (paralelo al eje) y sale radial (perpendicular al eje).

Figura 30. Bomba durco MK III de flujo radial.



www.process-controls.com

- ❖ **Centrífugas de flujo mixto**: (ver figura 31): el flujo entra axial y sale con una inclinación $< 90^\circ$

Figura 31. Bomba centrífuga ETA 300-350 de flujo mixto.



www.jpcalederas.com/images/bombas_eta.png

- ❖ **Centrífugas de flujo axial** (ver figura 32): el flujo entra y sale en dirección axial.

Figura 32. Bomba centrífuga ZLB(Q), ZWB(Q), ZXB(Q), de flujo axial

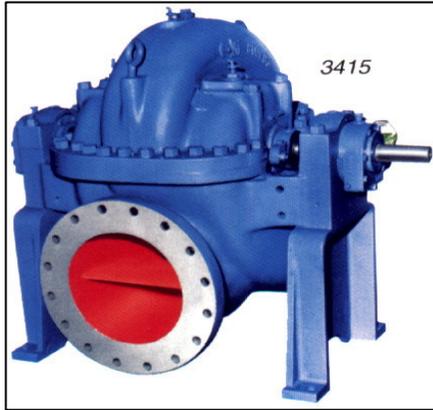


img.alibaba.com/

6.1.2. Según la entrada del flujo de succión se clasifican en:

- ❖ **Bombas de succión simple y succión doble**, dependiendo si el fluido entra por uno o dos lados del impulsor. La doble succión se usa con el fin de compensar el desequilibrio que produce una sola succión, lográndose un funcionamiento equilibrado. (ver figuras 33 y 34).

Figura 33. Bomba centrífuga de doble succión
modelo 3408 (8100), 3409 (9100), 3410, 3415 y 3420



www.bomohsa.com/.../productogouldsserie3410

Figura 34. Bomba centrífuga de succión simple



www.imbil.com.br/.../Espanhol/ini_peq

6.1.3. Según el caudal

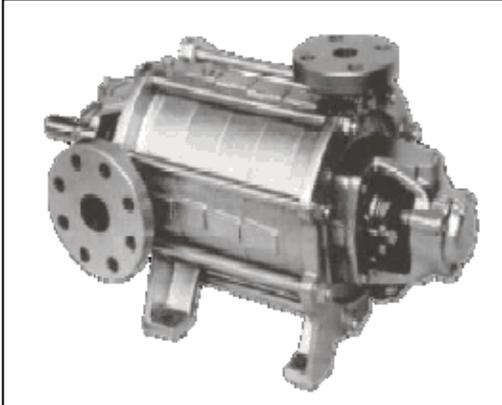
La clasificación por este criterio es la siguiente:

- ❖ **Volumen Bajo:** Hasta 50 G.P.M. ($0.2\text{m}^3/\text{min}$)
- ❖ **Volumen Medio:** 50 – 500 G.P.M. ($0.2\text{-}1.9\text{ m}^3/\text{min}$)
- ❖ **Volumen Grande:** > 500 G.P.M. ($1.9\text{ m}^3/\text{min}$)

6.1.4. Según el número de etapas

La construcción de varios impulsores en serie, permite obtener, en forma Económica, grandes alturas o cabezas de descarga, pues la presión de descarga del impulsor (1), será la presión de succión del (2), sumándose a ésta la presión que dá (2) y así sucesivamente. Esta clasificación consiste simplemente en bombas de una etapa para bombas que tienen un solo impulsor, y bombas multietapa para bombas con más de un impulsor. (ver figura 35 y 36)

Figura 35. Bombas centrífugas Multietapas HEGA



www.bombasbeyond.com

Figura 36. Bombas centrífugas Multietapas



www.md.cl/images/bomba

6.1.5. Según la dirección del eje

Se clasifican en horizontales y verticales.

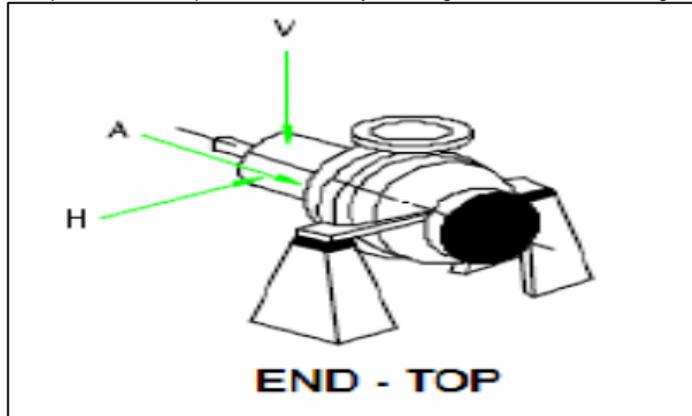
Las bombas centrífugas, tanto horizontales como verticales, pueden tener uno o mas etapas. Las boquillas de succión y descarga pueden estar orientadas en tres planos con respecto al rotor²⁰:

- ✓ **Axial: “END”**
- ✓ **Vertical: “TOP”**
- ✓ **Horizontal: “SIDE”**

IMPORTANTE: En la nomenclatura de bombas centrífugas, primero se indica la posición de la boquilla de succión y luego descarga. En tal sentido, cuando se habla de una bomba “END – TOP”, indica que la succión esta en posición axial y la descarga en posición vertical. Esto lo podemos apreciar en las siguientes figuras:

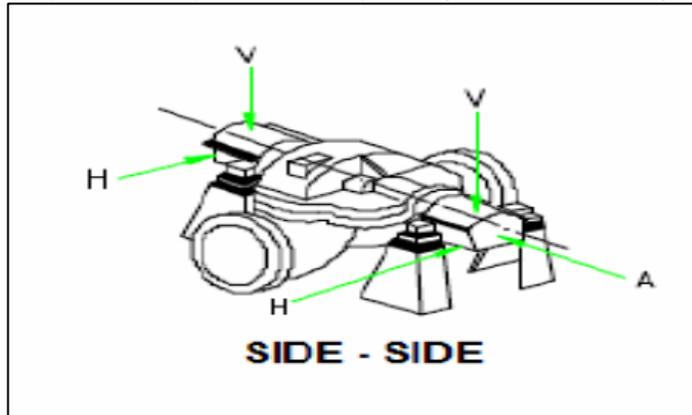
(²⁰) Cooper, P, Pump Handbook, Tercera Edition, Mc Hill.

Figura 37. Ilustración de posición de boquillas de succión y descarga en bombas centrifugas.



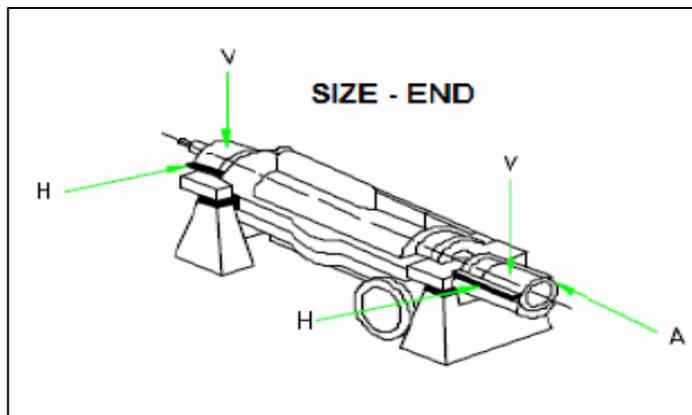
Pump Handbook, Tercera Edition, Mc Hill

Figura 38. Ilustración de posición de boquillas de succión y descarga en bombas centrifugas.



Pump Handbook, Tercera Edition, Mc Hill

Figura 39. Ilustración de posición de boquillas de succión y descarga en bombas centrifugas.



Pump Handbook, Tercera Edition, Mc Hill

6.2 Clasificación API

“El estándar API recoge en una sola clasificación los parámetros de configuración de cojinetes, tipos de acople, dirección del eje combinados entre sí para bombas centrífugas,²¹. (Ver tabla 1)

Tabla 1. Tipos de bomba centrífuga y clasificación

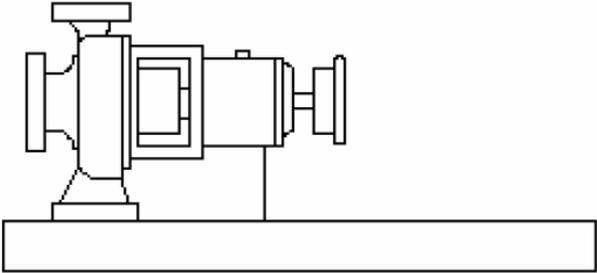
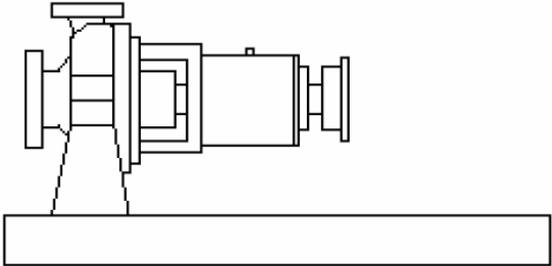
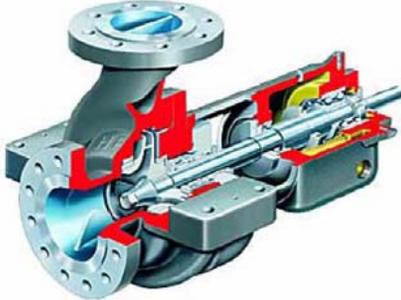
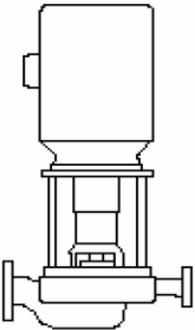
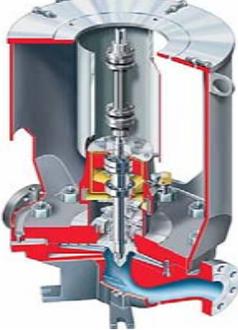
Tipos de bombas y clasificación				
En cantiléver (Over hung)	Acople Flexible	Horizontal	Pie soporte	OH1
			Soporte al centro	OH2
		Vertical con soporte rodamientos		OH3
	Acople Rígido	Vertical		OH4
	Acople Cerrado	Vertical		OH5
		Alta velocidad engranajes integrados		OH6
Entre cojinetes (Between Bearings)	1 Y 2 Etapas	Axialmente partida		BB1
		Radialmente partida		BB2
	Multietapas	Axialmente partida		BB3
		Radialmente partida	Cubierta sencilla	BB4
			Cubierta doble	BB5
Verticalmente suspendida (Vertically suspended)	Voluta sencilla	Descarga a través de la columna	Difusores	VS1
			Voluta	VS2
			Flujo axial	VS3
		Descarga separada	Eje en línea	VS4
	Voladizo		VS5	
	Voluta Doble	Difusores	VS6	
		Voluta	VS7	

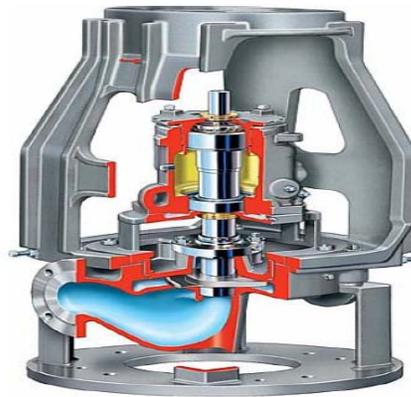
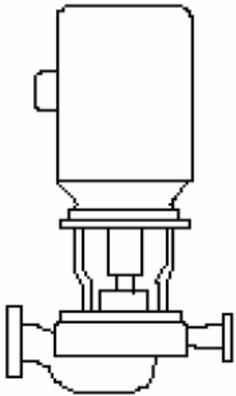
Norma API 610, décima edición

A continuación se muestran en la tabla 2 las graficas esquemáticas e isométricas con los básicos de constitución de cada una de las bombas definidas en la clasificación anterior. (Tomada de capacitación: Tipos de bombas Centrífugas de FLOWSERVE)

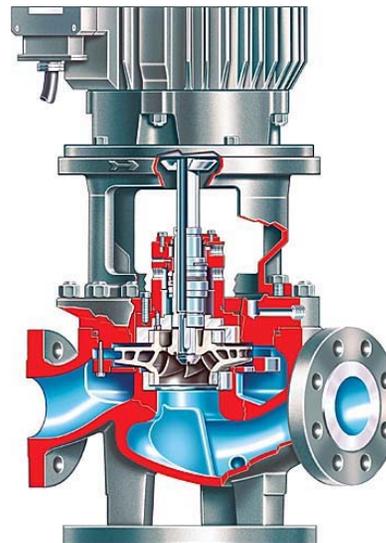
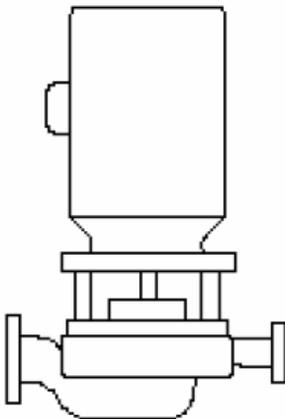
⁽²¹⁾ Norma API 610, décima edición

Tabla 2. Figuras de bombas centrífugas según clasificación API

VISTA ESQUEMATICA	VISTA ISOMETRICA	DESCRIPCION
OH1		
		<p>Diseño en voladizo, Simple etapa, montaje de pie (No reúne todos requerimientos de este estándar Internacional)</p>
OH2		
		<p>Diseño en voladizo, simple etapa, montaje centrado. Tiene una caja de rodamiento simple para absorber todas las fuerzas impuestas sobre el eje manteniendo el rotor en su posición durante la operación. Estas bombas son instaladas en una base y están conectadas por un acople flexible al elemento conductor</p>
OH3		
		<p>Diseño en voladizo, simple etapa, montaje vertical "In-line" con soportes separados. Tiene una caja de rodamiento integrada a la bomba para absorber todas las cargas al rotor. El elemento conductor es montado en un soporte integrado a la bomba. La bomba y el elemento conductor están conectadas por un acople flexible.</p>
VISTA ESQUEMATICA	VISTA ISOMETRICA	DESCRIPCION

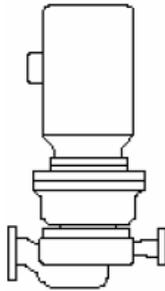
OH4

Diseño en voladizo, simple etapa, montaje vertical "Inline" con acople rígido. El acople rígido mantiene al eje de la bomba unido firmemente al eje del elemento conductor (No reúne todos los requerimientos de este estándar internacional)

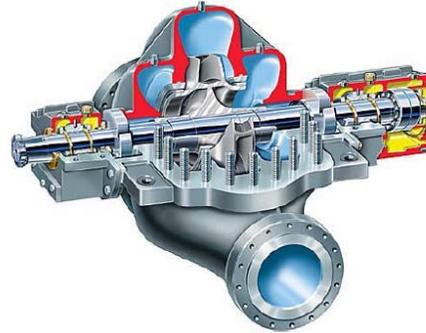
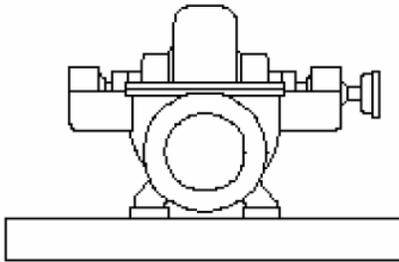
OH5

Diseño en voladizo, simple etapa, montaje vertical "Inline" con acople cerrado. Con el acople cerrado el impulsor se monta directamente sobre el eje del elemento conductor (No reúne todos los requerimientos de este estándar internacional)

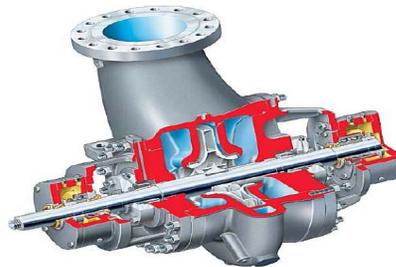
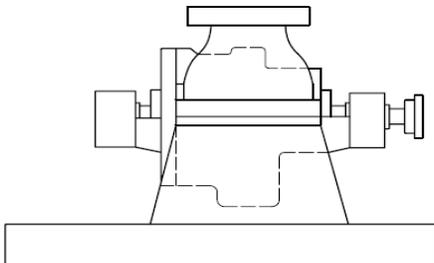
VISTA ESQUEMATICA**VISTA ISOMETRICA****DESCRIPCION**

OH6

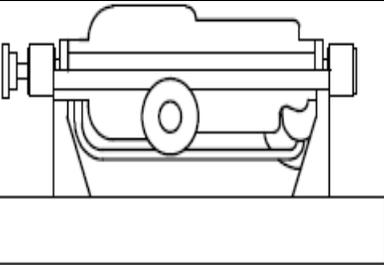
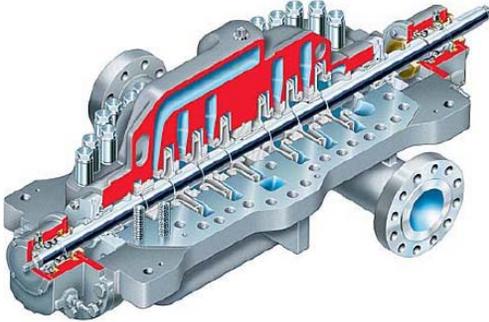
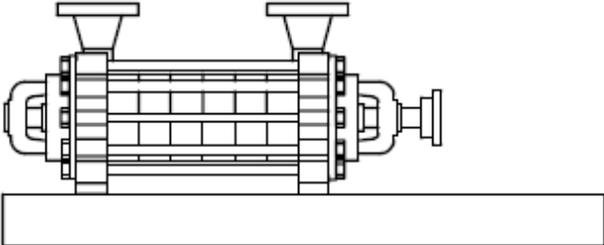
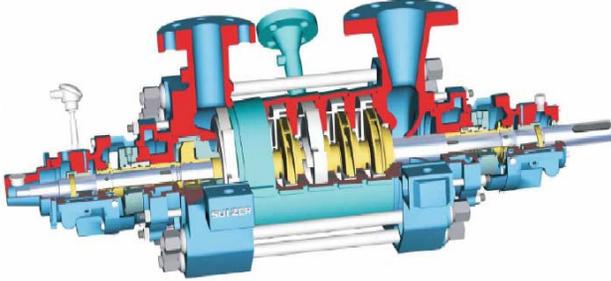
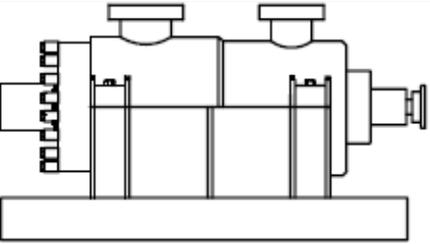
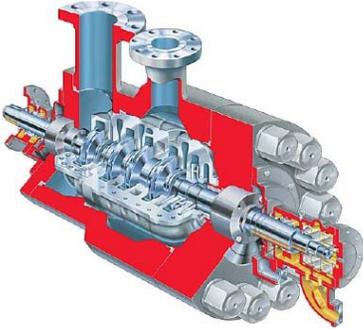
Diseño en voladizo, simple etapa, con caja de engranaje conductora de alta velocidad. Estas bombas incrementan la velocidad por medio de una caja de engranaje integral. El impulsor es montado directamente sobre la salida del eje de la caja de engranaje. No hay acople entre la caja de engranaje y la bomba, sin embargo, la caja de engranaje es acoplada flexiblemente al elemento conductor. Estas bombas pueden ser orientadas vertical u horizontalmente.

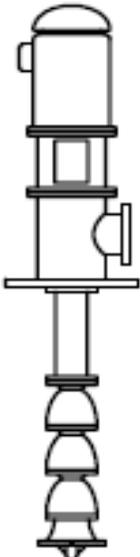
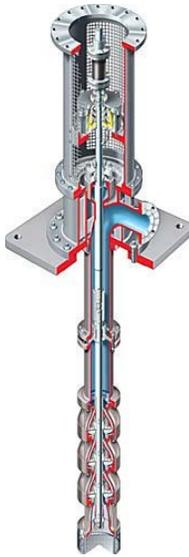
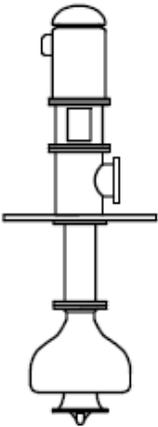
BB1

Bomba de diseño axialmente partida y una o dos etapas con eje entre rodamientos.

BB2

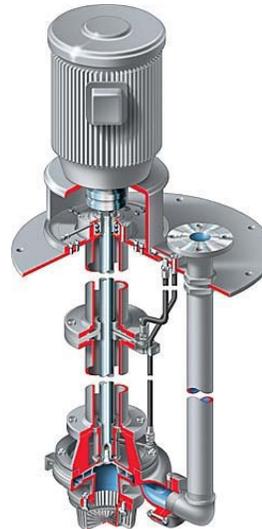
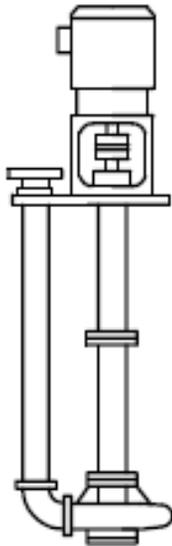
Bomba de diseño radialmente partida y una o dos etapas con eje entre rodamientos.

VISTA ESQUEMATICA	VISTA ISOMETRICA	DESCRIPCION
 <p>A schematic line drawing of a pump, showing a central shaft with bearings and a housing. The drawing is oriented horizontally.</p>	<p style="text-align: center;">BB3</p>  <p>An isometric cutaway view of the pump BB3, showing the internal shaft, bearings, and housing components in a 3D perspective.</p>	<p>Bomba de diseño axialmente partida multietapas con eje entre rodamientos.</p>
 <p>A schematic line drawing of a pump, showing a central shaft with bearings and a housing. The drawing is oriented horizontally.</p>	<p style="text-align: center;">BB4</p>  <p>An isometric cutaway view of the pump BB4, showing the internal shaft, bearings, and housing components in a 3D perspective.</p>	<p>Bomba de diseño de carcasa simple radialmente partida, multietapas con eje entre rodamientos. Estas bombas son también llamadas de sección de anillos, segmentos de anillos o de segmentos unidos por barras y tienen un potencial sendero de fuga por cada segmento.</p>
 <p>A schematic line drawing of a pump, showing a central shaft with bearings and a housing. The drawing is oriented horizontally.</p>	<p style="text-align: center;">BB5</p>  <p>An isometric cutaway view of the pump BB5, showing the internal shaft, bearings, and housing components in a 3D perspective.</p>	<p>Bomba de diseño de doble carcasa radialmente partida, multietapas con eje entre rodamientos.</p>

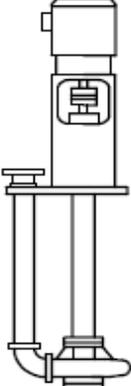
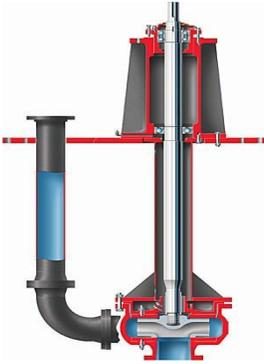
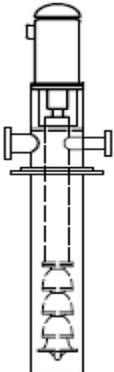
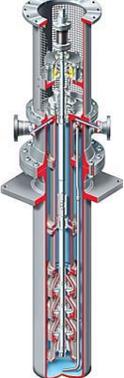
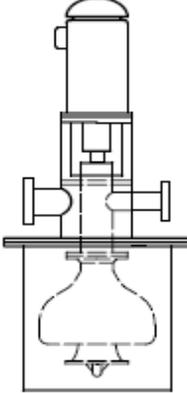
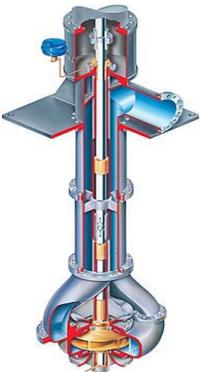
VISTA ESQUEMATICA	VISTA ISOMETRICA	DESCRIPCION
VS1		
 <p>A schematic line drawing of a vertical pump. It features a motor at the top, a pump head assembly, and a vertical shaft with three impellers. The shaft is supported by bearings. The pump is mounted on a base plate.</p>	 <p>An isometric cutaway view of the pump VS1. It shows the internal components including the motor, pump head, shaft, and three impellers. The discharge is through a vertical column with diffusers.</p>	<p>Bomba de profundidad verticalmente suspendida, carcasa simple con difusores de descarga a través de la columna.</p>
VS2		
 <p>A schematic line drawing of a vertical pump. It features a motor at the top, a pump head assembly, and a vertical shaft with two impellers. The shaft is supported by bearings. The pump is mounted on a base plate.</p>	 <p>An isometric cutaway view of the pump VS2. It shows the internal components including the motor, pump head, shaft, and two impellers. The discharge is through a volute casing.</p>	<p>Bomba de profundidad verticalmente suspendida, carcasa simple con la voluta descarga de a través de la columna.</p>

VISTA ESQUEMATICA**VISTA ISOMETRICA****DESCRIPCION****VS3**

Bomba de profundidad verticalmente suspendida, carcasa simple de flujo axial con descarga de a través de la columna.

VS4

Bomba verticalmente suspendida, carcasa simple, voluta en línea con el eje conductor en el colector.

VISTA ESQUEMATICA	VISTA ISOMETRICA	DESCRIPCION
VS5		
		<p>Bomba verticalmente suspendida en voladizo.</p>
VS6		
		<p>Bomba doble carcasa con difusores verticalmente suspendidos.</p>
VS7		
		<p>Bomba doble carcasa con voluta verticalmente Suspendida.</p>

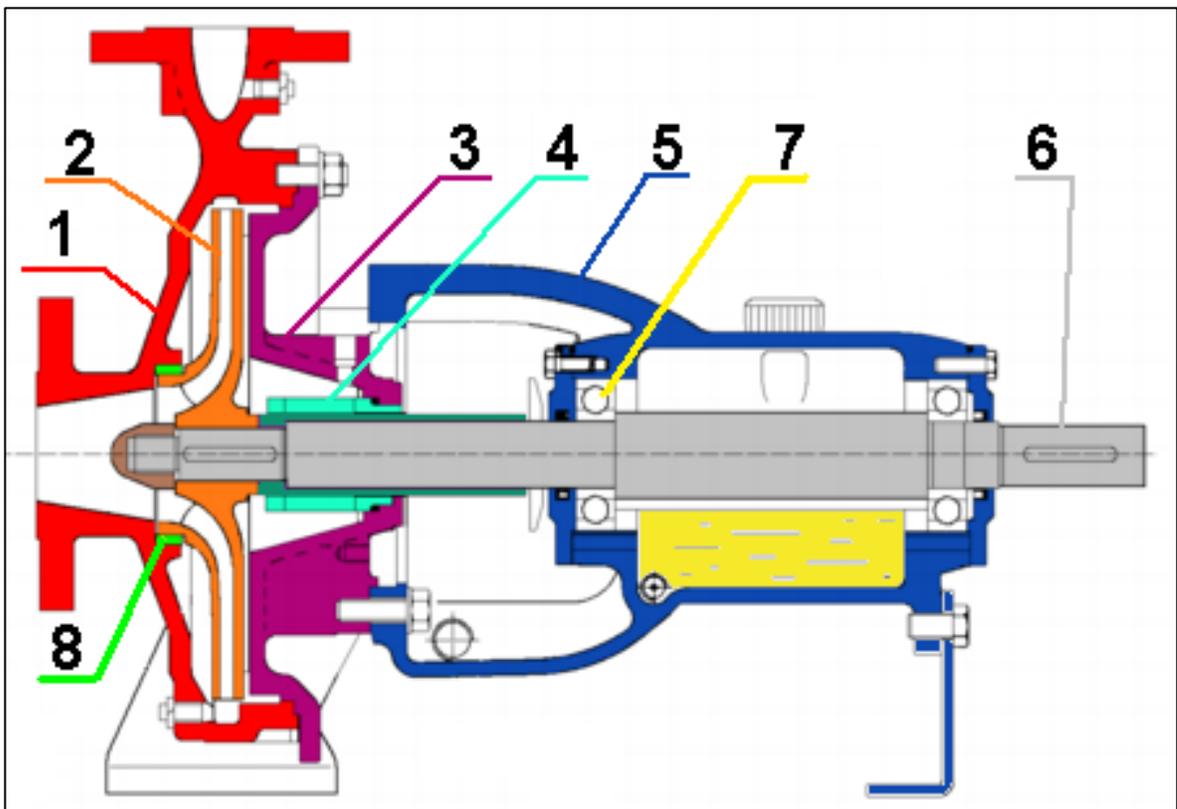
7. DESCRIPCION DE PARTES DE BOMBAS CENTRIFUGAS

7.1 COMPONENTES BASICOS.

Aunque las bombas centrifugas se encuentran de múltiples tipos, sus componentes básicos son los mismos y cumplen las mismas funciones, por lo que se puede utilizar un modelo simple de bomba para explicar su funcionamiento.

La figura 40 muestra el corte seccional de una bomba horizontal sencilla:

Figura 40. Seccional de bomba tipo OH1, señalando sus componentes



Donde:

1. Voluta
2. Impulsor
3. Cámara de sellado
4. Dispositivo de sellado
5. Cámara de cojinetes
6. Eje
7. Cojinete
8. Anillos de desgaste.

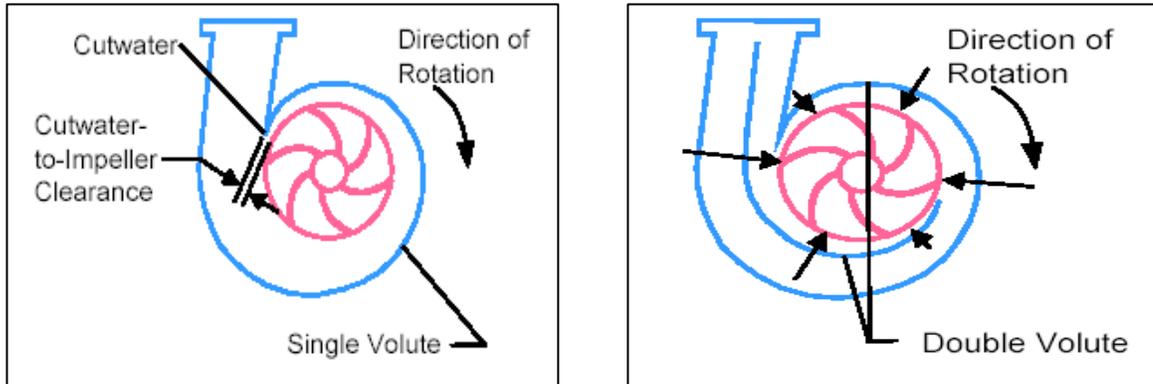
A continuación se ampliará la información de cada una de las partes y también se anotaran los componentes de la zona donde trabaja una bomba centrífuga.

7.1.1. Voluta: “Es un elemento fijo que está dispuesto en forma del caracol alrededor del impulsor a su descarga, su misión es al de recoger el flujo proveniente del impulsor a gran velocidad, cambiarle la dirección transformando parte de la energía cinética generada en el impulsor en energía de presión o potencial, después de lo cual guía el fluido hasta la brida de descarga”²².

Existen diferentes tipos de carcasa que se muestran en la figura 41: la voluta sencilla es utilizada en bombas de baja capacidad y energía y La voluta doble es usada en bombas de media y alta capacidad (ver figura 41).

⁽²²⁾ Díez, Fernández Pedro. Bombas centrífugas y Volumétricas. U de Cantabria.

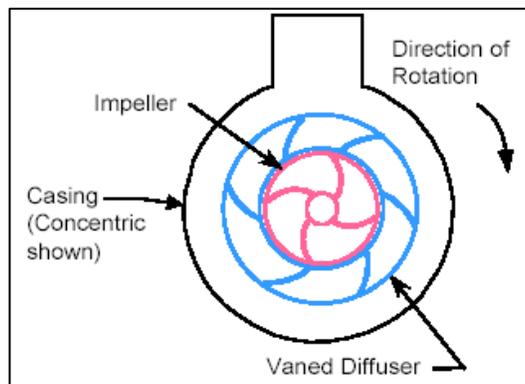
Figura 41. Izquierda, Voluta sencilla - Derecha, Voluta doble



Capacitación. Principios básicos de Bombas Centrifugas. Wood Group.

“El diseño de difusores (ver figura 42) es otro tipo de diseño que es más efectivo para balancear las cargas hidráulicas, los difusores son alabes dispuestos alrededor del impulsor, que generan un cambio en la dirección del flujo actuando como pequeñas volutas”²³.

Figura 20. Ilustración de un difusor utilizado en bombas Multietapas



Capacitación. Principios básicos de Bombas Centrifugas. Wood Group.

(23) Principios básicos de bombas centrifugas. Wood Group

7.1.2. Impulsor o rodete, “Formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas según la misión que vaya a desarrollar la bomba. Estos álabes giran dentro de una carcasa circular. El rodete es accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje, siendo éste la parte móvil de la bomba.

El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del rodete, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, en las bombas centrífugas, o permaneciendo axial en las axiales, acelerándose y absorbiendo un trabajo.

Los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo estas partículas proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga creando así una altura dinámica, de tal forma que las partículas abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando también su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación”²⁴.

Los impulsores son de diferentes formas de construcción mecánica

- Abierto
- Semiabierto
- Cerrado.

Como se puede ver en la figura43.

⁽²⁴⁾ Díez, Fernández Pedro. Bombas centrífugas y Volumétricas. U de Cantabria.

Figura 43. Ilustración de diferentes impulsores.



Capacitación. Principios básicos de Bombas Centrífugas. Wood Group.

De forma puntual se definirá cada tipo de impulsor basándose en la capacitación Principio de bombas centrífugas dictada por la multinacional Wood Group.

“-**Abierto**”: este impulsor no tiene tapas ni cubiertas, es usado en bombas de baja de presión hasta 100 psi, pero que pueden manejar fluidos con sólidos en suspensión.

-**Semiabierto**: es el intermedio entre el impulsor cerrado y el abierto, se utiliza en bombas de presiones medias de 100 psi hasta 500 psi.

-**Cerrado**: está cubierto por 2 tapas lateralmente de forma solidaria, se utilizan en bombas de alta presión mayor a 500 psi, pueden manejar solamente fluidos sin sólidos suspendidos”²⁵.

⁽²⁵⁾ Principios básicos de bombas centrífugas. Wood Group

7.1.3. Cámara de sellado “Es el alojamiento del dispositivo de sellado, y conecta la voluta con la cámara de cojinetes, en otras configuraciones ésta cámara está incluida en la carcasa, contiene las empaquetaduras o sellos dependiendo del dispositivo de sellado utilizado.

7.1.4. Dispositivo de sellado: es un elemento diseñado para prevenir las fugas que se producen debido al bombeo de fluidos a alta presión y las holguras que deben existir entre el eje y sus elementos portantes, los dispositivos de sellado para elementos rotativos se dividen en dos grandes ramas sellos dinámicos y sellos estáticos como se puede apreciar en la figura 44. A En esta ocasión se hará énfasis en los sellos **dinámicos para eje rotativo**, de acuerdo al contenido de este documento.

Figura 44. Clasificación de dispositivos de sellado



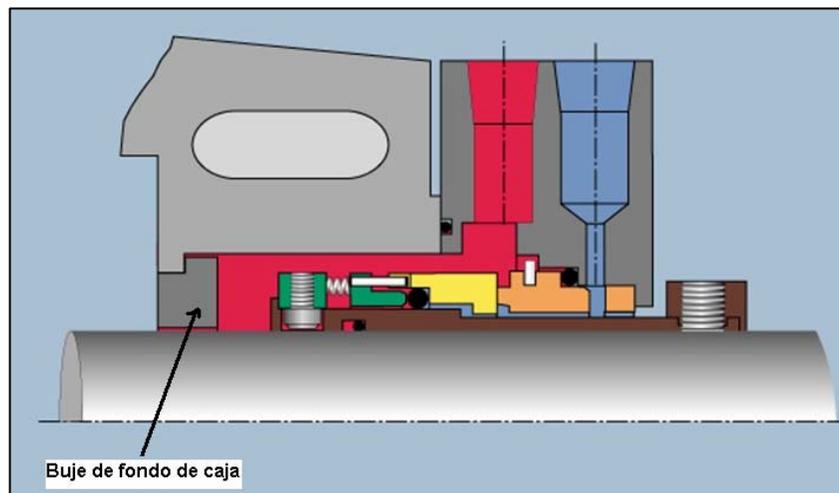
Capacitación, sellos mecánicos. Flowserve

7.1.4.1 Sellos dinámicos de eje rotativo

❖ **Sellos intersticiales:** entre estos tenemos:

- **Sellos tipo buje:** “El buje es el elemento elástico que se interpone entre dos piezas móviles metálicas, permitiendo un suave desplazamiento entre ellas, reduciendo drásticamente la fricción y eliminando o aislando los molestos ruidos que se generan en toda pieza metálica en movimiento”²⁶. Cuando se utiliza este dispositivo de sellado en las bombas se le conoce como buje de fondo de caja, el cual se aloja entre el eje y la caja de sellado de la bomba, reduciendo de manera significativa la entrada de fluido hasta la caja de sellado.

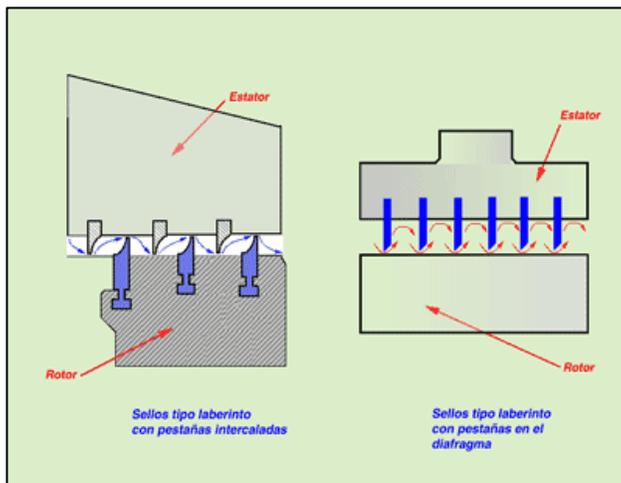
Figura 45. Buje de fondo de caja.



Capacitación de sellos mecánicos , Flowserve.

- **Sellos de laberinto:** “conformado por una serie de pestañas formando pequeños canales que estrangulan el flujo que trata de filtrarse hacia una zona de menor presión. En algunos diseños, las pestañas están ubicadas únicamente en el diafragma o estator y en otros, están dispuestas en forma intercalada en el estator y en el eje como se muestra en la figura 46”²⁷.

Figura 46. Esquema de disposición de laminillas en Sellos de laberinto



www.uamerica.edu.co/tutorial/3turvapor

Figura 47. Sello de laberinto 954 de sealco



www.cisealco.com

❖ **Sellos interfaciales:** se clasifican en sellos radiales y sellos axiales.

Entre los sellos radiales tenemos:

 (27) www.uamerica.edu.co/tutorial/3turvapor

- **Sellos de labio:** básicamente *el sello de labio es utilizado en* “aplicaciones en donde los componentes elastoméricos reciben suficiente lubricación y las velocidades de la superficie del eje son moderadas. Aún en este caso, los sellos de labio están propensos al desgaste, y está aceptado universalmente que el desgaste por frotamiento incrementa conforme incrementa la tasa de velocidad por ello su aplicación es muy delicada”²⁸.

Figura 48. Sello de labio (juntas rotativas)



www.olagorta.com

(28) Heinz Bloch; Process Machinery Consulting, "Mejorando la Protección en los Rodamientos de Turbinas de Vapor Pequeñas". Noria - Revista Machinery Lubrication. Diciembre 2008

- **Empaquetadura:** (figura 49 y 50) Este es quizás el dispositivo mas utilizado en la industria para intentar sellar las bombas centrifugas, lo cierto es que nunca se lograra un sellado eficaz por este componente, pues no es un sello, sino un dispositivo de restricción y por lo tanto requiere de gotear o de lo contrario se quema. Además de lo anterior presenta las siguientes desventajas frente a un sello mecánico y por ello hoy día se esta tendiendo a reemplazarlas:

- Produce Ranuras y desgaste a los ejes por el rozamiento.
- Produce un alto consumo de potencia (H.P.) por elevarse la fricción.
- Hay pérdidas de producto.
- Requiere grandes cantidades de agua (más de 3000 Lts. / Año)
- Requiere de tiempo de mantenimiento y tiempos perdidos por instalación y reajustes constantes.

Figura 49. Bosquejo de instalacion de una empaquetadura)

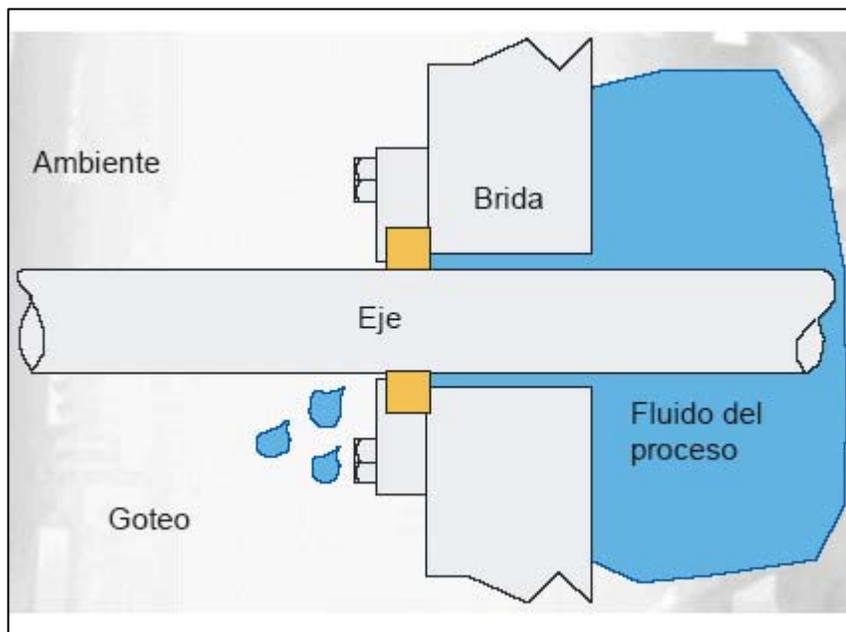


Figura 50. Ilustración de Empaquetadura para sellado.



WWW. Empaquetadurasyempaques.com

-Anillos segmentados: “Los anillos segmentados son especialmente utilizados en aplicaciones de deslizamiento y limpieza de ejes, lubricados con agua soportan una alta velocidad de rotación. El número de segmentos dependerá del diámetro del eje, siendo necesario un elemento elástico alrededor del anillo segmentado para conseguir su cierre²⁹.”

Por otra parte, **los sellos axiales** los comprenden únicamente los sellos mecánicos.

Hoy en día, los sellos mecánicos son una de las tecnologías de sellado mas avanzadas que existes y que esta tomando mucha importancia y auge en la industria, es por esta razón que trataremos un capitulo solo para ellos. (Numeral 8)

⁽²⁹⁾ http://www.carbosystem.com/pdf/pdf_seals_e.pdf

7.1.5. Cámara de cojinetes Es el lugar en donde están alojados los cojinetes que balancean y absorben las cargas axiales y radiales generadas en la operación de bomba, por medio de este elemento llega hasta los cojinetes el fluido lubricante.

Figura 51. Housing Bearing de Bombas Worthington Modelo D-1000

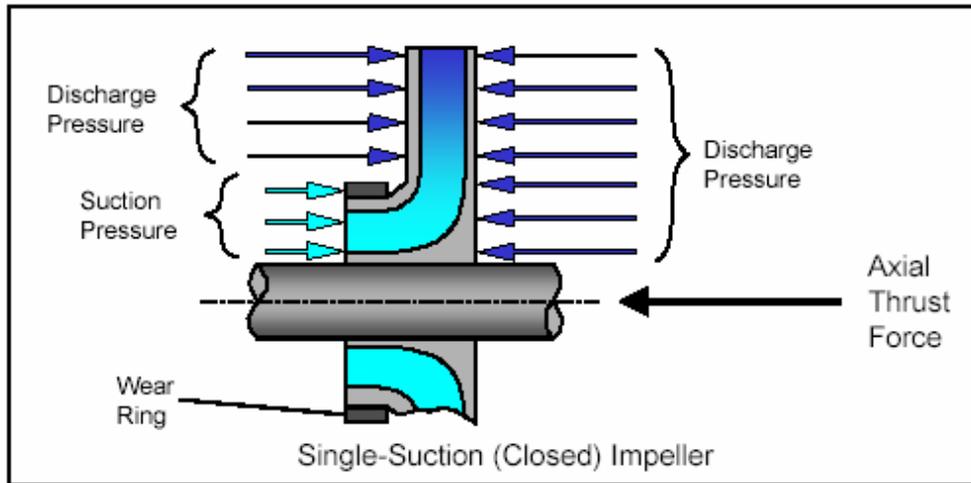


Fotografía local CSC Cartagena – Flowserve.

Ahora bien, como se producen estas cargas radiales y axiales? La carga radial se produce como resultado del movimiento de rotación de eje, mientras que la carga axial es un poco más compleja y se explicara como sigue:

“Las bombas centrifugas experimentan cargas axiales debido al diferencial de presión entre succión y descarga que actúan sobre las caras del impulsor. Esta combinación de presiones actuando sobre el lado de succión del impulsor, son menores que la presión de descarga que actúa sobre todo el lado de descarga del impulsor, generando una fuerza neta de empuje axial. (Ver figura 52)

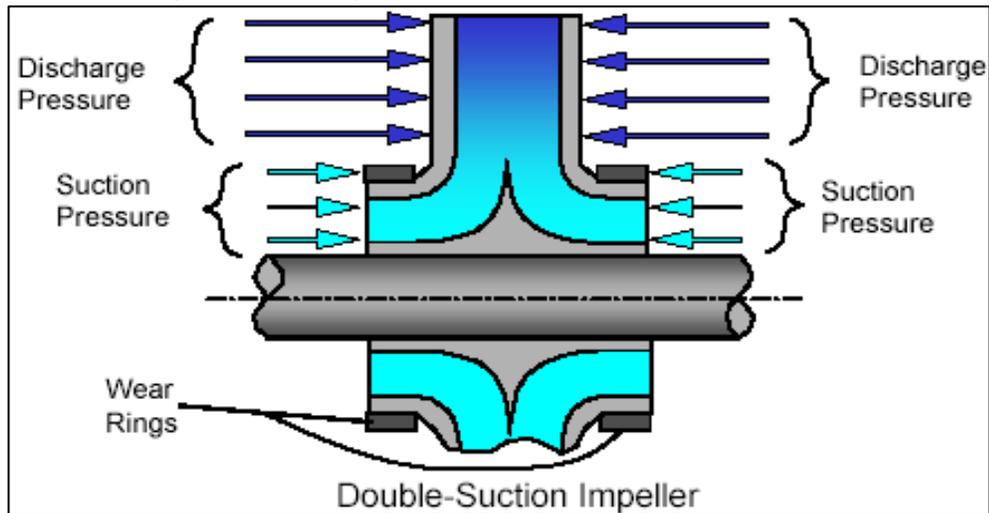
Figura 52. Diferencial de presiones en un Impeler cerrado de simple succión.



Adiestramiento en Bombas centrifugas. John crane.

Este diferencial de presión no existe en un impulsor de doble succión debido a que su geometría o superficie es idéntica en ambos lados (ver figura 53)³⁰

Figura 53. Diferencial de presiones en un impeler de doble succión.



Adiestramiento en Bombas centrifugas. John crane.

(30) Adiestramiento en Bombas centrifugas. John crane.

7.1.6. Eje: Es el elemento encargado de transmitir la energía entregada por el motor hasta el impulsor.

Figura 54. Fabricación de eje para Bomba Worthington modelo D-1000



Fotografía local CSC Cartagena – Flowserve.

7.1.7. Cojinetes: Todos los equipos rotativos requieren cojinetes para posicionar axial y radialmente el rotor, pues este debe estar posicionado bajo condiciones de carga fluctuante. Para este propósito son utilizados los cojinetes de rodamientos o los cojinetes de fricción, para los cuales expondremos gran información en este documento.

7.1.7.1 tipos de cojinetes de fricción

“Cojinetes de Contacto:

- Requieren tener baja tasa de desgaste.
- Son construidos de polímeros, carbón, cerámicos, etc.
- Debido a su diseño, están limitados en velocidad y carga.
- Normalmente se fabrican en pequeñas dimensiones.

Cojinetes de Materiales Porosos:

- Fabricados en materiales porosos (metálicos).
- Desempeño limitado por cargas y velocidades

Cojinetes tipo Película de Aceite (De fricción):

- Utilizados en maquinas de ejes grandes y que giran a altas velocidades.
- Requieren cantidades generosas de aceite en forma continua.
- La rotación del eje produce un efecto hidrodinámico.

Existen dos tipos básicos de cojinetes de deslizamiento:

Hidrostáticos: Son aquellos en que la presión de la película del fluido es generada externamente (por un sistema auxiliar).

Hidrodinámicos: Son aquellos en que la presión de la película del fluido se auto genera por el movimiento relativo de las superficies, mientras están separadas por un fluido viscoso

Cojinetes Axiales tipo película de aceite:

Existen dos diseños básicos:

- **COJINETES TIPO DISCO**: Están formados por un disco plano con ranuras radiales que permiten la circulación del aceite. Son utilizados en aplicaciones de baja carga y alta velocidad.
- **ZAPATAS PIVOTANTES**: Están formados por zapatas independientes que se apoyan en pivotes. Son utilizados en aplicaciones de altas cargas y altas velocidades³¹.

(31) Adiestramiento en Bombas centrifugas. John crane.

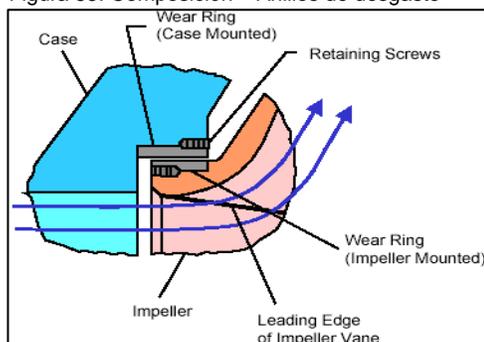
7.1.8. Anillos de desgaste: “La bomba al producir presión genera un diferencial entre el lado de descarga (mayor presión) y el de succión (menor presión) (como ya se había mencionado) creando una recirculación entre estos puntos.

Esta recirculación o fuga representa una disminución en la eficiencia y un gasto de energía indeseable siendo necesario reducirla al máximo posible, a través del uso de los anillos de desgaste.

Los anillos se instalan concéntricamente, uno en impulsor (rotativo) y el otro en la carcasa (estacionario), dejando entre ellos una separación (holgura) mínima para evitar el contacto. La holgura entre los anillos depende de varios factores, como temperatura de operación, diámetro del anillo y material de construcción. En su diseño, los anillos se especifican con un recubrimiento de un material endurecido, en la zona de contacto, que evite el trabamiento y permita menores holguras”³².

Para mayor claridad ver graficas siguientes.

Figura 55. Composición – Anillos de desgaste



Adiestramiento en Bombas centrifugas. John crane.

Figura 56. Anillos de desgaste en bronce – bomba Wx modelo LR



Adiestramiento en Bombas centrifugas. John crane.

(32) Adiestramiento en Bombas centrifugas. John crane.

7.2. MATERIALES DE FABRICACION DE PARTES DE BOMBAS CENTRIFUGAS

Existe una gran variedad de materiales para construcción de bombas centrifugas, su selección depende de las propiedades físico – químicas (temperaturas, erosividad, corrosividad, etc.) del fluido que será manejado.

En servicios corrosivos es común observar bombas cuyos internos (carcasa e impulsor) están recubiertos de materiales no metálicos (polímeros, cerámicos) los cuales presentan mejores propiedades mecánicas para soportar el ataque por corrosión. En servicios erosivos, se aplican tratamientos térmicos al material base para lograr mayor dureza (50 a 60 RC). Otro método de endurecimiento consiste en la aplicación de revestimientos con materiales especiales.

Nota: Ver Anexos 2 y 3 para lista de materiales de fabricación de bombas centrifugas.

8. SELLOS MECANICOS

GENERALIDADES.

En la industria es necesario en muchas aplicaciones tener confinado fluidos, esto suena sencillo si se trata de mantenerlo de manera estática, pero si se trata, además de tenerlo almacenado y moverlo simultáneamente el asunto se hace mas complicado, inicialmente se desarrollaron para este propósito las empaquetaduras o juntas de sellado, las cuales además de proporcionar un sellado ineficaz generaba mayor consumo de potencia y desgastes excesivos en las camisas o ejes que estaban en contacto directo con la empaquetadura.

Con la exigencia de los organismos de regulación del medio ambiente y normas de seguridad en donde se pedía que no existiese emisión de vapores y derrame de fluidos al medio exterior debido a la toxicidad y peligrosidad de los mismos se dio un gran paso en cuanto a los dispositivos de sellado, pues el avance de la ciencia de equipos rotativos llegó a desarrollar los sellos mecánicos los cuales brindan mayor eficiencia a la hora de confinar un fluido en un equipo rotativo cumpliendo con las normas que están reguladas para las industrias. A continuación se hablara mas ampliamente de estos componentes guiados por capacitaciones en Sellos mecánicos de los fabricantes Flowserve y John Crane.

❖ Definición.

“De manera específica, un sello mecánico es un dispositivo de sellado que previene el escape de fluido de un recipiente, al cual atraviesa un eje rotativo, realizando el sellado por el contacto axial de sus caras”³³.

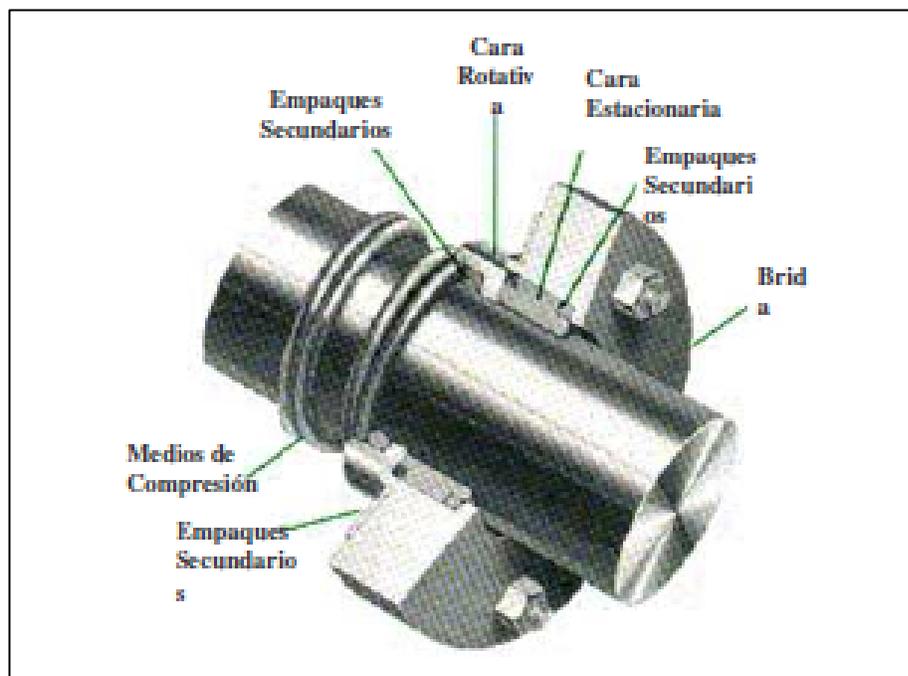
⁽³³⁾ Capacitación en Sellos Mecánicos. Flowserve

Para tener más claridad veamos el siguiente ejemplo. Imaginemos que una bomba opera a muy alta presión, esta bombea soda cáustica. La bomba tiene un eje que está girando, para girar necesita cierta holgura, pero no se puede permitir que por culpa de esa holgura se salga al exterior el contenido del equipo, que está a presión elevada.

Se podría instalar empaquetadura pero ¿ésta cumple con las normas de seguridad establecidas?, ¿cuál será el rendimiento de estas juntas?, definitivamente la mejor opción es un sello mecánico.

8.1 COMPONENTES BÁSICOS DE UN SELLO MECÁNICO.

Figura 57. Componentes de un sello Mecánico.



Capacitación. Sellos Mecánicos. Flowserve

En la figura 57 podemos identificar alguna de las partes por las cuales esta compuesto un sello mecánico.

Los sellos mecánicos están compuestos por tres grupos básicos de partes.

- ❖ El primero y más importante son **las caras mecánicas del sello**. La cara giratoria del sello está sujeta al eje, mientras que la estacionaria se mantiene fija a la cubierta o brida del sello mediante pines.
- ❖ El siguiente grupo de componentes del sello son los miembros secundarios del sellado, estos miembros en general **son los O-rings o V-rings, o llamados empaquetaduras secundarios**.
- ❖ El tercer grupo de componentes es la parte mecánica del sello, **que incluye la unidad compresora o reten, los resortes, el collarín si es un sello tipo cartucho y brida**. El propósito del retén del resorte es conducir mecánicamente la cara giratoria del sello, así como alojar los resortes. Estos constituyen un componente vital para asegurar que las caras del sello permanezcan en contacto durante cualquier movimiento de los ejes que se tenga debido al desgaste normal de la cara del sello, o bien por una mala alineación.

En muchas aplicaciones de los sellos mecánicos, las bridas de estos están equipadas con conductos para lavados y para la aplicación de los planes de armonización de los cuales se hablara mas adelante.

