

26
205



Universidad Nacional Autónoma de México

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PLANTEL ARAGON

"CRITERIOS GENERALES PARA LA SELECCION,
APLICACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO
DE BOMBAS CENTRIFUGAS"

T E S I S
Que para obtener el Título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
p r e s e n t a
CARLOS ORTIZ REGUER

San Juan de Aragón Estado de México 1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	PAGINA
OBJETIVO	1
CAPITULO I INTRODUCCION	2
CAPITULO II DEFINICIONES FUNDAMENTALES	4
II.1 HIDRAULICA	4
II.2 PRESION	
II.2.1 PRESION ATMOSFERICA	
II.2.2 PRESION GAGE O MANOMETRICA	
II.2.3 PRESION ABSOLUTA	
II.2.4 PRESION PROMEDIO	
II.3 CARGA O CABEZA	5
II.3.1 CARGA DINAMICA TOTAL	
II.3.2 ALTURA NOMINAL MAXIMA	
II.4 PRESION DE VAPOR	6
II.5 CAUDAL	6
II.5.1 FLUJO MINIMO	
II.6 VELOCIDAD ESPECIFICA	6
II.7 CARGA NETA POSITIVA DE SUCCION	7
II.7.1 NPSH DISPONIBLE	
II.7.2 NPSH REQUERIDO	
II.8 CAVITACION	8
II.9 DENSIDAD ESPECIFICA O ABSOLUTA	8
II.10 DENSIDAD RELATIVA	9
II.11 PESO ESPECIFICO	9
II.12 VOLUMEN ESPECIFICO	9
II.13 COMPRESIBILIDAD	9
II.14 VISCOSIDAD	10
II.14.1 VISCOSIDAD DINAMICA	
II.14.2 VISCOSIDAD CINEMATICA	
II.15 TENSION SUPERFICIAL	11
II.16 SISTEMA	11
II.17 SISTEMAS DE UNIDADES	12
II.17.1 SISTEMA MKS	
II.17.2 SISTEMA INGLES	
II.17.3 SISTEMA TECNICO	
II.17.4 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES	
FIG. II.1 FUERZAS DE COHESION MOLECULAR EN UN LIQUIDO	14
CAPITULO III BOMBAS, CLASIFICACION Y OPERACION	15
III.1 INTRODUCCION A LAS BOMBAS CENTRIFUGAS	15
III.2 FUNCIONES DE UN EQUIPO DE BOMBEO	18
III.3 FUNDAMENTOS DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS	18
III.4 CLASIFICACIONES GENERALES DE LAS BOMBAS	19
III.4.1 DISEÑOS NORMALES TÍPICOS DE LAS BOMBAS	
III.4.1.1 IMPULSORES	
FIG. III.1 TIPOS DE IMPULSORES	20
III.4.1.2 CARCAZAS	