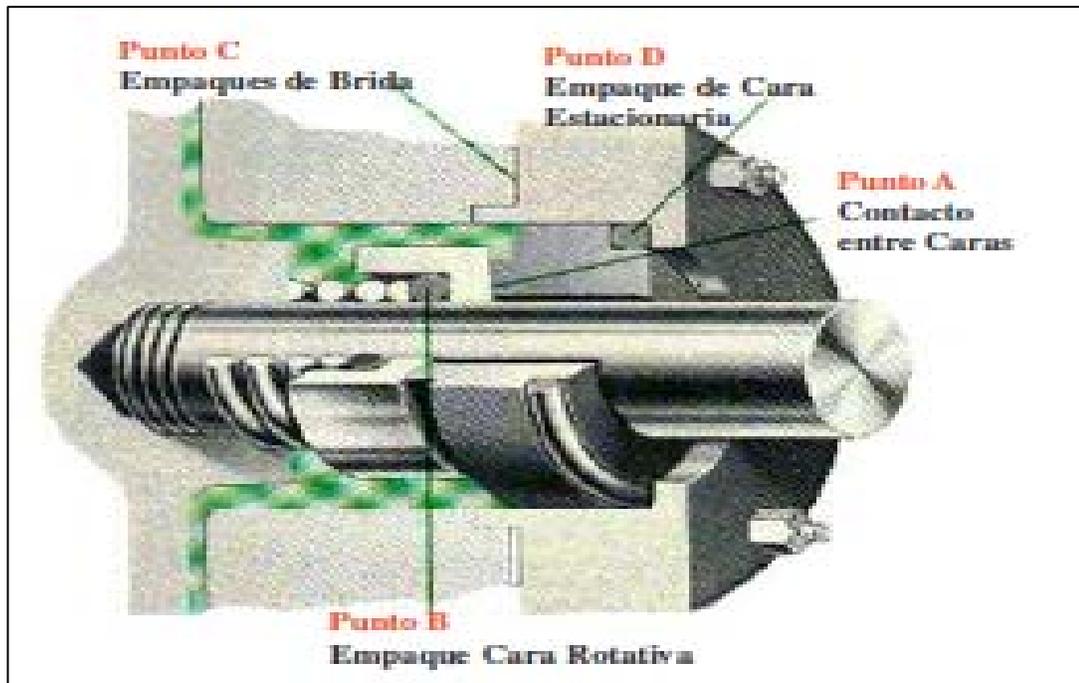
8.2 FUNCIONAMIENTO DE UN SELLO MECÁNICO.

“El funcionamiento de un sello mecánico depende de su configuración y/o diseño, pues estos poseen dos caras en contacto muy pulidas y planas, una en rotación con el eje y la otra estacionaria con la carcasa, las cuales tienen elementos que les permite ponerse en contacto y en movimiento, sin dejar que el fluido pueda salir al ambiente”³⁴.

⁽³⁴⁾ Capacitación en Sellos Mecánicos. Flowserve

A continuación en la figura 58 veremos cuales son los puntos de sellado de estos dispositivos.

Figura 58. Componentes de un sello Mecánico.



Capacitación. Sellos Mecánicos. Flowserve

8.3 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE SELLOS MECÁNICOS.

Existen numerosos materiales para construcción de cada uno de los componentes de los sellos mecánicos, estos dependen exclusivamente de la aplicación del sello, es decir que tipo de fluido estará en contacto, de acuerdo a esto se seleccionan los materiales de las caras, de los O-rings y de las partes mecánicas, a continuación ampliaremos esta información centrándonos en las caras pues son el componente mas delicado. Fuente: Capacitación Flowserve en Sellos Mecánicos.

❖ **Caras del sello.**

“Las caras de los sellos son unos componentes muy delicados, ya que en estas recae la mayor responsabilidad en cuanto al buen desempeño del mismo, por tal motivo los materiales de construcción deben contar con las siguientes propiedades.

Propiedades Mecánicas.

- ✓ *Alto Módulo de Elasticidad*
 - Rígido
 - No se dobla o deforma
- ✓ *Alta Fuerza de Tensión*
- ✓ *Bajo Coeficiente de Fricción*
 - Resbaloso
- ✓ *Resistencia al desgaste*
- ✓ *Lubricación propia*

Propiedades Térmicas

- ✓ *Bajo Coeficiente de Dilatación*
 - La expansión es poca o ninguna
 - No cambia de tamaño
- ✓ *Alta Conductividad Térmica*
 - Buen conductor de calor
 - No es un aislante

✓ *Resistente al Choque Térmico*

- No se producen rupturas a causas de cambios térmicos

- Estabilidad térmica

Propiedades Químicas

✓ Resistente a la Corrosión

✓ Buenas características humectantes y adhesivas

Otras propiedades.

✓ Facilidad de ser maquinadas y fabricadas

✓ Obtención rápida y económica

Por otra parte, Entre los materiales mas utilizados para la fabricación de las caras tenemos:

1. Carbón. (Grafito)

2. Carburo de Silicio.

3. Carburo de Tungsteno”³⁵.

⁽³⁵⁾ Capacitación en Sellos Mecánicos. Flowserve

8.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SELLOS MECÁNICOS.

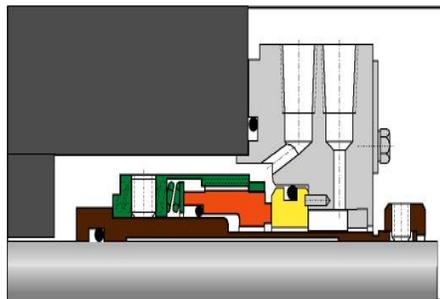
Existen numerosas clasificaciones de los sellos mecánicos de acuerdo a varios criterios, estos se trabajaran a continuación.

Por Arreglo.

“Corresponde a la cantidad de sellos montados en una sola brida formando un solo sello en el equipo, pueden ser dobles o sencillos.

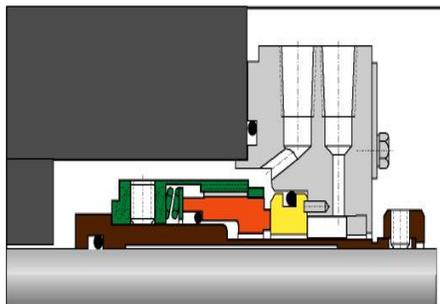
- ❖ **Sello Sencillo:** Este a su vez comprende dos configuraciones. Interno, En el cual el cuerpo del sello queda dentro de la caja de sellado, y Externo en el cual el cupo del sello queda por fuera de esta caja (Stuffing Box), en las figura 59 y 60 podemos observar el esquema de un sello de montaje interno y uno de montaje externo respectivamente.

Figura 59. Sello Mecánico de montaje interno.



Capacitación. Sellos Mecánicos. Flowserve

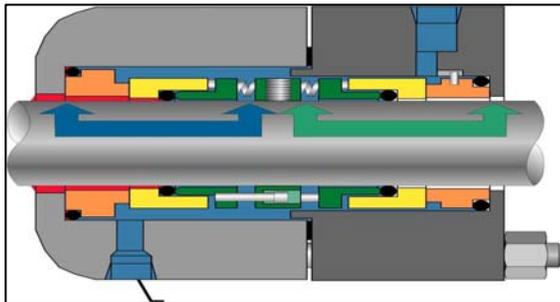
Figura 60. Sello Mecánico de montaje Externo.



Capacitación. Sellos Mecánicos. Flowserve

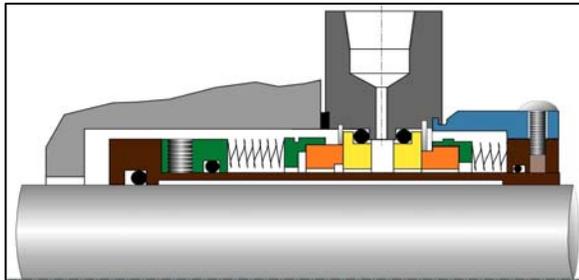
- ❖ **Sellos Múltiples.** Este a su vez comprende tres configuraciones. Espalda contra espalda, Cara contra Cara y Tandem. Como se muestra en las figuras 61, 62 y 63 respectivamente.

Figura 61. Sello Mecánico, configuración Espalda Contra Espalda.



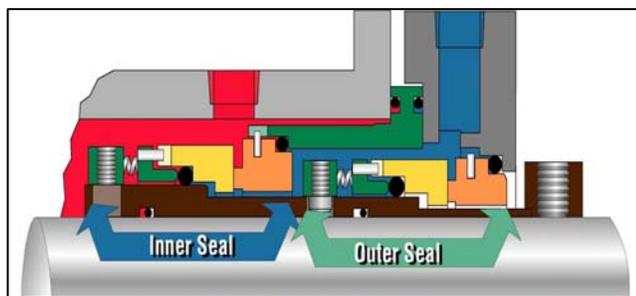
Capacitación. Sellos Mecánicos. Flowserve

Figura 62. Sello Mecánico, configuración Cara Contra Cara.



Capacitación. Sellos Mecánicos. Flowserve.

Figura 63. Sello Mecánico, configuración Tandem



Capacitación. Sellos Mecánicos. Flowserve

Por diseño.

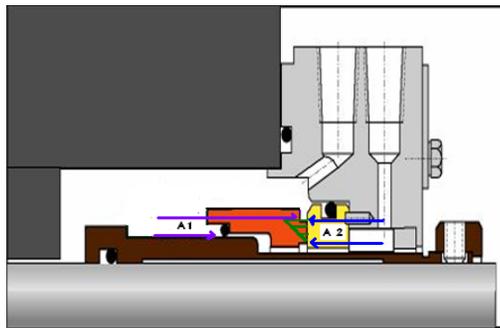
Esta clasificación corresponde al diseño de las caras del sello, según esto existen sellos balanceados y sellos no balanceados.

Esta clasificación se rige en la ecuación de presión: (ecuación 12)

$$presión = \frac{fuerza}{area} \quad P = \left[\frac{F}{A} \right] \longrightarrow F = P * A$$

- ❖ **Sellos Balanceados.** En este diseño, (ver figura 64), las caras de sellado se compensan hidráulicamente, las presiones se igualan en direcciones contrarias.

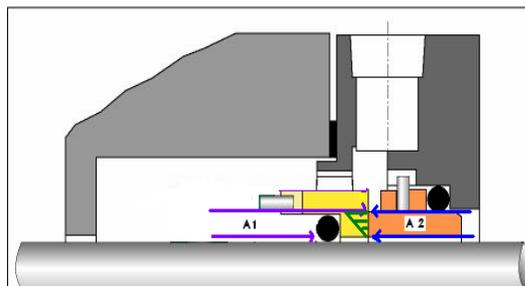
Figura 64. Sello Mecánico, Balanceado



Capacitación. Sellos Mecánicos. Flowserve

- ❖ **Sellos no Balanceados.** En este tipo de sellos las presiones en las caras son diferentes ya que una de ellas presenta mayor área por lo tanto la presión se hace menor, como se ilustra en la figura 65.

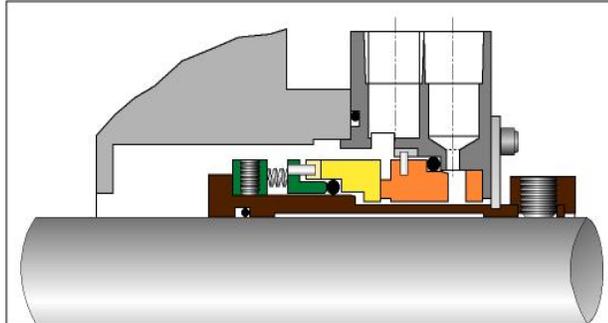
Figura 65. Sello Mecánico, No Balanceado



Capacitación. Sellos Mecánicos. Flowserve

- ❖ **Resortes Múltiples.** Como su nombre lo indica la unidad compresora o el reten consta de diminutos resortes alojados sobre un collar, estos en conjunto ejercen la fuerza de cierre, como se muestra a continuación en la figura 66.

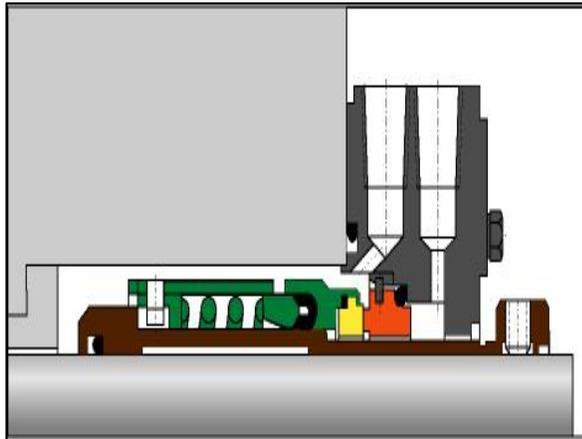
Figura 66. Sello Mecánico de Resortes Múltiples



Capacitación. Sellos Mecánicos. Flowserve

- ❖ **Resorte sencillo o Monoresorte.** Este diseño consta de un solo resorte de un diámetro tal que se ajuste al diámetro de la cara para de esta manera hacer la presión de cierre. (Ver figura 67).

Figura 67. Sello Mecánico Monoresorte

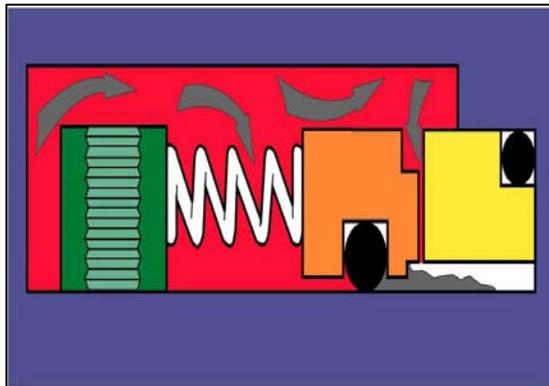


Capacitación. Sellos Mecánicos. Flowserve.

- ❖ **De empuje:** Este diseño Incorpora un sello secundario (O-ring) que se mueve axialmente a lo largo de un eje o camisa (empaquete dinámico) para mantener las caras en contacto y compensar el desgaste y vibraciones del sello causado por su desalineamiento. Son capaces de soportar mayores presiones y velocidades con diseños especiales.

Este tipo de sello tiene la desventaja de que se existen muchos residuos y/o sólidos en suspensión se puede atascar y el cierre de las caras no se dará perfectamente lo que ocasiona fuga en el sello. (Ver figura 68).

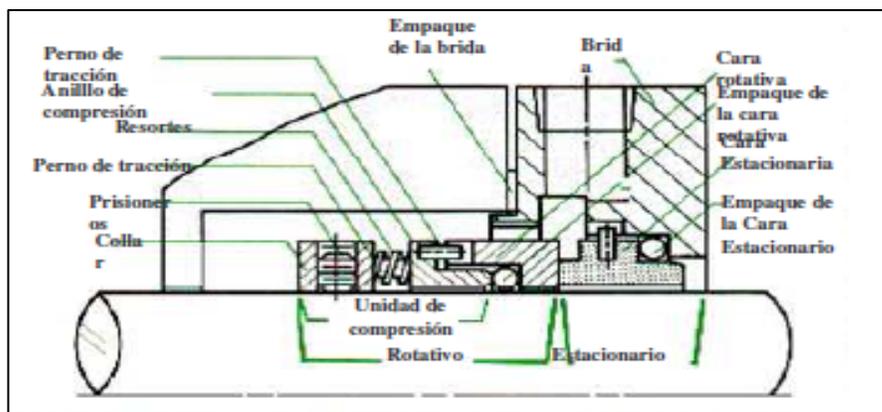
Figura 68. Disposición de sello mecánico de tipo empuje



Capacitación. Sellos Mecánicos. John crane

En la figura 69 podemos apreciar este tipo de diseño de una manera más amplia.

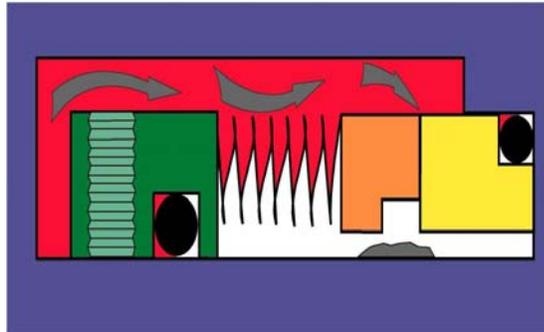
Figura 69. Disposición de sello mecánico de tipo empuje, señalando partes del sello.



Capacitación. Sellos Mecánicos. John crane

- ❖ **Sellos de no empuje o de Fuelle.** El sello secundario no tiene que moverse a lo largo del eje o camisa (empaqué estático), (ver figura 70), para mantener las caras en contacto, como es de auto-limpieza no se afecta por una cantidad de residuos en los lados y tiene más tolerancia a fluidos sucios y acumulaciones en el lado atmosférico”³⁶.

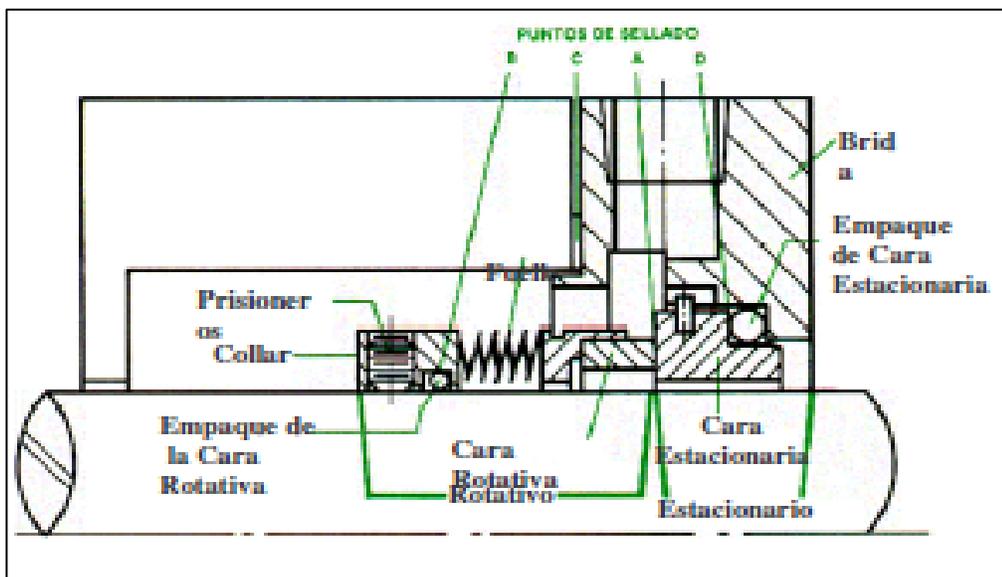
Figura 70. Disposición de sello mecánico de tipo empuje



Capacitación. Sellos Mecánicos. John crane

De una manera más amplia en la figura 71 se puede ver:

Figura 71. Disposición de sello mecánico de no empuje, señalando partes del sello



Capacitación. Sellos Mecánicos. John crane

⁽³⁶⁾ Capacitación en Sellos Mecánicos. Flowserve

8.5 ¿QUÉ CAUSA PROBLEMAS EN LOS SELLOS MECÁNICOS?

A continuación expondremos que situaciones pueden causar problemas en el sello mecánico, bajo la guía de la capacitación de Flowserve, Problemas en sellos Mecánicos.

- “Eje torcido o desalineado
- Cojinetes desgastados
- Camisas de eje desgastadas o rayadas
- Rotor de la bomba desbalanceado
- Sellos y flujo de líquido
- Suciedad en el líquido de sello

De igual forma, algunas veces se tiene problemas en el sello por:

- Tipo inadecuado de sello
- Sello inadecuadamente instalado
- Sello desgastado”³⁷.

Por otro lado, si existen problemas de lubricación actuarán de manera indirecta en el sello, pues la falta de lubricación causa las siguientes imperfecciones:

⁽³⁷⁾ Capacitación en Sellos Mecánicos. John Crane

- Cojinetes desgastados
- Eje desalineado o torcido
- Rotor desbalanceado o descentrado
- Carga excesiva sobre el cojinete de empuje (mecánica o hidráulica)
- Suciedad en los cojinetes o lubricante
- Rodamientos oxidados debido a escapes de las cajas de enfriamiento, condensación o rodamientos trabajando muy fríos
- Daños en los anillos de lubricación

Lo que ocasiona daños en las caras del sello y de forma general averías en el sistema de sellado utilizado, dando como resultado la falla o la pérdida de la función del sello mecánico,

Un inapropiado enfriamiento de las cajas de rodamiento pueden causar:

- Cojinetes sobrecalentados que fallan prematuramente o los cojinetes trabajan muy fríos lo que produce condensación en la caja de cojinetes y falla de los mismos por oxidación

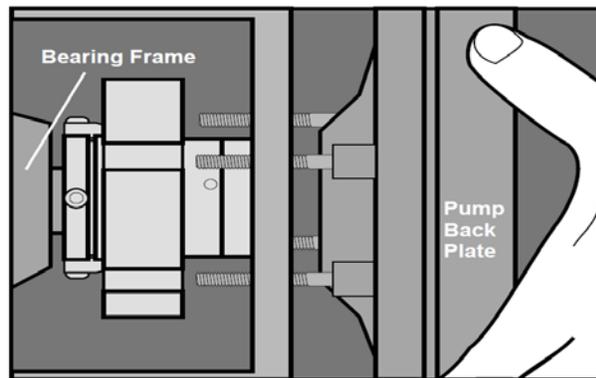
Adicionalmente para evitar el fallo de los sellos mecánicos y para alargar la vida de los mismos es muy factible adicionar un plan de ambientación de sellado el cual dependerá de la aplicación del sello. (Ver Numeral 10.7)

8.6 MONTAJE DE SELLOS MECÁNICOS.

Existen dos tipos de montajes para sellos mecánicos, uno llamado sello cartucho y otro llamado sello no cartucho.

- ❖ **Montaje sello Tipo Cartucho.** “Este montaje es muy sencillo, puesto que el sello ya viene armado sobre una camisa, no hay que realizar mediciones, solo basta con montar el sello al eje de tal forma que los pernos de la brida queden concéntricos con los orificios hechos en la caja de la bomba” como podemos ver en la figura 72.

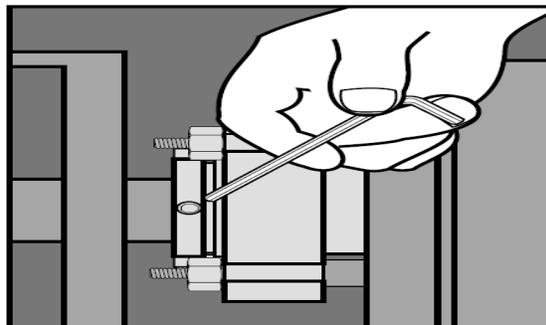
Figura 72, Montaje de sello Cartucho, tipo ISC 1Px



Manual de Instalación Sello ISC 1PX

Luego se ajustan los pernos del collarín al eje para que quede bien agarrado. Es el siguiente paso que nos muestra la figura 73.

Figura 73, Montaje de sello Cartucho, tipo ISC 1Px

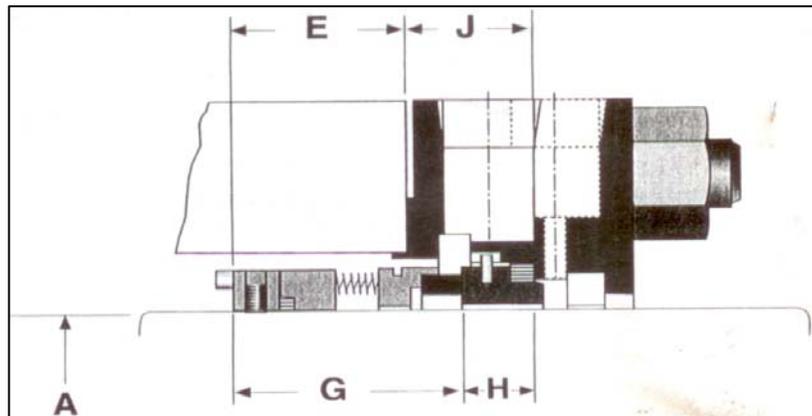


Manual de Instalación Sello ISC 1PX

Podemos identificar muy fácilmente los sellos de este tipo puesto que en la mayoría se vera el collarín en la parte exterior de la caja de sellado.

❖ “**Montaje de sello tipo no cartucho.** Este tipo de montajes es mucho mas complicado, pues inicialmente el sello no esta armado sobre una camisa base, si no que por el contrario se debe armar sobre el eje del equipo, luego debemos tener una amplia visión pues el collarín queda dentro de la caja estopera y se debe tomar la longitud de compresión para el resorte recomendada por el fabricante del sello, una vez se tiene este paso listo y el collar en su posición se procede a ensamblar las demás piezas como nos guía el manual del fabricante asegurándonos de que las partes vayan ensambladas según el plano del sello. Por ultimo se ajustan los pernos de la brida”³⁸.

Figura 74, Montaje de sello tipo No Cartucho.



Manual de Instalación Sello RO de Montaje no Cartucho

Como se muestra en la figura 74 todas las dimensiones designadas por las letras deben estar de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del sello, este da la recomendación de acuerdo al tamaño del eje. (Particularmente para este tipo de sello -RO-Flowserve) – **Ver Anexo 4**

⁽³⁸⁾Capacitación en Sellos Mecánicos. John Crane

8.7 PLANES DE SELLADO O DE AMBIENTACIÓN DE SELLOS MECÁNICOS

Los planes API de sellado son una herramienta para aumentar la vida útil del sello pues, crean un ambiente favorable para el Sello Mecánico, estos planes trabajan de la siguiente forma.

- Circulan para remover calor
- Bajan la temperatura del fluido
- Alteran la presión en la cámara de sello
- Limpian los fluidos de proceso
- Controlan el lado atmosférico del sello.

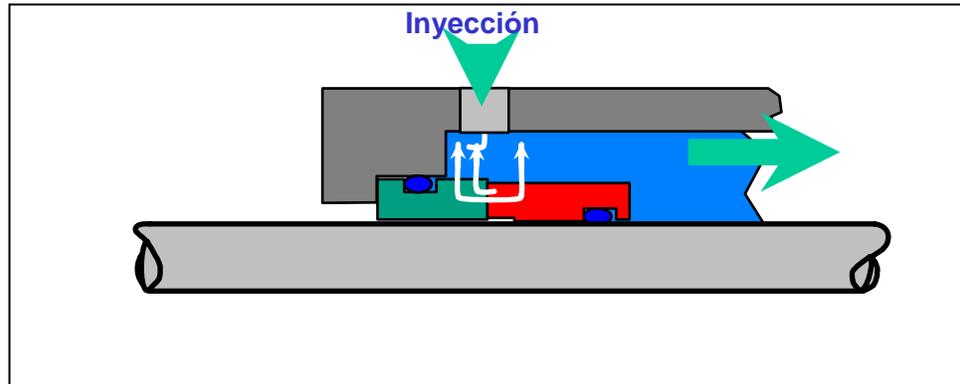
Por medio de los planes API se pueden obtener múltiples beneficios para el sello mecánico tales como:

- Capturar y/o prevenir la fuga
- Detectar las fugas
- Direccionar las fugas a un sistema o dispositivo de recolección seguro
- Proveer otro fluido en lugar del fluido de proceso en la cámara de sello

Así trabajan de forma general los planes API: se suministra de acuerdo al plan un fluido que además de lubricar las caras del sello mecánico las refrigera.

Esto lo podemos observar por medio de una ilustración en la figura 75.

Figura 75. Funcionamiento de planes API, en un sello mecánico.



Capacitación. Sellos Mecánicos. Flowserve

Los planes API de sellado están conformado por una serie de elemento que garantizan la perfecta instalación y funcionamiento del mismo, entre estos elementos tenemos:

- Tubería para direccionar los fluidos de proceso
- fluidos externos
- Equipo auxiliar
- Intercambiadores de Calor
- Separadores Ciclónicos
- Reservorios
- Instrumentación.

Para conocer de forma mas detallada los planes API existentes, su funcionamiento y su aplicabilidad, remitirse a 5.

9. NORMAS API

Inicialmente para ahondar en el tema de las normas API, debemos hacer un recuento de lo que es el API y todo el auge y el legado que este representa para la industria. A continuación expondremos de forma clara todo lo relacionado con el Instituto Americano del Petróleo API, Tomando copia fidelina de la pagina www.api.org

9.1 Instituto Americano del Petróleo.

Algo de Historia: Instituto Americano del Petróleo tiene su inicio en la Primera Guerra Mundial, cuando el Congreso nacional, la industria del petróleo y el gas natural trabajaron juntos para ayudar a reforzar la guerra.

En ese momento, la industria incluyó las empresas creadas en 1911 después de que la corte impusiera la disolución del Standard Oil y las empresas independientes. Estas eran las empresas que habían sido independientes del Standard Oil. Ellos no tenían experiencia trabajando juntos, pero acordaron trabajar con el gobierno para garantizar que los suministros vitales de petróleo se desplegaran con rapidez y eficiencia a las fuerzas armadas.

El Comité Nacional de Petróleo para el Servicio de Guerra, el cual supervisó este esfuerzo, fue inicialmente formado en virtud de los EE.UU. la Cámara de Comercio y, posteriormente, como un órgano cuasi-gubernamental.

Después de la guerra, comenzó a crear una asociación nacional que representara a todas las industrias en los años de posguerra. Los esfuerzos del sector de suministro de combustible durante la Primera Guerra Mundial, no sólo destacó la importancia de la industria para el país, sino también su

obligación para los ciudadanos, como muestra la carta original. Siendo así, El Instituto Americano del Petróleo fue creado el 20 de marzo de 1919 con los siguientes fines:

- Facilitar un medio de cooperación con el gobierno en todos las Materias de interés nacional
- Fomentar el comercio exterior y nacional de productos petrolíferos Americanos
- Promover en general los intereses de la industria del petróleo en todas sus ramas
- Promover la mejora mutua de sus miembros y el estudio del arte y las ciencias relacionadas con el petróleo y el gas natural.

Las oficinas de API fueron establecidas en la ciudad de Nueva York, y la organización centró sus esfuerzos en varias áreas específicas.

Estadísticas: El primer esfuerzo fue desarrollar un programa autorizado para la recolección de estadísticas industriales Ya en 1920, API comenzó a publicar estadísticas semanales, comenzando primero con la producción de petróleo crudo. El informe, fue compartido con el gobierno y la prensa, fue ampliada posteriormente a fin de incluir el petróleo crudo y las existencias de productos, en los funcionamientos de la refinería y otros datos.

Las estadísticas de API siguen siendo uno de las fuentes de datos más creíbles de la industria y se utilizan en todo el mundo.

Estandarización. El segundo esfuerzo fue la estandarización de los equipos de campo petrolífero. Durante la Primera Guerra Mundial, los retrasos en la perforación se debieron a la escasez de equipos de perforación en el sitio, y la industria trató de superar ese problema mediante equipos excavadores. El programa informaba fallas porque no había uniformidad en los tamaños de las tuberías, hilos y acoplamiento. Por tanto, la nueva asociación asumió el reto de desarrollar normas para todas las industrias, las primeras normas se publicaron en 1924.

Hoy en día, API mantiene más de 500 normas y prácticas recomendadas que cubren todos los segmentos de la industria petrolera y de gas para promover el uso de caja fuerte, equipo intercambiable, pruebas y prácticas de ingeniería de sonido.

Impuestos: La tercera mejor área de actividad fue la actividad del Impuesto. Inicialmente, los esfuerzos incluyeron trabajar con el Departamento del Tesoro y los comités del Congreso para desarrollar de forma ordenada, lógica y sencilla una forma de impuestos administrados por los activos de petróleo. En la década de 1930, estos esfuerzos de trabajo fueron ampliados a los gobiernos estatales. Tanto los gobiernos federales y estatales con los impuestos del combustibles los utilizaban para financiar la construcción de carreteras, y la industria apoyó leyes más estrictas contra la evasión fiscal.

Hoy A finales de 1969, la API tomo la decisión de trasladar sus oficinas a Washington, DC, donde siguen estando hoy en día. Con 400 miembros corporativos, es una de las asociaciones comerciales nacionales más grandes del país, y el único que representa en todos los aspectos al petróleo de América y la industria del gas natural.

Sus 400 miembros corporativos, de la más importante compañía petrolera hasta la más pequeña de los independientes, procedentes de todos los segmentos de la industria. Ellos son los productores, fabricantes, proveedores, operadores de oleoductos marinos y transportistas, así como las empresas de suministro de servicio y apoyo que todos los segmentos de la industria.

Aunque su enfoque es principalmente nacional, en los últimos años, su trabajo se ha ampliado para incluir una dimensión internacional cada vez mayor, y actualmente la API está reconocida en todo el mundo por su amplia gama de programas:

Promoción Se habla de la industria del petróleo para el público, el Congreso y el Poder Ejecutivo, gobiernos estatales y los medios de comunicación. Negocia con las agencias reguladoras, representan a la industria en los procesos judiciales, participan en coaliciones y el trabajo en colaboración con otras asociaciones para lograr sus miembros "objetivos de política pública.

Investigaciones y Estadísticas API realiza o patrocina la investigación que van desde los análisis económicos a pruebas toxicológicas. Y recoger, mantener y publicar estadísticas y datos sobre todos los aspectos de las operaciones de la industria, incluyendo la oferta y la demanda de diversos productos, las importaciones y las exportaciones, actividades de perforación y costos, y así complementos. Esta información proporciona indicadores oportunos de las tendencias de la industria.

Normas Durante más de 75 años, la API ha llevado a la elaboración de equipos y normas de funcionamiento de equipos que trabajen con petróleo y petroquímica, Estos representan la sabiduría colectiva de la industria sobre todo a partir de estamentos para la protección del medio ambiente e ingeniería, las prácticas operativas y de seguridad, equipos y materiales intercambiables. API mantiene más de 500 normas y prácticas recomendadas.

Puntualmente en este aparte nos concentraremos en la norma API 610, destinada para bombas centrifugas y API 682 quien a su vez contempla todo lo relacionado con los sellos mecánicos.

Certificación Cada día, la industria depende del petróleo y el gas natural para producir, refinar y distribuir sus productos. El equipo utilizado es una de las más avanzadas tecnológicamente en la búsqueda de petróleo y gas y permite a la industria para operar en una manera ambientalmente segura. Diseñado para los fabricantes de producción, perforación, equipos y refinerías, el Monograma API programa verifica que los fabricantes que operan en el cumplimiento de las normas de la industria. También proporciona la API de calidad, ambientales y de salud en el trabajo y la certificación de sistemas de gestión de la seguridad a través de APIQR. Este servicio está acreditado por el ANAB (ANSI-ASQ Junta Nacional de Acreditación) para la ISO 9001 e ISO 14001. Deja que la experiencia en la industria APIQR certificar su organización para API Spec Q1, ISO / TS 29001 y SSO 18001.

API también certifica los inspectores de la industria a través de sus equipo de programas de certificación individual, destinado a reconocer que trabajan los profesionales que tienen conocimiento de la industria de inspección son

los códigos y el desempeño de sus puestos de trabajo, de conformidad con esos códigos. A través de sus Programas de Testigos, la API proporciona conocimientos y experiencia los testigos para observar el material y el equipo crítico de ensayos y de verificación. API del Programa de Certificación de Proveedor de Formación prevé la certificación de terceros para una variedad de la industria petrolera y de gas cursos de capacitación, además asegurarse de que cualquier formación siempre cumple las necesidades de la industria.

Para ayudar a mejorar la industria de la seguridad, la API tiene una forma de que los propietarios de estaciones de servicio para asegurarse de que sus contratistas han recibido capacitación para la industria de seguridad. Worksafe API TM es una estación de servicio de seguridad contratista del programa de calificación del personal que identifica que han recibido formación y se transmite de línea de los exámenes normalizados que cubren la última estación de servicio de seguridad las prácticas de la industria. Para los consumidores, la API proporciona la API de aceite del motor Sistema de Licencias y Certificación (EOLCS). Se trata de un voluntario de concesión de licencias y el programa de certificación que autoriza a los comerciantes de aceite de motor que cumplan con los requisitos especificados para usar el API de las marcas de calidad de aceite del motor. Estos emblemas deben ir directamente a cada uno de los contenedores de petróleo que mantiene la certificación y está ahí para ayudar a los consumidores a identificar la calidad de sus aceites para motores de gasolina y vehículos diesel.

9.2 API 610

“Originalmente desarrollada para cubrir requerimientos de bombas centrífugas en servicios generales de refinería de petróleo, la norma **API 610** es una de las más exigentes en cuanto a los aspectos de diseño mecánico e hidráulico como de eficiencia de una bomba, no obstante, es ampliamente utilizada en otros sectores de la industria petrolera.

Si bien es cierto que probablemente la gran mayoría de las bombas fabricadas bajo el API Standard 610 son empleadas en la industria petrolera, algunas aplicaciones de las mismas se encuentran en otras industrias. El API Standard 610 presta muchas ventajas y le otorga a cualquier proyecto una base de normas que se basa en una gran trayectoria de experiencias, conocimientos, y sabiduría en lo que se trata del transporte de líquidos.

La norma del API Standard 610 se basa en establecer una bomba que opere y se mantenga en condiciones a pesar del trabajo pesado y el abuso de operarios, todo para lograr un periodo de operación en el cual uno puede confiar. El resultado de esta norma produce una bomba que es treja y durable, capaz de operar tranquilamente por largos periodos y con un mínimo de mantenimiento o vigilancia. Claro que para lograr este tipo de servicio superior, uno tiene que pagar un precio superior al de bombas más baratas y livianas”³⁹.

⁽³⁹⁾ www.widman.biz/Seleccion/Motores/API/api.html - 40k

Ámbito de aplicación Esta norma internacional especifica los requisitos para las bombas centrífugas, incluyendo bombas de funcionamiento en sentido inverso de recuperación de energía como las turbinas hidráulicas, para su uso en petróleo, petroquímica, industria del gas y proceso de los servicios. No cubre bombas sellantes. Esta norma internacional es aplicable a bombas dominada, entre rodamientos bombas y bombas verticalmente suspendidas. En esta norma el artículo 8 se aplica a determinados tipos de bombas. Todas las demás cláusulas de esta norma internacional se aplican a todos los tipos de bombas.

Ver Norma que se encuentra en formato digital en el CD de datos de esta Monografía

9.3 API 682

Cabe aclarar que la Norma API 682, contiene recomendaciones y estándares relacionados con el ámbito de sellos mecánicos.

Esta norma ya cuenta con dos ediciones, en este aparte se hablarán de las mismas, sus cambios y sus actualizaciones. (API-682, Capacitación John Crane)

9.3.1 Descripción del API-682 Primera Edición

- Liberado en Octubre de 1994.
- Primer Estándar completo para sellos.
- Intenta proveer por defecto soluciones de sellado

9.3.2 Conceptos introducidos en la primera edición de API 682

*- **Misión:** Este estándar está diseñado para que los equipos más comúnmente suplidos tengan por defecto una alta probabilidad de reunir el objetivo de por lo menos tres años de servicio interrumpidos cumpliendo con la regulación de emisiones.*

9.3.3 Contenido de la norma: El contenido de esta norma se resume básicamente a los siguientes temas.

Tema 1. Tipos de Sellos: Se enfoca en tres tipos de sellos:

➤ Tipo A:

Sello balanceado de empuje. Con Sellantes secundarios tipo O-rings y puede tener las siguientes configuraciones

Multiresortes estándar, monoresorte opcional

Elemento flexible rotativo estándar.

Elemento flexible estacionario, opcional

➤ **Tipo B**

Sello sencillo de fuelle metálico rotativo para baja temperatura, estándar.

Elemento flexible estacionario, opcional.

Sellantes secundarios O-rings

➤ **Tipo C**

Sello sencillo de fuelle metálico estacionario para alta temperatura, estándar.

El sello de fuelle metálico puede ser rotativo, opcional.

Sellantes secundarios de grafito flexible

- *cada uno de estos será estudiado mas adelante en el capitulo de sellos mecánicos*

Tema 2. Arreglos: se enfoca en tres arreglos

➤ **Arreglo 1:**

Sello sencillo (Tipo A, B ó C.)

➤ **Arreglo 2:**

Sello dual No-Presurizado (Tipo A, B ó C.)

➤ **Arreglo 3:**

Sello dual presurizado (Tipo A, B ó C.)

Tema 3. Nueva codificación de materiales

Códigos de Materiales para Sellos Mecánicos Sencillos

SELLO SENCILLO	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES	PLAN API	CABEZAL SELLO	TAMAÑO SELLO
Código (A, B, C)	Códigos 2 – Letras	*	“R” para Rotativo o, “S” para Estacionario	centésimas de Pulgadas (ejemplo 1-1/4” es 125) Métricos en Centímetros (ejemplo 60 mm es 6)

* En un sello sencillo con dos planes API (por ejemplo Plan 11 y un Plan 62), se escriben los dos códigos separados con un guión (igual que para sellos duales).

Ejemplo:

APS/23/R/200 = Sello de empuje sencillo, monoresorte con anillo de bombeo, Plan 23, cabezal rotativo, tamaño 2 pulgadas.

A	PS	23	R	200
Sello Empuje	Dispositivo de Circulación interna Mono resorte	Plan API 23	Rotativo	Tamaño Sello = 2”

Ejemplo: A-AP/11-52/R-R/200-175

Sello de empuje, arreglo 2 (dual no presurizado).

El sello interno no tiene características especiales,

El sello externo tiene un dispositivo de circulación interno.

El sello interno es lubricado con el Plan 11

El sello externo es lubricado con un líquido amortiguador no presurizado (Plan 52).

Ambos sellos son rotativos.

El sello interno es de 2 pulgadas y el sello externo de 1-3/4 pulgadas.

A	AP	11	52	R-R	200	175
Sello interno de empuje Sin Características Especiales	Sello Externo Con Dispositivo de Circulación Interno	Sello interno Plan API	Sello Externo Plan API	Interno - Externo Sello Rotativo	Tamaño Sello interno 2”	Tamaño Sello Externo 1-3/4”

Tema 4. Materiales estándar

Características Opcionales / Materiales (1er Símbolo, 2do y 3er Dígito)

<u>Código</u>	<u>Especial Descripción</u>
A	Resistant Carbón
B	buna-N (Nitrile, NBR)
C	Resistant Perfluoroelastomero
H	dos Caras Duras, Carburo de Silicio vs. Carburo de Tungsteno
K	perfluoroelastomero (Kalrez o Equivalente)
P	dispositivo de Circulación Interno, Anillo de Bombeo
S	resorte Único

A continuación veremos los códigos de materiales para fabricación de componentes del sello mecánico según la norma **API 682 Materiales estándar**

Componentes	Material
Anillo primario	carbón
Asiento	Carburo de Silicio Reaction Bonded
O-Rings	Fluoroelastomero (Viton o Equivalente)
Resortes	Hastelloy C
Camisas	Acero Inoxidable 316 l
Buje	Carbón

9.3.4 Limitaciones a la Primera Edición

- Sólo es aplicable a bombas fabricadas a partir del API 610 7ma Edición.
- No se aplica a bombas ANSI.
- Aplica sólo a sellos que son lubricados con líquidos.
- No incluye sellos de trabajo en seco, de caras no contactantes o lubricadas por gas

9.3.5 Aplicaciones de la Primera Edición

- Tamaños de sellos desde 30 mm a 120 mm (1.5" a 4.5")
- Temperaturas desde - 40 °C a 260 °C (- 40 °F a 500 °F)
- Presiones desde 0 bar. a 34.5 bar. (0 psia a 515 psia)
- Aplica a aproximadamente el 90% de los servicios en refinerías.

Es posible utilizarla para Fluidos:

- ***No hidrocarburos.***
 - Agua y soluciones acuosas.
 - Agua agria (presencia de H₂S).
 - Cáusticos.
 - Aminas.
 - Algunos ácidos
- **Hidrocarburos**
 - Hidrocarburos que vaporizan.
 - Hidrocarburos que no vaporizan

9.4 Descripción de los Cambios en la Segunda Edición.

En la segunda edición de esta norma los cambios se enfocan en los siguientes puntos:

9.4.1 Extensión del alcance: Se amplía la aplicación de esta norma para bombas fabricadas de acuerdo a las siguientes normas:

- ✓ **API-610 (ISO 13709)** – Bombas para trabajo pesado normalmente usadas en refinerías.
 - ✓ **ANSI B 73 e ISO 3069 Frame C** – Bombas normalmente usadas en la industria química.
- Presión Máxima: 615 PSI (42 bar.)
 - Temperatura Máxima: 750°F (400 C)

9.4.2 Separación de estándares de bombas y sellos.

Las configuraciones de sellos cubiertas por este estándar se clasifican en:

- Tres Categorías (1, 2, 3)
- Tres Arreglos (1, 2, 3)

En los arreglos 2 y 3 se consiguen en tres orientaciones:

Cara-Espalda (Face-to-Back): FB (**Face-to-back**), **arreglo tandem en la anterior terminología:** es un arreglo dual en donde un asiento es montado entre dos cabezales de sello y un cabezal de sellos es montado entre dos asientos

Espalda-Espalda (Back-to-Back): **BB (Back-to-back)**: es un arreglo dual en donde los elementos flexibles son montados entre dos asientos

Cara-Cara (Face-to-Face): es un arreglo dual en donde un asiento es montado entre los cabezales de sello

- Tres Tipos (A, B, C)

9.4.3 Nuevos Tipos de Sellos y métodos de sellado.

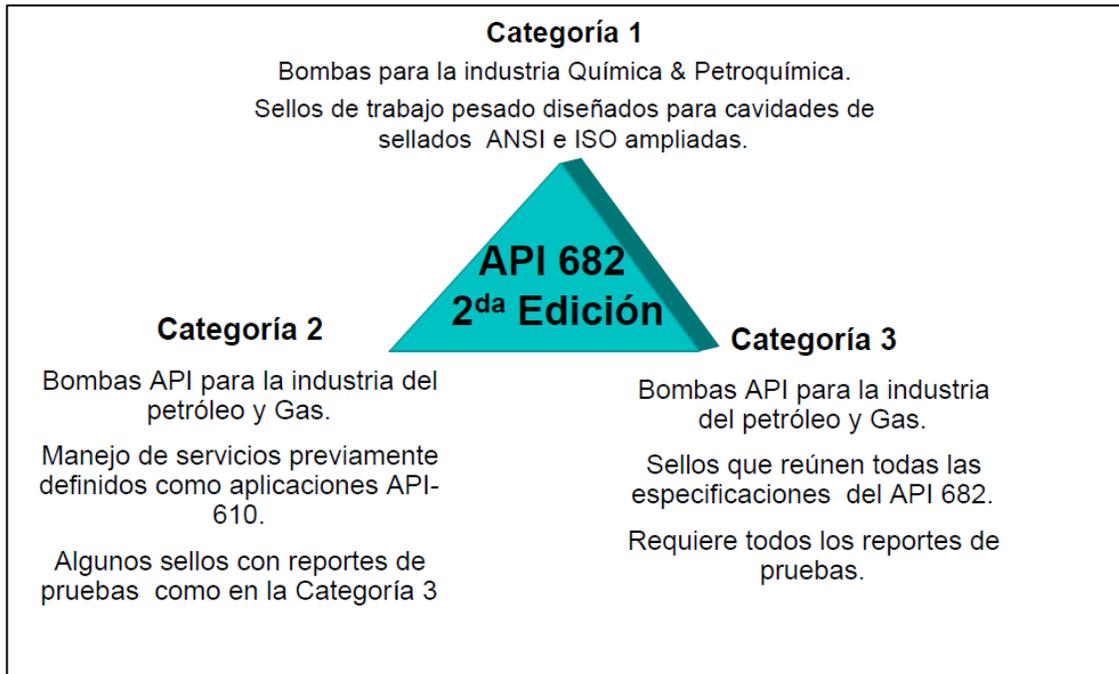
Son introducidos lo sellos siguientes:

- **Sellos contenedores (húmedos o secos) “NC”** : Son sellos donde las caras de contacto están diseñadas para crear intencionalmente fuerzas aerodinámicas o hidrodinámicas para sostener una separación específica entre ellas pueden ser: De no contacto, trabajo en seco. o De contacto, trabajo en seco.
- **Sello húmedo de no contacto**
- **Sellos duales, trabajo en seco**

En lo que respecta a los nuevos métodos de sellado esta norma contempla:

Las siguientes categorías: (Ver figura 76)

Figura 76. Categorías contempladas por la API 682, para aplicación de sellos mecánicos



Capacitación Introducción a la API 682. John Crane

A continuación expondremos más ampliamente cada una de estas categorías:
(Ver figura 77)

❖ Categoría 1

Los sellos de la categoría 1 se recomiendan preferiblemente para el uso en cavidades de sellado que no cumplen con ISO 13709, como las ANSI/ASME B73.1, ANSI/ASME B73.2 e ISO 3069 Frame C. Su uso se limita a temperaturas de -40°C (-40°F) a 260°C (500°F) y presiones absolutas de hasta 22 bares. (315 PSI)

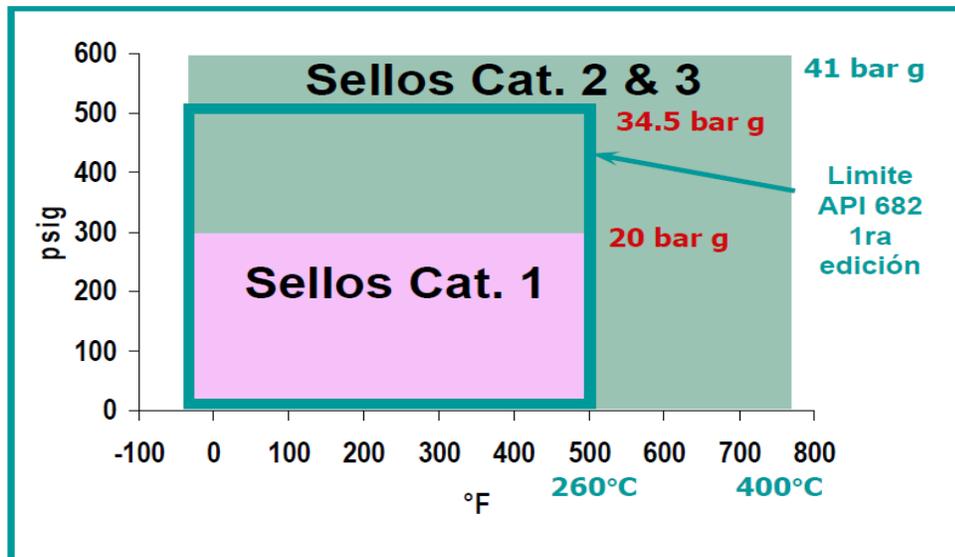
❖ Categoría 2

Los sellos de la categoría 2 se recomiendan para las cavidades de sellado que reúnen los requisitos dimensionales del ISO 13709. Su uso se limita para sellar temperaturas en la cavidad de sellado de -40°C (-40°F) a 400°C (750°F) y presiones absolutas de hasta 42 bar. (615 psi).

❖ Categoría 3

Los sellos de la categoría 3 proporcionan el diseño más rigurosamente probado y documentado. Es un requerimiento que el diseño del sello sea calificado y probado en el líquido requerido de acuerdo con la cláusula 10 y proporcionado todos los requisitos de los datos especificados en la cláusula 11. Reúnen los requerimientos para las cavidades de sellado ISO13709 (o equivalente). Su uso se limita para sellar temperaturas de la cavidad de sellado de -40°C (-40°F) a 400°C (750°F) y presiones absolutas de hasta 42 bar. (615 PSI).

Figura 77. Gráfica de Aplicación de sellos mecánicos de acuerdo a rangos de presión y temperatura



9.4.4 Códigos para Sellos Mecánicos API 682, 2da Edición

Los códigos de este sistema son una variación de los cinco caracteres usados por muchos años para describir las características en ISO 13709. Los códigos del sello son usados especialmente cuando se trabajan con nuevos proyectos que pueden tener muchas bombas y sellos. Estos códigos no suministran información acerca de los detalles del sello, para esto se debe chequear la hoja de datos De acuerdo con este estándar los sellos mecánicos pueden ser descritos de manera general usando una codificación de cuatro segmentos, el primer segmento es una letra “C” acompañada por el número de la categoría, el segundo una letra “A” acompañada por el número del arreglo, el tercero una letra con el tipo de sello y el cuarto los números que indican los planes de lubricación y protección

Primera letra: Categoría del sello (1, 2, 3)

El número de la categoría lleva el prefijo “C”.

NOTA: Los códigos (B) para balanceados o (U) para no balanceados son innecesarios porque todos los sellos API 682 son balanceados.

Segunda letra: Arreglo del sello (1, 2, 3)

El número del arreglo lleva el prefijo “A”.

NOTA: Los códigos para Sencillo (S), Tandem (T) o Doble (D) son obsoletos y pueden malinterpretarse.

Tercera letra: Tipo de sello (A, B, C)

La letra no lleva número acompañante.

NOTA: Los códigos para brida Plana (P), con buje de restricción para quench, venteo y drenaje (T) y con dispositivo auxiliar de sellado (A) están obsoletos debido a que cada tipo de sello contiene las especificaciones de las características de la brida.

Cuarto Número(s): Arreglo del plan

Señala el número de uno o más arreglos de planes

➤ **Notas de referencia**

NOTA 1: Los códigos para el material de los empaques no se indican pues no se ven como costo principal para el desarrollo temprano del proyecto.

NOTA 2: Si una categoría o arreglo se describe con la nueva codificación, se asume como el código del sello. Si se presentan conflictos, los códigos de la categoría y del arreglo se toman del precedente.

Veamos el siguiente ejemplo para dar mayor claridad

➤ **EJEMPLO 1**

Código C1A1A11

C1 = Categoría 1,

A1= Arreglo 1 (Sello Sencillo),

A = Tipo A (Sello de Empuje),

11= Plan API 11.