FIG. III.2 CORTES DE CARCAZAS	22
III.4.1.3 ANILLOS DE DESGASTE	
FIG. III.3 ANILLOS DE DESGASTE	24
III.4.1.4 CHUMACERAS	
FIG. III.4 CHUMACERAS	24
III.4.1.5 CUBREFLECHAS	
FIG. III.5 CUBREFLECHAS	24
III.4.1.6 ANILLOS DE SELLADO	
FIG. III.6 ANILLOS DE SELLADO O EMPAQUETADURA	26
III.4.1.7 PRENSAESTOPAS	
FIG. III.7 PRENSAESTOPAS	26
III.4.1.8 SELLOS MECANICOS DE FLECHA	
FIG. III.8 SELLOS MECANICOS	26
III.4.2 CLASIFICACIONES MODERNAS DE LAS BOMBAS	
FIG. III.9 CLASIFICACION GENERAL DE LAS BOMBAS	28
FIG. III.10 TIPO DE FLUJO	29
III.5 CAMPO HIDRAULICO DE COBERTURA	31
FIG. III.11 CAMPO HIDRAULICO DE COBERTURA APROXIMADA	32
III.6 BOMBAS CENTRIFUGAS	33
III.6.1 BOMBAS INATASCABLES	
III.6.2 BOMBAS DE PROCESO	
III.6.3 BOMBAS DE INYECCION A CALDERAS	
III.6.4 BOMBAS DE USO GENERAL	
III.6.5 BOMBAS DE POZO PROFUNDO	
III.6.6 BOMBAS REGENERATIVAS	
III.7 PRINCIPALES NORMAS DE FABRICACION	35
III.7.1 ANSI	
III.7.1.1 CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION Y DISEÑO	
III.7.2 API 610	
III.7.3 NFPA 20	
III.8 PRINCIPALES FABRICANTES NACIONALES	42
III.9 PRINCIPALES FABRICANTES EN EL MUNDO CON VENTAS EN MEXICO	43
III.10 APLICACIONES DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS	44
III.10.1 APLICACION EN LA INDUSTRIA PETROLERA	
III.10.2 APLICACION EN CENTRALES ELECTRICAS	
III.10.3 APLICACION EN LA GENERACION DE ENERGIA NUCLEAR	
III.10.4 APLICACION EN LA INDUSTRIA PAPELERA	
III.10.5 APLICACION EN LA INDUSTRIA QUIMICA	
III.10.6 APLICACION EN LA INDUSTRIA TEXTIL	
III.10.7 APLICACION EN LA PRODUCCION DEL HULE	
III.10.8 APLICACION EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA	
III.10.9 APLICACION PARA EL SUMINISTRO DE AGUA	
CAPITULO IV EQUIPOS PERIFERICOS	61
IV.1 ACCIONADORES	61
IV.1.1 MOTORES ELECTRICOS	
IV.1.1.1 MOTORES ELECTRICOS DE INDUCCION TIPO JAULA DE ARDILLA	
IV.1.1.1.1 ENCLAUSTRAMIENTO	
IV.1.1.1.1.1 ABIERTO	
IV.1.1.1.1.2 CERRADO	
IV.1.1.2 MONTAJE	
IV.1.1.3 CONSTRUCCION	
IV.1.1.4 VOLTAJES RECOMENDADOS	
IV.1.1.5 PROTECCIONES INTEGRADAS A MOTOR ELECTRICO	
IV.1.1.5.1 DETECTORES DE TEMPERATURA EN	

	DEVANADOS Y RODAMIENTOS	
	IV.1.1.5.2 DETECTORES DE VIBRACION	
	IV.1.1.5.3 DETECTORES DE MOVIMIENTO AXIAL	
	IV.1.1.5.4 RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE Y TEMPERATURA	
	IV.1.1.5.5 CALEFACTORES DE ESPACIO	
	IV.1.1.5.6 SUPRESORES DE IMPULSO	
	IV.1.1.5.7 DETECTOR DE CAIDA DE FASE DE ESTADO SOLIDO	
	IV.1.1.6 AISLAMIENTO Y ELEVACION DE TEMPERATURA	
	IV.1.1.7 FACTOR DE SERVICIO	
	IV.1.1.8 ACCESORIOS	
IV.2	ACOPLAMIENTOS	69
	IV.2.1 ACOPLAMIENTOS RIGIDOS	
	IV.2.1.1 ACOPLAMIENTOS DE ABRAZADERA	
	IV.2.1.2. ACOPLAMIENTOS DE COMPRESION	
	IV.2.2 ACOPLAMIENTOS FLEXIBLES	
	IV.2.2.1 ACOPLAMIENTOS DE PASADOR Y AMORTIGUADOR	
	IV.2.2.2 ACOPLAMIENTOS FLEXIBLES TODOS METALICOS	
	IV.2.2.3 ACOPLAMIENTO DE FLECHA FLOTANTE	
	IV.2.2.4 ACOPLAMIENTO DE EMBRAGUE	
	IV.2.2.5 ACOPLAMIENTO PARA IMPULSOR DUAL	
	IV.2.3 CRITERIOS DE SELECCION DE ACOPLAMIENTOS	
	IV.2.3.1 CONSIDERACION PRIMARIAS DE SELECCION	
	IV.2.3.2 VENTAJAS QUE PRESENTAN LOS COPLES ELASTOMERICOS	
	IV.2.4 NORMAS APLICABLES	
CAPITULO V	SELECCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS	75
V.1	CRITERIOS DE SELECCION	75
	TABLA V.1 COMPENDIO DE DATOS ESENCIALES QUE SE REQUIEREN EN LA SELECCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS	76
	V.1.1 DETERMINACION DE LA CARGA DINAMICA TOTAL	
	V.1.2 DETERMINACION DEL NPSH DISPONIBLE	
	V.1.3 DEMANDA DE POTENCIA	
	V.1.4 CAMBIO DE CARACTERISTICAS	
	V.1.4.1 LEYES DE AFINIDAD	
	V.1.5 COPLES FLEXIBLES	
	V.1.6 VELOCIDAD ESPECIFICA	
	V.1.7 CORRECCIONES POR VISCOSIDAD	
V.2	CURVAS DE COMPORTAMIENTO	86
	V.2.1 CURVAS DEL SISTEMA	
V.3	HOJAS DE DATOS	89
	FIG. V.1 HOJA DE DATOS DE USO GENERAL	90
	FIG. V.2 HOJA DE DATOS DE BOMBAS TIPO TURBINA	91
	FIG. V.3 HOJA DE DATOS PROPUESTA PARA BOMBAS EN INGLES	92
	FIG. V.4 HOJA DE DATOS PROPUESTA PARA ACCIONADORES EN INGLES	93
	FIG. V.5 HOJA DE DATOS PROPUESTA PARA BOMBAS	94
	FIG. V.6 HOJA DE DATOS PROPUESTA PARA ACCIONADORES	95
V.4	EJEMPLOS DE SELECCION	96
	V.4.1 EJEMPLO DE SELECCION DE UNA BOMBA DE USO GENERAL	96
	V.4.2 EJEMPLO DE SELECCION DE UNA BOMBA MULTIPASO	100