➤ **EJEMPLO 2**

C3A2C1152

C3 = Categoría 3

A2 = Arreglo 2 (no presurizado)

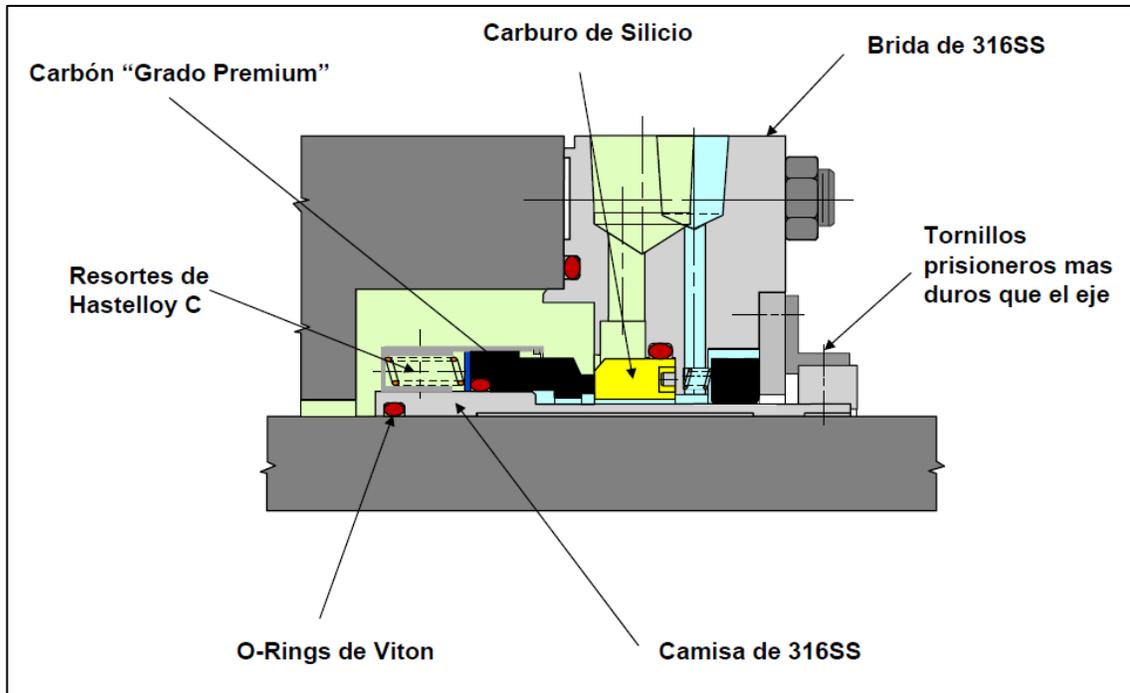
C = Tipo C (fuelle metálico estacionario)

11 52 = Plan 11 y Plan 52

9.5 Requerimientos Generales de Diseño para API 682, 2da Edición

De forma particular la API 682 establece estándares en lo referente a los materiales de fabricación de los componentes del sello mecánico, veamos en una figura cual debe ser el material de fabricación estándar para un sello. (Ver figura 45)

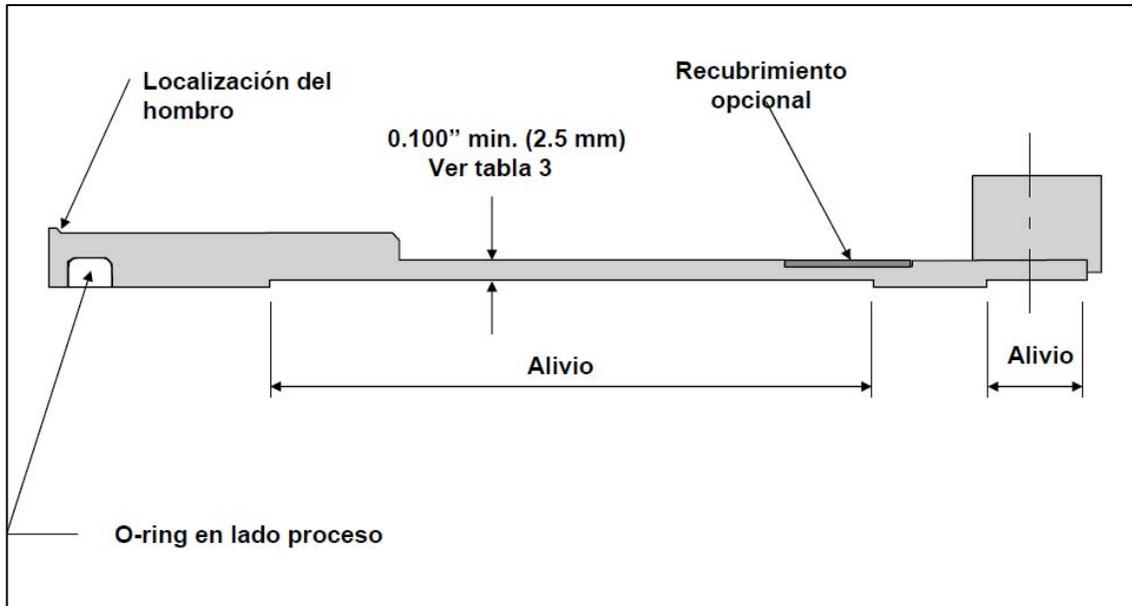
Figura 78. Sello mecánico tipo cartucho, con señalización de materiales de componentes según API 682, 2 edición



Capacitación Introducción a la API 682. John Crane

De forma Particular, hay requerimientos para cada componente, empezaremos por la **camisa del sello** la cual debe estar diseñada de acuerdo a las siguientes medidas: (Ver figura 79 y 80)

Figura 79. Requerimientos dimensionales de camisa para S. mecánico según API 682, 2 edición



Capacitación Introducción a la API 682. John Crane

➤ **Camisa de una pieza**

- ✓ Debe tener un hombro para localizar los elementos rotativos
- ✓ Mínimo espesor 0.100" (2.5 mm)
- ✓ Dependiendo del diámetro del eje tener en cuenta:

Ejes < 2.25" (50 mm): 0.100 (2.5 mm)

Ejes de 2.25 a 3.25" (50 – 80 mm): 0.150 (3.8 mm)

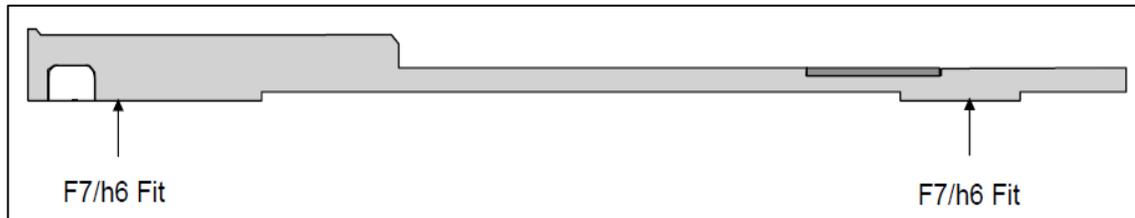
Ejes > 3.25" (80 mm): 0.200 (5.1 mm)

- ✓ Debe tener un dispositivo de fijación para no cargar las caras del sello durante la instalación o remoción del cartucho
- ✓ Usar O-rings para sellar la camisa al eje
- ✓ Instalar el O-ring en la camisa del lado del impulsor
- ✓ Se puede usar grafito flexible en el lado atmosférico de la camisa
- ✓ Debe quedar confinado entre la camisa y el eje

El agujero interno debe contar con una zona de alivio a lo largo de la camisa con ajustes en los extremos

El agujero interno y el diámetro externo deben estar concéntricos con 0.001" (.025 mm) TIR

Figura 80. Requerimientos dimensionales de camisa para S. mecánico según API 682, 2da edición



Capacitación Introducción a la API 682. John Crane

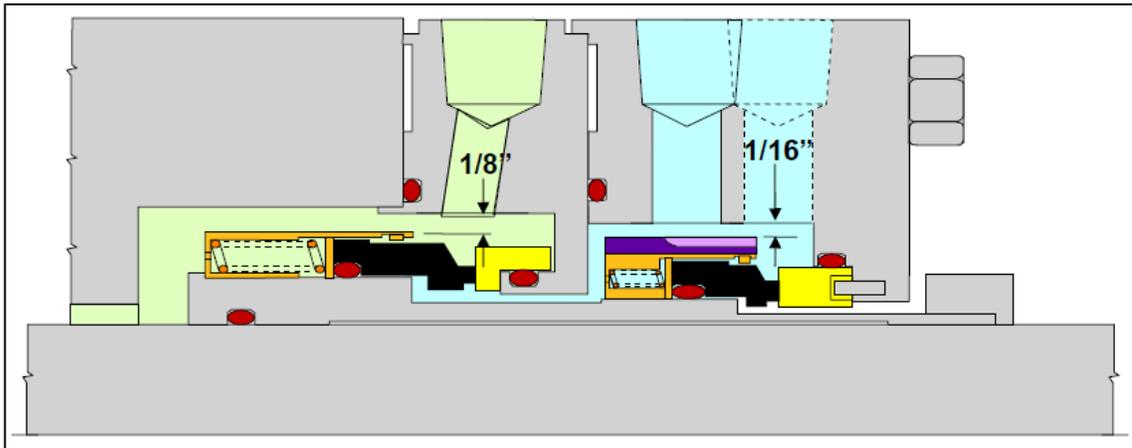
Ahora continuemos con los **Tornillos Prisioneros para el Collar de Arrastre**

- ✓ N° Máximo de tornillos ocho (8) Mas duros que el eje
- ✓ Perforaciones taladradas en el eje son aceptadas pero no recomendadas
- ✓ Puede usarse anillos partidos para el empuje en el collar de arrastre
- ✓ Los tornillos prisioneros no deben atravesar la camisa a menos que tenga un alivio en el agujero interno [para evitar daños durante la remoción]

De forma particular para **la brida se debe cumplir con:** (Ver figura 81, 82 y 83)

- ✓ El mínimo claro radial es de 1/8" (3 mm) excepto en el anillo de bombeo que puede ser 1/16" (1.5 mm)
- ✓ Las bridas deben ser mecanizadas de una pieza simple labrada o de una barra. NO requiere prueba hidrostática

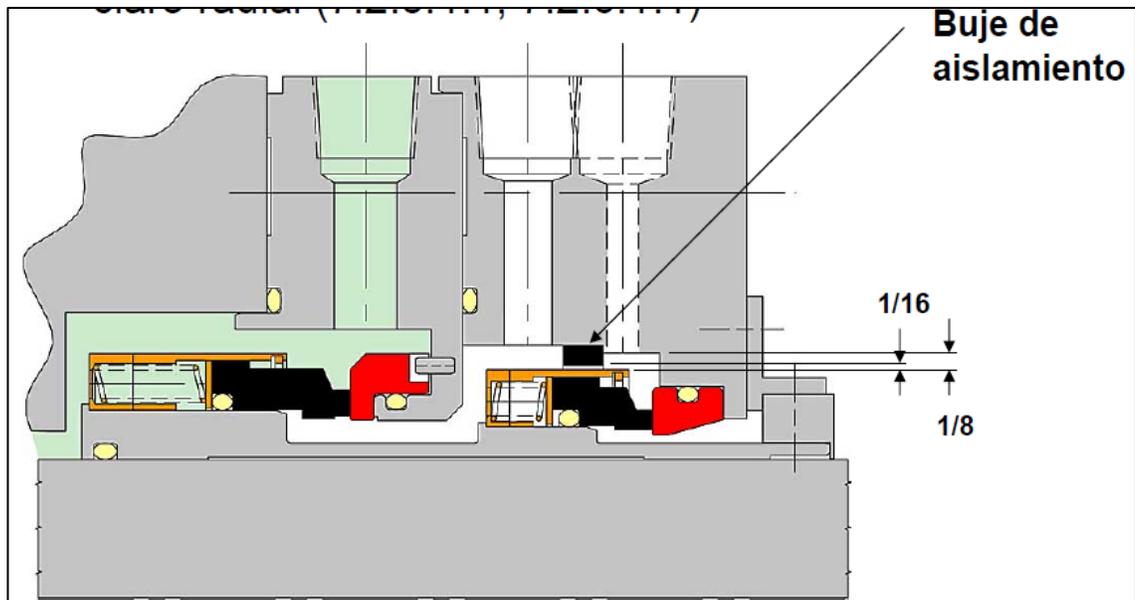
Figura 81. Requerimientos dimensionales de bridas para S. mecánico según API 682, 2da edición



Capacitación Introducción a la API 682. John Crane

- ✓ Para sellos contenedores se debe fabricar un buje de aislamiento de 1/16" (1,5 mm) de claro radial (7.2.5.1.1; 7.2.6.1.1)

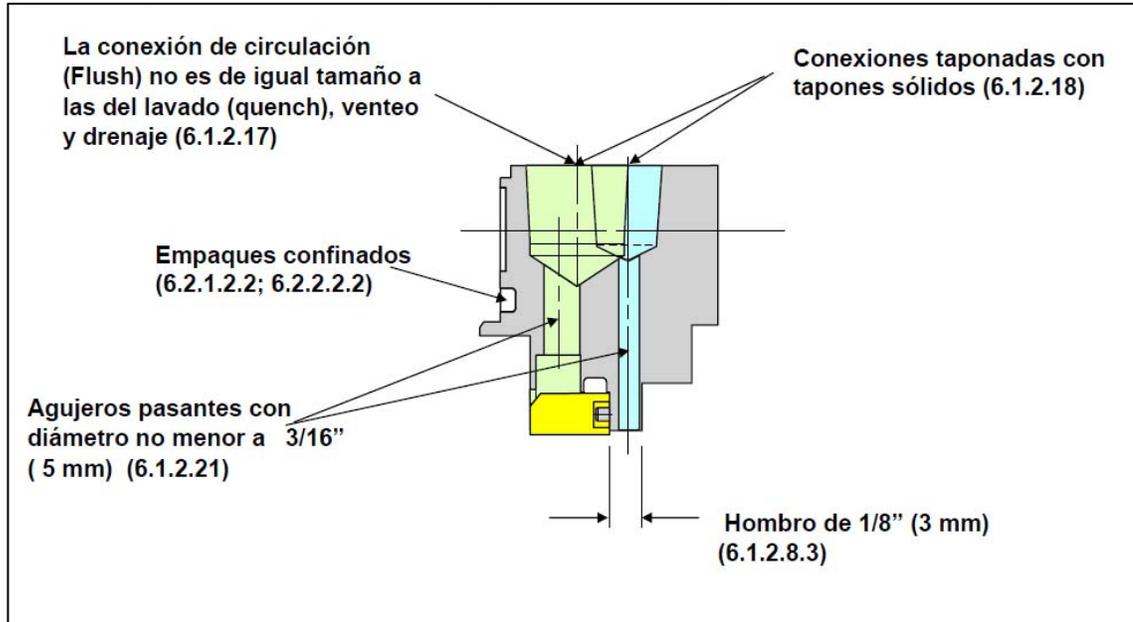
Figura 82. Requerimientos dimensionales de bridas de sellos contenedores según API 682, 2da edición



Capacitación Introducción a la API 682. John Crane

De igual forma las bridas están dotadas de conductos los cuales deben cumplir con ciertas normas.

Figura 83. Requerimientos de conductos de bridas para sello mecánicos según API 682, 2da edición



Capacitación Introducción a la API 682. John Crane

En la brida de los sellos que cumplen API 682, 2da edición están marcados los símbolos indicados en la tabla 2 y 3

- ✓ La tabla 1 indica la localización de las conexiones
- ✓ La tabla 1 indica el tamaño de las conexiones

Excepciones a la tabla 2 y 3

- ✓ Bombas pequeñas
- ✓ Espacios limitados

Tabla 2. Símbolos para Conexiones en la Brida, Sellos Sencillos

Símbolo	Conexión	Localización	Tamaño
F	Circulación, Inyección (Flush)	0	1/2
D	Drenaje	180	3/8
Q	Lavado, Sofoque (Quench)	90	3/8
FI	Entrada Flush (Plan 23 solamente)	180	1/2
FO	Salida Flush (Plan 23 solamente)	0	1/2

Localización:

Bombas Horizontales: 0 Grado = Punto mas alto cuadrante superior

Bombas Verticales: "F" define 0 grado

Capacitación Introducción a la API 682. John Crane

Tabla 3. Símbolos para Conexiones en la Brida, Sellos Duales

Símbolo	Conexión	Localización	Tamaño
LBI	Entrada Líquido Amortiguador/ Barrera (Buffer/Barrier In)	180	1/2
LBO	Salida Líquido Amortiguador/ Barrera (Buffer/Barrier Out)	0	1/2
CSV	Venteo Sello Contenedor (Containment Seal Vent)	0	1/2
CSD	Drenaje Sello Contenedor (Containment Seal Drain)	180	1/2
GBI	Entrada Gas Barrera (Gas Barrier In)	0	1/4
GBO	Salida Gas Barrera (Gas Barrier Out)	180	1/2

Capacitación Introducción a la API 682. John Crane

Otra parte importante de los sellos mecánicos es el denominado **Anillos de Bombeo**, no todos los sellos lo llevan, su función es ayudar a la circulación del fluido del plan de sellado, esta parte del sello debe estar bajo las siguientes recomendaciones:

- ✓ Los sistemas no deben ser diseñados solo para principio termosifónico
- ✓ Sistemas con anillos de bombeo, deben tener la entrada por la parte inferior y la salida por la parte mas alta
- ✓ El anillo de bombeo debe estar correctamente alineado con las conexiones de entrada y salida
- ✓ El claro radial entre el anillo de bombeo y el componente estacionario debe ser 1/16" (1.5 mm) o mayor

9.6 Materiales de fabricación de componentes de sellos mecánicos según API 682, 2da edición.

De acuerdo a la norma los **Materiales para Camisas y Bridas** debe ser igual o mejor que el material del cuerpo de la bomba **316SS mínimo**

➤ **Material para Resortes**

Hastelloy C para resortes múltiples (pequeños) 316SS para resortes únicos

➤ **Material para Fuelles Metálicos**

Tipo B el fuelle es de Hastelloy-C

Tipo C el fuelle es de Inconel 718

➤ **Material para Anillos Primarios**

Por defecto Carbón

- ✓ "Grado premium, resistente al ampollamiento"
- ✓ Debe ser probado en pruebas de calificación

➤ **Materiales Opcionales**

- ✓ Por defecto para caras duras es SiC vs. SiC (WC opcional)

➤ **Material para Asientos**

Por defecto SiC

Para la Categoría 1 se recomienda SiC Alfa Sinterizado

- ✓ Usualmente para sellos con trabajo en servicio químico Para la Categoría 2 y 3 se recomienda SiC Reaction Bonded
- ✓ Usualmente para sellos de refinerías⁴⁰.

⁽⁴⁰⁾ Capacitación John Crane. Introducción a la API 682.

10. MANTENIMIENTO DE BOMBAS

GENERALIDADES.

Durante muchos años en todas las ramas de la industria se le ha prestado una atención especial al mantenimiento de bombas por parte del personal de operaciones, confiabilidad, y sin duda alguna el de mantenimiento.

El hecho de que los repuestos y suministro de nuevas bombas, de aleaciones adecuadas y las limitaciones que se presentan con el almacenaje del equipo y sus partes, ha servido para que el mantenimiento sea muy importante debido a que con este se pueden evitar varios tipos de fallas. La invención de nuevos materiales para hacer reparaciones y cambios, métodos de entrenamiento, programas educativos para empleados y comités de conservación de materiales; son factores que han servido para que los empleados que trabajan en la industria se den cuenta de la importancia de tener un gran cuidado con el equipo que está bajo su responsabilidad.

Por otra parte, un sistema de bombeo no se mantiene sólo. La frecuencia de mantenimiento no es la misma para todas las bombas, sino que varía con las condiciones del servicio. Una bomba que maneje líquidos limpios, no corrosivos, requiere mucho menos mantenimiento que una bomba del mismo tamaño y tipo que tenga que manejar líquidos corrosivos o arenisca.

Una inspección periódica resulta económica en comparación con las apagadas forzosas debidas a daños o fallas de las diferentes partes de la bomba. Las inspecciones de la bomba deben hacerse bimestral o anualmente, según la clase de servicio; mientras más pesado sea el servicio más frecuentemente debe ser la inspección. La inspección debe ser completa y debe incluir un chequeo cuidadoso

de las tolerancias entre las partes giratorias y las estacionarias, así como el estado en que se encuentran todas las partes expuestas a roce o a daños causados por arenisca y/o corrosión.

Algo muy importante para el mantenimiento de bombas es tener establecido un buen programa de mantenimiento. Los programas de mantenimiento, inicialmente fueron realizados en base a recomendaciones de los fabricantes del equipo, donde de antemano, se aseguraban en muchas ocasiones, de no correr ningún riesgo de falla, protegiendo la garantía, a costa de incrementar la frecuencia de mantenimiento. Con el tiempo se han mejorado en algunos casos con la experiencia del personal dichos programas, se han mejorado también los métodos de trabajo, el personal tiene mayor experiencia, se han sustituido o modernizado los equipos, el desempeño del equipo es satisfactorio y los objetivos en los índices de Mantenimiento son ya fácilmente alcanzables, por lo tanto adecuar las frecuencias de Mantenimiento del equipo a las condiciones actuales es ya requerido.

10.1 COMO HACERLE MANTENIMIENTO A UNA BOMBA

“Debido a que las bombas representan una parte vital de las operaciones de un proyecto y su adquisición constituye un proceso difícil y lento, hay que dedicar atención especial a la operación y al cuidado de las bombas. El objetivo principal es tratar de obtener el máximo de eficiencia y el mínimo de reparaciones.

Si se siguen unas cuantas instrucciones al armar y desarmar la bomba se pueden economizar tiempo, trabajo y problemas.

10.1.1 Aspectos generales mantenimiento y reparación: A la hora de intervenir una bomba se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- No debe desmontarse totalmente la bomba para su reparación.
- Es necesario un cuidado especial al examinar y reacondicionar los ajustes.
- Limpiar completamente los conductos de agua de la carcasa y repintarlos.
- Al iniciar una revisión total deben tenerse disponibles juntas nuevas.
- Estudiar la erosión la corrosión y los efectos de cavitación en los impulsores.
- Verificar la concentricidad de los nuevos anillos de desgaste antes de montarlos en los impulsores.
- Revisar todas las partes montadas en el rotor.
- Llevar un registro completo de las inspecciones y reparaciones⁴¹.

❖ ***Al desarmar la bomba:***

Es importante conocer de forma clara los procedimientos que se deben hacer para el desarme de un equipo, es sencillo solo si se tiene los conocimientos previos para realizar esta tarea, a continuación se darán pautas de cómo hacerlo según capacitación: *Fundamentos de bombas Centrifugas de J. Crane.*

“No es necesario desconectar la tubería de succión o de descarga ni cambiar la posición de la bomba. La tubería auxiliar debe desconectarse sólo en los puntos en que sea necesario para quitar una parte, excepto cuando hay que quitar la bomba de la base.

⁽⁴¹⁾ Experiencia, Mantenimiento y desmontaje de bomba centrífuga P-2^a de Abocol

Después de haber desconectado la tubería, debe amarrarse un trapo limpio en los extremos o aberturas del tubo para evitar la entrada de cuerpos extraños.

IMPORTANTE: Emplear siempre un extractor para quitar un acople del eje.

❖ ***Después de desarmar la bomba***

Antes de hacer la inspección y el chequeo, limpie las partes cuidadosamente. Los residuos gomosos y espesos pueden quitarse a vapor. El lodo, el coque o depósitos de sustancias extrañas similares a las anteriores pueden quitarse por medio de un chorro de arena, trabajo que se hace cuidadosamente para que no forme huecos ni dañe las superficies labradas de la máquina.

❖ **Inspección de componentes.**

Durante el mantenimiento preventivo/correctivo de cualquier equipo, se genera un reporte de las condiciones en el cual se encuentra el equipo. Este tipo de inspecciones nos permiten:

-Llevar historial de reparaciones del equipo.

-Determinar, en forma sistemática, el mecanismo de falla de componente(s) aplicando correcciones necesarias, evitando su recurrencia.

Estándares de calidad exigen disponer de formatos o reportes de inspección en los cuales se reflejen las condiciones en la cual se encontraron los componentes de un equipo durante su desarme.

IMPORTANTE: Al desarmar una bomba centrífuga se debe Inspeccionar primordialmente la condición de los siguientes componentes:

- Cojinetes (Desgaste, contaminantes, holguras, tipo, etc.)
- Eje en la zona contacto con los cojinetes (Rayas, holguras)
- Tambor o disco de balance (Desgaste, holguras)
- Disco de empuje (Desgaste, rayas)
- Camisas (Desgaste, rayas, holguras)
- Bujes (Desgaste, holguras)
- Cajas de cojinetes (Holguras)
- Anillos de lubricación (Desgaste, excentricidad)
- Anillos de desgaste (Holguras)
- Voluta y/o difusor (Desgaste, erosión)
- Impulsor (Desgaste, erosión, diámetro)
- Sello mecánico (Desgaste, contaminantes, etc.).”⁴¹

10.2 REPARACIÓN DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

Durante la reparación de una bomba centrífuga es necesario realizar un reporte, en formato preestablecido, donde se detallen las características de los componentes utilizados para la reparación (nuevos, fabricados, reparados) y sus respectivas holguras, estas según lo indicado por el fabricante.

⁽⁴¹⁾ Experiencia, Mantenimiento y desmontaje de bomba centrífuga P-2^a de Abocol

❖ **Puntos de atención antes de reparar una bomba centrífuga:**

- Disponer de la información del fabricante (Dibujos, holguras, etc.).
- Disponer de herramientas apropiadas para el ensamblaje. Algunos casos, requieren herramientas especiales.

❖ **¿Qué verificar en una reparación de una bomba centrífuga?**

Se harán según recomendación del fabricante (OEM):

- Rectitud o deflexión del eje.
- Holgura de muñón – cojinete.
- Tipo de cojinetes.
- Holgura de las cajas de cojinetes.
- Alineación cajas cojinetes (concentricidad con carcasa).
- Superficie de contacto entre carcasa y tapa (Planitud, suciedad, etc.)
- Holgura entre anillos de desgaste.
- Ensamble del rotor (Impulsor y eje) y balanceo dinámico.
- Holgura de bujes (Garganta, inter-etapas, etc.)
- Espesor de empaquetaduras del cuerpo O alineación y buen estado del sello mecánico
- Posicionamiento axial del rotor respecto a la voluta.
- Juego axial final del rotor.
- Girar ensamble para verificar que no exista roce interno⁴²

⁽⁴²⁾ Capacitación: Fundamentos de bombas Centrifugas. John Crane

❖ Reparaciones Puntuales.

En la práctica existen conceptos de reparación que están destinados a las necesidades de los clientes, a continuación nombraremos estas: (Según capacitación: Retrofits y Rerateo, Flowserve)

1. **“Retrofits:** Los **“Retrofits”**, son un trabajo de Aftermarket”, que permite a los clientes, mejorar las condiciones de operación, confiabilidad y vida útil de los equipos existentes.
2. **Rerateo Hidráulico.** En la industria se dan cambios en las condiciones de los procesos y flujo bombeado, estos cambios **pueden ser definidos en una bomba centrífuga como los “cambios hidráulicos” que se adapten mejor a las condiciones actuales o futuras del proceso, a esto se le llama rerateo hidráulico, adaptar la hidráulica del equipo a las condiciones que requiere el nuevo el proceso**⁴³.

10.3 REENSAMBLAJE

La bomba hidráulica es una máquina construida con precisión. Las tolerancias entre las partes giratorias y las estacionarias son muy pequeñas y debe ejercerse el mayor cuidado para ensamblar adecuadamente sus partes con el objeto de conservar estas tolerancias. El eje debe estar completamente recto y todas las partes deben estar absolutamente limpias. Un eje torcido, mugre o lodo en la cara del eje impulsor, o sobre la camisa de un eje puede ser causa de fallas o daños en el futuro.

⁽⁴³⁾ Capacitación: Retrofits y Rerateo, Flowserve.

Los impulsores, las camisas del espaciador y las del eje constituyen un ensamblaje resbaladizo bastante ajustado al eje. Debe usarse una pasta delgada de aceite al ensamblar estas partes en el eje.

Los acoples de bomba, excepto los de tipo roscado, constituyen un ajuste que se encogerá ligeramente sobre el eje; con el objeto de ensamblar el acople con facilidad y precisión, el acople debe expandirse calentándolo a 300°F, en un baño de aceite y ensamblarse con el eje mientras está caliente.

10.4 PRUEBAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

Las bombas centrifugas son equipos diseñados para cumplir una misión dentro de un proceso industrial de una manera optima, sin embargo, son equipos delicados que merecen mucho cuidado en cuanto a su manufacturación, reparación y operación, es por esta razón que para que un equipo de bombeo sea confiable debe ser evaluado en todos los aspectos posibles.

En referencia a lo antes mencionado, las pruebas para evaluar los aspectos primordiales de las bombas, no están hechas a la deriva, existen pruebas estandarizadas de acuerdo a las normas existentes para lograr este objetivo. (en esta monografía nos basaremos en la norma API-610 décima edición para describir las pruebas.)

Pruebas Necesarias.

❖ Prueba hidrostática:

La prueba hidrostática consiste en una prueba de resistencia con el fin de medir la capacidad de dilatación (expansión) del material en respuesta a la exposición a altas presiones. Para las bombas centrifugas se cumplir con los siguientes lineamientos de forma general:

- Todos los componentes de la carcasa de presión deben probarse hidrostáticamente con agua a una temperatura determinada. (temperatura de 16 °C (60°F) mínimo)
- Las bombas (de cualquier material) deben probarse a un mínimo de 1.5 veces la presión máxima permisible en la carcasa.
- El equipo auxiliar expuesto al fluido de proceso, si es fabricado por soldadura, debe probarse por lo menos a 1.5 veces la máxima presión de operación (mínimo 1034 kPa (150 lb/pulg²)).
- Si las partes a probar operan a una temperatura donde el esfuerzo del material esté por debajo de su esfuerzo a la temperatura de prueba, entonces la presión de prueba debe multiplicarse por el factor obtenido de dividir el esfuerzo a la temperatura de prueba entre el esfuerzo a la temperatura de operación.
- Las pruebas deben mantenerse el tiempo suficiente que permita examinar completamente todas las partes sujetas a presión. Se considera satisfactoria la prueba hidrostática cuando no se observen

escapes o fugas en la carcasa o sus juntas durante un mínimo de 30 minutos.

Nota: Para profundizar sobre la prueba hidrostática ver Norma API-610, 10 edición pagina 64, contenida en el CD de datos de esta monografía

❖ **Prueba de comportamiento.**

La prueba de comportamiento debe realizarse de acuerdo con los estándares del Instituto de Hidráulica o sus equivalentes, de forma general se nombran los siguientes lineamientos que el fabricante de la bomba debe evaluar a la misma.

- La velocidad de prueba debe estar dentro del 3% de la velocidad nominal incluida en la oferta y en los dibujos certificados. Los resultados de la prueba deben convertirse a los correspondientes a la velocidad nominal
- El proveedor debe mantener una bitácora completa y detallada de todas las pruebas finales y suministrar las copias requeridas, incluyendo datos y curvas de pruebas certificadas.
- Los fabricantes deben operar la bomba en su banco de prueba el tiempo suficiente para que obtenga en cinco puntos los datos completos de prueba, (carga, flujo, potencia y vibración). Estos puntos deben ser:
 1. A flujo cero (en este punto no es necesario los datos de vibración y NPSH).
 2. A flujo mínimo continuo estable.
 3. A la mitad del flujo mínimo y nominal.
 4. A flujo nominal.
 5. A 120% del BEP.

Ahora bien, para la realización del banco de pruebas, de igual forma se debe cumplir con unas especificaciones, se considera pertinente la mención de forma general de algunos estos lineamientos.

- ***Selección de los instrumentos de medición***

“Mediante el banco de ensayos se podrá determinar las magnitudes de las variables hidráulicas de funcionamiento de la bomba centrífuga, tales como: altura efectiva, potencia de accionamiento, rendimiento global. Para ello se hace necesario medir las variables involucradas que permitan determinar dichas variables hidráulicas fundamentales por lo que se harán las mediciones de: presión a la descarga, presión en la succión, velocidad del fluido, temperatura del fluido, velocidad de giro del motor, voltaje, intensidad de corriente y factor de potencia”⁽⁴⁴⁾

.Cada instrumento tiene límites de mediciones tales, que los valores donde se va a mover la variable estén entre un 60 % a un 80 % del intervalo del instrumento, de esta manera se busca seleccionar el instrumento que proporcione la mejor apreciación posible.

Presión: Las presiones que se requieren medir son la presión en la succión y la de descarga de la bomba. Para el caso de la succión se requiere de un vacuómetro que permite medir presiones de vacío.

Para el caso de la descarga se empleará un manómetro, ya que como es de esperarse la presión en este punto es mayor que la presión atmosférica. Para la selección de este instrumento es necesario conocer el valor máximo de presión que puede presentarse en este punto.

Para establecer la posición más apropiada en la cual debe instalarse o colocarse el instrumento, se considera la norma ASME PTC 8.2 - 1990; de acuerdo con la sección 4 párrafo 4.7 de esta norma, se tiene que los instrumentos para medir presión deben ser colocados a una distancia mínima de la succión de la bomba de dos veces el diámetro de la tubería.

Caudal: La selección eficaz de un medidor de caudal exige un conocimiento práctico de la tecnología del medidor, además de un profundo conocimiento del proceso y del fluido que se quiere medir. Cuando la medida del caudal se utiliza con el propósito de cuantificar un consumo debe ser lo más precisa posible, es por esta razón que en los bancos de prueba se hace necesario la presencia de un caudalímetro, lo más preciso posible y cumplimiento con los estándares y normas de calibración y disposición del mismo en el banco.

Temperatura: Se quiere conocer no sólo la temperatura del fluido, sino también la temperatura superficial de la bomba y del motor. Para el caso del primero, es recomendable emplear un termómetro fijo colocando en el tanque de almacenamiento y un termómetro móvil para conocer la temperatura a la cual opera el equipo de bombeo en los sitios más importantes como son la carcasa de la bomba y la caja de rodamientos.

Velocidad de giro del motor (rpm): Para determinar la velocidad a la cual gira el motor en conjunto con la bomba se recomienda emplear un tacómetro de contacto que requiere estar fijo al eje de rotación⁴⁴.

Nota: Para una información más detallada ir a Asme standar centrifugal pumps PTC 8.2, localizada en el CD de esta monografía

⁽⁴⁴⁾ Asme standar centrifugal pumps PTC 8.2

- Las bombas deben probarse con todos sus sellos instalados. A las bombas con sellos duales, se les debe suministrar un fluido limpio compatible con el medio de prueba, entre los dos sellos. Se debe usar sellos sustitutos cuando exista el riesgo de daño al original, o el fluido de prueba no sea compatible con dicho sello.

Nota: Para profundizar sobre la prueba de desempeño ver Norma API-610,10 edición pagina 67, ubicada en el CD de datos de esta monografía.

Pruebas opcionales.

❖ Prueba de conjunto (unidad completa).

- Cuando sea especificado, la bomba, accionador y todos los sistemas auxiliares que constituyen el sistema de bombeo, deben probarse juntos.

❖ Prueba de nivel de ruido

- Se debe realizar la prueba de nivel de ruido, utilizando como guía las normas ISO 3740, ISO 3744, e ISO 3746

De igual manera existen otras pruebas opcionales como, prueba de resonancia a los soportes de rodamientos, prueba a los equipos auxiliares y prueba de NPSH.

Nota: Para profundizar sobre las pruebas opcionales ver Norma API-610,10 edición pagina 69, contenida en el CD de datos de esta monografía.

10.5 RECOMENDACIONES FINALES PARA EL MANTENIMIENTO DE BOMBAS.

Las siguientes reglas, evidentemente fundamentales, ayudarán a obtener el servicio más seguro, el mantenimiento más económico, y la mayor vida posible para las bombas hidráulicas. El mantenimiento adecuado no comienza con la reparación o la reposición de las piezas dañadas, sino con una buena selección e instalación, es decir, evitando que haya que reponer o reparar. Estas reglas estarán basadas en cuatro temas diferentes: Selección, instalación, operación y mantenimiento.

10.5.1 Selección

La selección de la bomba adecuada para cualquier aplicación entre la multitud **de estilos, tipos y tamaños puede ser difícil para el usuario o el contratista de construcción.**

El mejor método es hacer investigaciones preliminares, llegar a decisiones básicas y selecciones preliminares y analizar la aplicación con el proveedor de la bomba. La clave para hacer la selección correcta de la bomba radica en el conocimiento del sistema en que trabajará la bomba. El ingeniero que especifica una bomba puede hacer una selección errónea por no haber investigado los requisitos totales del sistema ni determinar cuál debe ser el rendimiento de la bomba.

La eficiencia de la bomba tiene un lugar prominente entre los factores que se deben considerar al momento de hacer la selección de una bomba. En un esfuerzo por reducir el costo inicial, a menudo se seleccionan bombas que no representan el diseño más eficiente para un servicio dado.

Todas las bombas centrífugas tienen límites operativos. Estas bombas centrífugas presentan algunas limitaciones que si no están bien consideradas pueden reducir drásticamente su duración de trabajo. El BEP (Best Efficiency Point) no es sólo el punto de trabajo más alto sino el punto donde la velocidad y la presión son iguales sobre el impulsor y sobre la voluta. En cuanto el punto de trabajo se aleja del Best Efficiency Point, la velocidad cambia, lo cual hace cambiar la presión en uno de los lados del impulsor. Esta presión irregular sobre el impulsor se manifiesta en un empuje radial que desvía el eje de la bomba causando, entre otras cosas:

- una carga excesiva sobre los cojinetes
- una excesiva desviación de los sellos mecánicos
- un desgaste irregular del forro del eje

Los daños que pueden ocasionarse son: una duración menor de cojinetes y/o la rotura del eje. Además del rango operativo recomendado, un deterioro a la bomba puede ser provocado por la excesiva velocidad y turbulencia. Los remolinos pueden crear daños de cavitación capaces de destruir el cuerpo de la bomba y el impulsor en brevísimo tiempo

Cuando se elige una bomba, es muy importante no calcular márgenes de seguridad irreales o insertar en las apreciaciones informaciones inapropiadas. La curva actual podría superar el rango operativo recomendado, con serias consecuencias.

Lo mejor es verificar el actual punto de trabajo de la bomba en el curso de las operaciones de bombeo (recurriendo a un medidor de caudal y/o un manómetro) para poder realizar las adaptaciones necesarias y asegurarse

de que las condiciones de trabajo sean correctas y garantizar la larga duración del servicio.

Además de todo lo antes mencionado existen otros criterios que hay que tener en cuenta al momento de seleccionar una bomba como los que se mencionan a continuación.

- Capacidad requerida, así como cantidad máxima o mínima de líquido que debe descargar la bomba.
- Naturaleza del líquido.
- Viscosidad aproximada del fluido.
- Condiciones de succión y descarga.
- Tipo de servicio (constante o intermitente).
- Posición en que se instalará la bomba.
- Tipo y características del accionamiento de la máquina.
- Ubicación de la instalación (disponibilidad de espacio).
- Rango de velocidades en que trabajará la bomba.
- Temperaturas máximas a que estará expuesto el conjunto motor-bomba.

Todo lo mencionado hasta ahora en cuanto a la selección de bombas son métodos manuales, por decirlo de esta manera, en donde la persona encargada de seleccionar la bomba tiene que hacer una serie de cálculos los cuales le ayudaran a obtener buenos resultados en la selección.

Pero actualmente existen software especializados que nos facilitan la operación al momento de hacer la selección de bombas, alguno de estos los mencionaremos a continuación.

Software de Selección de Bombas Flygt

Figura 84. Portada del Software FLYPS versión 2.1



www.flyps.com.ar

Este software fue especialmente desarrollado por el departamento de sistemas de ingeniería de Flygt, para dar respuesta a las permanentes necesidades de los ingenieros y diseñadores de proyectos de bombeo.

Con esta herramienta se pueden realizar fácilmente los cálculos de pérdidas de carga en el sistema de bombeo, sea de una o varias bombas en paralelo, calcular las dimensiones necesarias del pozo y por supuesto elegir el modelo de bomba más adecuado.

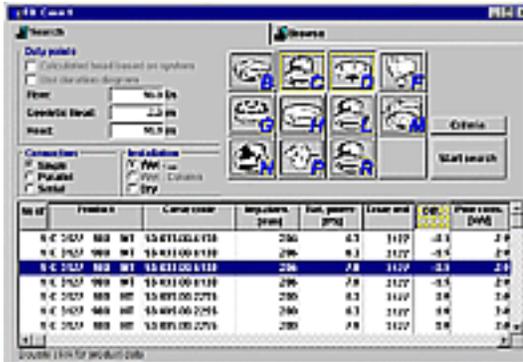
Este software fue especialmente desarrollado por el departamento de sistemas de ingeniería de Flygt, para dar respuesta a las permanentes necesidades de los ingenieros y diseñadores de proyectos de bombeo.

Con esta herramienta se pueden realizar fácilmente los cálculos de pérdidas de carga en el sistema de bombeo, sea de una o varias bombas en paralelo, calcular las dimensiones necesarias del pozo y por supuesto elegir el modelo de bomba más adecuado.

Ahora miremos algunas de las funciones principales de este sistema:

Selección de Bombas

Figura 85. Ventana de la opción selección de bombas



www.flyps.com.ar

Desde aquí se puede seleccionar la mejor bomba para un punto de trabajo dado. La optimización de la búsqueda puede estar basada en el consumo o en la divergencia al punto de trabajo solicitado. También se pueden obtener resultados de bombas funcionando en forma aislada, en paralelo, o en serie.

Catálogo Electrónico

Figura 86. Ventana de la opción Catálogo Eléctrico



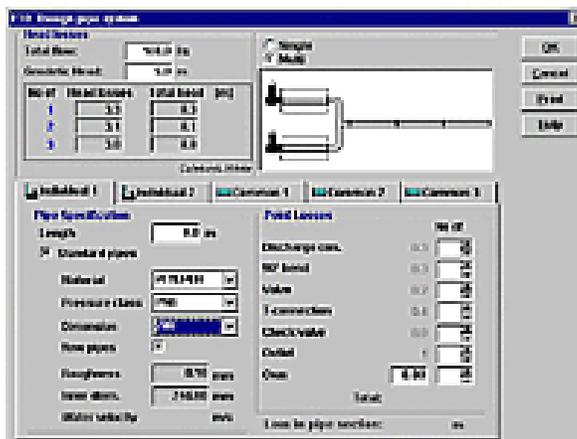
www.flyps.com.ar

Esta sección contiene un catálogo electrónico completo de toda nuestra gama de productos disponibles. Cualquier bomba puede ser seleccionada manualmente o a través de una lista de opciones basadas en las posibles aplicaciones, tipo de bomba requerida, materiales, etc.

Dimensionamiento del Sistema

Esta es una de las herramientas principales del programa Flyps 2.1. Con ella se puede calcular una curva de sistema completo. Se incluye un banco de datos que contiene dimensiones de cañerías y accesorios standard, con valores predefinidos de rugosidad, factor C, y pérdidas de carga localizadas. Se puede optar por dos métodos de cálculo para pérdidas de carga: Hazem-William, o Colebrook-White. Trabaja calculando bombas suelta o en paralelo.

Figura 87. Ventana de la opción Dimensionamiento del Sistema



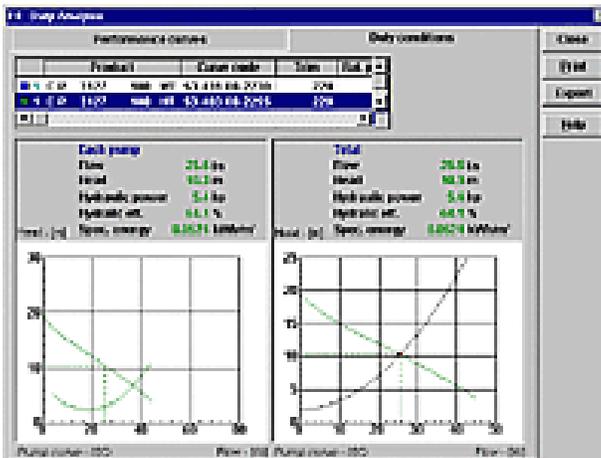
www.flyps.com.ar

Análisis de Performance

Con este bloque se pueden estudiar condiciones específicas como ser: QH de un punto determinado, NPSHreq, rendimientos de bombas en paralelo, operación con distintos niveles en el pozo, etc. Puede también graficarse las comparaciones de

distintas bombas preseleccionadas por el sistema para determinar la mejor conveniencia.

Figura 88. Ventana de la opción Análisis de Performance



www.flyps.com.ar

Curva de Performance

Se pueden obtener e imprimir las curvas de performance con todos los datos de la bomba seleccionada, y las condiciones particulares a la que es sometida en su proyecto. Esta curva será la que grafica las condiciones definitivas en las que operará la bomba una vez instalada.

Al igual que este existen otros como:

- **WATDIS**
- **SUNFAB**
- **SOFTWARE PGIC DE SELECCIÓN DE BOMBAS VERSIÓN 4.0**
- **DIALNET**
- **SUBPUMP**

Para obtener información mas detallada de estos software en las paginas de internet de cada uno de estos.

Hoy en dia los fabricantes de bombas han desarrollado software para selección y análisis de bombas, sin embargo, sitaremos un ejemplo de análisis y selección de bomba para un caso especifico.

EJEMPLO DE APLICACIÓN.

Selección de bomba.

Para seleccionar un equipo de bombeo se debe partir inicialmente de lo requerido por el usuario final de la bomba, diremos que un cliente requiere una bomba que trabaje de acuerdo con las siguientes condiciones de operación.

Servicio = 5 horas continuas

Liquido = Agua limpia

Temperatura del liquido = 25 °C

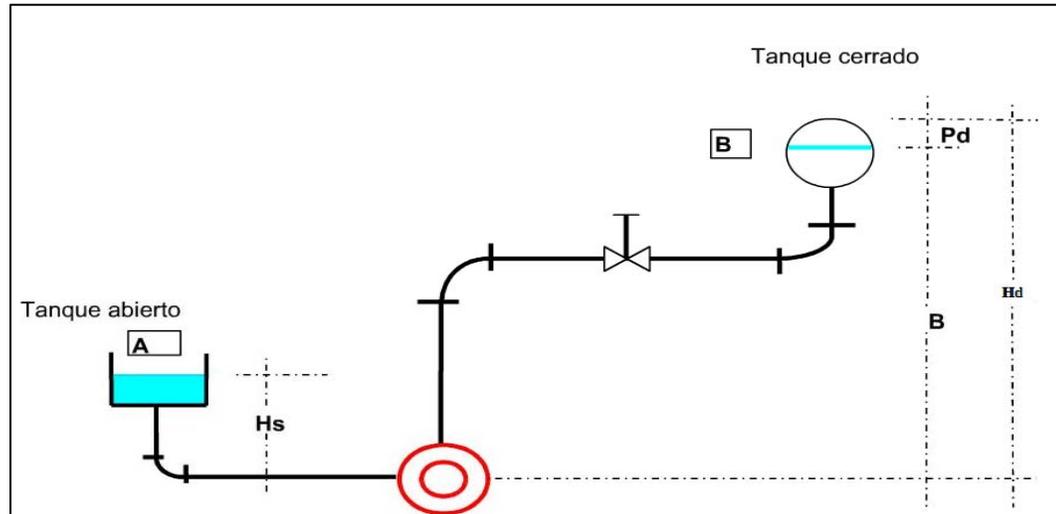
Gravedad especifica = 1

Operación: Se desea llenar un tanque de 12000 litros 6 veces por hora, lo que indica que el caudal debe ser:

$$Q = \frac{12000 \text{ litros} \times 6 \text{ veces}}{1 \text{ hora}} = \frac{72000 \text{ litros}}{\text{hora}} \text{ equivalentes } 20 \text{ lit/seg}$$

De igual manera se proporciona un croquis de la instalación, para la cual la bomba es requerida.

Figura EJ1. Sistema de proceso de bomba para analizar.



Las dimensiones y datos de presión para el bosquejo de la instalación son las siguientes.

$$H_s = Z_a = 5.66 \text{ metros}$$

$$B = Z_b = 65 \text{ metros}$$

$P_b = 29,40 \text{ PSI}$ (Tanque cerrado), esta presión debe estar en términos de altura de presión, haciendo el cálculo como sigue:

$$1 \text{ PSI} = \frac{1 \text{ lbf}}{\text{in}^2} = 0.703 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$\text{Luego, } P_b = 29.4 \text{ PSI} \times 0.703 = 20.67 \text{ m}$$

Ahora, teniendo los diámetros de las tuberías y los accesorios de las mismas procedemos a hacer el cálculo de las pérdidas en esta instalación.

Tubería de Succión.

diámetro	8 in
Material	Fundición común
K	0.25 mm
Longitud de tubería	20 m
codos	1
Válvulas	0

Tubería de descarga

diámetro	6 in
Material	Fundición común
K	0.25 mm
Longitud de tubería	100 m
codos	2
Válvulas	1

Sabemos que el sistema se analiza según la ecuación de Bernoulli.

$$H = (P_b - P_a) + (Z_b - Z_a) + \frac{V_b^2 - V_a^2}{2g} + H_f + H_s$$

Procedemos a calcular e identificar cada variable de esta ecuación.

$$H_s = Z_a = 5.66 \text{ metros}$$

$$B = Z_b = 65 \text{ metros}$$

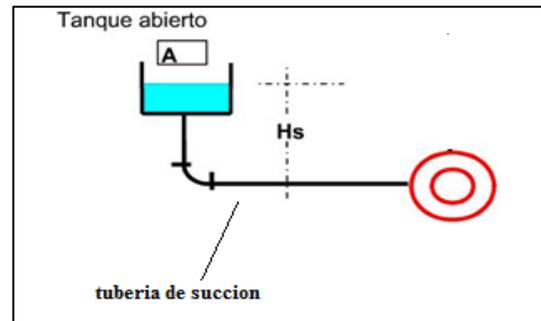
$$P_b = 29.4 \text{ PSI} \times 0.703 = 20.67 \text{ m}$$

Ahora hacemos el cálculo de las Perdidas

1. Perdidas en la tubería de succión.

diámetro	0.2 metros
caudal	0.02m ³ /seg
Material	Fundición común
K (rugosidad)	0.25 mm
Longitud de tubería	20 m
codos	1
Válvulas	0

Figura EJ2. Tubería de succión del sistema.



Para hacer el cálculo de las pérdidas nos guiamos por la ecuación siguiente.

$$hL = f \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

- Según el diagrama de Moody: El factor de fricción de Darcy (f) es de 0.20.
- Para el cálculo de la velocidad debemos inicialmente encontrar el área transversal de la tubería.

$$A = \pi \times r^2 \text{ Dando como resultado } = 0.3243\text{m}^2$$

- La velocidad se encuentra según la ecuación $Q = V \times A$, despejando para V y reemplazando obtenemos que $V = 0.617 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$

Ahora reemplazamos en la ecuación para el cálculo de las pérdidas.

$$hL = 0.20 \frac{20}{0.2} \times \frac{0.617^2}{19.62} = 0.380 \text{ m, estas son las pérdidas por la fricción en la tubería.}$$

Seguimos con la determinación de las pérdidas por accesorios.

En la tubería de succión solo se tiene un codo de 90°, donde K = 0.3

Según la siguiente ecuación

$$hL = K \times \frac{v^2}{2g} = 0.9 \times \frac{0.617^2}{19.62} = 0.0058 \text{ m}$$

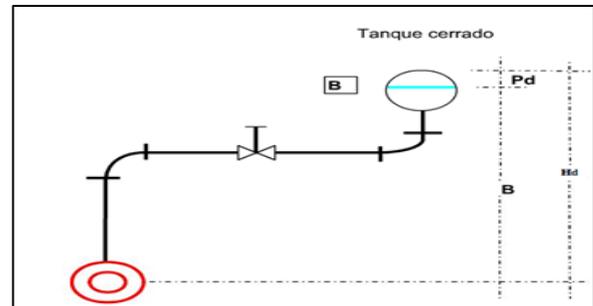
Por lo tanto las pérdidas totales en la tubería de succión son:

$$H_t = 0.0058 + 0.380 = 0.0438 \text{ m}$$

2. Pérdidas en la tubería de descarga.

Figura EJ3. Tubería de descarga del sistema.

diámetro	0.15 metros
caudal	0.02m ³ /seg
Material	Fundición común
K (rugosidad)	0.25 mm
Longitud de tubería	100 m
codos	2
Válvulas	1



En la tubería de descarga se tiene 1 válvula donde $K = 0.14$

Se sigue el procedimiento similar al anterior, obteniendo como resultados.

$$V = 1.096 \text{ m/seg}$$

$$H_t = 0.97 \text{ m}$$

Luego pérdidas totales en la tubería del sistema $H_s = 0.97 + 0.0438 = 1.0138 \text{ m}$

Una vez tenemos todos los datos de la ecuación de Bernoulli, procedemos a calcular H

$$H = (20.67 - 0) + (65 - 5.66) + \frac{1.096^2 - 0.617^2}{2g} + H_t$$

H = 82.021 m, esta es la cabeza que debe dar la bomba para satisfacer el sistema.

Ahora calculamos el NPSH disponible

$$H = \frac{(\pm P + P_a + P_{vp})}{\rho \cdot g} \pm h_{sg} - H_{sf}$$

Donde.

P = presión adicional

P_a = presión atmosférica a la altura indicada

P_{vp} = presión de vapor del agua a temperatura indicada

h_{sg} = desnivel

H_{sf} = pérdidas por fricción y accesorios

entonces.

P = 0, pues el tanque es abierto

P_a = 7.05 m

P_{vp} = 0,32 m

H_{sg} = 5.66 m

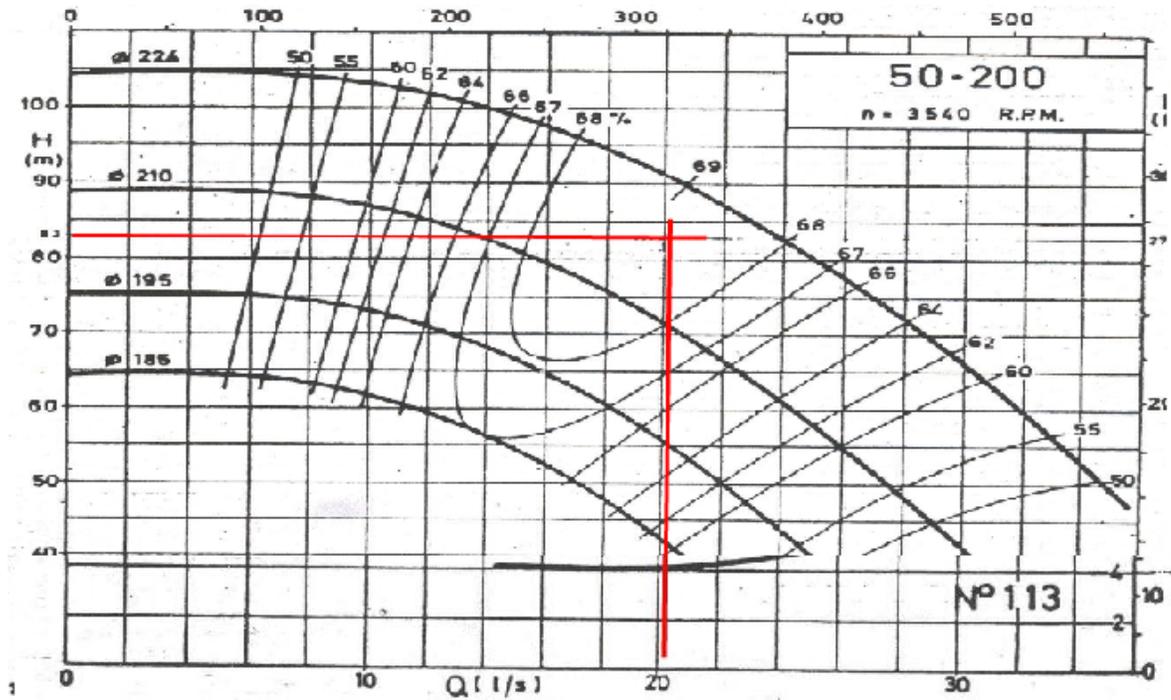
H_{sf} = 0.05

Reemplazando en la ecuación de NPSH obtenemos.

NPSH = 12.34 m

Ahora procederemos a determinar el diámetro apropiado del impulso para esta bomba. De acuerdo a la curva de la bomba que aplica para este sistema.

Figura EJ4. Curva de la bomba a seleccionar



Según las ecuaciones de las leyes de afinidad:

Para un punto (1) en esta ecuación tenemos los siguientes datos.

$$D_1 = 224$$

$$H_1 = 90 \text{ m}$$

$$Q_1 = 20,75 \text{ lit / seg}$$

Para el punto de operación desarrollado tenemos:

$$D_2 = ?$$

$$Q_2 = 20 \text{ lit / seg}$$

Aplicando la ecuación: de afinidad y despejando para D_2 tenemos:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{D_2^3}{D_1^3} = D_2 = \frac{Q_2}{Q_1} \times D_1 \text{ donde obtenemos } D_2 = 215,90 \text{ mm}$$

10.5.2 Arranque y Operación de bombas centrifugas

Antes de iniciar el arranque de cualquier equipo se debe verificar el estado del mismo para determinar si se encuentra en condiciones o no para cumplir con la tarea para el cual está destinado. A continuación se darán recomendaciones sobre lo que se debe y lo que no se debe hacer a la hora de iniciar el proceso de arranque de una bomba centrifuga, de igual manera recomendaciones para estar pendiente del desarrollo del proceso de arranque.

❖ Aspectos relevantes

A continuación se anunciaran algunas recomendaciones a tener en cuenta en lo que se refiere a la manipulación de las bombas centrifugas.

- ✓ En la practica las bombas centrifugas se arrancan con la válvula de succión abierta y la válvula de descarga cerrada.
- ✓ Si la válvula de succión se cierra no puede entrar ningún líquido a la bomba. La bomba se arranca con la válvula de succión abierta.
- ✓ Las bombas centrifugas nunca deben operar vacías por que se sobrecalientan.
- ✓ Cuando la bomba arranca y alcanza su velocidad la válvula de descarga se abre nuevamente.
- ✓ Si la bomba opera por algún tiempo con la válvula de descarga cerrada puede sobrecalentarse y el líquido puede vaporizarse y perder succión la bomba.
- ✓ Si la presión de descarga no sube o sube y luego se cae la bomba probablemente ha perdido succión se debe chequear la bomba para que no hayan escapes en la carcasa, cajas de empaques, bridas y venteos.

- ✓ La temperatura del empaque y de los rodamientos se chequean por lo general tocándolos con la mano, un aumento de temperatura es indicio de fallas en la lubricación o en el enfriamiento u otros elementos mecánicos.
- ✓ Si se presentan ruidos anormales debe determinarse la causa.

❖ **Condiciones de succión.**

Nunca se debe permitir que la presión en cualquier punto dentro de la bomba caiga a menos de la presión de vacío del líquido a la temperatura de bombeo.

Cuando el (NPSH)_A cae por debajo del (NPSH)_R la bomba empieza a tener cavitación y a perder eficiencia⁴⁵.

10.5.3 Instalación de bombas centrifugas

Puntos de verificación durante la instalación:

- ❖ -Ajuste de pernos de sujeción de la bomba.
- ❖ -Alineación y paralelismo de bridas (Esfuerzo en boquillas)
- ❖ -Conexión sistema auxiliar sellos.
- ❖ -Conexión sistema de lubricación (Si aplica)
- ❖ -Sentido de giro del elemento motriz.
- ❖ -Alineación bomba - elemento motriz.

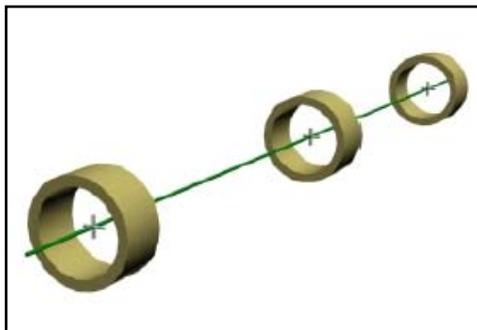
⁽⁴⁵⁾ Navas Oscar I: Bombas, Conceptos Y principios de operación.

Uno de los aspectos mas delicados en la instalación de una bomba centrífuga es la alineación que debe existir entre el elemento motriz (Motor o turbina) y el elemento conducido (Bomba), por ello hablaremos de este tema en esa sección guiándonos según la capacitación *Fundamentos de bombas centrífugas de John Crane*.

10.5.3.1 Alineaciones: La alineación puede ser de las siguientes maneras:

“Interna: Existe cuando componentes tales como cojinetes, anillos, diafragmas, sellos, etc. están ubicados en una misma línea y esta coincide con la línea de centro de la máquina.

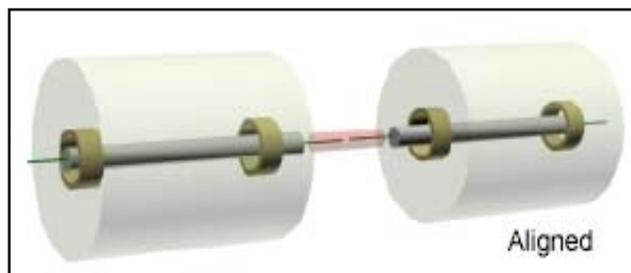
Figura 89. Explosionado – alineación interna



Capacitación. Fundamentos de Bombas centrífugas. Joan Crane

Externa: Existe cuando los ejes de dos máquinas están en la misma línea

Figura 90. Explosionado – alineación Externa



Capacitación. Fundamentos de Bombas centrífugas. Joan Crane

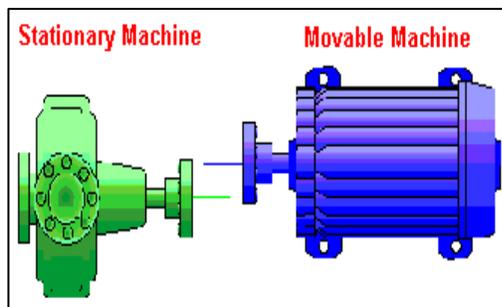
Causas de Desalineación:

1. Crecimiento térmico (Máquina y/o base)
2. Fuerzas externas (Tensión en líneas)
3. Problemas en fundaciones (Grietas, asentamiento, etc.)
4. Pata coja

¿Que debemos hacer para medir la desalineación y corregirla?