CAPITULO VI	INSTALACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO	105
VI.1	INSTALACION, ALINEACION Y ACOPLAMIENTO	105
VI.1.1	PREPARACION PARA EMBARQUE	
VI.1.2	CUIDADO DEL EQUIPO EN EL CAMPO ANTES DE USARLO	
VI.1.3	REGLAS GENERALES PARA LOCALIZACION DE BOMBAS	
VI.1.4	CIMENTACIONES	
VI.1.5	ALINEAMIENTO	
VI.1.6	PRINCIPALES PUNTOS A VERIFICAR ANTES DE PROCEDER AL ARRANQUE	
VI.2	ARRANQUE	111
VI.2.1	ARRANQUE CONTRA VALVULA CERRADA	
FIG. VI.1	ARRANQUE CONTRA VALVULA CERRADA	113
VI.2.2	ARRANQUE CONTRA VALVULA DE RETENCION CERRADA Y CON VALVULA DE DESCARGA ABIERTA	
FIG. VI.2	ARRANQUE CONTRA VALVULA DE RETENCION CERRADA Y CON VALVULA DE DESCARGA ABIERTA	113
VI.2.3	ARRANQUE CON LA VALVULA DE DESCARGA ABIERTA, PERO SIN CARGA GEODESICA	
FIG. VI.3	ARRANQUE CON LA VALVULA DE DESCARGA ABIERTA, PERO SIN CARGA GEODESICA	113
VI.2.4	ARRANQUE CON VALVULA DE DESCARGA ABIERTA Y TUBERIA DE DESCARGA SIN LIQUIDO	
FIG. VI.4	ARRANQUE CON VALVULA DE DESCARGA ABIERTA Y TUBERIA DE DESCARGA SIN LIQUIDO	113
VI.3	MANTENIMIENTO DE LA BOMBA	114
VI.3.1	OBSERVACION DIARIA	
VI.3.2	INSPECCION SEMESTRAL	
VI.3.3	INSPECCION ANUAL	
VI.3.4	RECONSTRUCCION COMPLETA	
VI.3.4.1	EVIDENCIA DE REQUERIMIENTO DE RECONSTRUCCION	
VI.3.4.2	EVIDENCIA CIRCUNSTANCIAL	
VI.3.4.3	EXCEPCIONES	
VI.4	OPERACION DE LA BOMBA	118
VI.4.1	OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS CON FLUJOS REDUCIDOS	
VI.4.2	CEBADO	
VI.4.3	CALENTAMIENTO	
VI.4.4	REGLAS GENERALES PARA LA OPERACION DE BOMBAS	
VI.5	OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL MOTOR ELECTRICO	121
VI.5.1	RECEPCION DEL MOTOR	
VI.5.2	INSTALACION DEL MOTOR	
VI.5.2.1	VIBRACION EXCESIVA	
VI.5.2.2	RUIDO	
VI.5.2.3	CORRIENTES ALTAS	
VI.5.2.4	OPERACION A ALTAS TEMPERATURAS	
VI.5.2.5	FALLA DE BALEROS	
VI.5.3	NECESIDADES DE INSTALACION	
VI.5.4	MANTENIMIENTO	
VI.6	OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL COPLA	129
VI.6.1	MANTENIMIENTO DE ACOPLAMIENTOS	
VI.6.2	CAUSAS DE DESALINEAMIENTO DE LAS FLECHAS	
VI.7	OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE SELLADO	131
VI.7.1	IDENTIFICACION	
VI.7.2	NOMENCLATURA	
FIG. VI.5	DISEÑOS BASICOS DE SELLOS Y NOMENCLATURA	134