Sabemos que Las maquinas están designadas como estacionaria y móvil.

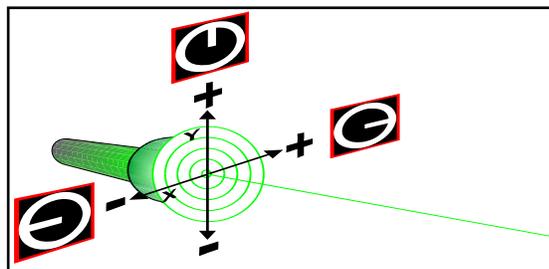
Figura 91. Bosquejo – Maquina motriz, Maquina dirigida



Capacitación. Fundamentos de Bombas centrífugas. Joan Crane

Entonces, el primer paso a seguir para medir el grado de desalineación de las maquinas es tomar centro de rotación de la maquina estacionaria como punto o línea de referencia.

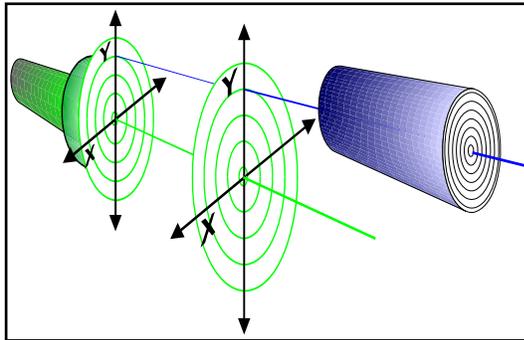
Figura 92. Ubicación de punto de referencia para medir grado de desalineación



Capacitación. Fundamentos de Bombas centrífugas. Joan Crane

Luego, La desalineación se determina encontrando el eje rotacional del elemento móvil con respecto al del elemento estacionario, en dos planos

Figura 93. Elemento móvil Vs elemento estacionario.



Capacitación. Fundamentos de Bombas centrifugas. Joan Crane

Una vez se sepa el grado de desalineación que se tiene se escogerá el método de alineación mas adecuado, entre estos tenemos el método de la alineación con laser (ver anexo 7) y la metodología de alineación con comparadores de caratula, el cual es el mas utilizado en la practica ya que en muchos casos no se cuenta con sofisticadas herramientas de alineación como son los sensores para alineación con láser,

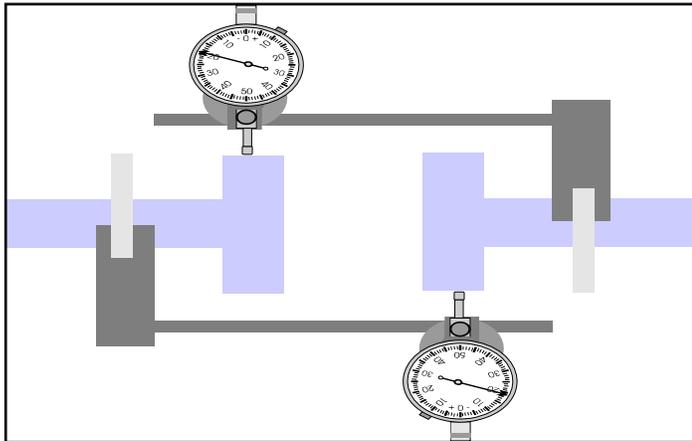
Alineación con indicadores de carátula.

El método más usado que utiliza esta herramienta es el método de alineación en reversa del cual podemos resaltar que:

- ✓ Ambos Indicadores miden desalineación paralela de los bordes.
- ✓ Desalineación Paralela (Diferencia entre las dos lecturas)
- ✓ Desalineación Angular (Pendiente entre las dos lecturas)⁴⁶.

⁽⁴⁶⁾ Capacitación: Fundamentos de bombas Centrifugas. John Crane

Figura 94. Disposición de indicadores de carátula para hacer medición de desalineación utilizando alineación en reversa



Capacitación. Fundamentos de Bombas centrífugas. Joan Crane

En el anexo 6 se proporciona una tabla para identificar si es o no aceptable un grado de desalineación de acuerdo a las RPM que se manejen.

Para complementar sobre este tema ver Anexo 8

10.6 PUESTA EN SERVICIO

Antes del arranque se recomienda realizar una inspección visual de los componentes y accesorios de la bomba. Si alguno de los componentes no se encuentra en buena condición debe ser reemplazado.

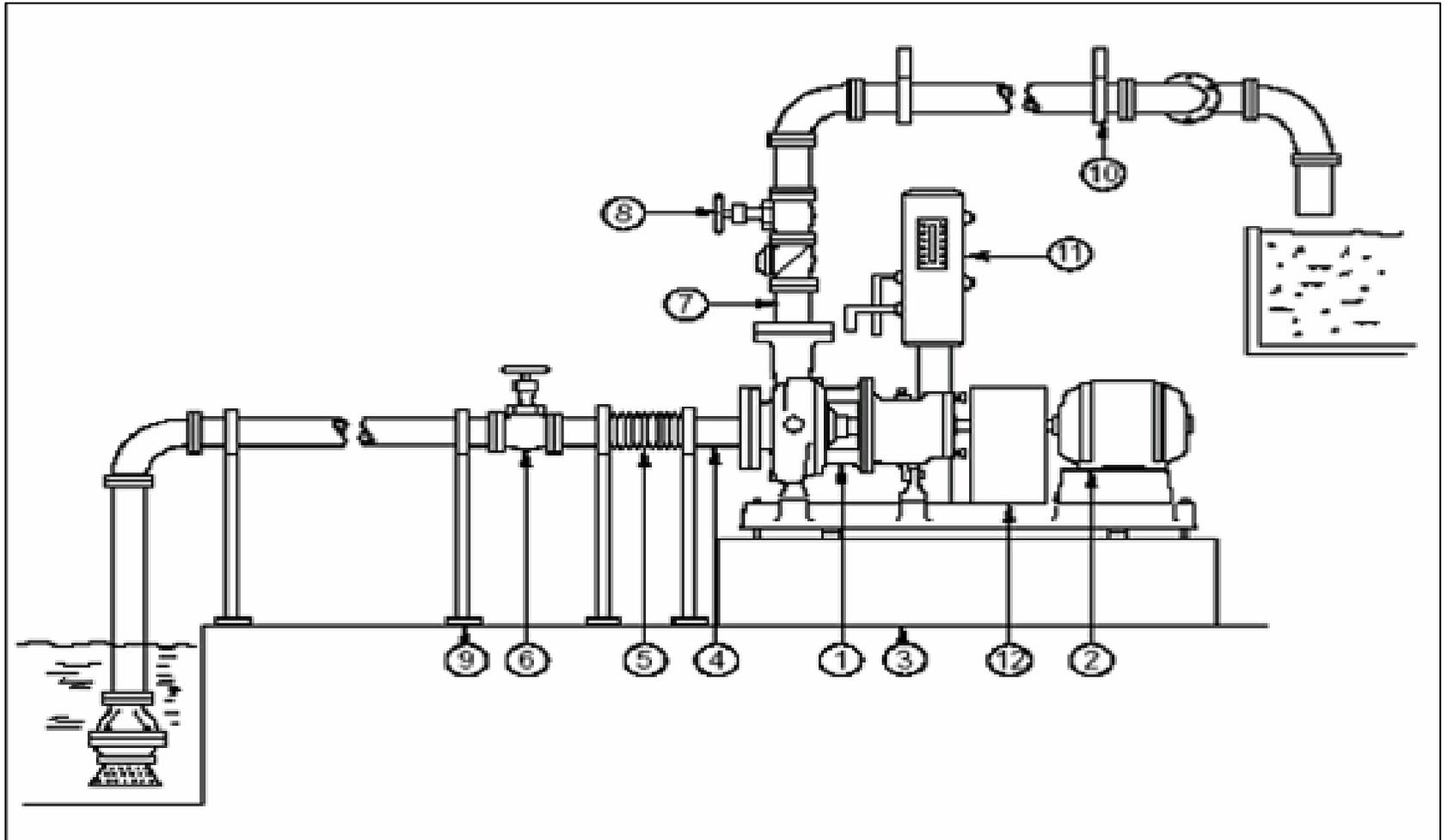
Lo que se debe verificar según un check list rápido son los siguientes componentes.

- 1 **Bomba**
- 2 **Elemento Conductor**
- 3 **Fundación**
- 4 **Tubería de Succión**
- 5 **Junta de Expansión**
- 6 **Válvula de Succión**
- 7 **Tubería de Descarga**

- 8 Válvula de Descarga**
- 9 Soporte de Tubería de piso**
- 10 Soporte de Tubería de Techo**
- 11 Reservorio**
- 12 Guarda del Acople**

Nota: El ítem 11 Corresponde a los planes de sellado (ver anexo 5)

Figura 95. Esquemático – Check List antes de arrancar una bomba centrífuga.

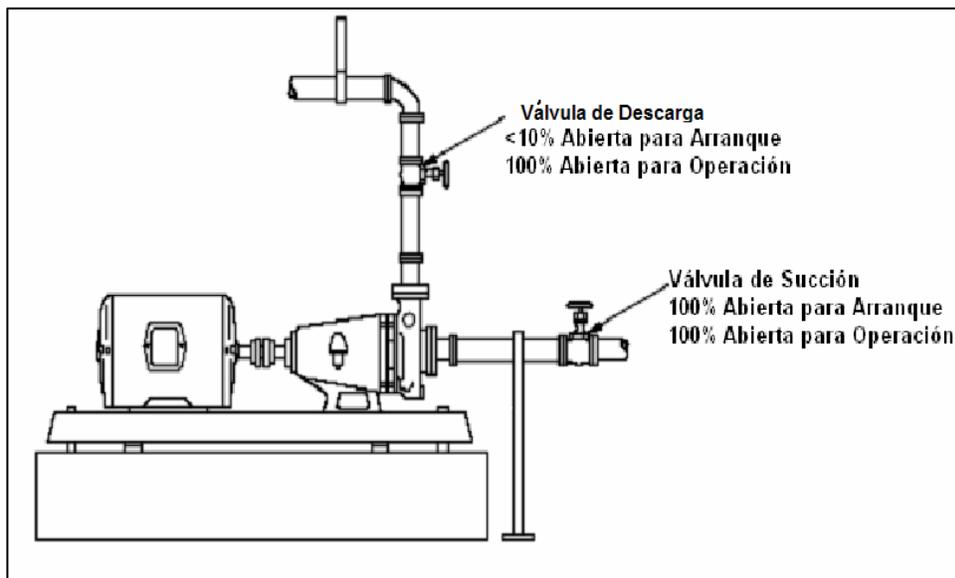


De forma mucho mas rigurosa de deben efectuar las siguientes inspecciones según IOM- IR Modelo AFL. (Estas inspecciones son de forma general para cualquier tipo de bomba)

1. Bomba instalada correctamente (Pernos de sujeción)
2. Elemento conductor.
 - a. En motores eléctricos las conexiones eléctricas y las líneas de tierra.
 - b. En turbina de vapor las líneas de vapor.
3. Nivel de lubricante de cojinetes. *Importante:* Las bombas son trasladadas Usualmente sin lubricantes desde Fábrica o Taller.
4. En caso de que el Nivel de aceite este controlado por un dispensador de aceite de nivel constante:
 - a. Altura del dispensador se ajusta para el modelo y tamaño de bomba (Consultar el manual del fabricante de la bomba)
 - b. Remover reservorio del dispensador.
 - c. Remover tapa de venteo de caja de cojinete.
 - d. Suministrar aceite en la caja de cojinete. Llenar hasta que se observe aceite en la base del dispensador.
 - e. Reinstalar tapa de venteo de caja de cojinete.
 - f. Llenar reservorio del dispensador y ajustar altura de manera que el tubo de alimentación coincida con el nivel recomendado.
 - g. Colocar el bulbo en la base del indicador.
 - h. Ajustar contratuerca o tuerca de seguridad.

5. Si los Cojinetes son lubricados con grasa:
 - a. Suministrar grasa (cantidad y tipo) de acuerdo a recomendaciones del fabricante. Si hay un puerto de salida inyectar grasa hasta que salga una pequeña cantidad. No sobrecargar de grasa los rodamientos
6. Sistema de lubricación externo en operación, si aplica.
7. Sistema auxiliar de sellado en operación (Niveles, presiones, flujos, etc)
8. Roces internos a través de giro manual del rotor.
9. Cerrar drenajes y venteos del cuerpo de la bomba.
10. Válvula succión abierta completamente para llenado de bomba y válvula de descarga ligeramente abierta.

Figura 96. Esquemático, Posición de válvulas de succión y descarga en bombas centrífugas



11. Ventear cuerpo de la bomba y cavidad del sello, donde aplique.
12. En servicios calientes, aplicar procedimiento de calentamiento de acuerdo al fabricante.
13. Sistema de enfriamiento alineado.
14. En bombas movida por turbina a vapor (Consultar manual del fabricante):
 - a. Aplicar procedimiento de calentamiento y drenaje de líneas de entrada/salida de vapor.
 - b. Abrir drenajes del cuerpo de la turbina.
 - c. Drenar todo el condensado, luego cerrar parcialmente los drenajes.
 - d. Abrir desvío de la válvula de suministro de vapor.
15. Poner bomba en operación. Abrir 100% válvula de descarga.
16. Ruidos, vibraciones o fugas. Parar si es necesario.
17. Presión de succión y descarga, flujo, amperaje del motor.
18. Medir niveles de vibración y temperatura de cojinetes. Reportar cualquier anomalía” ⁴⁷.

⁽⁴⁷⁾ IOM- IR Modelo AFL

10.7 PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO APLICADO A BOMBAS CENTRIFUGAS

Como se mencionaba anteriormente podemos hacer una programación de nuestro mantenimiento el cual lo podemos dividir en dos partes:

- **Mantenimiento Preventivo.**
- **Mantenimiento Predictivo.**

“Ambos sistemas están basados en revisiones periódicas programadas a los equipos pero se diferencian fundamentalmente en los medios que se utilizan para las revisiones y en las frecuencias de éstas revisiones. Mientras el mantenimiento preventivo elabora una orden de trabajo para que una bomba hidráulica se saque de servicio, se desacople, se desarme, se examinen rodamientos, el eje, el impulsor, los anillos de desgaste, la carcasa, el acople, etc., como una revisión anual; el mantenimiento predictivo saca una orden bimestral ordenando observar la bomba en operaciones normales, comprobar la temperatura de los rodamientos, tanto en la bomba como en el motor, hacer un análisis de vibraciones en cada apoyo de los elementos en rotación. De este análisis se obtiene el estado de los rodamientos, el alineamiento del eje, el posible desbalanceo del impulsor debido a desgastes internos, posibles torceduras en el eje de la bomba, observar el desempeño de la bomba con respecto a la curva de rendimiento y caballaje, y observar si existen posibles fugas, para ello se saca la bomba de servicio media hora, se drena y se hace la medición con un equipo ultrasonido, pudiéndose reanudar la operación inmediatamente.

Del análisis de las revisiones efectuadas se toma la decisión, si es el caso, de programar una reparación del equipo, la cual incluiría el posible cambio de las

partes que el análisis haya mostrado como defectuosas. En el mantenimiento preventivo es frecuente que en la misma revisión se tome la decisión de cambiar estos elementos y no sea necesario programar una posterior reparación. Los dos métodos tienen sus ventajas y desventajas, veamos:

Mantenimiento Preventivo

- Frecuentemente no necesita programación.
- No necesita equipos especiales de inspección.
- Necesita personal menos calificado.
- Menos costoso de implementar.
- Da menos continuidad en la operación.
- Menos confiabilidad aunque es alta.
- Más costoso por mayor mano de obra.

Mantenimiento Predictivo

- Siempre que hay un daño necesita programación.
- Necesita equipos especiales y costosos.
- Necesita personal más calificado.
- Costosa su implementación.
- Da más continuidad en la operación.
- Más confiabilidad.
- Requiere menos personal.
- Los repuestos duran más⁴⁸.

⁽⁴⁸⁾www.fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/mantenimiento-de-bombas.htm

11. FALLAS Y PROBLEMAS EN BOMBAS CENTRIFUGAS

Generalidades.

Muy pocas bombas salen de servicio y van al taller mecánico porque se partió la carcasa o el impulsor, o porque se fracturó el eje en cuatro piezas. La mayoría de las bombas van al taller porque fallaron los rodamientos o el sello mecánico.

Las fallas en las bombas son frecuentemente ocasionadas por los ingenieros y operadores de la planta que no reconocen las limitaciones inherentes de capacidad en las bombas. Cuando se opera una bomba en un punto que no sea el de flujo de máxima eficiencia o dentro de la ventana operativa, se producen anomalías hidráulicas en la carcasa y el impulsor. Estas anomalías, que ocurren en todas las bombas, pueden ocasionar aspereza hidráulica, impulsos de vibración, flexiones del eje y menor duración de cojinetes y sellos mecánicos, así como mayor desgaste.

Dentro de las fallas frecuentes en bombas se pueden distinguir tres tipos de problemas esto, haciendo caso a la capacitación ofrecida por John Crane Fundamentos de bombas Centrifugas (segunda parte):

- 1. “hidráulicos reales:** Los problemas hidráulicos reales consisten en que la bomba no puede funcionar de acuerdo con las especificaciones de capacidad, carga y eficiencia.
- 2. mecánicos reales:** Los problemas mecánicos reales se refieren a desperfectos mecánicos, los cuales se notan por síntomas como ruido, vibraciones, sobrecalentamiento y pueden llevar a mal funcionamiento hidráulico.

3. *hidráulicos irreales.* En cuanto a los problemas hidráulicos irreales, estos son el resultado de diseño y colocación incorrecta de la tubería y procedimientos deficientes⁴⁹.

A continuación se discuten los fenómenos destructivos más comunes y las consecuencias de su presencia, para a través de la inspección poder reconocer el modo específico bajo el cual la bomba falló. Guiados bajo la capacitación ofrecida por la Multinacional Wood Group Fallas y fenómenos destructivos en bombas centrifugas.

11.1. CAVITACIÓN

“La cavitación es un fenómeno que se produce siempre que la presión en algún punto en el fluido desciende por debajo de la presión de vapor para ese fluido, por tal motivo es posible que la cavitación se presente tanto en elementos estructurales (tales como tuberías, codos, venturis etc.) como en máquinas hidráulicas (bombas, turbinas). Como medida de referencia se toma el NPSH disponible y el NPSH requerido, cuando el NPSH requerido es mayor que el NPSH disponible la bomba llevará al fluido a una presión por debajo de la presión de vapor, presentándose cavitación.

11.1.1 Descripción proceso de cavitación: Cuando un fluido entra en una zona donde la presión es menor que la presión de vapor del mismo, este se evapora, generando burbujas suspendidas, las cuales son transportadas por el mismo hacia una zona de alta presión en donde las paredes de la burbuja colapsan (implosión) cuando se convierte de vapor a líquido de forma súbita. Cuando las burbujas se encuentran cerca o en contacto con

⁽⁴⁹⁾ Capacitación Fundamentos de Bombas Centrifugas. John crane Parte 2

una pared sólida al momento de suceder la implosión, las presiones generadas por el líquido al colapsar las paredes de la burbuja son puntuales y elevadas, generando sobre la pared desprendimiento de material (picaduras).

Figura 97. Proceso de implosión de burbujas durante el fenómeno de Cavitación

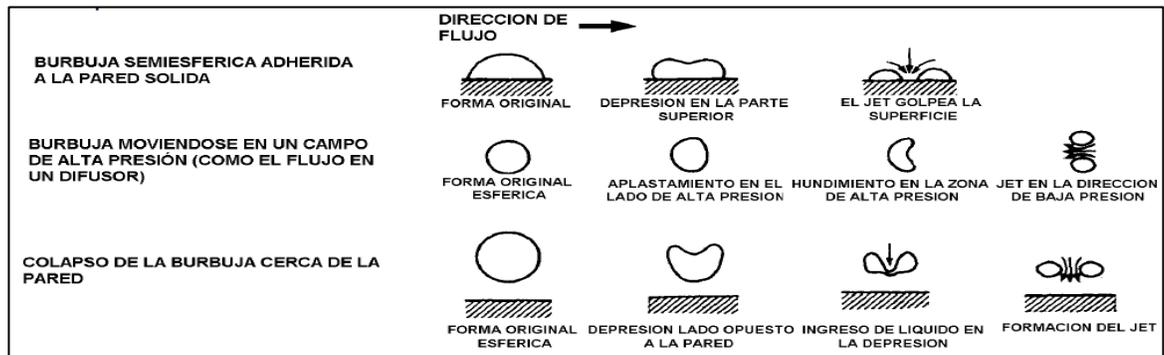


Capacitación, Fallas y fenómenos destructivos en bombas centrífugas. Wood Group

En la grafica 97 se muestra el proceso de implosión de las burbujas generadas en el fluido, en los diferentes escenarios posibles, burbujas moviéndose en el interior del flujo, burbujas desplazándose sobre una superficie, y burbujas cercanas a superficies. (de derecha a izquierda)

NOTA: Entiéndase por jet como un flujo muy acelerado actuando en un punto determinado.

Figura 98. Posibles posiciones de burbujas en un proceso de cavitación



Capacitación, Fallas y fenómenos destructivos en bombas centrífugas. Wood Group

Para una mayor claridad, en la figura 99 se muestran fotografías tomadas en alta velocidad sobre el proceso de cavitación siguiendo el mismo orden que la grafica 98

Figura 99. Posibles posiciones de burbujas en un proceso de cavitación



Capacitación, Fallas y fenómenos destructivos en bombas centrifugas. Wood Group

11.1.2 Tipos de cavitación: se refiere a los tipos de burbujas que se forman dentro de un líquido, Burbujas de vapor o burbujas de gas

- *Las burbujas de vapor* se forman debido a la vaporización del líquido bombeado. La cavitación inducida por la formación y colapso de estas burbujas se conoce como Cavitación Vaporosa.

- *Las burbujas de gas* se forman por la presencia de gases disueltos en el líquido bombeado (generalmente aire pero puede ser cualquier gas presente en el sistema). La cavitación inducida por la formación y colapso de estas burbujas se conoce como Cavitación Gaseosa.

11.1.2.1 Cavitación Vaporosa: Es la forma de cavitación más común en las bombas de proceso. Generalmente ocurre debido a un insuficiente NPSH disponible o a fenómenos de recirculación interna. Se manifiesta como una reducción del desempeño de la bomba, ruido excesivo, alta vibración y desgaste en algunos componentes de la bomba. La extensión del daño puede ir desde unas picaduras relativamente menores después de años de servicio, hasta fallas catastróficas en un corto periodo de tiempo.

11.1.2.2 Cavitación Gaseosa: Se produce por efecto de gases disueltos (más comúnmente aire) en el líquido. Esta cavitación raramente produce daño en el impulsor o carcasa.

Su efecto principal es una pérdida de capacidad (manejo de un menor flujo). No debe confundirse con el ingreso de aire o bombeo de líquidos espumosos, situaciones que no necesariamente producen cavitación pero sí reducción de capacidad, detención del bombeo y otros problemas.

11.1.3 Síntomas de la cavitación: Las indicaciones perceptibles de la cavitación son los ruidos y vibraciones más o menos fuertes y el trabajo inestable de la bomba. Se producen fluctuaciones en el caudal y la presión de descarga con una súbita y drástica reducción de la cabeza de descarga y capacidad de la bomba.

Dependiendo del tamaño y cantidad de burbujas los problemas van desde una pérdida parcial de capacidad y cabeza hasta una falla total de bombeo junto con daños irreparables de los componentes internos de la bomba. La siguiente es una descripción detallada de los síntomas generales más comunes:

11.1.3.1 Reducción de la capacidad de bombeo: Las burbujas ocupan un volumen que reduce el espacio disponible para el líquido y esto disminuye la capacidad de bombeo. Por ejemplo, cuando el agua pasa del estado líquido al de vapor su volumen aumenta en aproximadamente 1700 veces. Si la generación de burbujas en el ojo del impulsor es suficientemente grande, la bomba se puede ‘ahogar’ y quedar sin nada de succión con una reducción total del flujo. La formación y colapso de las burbujas es desigual y disparejo, esto genera fluctuaciones en el flujo y el bombeo se produce en chorros intermitentes. Este síntoma es común a todos los tipos de cavitación.

11.1.3.2 Disminución en la generación de cabeza: A diferencia de los líquidos, las burbujas son compresibles. La cabeza desarrollada por la bomba disminuye drásticamente debido a que se gasta energía en aumentar la velocidad del líquido empleado en llenar las cavidades que dejan las burbujas colapsadas. Al igual que la reducción en capacidad este síntoma es común a todos los tipos de cavitación.

11.1.3.3 Vibración y Ruido anormal: El desplazamiento de las burbujas a muy alta velocidad desde el área de baja presión hacia una zona de alta presión y el subsiguiente colapso crea ondas de choque que producen ruidos y vibraciones anormales. Se estima que durante el colapso de las burbujas se desarrollan ondas de choque con presiones del orden de 104 atmósferas.

El sonido de la cavitación puede describirse como algo similar a pequeñas partículas duras chocando o rebotando rápidamente en el interior de una bomba o válvula. Se usan varios términos para describirlo; traqueteo, golpeteo, crepitación, etc. El ruido de una bomba cavitando va desde el golpeteo grave y uniforme (como sobre una puerta) hasta una crepitación

aguda y errática (similar a un impacto metálico). El ruido de cavitación puede confundirse fácilmente con el de un rodamiento en mal estado. Para distinguir si el ruido es debido a un rodamiento o a cavitación basta con operar la bomba sin flujo, si el ruido desaparece quiere decir que existe cavitación. La vibración se debe al efecto de cargas dispares actuando sobre el impulsor y que son generadas por una mezcla no uniforme de líquido y vapor, así como por las ondas de choque por el colapso de las burbujas la cavitación en la bomba puede producir varias frecuencias de vibración dependiendo del tipo de cavitación, diseño de la bomba, instalación y aplicación. La vibración excesiva por cavitación comúnmente produce fallas en los sellos y/o rodamientos. Este es el modo de falla más probable en una bomba cavitando.

11.1.3.4 Daños a los componentes por cavitación:

Erosión o picaduras

Durante la cavitación el colapso de las burbujas ocurre a velocidades sónicas eyectándose micro chorros de líquido a altísima velocidad (sobre 1000 m/s) con una fuerza suficiente para erosionar componentes de la bomba, particularmente el impulsor. El daño da la impresión de que la superficie metálica fue golpeada con un martillo de bola. El daño empieza a hacerse visible en la forma de hendiduras o 'pits' las cuales son deformaciones plásticas muy pequeñas (micrométricas). El daño causado por el colapso de las burbujas se conoce comúnmente como erosión o picaduras (pitting) por cavitación.

Nota.- Si el fluido contiene pequeñas partículas sólidas erosivas (como en bombeo de pulpas minerales), el daño se puede acelerar considerablemente por el efecto

de las partículas impulsadas por los pequeños vórtices que se forman en las picaduras.

La erosión por colapso de burbujas ocurre primeramente como una fractura, debido a la repetición de implosiones sobre la superficie, seguida de desprendimiento de material. El efecto es muy similar al de una operación de arenado. Las bombas de alta cabeza son más propensas a sufrir erosión por cavitación, (la fuerza de impacto de las implosiones es mayor), por lo que es un fenómeno más típico de las bombas de “alta energía”.

Las áreas más sensitivas a la erosión por cavitación se observan en los lados de baja presión de los alabes del impulsor, cerca de los bordes de entrada. Sin embargo, los daños en el impulsor pueden estar más o menos diseminados.

En ocasiones, la cavitación es lo suficientemente severa para producir perforaciones y dañar los alabes hasta un grado que hace al impulsor completamente inefectivo.

- Deformaciones Mecánicas:

Además de la erosión de los componentes, en bombas grandes, la cavitación prolongada puede causar desbalance (debido a una distribución desigual en la formación y colapso de las burbujas) de los esfuerzos radiales y axiales sobre el impulsor. Este desbalance comúnmente lleva a los siguientes problemas mecánicos:

- Torcedura y deflexión de los ejes
- Daño a los rodamientos y roces por la vibración radial
- Daño en el rodamiento de empuje por movimiento axial
- Rotura de la tuerca de fijación del impulsor (cuando la usa)
- Daño en los sellos

Las deformaciones mecánicas pueden arruinar completamente a la bomba y requerir reemplazo de partes.

- Corrosión con cavitación

Frecuentemente la cavitación esta combinada con corrosión. La implosión de las burbujas destruye las capas protectoras dejando a la superficie del metal permanentemente activa para el ataque químico. En esta condición el material puede sufrir un daño considerable aun con niveles bajos de cavitación. La severidad de la erosión puede acentuarse si el líquido mismo tiene agentes corrosivos, como agua con ácidos o gran cantidad de oxígeno disuelto.

En la figura 100 se muestran daños severos causados por cavitación en la succión y descarga de un impeler.

Figura 100. Daños producidos por la cavitación en un impulsor



Capacitación, Fallas y fenómenos destructivos en bombas centrifugas. Wood Group

11.2 CORROSIÓN

Las bombas pueden experimentar 8 tipos distintos de corrosión, a continuación se hace un breve recuento de cada una.

1. *La corrosión general o uniforme* es la más común y se caracteriza por la misma intensidad del daño en toda la superficie mojada o expuesta. Esta corrosión puede ser muy lenta o muy rápida, pero es la que menos preocupa, porque es predecible. Sin embargo, puede ser difícil predecir la corrosión general en una bomba por la variación de la velocidad de los líquidos dentro de ella

2. *La corrosión por celdas de concentración o intersticios* es local y se produce con pequeñas cantidades de líquido estancado en lugares como roscas, superficies para juntas, agujeros, intersticios, depósitos en las superficies y debajo de las cabezas de tornillos y remaches. Cuando ocurre este tipo de corrosión es que existe una diferencia en la concentración de iones metálicos o de oxígeno en la zona estancada, en comparación con el flujo principal. Esto hace que circule una corriente eléctrica entre las dos zonas y produce un fuerte ataque localizado en la zona estancada. Por lo general, esta forma de corrosión no sucede en las bombas para productos químicos salvo que su aplicación sea incorrecta o en los diseños en los que no se han tenido en cuenta los factores que se sabe contribuyen a la corrosión por celda de concentración.

3. *La corrosión por picadura* es la más engañosa y destructiva y muy difícil de predecir. Suele ser sumamente localizada y se nota por agujeros pequeños (en su mayoría) o grandes y la pérdida de peso debida a las picaduras será un pequeño porcentaje del peso total del equipo. Los cloruros en particular inducen picaduras que pueden ocurrir prácticamente

en todos los tipos de equipo. Esta forma de corrosión puede estar relacionada con la de celda de concentración, porque las picaduras pueden empezar en los mismos lugares que ésta. Las picaduras pueden ser comunes en zonas que no sean las estancadas, mientras que la de celda de concentración está confinada a la zona de estancamiento.

4. Las grietas de corrosión por esfuerzo son una falla localizada que ocurre por la combinación de esfuerzos de tracción y un producto químico determinado. Se han hecho más investigaciones de esta forma de corrosión que de cualquier otra. No obstante, todavía no se conoce con precisión el mecanismo de las grietas de corrosión por esfuerzo. Pero, las piezas de fundición, debido a que tienen espesor adicional, rara vez tienen este tipo de grietas.

5. *La corrosión intergranular* es selectiva y ocurre en los límites de grano del material. Ocurre más en los aceros inoxidable pero también en otros sistemas de aleación. En el acero inoxidable, ocurre al someter el material a temperaturas entre 800 y 1600°F. Salvo que se modifiquen las aleaciones, esta forma de corrosión sólo se puede evitar con tratamiento térmico. En algunos casos, se confunde la corrosión uniforme con la intergranular debido al aspecto “grabado” de las superficies expuestas a ella. Las piezas fundidas de acero inoxidable nunca tendrán corrosión intergranular, si tienen buen tratamiento térmico, ni siquiera después de someterlas a temperaturas entre 800' y 1 600°F.

6. *La corrosión galvánica* ocurre cuando hay metales desiguales en contacto o conectados eléctricamente en alguna otra forma dentro de un producto corrosivo. Se acelera la corrosión del metal menos noble (más

fácil de corroer) y se reduce la resistencia a la corrosión del otro material en comparación con la que tendría si no estuviera en contacto. Cuando es necesario tener dos metales desiguales en contacto, hay que tener cuidado de que la superficie total del metal menos resistente sea mucho mayor que la del más resistente. Esto ayudará a evitar la falla prematura con sólo proveer una superficie bastante mayor del metal más propenso a la corrosión. Esta forma de corrosión no es común en las bombas para productos químicos, pero hay que vigilarla en los accesorios que puedan estar en contacto con las piezas de la bomba y que estén expuestos a la intemperie.

7. *La corrosión por erosión* se caracteriza por un ataque acelerado ocasionado por la combinación de corrosión y desgaste mecánico. La pueden ocasionar los sólidos en suspensión, la alta velocidad o ambos. Es muy común en las bombas en donde la erosión impide la formación de una película pasiva en las aleaciones que la requieren (mantiene el material siempre activo para la corrosión)

8. *La corrosión por deslave corrosivo* ocasiona la separación de un elemento de una aleación maciza en un medio corrosivo. Se caracteriza por deshincado, desaluminación y grafitación. Este tipo de ataque no es común en las bombas para productos químicos, porque las aleaciones en que ocurre no se suelen utilizar para servicio químico pesado”⁵⁰.

⁽⁵⁰⁾ Fallas y fenómenos destructivos en bombas centrifugas. Wood Group

11.3 FATIGA DEL MATERIAL:

“Afecta principalmente a los ejes, especialmente a los que están en voladizo. La fatiga, se presenta por la repetición cíclica de algún tipo de esfuerzo.

11.4 ROCE:

Fricción entre dos piezas debido a un ajuste defectuoso, desalineamiento, Falta de lubricación, expansión térmica, etc”⁵¹.

11.5 FALLAS DE MANTENIMIENTO

Algunas fallas prematuras se producen por causas específicas que siempre conviene tener presentes. Evitarlas o corregirlas es relativamente fácil si se aplican correctamente las instrucciones de los Manuales y buenas prácticas de mantenimiento.

11.5.1 Rodamientos: Los rodamientos de buena marca están garantizados para dar una larga vida cuando operan en las condiciones estipuladas y los fabricantes de bombas los seleccionan adecuadamente. Sin embargo, muy a menudo se reportan como uno de los repuestos de más alta frecuencia de recambio y más alto costo.

“En general, los rodamientos fallan prematuramente por las siguientes causas: Lubricante incorrecto, insuficiente o excesivo; período de recambio o relleno excedido (en ambos casos el problema se soluciona instalando lubricadores automáticos); temperatura máxima o mínima excedida; pandeo

⁽⁵¹⁾ Experiencia, Mantenimiento y desmontaje de bomba centrífuga P-2^a de Abocol

o torsión del eje, contaminación desde el exterior por sellos defectuosos, tapones, venteos, suciedad en el lubricante; contaminación desde el interior, cuando el líquido bombeado se desliza por el eje debido al sellado defectuoso (O-ring) de las uniones entre el impulsor, la camisa y otras piezas intermedias; velocidad y cargas radiales o axiales excedidas; instalación o ajuste de tolerancias incorrecta; desalineamiento de acoplamientos o poleas; e impulsor o poleas desbalanceadas las 10 fallas más comunes en rodamientos son las siguientes:

-Sobrecalentamiento:

Decoloración de las pistas, los elementos rodantes y las jaulas de dorado a azul/negro. (Ver grafica 101)

Figura 101, Fallas en rodamientos, sobrecalentamiento

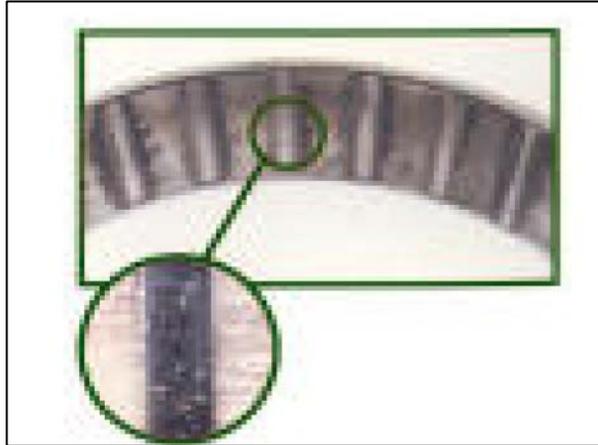


Capacitación, Fallas y fenómenos destructivos en bombas centrifugas. Wood Group

- Falso Brinelling:

Marcas de desgaste elípticas en las pistas alineadas axialmente en la posición de cada bola con una terminación brillante y demarcación aguda. Indica vibración externa excesiva y normalmente ocurre cuando el rodamiento es almacenado en las cercanías de equipos vibrantes tales como compresores alternativos o motores estacionarios. (Ver grafica 102)

Figura 102, Fallas en rodamientos, Falso Brinelling



Capacitación, Fallas y fenómenos destructivos en bombas centrifugas. Wood Group

- Brinelling verdadero:

Ocurre cuando las cargas exceden el límite elástico del anillo. Las marcas se ven como indentaciones en las pistas que aumentan el ruido del rodamiento

- Carga revertida:

Los rodamientos de contacto angular están diseñados para aceptar cargas axiales solamente en una dirección. Cuando se cargan opuestamente, el área de contacto elíptico en el anillo exterior se ve truncada por el hombro bajo en ese lado.

- Desalineamiento:

El trazo de desgaste de las bolas no es paralelo a los bordes de las pistas.

- Ajuste flojo:

Deslizamiento del anillo exterior provocado por ajuste inadecuado del alojamiento.

- Ajuste apretado:

Interferencia excesiva puede sobrecargar los elementos rodantes y producir un trazo de desgaste en el fondo de la pista.

- Carga excesiva:

Ajustes apretados, brinelling y pre-carga inadecuada pueden también provocar tempranas fallas superficiales por fatiga de tanto los elementos rodantes como las pistas dando una apariencia de "baches" a las superficies metálicas.

- Corrosión:

Manchas rojas/marrones en los elementos rodantes, pistas, jaulas o bandas son síntomas de corrosión.

- Contaminación:

Síntomas son dentado de las pistas y elementos rodantes que eventualmente provocan alta vibración. Otro síntoma es rayado profundo de la pista donde grandes partículas son "aplastadas" por los elementos rodantes⁵².

11.5.2 Eje: El eje puede fallar por una de las siguientes condiciones,

- ✓ Rodamientos defectuosos
- ✓ Calentamientos localizados
- ✓ Choque térmico

⁽⁵²⁾ Capacitación, Fallas en rodamientos, SKF

- ✓ Cargas axiales y/o radiales excesivas
- ✓ Impulsor o poleas desbalanceadas
- ✓ Corrosión
- ✓ Torque y contra torque por alta frecuencia de paradas y partidas
- ✓ Flujo reverso o arranque en contracorriente
- ✓ Velocidad muy alta o en el rango de resonancia
- ✓ Impulsor suelto, rozando o gripado
- ✓ Poleas o acoplamientos desalineados
- ✓ Instalación o ajustes defectuosos
- ✓ Material inadecuado.

11.5.3 Impulsor y carcasas o revestimientos: Puede fallar si se presentan alguna de las siguientes condiciones

- ✓ Holgura incorrecta entre impulsor y plato de succión o anillo de desgaste
- ✓ Giro reverso y/o impulsor suelto
- ✓ Flujo muy bajo
- ✓ Velocidad muy alta
- ✓ Diseño o material inadecuado para la aplicación
- ✓ Calentamiento por roce o bajo flujo y rotura por choque térmico.
- ✓ Las otras causas de desgaste dependen de factores externos como cavitación, características del fluido y condiciones de operación⁵³.

11.5.4 trouble shooting Varios factores del sistema pueden afectar el desempeño de la bomba, estos factores son: temperatura, gravedad específica, presión de succión, velocidad del controlador, rata de flujo, características de control, estos

⁽⁵³⁾ Capacitación, Fundamentos de Bombas centrifugas, Flowserve

factores así como problemas internos deben ser considerados cuando se analiza el desempeño de un sistema de bombeo, con este propósito se han creado guías que permiten focalizar el esfuerzo del análisis hacia determinadas causas probables.

Nota: En el anexo 9 da información de diagnóstico que puede ser útil cuando se analizan problemas de desempeño en bombas, de forma tabulada.

12. LEYES DE SEMEJANZA

GENERALIDADES

La aplicación de las leyes de la semejanza en las máquinas hidráulicas nos permitirá obtener los parámetros de funcionamiento de una turbo máquina a partir de otra, con sólo imponer una serie de condiciones geométricas y de funcionamiento a ambas máquinas. Veamos los siguientes análisis para ubicarnos y saber el porque son tan importante el concepto de las leyes de semejanza. (Basado en: Aplicaciones de las leyes de semejanza en las maquinas hidráulicas – Hidráulica aplicada)

- ❖ “El constructor de una bomba no puede dar el comportamiento de una bomba para cualquier régimen de velocidad, sino que puede hacer un número limitado de ensayos para unos determinados r.p.m, los más comunes, y el resto sería útil poder deducirlos sin tener que hacer el ensayo en sí.
- ❖ Si queremos construir una bomba o una turbina de grandes dimensiones, no podemos arriesgarnos a cometer errores y que esta no proporciones las prestaciones adecuadas. Por tanto resulta de utilidad construir un modelo adecuado a escala y hacer las pruebas en él, con la confianza que después al ser trasladadas al modelo a escala real las características funcionales se conservarán.
- ❖ La base para la fabricación en serie es poder construir una bomba más o menos estándar y después con pocas modificaciones poder abarcar una gran gama de puntos de funcionamiento. Estos se puede realizar con pequeñas modificaciones es las dimensiones del rodete, manteniendo el

resto de parámetros constantes. Por tanto, resulta de utilidad disponer de curvas que abarquen todos estos cambios”⁵⁴.

12.1 OBJETIVOS DE LAS LEYES DE AFINIDAD

En síntesis, Podemos resumir la aplicación a de la semejanza en tres objetivos fundamentales:

12.1.1 “Determinar las curvas de respuesta de una bomba cuando cambia su velocidad de rotación

Resulta muy útil estimar cual será la curva de funcionamiento de una bomba cuando cambia su régimen de giro, por ejemplo para aplicar una bomba a un motor de arrastre diferente, si queremos controlar la bomba mediante un variador de frecuencia (variación del régimen de giro).

12.1.2. Obtener las características de una máquina semejante a otra pero de diferente tamaño

Por ejemplo, obtener las curvas de funcionamiento de una bomba cuando se cambia el tamaño del rodete, o por ejemplo hacer un ensayo con un modelo a escala de la máquina a utilizar. Por ejemplo cuando se desea fabricar una turbina para una central hidroeléctrica no podemos arriesgarnos a fabricarla a tamaño real y que después no nos proporcione las prestaciones necesarias.

⁽⁵⁴⁾ Aplicaciones de las leyes de semejanza en las maquinas hidráulicas –
Hidráulica aplicada. Ingeniería industrial

12.1.3. Parametrizar el comportamiento de las máquinas ensayadas a través de ábacos adimensionales y diagramas universales

Se trata de obtener características funcionales en función de distintos parámetros con el objetivo de poseer datos para futuros prototipos o caracterizar familias de bombas.

Ahora bien, Para que la predicción del comportamiento de una máquina de tamaño natural (prototipo) a partir de los ensayos realizados con un modelo sea válida, exige en general 3 condiciones:

- a. Semejanza Geométrica
- b. Semejanza Cinemática
- c. Semejanza Dinámica

a. La Semejanza geométrica en una turbó máquina hidráulica (TMH) exige que toda la parte de la maquina ocupada por el flujo se realice a escala en el modelo: Cámara de fluido, rotor etc., es decir, no solo entre los, pasajes fluidos sino también entre los escurrimientos respectivos dentro de dichos pasajes.

b. La Semejanza cinemática en una TMH se reduce a que en todos los puntos, y en particular en la entrada y salida del rodete los triángulos de velocidad sean semejantes. Las velocidades fluidas deberán tener la misma dirección en puntos homólogos, lo que significa que no solo las velocidades totales deberán cambiar proporcionalmente sino también sus componentes.

c. Semejanza Dinámica: El problema de la similitud de condiciones de escurrimiento puede describirse por una pregunta: ¿Bajo que condiciones

se producen escurrimientos similares de líquido alrededor o dentro de cuerpos geoméricamente similares? La respuesta es que, no solo las superficies sino también las fuerzas que actúan sobre un fluido deben estar similarmente dispuestas, pues de otro modo el fluido sería forzado a seguir las trayectorias no similares, pese a la similitud de los pasajes fluidos.

Distribuciones de velocidades similares serán acompañadas por distribuciones similares de fuerzas, solo sí las fuerzas tienen la misma relación respecto a las velocidades fluidas en todos los puntos homólogos de los sistemas comparados. Este es el caso si solamente se consideran las **fuerzas de inercia y** de masa como únicas fuerzas intervinientes. Se sigue de aquí que, bajo estas condiciones, los contornos geoméricamente semejantes, producirán escurrimientos geoméricamente semejantes”⁵⁵.

12.2 Ecuaciones de Leyes de Afinidad.

Teniendo claro los objetivos de la aplicación de las leyes de semejanza en equipos de bombeo, A continuación expondremos las leyes de afinidad para bombas centrífugas en función de las velocidades de rotación.

Primera Ley: La capacidad es directamente proporcional a la relación de velocidades del impulsor.

Ecuación 13

$$capacidad_2 = capacidad_1 \frac{R.P.M_2}{R.P.M_1}$$

⁽⁵⁵⁾ Aplicaciones de las leyes de semejanza en las maquinas hidráulicas –
Hidráulica aplicada. Ingeniería industrial

Segunda ley: La cabeza desarrollada es directamente proporcional a la relación de velocidades elevadas al cuadrado.

$$\text{Ecuación 14} \quad Head_2 = Head_1 \left(\frac{R.P.M_2}{R.P.M_1} \right)^2$$

Tercera ley: La potencia es directamente proporcional a la relación de velocidades elevadas al cubo.

$$\text{Ecuación 15} \quad Bhp_2 = Bhp_1 \left(\frac{R.P.M_2}{R.P.M_1} \right)^3$$

Por otra parte las leyes de afinidad también pueden ser escritas en función de los diámetros del impulsor.

Cuarta ley: La capacidad es directamente proporcional a la relación de diámetros del impulsor.

$$\text{Ecuación 16} \quad capacidad_2 = capacidad_1 \frac{IMP_2}{IMP_1}$$

Quinta ley: La cabeza desarrollada es directamente proporcional a la relación de los diámetros del impulsor elevados al cuadrado.

$$\text{Ecuación 17} \quad Head_2 = Head_1 \left(\frac{IMP_2}{IMP_1} \right)^2$$

Sexta ley: La Potencia es directamente proporcional a la relación de los diámetros del impulsor elevados al cubo.

Ecuación 18
$$Bhp_2 = Bhp_1 \left(\frac{IMP_2}{IMP_1} \right)^3$$

Una vez conociendo las ecuaciones que rigen las leyes de afinidad, apliquémoslas mediante el siguiente ejemplo.

- Se tiene una bomba OH1, la cual esta operando de acuerdo a las siguientes variables.

$$Q_1 = 100 \text{ gpm}$$

$$H_1 = 50 \text{ ft}$$

$$BHP_1 = 5 \text{ hp}$$

$$n_1 = 1800 \text{ rpm}$$

Si se varia la velocidad a $n_2 = 3500 \text{ r.p.m}$, cual serian las nuevas condiciones de operación?

Solución.

De acuerdo a las leyes de afinidad solo se debe reemplazar los valores.

Según la ecuación 13.

$$Q_2 = (100 \text{ gpm}) \left(\frac{3600}{1800} \right) = 200 \text{ gpm}$$

Según la ecuación 14.

$$H_2 = (50 \text{ ft}) \left(\frac{3600}{1800} \right)^2 = 200 \text{ ft}$$

Según la ecuación 15.

$$BHP_2 = (5 \text{ hp}) \left(\frac{3600}{1800} \right)^3 = 40 \text{ hp}$$

Lo que indica que esta bomba al cambiar su velocidad de rotación debe trabajar de acuerdo a estas variables,

Ahora bien, Se tiene una bomba OH1, la cual esta operando de acuerdo a las siguientes variables.

$$Q_1 = 100 \text{ gpm}$$

$$H_1 = 50 \text{ ft}$$

$$BHP_1 = 5 \text{ hp}$$

$$n_1 = 1800 \text{ rpm}$$

$$d_1 = 10''$$

Si se varia el diámetro a $d_2 = 8 \text{ in}$, cual serian las nuevas condiciones de operación

De acuerdo a las leyes de afinidad solo se debe reemplazar los valores.

Según la ecuación 16.

$$Q_2 = (100 \text{ gpm}) \left(\frac{8}{10} \right) = 80 \text{ gpm}$$

Según la ecuación 17.

$$H_2 = (50 \text{ ft}) \left(\frac{8}{10} \right)^2 = 32 \text{ ft}$$

Según la ecuación 18.

$$BHP_2 = (5 \text{ hp}) \left(\frac{8}{10} \right)^3 = 2.6 \text{ hp}$$

Lo que indica que al cambiar el diámetro de impeler de esta bomba debe operar de acuerdo a las variables calculadas.

13. COSTO DEL CICLO DE VIDA EN BOMBAS CENTRIFUGAS

Generalidades.

El objetivo de este capítulo es formular unas instrucciones para así ayudar a usuarios, consultores e ingenieros a optimizar los sistemas de bombeo en relación con el costo total a lo largo de toda la vida útil del equipo.

Se dice que los sistemas de bombeo “ *cubren casi un 20% de la demanda de energía eléctrica a nivel mundial y entre el 25 y 50% del consumo de energía en ciertas instalaciones industriales. Los sistemas de bombeo son muy variados y prestan sus servicios a aplicaciones domésticas, públicas y agrícolas; en infraestructura, y en la industria (alimentaria, química, petroquímica, farmacéutica y mecánica)*”⁵⁶. Aunque las bombas se ofrecen al mercado como máquinas individuales, éstas en realidad sólo desempeñan su función formando parte de un sistema. La energía y los materiales utilizados para conseguir esta labor dependen del diseño de la bomba, de la instalación y de la forma de funcionamiento del sistema. Estos factores son interdependientes entre sí, y lo que es más, el ajuste entre ellos debe ser perfecto y mantenerse así durante toda su vida útil para garantizar el consumo y costo energético más bajos. El precio inicial de compra es una pequeña parte del Costo Total del Ciclo de Vida en bombas de alta utilización. Es posible que a veces los requerimientos del servicio demandado se consideren más importantes que el costo energético, pero aún así es posible encontrar una solución óptima.

Un mayor conocimiento de todos los elementos que constituyen el costo total de la propiedad nos ofrece la oportunidad de reducir enfáticamente los costos energéticos, funcionamiento y mantenimiento. Un gasto y consumo de energía excesivos son factores importantes en la contaminación general del ambiente. Reduciendo el consumo de energía y de materiales también se beneficia el usuario con la disminución de sus costos.

“El análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCC) es una herramienta de gestión que puede ayudar a las empresas a minimizar las pérdidas y a maximizar el rendimiento energético de muchos tipos de sistemas, incluyendo los de bombeo”⁵⁷. En nuestro trabajo elaboraremos una Guía para el Análisis del Costo del Ciclo de Vida en Sistemas de Bombeo con el fin de asesorar a propietarios y compañías explotadoras de instalaciones en la aplicación de la metodología del Costo del Ciclo de Vida a los sistemas de bombeo.

¿Por qué las compañías deben preocuparse del Costo del Ciclo de Vida?

Muchas empresas sólo toman en consideración el costo inicial de la compra e instalación de un sistema. Por interés fundamental del diseñador y/o director de la planta, es necesario evaluar el costo del ciclo de vida de las distintas soluciones antes de instalar nuevos e importantes equipos, o de realizar una reforma general. Esta valoración revelará la alternativa financieramente más atractiva. Partiendo del hecho de que los mercados nacionales e internacionales continúan haciéndose cada vez más competitivos, las empresas deben mantener una búsqueda continua de ahorrar en costos para mejorar la rentabilidad de sus actividades.

⁽⁵⁶⁾ ⁽⁵⁷⁾ Pump Life Cycle Costs: Executive Summary A Guide To Lcc Analysis For Pumping Systems. Europump.

El funcionamiento de los equipos instalados en plantas recibe una atención especial como fuente de ahorro de costos, especialmente en la reducción del consumo energético y en el tiempo de parada de la planta por averías.

Además de argumentar motivos económicos para utilizar el LCC (Life Cycle Cost), muchas empresas están siendo cada vez más consciente del impacto ambiental que producen sus actividades, por lo que están tendiendo que utilizar eficazmente la energía como la vía para reducir las emisiones y preservar los recursos naturales.

❖ **Como Empezar**

El análisis LCC requiere la valoración de sistemas alternativos tanto en el caso de instalaciones de nueva construcción o remodelaciones. En la mayor parte de ellas, los costos energéticos y/o de mantenimiento durante la vida útil de los equipos serán los que dominen los costos totales del ciclo de vida; por tanto, es necesario determinar con precisión los costos de energía actuales, la previsión de la subida anual de precios a lo largo de todo el ciclo de vida estimado, además de los trabajos de mantenimiento y costos de material previstos.

La estimación de otros elementos tales como los costos de parada por averías durante el ciclo de vida, la retirada del equipo y la protección ambiental, a menudo puede realizarse basándose en los datos históricos de la planta. Dependiendo del proceso, los costos generados por los tiempos de parada pueden ser más importantes que los de consumo energético o mantenimiento, por lo que las pérdidas de productividad debidas a estos períodos de paralización son un elemento importante a tener en cuenta.

13.1 ¿Qué es el Costo del Ciclo de Vida?

“El costo de la vida de cualquier equipo es el costo total de toda su vida que incluye la compra, instalación, funcionamiento, mantenimiento y retirada de dicho equipo. Determinar este costo implica seguir una metodología que identifique y cuantifique todos los componentes que forman la ecuación de este costo.

Al utilizarla como herramienta comparativa entre el posible diseño o alternativas examinadas, este método hará que sea posible obtener la solución más rentable dentro de los límites de los parámetros disponibles⁵⁸.”

13.1.1 Ecuación del costo del ciclo de vida: La ecuación del **COSTO DEL CICLO DE VIDA O LCC** puede enunciarse según sigue:

$$\text{LCC} = (\text{C}_{\text{IC}} + \text{C}_{\text{in}} + \text{C}_{\text{e}} + \text{C}_{\text{o}} + \text{C}_{\text{m}} + \text{C}_{\text{s}} + \text{C}_{\text{amb}} + \text{C}_{\text{d}})$$

LCC = Costo del Ciclo de Vida o CCV

C_{IC} = Costo inicial, costo de compra (bomba, sistema, tubería, accesorios)

C_{IN} = Instalación y puesta en marcha

C_e = Costos energéticos

C_o = Costo de operación (costo del trabajo de supervisión normal del sistema)

C_m = Costo de mantenimiento (piezas, horas de mano de obra)

C_s = Tiempo de avería, pérdida de producción

C_{amb} = Costos medioambientales

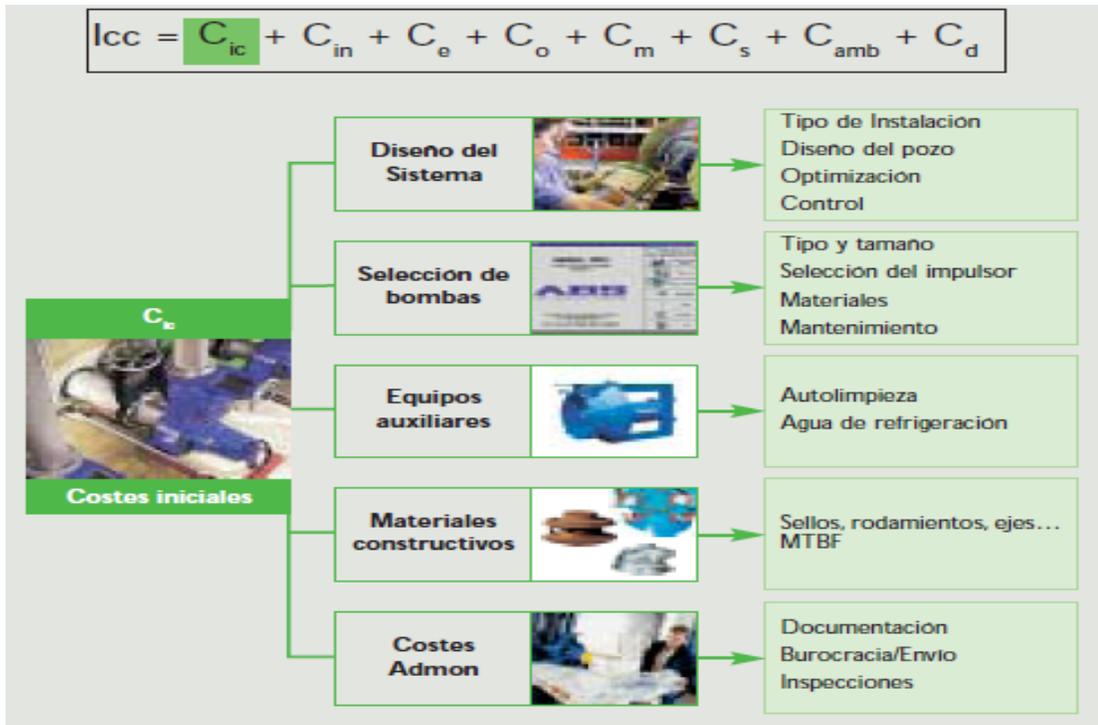
C_d = Retirada/cierre definitivo

⁽⁵⁸⁾ sanz, f. iñigo. El Costo De Ciclo De Vida En Las Bombas

Ahora veremos más detallados que significan cada uno de los parámetros (costos) que conforman el LCC:

➤ **El Costo Inicial C_{IC}**

Figura 103. Consecuencias de la Selección de equipos



El Costo De Ciclo De Vida En Las Bombas

El encargado del diseño debe decidir el desarrollo final del sistema de bombeo. Cuantos más pequeños sean los diámetros de los tubos, menor será el costo para comprar e instalarlos, pero en contrapartida un menor diámetro de las tuberías de la instalación obliga a usar una bomba más potente seguida de un aumento de los costos de funcionamiento. Además los tamaños pequeños de tubos en el lado de aspiración de la bomba reducirán el NPSH admisible.

Otras opciones importantes son la calidad del equipo seleccionado. Debe haber varias opciones para diferentes materiales en función de diferentes versiones de acabado, dureza de rodamientos y sellos mecánicos, o elementos de control más

caros, todos los cuales mejorarían la vida útil de la bomba. Estas y otras opciones deben afectar en incrementar los costos iniciales pero que reducirán el costo de ciclo de vida.

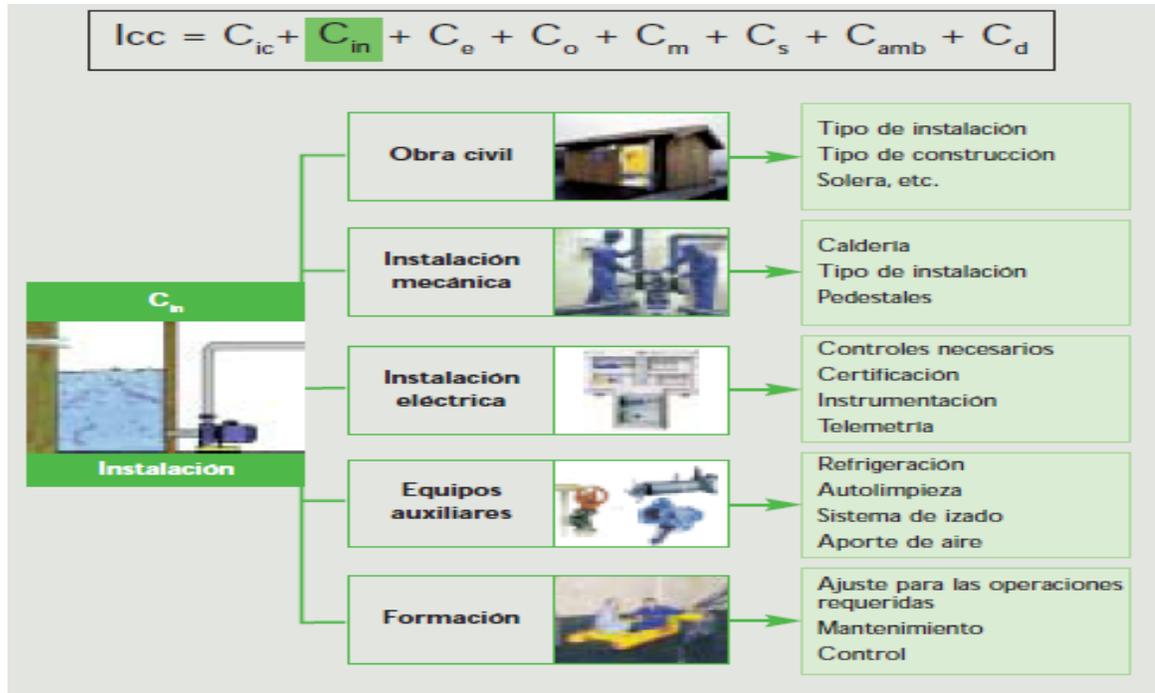
El costo inicial normalmente incluye los siguientes puntos:

- Estudio técnico (diseños y planos, especificaciones iniciales).
- Proceso de licitación.
- Orden de compra para administración.
- Pruebas e inspecciones.
- Inventario de piezas de repuesto.
- Equipos auxiliares de refrigeración y sellado.

➤ **Costo de Instalación y Puesta en Marcha C_{IN}**

Los sistemas de bombeo pueden ser instalados por un suministrador de equipos, un contratista o personal propio. Esta decisión depende de varios factores, incluyendo los métodos, herramientas y equipos necesarios para realizar la instalación; requerimientos del proceso contractual, normas reguladoras de la construcción, y la disponibilidad de personal instalador competente. El personal de la planta o de la empresa constructora deberá coordinarse bajo la supervisión del suministrador.

Figura 104. El Efecto de la Instalación



El Costo De Ciclo De Vida En Las Bombas

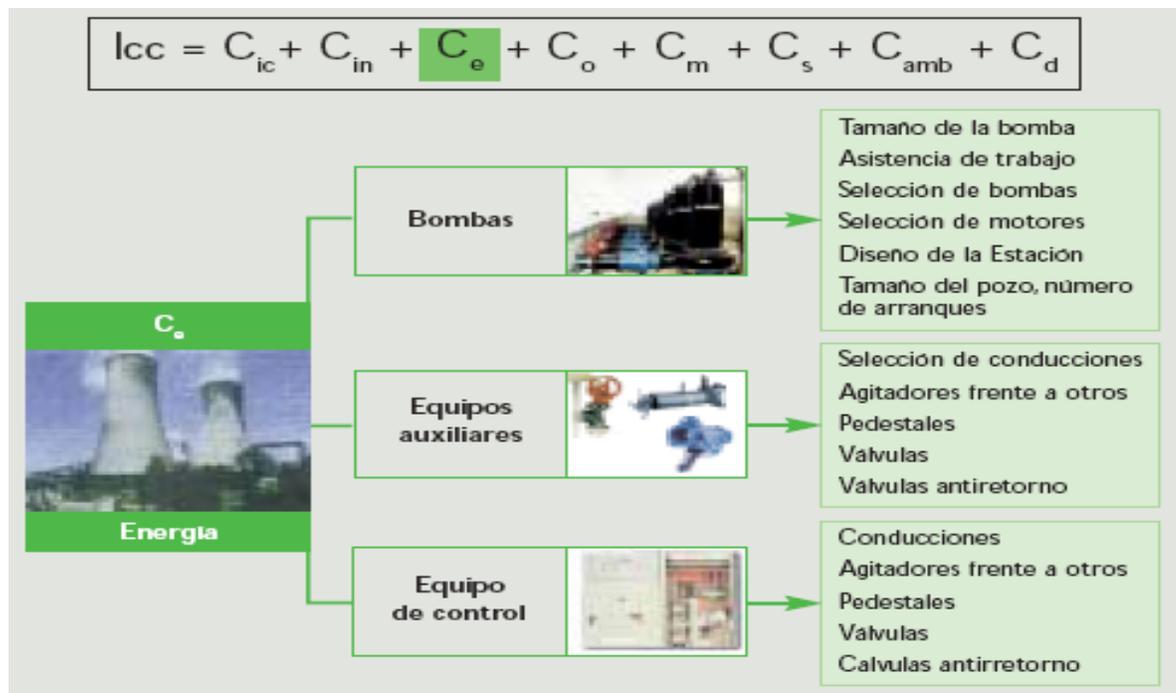
Las instrucciones de instalación deberán ser seguidas con rigurosa precaución. El adiestramiento del personal que operará en la instalación es un elemento primordial en el buen funcionamiento de la planta y la obtención de un rendimiento óptimo. La puesta en marcha requiere una especial atención a las instrucciones del fabricante y al proceso de puesta en marcha inicial. Una lista de comprobación será usada para reconfirmar que la instalación y los sistemas que lo componen funcionan según los requerimientos especificados. Siempre será necesaria una prueba final antes de entregar la instalación.

La instalación y puesta en marcha incluye:

- Cimentación.
- Colocación y anclaje del equipo en la solera.
- Conexión de los tubos (fontanería/calderería).
- Conexión de la aparamenta eléctrica y la instrumentación.
- Conexión de los sistemas auxiliares y otros accesorios.
- Prevención anti-inundaciones.
- Puesta a punto y arranque.
- Rodaje.

➤ **Costos Energéticos C_e**

Figura 105. El Efecto de los Costos Energéticos



El Costo De Ciclo De Vida En Las Bombas

El consumo energético es muy a menudo el mayor elemento de costo que va a presidir el ciclo de costo de vida, principalmente en bombas que trabajan más de 2000 horas al año (un año tiene 8760 h). El consumo energético se calcula primero recopilando del modelo de funcionamiento del sistema. Si la salida es continua, el cálculo es simple. Si la salida varía con el tiempo, entonces es necesario establecer un seguimiento histórico.

La formula para el cálculo de la potencia de entrada esta dada por:

$$P = \frac{Q \times H \times g_e}{366 \times \eta_p \times \eta_m} \text{ (kW) } \textit{ Sistema Metrico Internacional}$$

Ecuación 19

$$P = \frac{Q \times H \times g_e}{3960 \times \eta_p \times \eta_m} \text{ (hp) } \textit{ Sistema Ingles}$$

Donde : $P = \textit{Potencia}$

$Q = \textit{Rata de Flujo}$

$H = \textit{Cabeza de la Bomba}$

$\eta_p = \textit{Eficiencia de la Bomba}$

$\eta_m = \textit{Eficiencia del Motor}$

$g_e = \textit{Gravedad Especifica}$

El encargado de diseño de la planta necesita obtener por separado los distintos datos que muestren el trabajo a realizar por cada bomba teniendo en cuenta todo su rango de trabajo.

“La ejecución de cada bomba puede ser cuantificada evaluando las eficacias de cada bomba o estudiando los consumos energéticos para cada fase de trabajo. Un sistema de control externo generará una carga energética constante, mientras que un sistema variable de seguimiento consumirá diferentes niveles de energía. Si el

control se realiza mediante válvulas reductoras de presión la eficacia se reducirá pero incrementará el consumo energético. Los niveles energéticos totales de la instalación pueden ser estudiados al mismo tiempo que el accionamiento de las bombas al usar válvulas. EL área que cubre la curva de la bomba representa el total energético consumido por el sistema, afectando al ciclo operativo seleccionado. Los resultados se obtendrán en kWh. Si hay distintos costos energéticos a diferentes niveles de carga entonces las áreas abarcadas por las curvas deben quedar totalizadas dentro de esos niveles”⁵⁸.

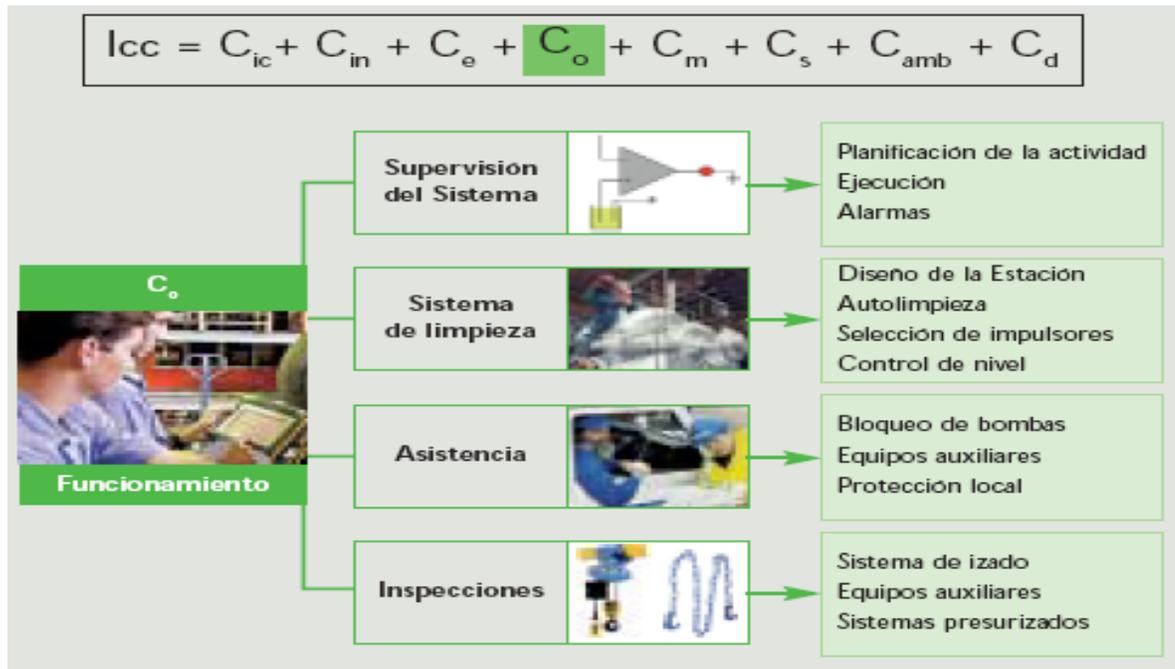
Una vez calculadas las necesidades energéticas, se podrán aplicar al total de kWh para cada período de trabajo. El costo total energético requerido puede ser encontrado para cada sistema bajo una revisión y desarrollado en un período común de tiempo.

Para finaliza, la energía y los costos de consumo de material para servicios auxiliares necesitan ser incluidos. Estos costos pueden provenir de los circuitos de refrigeración calentamiento o de sistemas de estanqueidad. A menudo no se distingue entre la variedad de sistemas de diseño que puede afectar la selección de diferentes materiales o sistemas de cierre.

⁽⁵⁸⁾ sanz, f. iñigo. El Costo De Ciclo De Vida En Las Bombas

➤ El Costo de Operación C_o

Figura 106. El Efecto del Funcionamiento



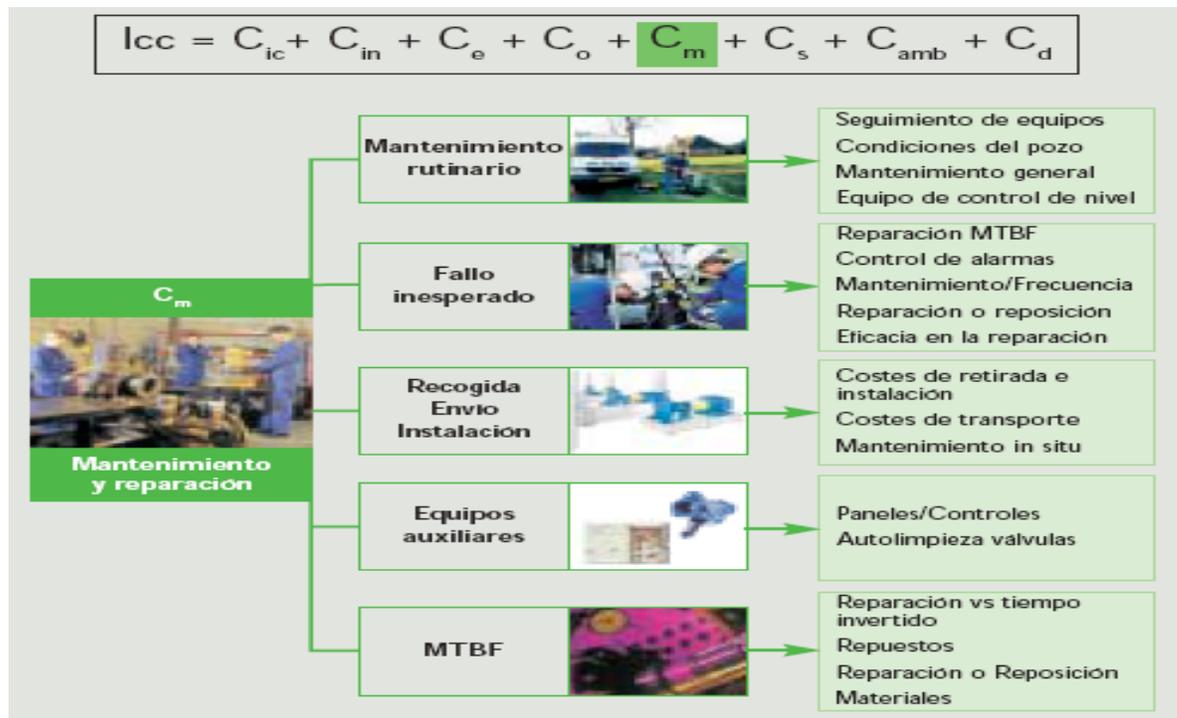
El Costo De Ciclo De Vida En Las Bombas

Los costos de operación o funcionamiento son costos afines a la operación del sistema de bombeo. Éstos varían ampliamente dependiendo de las características de cada sistema. Por ejemplo, el funcionamiento de un bombeo peligroso hará necesarios controles diarios para seguir las posibles emisiones peligrosas, seguimiento en la operación, y ejecución fuera de los parámetros tolerados. Por otro lado, un sistema no peligroso absolutamente automatizado requerirá una supervisión muy limitada. La observación periódica del proceso de funcionamiento podrá poner en aviso a los operarios sobre las posibles pérdidas en la correcta ejecución del sistema. Los indicadores del correcto funcionamiento incluyen cambios en la vibración del equipo, síntomas de sobreesfuerzos, temperatura, ruido, consumo energético, proporción de caudal y presión.

➤ **Costo de Reparación y Mantenimiento C_m**

Para obtener una vida óptima de trabajo de una bomba, se requiere un servicio regular y eficiente. El fabricante avisará al usuario sobre la frecuencia y la carencia del proceso de mantenimiento. El costo depende del tiempo y la frecuencia del servicio y el costo de los materiales. El diseño podrá afectar a estos costos motivados por los materiales de construcción, los componentes elegidos y la facilidad de acceso a las partes que deben ser servidas.

Figura 107. El Efecto de las Reparaciones por Mantenimiento



El Costo De Ciclo De Vida En Las Bombas

El programa de mantenimiento puede requerir desde una reparación inusual pero importante hasta el más frecuente y simple servicio. Los trabajos habituales de mantenimiento obligarán a trasladar la bomba al taller.

En el período de tiempo en que la bomba no está disponible en la planta de proceso, puede haber una disminución en la producción o se notará el costo de una reposición temporal. Estos costos pueden ser minimizados realizándose una programación previa o programar el mantenimiento para las paradas previstas o para los cambios de proceso.

“Distinguiremos pues 2 modos de trabajo: No hay bomba reparable disponible, mientras que por el contrario tendríamos Bomba reparable disponible.”

El costo se va a calcular como sigue:

- **Costo de bomba reparable disponible** = costos de reparación + costos de piezas de recambio + otro material de desgaste + costo de pérdidas de producción o recambio temporal.
- **Costo adicional cuando no hay bomba reparable disponible** = costo de transporte de la bomba + costo de limpieza + costos de inspección + costos de reinstalación.”⁵⁹.

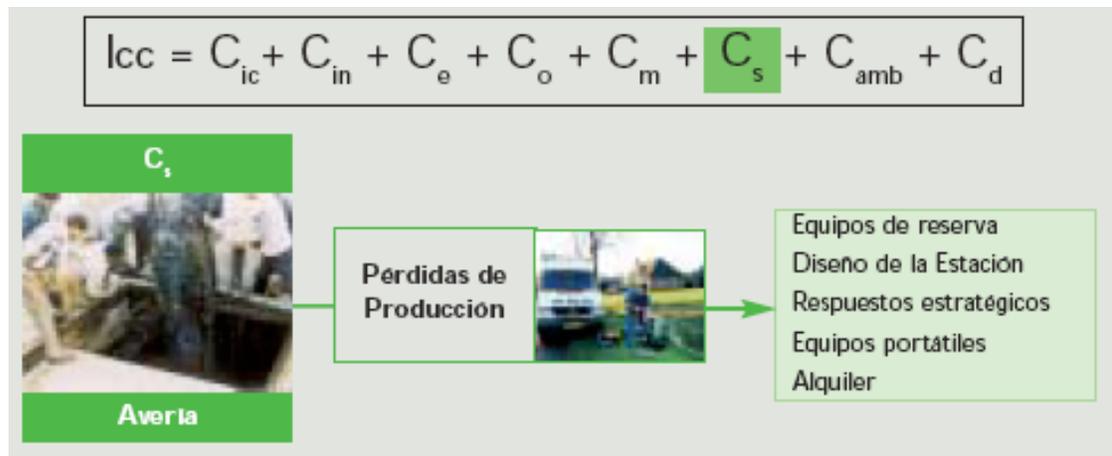
Los costos de reparación suelen incluir los portes, y los costos de entrenamiento necesarios para poder realizar el trabajo de una forma competente. Las tolerancias en el cálculo del costo se hacen para cambios de costo esperados o alguna variación en la revisión. La devaluación temporal del dinero puede ser considerado tanto como costos energéticos o de mantenimiento.

“El costo total de mantenimiento se obtiene multiplicando los costos de cada intervención por el número de intervenciones que se espera efectuar durante el ciclo de vida de la bomba.

Aunque los fallos inesperados no se pueden predecir con precisión, éstos se pueden estimar estadísticamente mediante el cálculo de tiempo entre fallos (Mean Time Between Failures) MTBF se puede estimar para componentes y entonces combinarlo para dar un valor concreto para el equipo completo.”⁶⁰.

➤ **Costo de Inactividad y Perdida de la Operación C_s**

Figura 108. El Efecto de la Avería



El Costo De Ciclo De Vida En Las Bombas

El costo por el tiempo inesperado de parada y la pérdida de actividad en la producción puede ser un valor muy relevante en el Ciclo del costo de vida y puede competir con los costos energéticos y los costos de reemplazo en los efectos que causa. El valor de la pérdida de producción puede empequeñecer otros elementos.

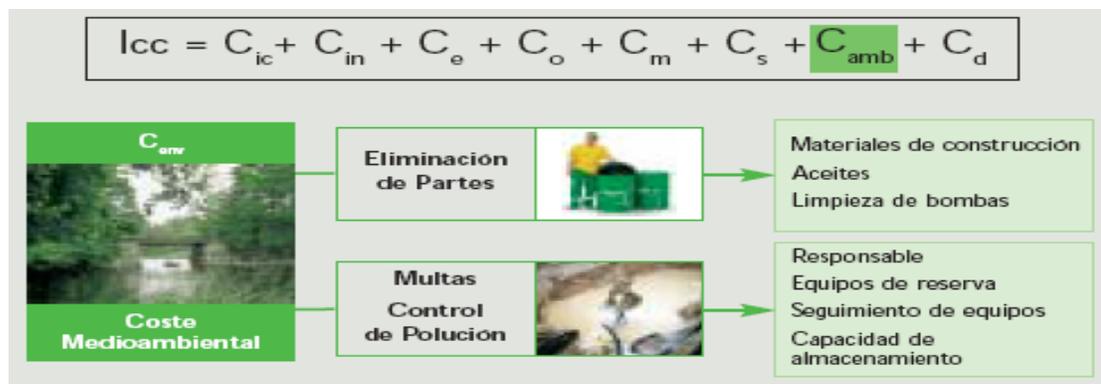
(59) (60) sanz, f. Iñigo. El Costo De Ciclo De Vida En Las Bombas

A pesar del diseño o de la esperanza de vida de una bomba y de sus componentes, habrá ocasiones donde aparecerá el fallo inesperado. Para aquellos casos donde el costo de pérdidas en la producción es inaceptablemente alto, una bomba de repuesto debería ser instalada en paralelo para reducir el riesgo. Si la bomba de repuesto entra en funcionamiento, el costo inicial será más grande pero el costo de mantenimiento no programado incluirá sólo el costo de la reparación. El costo de pérdida de producción depende del tiempo de parada y varía dependiendo de cada caso.

➤ **Costos Medioambientales C_{amb}**

El costo de la acción contaminadora durante la vida del sistema de bombeo varía significativamente dependiendo de la naturaleza del producto bombeado. Ciertas opciones pueden reducir la cantidad de contaminación, pero usualmente producen un incremento en los costos de I+D.

Figura 109. El Efecto del Costo Medioambiental



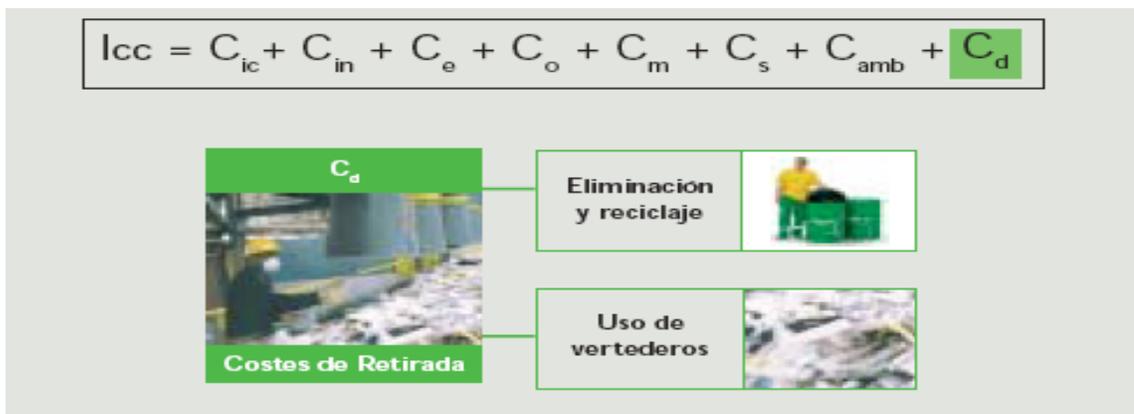
El Costo De Ciclo De Vida En Las Bombas

Ejemplos de contaminación ambiental pueden incluir el líquido refrigerante, residuos de la empaquetadura, elementos antideflagrantes, lubricantes, partes usadas contaminadas como sellos y cierres (por el contrario se utilizan pinturas ecológicas no contaminantes). Los costos de inspecciones ambientales también van incluidos.

➤ **El Costo por Retirada incluida la Restauración Medioambiental C_d**

En la amplia mayoría de los casos, el costo de la venta de un sistema de bombeo variará poco en función de los diferentes diseños. Esto es ciertamente verdadero para líquidos no dañinos, y en la mayoría de los casos para los líquidos peligrosos también. Elementos tóxicos, radioactivos, u otros elementos líquidos peligrosos llevarán impuestos seguimientos legales, los cuales serán los mismos para casi todos los sistemas.

Figura109. El Efecto de los Costos de Retirada



El Costo De Ciclo De Vida En Las Bombas

La diferencia puede aparecer cuando un sistema tiene las disposiciones como parte de otro dispositivo, por ejemplo una bomba sanitaria en una zona que se pretende limpiar, aunque otras veces no, por ejemplo una bomba sanitaria para bombear antes de la limpieza. Argumentos equivalentes se podrán utilizar a los costos de recuperación del medio ambiente. Cuando la ubicación es muy caro, los Costos del Ciclo de Vida llegan a ser mucho más sensibles para la vida útil del equipo.

13.2 COSTO DEL CICLO DE VIDA TOTAL

Los costos estimados para los diferentes elementos forman el total de los costos del ciclo de vida, necesitan ser tenidos en cuenta para permitir una comparación de los diseños que se está considerando.

“También hay factores financieros para tener en cuenta en el desarrollo de la LCC.

Estos incluyen:

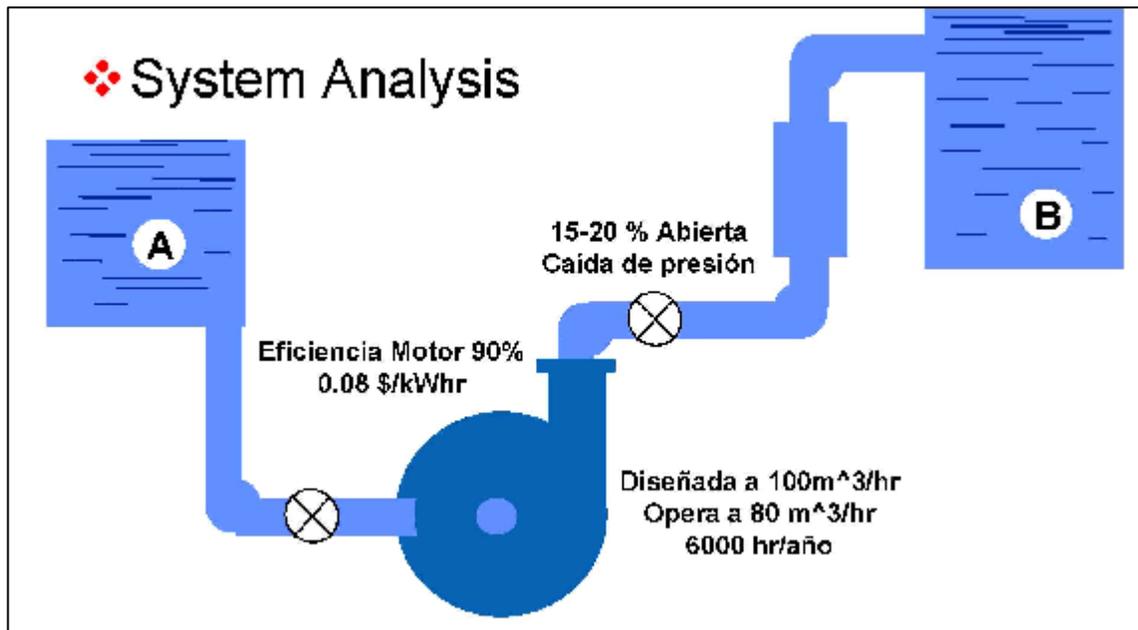
- *Precios Actuales de la Energía*
- *Inflación “Expectativas por el aumento de la Energía”*
- *Tasa de descuento*
- *Tasa de Interés*
- *Expectativa por la vida de los equipos”⁶¹.*

Además, el usuario debe decidir qué costos incluirá en: mantenimiento, tiempo de inactividad, medio ambiente, eliminación, y otros costos importantes..

⁽⁶¹⁾ Pump Life Cycle Costs: Executive Summary A Guide To Lcc Analysis For Pumping Systems. Europump.

Ejemplo.

Se tiene la siguiente instalación:



Aspectos claves del problema:

- Bombeo a tanque de almacenamiento presurizado.
- El fluido contiene sólidos
- El fluido pasa por intercambiador de calor
- El flujo es regulado por una válvula de control a 80 m³/hr.
- La válvula falla por erosión-cavitación cada 12 meses. Costo de Reparación \$4k
- El Ingeniero de Proyecto cambia a un modelo resistente a la cavitación pero busca otras soluciones y analiza el LCC sobre las soluciones alternativas

- **Opciones**

1. Nueva Válvula de Control para regular la alta presión diferencial.
2. Recortar diámetro de impulsor para reducir la caída de presión en la válvula de control
3. Instalar VFD, eliminando la válvula de control
4. No actuar.

Costos y asunciones

- Rutina de mantenimiento anual \$ 500
- Costo de reparación \$ 2500 cada dos años
- No hay costos ambientales ni de remoción
- 8 años de vida proyectada
- Taza de interés del capital del proyecto 8%, inflación 4%
- Nueva válvula de control \$ 5000
- Modificar impulsor \$ 2250
- Instalar VFD \$ 21500
- Reparar válvula \$ 4000

Datos de operación según los cambios a realizar.

S Costo	(1) Cambiar Valv de control	(2) Recortar impulsor	(3) VFD	(4) Reparar Valv de control
Diám. impulsor, mm	430	375	430	430
Altura total, m	71.7	42.0	34.5	71.7
Eficiencia %	75.1	72.1	77	75.1
Caudal, m³/hr	80	80	80	80
Potencia, kW	23.1	14.0	11.6	23.1
Energía, \$/año	11,088	6,720	5,568	11,088
Válvula nueva	5000	0	0	0
Modificar impulsor	0	2250	0	0
VFD	0	0	20000	0
Instalación VFD	0	0	1500	0
Reparar válv./ año	0	0	0	4000

Costos de labores.

S Costo	(1) Cambiar Valv de control	(2) Trim Impeller	(3) VFD	(4) Reparar Valv de control
Inversión Inicial	5000	2250	21500	0
Energía /kWhr	0.08	0.08	0.08	0.08
Potencia, kW	23.1	14.0	11.6	23.1
Horas de operación	6000	6000	6000	6000
Costo de energía	11,088	6,720	5,568	11,088
Mantenimiento/año	500	500	1000	500
Reparación / 2^{do} año	2500	2500	2500	2500
Otros costos anuales	0	0	0	4000
Downtime cost / year	0	0	0	0
Costo ambiental	0	0	0	0
Costo remoción/ año	0	0	0	0
Vida útil, años	8	8	8	8
Tasa de interés %	8	8	8	8
Taza inflación %	4	4	4	4
Valor actual del LCC	91,827	59,481	74,313	113,930

14. TRABAJO DE CAMPO – MTTTO DE BOMBA

14.1 PLANTEAMIENTO DEL CASO.

Generalidades:

De acuerdo a las manifestaciones de la empresa ABOCOL (Abonos colombianos), en referencia a la insatisfacción que tenían por el alcance de las condiciones operativas de una de sus bombas de torre de agua de enfriamiento la compañía FLOWSERVE en calidad de fabricante de este tipo de bombas suministro una solución para que el equipo volviera a funcionar de manera optima.

La instalación consiste en 3 bombas centrifugas dispuestas para trabajar en forma paralela, trabajando 2 simultáneamente y quedando una de respaldo, estas bombas tienen las siguientes características.

Marca = (IR) Ingersoll rand.

Modelo = ALV, Size = 6ALV.

Las bombas han estado en operación durante mucho tiempo lo que lleva sin duda alguna al deterioro de las mismas ya sea por las condiciones operativas del propio sistema o por fallas mecánicas y de diferentes tipos.

Para soportar el mal funcionamiento de los equipos, además de los datos entregados por ABOCOL, se hicieron mediciones específicas, incluyendo medición de caudal, de presión, de amperaje, de voltaje, de eficiencia, y de vibraciones mecánicas cuando operaban los equipos de forma paralela y de manera individual.)

Nota; Por motivos de confiabilidad estos datos no pueden ser publicados en este documento.

La situación problema como tal se ve reflejada en que ninguno de los tres equipos trabajaba de acuerdo a las especificaciones de diseño, lo que llevaba a la insatisfacción de las condiciones del proceso, luego para compensar y llevar el fluido al caudal y a la presión que se necesitaba para el mismo era necesario encender los tres equipos. Esta practica no es la adecuada, si bien es cierto era la única manera para cumplir con la demanda de flujo que se requería, de igual manera era una practica que generaba mayores costos y la vida útil de los equipos se disminuye de manera notable.

En consecuencia de lo anterior, se propuso a ABOCOL una mejora y reconstrucción de la hidráulica de una de sus bombas inicialmente, para poder llevarla a las condiciones que requiere el proceso en cuanto a presiones y caudales.

14.2 DESMONTAJE DEL EQUIPO.

El equipo al cual se hizo la reparación fue desmontado por el personal de ABOCOL, el personal de FLOWSERVE se encargo de recibir el equipo de acuerdo a los protocolos para el mismo.

Luego se realizaron las actividades de ingreso y Recepción en nuestro Centro de servicios, la inspección inicial y el desensamble del mismo, lo cual se describirá mas detalladamente a continuación.

14.3 PROCESO DE REPARACION BOMBA TAG P- 14– ABOCOL

Valoración e inspección del equipo.

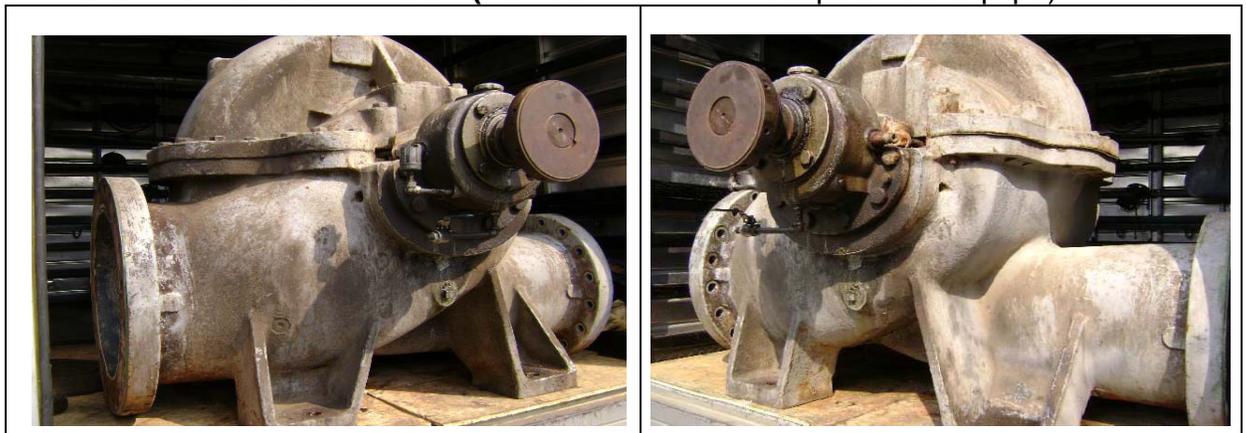
El equipo es desarmado en el Centro de Servicio de Cartagena y se inicia todo el proceso de reparación según la experiencia FLOWSERVE, y guiados por el IOM del fabricante (Anexo 10), bajo la contemplación de la norma API 610, en la inspección inicial se nota que la parte externa del equipo se encuentra en buenas condiciones, una vez determinadas estas novedades, se elabora un alcance inicial

liderado por el ingeniero a cargo del proyecto donde se define las actividades a ejecutar para la elaboración del mismo, dichas actividades, son aprobadas por el personal de ABOCOL.

Importante: Cabe aclarar que todo el proceso de reparación esta soportado bajo formatos de toma de datos y de mediciones, los cuales no se pueden mostrar en este documento por confidencialidad de FLOWSERVE.

NOMBRE DE PARTE:	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO:	CONDICION
CONJUNTO	El equipo se recibe en el Centro de servicios Cartagena. Este Presenta en algunas zonas oxidación y en general pintura deteriorada	REPARABLE

REGISTRO FOTOGRAFICO 1(Bomba IR – ALV – recepción del equipo)



Una vez descargado el equipo en un área de trabajo se procedió con la Descontaminación, limpieza y sandblasting de partes mayores, para luego desensamblar y levantar **registro metrológico** de cada una de las piezas, teniendo en cuenta los procedimientos requeridos para equipos partidos axialmente entre rodamientos. Esto SE Realizo según los procedimientos adecuados y llevando el control apropiado por parte de FLOWSERVE.

Nota: El registro metrológico se hace con base en formatos estandarizados y son propiedad de FLOWSERVE.

REGISTROS FOTOGRAFICOS 2. (Estado inicial del equipo)



CONTINUANDO CON EL DESENSAMBLE Y VERIFICANDO CADA UNO DE LOS COMPONENTES DE LA BOMBA PODEMOS APRECIAR:

NOMBRE DE PARTE:	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO:	CONDICION
CARCASAS	Los asientos de las carcadas se encuentran fuera de medida, además se modifico los tabiques (cutwater) en las carcadas. También presenta recirculación en la junta principal	REPARABLE Aplicando epoxico Belzona en los anillos

REGISTRO FOTOGRAFICO 3 (Asientos de anillos y tabique de la carcasa modificado)



Debido a la contaminación de la fundición y de su condición de baja soldabilidad se recomienda usar un epoxico Belzona 1111 con el fin de recuperar las dimensiones de los asientos de anillos. Por otro lado, se recomienda rectificar la planitud de la junta Principal del equipo.

De acuerdo a la condición de recuperación de esta pieza, el trabajo que se realizó para el mismo fue como sigue:

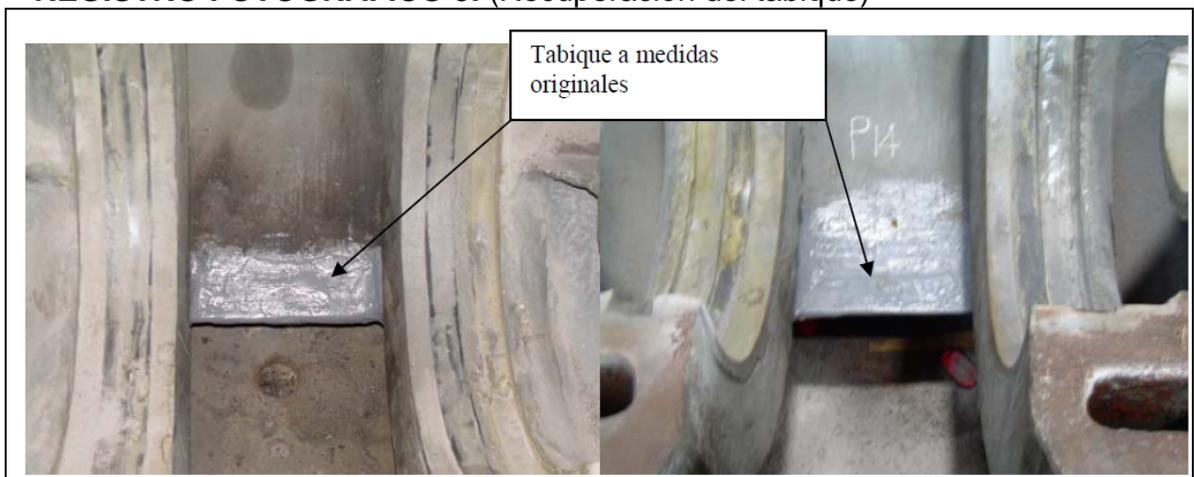
Inicialmente se realizó el retiro de la prolongación del tabique y la recuperación aplicando epoxico maquinable en carcasa, inicialmente se debió maquinar antes de aplicar el epoxico:

REGISTRO FOTOGRAFICO 4. (Trabajo realizado a carcasa de bomba IR)



A continuación las fotografías de la recuperación del tabique.

REGISTRO FOTOGRAFICO 5. (Recuperación del tabique)



Luego se paso al proceso de **MAQUINADO** de las Carcasas, y se determino que Debido a la perdida de planitud en las carcasas se planean y se encuentra que se debe desbastar hasta cierta dimensión en cada carcasa.

REGISTRO FOTOGRAFICO 6 (maquinado de carcasas)



NOMBRE DE PARTE:	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO:	CONDICION
EJE	Alta corrosión en la zona de las camisas, daños en zonas de rodamientos	NO REPARABLE

REGISTRO FOTOGRAFICO 7 (daño en el eje de la bomba)



Debido a la criticidad de este componente y a las condiciones en las que se encontraba resultaba imposible acceder a una recuperación del mismo, la mejor decisión fue la de proceder a la fabricación y cambio de esta pieza.

NOMBRE DE PARTE:	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO:	CONDICION
CAMISAS DEL EJE	Alta corrosión	NO REPARABLE

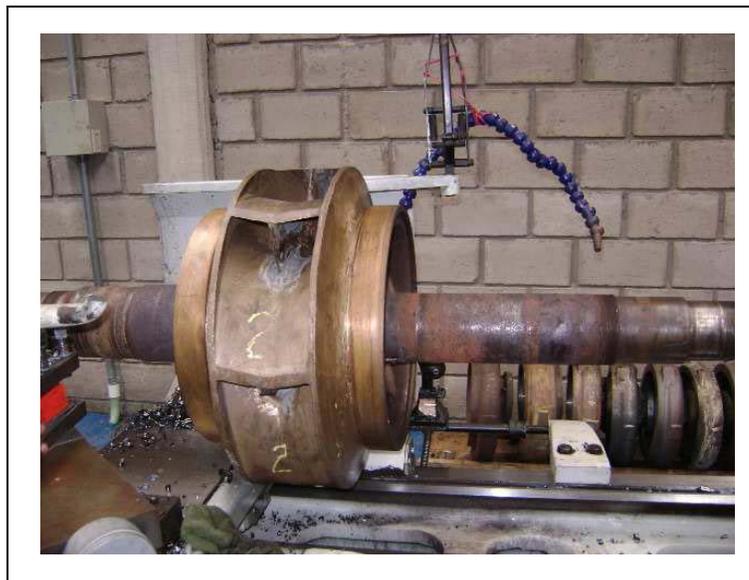
REGISTRO FOTOGRAFICO 8 (daño en el Camisas del eje)



Las camisas se encontraron completamente deterioradas, además de ello de acuerdo a las exigencias del cliente en cuanto al cambio de sistema de sellado de empaquetadura a sello mecánico, las camisas debieron ser cambiadas por un diseño que admitiera este tipo de dispositivo.

NOMBRE DE PARTE:	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO:	CONDICION
IMPULSOR	Presenta recuperaciones por soldadura y aplicación de Epoxico.	ACEPTABLE.

REGISTRO FOTOGRAFICO 9. (Impulsor bomba ir -ALV)



De igual manera la criticidad de este componente juega un papel muy importante en el desempeño del equipo, de acuerdo a esto es posible la utilización de este impulsor sometándolo a algunas recuperaciones, sin embargo la empresa ABOCOL decidió cambiarlo por uno nuevo.

NOMBRE DE PARTE:	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO:	CONDICION
ANILLOS DE DESGASTE	Presentan ralladuras y pérdida de dimensiones	NO REPARABLE.

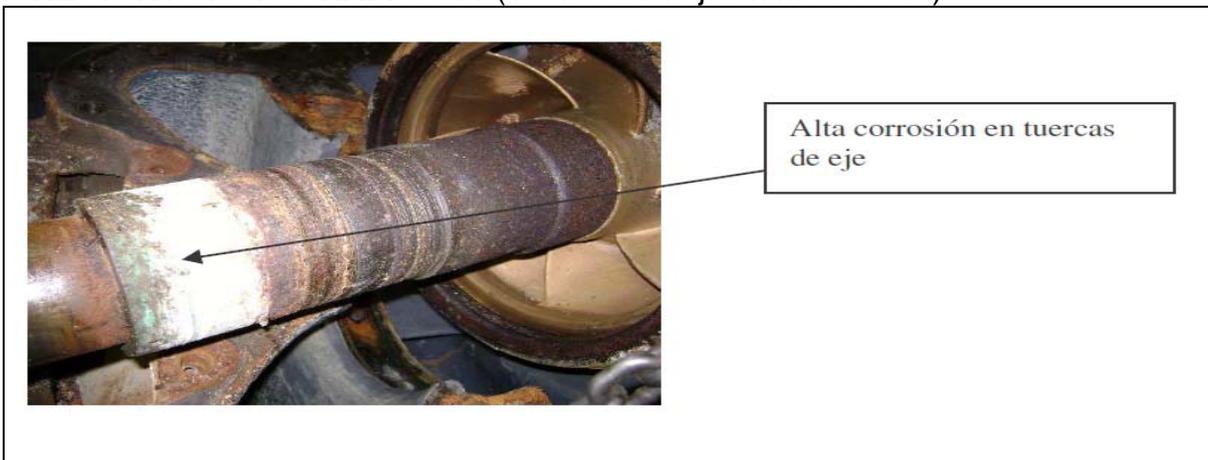
REGISTRO FOTOGRAFICO 10 (Anillos de desgaste)



Los anillos de desgastes son quienes soportan al impulsor mientras este gira dentro de la charcasas , por lo tanto deben estar libre de ralladuras para que la fricción sea mínima, es por ello que estos anillos que presentan algunas grietas no se admiten dentro del equipo.

NOMBRE DE PARTE:	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO:	CONDICION
TUERCAS DEL EJE	CORROIDAS	NO REPARABLE.

REGISTRO FOTOGRAFICO 11 (Tuercas del eje en mal estado)



Las tuercas son quienes aseguran las camisas al eje, este tipo de elemento es de forma cilíndrica y debe llevar un ajuste específico para que las camisas trabajen de manera solidaria al giro de eje.

NOMBRE DE PARTE:	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO:	CONDICION
SOPORTE DE RODAMIENTOS	Presenta superficies y Dimensiones fuera de estándar. Anteriormente fue se inserto un buje con interferencia.	REPARABLE.

REGISTRO FOTOGRAFICO 12. (Soporte de rodamientos)



De acuerdo a lo anterior, para recuperar estos componentes se procedió de la siguiente manera:

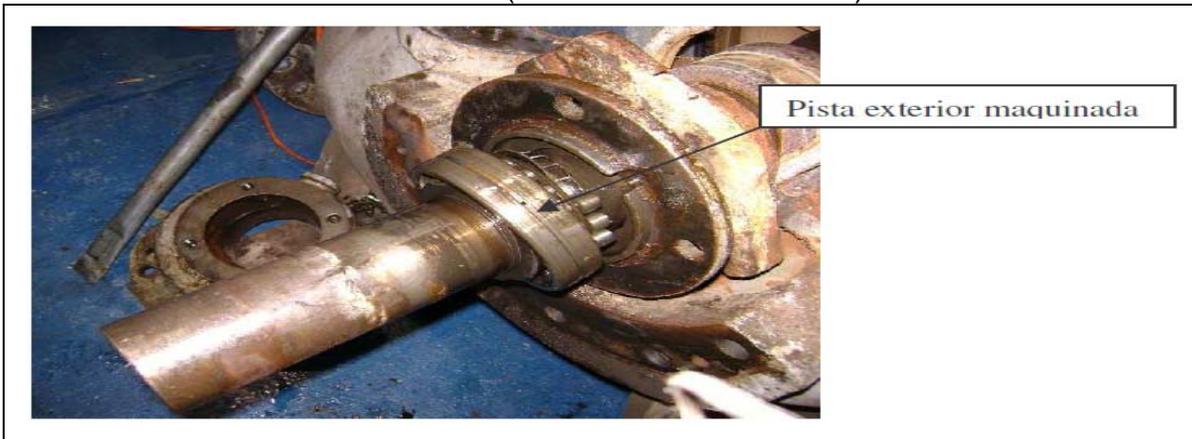
Inicialmente se verifica paralelismo. Se corrigen defectos encontrados para garantizar el correcto posicionamiento de los rodamientos y su linealidad con la carcasa.

REGISTRO FOTOGRAFICO 13. (Reparación de Soportes de rodamientos)



NOMBRE DE PARTE:	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO:	CONDICION
RODAMIENTOS	Rodamientos no adecuados, se encontró la pista exterior deteriorada.	CAMBIO.

REGISTRO FOTOGRAFICO 14. (Estado de Rodamientos)



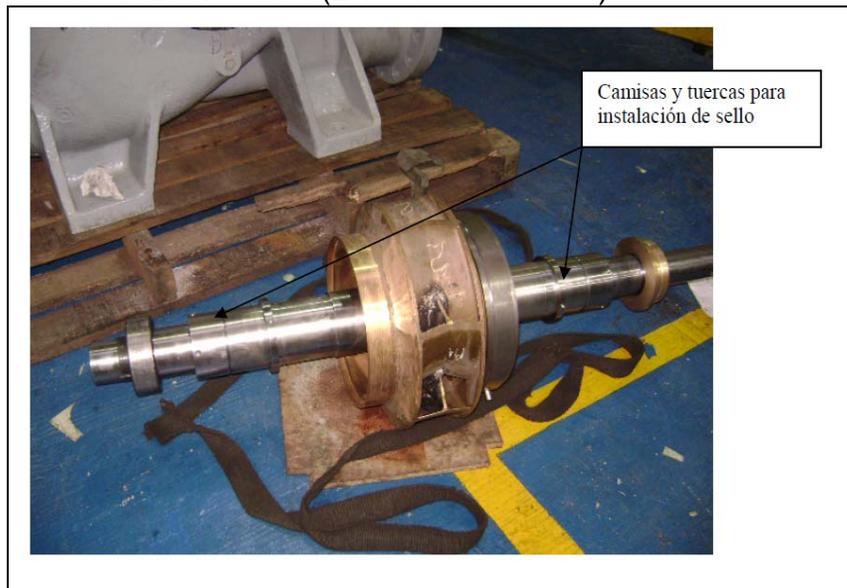
Una vez se tienen todos los componentes de la bomba recuperados y bien dimensionados procedemos al siguiente paso:

14.4 PROCESO DE ENSAMBLE:

❖ **Ensamble del rotor**

Se instalan los anillos de desgaste en el impulsor luego se arma y se verifica el run out del rotor y se le instalan todos los accesorios correspondiente al componente rotativo antes de proceder con el balanceo del rotor, dicha verificación arroja resultados satisfactorios, por lo que el rotor cumple con las especificaciones requeridas en los procedimientos internos Flowserve, para continuar con el proceso de balanceo.

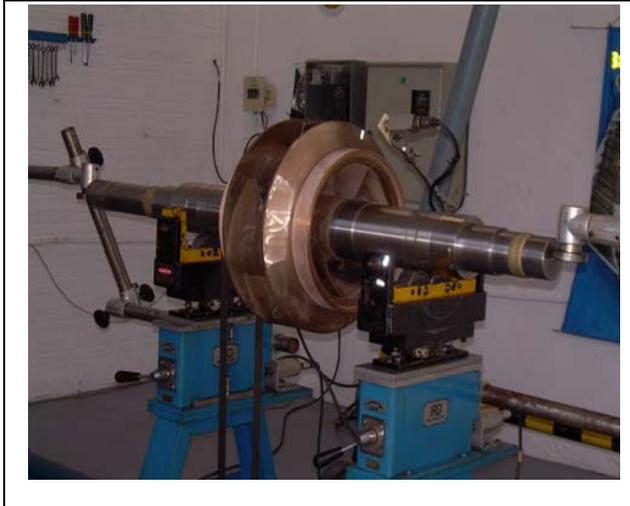
REGISTRO FOTOGRAFICO 15. (Ensamble del rotor)



❖ **Balanceo del Rotor**

En una reparación de esta magnitud es imprescindible el balanceo del rotor ensamblado, pues de esta manera se garantiza el equilibrio de las cargas mientras el equipo este en funcionamiento. Este balanceo se realizo en una maquina certificad y siguiendo los procedimientos recomendados, de igual manera se garantiza el grado de balanceo.

REGISTRO FOTOGRAFICO 16 (Balanceo del rotor ensamblado)



IMPORTANTE:

---El balanceo se realiza teniendo en cuenta el *Grado de Calidad de balanceo 1.0* de la Norma ISO 1940.

---La norma ISO 1940/1 establece la calidad de equilibrado de cuerpos rotativos, definida mediante un número G.

❖ RUN – OUT final

Luego del balanceo se desensambla el rotor e instalan o-rings en las camisas y se revisa de nuevo el run-out, el cual cumple con las especificaciones requeridas por Flowserve para este tipo de equipos

REGISTRO FOTOGRAFICO 17 (Rotor listo para montar)



❖ Ensamble final de la bomba

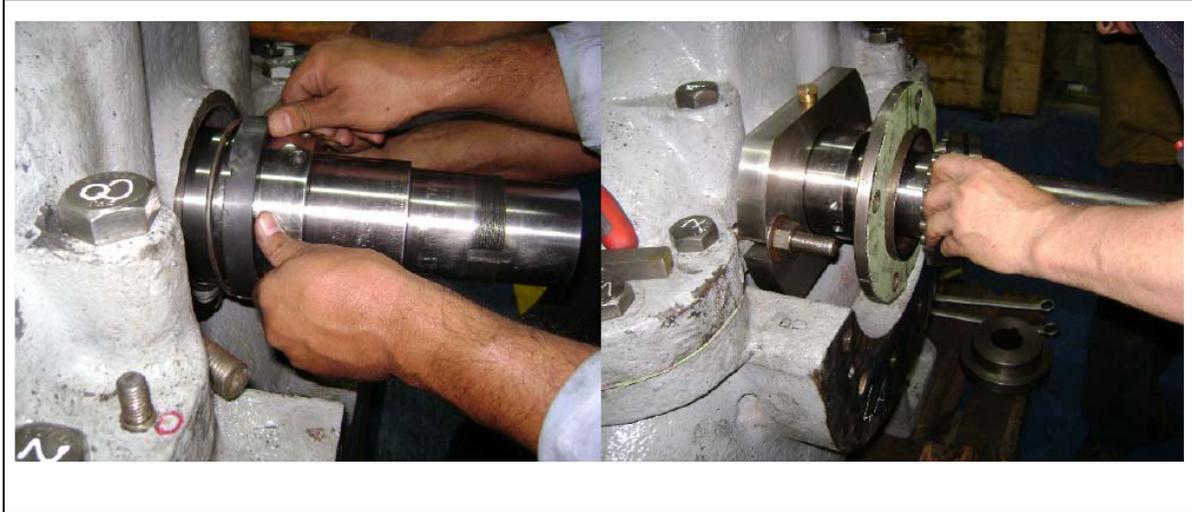
Se procede a presentar el rotor en la carcasa para verificar su carrera axial además se fabrica el empaque para la junta axial principal. Posteriormente se instalan los soportes de rodamientos a los cuales se les instalaron tornillos gato. Una vez se realiza lo anterior se tapan las carcavas y se centra el rotor

REGISTRO FOTOGRAFICO 18 (Ensamble final de la bomba)



Luego de el centrado se instalan los sellos mecánicos, los cuales son unos de los componentes de mayor cuidado en su instalación (Sello instalado en este equipo – Sello Flowserve RO).

REGISTRO FOTOGRAFICO 19 (Montaje de Sello Mecánico RO)



❖ PINTURA GENERAL Y EMBALAJE

Se aplica pintura general y se prepara el soporte de madera para transportar el equipo a planta con toda seguridad.