APENDICE I	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	137
APENDICE II	CALCULO DE PERDIDAS POR FRICCION EN TUBERIAS Y ACCESORIOS	139
	FIG. APII.1 DETERMINACION DE LA VELOCIDAD EN TUBERIAS	140
	FIG. APII.2 DETERMINACION DE LAS PERDIDAS DE CARGA EN TUBERIAS	141
	FIG. APII.3 DETERMINACION DE LAS PERDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS	142
APENDICE III	FORMULARIO GENERAL	143
APENDICE IV	TABLAS DE CONVERSION	145
GLOSARIO		150
BIBLIOGRAFIA		153

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es proporcionar información de tipo general sobre los criterios para poder llevar a cabo una correcta selección de un equipo de bombeo, conocer las aplicaciones más importantes de las bombas, establecer recomendaciones para lograr una adecuada operación y dar a conocer los aspectos más importantes sobre el mantenimiento de los equipos de bombeo.

Todo lo anterior en base a la investigación de los casos más recurrentes que se presentan en la generalidad de las aplicaciones de los equipos de bombeo.

CAPITULO I.

INTRODUCCION.

Las bombas constituyen uno de los dispositivos mas recurridos en la vida del hombre. Se podría afirmar que prácticamente todos los sistemas productivos, ya sea de bienes o de servicios, cuentan con un equipo de bombeo por lo menos, tal vez, para el suministro del agua de servicio, todos los automóviles cuentan con una bomba para inducir la gasolina y otra para los aspersores de los limpiavidrios, las bombas proveen de agua a los usuarios de las redes municipales y nada menos, todos los seres humanos portamos la bomba mas sofisticada que se conoce; el corazón. Esta recurrencia por las bombas es la razón por la que se han desarrollado numerosos tipos de bombas e incontables aplicaciones.

Una bomba, en esencia, es un transformador de energía. Recibe energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc., y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad.

De acuerdo a lo anterior, tendremos bombas que se utilizan para cambiar la posición de un cierto fluido. Un ejemplo lo constituye una bomba de pozo profundo, que adiciona energía para que el agua del subsuelo salga a la superficie.

Un ejemplo de bombas que adicionan energía de presión, es una bomba en un oleoducto(1.1), en donde las cotas de altura, así como los diámetros de tuberías y consecuentemente las velocidades, fueran iguales, en tanto que la presión es incrementada para poder vencer las pérdidas de fricción que se tuvieran en la conducción.

Existen bombas trabajando con presiones y alturas iguales, que únicamente adicionan energía de velocidad, un sencillo ejemplo de adición de velocidad es una manguera de riego en la que, al restringirle el area de salida, se incrementará la energía de velocidad del líquido(1.2). Sin embargo, a este respecto existen muchas confusiones en los términos velocidad, presión y posición. En la mayoría de las aplicaciones, la bomba se comporta como una mezcla de las tres, las cuales se comportan de acuerdo con las ecuaciones fundamentales de la Mecánica de Fluidos.

A lo largo del presente trabajo, se tocarán los principales puntos que se requieren para llevar a cabo una correcta selección de un equipo de bombeo, conociendo su aplicación así como los conceptos fundamentales a tomar en cuenta para su operación y su mantenimiento.