REGISTRO FOTOGRAFICO 20 (Bomba ensamblada y lista para despacho)



15. EMPRESAS FABRICANTES DE BOMBAS A NIVEL NACIONAL

15.1 EMPRESAS FABRICANTES DE BOMBAS EN COLOMBIA:

A nivel nacional podemos encontrar variadas empresas como lo veremos a continuación (la información de cada compañía fue tomada de la pagina correspondiente)

15.1.1 Hidromac

“**Hidromac** es el principal proveedor de bombas industriales y de proceso para Colombia y Venezuela. Nuestras bombas pueden encontrarse en múltiples aplicaciones como servicios generales, aire acondicionado, riego, construcción, agua potable, aguas negras, alta presión, procesos químicos y papeleros. La comercialización es realizada a través de nuestras empresas en cada país y desde Colombia exportamos hacia Ecuador y Perú en Sudamérica, Centroamérica y Republica Dominicana en el Caribe”⁶².

❖ **Productos ofrecidos:** Entre las líneas mas reconocidas tenemos.

- Bombas centrifugas tipo caracol desde 1” hasta 12”, caudales hasta 10,000 gpm.
- Bombas centrifugas multietapas desde 1 ¼” hasta 6”, caudales hasta 2,200 gpm.

⁽⁶²⁾ www.hidromac.com

- Bombas autocebantes desde 1 ½” a 6”, caudales hasta 1,500 gpm
- Bombas sumergibles de agua negras desde 2” hasta 12”, caudales hasta 6,000 gpm.
- Bombas centrifugas de carcaza partida desde 2” hasta 8”, caudales hasta 4,000 gpm.
- Bombas para alimentación de calderas desde 1” hasta 2 ½”, caudales hasta 120 gpm.
- Bombas ANSI de proceso químico desde 1” hasta 8”, caudales hasta 4,000 gpm.
- Bombas Mágnum de Lodo
- Bombas papeleras desde 3”a 8”, caudales hasta 2,200 gpm

15.1.2 Bombas Hydral Ltda.

“Bombas **Hydral** esta conformada como sociedad limitada, localizada en la ciudad de Bogota y constituida legalmente por escritura publica en 1964. Su primer objeto fue prestar servicio de reparacion y mantenimiento a motores, bombas, compresores y maquinaria en general.

Por ser de difícil consecución los repuestos para estas maquinarias, se inicia su fabricación y así lograr con las órdenes encomendadas.

Se adquieren las primeras maquinas: tornos, taladros, fresadoras, etc

y en 1967 se fabrica la primera bomba bajo nuestra marca registrada Hydral⁶³.

❖ **productos ofrecidos:** Entre las líneas mas reconocidas tenemos.

- **Bombas Centrifugas De Eje Libre,** De eje libre en hierro, bronce o acero inoxidable, Para servicios generales desde 3/4" hasta 4" dentro de las cuales están.

Series JE-A-B-C

- **Bombas Centrifugas De Eje Libre Con Regulación,** De eje libre impulsor semiabierto en hierro, bronce o acero inoxidable, Para servicios generales y fluidos pastosos desde 1" hasta 3" como son:

Series AP-BP-CP

- **Bombas Centrifugas De Eje Libre Con Refrigeración,** De eje libre en hierro, bronce o acero inoxidable, Para altas temperaturas.

Series BET

⁽⁶³⁾ www.bombashydral.com

- **Bombas De Piñones**, De eje libre en hierro, bronce o acero inoxidable, Para servicios generales desde 1" hasta 2" dentro de las cuales están.

EK-1 X 1

EJ-2 X 2

EB-2 X 2

- **Bombas Regenerativas De Turbinas**, para alimentación de calderas de eje libre en hierro, bronce o acero inoxidable, Para servicios generales desde 1 hasta 5 hp para trabajo continuo a 1800 rpm.

4H1-R

5H1-R

6H1-R

- **Bombas Centrífugas Multietapas**, eje libre en hierro, bronce o acero inoxidable, desde 10 hasta 100 hp para trabajo continuo.

MJ de 3 a 7 etapas

MB de 3 a 7 etapas

MC de 3 a 7 etapas

- **Bombas Centrífugas Para Sólidos**, eje libre en hierro, bronce o acero inoxidable, de 2" – 3" – 4" – 6" – 8", para fluidos con lodo o sólidos abrasivos y/o corrosivos.

SA-2 X 3	SNC-6 X 6
SB-3 X 3	SNC-8 X 8
SA-1½ X 2	SNC-4 X 4

- **Bombas Centrifugas Para Sólidos Autocebadas Por Vacío**, estacionarias o portátiles, de 4" – 6" – 8",
- **Bombas De Vacío De Anillo Liquido De Dos Etapas**, eje libre en hierro, bronce o acero inoxidable, desde 1 hasta 25 hp con bajas rpm para alta duración.

Modelo VA 12/18	Modelo VA 22/150
Modelo VA 12/35	Modelo VA 22/210
Modelo AI-1010	Modelo VA 22/280
Modelo VA 22/280	

15.1.3 Colbombas, división industrial de colpozos s.a

“COLBOMBAS, división industrial de Colpozos S.A., en la cual se fabrican bajo normas y estándares de calidad internacionales (AWWA, ANSI, AGMA, ASME, etc.), las líneas de bombas turbinas multietapa de eje vertical, las transmisiones de engranajes en ángulo recto, las bombas centrifugas de voluta, válvulas y accesorios para la conducción y distribución del agua.

Sus distintas líneas de fabricación se desarrollan dentro del Sistema de Gestión de la Calidad según la norma ISO

9001:2000; contando además, con un moderno equipo de producción dentro del cual se incluyen algunos equipos de control numérico”⁶⁴.

❖ **Productos ofrecidos.**

- **Descripción General del Producto.** Bombas Turbinas Verticales Multietapa, para bombeo de agua y líquidos de viscosidad similares al agua.

Rango de caudal: hasta 5000 GPM

Rango de presión: hasta 500 psi

Usos y aplicaciones Extracción de agua desde pozos profundos para aplicaciones de riego o consumo humano, en donde se requiera suministro a presión, extracción de agua desde pozos o cárcamos, para usos industriales como alimentación de calderas, torres de enfriamiento o sistemas de seguridad contra incendios.

- **Descripción General del Producto.** Bombas Centrífugas de Voluta para el manejo de agua limpia con temperaturas hasta 50 ° C, como también de líquidos con viscosidades similares al agua

⁽⁶⁴⁾ www.colpozos.com/colbombas.html

Rango de caudal: hasta 5000 GPM
Rango de presión: hasta 170 psi

Usos y aplicaciones Bombeo de agua a presión en sistemas de riego por aspersión.

Bombeo de agua a caudales medios y altos, con medias y bajas cabezas de presión en sistemas de riego por gravedad.

Bombeo de aguas lluvias en sistemas de drenaje.

Bombeo de agua para variados procesos industriales y/o consumo humano.

5.1.4 Sterling fluid systems (colombia) s.a.

“La empresa STERLING FLUID SYSTEMS (COLOMBIA) S.A., antes BOMBAS SIHI-HALBERG S.A., con sede en la ciudad de Bogotá D.C., fue fundada en 1985, teniendo como objeto social el diseño, la fabricación, venta e instalación de bombas y equipo asociado para agua o para cualquier tipo de fluido, así como los componentes que conforman estaciones de bombeo completas, para uso agrícola, minero, construcción y industrial en entidades públicas y/o privadas.

La presencia en Colombia del Grupo SIHI data de veinte años antes de la fundación de STERLING FLUID SYSTEMS (COLOMBIA) S.A.. Su representante, ALTEC S.A., desarrolló la fabricación de bombas HALBERG de Alemania y motores TOSHIBA de Japón y creó una nueva empresa, llamada HIDROLEC, que a la postre recibió toda la experiencia del personal de sus fundadores.

STERLING FLUID SYSTEMS (COLOMBIA) S.A. forma parte de la zona denominada STERLING Américas y pertenece a la división “Proceso”, igual como STERLING FLUID SYSTEMS (USA) en Grand Island (New York) con su centro de servicio en Pasadena (Texas) y STERLING FLUID SYSTEMS (CANADA) Ltd. en Guelph (Ontario)”⁶⁵.

❖ **productos ofrecidos**

- **Centrífugas.** Las bombas centrífugas diseñadas y fabricadas por SIHI Pumps abarcan la mayoría de las aplicaciones industriales, desde líquidos limpios hasta líquidos tóxicos y corrosivos.
- **Alta Presion.** Las bombas para alta presión son diseñadas y fabricadas por SIHI Pumps abarcan la mayoría de las aplicaciones industriales, en donde presiones hasta de 190 bar con bajos o altos caudales son requeridas.
- **Alta Temperatura.** Para procesos de transferencia de calor, ya sea con agua o con aceite térmico, SIHI Pumps, ha desarrollado una completa serie de bombas que cumplen los mas altos parámetros de seguridad y confiabilidad.
- **Canal Lateral.** Para condiciones de bombeo difíciles, con bajo NPSHA, autoaspiración, succión de vacío o manejo

⁽⁶⁵⁾ www.sihi-colombia.com

de líquidos y gases al mismo tiempo, SIHI Pumps ha desarrollado las bombas de canal lateral.

- **Sumergibles.** SIHI Pumps cuenta con productos propios para aplicaciones de bombeo de aguas lluvias, aguas residuales municipales o industriales.
- **Bombas de Tornillo.** El mayor fabricante de bombas helicoidales de artesa en Alemania una empresa importante de idónea en el ámbito de la tecnología de aguas servidas y protección del medio ambiente.
- **Vacío Anillo Líquido.** Las bombas de vacío de anillo líquido diseñadas y fabricadas por SIHI Pumps abarcan la mayoría de las aplicaciones industriales de la industria química, farmacéutica, de alimentos, bebidas, plástico, papel y en general en cualquier aplicación desde aire vapor de agua hasta gases tóxicos y corrosivos.
- **Vacío Seco.** La bomba de vacío SIHI dry es una máquina vertical con dos rotores gemelos y de funcionamiento suave completamente en seco y que no lleva cierres de eje mecánicos, engranajes ni fluidos lubricantes.
- **CBED.** Bomba centrífuga horizontal de una etapa de carcasa de espiral para aceite térmico fabricada según ISO 5199/EN25199 ISO 2858/EN22858. Caudal máximo:

- **CEHB.** Bomba horizontal multietapa, autoaspirante, de canal lateral PN40 caudal mínimo: 0.4 m³/h, caudal máximo: 35 m³/h HDT máxima: 354 m, temperatura máxima: 180 ° C.
- **AEHB.** Bomba horizontal multietapa, autoaspirante, de canal lateral PN40 caudal mínimo: 0,4 m³/h Caudal máximo: 35 m³/h HDT máxima: 348m, temperatura máxima: 180 ° C.
- **AKVB.** Bomba horizontal/vertical Inline multietapa, auto aspirante, de canal lateral PN16 caudal mínimo: 0,2 m³/h Caudal máximo: 12 m³/h HDT máxima: 70m, temperatura máxima: 120 ° C.

5.1.5 Barnes de colombia s.a.

“BARNES DE COLOMBIA S.A es la Compañía líder en el mercado colombiano fabricante de motobombas y equipos de presión. Somos una empresa con origen y tecnología Norteamericana con más de 40 años de presencia en Colombia, exportamos hacia Estados Unidos, Centro y Sur América.

Nuestro producto se utiliza en la extracción, conducción y elevación de agua. Sus aplicaciones más comunes son el manejo de agua potable, aguas lluvias y aguas negras, desinundaciones, procesamiento de granos, suministro de agua en edificios, lavado de carros, maquinaria y establos, aumento de presión en tuberías de suministro, extinción de

incendios, riegos por aspersión, minería, recirculación de aguas en piscinas y torres de enfriamiento, plantas de tratamiento de agua, drenajes y construcción en general.

En la actualidad **BARNES DE COLOMBIA S.A.** pertenece al grupo empresarial **Corporación EG.**, integración que amplió en gran medida la gama de líneas de bombas que se ofrecen para satisfacer las necesidades de manejo de agua a gran escala en acueductos, industria petroquímica y pesquera, tratamientos de aguas residuales y equipos contra incendio⁶⁶.

❖ **productos ofrecidos** Líneas de producto que abarcan :

➤ **Línea Caracol**

Bombas centrifugas de construcción monobloque, cierre con sello mecánico. Se suministran en potencias de 1/4 HP hasta 3.0 HP con motores eléctricos.

Las bombas de la **Línea Caracol** están diseñadas para :

- Uso domestico
- Aprovechamiento de aguas limpias
- Refrigeración de maquinaria
- Llenado de tanques y bebederos
- Lavado de establos
- Recirculación de agua en piscinas

⁽⁶⁶⁾ www.barnes.com.co

➤ **Línea Jet y Multietapa**

Bombas centrífugas Multietapas horizontales y verticales. Para presiones hasta 300 psi.

Se suministran en potencias de 1/2 HP hasta 7.5 HP son motores eléctricos (trifásicos y monofásicos), con motores a gasolina de 3.5 HP y 6.5 HP.

Las bombas de la **Línea Jet y Multietapas** están diseñadas para:

- Suministro de agua a grandes alturas y distancias.
- Extracción de agua en pozos llanos y profundos.
- Lavaderos de carros.
- Equipos de presión.
- Agricultura, Industria y construcción.

➤ **Línea Autocebante**

Bombas tipo Autocebantes, de construcción monobloque y eje libre, con impulsor semiabierto.

Se suministran en potencias de 3/4 HP hasta 15 HP son motores eléctricos (trifásicos y monofásicos), con motores a gasolina de 3.5 HP a 16 HP.

La versión de eje libre permite el acoplamiento de todo tipo de motor.

Las bombas de la **Línea Autocebante** están diseñadas para :

- Bombeo de aguas con sólidos en suspensión.
- En construcciones.
- Agricultura y ganadería.
- En sistemas de riegos por inundación.
- Transporte de líquidos en carro tanques.

➤ **Línea ANSI**

Bombas centrifugas de una etapa tipo eje libre, fabricadas en hierro fundido. Cuerpo bridado norma ASA 125. Impulsor semiabierto, sello mecánico o prensa estopa.

Las bombas de la **Línea ANSI** están diseñadas para :

- Trasiego de productos químicos.
- Servicios de rebombeo.
- Control de aguas contaminadas.
- Industria Petroquímica.
- Recirculación de agua en torres de enfriamiento.

➤ **Línea GSM**

Bombas centrifugas de servicios generales. Construcción monobloque y eje libre, fabricadas en hierro fundido. Se suministran en potencias de 10 HP hasta 125 HP con motores trifásicos.

Diámetro de succión de 2" a 10" y diámetros de descarga de 1 1/2" a 8".

Las bombas de la **Línea GSM** están diseñadas para :

- Bombeo de líquidos a grandes alturas y distancias.
- En la industria de la construcción.
- En procesos industriales.
- Riego por aspersión.
- Acueductos, Minería.

15.1.6. Flowserve

“Es un líder mundial reconocido en el área de suministro de bombas, válvulas, automatización de sellos, y servicios a las industrias de energía, petróleo, gas y química, entre otras. Con más de 14.000 empleados en más de 56 países, combinamos nuestro alcance global con una presencia local”⁶⁷. En Colombia se cuenta con varios centros de servicio y la fábrica se encuentra en Mosquera Cundinamarca. A nivel local el centro de servicio de flowserve se encuentra localizado en el centro comercial e industrial de ternera, vía turbaco,

“Flowserve ha evolucionado mediante el crecimiento orgánico y las adquisiciones estratégicas. La compañía se creó en 1997 con la fusión de dos compañías líderes en control y movimiento de fluidos: BW/IP y Durco International. La tradición de Flowserve se remonta a la fundación de Simpson & Thompson en 1790, empresa que luego se convertiría en Worthington Simpson Pumps, una de las compañías que integraron BW/IP. Las incorporaciones más recientes a la familia Flowserve incluyen Invensys Flor Control en 2002, Thompsons Kelly & Lewis en 2004 e Interseal en 2005”⁶⁷

⁽⁶⁷⁾ www.flowserve.com.

❖ **productos ofrecidos** Entre los servicios que ofrece flowserve se encuentran:

- Reparaciones generales de bombas centrifugas
- Repotenciacion de equipos de 6, 7, 8 edicion API a 9 edición
- Servicio de campo
- Evaluaciones de Ingeniería
- Re – rateo de bombas
- Up-grates y retrofits
- Re-bowling
- Programa de inventario de partes
- Entrenamientos y capacitaciones. Entre otras..

Marcas tradicionales de Flowserve Los 217 años de historia que poseen las marcas tradicionales de Flowserve constituyen los cimientos para la amplitud y diversidad de productos y servicios que Flowserve ofrece en la actualidad. Flowserve es fabricante directo de las siguientes marcas de bombas centrifugas y por lo tanto maneja todos los modelos de las diferentes marcas. (Ver siguiente grafica.)

15.1.7. Bombas IHM.

“Somos una empresa líder en Colombia y en el grupo Andino en la fabricación de motobombas y equipos de Presión, comercializamos motores, plantas de tratamiento de agua, plantas eléctricas y compresores de las mas prestigiosas marcas del mundo. Manejamos los más altos estándares de calidad ISO 9001/2000 cubriendo todos nuestros procesos desde el diseño hasta el servicio”⁶⁸.

❖ **productos ofrecidos** Entre los productos que ofrece IHM se encuentran:

- **Bombas centrífugas autocebantes:** Bombas centrífugas autocebantes para caudal, permiten el bombeo de agua con sólidos pequeños en suspensión.
- **Centrifuga Caracol:** Motobombas centrífugas en hierro, de menor tamaño para uso general.
- **Centrifugas eurolinea eje libre:** Bomba centrífuga industrial de trabajo pesado con diseño de larga vida y construcción extrafuerte que facilita el servicio.
- **Centrifugas Hyflo:** Bomba de construcción en hierro de mediano tamaño, para uso general.

⁽⁶⁹⁾ www.igihm.com

- **Eyector:** Bombas construidas en hierro para uso en **pozos llanos o en pozos profundos**. Con eyector incorporado usadas en equipos de presión y para vencer grandes alturas. Con eyector en el pozo para sacar agua de profundidades hasta de 40 metros.
- **Flujo Mixto:** Bombas construidas en hierro para manejo de **grandes caudales y bajas presiones**.
- **Hidroflo:** Sistema sencillo de **una bomba y tanque** para elevar la presión hidráulica en viviendas y construcciones.
- **Multietapas:** Bombas con **múltiples rotores** para aplicación doméstica o industrial donde se requieran **altas presiones** con **caudales pequeños**.
- **Piscina:** Bombas Aquarium en **noryl** con accesorios intercambiables para ser aplicadas en piscinas, spa, tinas, hidromasajes e industria y bombas para piscina en **Hierro**.
- **Regenerativas Turbiline:** Bombas tipo turbina de **muy bajos caudales y altas presiones** para manejo de agua limpia.
- **Sumergibles MS:** Bombas sumergibles de trabajo pesado para evacuar **aguas negras, residuales y**

lluvias. Empleadas también en control de inundaciones y desagües.

- **Vacio:** Bombas de vacío de anillo líquido **para evacuación de aire o vapor** , de trabajo pesado para aplicación industrial, versiones una y dos etapas

IMPORTANTE:

En el CD de datos de esta Monografía se encuentra la información completa de cada empresa, específicamente las especificaciones técnicas de las bombas más representativas de cada fabricante.

16. CONCLUSIÓN

En la industria actual el conocimiento se hace fundamental para la realización de las actividades laborales y cada vez mas se exige la preparación y las habilidades de un ingeniero para resolver problemas relacionadas con el mantenimiento y operación de los equipos.

De acuerdo a lo antes citado, para un ingeniero mecánico es importante la apropiación de saberes de los equipos que maneja en su planta y que están bajo su rango de supervisión. Particularmente entre estos equipos podrían estar las denominadas bombas centrifugas, las cuales representan una gran población en la industria y necesitan la atención adecuada para hacer mantenimientos y permitir que el quipo este en las mejores condiciones posibles.

La realización de este documento brinda la oportunidad de conocer mas a fondo la ingeniería de las bombas centrifugas, iniciando desde su construcción y terminando con la operación y técnicas de mantenimiento que garantizan el funcionamiento adecuado de estos equipos.

Es importante la habilidad de un ingeniero para moverse y estudiar las causas posibles de una problemática que tenga alguna de sus bombas, con este documento podrá dotarse de herramientas que le facilitaran la identificación de soluciones para la problemática que se tenga en dicho momento.

En síntesis de forma general, es indispensable tener conocimientos de bombas centrifugas debido a que son construcciones de ingeniería que brindan un enorme beneficio a los procesos industriales y por tal razón debemos estar enterados

desde nuestra posición como ingenieros mecánicos de todo lo relacionado con estos equipos integrando los conocimientos para determinar y saber llevar las diferentes problemáticas que se nos presente.

BIBLIOGRAFIA

Aplicaciones de las leyes de semejanza en las maquinas hidráulicas
Hidráulica aplicada
Bombas Hidráulicas–resumen Universidad de concepción. Dpto. de
ingeniería.
Cooper, P, Pump Handbook, Tercera Edition, Mc Hill.
Diez, Fernandez Pedro. Bombas centrifugas y Volumétricas. U de Cantabria.
Jackson, w m. Enciclopedia Jackson, tomo VI, Ingeniería Mecánica
Manual de Instalación Sello ISC 1PX flowserve
Navas Oscar I: Bombas, Conceptos Y principios de operación.
Norma API 610, décima edición
IOM- IR Modelo AFL
POZA, Madrigal Adrián. Grupos de bombeo actuales e innovaciones.
Valladolid

Artículos informativos:

Articulo Desarrollo y mejora de materiales
Articulo informativo, Nuevos materiales, Flowserve.
Articulo Specialising in sealless centrifugal pumps, special focus Germany
Articulo Submersible pumps for wastewater applications. Feature submersible
Tecnología, Artículos de información Flowserve..

Capacitaciones y entrenamientos de fabricantes.

Adiestramiento en Bombas centrifugas. John crane

Capacitación: Fallas y fenómenos destructivos en bombas centrifugas. Wood Group

Capacitación, Fallas en rodamientos, SKF

Capacitación: Fundamentos de bombas centrifugas. Jhon Crane

Capacitación: Fundamentos de Bombas Centrifugas. John crane Parte 2

Capacitación, Fundamentos de Bombas centrifugas, Flowserve

Capacitación. Introducción a la API 682. John Crane

Capacitación: Normas en equipos de Bombeo. Jhon Crane.

Capacitación: Principios básicos de bombas centrifugas. Wood Group

Capacitación: Retrofits y Rerateo, Flowserve.

Capacitación: Sellos Mecánicos. Flowserve

Capacitación: Sellos Mecánicos. John Crane

Paginas de Internet.

www.api.org

www.fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/mantenimient

<http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%A1ulica>

www.widman.biz/Seleccion/Motores/API/api.html - 40kodebombashtm

www.flowserve.com.

www.barnes.com.co

www.sihi-colombia.com

www.colpozos.com/colbombas.html

www.bombashydral.com

www.hidromac.com

ANEXO 2

Materiales de fabricación de bombas Centrifugas.

Annex 1 is intended to be a general guide for on-plot process plants and off-plot transfer and loading services. It should not be used without a knowledgeable review of the specific services involved.

— **Material class selection guide**

Service	Temperature range		Pressure range	Material class	Ref. note
	°C	°F			
Fresh water, condensate, cooling tower water	< 100	< 212	All	I-1 or I-2	
Boiling water and process water	< 120	< 250	All	I-1 or I-2	a
	120 to 175	250 to 350	All	S-5	a
	> 175	> 350	All	S-6, C-6	a
Boiler feed water					
	Axially-split	> 95	> 200	All	C-6
Double-casing (barrel)	> 95	> 200	All	S-6	
Boiler circulator	> 95	> 200	All	C-6	
Foul water, reflux drum water, water draw, and hydrocarbons containing these waters, including reflux streams	< 175	< 350	All	S-3 or S-6	b
	> 175	> 350	All	C-6	
Propane, butane, liquefied petroleum gas, ammonia, ethylene, low temperature services (minimum metal temperature)	230	< 450	All	S-1	
	> -46	> -50	All	S-1(LCB)	h
	> -73	> -100	All	S-1(LC2)	h
	> -100	> -150	All	S-1(LC3)	h, i
	> -196	> -320	All	A-7 or A-8	h, i

ANEXO 3

Materiales de fabricación de bombas Centrifugas.

— Material classes for pump parts

PART	Full compliance materials ^b	Material classes and abbreviations													
		I-1	I-2	S-1	S-3	S-4	S-5	S-6	S-8 ^l	S-9 ^l	C-6	A-7	A-8	D-1 ^j	D-2 ^j
		CJ ^a	CI	STL	STL	STL	STL	STL	STL	STL	STL	12% CHR	AUS	316 AUS	DUPLEX
		Q	BRZ	CI	NI-RESIST	STL	STL 12% CHR	12% CHR	316 AUS	Ni-Cu Alloy	12% CHR	AUS ^{c, d}	316 AUS ^d	DUPLEX	Super Duplex
Pressure Casing	Yes	Cast Iron	Cast Iron	Carbon Steel	Carbon Steel	12% CHR	AUS	316 AUS	Duplex	Super Duplex					
Inner Case parts: (bowls, diffusers, diaphragms)	No	Cast Iron	Bronze	Cast Iron	Ni-Resist	Cast Iron	Carbon Steel	12% CHR	316 AUS	Ni-Cu Alloy	12% CHR	AUS	316 AUS	Duplex	Super Duplex
Impeller	Yes	Cast Iron	Bronze	Cast Iron	Ni-Resist	Carbon Steel	Carbon Steel	12% CHR	316 AUS	Ni-Cu Alloy	12% CHR	AUS	316 AUS	Duplex	Super Duplex
Case Wear Rings ^k	No	Cast Iron	Bronze	Cast Iron	Ni-Resist	Cast Iron	12% CHR Hardened	12% CHR Hardened	Hard-faced 316AUS ^e	Ni-Cu Alloy	12% CHR Hardened	Hard-faced AUS ^e	Hard-faced 316 AUS ^e	Hard-faced Duplex ^e	Hard-faced Super Duplex ^e
Impeller Wear Rings ^k	No	Cast Iron	Bronze	Cast Iron	Ni-Resist	Cast Iron	12% CHR Hardened	12% CHR Hardened	Hard-faced 316AUS ^e	Ni-Cu Alloy	12% CHR Hardened	Hard-faced AUS ^e	Hard-faced 316 AUS ^e	Hard-faced Duplex ^e	Hard-faced Super Duplex ^e
Shaft ^d	Yes	Carbon Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	AISI 4140	AISI 4140 ^f	316 AUS	Ni-Cu Alloy	12% CHR	AUS	316 AUS	Duplex	Super Duplex
Throat bushings ^k	No	Cast Iron	Bronze	Cast Iron	Ni-Resist	Cast Iron	12% CHR Hardened	12% CHR Hardened	316 AUS	Ni-Cu Alloy	12% CHR Hardened	AUS	316 AUS	Duplex	Super Duplex
Interstage Sleeves ^k	No	Cast Iron	Bronze	Cast Iron	Ni-Resist	Cast Iron	12% CHR Hardened	12% CHR Hardened	Hard-faced 316AUS ^e	Ni-Cu Alloy	12% CHR Hardened	Hard-faced AUS ^e	Hard-faced 316 AUS ^e	Hard-faced Duplex ^e	Hard-faced Super Duplex ^e
Interstage Bushings ^k	No	Cast Iron	Bronze	Cast Iron	Ni-Resist	Cast Iron	12% CHR Hardened	12% CHR Hardened	Hard-faced 316AUS ^e	Ni-Cu Alloy	12% CHR Hardened	Hard-faced AUS ^e	Hard-faced 316 AUS ^e	Hard-faced Duplex ^e	Hard-faced Super Duplex ^e
Case and Gland Studs	Yes	Carbon Steel	Carbon Steel	AISI 4140 Steel	AISI 4140 Steel	AISI 4140 Steel	AISI 4140 Steel	AISI 4140 Steel	AISI 4140 Steel	Ni-Cu Alloy Hardened ⁱ	AISI 4140 Steel	AISI 4140 Steel	AISI 4140 Steel	Duplex ⁱ	Super Duplex ⁱ
Case Gasket	No	AUS, Spiral Wound ^g	AUS, Spiral Wound ^g	AUS, Spiral Wound ^g	AUS, Spiral Wound ^g	AUS, Spiral Wound ^g	AUS, Spiral Wound ^g	AUS, Spiral Wound ^g	316 AUS Spiral Wound ^g	Ni-Cu Alloy, Spiral Wound, PTFE filled ^g	AUS, Spiral Wound ^g	AUS, Spiral Wound ^g	316 AUS Spiral Wound ^g	Duplex SS Spiral Wound ^g	Duplex SS Spiral Wound ^g
Discharge Head, Suction Can	Yes	Carbon Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	AUS	AUS	316 AUS	Duplex	Super Duplex

Continuacion

— Material classes for pump parts (continued)

PART	Full compliance materials ^b	Material classes and abbreviations													
		I-1	I-2	S-1	S-3	S-4	S-5	S-6	S-8 ^l	S-9 ^l	C-6	A-7	A-8	D-1 ^j	D-2 ^j
		CI ^a	CI	STL	STL	STL	STL	STL	STL	STL	STL	12% CHR	AUS	316 AUS	DUPLEX
		G	BRZ	CI	NI-RESIST	STL	STL 12% CHR	12% CHR	316 AUS	N-Cu Alloy	12% CHR	AUS ^{c, d}	316 AUS ^d	DUPLEX	Super Duplex
Column / Bowl shaft bushings	No	Nitrile butadiene ^h	Bronze	Filled Carbon	Nitrile butadiene ^h	Filled Carbon	Filled Carbon	Filled Carbon	Filled Carbon	Filled Carbon	Filled Carbon	Filled Carbon	Filled Carbon	Filled Carbon	Filled Carbon
Wetted fasteners (bolts)	Yes	Carbon Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	Carbon Steel	316 AUS	316 AUS	316 AUS	N-Cu Alloy	316 AUS	316 AUS	316 AUS	Duplex	Super Duplex

^a The abbreviations in the upper part of the second row indicate the case material; the abbreviations in the lower part of the second row indicate trim material. Abbreviations are as follows: BRZ = bronze, STL = steel, 12% CHR = 12% chromium, AUS = austenitic stainless steel, CI = cast iron, 316 AUS = Type 316 austenitic stainless steel

^b See 5.12.1.4

^c Austenitic stainless steels include ISO Types 683-13-10/19 (AISI Standard Types 302, 303, 304, 316, 321, and 347).

^d For vertically-suspended pumps with shafts exposed to liquid and running in bushings, the standard shaft material is 12% chrome, except for Classes S-9, A-7, A-8, and D-1. The standard shaft material for cantilever pumps (Type VSS) is AISI 4140 where the service liquid allows (see Annex G, Table G.1).

^e Unless otherwise specified, the need for hard-facing and the specific hard-facing material for each application is determined by the vendor and described in the proposal. Alternatives to hard-facing may include opening running clearances (5.7.4) or the use of non-galling materials, such as Nitronic 60, Waukesha 88, or nonmetallic materials, depending on the corrosiveness of the pumped liquid.

^f For Class S-6, the standard shaft material for boiler feed service and for liquid temperatures above 175 °C (350 °F) is 12% chrome (see Annex G, Table G.1).

^g If pumps with axially-split casings are furnished, a sheet gasket suitable for the service is acceptable. Spiral wound gaskets should contain a filler material suitable for the service. Gaskets other than spiral wound, may be proposed and furnished if proven suitable for service and specifically approved by the purchaser.

^h Alternative materials may be substituted for liquid temperatures greater than 45 °C (110 °F) or for other special services. Unless otherwise specified, AISI 4140 steel may be used for non-wetted case and gland studs. Some applications may require alloy grades higher than the Duplex materials given in Table H.2.

ⁱ "Super Duplex" material grades with pitting resistance equivalency (PRE) values greater than 40 may be necessary.

PRE ≥ 40, where PRE is based on actual chemical analysis.

PRE = %Cr_{free} + (3,3 x % Molybdenum) + (2 x % Copper) + (2 x % Tungsten) + (16 x % Nitrogen)

= [(%Chromium - (14,5 x %Carbon))] + (3,3 x %Molybdenum) + (2 x %Copper) + (2 x %Tungsten) + (16 x %Nitrogen)

Note that alternative materials such as "super austenitic" may also be considered.

^k Non-metallic wear part materials, proven to be compatible with the specified process fluid, may be proposed within the applicable limits shown in Table H.4. Also see 5.7.4.c.

The vendor shall consider the effects of differential material expansion between casing and rotor and confirm suitability if operating temperatures are to exceed 95 °C (200 °F).

ANEXO 4

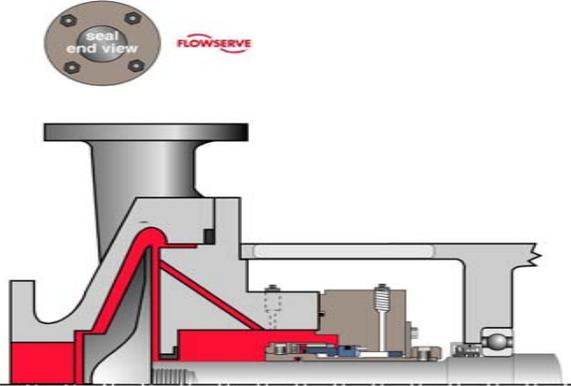
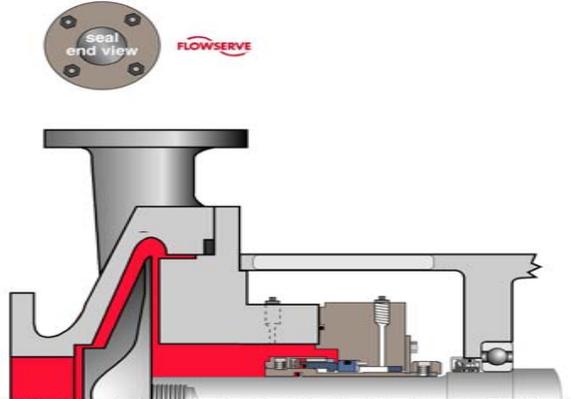
Longitudes de posicionamiento de partes de sello mecánico flowserve tipo RO, de montaje no cartucho.

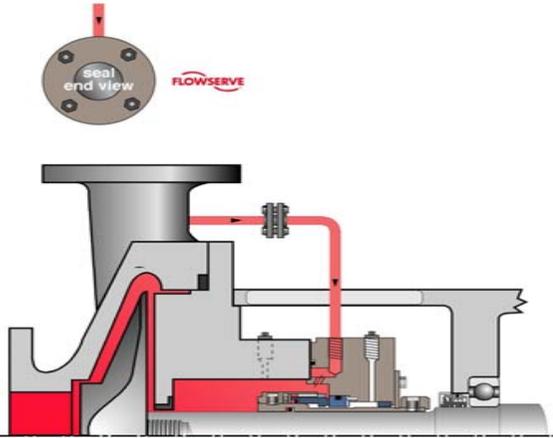
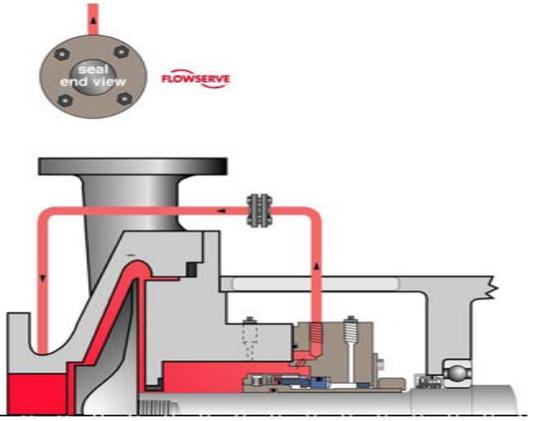
Seal Size (A)	PBR Rotary Unit plus Insert Installed Length (G + H)
1.125 inch	2.44 inch
1.375 inch	2.56 inch
1.500 thru 2.000 inch	2.62 inch
2.125 thru 3.000 inch	2.87 inch
3.125 thru 3.875 inch	3.31 inch
4.125 thru 4.500 inch	3.37 inch

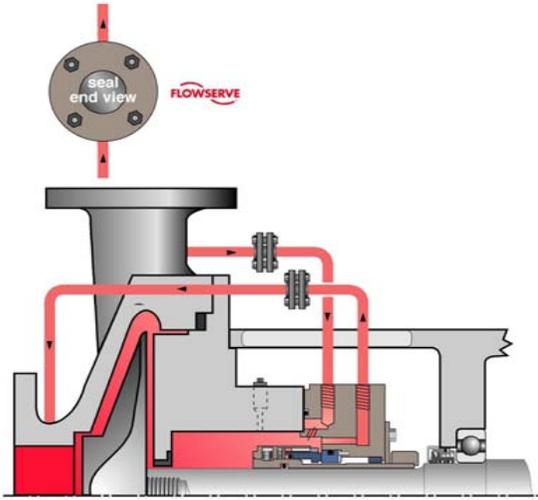
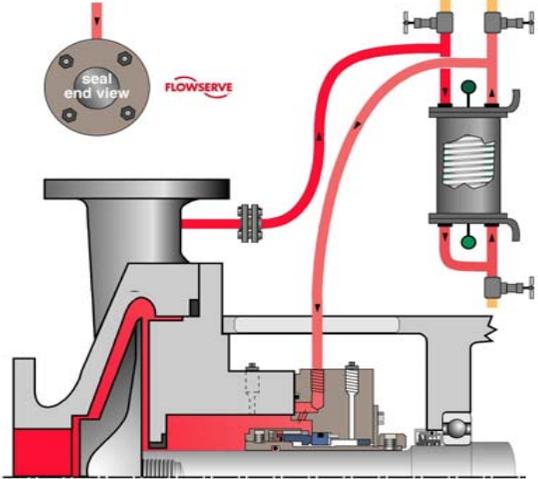
E (setting dimension) = G + H - J
(where J is the distance from the insert mounting shoulder
to the face of the seal chamber)

ANEXO 5

Anexo 4
Planes API de ambientación

<p><u>PLAN 01</u></p> <p>Que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Circulación Interna hacia el sello desde la descarga. • Opera similar al Plan API 11 		<p>Para que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Remover el calor generado en la cámara de sello. • Venteo a la cámara de sellos en bombas horizontales. • Reducir el riesgo de Polimerización o congelamiento en fluidos con Plan API 11. 	<p>Donde?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cámaras de sellado en bombas con dimensiones ASME/ANSI pump. • Fluidos limpios, temperatura de fluidos moderada. • Usado en sellos sencillos; raramente en sellos duales 	<p>Mantenimiento preventivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • El Flush típicamente no va directamente en las caras del sello y por lo tanto la remoción de calor es limitada. • La rata de flujo se basa en las perdidas a través del puerto interno.
<p><u>PLAN 02</u></p> <p>Que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cámaras de sellado que no tienen puerto de Flush. 		<p>Por que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Simplicidad – No hay controles ambientales 	<p>Donde?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cajas grandes o sin buje de fondo de caja, con servicios de temperatura moderada. • Fluidos limpios. • Mezcladores o agitadores con sellos secos. 	<p>Mantenimiento Preventivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • El proceso tiene un margen adecuado alrededor del punto de congelamiento o vaporización. • Enfriamiento o calentamiento a través de la chaqueta de enfriamiento-calentamiento se puede necesitar en algunos servicios. • Usualmente se usa en combinación con el Plan 62

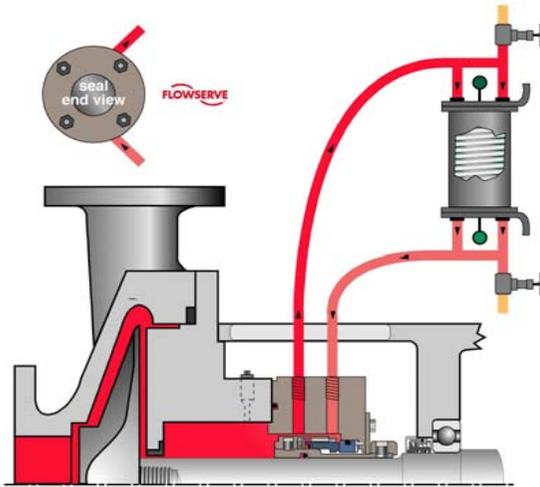
<p><u>PLAN 11</u></p> <p>Que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Circulación a la cámara de Sello desde la descarga, pasando a través de una platina de orificio. • Por defecto el plan de Circulación para sellos sencillos. 		<p>Para que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Remover el calor generado en la cámara de sellos. • Proveer el venteo en la cámara de sellado de bombas horizontales. • Aumentar la presión en la cámara de sello y por tanto el margen con respecto a la presión de vaporización 	<p>Donde?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones generales con fluidos limpios. • Fluidos que NO polimerizan. 	<p>Mantenimiento Preventivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Usar un orificio de 0.125" (3 mm) diámetro como mínimo. • Calcular la rata de flujo correcta para colocar la platina de orificio adecuada. • Incrementar el margen con el punto de vaporización con un apropiado orificio y un buje de fondo de caja. • El Flush debe llegar directamente sobre las caras. • La falla típica es por taponamiento del orificio - Verifique las temperaturas en la tubería.
<p><u>PLAN 13</u></p> <p>Que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recirculación desde la cámara de sellado hacia la succión a través de un orificio. • Flush estándar en bombas verticales. 		<p>Para que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Venteo en bombas verticales. • Remover calor en la cámara de sellos. 	<p>Donde?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bombas Verticales. • presión en la cámara de sellado mucho mayor a presión de succión. • Temperatura y sólidos moderados en el fluido. • Fluidos que NO polimerizan. 	<p>Mantenimiento Preventivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ventear la tubería antes de arrancar las bombas verticales. • Usar un orificio de mínimo 0.125" (3 mm) en diámetro. • Calcular la rata de flujo adecuada para la cámara de sello. • Reducir la presión en la cámara de sellado con un orificio adecuado y un buje de fondo de caja. • El modo de falla típico es por taponamiento del orificio - Verifique las temperaturas de la tubería

<p><u>PLAN 14</u></p> <p>Que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Circulación desde la descarga a la cámara de sellado, y recirculación a la succión a través de orificios. • combinación de los planes 11 y 13. 		<p>Para que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Venteo en bombas verticales. • Remover calor en la cámara de sellos. 	<p>Donde?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sellos en bombas verticales. • Fluidos limpios, que no polimerizan y a temperaturas moderadas. 	<p>Mantenimiento Preventivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Usar un orificio de 0.125" (3 mm) en diámetro como mínimo. • Calcular la rata de flujo y orificio adecuadas para la cámara de sellado. • Incrementar el margen alrededor del punto de vaporización con un orificio y buje de fondo adecuado. • Ventear antes de arrancar en bombas verticales. • Modo de falla típico por taponamiento – Verifique las temperaturas en la tubería.
<p><u>PLAN 21</u></p> <p>Que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Circulación al sello desde la descarga de la bomba a través de un orificio y un intercambiador de calor. • El intercambiador incrementa la remoción de calor del plan 11. 		<p>Para que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enfriamiento del sello. • Reducir la temperatura del fluido e incrementar el margen del punto de vaporización. • Reducir la formación de coque. 	<p>Donde?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Servicios de alta temperatura, típicamente mayores a 350 °F (177 °C). • Agua caliente, sobre 180 °F (80 °C). • Fluidos limpios y que NO polimerizan. 	<p>Mantenimiento Preventivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • El enfriador y las tuberías deben estar en la parte superior – Ventear antes de arrancar. • Usar un intercambiador que cumpla normas API682, con tubería que maximice el flujo y transferencia de calor. • Usar un orificio de mínimo 0.125" (3 mm) en diámetro.

PLAN 23

Que?

- Circulación desde la cámara de sellado hacia la cámara de sellado pasando a través de un intercambiador de calor.
- Flush estándar en servicios de agua caliente.



Para que?

- Enfriamiento eficiente con intercambiadores de bajo desempeño.
- Incrementar el margen con el punto de vaporización.
- Mejorar la lubricidad en el agua.

Donde?

- Servicios de alta temperatura, hidrocarburos calientes.
- Agua de alimentación a calderas, y agua con temperaturas mayores a 180 °F (80 °C).
- Fluidos limpios y que NO polimerizan.

Mantenimiento

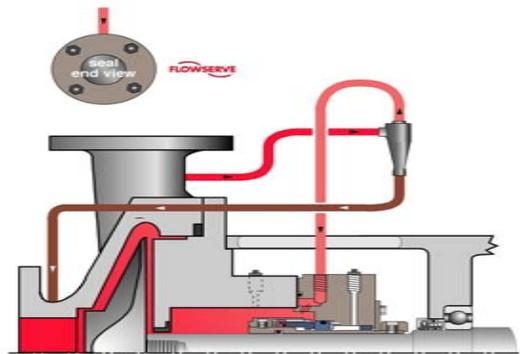
Preventivo

- Los venteos deben estar en la parte mas alta del intercambiador – Ventear antes de arrancar el equipo.
- Usar enfriadores API 682, con tubería del diámetro requerido.
- La cámara de sellado requiere un cerrado claro en el buje de fondo de caja para aislar el fluido.
- Las entradas en la brida al sello deben ser tangenciales, entrar por la parte inferior y salir por la superior.
- Monitorear regularmente el intercambiador, las temperaturas de entrada y salida de signos de taponamientos o fisuras

PLAN 31

Que?

- Circulación desde la descarga de la bomba a través de un separador ciclónico.
- Los sólidos centrifugados van a la succión de la bomba.



Para que?

- Remover el calor de la cámara de sellado.
- Remover los sólidos del fluido para evitar enviarlos a la cámara de sellado.

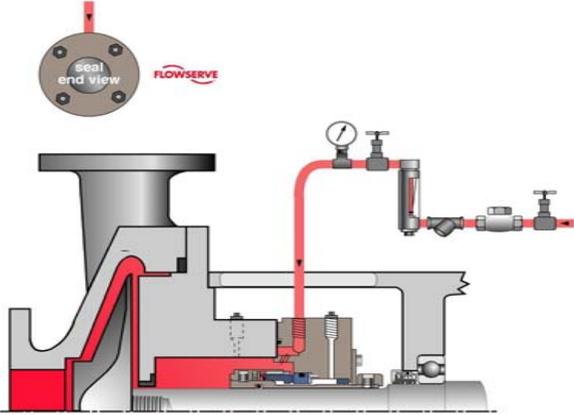
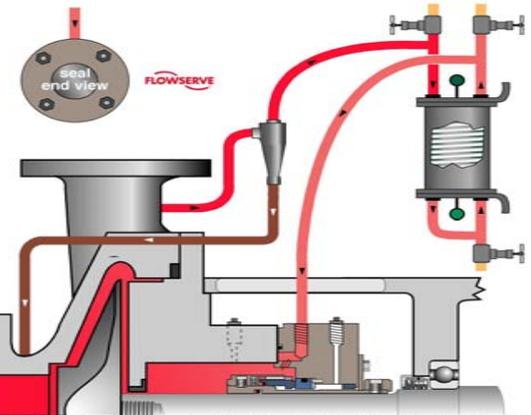
Donde?

- Fluidos sucios o contaminados.
- Fluidos que No polimerizan

Mantenimiento

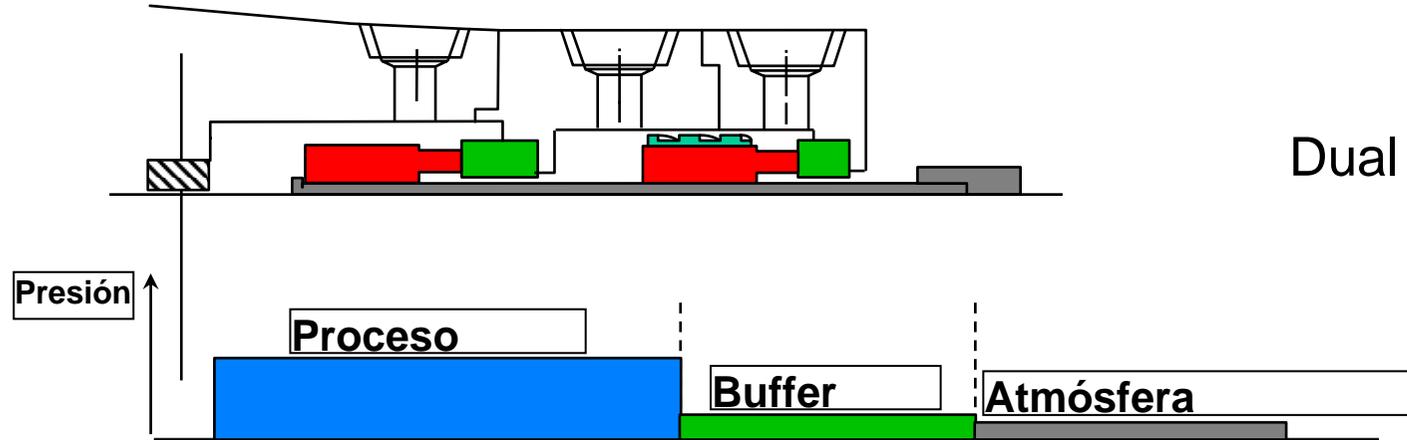
Preventivo

- presión en la cámara de sellado debe estar cercana a la presión de succión para establecer un flujo adecuado.
- La tubería no incluye platina orificio.
- Modo típico de falla es el taponamiento del separador o las tuberías – Verifique las temperaturas.

<p><u>PLAN 32</u></p> <p>Que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Circulación externa con un fluido limpio. 		<p>Para que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Remover el calor de la cámara de sellos. • Remover los sólidos de la cámara de sellado. • Incrementar la presión de la cámara de sellado y el margen del punto de vaporización 	<p>Donde?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fluidos sucios o contaminados, pulpa y papel. • Servicios de alta temperatura. • Fluidos que polimerizan y/u oxidan 	<p>Mantenimiento Preventivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Usar un buje de fondo de caja de un tamaño que mantenga la velocidad del flujo. • Restringir el paso de fluido de proceso sucio, regular la rata de inyección externa. • Para incrementar el margen del punto de vaporización, regular la presión de inyección. • El fluido inyectado debe ser compatible con el de proceso. • Monitorear regularmente el sistema de control de posibles válvulas cerradas o signos de taponamiento.
<p><u>PLAN 41</u></p> <p>Que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Circulación desde la descarga de la bomba, pasando por un separador ciclónico y un intercambiador de calor. • combinación del Plan 21 y Plan 31. 		<p>Para que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enfriamiento del sello mecánico. • remoción de sólidos del flushing y la cámara de sellado. 	<p>Donde?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Servicios de alta temperatura, típicamente sobre 350 °F (177 °C). • Fluidos sucios o contaminados, agua con arena. • Fluidos que No polimerizan. 	<p>Mantenimiento Preventivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los venteos del enfriador deben quedar en la parte superior – Ventear antes de arrancar el equipo. • Usar un intercambiador API682, con tubería de flujo en serie para maximizar la transferencia de calor. • El separador ciclónico trabaja mejor con sólidos en suspensión que tengan gravedad específica igual a dos veces la del fluido.

Como ya se había mencionado en la clasificación de sellos, existen varias disposiciones y configuraciones de los sellos mecánicos, por ello los planes que se verán a continuación están destinados para sellos mecánicos dobles y en disposición Tandem.

Esto es lo que sucede con esta configuración puntualizando el papel de las presiones.

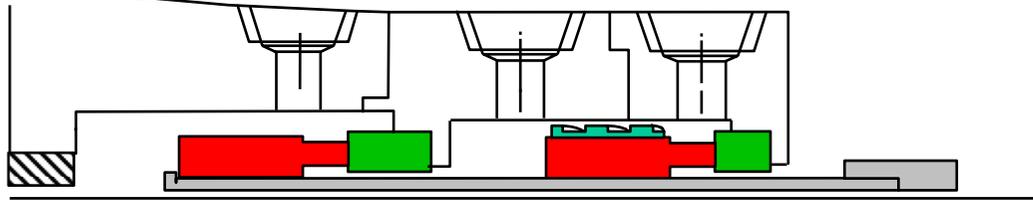


Arreglo Dual No Presurizado (Tandem)

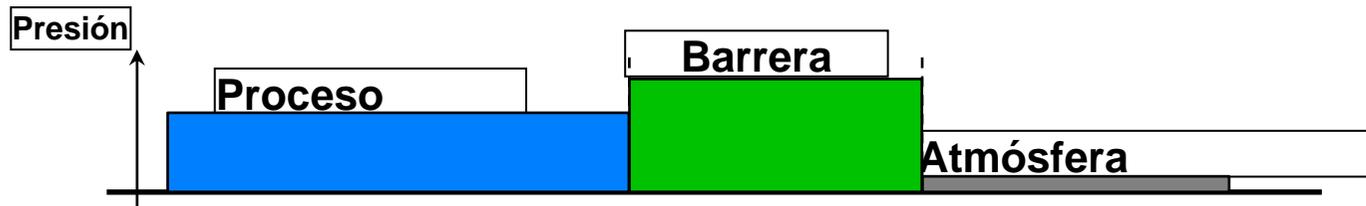
<p>PLAN 52</p> <p><u>Que?</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Circulación de fluido amortiguante en constante movimiento a través de un reservorio. • El fluido circula por la acción de un anillo de bombeo montado en el sello secundario 		<p>Para que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sellos externos que actúan como respaldo (seguridad) al sello primario • Procesos que admiten muy bajas emisiones a la atmósfera. • No se permite contaminación al proceso. 	<p>Donde?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Usado en sellos NO presurizados ("tandem"). • Fluidos con alta presión de vapor, hidrocarburos livianos. • Fluidos peligrosos o tóxicos. • Transferencia de calor en fluidos. 	<p>Mantenimiento Preventivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • El circuito de tubería debe ser venteado al sistema de recuperación/Tea cerca de la presión atmosférica. • La presión de vapor del proceso es generalmente mayor a la presión del reservorio. • El fluido amortiguante debe ser compatible con las fugas del proceso • La fuga del sello primario es indicada por el incremento de presión en el reservorio.
---	--	---	---	--

De igual manera, o en la clasificación de sellos, también se menciona la disposición espalda con espalda, para esta disposición se suelen usar los siguientes planes.

Esto es lo que sucede con esta configuración puntualizando el papel de las presiones.



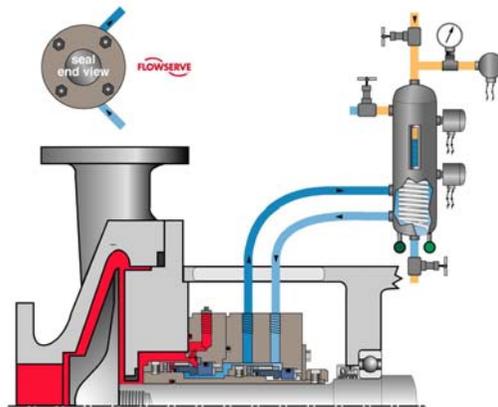
Arreglo Dual Presurizado (Doble)



PLAN 53A

Que?

- Circulación de fluido Barrera a través de un reservorio.
- El fluido circula hacia al reservorio por la acción de un anillo de bombeo montado en el sello secundario.



Para que?

- Fluidos que deben ser aislados.
- Procesos que requiere Cero emisiones.

Donde?

- Usados en sellos duales presurizados ("doble").
- Fluidos con alta presión de vaporización, hidrocarburos livianos.
- Fluidos peligrosos o tóxicos.
- Transferencia de calor en fluidos.
- Fluidos sucios, abrasivos o que polimerizan.
- Agitadores o mezcladores.
- Servicios de vacío

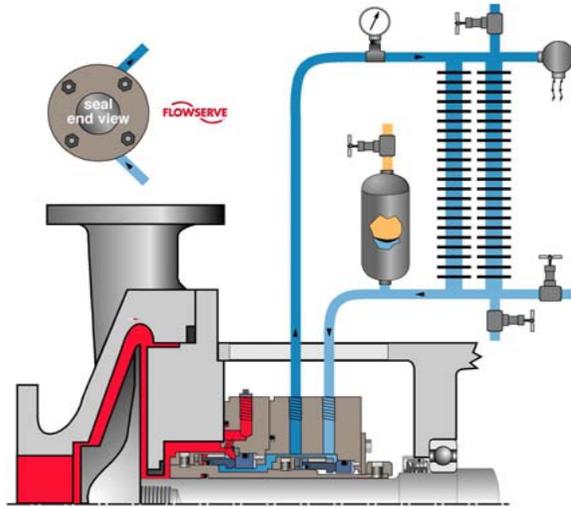
Mantenimiento Preventivo

- El circuito de tubería debe ser venteado; se debe localizar el reservorio a mayor altura que el sello.
- El reservorio debe estar presurizado todo el tiempo por gas entre 150 - 200 psi (10 - 14 bar.)
- El fluido barrera debe ser compatible con el proceso.
- El indicador de nivel indica las fugas de cualquier sello.

PLAN 53B

Que?

- Circulación del fluido barrera mediante un acumulador de vejiga.
- El fluido circula por la acción de un anillo de bombeo instalado en el ensamble de sello.



Para que?

- Fluidos que requieren ser aislados.
- Procesos que requieren cero emisiones a la atmósfera.
- Presiones mayores a la del plan API 53A

Donde?

- Usados en sellos duales presurizados (“doble”).
- Fluidos con alta presión de vaporización, hidrocarburos livianos.
- Fluidos peligrosos o tóxicos.
- Transferencia de calor en fluidos.
- Fluidos sucios, abrasivos o que polimerizan.

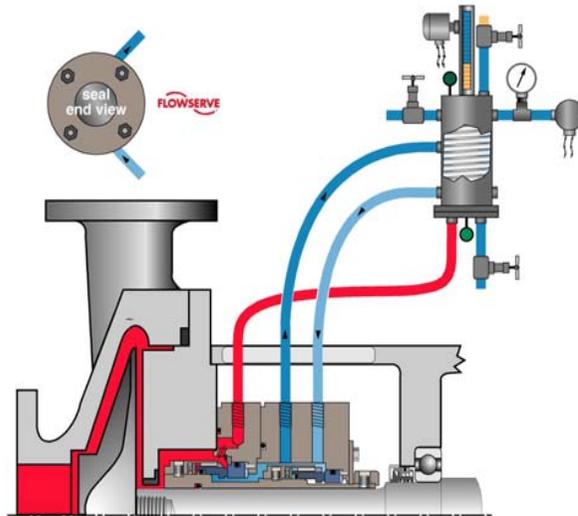
Mantenimiento Preventivo

- La tubería de circulación debe estar completamente venteada.
- El acumulador debe ser presurizado todas las veces, usualmente por la carga de gas.
- El fluido Barrera debe ser compatible con el proceso.
- Se debe monitorear regularmente la presión barrera – Adicionar manualmente fluido cuando la presión decae.

PLAN 53C

Que?

- Circulación de fluido presurizado mediante un pistón Acumulador.
- El fluido circula por la acción de un anillo de bombeo instalado en el ensamble del sello dual.



Para que?

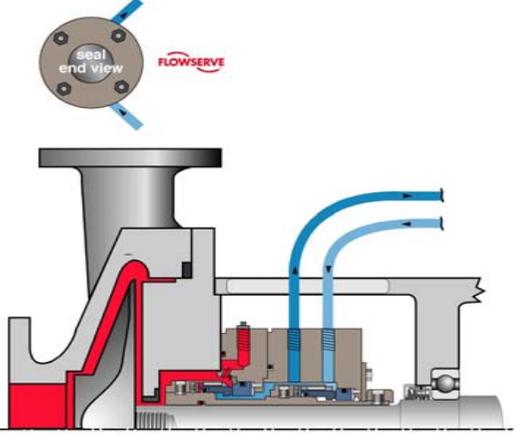
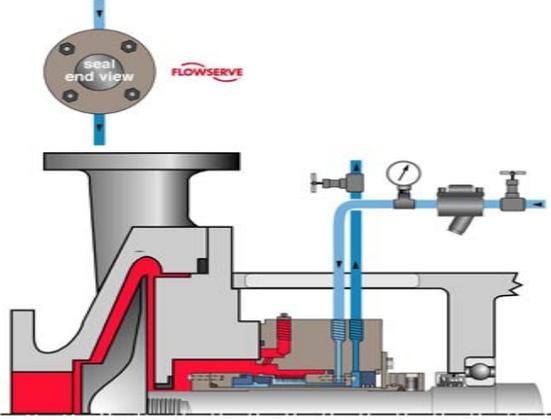
- Fluidos de proceso que requieren ser aislados totalmente.
- Procesos que requiere Cero emisiones.
- Presiones mayores a las del plan API 53A.
- Sistema de presión por avance dinámico.

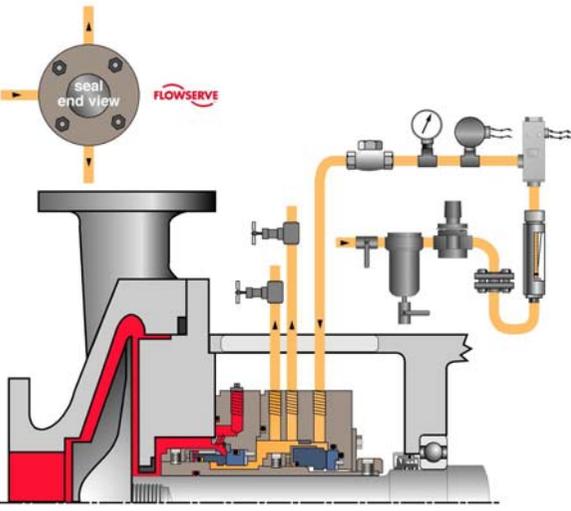
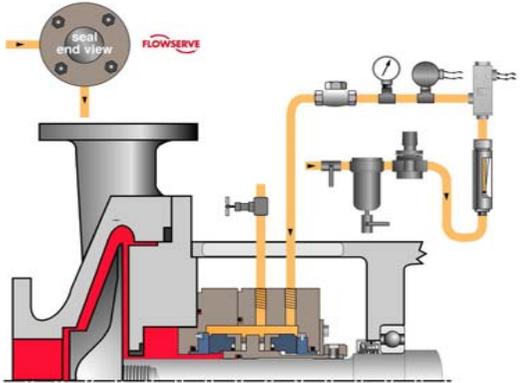
Donde?

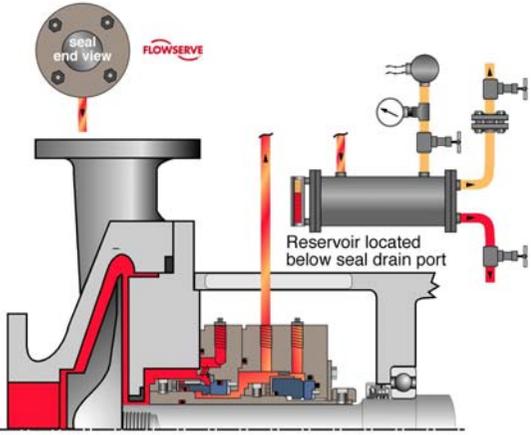
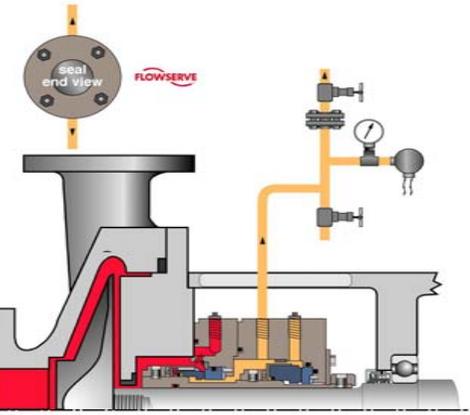
- Usado en sellos duales Presurizados (“doble”).
- Fluidos con alta presión de vapor, hidrocarburos livianos.
- Fluidos peligrosos o tóxicos.
- Transferencia de calor en fluidos.

Mantenimiento preventivo

- El circuito de tubería debe estar completamente venteado antes de arrancar.
- La línea de referencia debe tolerar contaminación sin atascarse.
- El fluido barrera debe ser compatible con el proceso.
- El nivel del reservorio indicara la fuga de cualquier sello

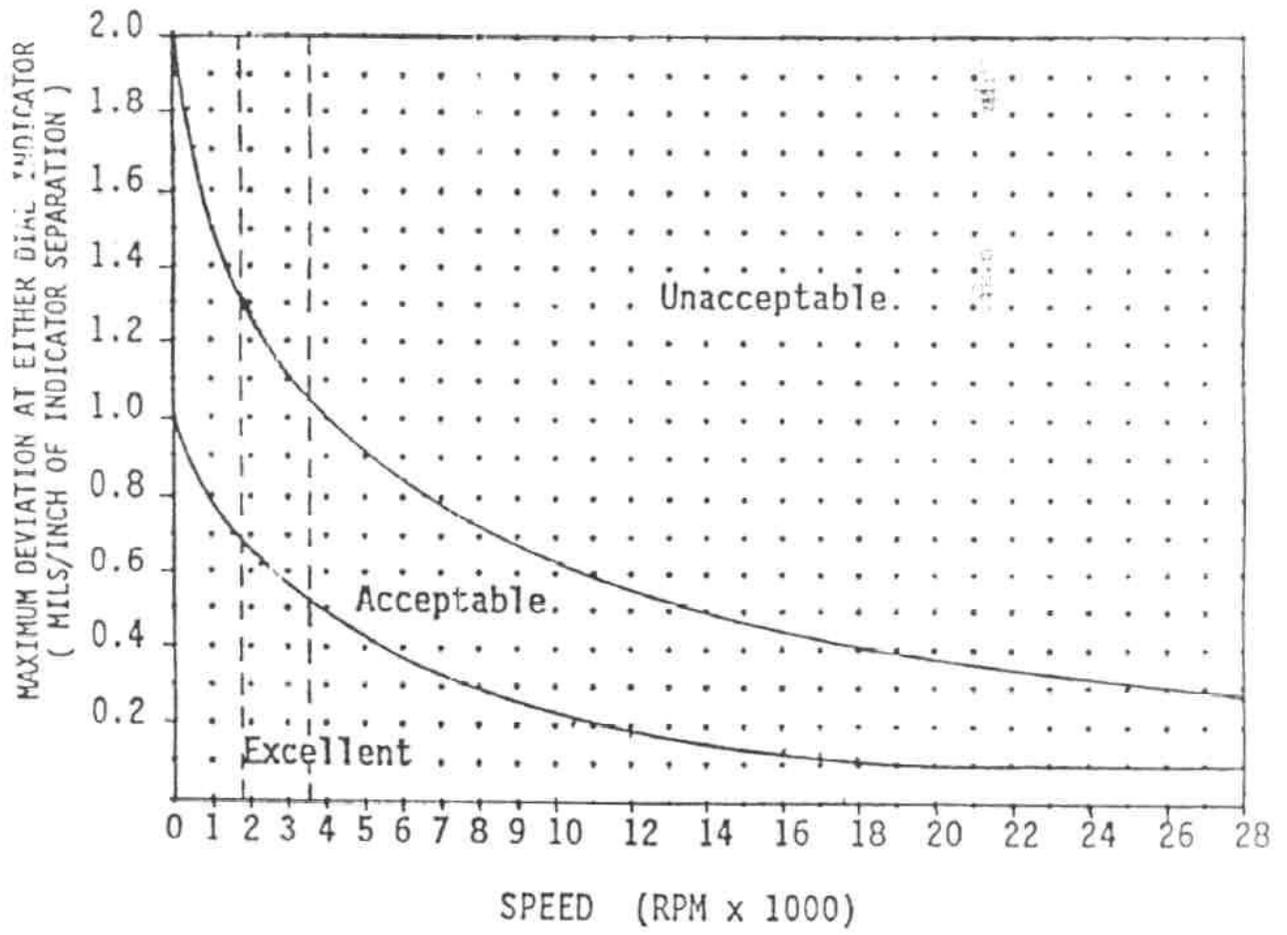
<p><u>PLAN 54</u></p> <p>Que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Circulación de fluido barrera de un sistema externo. 		<p>Para que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fluidos de proceso que deben ser aislados. • Procesos que requieren Cero emisiones. • El sello No induce la circulación. 	<p>Donde?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Usado en sellos duales presurizados (“doble”). • Fluidos con alta presión de vapor, hidrocarburos livianos. • Fluidos peligrosos o tóxicos. • Transferencia de calor de fluidos. • Fluidos sucios, abrasivos o que polimerizan. • Agitadores o mezcladores. 	<p>Mantenimiento preventivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • El circuito de tubería debe ser venteado completamente antes de arrancar. • El sistema de circulación debe ser presurizado y energizado todo el tiempo. • El fluido barrera debe ser compatible con el proceso. • El sensor de nivel del sistema de circulación indica la falla de cualquier sello.
<p><u>PLAN 62</u></p> <p>Que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lavado externo en el lado atmosférico del sello. • Los fluidos de lavado típicamente son vapor, nitrógeno o agua. 		<p>Para que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prevenir la formación de sólidos en el lado atmosférico del sello.. • Prevenir la producción de escarcha. 	<p>Donde?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Usado en sellos sencillos usualmente. • Fluidos que oxidan o coquizan. • Hidrocarburos a alta temperatura. • Fluidos que cristalizan o forman sales. • Causticos. • Fluidos fríos, con temperaturas menores a 32 °F (0 °C). 	<p>Mantenimiento Preventivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • presión de vapor en el lavado limitada a 3 psi (0.2 bar.). • Usar buje de restricción en el lado atmosférico del sello. • Monitorear regularmente, chequear válvulas cerradas, líneas taponadas y condiciones de las trampas de vapor.

<p><u>PLAN 72</u> Que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de control de fluido amortiguante con gas. • Sistema de soporte de gas típicamente usado con nitrógeno 		<p>Para que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bajas emisiones permitidas a la atmósfera. • Sistema de respaldo al sello primario 	<p>Donde?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Usado en sellos duales no presurizados (containment seals “tandem”). • Fluidos con alta presión de vapor, hidrocarburos livianos. • Fluidos peligrosos o tóxicos. • Fluidos limpios, que no oxidan o no polimerizan. • Usado en combinación con planes 75 y/o 76. 	<p>Mantenimiento Preventivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gas a baja presión, limpio e infalible debe suplirse todo el tiempo. • Gas en botellas no es recomendado, excepto bajo una emergencia como sistema de respaldo. • La fuga del sello primario se indica por la presión en la línea de venteo. • Venteo y drenaje son conectados usualmente para baja presión en un sistema de recolección o tea
<p><u>PLAN 74</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de control presurizado con gas. • El gas de soporte típicamente es Nitrógeno. 		<p>Para que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fluido que debe ser aislado. • Procesos que requiere Cero emisiones. 	<p>Donde?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Usado con sellos duales presurizados (“double”). • Fluidos con alta presión de vapor, hidrocarburos livianos. • Fluidos peligrosos o tóxicos. • Servicios que no toleran fluidos barrera. • Fluidos limpios que no polimerizan. 	<p>Mantenimiento preventivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gas limpio, disponible y presurizado debe ser provisto todo el tiempo. • La presión del fluido barrera debe ser típicamente 25 psi (1.75 bar.) sobre la presión de la cámara de sellado. • Los indicadores de flujo muestran las fugas en el sello interno o externo.

<p><u>PLAN 75</u></p> <p>Que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Drenaje de una cavidad de sellado a un colector de liquido y recuperador de vapor 	 <p>The diagram shows a cross-section of a pump assembly with a seal. A reservoir is positioned below the seal drain port to collect any leaks. A 'seal end view' is shown above the seal, and the 'FLOWSERVE' logo is present. The reservoir is connected to a collection system with a gauge and valves.</p>	<p>Para que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recoger las fugas de un sello de cero o bajas emisiones. • Indicador de seguridad para un sello primario. 	<p>Donde?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Puede ser usado solo, o en conjunto con el Plan API 72 en “containment seals”. • Fluidos que condensan a temperatura ambiente. • Fluidos con alta temperatura, hidrocarburos livianos. • Fluidos peligrosos o tóxicos. • Fluidos limpios, que no oxidan o no polimerizan 	<p>Mantenimiento preventivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • El recolector debe ser colocado por debajo del drenaje del sello, y en la parte inferior de la tubería. • Continuamente la recolección del venteo, debe ser llevado a un sistema de recolección seguro. • Lo recolectado por el drenaje debe ir a su correspondiente sistema de recolección. • Monitorear regularmente el nivel del liquido, puntos de operación de las válvulas y baja presión de venteo
<p><u>PLAN 76</u></p> <p>Que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Venteo desde la cavidad de un sello “containment seal” a un sistema de recuperación. 	 <p>The diagram shows a cross-section of a pump assembly with a seal. A direct vent line from the seal cavity goes to a recovery system with a gauge and valves. A 'seal end view' is shown above the seal, and the 'FLOWSERVE' logo is present.</p>	<p>Para que?</p> <ul style="list-style-type: none"> • recolección de fuga de productos que permiten baja o nula emisión a la atmósfera. • Indicador de seguridad para sello primario. 	<p>Donde?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Puede ser usado solo o con el Plan 72 en “containment seals”. • Fluidos que No condensan a la temperatura ambiente. • Fluidos con alta presión de vapor, hidrocarburos livianos. • Fluidos tóxicos o peligrosos. • Fluidos limpios, que no polimerizan o no oxidan. 	<p>Mantenimiento preventivo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Venteo continuo a baja presión a un sistema de recuperación seguro. • La tubería de venteo debe incluir drenaje de condensado. • La fuga del sello primario es detectada por el incremento de la presión de venteo. • Monitorear regularmente los puntos de operación de las válvulas, líneas bloqueadas y/o baja presión de venteo.

ANEXO 6

Determinación del grado de desalineación.,



ANEXO 7

Artículo sobre alineación con laser

Justificación de la alineación láser

Se propone la adquisición de equipo de alineación láser. Se utilizaría en los ejes de conexión de motores y bombas, mezcladoras, ventiladores, compresores, etc. in situ, para garantizar su correcta alineación



El sistema que se emplea actualmente para alinear los ejes es una regla, que es relativamente imprecisa, ya que depende de la apreciación del ojo humano. Existen cuatro maneras en que la alineación de los ejes puede diferir de la situación ideal, la alineación perfecta: desviación horizontal y vertical, donde los ejes que giran están paralelos pero no son colineales, y la angulosidad horizontal y vertical, donde los dos ejes se encuentran en un ángulo. Es extremadamente difícil conseguir que las 4 se encuentren dentro de unos límites de precisión aceptables si la alineación se realiza con una regla. Con esta técnica, normalmente los ejes estarán desalineados unos 0,5 mm. Por el contrario, si se utiliza la alineación láser, la desviación se reduce normalmente a menos de 0,1 mm y la angulosidad a menos de 0.1mm/100mm (la angulosidad se mide como relación de la distancia entre los ejes respecto a su diámetro).

Este informe continuará para demostrar que, al mejorar la alineación, se puede reducir el presupuesto de mantenimiento y el consumo energético de las instalaciones.

Ahorro en costes de energía: instalaciones secundarias

Se probó un sistema de alineación láser en la bomba MP421. La corriente utilizada por el motor se midió en 12,2 A. Después de la alineación, bajó a 11,8 A, una reducción del 3,28% en consumo de energía, que equivale a un ahorro de 0,288 kW o £ 77,58 a lo largo de un año (cifras correspondientes a 2002).

El ahorro que se puede conseguir en las instalaciones secundarias se muestra a continuación. Se ha dado por supuesto que el consumo energético de toda la maquinaria se reduciría solo un 1%,

ya que es probable que este sea el mínimo absoluto. Como se demostró antes, en algunos casos se puede obtener un ahorro del 3,28% (o más)

Energía en kW			
<i>Máquinas</i>	<i>Número</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
Bombas	30	5	50
Ventiladores	5	6	30
Compresores	4	-	250

Tamaño de las instalaciones (secundarias)	1180 kW
Coste de la energía	£ 0,0308
Tiempo de funcionamiento de la máquina	24 x 365 = 8760 horas al año
Coste total de la energía en un año	$1.180 \times 0,0308 \times 8760 = \text{£} 318.373,44$
Ahorro de energía	11,8 kW
Ahorro de costes de energía	£ 3.183,73

Se ha asumido también que todas las bombas tienen una potencia asignada de 5 kW. Este valor es inferior al real, ya que las bombas varían de 5 a 50 kW. De forma similar, se ha asumido que todos los ventiladores tienen una potencia asignada de 6 kW. Estas suposiciones han reducido la previsión de ahorro que se obtendrían con el mínimo absoluto.

Nota: el ahorro energético del motor MP421 se calculó con la fórmula siguiente: Potencia = 3 x corriente x tensión

Ahorro en costes de reparación: instalaciones secundarias

Se compone del ahorro conseguido a través de la reducción del número de piezas de repuesto y la reducción de la mano de obra necesaria para realizar reparaciones. Normalmente, la vida útil de un cojinete se puede multiplicar por ocho y tanto acoplamientos como ejes y juntas se benefician de la menor tensión ejercida sobre el eje

Alineación con una regla	
Número de máquinas en las instalaciones secundarias	39
Gastos de reparación promedio por máquina	£ 250
MTBF actual	6 meses
Costes de reparación actuales	£ 19.500 al año
Alineación láser	
MTBF alcanzable	20 meses
Posibles costes de reparación	£ 5.850 al año
<i>Ahorro anual de</i>	$£ 19.500 - £ 5.850 = £ 13.650$

El tiempo medio entre fallos (MTBF, del inglés Mean Time Between Failures) y los costes de reparación promedio antes citados proceden de un informe recopilado por Pruftechnik Laser Alignment. Quizás se considere un aumento bastante grande frente a los 6 meses actuales, por lo que, de nuevo, debemos asumir el peor de los casos. Cabe señalar que un mes más en el tiempo medio entre fallos, es decir, pasar a 7 meses, supondría costes de reparación anuales de £ 16.714, un ahorro de £ 2.786.

Ahorro en costes de mano de obra: instalaciones secundarias

Se trata únicamente del ahorro en mano de obra gracias al menor tiempo que lleva la alineación de ejes

Alineación con una regla

Tiempo por alineación	1 hora
Número de máquinas alineadas	39
Frecuencia de alineación de cada máquina en un año	1,5 veces al año
Número total de alineaciones al año	58,5
Horas invertidas en el trabajo de alineación de un año	58,5 horas
Coste promedio de la mano de obra	£ 23 por hora
Técnicos necesarios por equipo de alineación	2
Coste por equipo	£ 46 por hora
<i>Coste total de mano de obra al año por trabajos de alineación</i>	<i>£ 2691</i>

Alineación láser

Tiempo por alineación	1 hora
Número de máquinas alineadas	39
Frecuencia de alineación de cada máquina en un año	Una vez al año
Número total de alineaciones al año	39
Horas invertidas en el trabajo de alineación de un año	39 horas
Coste promedio de la mano de obra	£ 23 por hora
Técnicos necesarios por equipo de alineación	2
Coste por equipo	£ 46 por hora
<i>Coste total de mano de obra al año por trabajos de alineación</i>	<i>£ 1794</i>
Ahorro total al año	£ 2691 - £ 1794 = £ 897

Esto es lo mínimo que se ahorraría en las instalaciones secundarias. El ahorro de electricidad podría ser hasta 3 veces superior, ya que se demostró que se podría ahorrar hasta el 3,28%, pero para estos cálculos se utilizó un valor del 1%.

El ahorro en materia de costes de reparación podría ser de £ 13.650 como máximo si el tiempo medio entre fallos aumentase a los 20 meses pronosticados en lugar de los 7 meses utilizados en estos cálculos. El sistema de alineación láser se utilizaría también en toda la fábrica, no solo en las instalaciones secundarias. Las instalaciones secundarias representan tan solo el 41% del consumo de electricidad de toda la fábrica entre septiembre de 2000 y agosto de 2001. Si pudiera obtenerse un ahorro similar a nivel de fábrica, el ahorro de electricidad sería 2,5 veces el mencionado anteriormente. El ahorro de mano de obra y reparación también aumentaría en consecuencia.

Tampoco se incluye en estos cálculos el dinero que se ahorra con el aumento de la productividad, ya que disminuyen los períodos de inactividad. También deberían tenerse en cuenta las implicaciones medioambientales de la reducción del consumo energético en la fábrica, ya que todo contribuye a mantener la compañía en línea con la tasa sobre el cambio climático (Climate Change Levy)

Se amortiza en un año

A la luz de toda esta información, se puede afirmar con seguridad que el coste de adquirir el equipo de alineación Easy-Laser® se amortizaría fácilmente en un año, y continuaría amortizándose con creces en los años siguientes.

Compilación de problemáticas y posibles soluciones para bombas centrifugas

Situación o Problema	Posible causa	Solución
La bomba no alcanza la rata de flujo de diseño	NPSH insuficiente. (Puede no presentarse ruido.)	<p>Recalcule el NPSH disponible. Este tiene que ser mayor que el NPSH requerido por la bomba al flujo deseado, de no ser así, rediseñe la tubería de succión, maneje el número de codos y el número de niveles para minimizar la inevitable rotación de flujo para así aprovechar mejor el impeler.</p> <p>Incremente la presión de succión por uno o varios de los siguientes métodos:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Reduzca la temperatura del fluido. -Reduzca el cabezal de levantamiento de succión o eleve el nivel del tanque de suministro. -Rediseñe el sistema de succión. Calcule la velocidad de pérdida de cabeza, si la tubería es muy pequeña o muy larga, un acumulador de succión reducirá la perdida acelerada de cabeza. <p>Si hay excesiva recirculación desde la descarga a la entrada: Revise el flujo a través de la tubería externa, O-ring dañado o perdido.</p>
	Cabeza del sistema mayor que la esperada	<p>Reduzca la cabeza del sistema incrementando el tamaño de la tubería y/o reduciendo el número de accesorios. Incremente el diámetro del impeler.</p> <p>Nota: incrementar el diámetro del impeler puede requerir usar un motor más grande.</p>
	Está entrando aire. Fuga de aire de la atmósfera en el lado de la succión.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Revise las juntas y roscas de la línea de succión para encontrar falta de hermeticidad. 2. Si se observa que se forman vórtices en el tanque de succión, instale un rompe vórtices. 3. Revise los empaques alrededor del vástago de las válvulas y conexiones de instrumentos. 4. Si está entrando aire a través del prensa estopas, reemplace el empaque y/o incremente la tasa de lubricación.
	Se está generando gas en el proceso	<p>Si se están generando gases, el proceso puede requerir bombas más grandes.</p> <p>Contrastar lo valores de NPSH requerido vs el disponible para verificar la presencia de cavitación</p>
	Velocidad muy baja	<p>Revise la velocidad del motor contra la velocidad de diseño. Si las bandas están resbalando, apriételas o reemplácelas.</p>

	Dirección de rotación del eje de transmisión equivocada (puede también ser acompañado por corrosión/erosión de los difusores y la superficie de la cubierta cercana al impeler).	Si el borde de la garganta no es tan agudo y suave o está abierto en medidas, el incremento de cabeza puede reducirse. Una apertura del área de entrada de la garganta resultara en una alta rata de flujo y consumo de potencia. La Corrosión/erosión de los difusores y la superficie de la cubierta resultara en un representativo aumento de potencia. Después de confirmar la rotación equivocada, invierta dos de los tres hilos en un motor trifásico. La bomba debería ser desensamblada e inspeccionada antes de reiniciarla.
	Impeler pequeño	Reemplácelo con un impeler de diámetro apropiado. NOTA: incrementar el diámetro del impeler puede requerir el uso de un motor más grande.
	Mucha holgura en el impeler	Reajuste la holgura del impeler.
	Impeler obstruido, la línea de succión o la carcasa pueden estarlo debido a un producto fibroso o sólidos grandes	1. Reduzca en lo posible la longitud de la fibra. 2. Reduzca los sólidos en el proceso cuando sea posible. 3. Considere una bomba más grande.
	Partes del "wet end" (carcasa, impeler) averiadas, corroídas o perdidas.	Reemplace la parte o las partes.
No flujo, No presión en el arranque	Bomba incompletamente llena con liquido	Drene todo el vapor o aire que pueda haber. Permita un tiempo mayor de enfriamiento si sé esta bombeando fluido a baja temperatura. Revise la línea de succión en busca de fugas de aire si la presión de succión es menor que la atmosférica.
	NPSH actualmente más bajo que el NPSH requerido mostrado en la hoja de especificaciones.	Refiérase a la solución de la misma situación en el primer problema.
	Falta de algún componente impulsor, tal como la llave del eje de interconexión o del impeler, o falta un ítem por ensamblar.	Desensamble y revise
	Dirección de rotación equivocada	Refiérase a la solución de la misma situación en el primer problema.
Baja presión de descarga	Sistema de succión tapado	Limpie el filtro de succión, revise la tubería de succión y el tanque de suministro por obstrucciones o válvulas parcialmente cerradas, haga retrolavado.

	Boquillas u orificios gastados (aplicaciones de limpieza de chorro)	Boquillas sobre dimensionadas o desgastadas van a descargar una capacidad, a la presión requerida, mayor que la capacidad de la bomba, esto causa que la presión caiga hasta que la capacidad de la boquilla equivalga a la capacidad entregada por la bomba, revise el tamaño de la boquilla y el número de boquillas.
	Sello o vástago desgastados del regulador de presión o válvula de alivio	Revise la válvula de sobre flujo o alivio o el regulador de presión, si hay liquido escapando - apague la bomba y revise el sello y el vástago en búsqueda de materiales extraños o una mala superficie de sellado.
	La bomba no está cebada completamente	Cebe todas las cámaras de la bomba. Para una elevación de succión, una presión de succión puede ser requerida para remover aire atrapado en el fluido
	Baja velocidad de la bomba	Revise la velocidad del motor contra la velocidad de diseño. Si las bandas están resbalando, apriételas o reemplácelas.
	Motor inapropiadamente cableado	Revise el lugar de conexión del motor para un buen orden de cableado.
	Excesivas fugas en el empaque	Reemplace el empaque
	Material extraño en las válvulas de la bomba	Limpie los asientos de las válvulas
Ruido excesivo en el "wet end".	Cavitación – insuficiente NPSH disponible.	Referido al remedio recomendado en el problema 1
	Rotación anormal del fluido debido a tuberías de succión complejas.	Rediseñe la tubería de succión, maneje el número de codos y el número de niveles para minimizar la inevitable rotación de flujo para aprovechar el impeler.
	Impeler chocando	1. Revise y reajuste la tolerancia del impeler. 2. Revise el ensamblaje externo del rodamiento de empuje.
Ruido excesivo en el lado de potencia	Contaminación en los rodamientos apareciendo en las pistas como abrasión, picado, rayado, u oxidación causados por un ambiente no apropiado y a la entrada de contaminantes de la atmósfera.	1. Trabaje con herramientas limpias en ambientes limpios. 2. Remueva toda la suciedad externa del alojamiento antes de exponer los rodamientos. 3. Maneje con manos limpias. 4. Trate un rodamiento usado con cuidado como si fuera uno nuevo 5. Use solvente limpio y un aceite lavado. 6. Proteja los rodamientos desensamblados de la suciedad y la humedad. 7. Guarde los rodamientos envueltos en papel o tela limpia mientras no están en uso. 8. Limpie el interior del alojamiento antes de reemplazar los rodamientos. 9. Revise los sellos de aceite y reemplace cuando sea necesario. 10. Revise todos los tapones y aberturas abiertas para asegurarse que están firmes y cerradas.

	<p>Brinelling en el rodamiento identificado por indentacion en la pista de las bolas, usualmente causado por fuerzas incorrectamente aplicadas en el ensamblaje del rodamiento o por cargas súbitas tales como golpear el rodamiento o el eje de transmisión con un martillo.</p>	<p>Cuando monte el rodamiento en el eje de transmisión use un anillo de tamaño apropiado y aplique la presión solo contra el anillo interno. Asegurese cuando monte un rodamiento de aplicar la presión de montaje suavemente y uniformemente.</p>
	<p>Brinelling falso del rodamiento identificado de nuevo por indentaciones axiales o circunferenciales usualmente causados por vibración de las bolas entre las pistas en un rodamiento estacionario.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Corrija la fuente de vibración. 2. Donde hay rodamientos lubricados con aceite y están empujados en unidades que pueden estar fuera de servicio por periodos extensos, el eje de transmisión debería ser girado periódicamente para relubricar todas las superficies de los rodamientos de uno a tres meses.
	<p>Sobre carga de empuje en el rodamiento identificado por levantamiento del camino de la bola en un lado de la pista externa o en el caso de rodamientos de máxima capacidad, puede aparecer como un desconchamiento o las pistas en la vecindad del compartimiento de carga. Estas fallas de empuje, son causadas por un montaje inapropiado del rodamiento o cargas de empuje excesivas.</p>	<p>Siga procedimientos de montaje de rodamientos correctos.</p>
	<p>Desalineamiento identificado por fractura del retenedor de las bolas o un camino ancho en la pista interna y un camino estrecho en la pista externa. El desalineamiento es causado por unas prácticas de montaje o una detección del comportamiento del eje pobres. Por ejemplo, rodamientos sin cuadrar.</p>	<p>Maneje las partes cuidadosamente y siga procedimientos de montaje recomendados. Revise todas las partes para ajustes apropiados y alineamientos.</p>

	Rodamiento dañado por arco eléctrico identificado como grabado electrolítico en ambos anillos interno y externo como un picado o cráter. El arco eléctrico es causado por una carga eléctrica estática admitida por las correas de conducción, una fuga eléctrica o un corto circuito.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Donde un puente de corriente a través del rodamiento no puede ser corregido, un puente en la forma de un slip ring (aro colector) ensamblado podría ser incorporado. 2. Revise todo el cableado, aislamientos y las bobinas del rotor para asegurarse que estas apropiadamente conectadas. 3. Donde hay bombas con transmisión por correas, considere la eliminación de cargas electrostáticas mediante un correcto aterrizamiento o considere el material de la correa si este es menos generativo.
	Rodamiento dañado debido a una lubricación inapropiada, identificado por uno o más de los siguientes puntos: <ol style="list-style-type: none"> 1. Incremento anormal de la temperatura del rodamiento. 2. Una grasa de apariencia dura y agrietada. 3. Una decoloración café o azulada en las pistas del rodamiento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Asegúrese que el lubricante está limpio. 2. Asegúrese que se está usando la cantidad adecuada de lubricante. En el caso de rodamientos lubricados con grasa, asegúrese que hay espacio adyacente al rodamiento en el cual pueda liberarse del exceso de lubricante, de otra forma el rodamiento puede sobrecalentarse y fallar prematuramente. 3. Asegúrese que el apropiado grado del lubricante es usado.
No hay descarga o flujo con la bomba funcionando	No está apropiadamente cebada	Repita la operación de cebado, vuelva revisar las instrucciones. Si la bomba está operando seca, desensamble e inspeccione antes de la operación.
	Dirección de rotación equivocada	Remítase a la solución de este problema tratada en el problema 1
	Está entrando aire. Fuga de aire de la atmósfera en el lado de la succión.	Referido al remedio recomendado en el problema1
	Impeler obstruido, la línea de succión o la carcasa pueden estarlo debido a un producto fibroso o sólidos grandes	Referido al remedio recomendado en el problema1
	Eje o impeler de la bomba dañados	Reemplace las partes dañadas.
La bomba opera por un corto periodo, y pierde el cebado.	NSPH insuficiente.	Referido al remedio recomendado en el problema 1
	Está entrando aire. Fuga de aire de la atmósfera en el lado de la succión.	Referido al remedio recomendado en el problema1
Motor sobrecargado	Gravedad específica o viscosidad del fluido mayores a los valores mostrados en la hoja de especificaciones.	Revise la viscosidad y gravedad contra los valores de la hoja de especificaciones.

	Falla eléctrica en el motor eléctrico.	Revise el tamaño y setting del calefactor del circuito interruptor. Revise el voltaje y el balance de voltajes entre las fases. La corriente entre fases debería estar balanceada entre 3 %.
	Falla mecánica en el motor o bomba.	Remueva el motor y revise la libertad de giro, corrija el espaciado entre el motor y los ensamblajes con la bomba.
	Picado por corrosión en la superficie de la cubierta difusora o difusores, adyacentes a los alabes del impeler, el incremento de cabeza también es reducido por ésta condición.	Desensamble la bomba y revise, superficies ásperas o picadas pueden causar pérdidas por fricción que aumentan significativamente el consumo de potencia, limpie estas áreas y toda obstrucción y restaure las superficies para un acabado suave y pulido. Revise el área de la garganta de difusión a la entrada, corrosión o erosión resultan en rugosidad o incrementando el área originando el aumento en el consumo de potencia. Nota: una garganta más larga que la diseñada permitiría un flujo y potencia mayores para dar un incremento de potencia
Excesivas pulsaciones en la presión de descarga	Rata de flujo muy baja	Incremente la rata de flujo a través de la bomba. Adicione un by pass al tanque de succión de ser necesario.
	Insuficiente NPSH disponible	Refiérase a la solución para insuficiente NPSH bajo " La bomba no alcanza la rata de flujo de diseño".
	Válvula de control de flujo deficiente	Revise la válvula de control.
La bomba arranca y después se para.	Controles para flotador desajustados.	Cheque los controles de flotador.
	Aire o gases en el líquido.	Revise la tubería previendo entrada de aire.
	Colador atascado.	Cheque el cárcamo, puede tener sólidos más grandes que los que maneja la bomba. Las chumaceras trabajan muy calientes.
	Entrada de aire en las líneas de succión.	Repárense las juntas de succión para que no entre aire.

Instrucciones para la instalación y funcionamiento de bombas centrífugas

Bombas monocelulares y bicelulares con cojinetes

de bolas del tipo de brida y de aletas

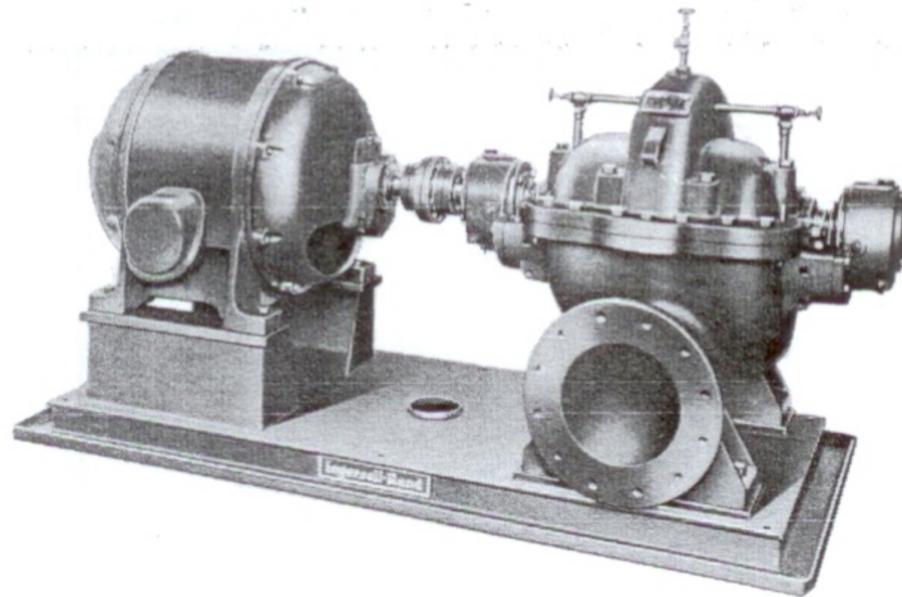
CLASES:

UV
AUV
CFV
AHV

ALV
ALVS
AFV
HLV

AFVS
AFVM
LFV
BHV

SHV
BEV
GT
GTS



Ingersoll-Rand

Cameron Pump Division

11 BROADWAY, NEW YORK 4, N. Y., U.S.A.

FORMULARIO DE REGISTRO DE LA BOMBA

NUMERO DE SERIE TAMANO Y TIPO	FABRICANTE DE LA BOMBA NUM. DE PEDIDO, FABRICA..... NUM. DEL ARTICULO..... NUM. DE PEDIDO, CLIENTE.....	FECHA DE EXPEDICION
----------------------------------	--	---------------------

CONDICIONES NOMINALES LPM..... Carga total, m..... Aspiración + o -, m..... RPM..... Líquido..... Temp. °C..... Viscosidad..... Peso Esp..... Fig. del impulsor..... Diam. del impulsor.....	DATOS DE CAJA PRENSAESTOPAS Diam. de la caja..... Diam. del árbol o mang. :..... Núm. de aros: Asp. Núm. de aros: Alt. pres. Tamaño de empaq. Fab. de la empaq. Núm. de la empaq.	MATERIALES DE LA BOMBA Cuerpo..... Aros de cuerpo..... Impulsor..... Aros de impulsor..... Arbol..... Mang. de árbol..... Cojin. radial: tipo..... Cojin. radial: tamaño..... Cojin. axial: tipo..... Cojin. axial: tamaño..... Junta - espesor..... Juego-aro de desg.
---	--	---

ELEMENTO MOTOR:	FABRICANTE:	NUM. DE SERIE:	TIPO:	HP:	RPM:	ARMAZON:	CERRAMIENTO:		
VOLTIOS:									
FASES:		PPS:		VAPOR DE ENTRADA KG/CM ² :				TEMPERATURA TOTAL °C:	
VAPOR DE SALIDA KG/CM ² :				FABRICANTE:					

RECONOCIMIENTOS Y REPARACIONES					
FECHA	ESTADO	DEBIDO A	REPARACION POR	COSTO	OBSERVACIONES

La finalidad de este Manual es orientar a los que usan centrífugas Ingersoll-Rand en la instalación, utilización y entretenimiento de las mismas. A la Ingersoll-Rand le placera suministrar cualquier informacion que no se encuentre en estas paginas. Dirigirse a la filial mas cercana de las que aparecen en la ultima pagina de este Manual.

Proteja los intereses de su Compania...insista en que el maquinista estudie con detencion y cuidado este Manual.

TABLA DE CAPITULOS

Capítulo A ● INSTALACION

Capítulo B ● FUNCIONAMIENTO

Capítulo C ● COJINETES

Capítulo D ● CAJAS PRENSA-
ESTOPAS

Capítulo E ● CONSERVACION

Capítulo F ● REPUESTOS Y
ENTORPECIMIENTOS

Capítulo A

INSTALACION

UBICACION

La bomba debe instalarse en un lugar accesible, tan cercano a la fuente de abastecimiento del líquido como sea posible. La ubicación debe ofrecer espacio suficiente para el desmontaje y reconocimiento de las piezas. Referirse al plano en alzada certificado.

TUBERIA

La tubería debe recibir apoyo independiente y el cierre de las juntas no debe hacerse forzando los pernos de las bridas. Instalar codos, juntas o curvas suspendidas de expansión cuando el líquido que se bombea es caliente, para evitar el imponer esfuerzos excesivos a las boquillas de la bomba. El tubo de aspiración debe ser tan corto y directo como sea posible, no debe dar lugar a la formación de bolsas de aire y debe ser de, por lo menos, un calibre mayor que la boquilla de aspiración de la bomba. Cuando la bomba aspira en elevación, la tubería debe subir gradualmente hacia ella desde la fuente de abastecimiento. El herraje reductor de la lumbrera de aspiración de la bomba debe ser del tipo excéntrico, para evitar la formación de bolsas de aire. Siempre que sea posible, instalar un codo vertical en el herraje reductor junto a la bomba. Nunca instalar un codo horizontal en la aspiración de una bomba de aspiración doble. Nunca debiera ser necesario incluir llaves de compuerta en las bombas que aspiran en elevación; sin embargo, cuando se usen, deben instalarse con sus vástagos en la horizontal o hacia abajo, para evitar la formación de bolsas de aire. Para evitar los remolinos o vorticidad, la boca del tubo de aspiración debe quedar a un nivel de, por lo menos, 1 metro más bajo que el de bombeo al tratarse de tubos de aspiración hasta de 46 cm (18") de diámetro; y dos veces el diámetro del tubo por debajo del nivel de bombeo, cuando se trata de tubos de más de 46 cm (18") de diámetro. El tubo de aspiración debe quedar a, por lo menos, el doble de su diámetro de cualquier pared u obstrucción.

La instalación de material nuevo debe hacerse con sumo cuidado, para evitar la posibilidad que entren en la bomba partículas metálicas de los tubos, glóbulos de la soldadura o suciedad. El sistema de aspiración de la bomba debe limpiarse cuidadosamente con chorro de líquido a presión y, en el caso que el líquido con que se va a trabajar contenga materias extrañas, debe colocarse un colador en la boca del tubo de aspiración. La superficie de la malla del colador debe ser de, por lo menos, tres veces el área del tubo de aspiración. Construir un colector

independiente provisto de mallas y tabiques, cuando el líquido con que se va a trabajar contenga materias extrañas en abundancia. Cuando se aspira en elevación sólo es posible bombear líquidos transparentes fríos. Los líquidos calientes volátiles o viscosos sólo deben fluir a la bomba bajo suficiente carga hidráulica, para evitar su vaporización en la entrada del impulsor. Incluir en la tubería de descarga una válvula de retención y una llave de compuerta. La válvula de retención debe quedar entre la llave de compuerta y la bomba, para la inspección.

TUBERIA AUXILIAR

Dependiendo de la instalación, puede que sea necesario usar agua para alguna o todas las siguientes funciones: 1) refrigeración de las cajas prensaestopas, 2) obturación de las cajas prensaestopas, 3) refrigeración del aceite lubricante, 4) sofocación de los casquillos prensaestopas, 5) refrigeración de los cuerpos de cojinete y 6) refrigeración del soporte de bomba. La presión mínima en la bomba del agua de servicio, estando todas las llaves abiertas, no debe ser menos de 1,76 Kg/cm² (25 lbs/pulg²). Las llaves de mando deben ir en el lado de salida y el tubo debe descargar en un embudo abierto, para poder observar la circulación. En el plano en alzada certificado de la máquina se encontrarán los elementos de refrigeración necesarios.

CEBADO

Antes de poner en funcionamiento cualquier bomba centrífuga es necesario llenar completamente su cuerpo y su tubería de aspiración con el líquido que se bombea. La lubricación de las

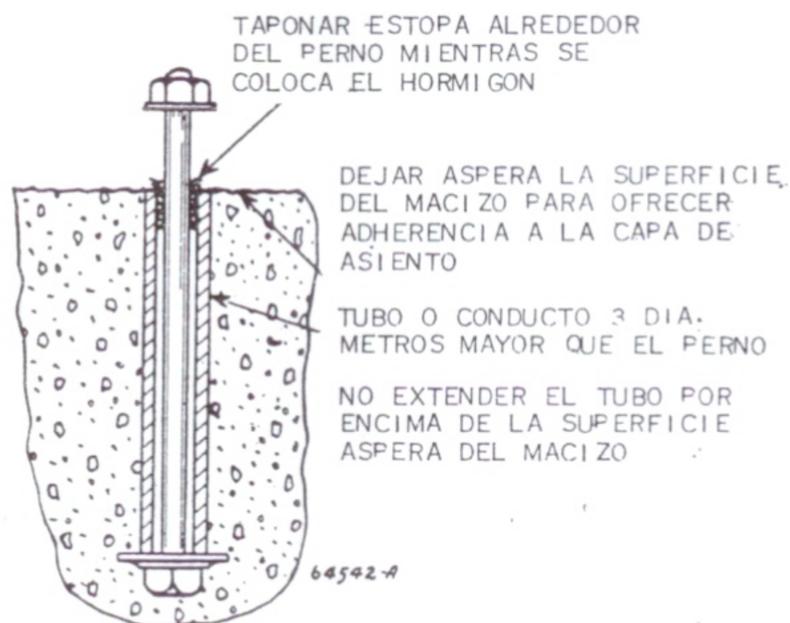


Fig. 1a—Disposición de un perno de anclaje en el fundamento.

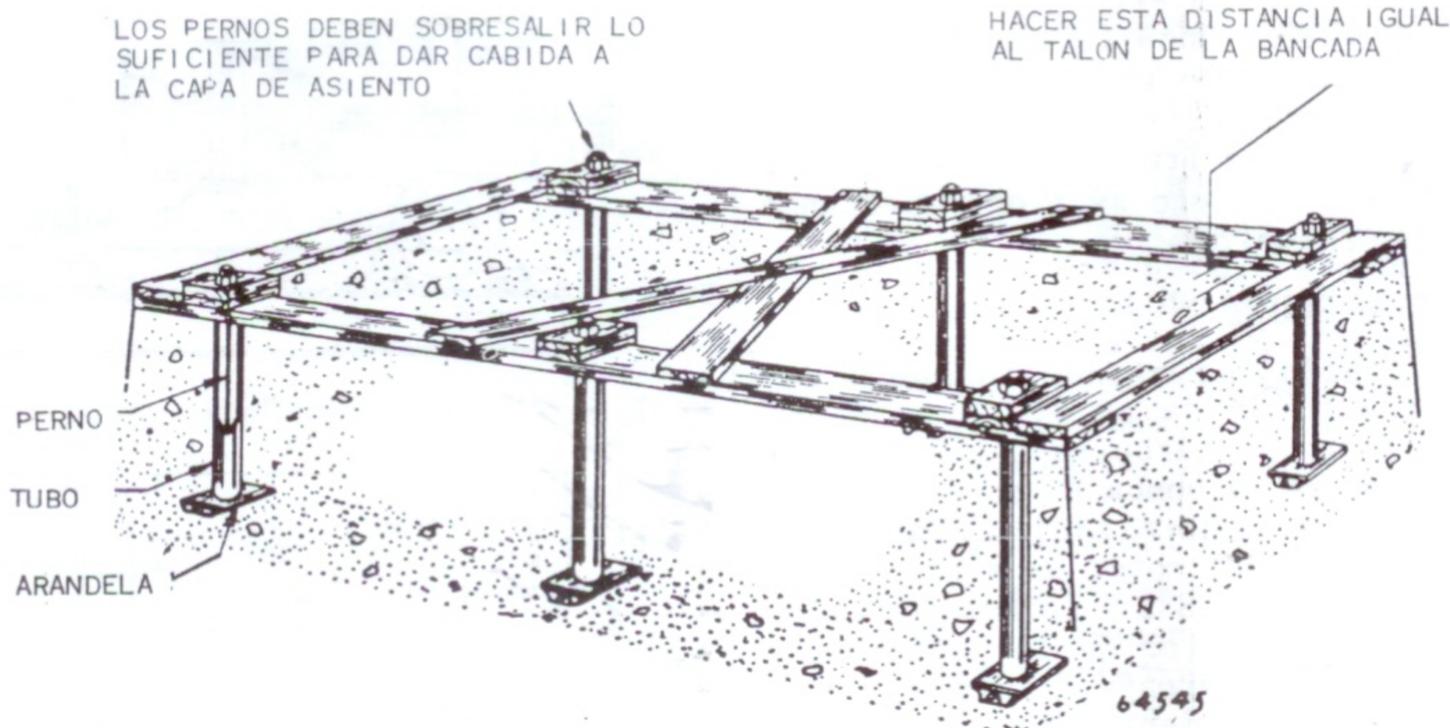


Fig. 2a—Plantilla para colgar los pernos de anclaje al hacer el fundamento.

piezas rotatorias depende de este líquido, y posiblemente se agarroten si se hacen funcionar en seco.

Los métodos de cebado corrientes son por:

1. Carga hidráulica positiva en el lado de aspiración.
2. Eyector.
3. Bomba de vacío.
4. Válvula de aspiración.
5. Depósito (medio de cebado automático).

Las bombas instaladas a un nivel más bajo del líquido que se bombea se cebarán por sí mismas cuando se abra la ventosa de encima de la caja para desalojarle el aire.

Las bombas de chorro y de vacío se conectan a la ventosa en el lado de arriba del cuerpo de la bomba. Cuando se usa una bomba de vacío en seco hay que evitar que el líquido alcance el interior de la misma.

El uso de la válvula de aspiración debe evitarse siempre que haya otro medio posible de cebado. La válvula de aspiración, si es necesario usarla, debe instalarse en la boca del tubo de aspiración y ofrecer un área neta de, por lo menos, el 150% del área del tubo de aspiración.

Cuando haya líquido en el tubo de descarga a una presión segura para la válvula y la tubería de aspiración, la bomba puede cebarse a través de un tubo pequeño derivado de la tubería de aspiración adelante de la llave de compuerta y la válvula de retención. Para los trabajos de bomba intermitentes, cuando el nivel del líquido es más bajo que el de la bomba, puede instalarse un medio de cebado automático.

FUNDAMENTO

El fundamento debe ser lo suficientemente rí-

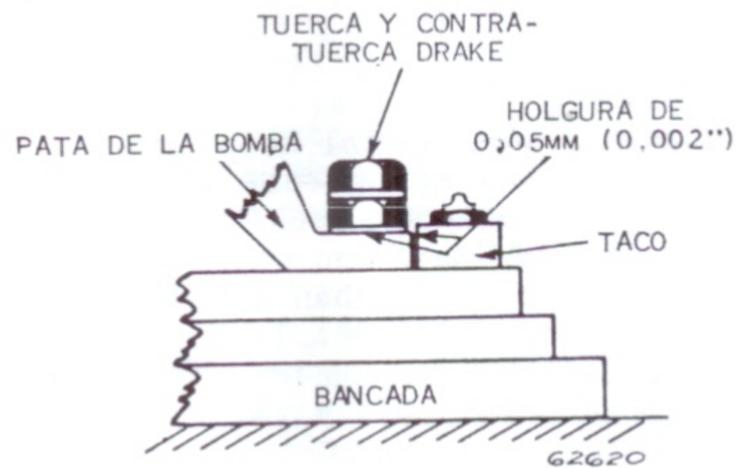


Fig. 3a—Pata deslizante para líquidos calientes.

gido y fuerte para absorber las vibraciones y ofrecer apoyo permanente en todos sus puntos a la bancada. Los fundamentos más satisfactorios son los de hormigón. Los pernos de anclaje deben sujetarse al fundamento, según se ilustra en la Fig. 1a, y a sus puntas de abajo deben adaptarse arandelas grandes con salientes, para evitar que se volteen. Subir el macizo a entre 2 y 4 centímetros por debajo del nivel a que quedará la bancada, para dar cabida a la capa de asiento. Colgar los pernos de anclaje de una plantilla en sus posiciones correctas, según se ilustra en la Fig. 2a. Con cada bomba se suministra un plano certificado en el que aparecen las posiciones de los agujeros para los pernos de anclaje. Dar aspereza a la cima del macizo cuando se coloque el hormigón, para que la capa de asiento se adhiera bien. Antes de instalar la máquina, dejar que el fundamento frague bien.

MÉTODOS DE APOYO

Las bombas de líquidos calientes se proyectan a veces de suerte que las patas puedan deslizarse cuando sus cuerpos se dilatan. El movimiento longitudinal se gobierna empernando el cuerpo o las patas del lado del elemento motor.

El movimiento vertical se evita mediante tuerca y contratuerca Drake. Unos tacos provistos a los lados gobiernan el movimiento lateral. Ver la Fig. 3a. La tuerca se enrosca hasta establecer una separación entre la misma y la pata de 0,05 mm (0,002"). Luego se frena apretando a fondo la contratuerca.

ALINEACION DEL GRUPO

El éxito del funcionamiento de la bomba depende de la exactitud de su alineación. La desalineación entre los árboles conductor del motor y conducido de la bomba no puede compensarse con un acoplamiento elástico. La bomba, la bancada y el elemento motor se alinearon en fábrica nivelando la bancada y colocando suplementos debajo de las patas de la bomba y del elemento motor donde fueron necesarios. Cualquier bancada podrá deformarse en mayor o menor grado cuando el grupo se instala, razón por la cual es necesario verificar cuidadosamente la alineación. Las Figs. 4a a 7a inclusive ilustran las distintas fases de la verificación de la alineación de la bomba y su elemento motor. Durante la alineación de fábrica se permitió cierta diferencia vertical entre las mitades conductora y conducida del acoplamiento, para compensar la dilatación vertical cuando el grupo está funcionando. Esta diferencia vertical (ver la Fig. 6a), medida cuando la bomba y su medio conductor estaban fríos, aparece en una etiqueta sujeta al acoplamiento. Nivelar la bancada con cuñas o suplementos colocados en cada perno de anclaje y verificar la alineación del acoplamiento. Debe existir paralelismo entre las superficies de ambas mitades del acoplamiento dentro de una tolerancia de 0,076 mm (0,003") (Figs. 4a y 5a). Los cantos de las mitades del acoplamiento deben estar en alineación horizontal dentro de una tolerancia

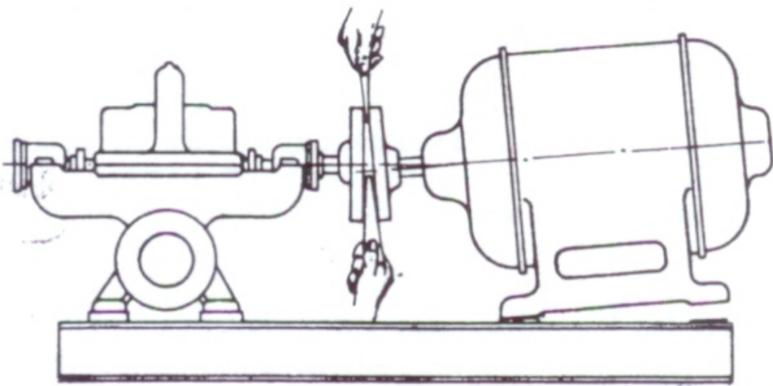


Fig. 4a—Medición de la desalineación angular vertical.

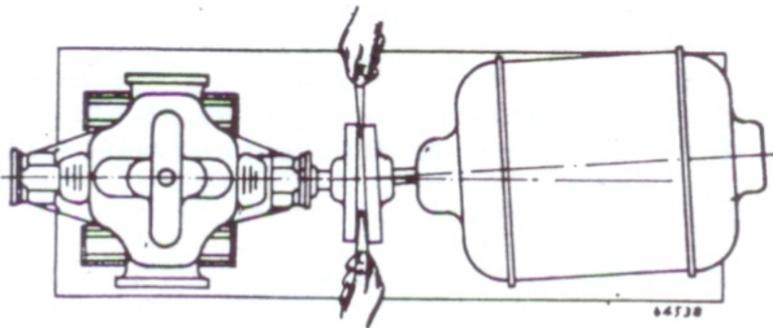


Fig. 5a—Medición de la desalineación angular horizontal.

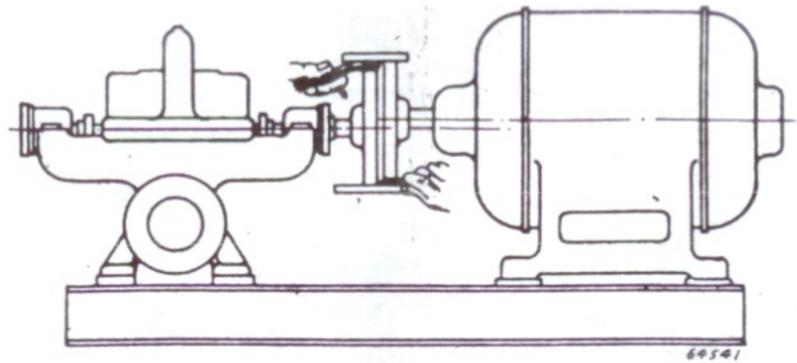


Fig. 6a—Medición de la alineación vertical.

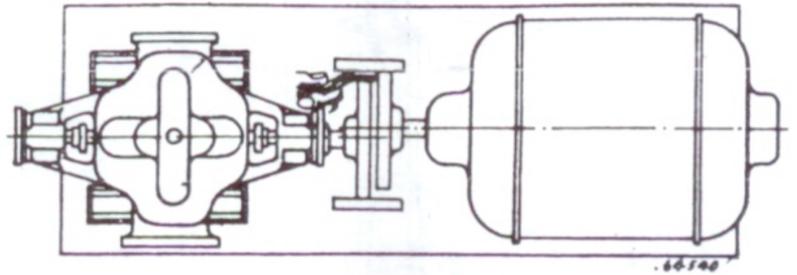


Fig. 7a—Medición de la alineación horizontal.

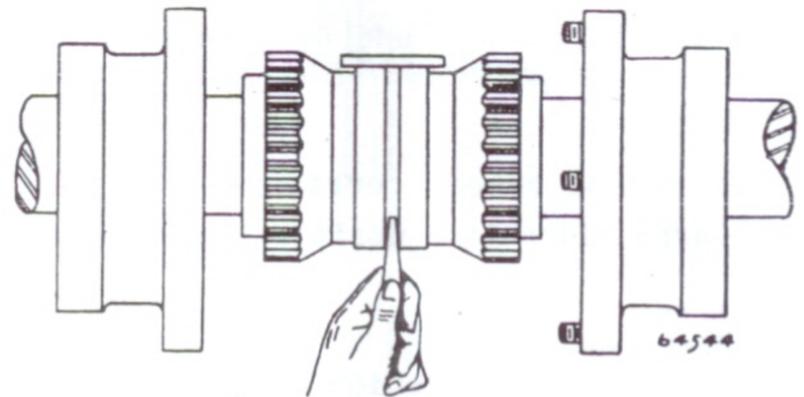


Fig. 8a—Toma de las medidas de alineación en los acoplamientos del tipo de engranaje.

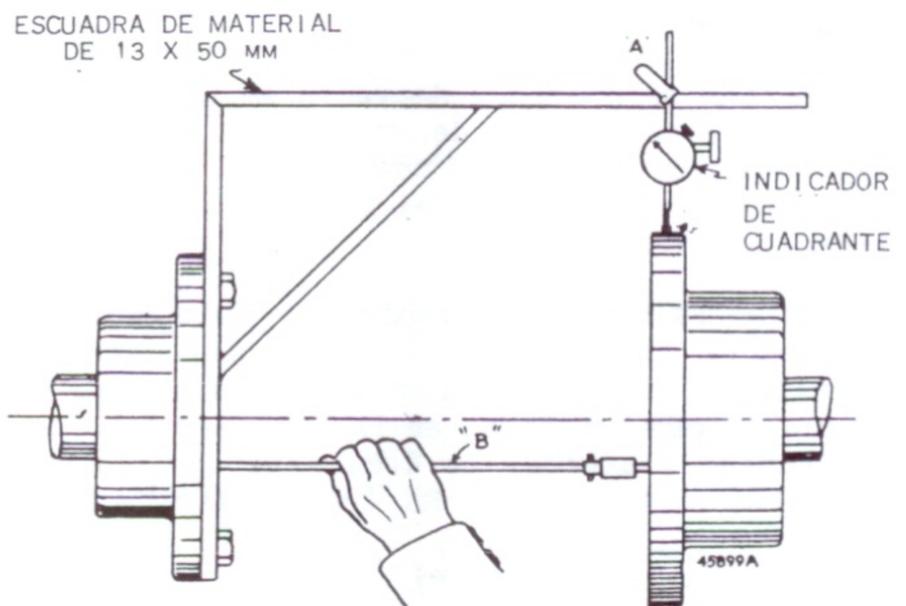


Fig. 9a—Alineación de un acoplamiento libre.

de 0,076 mm (0,003") (Fig. 7a) y la diferencia de alineación vertical (Fig. 6a) debe ser igual a la que aparece en la etiqueta sujeta al acoplamiento. La verificación final del acoplamiento debe hacerse después de haber trabajado el grupo durante unas cuantas horas en condiciones normales de funcionamiento.

Tipo de grupo	Diferencia vertical medida en las mitades del acoplamiento, estando fríos el elemento motor y la bomba.
Bomba conducida por motor eléctrico o alternativo	
Bombeo de líquido frío	Motor de 0,13 a 0,2 mm (0,005 a 0,008") más <i>bajo</i> que la bomba.
Bombeo de líquido caliente (120°C)	Motor de 0,05 a 0,13 mm (0,002 a 0,005") más <i>alto</i> que la bomba.
Bomba conducida por turbina (Turbina con apoyo central longitudinal)	
Bombeo de líquido frío	Turbina de 0,13 a 0,2 mm (0,005 a 0,008") más <i>baja</i> que la bomba.
Bombeo de líquido caliente (120°C)	Turbina de 0,025 a 0,1 mm (0,001 a 0,004") más <i>alta</i> que la bomba.
Bomba conducida por turbina (Turbina sin apoyo central longitudinal)	
Bombeo de líquido frío	Turbina de 0,5 a 0,58 mm (0,020 a 0,023") más <i>baja</i> que la bomba.
Bombeo de líquido caliente (120°C)	Turbina de 0,35 a 0,43 mm (0,014 a 0,017") más <i>baja</i> que la bomba.
Bomba conducida por correa (Polea en contraeje independiente)	
Bombeo de líquido frío	Mitades del acoplamiento a nivel, tolerándose 0,07 mm (0,003")
Bombeo de líquido caliente (120°C)	Contraeje de 0,15 a 0,23 mm (0,006 a 0,009") más <i>alto</i> que la bomba.

Fig. 10a—Posición en frío para la alineación vertical del acoplamiento.

ACOPLAMIENTOS DEL TIPO DE SEPARADOR Y LIBRES

Donde se usa acoplamiento del tipo de separador o libre no es posible alinear el mismo según se ilustra en las Figs. 4a a 7a. Para alinear grupos provistos de uno u otro de estos tipos de acoplamiento, quitar el separador o el eje intermediario entre la bomba y su elemento conductor. Hacer una escuadra, como la que se muestra en la Fig. 9a, que pueda sujetarse a una de las mitades del acoplamiento y que alcance hasta la otra mitad. Sujetar un brazo de la escuadra a una de las mitades del acoplamiento y sujetar un indicador del tipo de cuadrante al otro brazo de la escuadra, de modo que quede en contacto con el canto de la otra mitad del acoplamiento. Volver a mano la mitad del acoplamiento a que está sujeta la escuadra, para hacer que el indicador circunde la otra mitad del acoplamiento ("A" Fig. 9a). La ali-

neación debe quedar dentro de una tolerancia de 0,076 mm (0,003") estando la bomba y su elemento conductor en sus temperaturas de funcionamiento. Usar un micrómetro de diámetro interior, según se ilustra en "B" Fig. 9a, para verificar el paralelismo entre las mitades de acoplamiento. La alineación paralela debe quedar dentro de una tolerancia de 0,076 mm (0,003"). La verificación final de la alineación debe hacerse después de haber trabajado el grupo durante unas cuantas horas en condiciones normales de funcionamiento.

INSTALACION DEL ELEMENTO MOTOR EN LA OBRA

Cuando una bomba se expide sin su elemento motor, la bancada se recibirá labrada, pero no tendrá taladrados los agujeros de los pernos de sujeción del elemento motor. Instalar la bancada y la bomba en el fundamento y nivelar, según ya se ha explicado, colocando el nivel en los asientos de la bancada. Entizar los asientos de la bancada correspondientes al elemento motor, para facilitar la localización de los agujeros de los pernos del mismo.

Poner el elemento motor en la bancada, de modo que la separación entre las mitades del acoplamiento sea la que aparece en el plano en alzada certificado. Al hacer esto, disponer los rotores de la bomba y del elemento motor en el centro de su juego longitudinal. Alinear las mitades del acoplamiento con calibres de cuña o de profundidad y regla. No tomar en cuenta, por ahora, la desalineación angular vertical. Marcar en los asientos de la bancada las circunferencias de los agujeros de perno de las patas del elemento motor. Quitar el elemento motor, determinar el centro geométrico de los círculos marcados en la bancada y taladrar y filetear la bancada. Poner el elemento motor en la bancada y alinear las mitades del acoplamiento, corrigiendo la desalineación angular vertical calzando las patas de la bomba o del elemento motor. Usar la tabla (Fig. 10a) como guía, para compensar la dilatación vertical, al establecer la diferencia vertical entre las mitades conductora y conducida del acoplamiento cuando el grupo está frío. Verificar siempre en los tres planos después de hacer algún ajuste. La verificación final de la alineación debe hacerse después de haber trabajado el grupo durante unas cuantas horas en condiciones normales de funcionamiento.

CAPA DE ASIENTO

Construir un encofrado de madera alrededor del fundamento y colocar la capa de asiento, marcando antes la posición de las cuñas si se tiene la intención de quitar las mismas después de fraguada la capa de asiento. La bancada lleva unos agujeros para facilitar el vaciado de la mezcla y el movimiento de ésta para evitar que queden bolsas de aire. Llenar completamente debajo de la bancada. Quitar el encofrado después de fraguada la mezcla y quitar las cuñas

cuando se desee. Llenar los agujeros que dejaron las cuñas y acabar los bordes a llana.

ENCLAVIJADO

El grupo no debe enclavijarse antes de haber hecho la verificación final bajo condiciones reales de funcionamiento. Algunas máquinas no exigen enclavijamiento; pero, para las que lo exigen, se suministran cuatro espigas cónicas. Taladrar un par de patas diagonalmente opuestas de la bomba y del elemento motor y escastrarlas para recibir estas espigas.

CEDAZO DE ASPIRACION

Antes de poner en marcha bombas multicelulares es muy importante que se protejan, contra las substancias abrasivas presentes en las tuberías, sus muchas piezas de adaptación exacta animadas de movimiento. Colocar un cedazo en la tubería de aspiración, tan cerca como sea posible a la boquilla de aspiración, según se ilustra en la Fig. 11a. Puede ser plano o cónico, hecho de tela metálica de 0,8 mm (1/32") reforzado con tela metálica de 6,4 mm (1/4"). Disponer un manómetro a uno y otro lado para medir la caída

de presión en el cedazo. Vigilar cuidadosamente los dos manómetros una vez que la bomba esté funcionando; una diferencia entre sus lecturas denuncia que el cedazo se está tupiendo con suciedad y otras materias extrañas. Parar la bomba, limpiar el cedazo y reponer el mismo. El cedazo puede quitarse cuando se haya sacado del sistema toda la suciedad y materias extrañas, lo que lo indicará la ausencia de diferencia de presión entre las lecturas de los manómetros. Antes de quitarlo, el cedazo debe usarse durante por lo menos 24 horas de funcionamiento normal de la bomba.

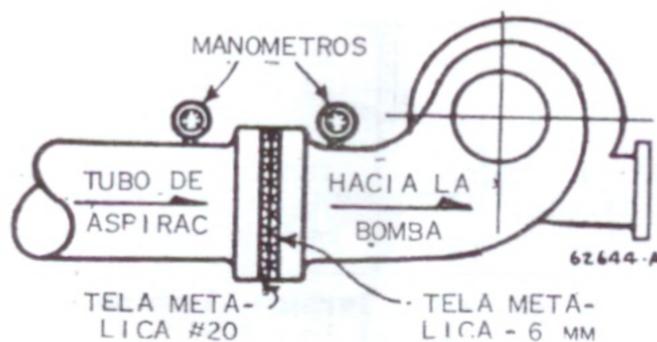


Fig. 11a—Cedazo provisional en la aspiración para atrapar los materiales abrasivos de una tubería nueva.

Capítulo B

FUNCIONAMIENTO

LUBRICACION

En el Capítulo C se encontrará información sobre los cojinetes y su lubricación.

ELEMENTO MOTOR

Disponer el elemento motor para el funcionamiento siguiendo las instrucciones suministradas por su fabricante.

GIRO

Verificar el sentido del giro del elemento motor antes de empernar el acoplamiento. Su sentido de rotación debe corresponder con la orientación de la flecha grabada en la bomba.

PERNOS DE LA BRIDA SEPARADORA

Referirse al Capítulo E.

TUERCAS DEL MANGUITO DEL ARBOL

En el caso de bombas que tienen manguito del árbol con empaquetadura, referirse al Capítulo E.

CAJAS PRENSAESTOPAS

La disposición de las cajas prensaestopas varía según el trabajo; referirse al Capítulo D. Observar las instrucciones que acompañan a la empaquetadura y trabajar como se indica a continuación: Quitar el casquillo prensaestopas, sacar las jaulas obturadoras, si se usan, y limpiar las cajas prensaestopas. Si se usan jaulas obturadoras, determinar la posición del conducto de obturación para que, al empaquetar la caja, la jaula coincida con dicho agujero. Sumergir cada aro en aceite pesado de motor y poner un aro a la vez en la caja, cuidando que quede bien asentado; escalar las juntas de los aros sucesivos. Después de colocado el último aro, poner el casquillo prensaestopas y enroscar las tuercas uniformemente hasta que queden algo apretadas. Luego, desenroscar las tuercas y apretarlas a mano. El casquillo debe quedar tan flojo como sea posible, para evitar el desgaste excesivo del mismo y de la empaquetadura.

CALENTAMIENTO DE LA BOMBA ANTES DEL TRABAJO

Las bombas de líquidos calientes deben calentarse a una temperatura uniforme antes de empezar a trabajar. El calentamiento se obtiene haciendo circular en varias formas una pequeña cantidad del líquido caliente por el cuerpo de la bomba. La duración del período de calentamiento depende de la temperatura final que debe

alcanzarse y de la temperatura ambiente. El fabricante recomienda que antes de poner la máquina en marcha, se caliente la caja de la bomba a una temperatura no más baja de 55°C (100°F) que la del líquido que se bombea.

PUESTA EN MARCHA

Cerrar la llave de descarga y cebar la bomba. Cerrar las válvulas de aguja de las cajas prensaestopas de obturación interna que las lleven. Si las cajas prensaestopas son de obturación externa, abrir las llaves para permitir que corra el líquido. Si la bomba tiene cajas prensaestopas con manguitos de purga, abrir las llaves de las tuberías de purga. Abrir las llaves del agua de refrigeración, si las hubiese. Abrir las tuberías de derivación de las bombas multicelulares que las tuviesen. Volver la bomba a mano una revolución completa, por lo menos, para asegurarse que no hay impedimento alguno al movimiento de sus piezas.

Después de haber cebado completamente la bomba, poner el grupo en marcha y, tan pronto como haya alcanzado su régimen y presión de funcionamiento, abrir la llave de descarga. Para evitar su recalentamiento, nunca hacer funcionar una bomba por algún tiempo con la llave de descarga cerrada, a menos que tenga tubería de derivación. Observar si hay vibración o recalentamiento en la bomba o en su elemento motor. Si hay vibración, parar el grupo y verificar la alineación. Si se recalienta una caja prensaestopas, parar y poner en marcha varias veces el grupo hasta que aparezca una fuga del líquido lubricante por la empaquetadura. Nunca aflojar las tuercas del casquillo prensaestopas, pues con ello se lograría solamente que todos los aros de empaquetadura se alejaran del fondo de la caja como si fueran un cilindro. Si la empaquetadura no responde a este tratamiento se indica que la caja se ha empaquetado muy fuerte y será necesario empaquetarla de nuevo.

Cualquier recalentamiento de cojinetes, falla de la lubricación, vibración o ruido desacomodado indica que sucede algún entorpecimiento y debe pararse el grupo inmediatamente e investigar la causa.

FUNCIONAMIENTO

Hacer reconocimientos periódicos mientras la bomba está funcionando. Tener la caja prensaestopas ajustada hasta donde permita una fuga

suficiente para lubricar la empaquetadura. Cuando haya exceso de fuga, apretar las tuercas del casquillo prensaestopas un sexto de vuelta a la vez, permitiendo tiempo suficiente para que la presión se distribuya uniformemente por la empaquetadura. Verificar la circulación y el nivel del aceite de los cojinetes.

CONGELACION

Cuando la bomba está expuesta a temperaturas de congelación y no está funcionando deben tomarse las precauciones necesarias para que el líquido no se congele dentro de su cuerpo. Sacar los tapones roscados del fondo del cuerpo de la bomba y dejar que se vacíe el líquido.

Capítulo C

COJINETES

Los cojinetes son de adaptación a presión leve en el árbol, es decir, de un diámetro interior entre 0,0025 y 0,005 mm (0,0001 y 0,0002") menor que el del árbol, y de adaptación a mano en la caja (diámetros iguales). El cojinete debe sacarse con extractor o mandril cuando su tamaño lo permita. Nunca hacer presión o golpear contra el aro de rodamiento exterior, las bolas o la jaula de un cojinete de bolas.

Los cojinetes de empuje de la mayoría de las bombas constan de dos rodamientos de bolas gemelos de contacto angular, montados frente a frente. Soportan la carga axial en uno y otro sentido, además de la carga radial, y se sujetan en la caja de cojinete mediante una tapa. Al reponer un cojinete, cuidar que las dos superficies cónyuges se instalen frente a frente, según se ilustra en la Fig. 1c. La holgura entre el aro de rodamiento del lado de afuera y la tapa del cojinete debe ser de entre 0,13 y 0,25 mm (0,005 y 0,010"). Esta holgura puede corregirse, cuando sea necesario, cambiando el espesor de la junta entre la tapa y la caja del cojinete.

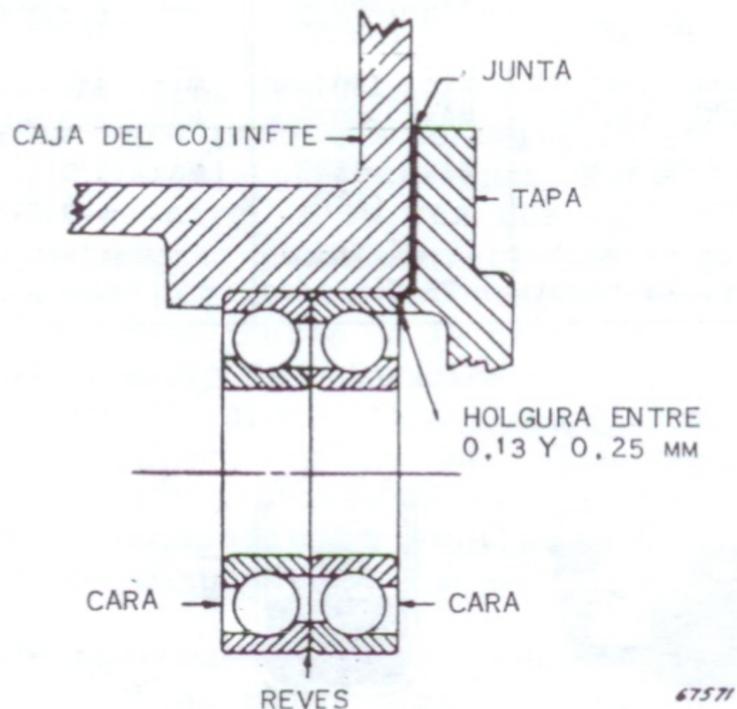


Fig. 1c—Instalación de cojinetes gemelos.

LUBRICACION CON GRASA

Los cojinetes lubricados con grasa se rellenan con la cantidad correcta de grasa antes que la bomba salga de fábrica. Si la bomba ha estado guardada por algún tiempo, quitar la tapa del cojinete para verificar que la grasa está limpia y en buen estado. Si se juzga conveniente poner grasa fresca, hacerlo según se indica más adelante. Se suministran culatas refrigeradas cuando las condiciones lo justifican.

Funcionamiento	Temperatura ambiente	Intervalos de engrase
Jornada de 8 horas Semana de 7 días Semana de 7 días	Baja Alta	6 meses 3 meses
Jornada de 24 horas Semana de 7 días Semana de 7 días	Baja Alta	6 semanas 3 semanas

La causa más frecuente del recalentamiento de cojinetes es el exceso de grasa. Al instalar un cojinete nuevo, llenar de grasa los espacios de entre las bolas. La caja no debe llenarse a más de la tercera parte o la mitad de su capacidad. Si un cojinete se recalienta, sacar el tapón roscado del fondo de su caja y dejar que se derrame el exceso de grasa. Como una guía de reengrase puede usarse el programa indicado en la tabla de arriba.

Para engrasar cojinetes recomendamos el procedimiento siguiente: Quitar el tapón de llenado del lado de arriba de la caja y el tapón de vaciado del fondo de la misma. Estando funcionando la bomba, inyectar grasa con una pistola de mano hasta que la grasa nueva empiece a salir por el agujero del fondo. Tener la bomba funcionando, después de agregar la grasa, durante el tiempo suficiente para permitir que las piezas rotatorias saquen el exceso de grasa que hubiese; reponer luego los tapones. Sugerimos que la grasa responda a las siguientes especificaciones, según se determinan por los métodos patrón de la A. S. T. M.:

- La grasa debe ser a base de jabón sódico, que contenga no menos del 82% de aceite mineral filtrado de alta calidad de una viscosidad no inferior a 150 segundos Saybolt a 37,8° C (100°F).
- La grasa no debe separarse estando en reposo o cuando se calienta a temperaturas inferiores a su punto de fusión.
- No debe formar goma o volverse pegajosa.
- No debe endurecerse o descomponerse.
- No debe causar efectos corrosivos en ningún tipo de cojinete de bolas.
- No debe contener resina, sales minerales, o abrasivos tales como arena, cal libre, etc.
- Su punto de fusión debe ser no menos de 149°C (300°F) y su penetración a 25°C (77°F) debe ser entre 275 y 330.

Limpieza de la grasa vieja: La grasa, aunque

sea de buena calidad, está sujeta a deterioro y contaminación después de transcurrido cierto tiempo. Por lo tanto, al hacer un repaso general de la bomba, limpiar el cojinete y la caja según se explica a continuación.

- a. Cuando sea factible, desmontar el cojinete del árbol. Lavar la caja con petróleo de arder o tetracloruro de carbono limpio y templado (a entre 45°C y 50°C), aplicándolo con una brocha. Antes de poner la grasa, enjuagar la caja con aceite mineral ligero para evitar su herrumbramiento.
- b. La limpieza del cojinete es algo más difícil. Sumergirlo en petróleo de arder templado y hacerlo girar lentamente aplicándole un chorro de aire comprimido hasta sacar de las bolas y los aros de rodamiento toda la grasa seca. Sumergir el cojinete en aceite y, si no ofrece resistencia cuando se hace girar a mano, instalarlo en la caja.

LUBRICACION CON ACEITE

Lavar la caja del cojinete cuidadosamente con petróleo de arder o tetracloruro de carbono. Llenar el cárter del cojinete al nivel correcto, según se explica más adelante. Si la bomba lleva engrasador de nivel constante, verificar que el aceite se conserva al nivel debido. La altura del nivel puede alterarse cambiando la posición de la cruceta en que descansa el depósito de vidrio. Las cajas llevan camisas de agua de refrigeración cuando las circunstancias las justifican. El nivel del aceite debe conservarse en la altura indicada. Cuando la caja lleva tubo indicador de nivel (Fig. 3c), poner aceite por el agujero de arriba de la caja hasta que el nivel alcance el anillo de latón del tubo indicador de nivel. Algunas bombas tienen engrasadores de nivel constante como el que se ilustra en la Fig. 3c. Estos engrasadores conservarán el nivel correcto mientras haya aceite en el depósito de vidrio. En los engrasadores Trico y semejantes podrá alterarse el nivel del aceite cambiando la posición de los brazos reguladores del nivel.

Examinar el aceite de los cojinetes periódicamente. Recordar que el aceite requiere reabastecimiento frecuente en temperaturas normales y reabastecimiento muy frecuente en temperaturas altas. El aceite está siempre expuesto a desmejoramiento gradual con el uso, y a la contaminación con la suciedad y la humedad. Con el

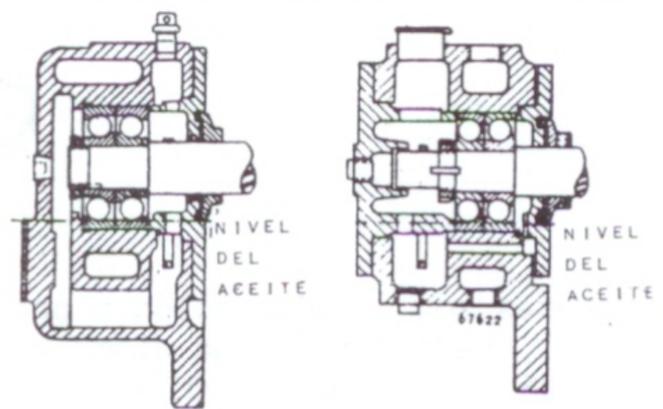


Fig. 2c—Cojinetes lubricados con aceite—tipo de ménsula.

tiempo, la acumulación de cieno podrá llegar a ser peligrosa y causará el desgaste prematuro del cojinete. Es por esta razón que conviene vaciar el aceite viejo y lavar los cojinetes a intervalos regulares. Es buena costumbre cambiar el aceite después de cada 600 horas de funcionamiento. El lubricante ideal de cojinetes es un aceite mineral neutro, sin productos aditivos, bien refinado, preferiblemente del tipo de turbinas. No debe contener ácido libre, cloro, azufre y no más de indicios de álcali libre. Sugerimos que el aceite que se use responda a las características físicas siguientes, fundadas en las pruebas mediante métodos patrón de la A. S. T. M.

Característica del aceite	Base Naftalénica	Base Parafínica
Punto de inflamación	Mín.: 166°C (330°F)	Mín.: 182°C (360°F)
Viscos. Saybolt 37,8°C (100°F)	Mín.: 150 Seg. Máx.: 200 Seg.	Mín.: 140 Seg. Máx.: 185 Seg.
Punto de goteo	Máx.: -15°C (5°F)	Máx.: 1,7°C (35°F)
Prueba de emulsific. al vapor	Máximo: 75 Segundos	Máximo: 75 Segundos

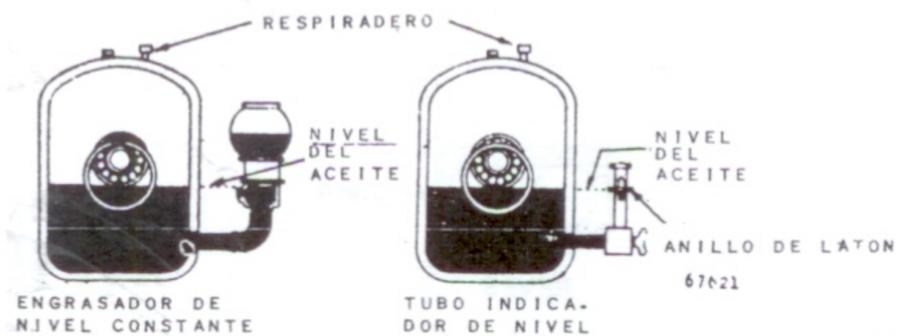


Fig. 3c—Dispositivos de nivel del aceite.

CAJAS PRENSAESTOPAS

La bomba se expide sin empaquetadura en sus cajas prensaestopas. Sin embargo, generalmente se incluye un juego de empaquetaduras en una caja sujeta al embalaje de la bomba. Conservar la envoltura de la empaquetadura para referencia cuando se hagan pedidos de repuestos.

La disposición de la caja prensaestopas varía según el líquido con que se trabaja y la temperatura y presión del mismo.

Cuando haya presión directa sobre el lado de aspiración, la caja prensaestopas podrá empaquetarse sin interrupción y ajustarse de modo

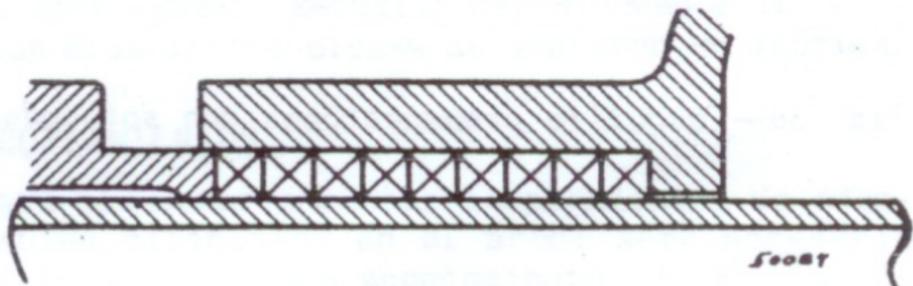


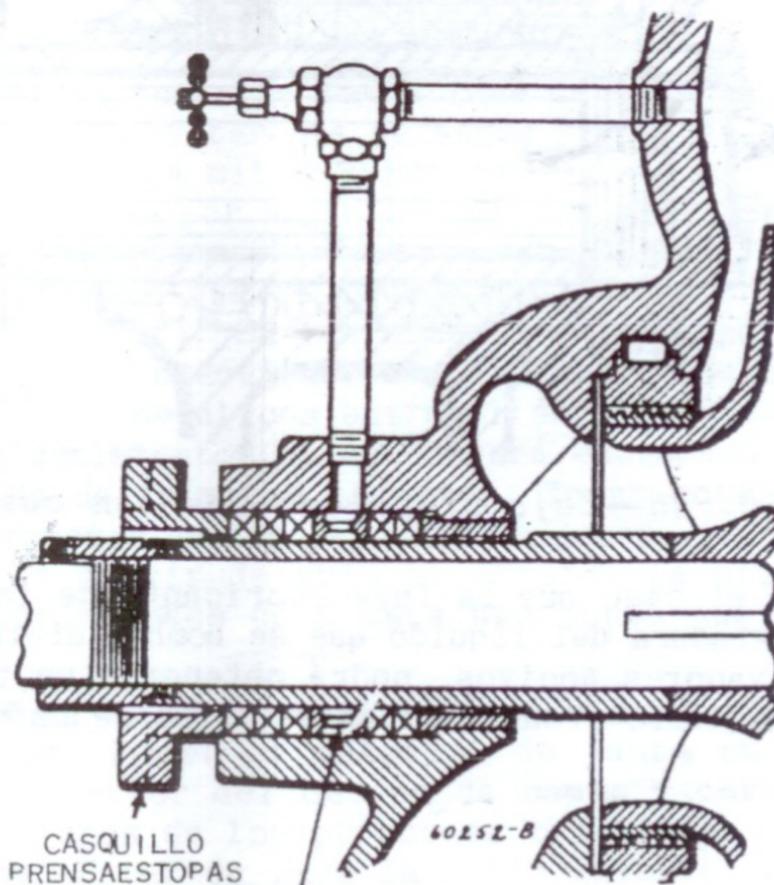
Fig. 1d—Caja prensaestopas con empaquetadura continua, sin aro obturador.

que permita una fuga moderada para la lubricación de la empaquetadura. Ver la Fig. 1d.

Cuando la bomba funciona con altura de aspiración es importante que se evite la entrada de aire por la caja prensaestopas. Para evitar la entrada de aire, a la vez que se lubrica la empaquetadura, puede inyectarse líquido de obturación por un aro obturador situado generalmente en el centro de la caja prensaestopas. Cuando el medio de obturación es el líquido que se bombea, tal disposición lleva el nombre "obturación interna" (Fig. 2d). Cuando el medio de obturación proviene de alguna fuente exterior, la disposición se llama "obturación externa" (Fig. 3d).

Cuando el líquido que se bombea es arenoso o corrosivo, las cajas prensaestopas deben recibir obturación externa con un líquido fresco y limpio a una presión de aproximadamente $0,7 \text{ Kg/cm}^2$ (10 lbs/pulg^2) más alta que la presión de aspiración. El líquido obturador debe aplicarse a una presión constante para evitar la contracción y dilatación de la empaquetadura.

Si la presión de aspiración es elevada, puede reducirse incorporando un casquillo de purga (Fig. 4d) al frente de cualquier disposición de caja prensaestopas anteriormente descrita. La conexión derivada de purga debe canalizarse a un punto de baja presión del sistema.



JAULA DEL LIQUIDO OBTURADOR EN COINCIDENCIA CON EL CONDUCTO DEL CUERPO AL COMPRIMIR LA EMPAQUETADURA

Fig. 2d—Caja prensaestopas con obturación interna.

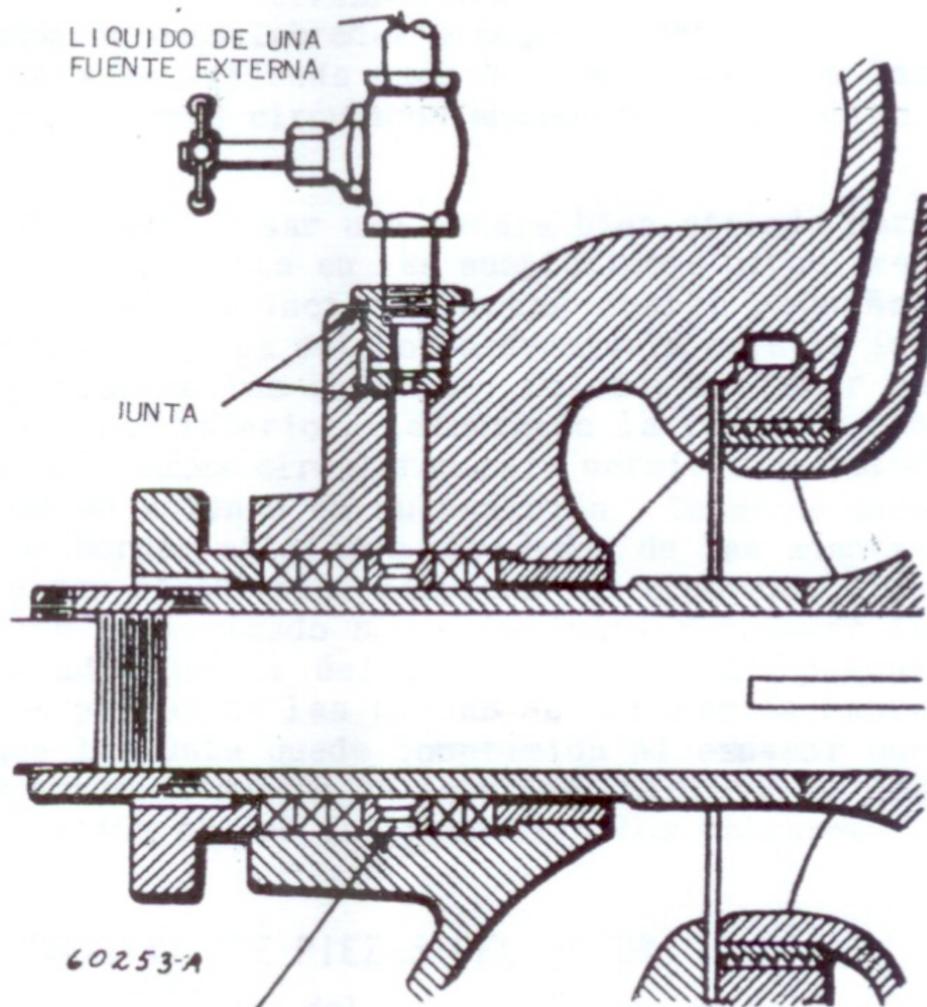


Fig. 3d—Caja prensaestopas con obturación externa.

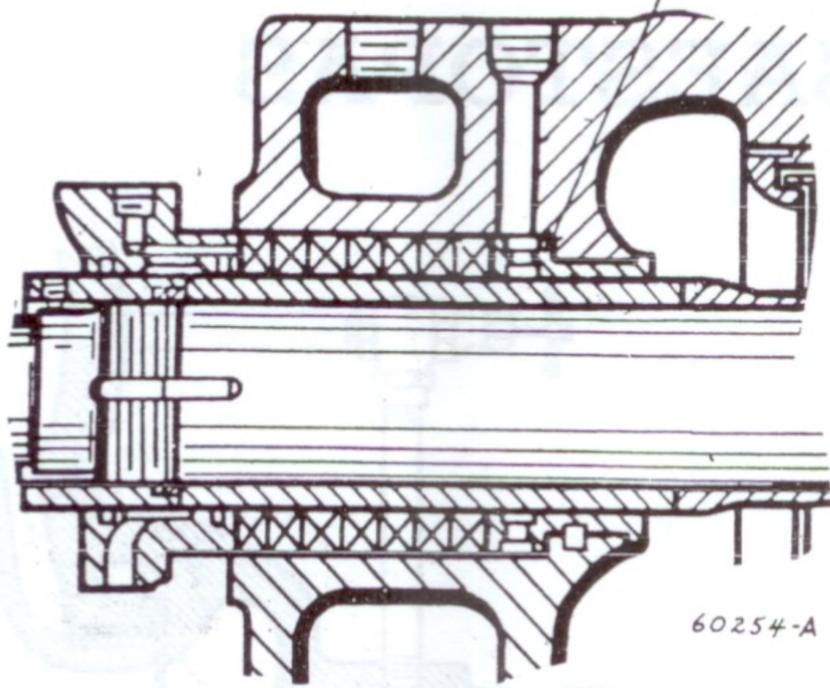


Fig. 4d—Caja prensaestopas con casquillo de purga.

En el caso que la fuga lubricante de la empaquetadura del líquido que se bombea diera lugar a vapores nocivos, podrá obtenerse un tipo de casquillo prensaestopas del tipo de sofocación

(Fig. 5d). El agua de sofocación puede derivarse de una tubería de agua de refrigeración con una manguera o tubo de cobre flexible provisto de una llave para regular el caudal. Cerrar siempre el agua de sofocación cuando se verifica la fuga de lubricación de la empaquetadura.

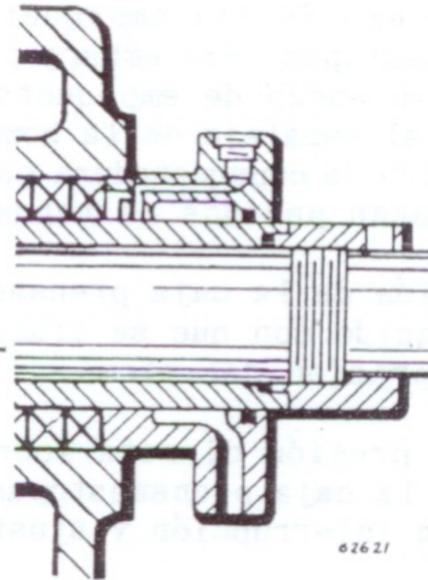


Fig. 5d—Casquillo prensaestopas con sofocador.

Capítulo E

CONSERVACION

GENERALIDADES SOBRE EL PROYECTO

Estas bombas son del tipo horizontal, monoce-lulares o bicelulares, ideadas para trabajo general. Sus cuerpos son en dos secciones se-paradas en la horizontal, con las boquillas de aspiración y de descarga en la sección de abajo para facilitar la accesibilidad de las piezas rotatorias.

DESMONTAJE Y MONTAJE

Los procedimientos de desmontaje y montaje serán evidentes una vez estudiados los dibujos en corte transversal y la información contenida en este manual. Estudiar detenidamente la posi-ción en la que las piezas se montaron en fábrica.

ACOPLAMIENTOS

Para desmontar o montar acoplamientos de adap-tación cilíndrica en el árbol será necesario aplicar calor. Los acoplamientos de adaptación cónica en el árbol podrán aflojarse con un golpe bien asestado después de quitadas sus tuercas.

La mitad de bomba del acoplamiento elástico Cameron se adapta con casquillos de caucho y no debe permitirse que le alcance la grasa o el aceite. Quitar los casquillos de caucho antes de calentar un acoplamiento elástico Cameron.

Los acoplamientos elásticos de algunas marcas exigen lubricación con grasa o con aceite. Los del tipo de engranaje están provistos de agu-jeros de llenado de aceite. Tenerlos llenos de aceite 600W. Reponer los tapones roscados des-pues de reabastecer de aceite.

PERNOS DE LAS BRIDAS DE SEPARACION

Las juntas de papel o de amianto de las bridas de separación muestran la tendencia a secarse si la bomba se tiene almacenada o no ha traba-jado por algún tiempo. Por consiguiente, para evitar las fugas, verificar los pernos de las bridas y apretarlos uniformemente, si fuese necesario, antes de poner la bomba en marcha. Las juntas pueden recibir compresión adicional durante el funcionamiento debido a las dife-rencias de dilatación; debido a ello debe veri-ficarse el apriete de los pernos de las bridas de separación después del primer paro y durante los reconocimientos periódicos. Esta verifica-ción debe hacerse después que la bomba se haya enfriado a la temperatura de la sala, en el caso en que trabaje con líquidos calientes.

JUNTA DE LAS BRIDAS DE SEPARACION

Mantener la junta de las bridas de separación húmeda, para evitar que se seque y cuartee, en el caso que la mitad superior del cuerpo de bomba se quite por algún tiempo. Cuando sea ne-cesario reemplazar la junta, usar material del mismo espesor que el primitivo; es decir de 0,79 mm (1/32"). En las mitades del cuerpo de bomba se han practicado los medios de incluir suplementos metálicos entre ellas; el espesor de los suplementos se encontrará estampado en la brida de la mitad inferior. Tomar nota de dicho espesor cuando se quite la junta, ya que habrá de servir de guía al apretar la mitad superior después de puesta una junta nueva.

Para poner una junta nueva es necesario quitar el rotor. Poner el material de junta en la mitad superior del cuerpo de bomba y cortar los agujeros de los pernos de brida y de las espigas. Untar de laca la mitad inferior (no usar aceite, barniz o grasa). Colocar la junta en posición, reponer la mitad superior del cuerpo y apretar los pernos de brida. Dejar pasar por lo menos tres horas para que la junta se asiente. Quitar la mitad superior y recordar los agujeros correspondientes a los conductos y adaptaciones labradas a máquina, dejando que la junta se extienda unos 0,8 mm (1/32") en las adaptaciones circulares acanaladas y del cuerpo.

IMPORTANTE: Usar una navaja bien afilada para cortar la junta en las adaptaciones circulares y en los conductos. Cortar cuatro pequeñas entradas cerca del borde de afuera para la in-serción de los calibres. Colocar el rotor en la mitad inferior, levantando la junta en las adaptaciones circulares para permitir al rotor que se asiente en su posición. Untar de laca los bordes aflojados alrededor de las adapta-ciones circulares, salpicar uniformemente gra-fito pulverizado sobre la junta y reponer la mitad superior del cuerpo de bomba. Apretar los pernos de las bridas de separación hasta que la junta quede comprimida al espesor que aparece estampado en la brida, midiendo en los espacios que se cortaron para los calibres.

DESMONTAJE DE PIEZAS DEL ROTOR

Antes de quitar del árbol los impulsores, medir y anotar la distancia desde el cubo de afuera del impulsor hasta el resalto del árbol al que se adapta el cojinete. Esta medida es importante para poder devolver los impulsores a su debida posición al reponerlos en el árbol.

IMPULSORES

Para poder quitar o poner los impulsores en el árbol es necesario calentarlos.

TUERCAS DEL MANGUITO DEL ARBOL

Las tuercas del manguito del árbol sirven dos fines: comprimen la empaquetadura del manguito del árbol para evitar las fugas por el manguito y mantienen apretadas las piezas del manguito y del rotor. El lado de afuera del manguito del árbol va generalmente avellanado para recibir dos aros de empaquetadura de tejido fuerte, de 4,76 mm (3/16"). Antes de poner en marcha

por primera vez la bomba y después de haber repuesto el rotor, apretar un poco las tuercas del manguito. Después de haber funcionado la bomba durante algún tiempo, apretar las tuercas hasta que las superficies metálicas hagan contacto.

COLOCACION DEL ROTOR EN EL CUERPO DE LA BOMBA

Al poner el rotor en la mitad inferior del cuerpo de la bomba, verificar que todas las piezas quedan correctamente asentadas antes de reponer la mitad superior.

Capítulo F

REPUESTOS Y ENTORPECIMIENTOS

REPUESTOS

Recomendamos que se tengan a mano piezas de repuesto para evitar paros causantes de costosas demoras. La naturaleza del trabajo al que se dedica la bomba dictará el número de piezas que se deben tener de repuesto. El mínimo debe ser:

- 1 juego de cojinetes
- 1 juego de manguitos de árbol
- 1 juego de aros de desgaste

Cuando se tienen varias bombas del mismo tipo es aconsejable tener un rotor de repuesto.

Al pedir piezas de repuesto, incluir la información siguiente:

1. Número de serie de la bomba, según aparece en su placa de identificación.
2. Tamaño y tipo de la bomba, según aparecen en su placa de identificación.
3. Número de la pieza, según aparece en el catálogo.
4. Nombre de la pieza, según aparece en el catálogo.
5. Siempre que sea posible incluir los símbolos estampados en la pieza que se reemplaza.

ENTORPECIMIENTOS

A. No se bombea el líquido—

1. La bomba no está cebada.
2. Régimen de funcionamiento muy lento. Verificar la tensión en el motor eléctrico.
3. Entrada de aire en el lado de aspiración.
4. La altura de descarga es demasiado elevada.
5. La altura de aspiración es excesiva.
6. El impulsor está tupido.
7. La bomba gira en sentido inverso.

B. No se bombea suficiente líquido—

1. Entra aire por la aspiración o por la caja prensaestopas.
2. El régimen de funcionamiento es muy lento.
3. La altura de aspiración es excesiva.

4. El impulsor está parcialmente tupido.
5. No hay carga de aspiración suficiente para el líquido caliente.
6. La carga total es muy alta.
7. Defecto de la bomba:
 - a. Holgura excesiva de los aros.
 - b. Impulsor estropeado.
8. La boca de aspiración no está lo suficientemente sumergida.

C. No se levanta presión suficiente—

1. El régimen de funcionamiento es muy lento.
2. Hay aire o gas en el líquido. Hay fugas por el lado de aspiración.
3. Defecto de la bomba:
 - a. Holgura excesiva de los aros.
 - b. El diámetro del impulsor es muy pequeño.

D. La bomba trabaja por un tiempo y pierde luego capacidad de aspiración—

1. Hay fugas en la tubería de aspiración.
2. Obturador del tipo de líquido tupido.
3. La altura de aspiración es excesiva.
4. Hay aire o gas en el líquido.
5. Entrada de aire por la aspiración o por la caja prensaestopas.

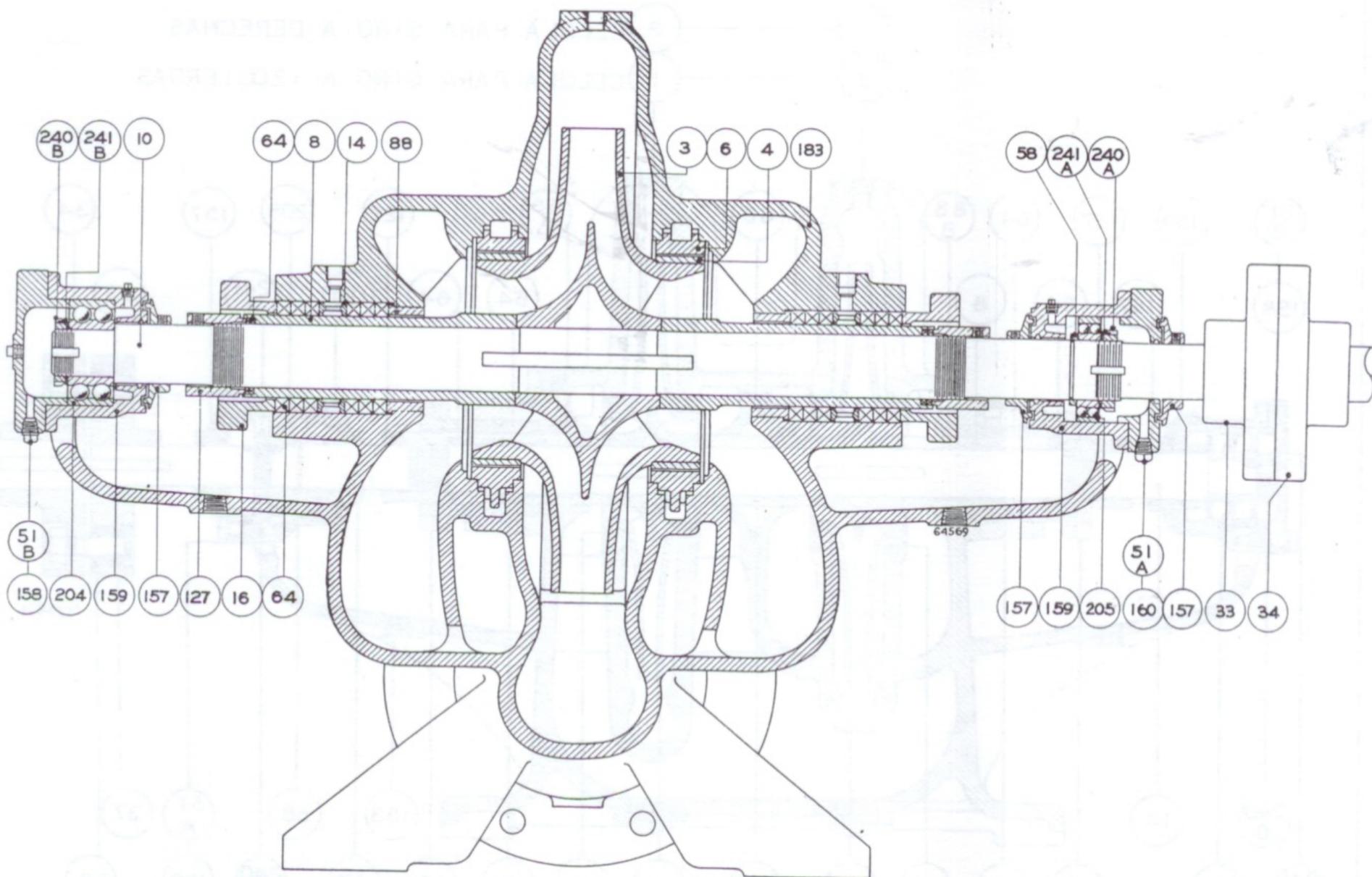
E. El motor se recalienta— *NOTA: Verificar la temperatura con un termómetro.*

1. La bomba está absorbiendo demasiado fuerza:
 - a. Régimen de funcionamiento muy rápido.
 - b. La carga es más baja que la nominal de la bomba, lo que hace que bombee demasiado líquido.
 - c. El líquido es más pesado y más viscoso que el nominal.
 - d. Defecto de la bomba:
 - 1) Holgura excesiva de los aros.
 - 2) Las cajas prensaestopas están muy apretadas.
 - 3) El rotor se agarrota.
2. Defectos eléctricos:
 - a. La tensión y la frecuencia son más bajas que las nominales.
 - b. Defecto del motor.
3. Instalación mal hecha.
 - a. Poca ventilación.

5, 6 y 8 ALV - 6, 8 y 10 AFV - 8 LFV
 6 y 8 ALVS - 10 AFVS - 12 AFVM

(LUBRICACION CON GRASA)

CORTE EN ALZADO Y LISTA DE PIEZAS



Especificar el número y nombre de la pieza, y el tamaño, tipo y número de serie de la bomba.

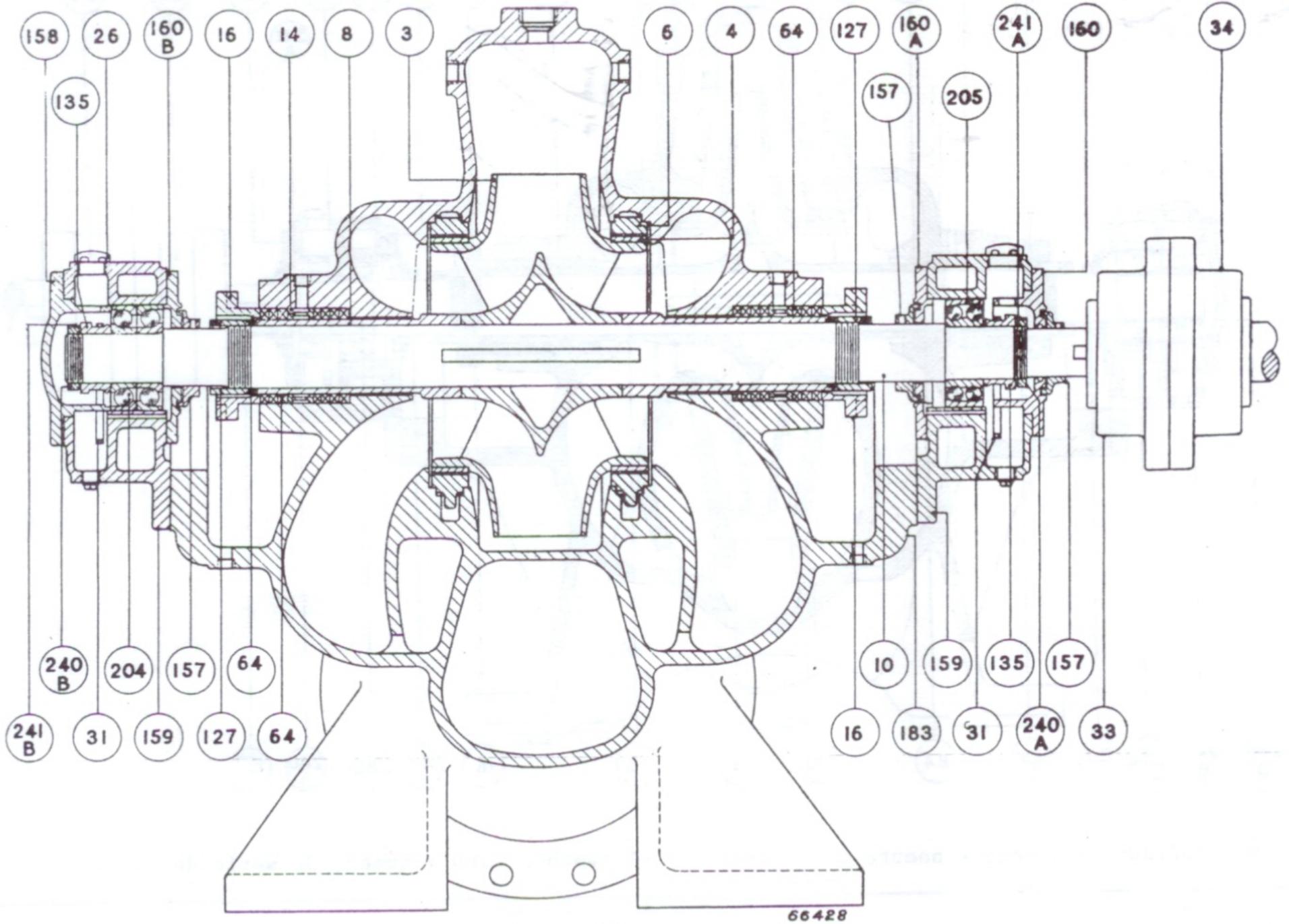
Número de pieza	Nombre de la pieza	Número de pieza	Nombre de la pieza
3	Impulsor	88	Manguito de la caja prensaestopas
4	Aro del impulsor	127	Tuerca del manguito del árbol
6	Aro del cuerpo	157	Efusor (especificar la posición)
8	Manguito del árbol	158	Tapa del cojinete
10	Arbol	159	Caja del cojinete
14	Jaula obturadora de agua	160	Tapa del cojinete
16	Casquillo prensaestopas - dos mitades	170	Junta de las bridas de separación
33	Acoplamiento - mitad de la bomba	183	Cuerpo - completo
34	Acoplamiento - mitad del elemento motor	*184	Rotor completo. Incluye las piezas Núm. 3, 4, 6, 8, 10, 14, 33, 37, 38, 58, 64A, 88, 127, 157, 158, 159, 160, 204, 205, 240A, 240B, 241A, 241B
*37	Casquillo del acoplamiento - de caucho	204	Cojinete de bolas, axial
*38	Casquillo del acoplamiento - de latón	205	Cojinete de bolas, radial
*51A	Culata de refrigeración - lado hacia adentro	240A	Contratuerca - lado hacia adentro
*51B	Culata de refrigeración - lado de afuera	240B	Contratuerca - lado hacia afuera
58	Manguito separador	241A	Arandela de seguridad - lado hacia adentro
64	Empaquetadura - caja prensaestopas	241B	Arandela de seguridad - lado hacia afuera
64A	Empaquetadura - manguito del árbol		

*No se ilustra.

8 a 24 ALV - 12 a 18 AFV - 10 a 18 HLV - 20 LFV
 8 ALVS - 10 y 12 AFVS - 12 AFVM - 24 y 30 CFV

(LUBRICACION CON ACEITE)

CORTE EN ALZADO Y LISTA DE PIEZAS



Especificar el número y nombre de la pieza, y el tamaño, tipo y número de serie de la bomba.

Número de pieza	Nombre de la pieza	Número de pieza	Nombre de la pieza
3	Impulsor	127	Tuerca del manguito del árbol
4	Aro del impulsor	135	Manguito del muñón
6	Aro del cuerpo	157	Efusor
8	Manguito del árbol	158	Tapa del cojinete
*8A	Manguito del árbol, lado hacia adentro (si se usa)	159	Caja del cojinete
10	Arbol	160	Tapa del cojinete
*11	Chaveta del impulsor	160A	Tapa del cojinete
*12	Chaveta del acoplamiento	160B	Tapa del cojinete
14	Jaula obturadora de agua	*170	Junta de las bridas de separación
16	Casquillo prensaestopas - dos mitades	183	Cuerpo - completo
26	Tapa del engrasador	*184	Rotor completo. Incluye las piezas Núm. 3, 4, 6, 8, 8A (si se usa), 10, 11, 12, 14, 26, 31, 33, 37, 38, 64 (Manguito del árbol), 127, 135, 157, 158, 159, 160, 160A, 160B, 204, 205, 240A, 240B, 241A, 241B
31	Aro de engrase	204	Cojinete de bolas, axial
33	Acoplamiento - mitad de la bomba	205	Cojinete de bolas, radial
34	Acoplamiento - mitad del elemento motor	240A	Contratuerca - cojinete radial
*35	Perno, tuerca y arandela del acoplamiento	240B	Contratuerca - cojinete axial
*37	Casquillo del acoplamiento - de caucho	241A	Arandela de seguridad - cojinete radial
*38	Casquillo del acoplamiento - de latón	241B	Arandela de seguridad - cojinete axial
64	Empaquetadura - caja prensaestopas		
64	Empaquetadura - manguito del árbol		

*No se ilustra