En la selección de un equipo de bombeo, intervienen muchos factores que van desde lo técnico y lo funcional, hasta lo económico. En muchos casos, las características técnicas de diferentes equipos se traslapan; lo que implica la necesidad de analizar mas a fondo las alternativas que se ofrecen

para una aplicación dada, surge entonces la necesidad de contar con criterios basados en la teoría y en la experiencia que coadyuven a la elección de la mejor alternativa, partiendo siempre de la premisa de que "para ser eficiente primero se debe ser eficaz".

En el campo del bombeo, existen muchas opiniones y criterios que si bien no son terminantemente contradictorios, si son considerablemente diferentes. En el presente trabajo, se exponen criterios generales a seguir de manera enunciativa y no limitativa en los que convergen las experiencias y la investigación al respecto del tema.

CAPITULO II.

DEFINICIONES FUNDAMENTALES.

II.1.- Hidráulica:

Es el estudio de los fluidos en reposo o en movimiento. Los fluidos incluyen líquidos y gases.

Los líquidos a una presión y temperatura determinados, ocupan un volumen determinado. Introduciendo el líquido en un recipiente, adopta la forma del mismo, pero llenando sólo el volumen que le corresponde. Si sobre el líquido reina una presión uniforme, por ejemplo la atmosférica, el líquido adopta una superficie libre plana, como la superficie de un lago o la de un cubo de agua.

Los gases a una presión y temperatura determinados, tienen también un volumen determinado, pero puestos en libertad se expansionan hasta ocupar el volumen completo del recipiente que lo contiene, y no presentan superficie libre.

Por lo tanto, los sólidos ofrecen gran resistencia al cambio de forma y volumen; los líquidos ofrecen gran resistencia al cambio de volumen, pero no de forma; y los gases ofrecen poca resistencia al cambio de forma y de volumen. Así, el comportamiento de líquidos y gases es análogo en conductos cerrados (tuberías), pero no en conductos abiertos (canales), porque sólo los líquidos son capaces de crear una superficie libre. En general, los líquidos y los sólidos son poco compresibles, en tanto que los gases son muy compresibles; pero ningún cuerpo (sólido, líquido o gaseoso), es estrictamente incompresible.

II.2.- Presión:

La presión es una fuerza ejercida por unidad de área, si se aplica presión sobre la superficie de un líquido. La presión es transmitida enteramente en todas direcciones. La presión se expresa en libras por pulgada cuadrada o en kilogramos por centímetro cuadrado.

II.2.1.- Presión Atmosférica:

Es la fuerza ejercida sobre una área por el peso de la atmósfera. La presión atmosférica al nivel del mar es de 14.7 PSI.

II.2.2.- Presión Gage o Manométrica:

Es la diferencia entre una presión dada y la presión atmosférica, normalmente se mide con un Gage o Manómetro.

II.2.3.- Presión absoluta:

Es la suma de la presión manométrica (Gage), más la presión atmosférica. La presión absoluta de la atmósfera al nivel del mar es de 14.7 PSIA, y 0.0 PSIG (Manométricas o GAGE).

II.2.4.- Presión promedio:

La presión promedio sobre una superficie de área A, es la fuerza dividida entre el área, donde se estipula que la fuerza debe ser perpendicular (o normal) al área.

II.3.- Carga o Cabeza (H):

Es un término que se usa para expresar presión, comúnmente usado para representar la altura vertical en pies de una columna estática de líquido (en Inglés HEAD).

También es considerada como la cantidad de trabajo necesario para mover un líquido de su posición original a la posición requerida de suministro.

La presión puede ser convertida a cabeza o carga mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Carga o cabeza} &= \text{presión} * 10 / \text{gravedad específica} \\ H [\text{mcl}] &= P [\text{Kg/cm}^2] * 10 / g \text{ esp. } [\text{Kg/dm}^3] \end{aligned}$$

II.3.1.- Carga Dinámica Total (CDT):

Se define como la carga total que registrará una bomba en la descarga. Matemáticamente se calcula de igual forma que la carga:

$$\text{CDT} = P \text{ diferencial} * 10 / g \text{ esp.}$$

$$(P \text{ diferencial} = P \text{ de descarga} - P \text{ de succión})$$

La carga dinámica total viene expresada en las curvas de comportamiento de las bombas. Para bombas de más de un paso; la carga indicada en la curva, (a menos que se indique lo contrario) corresponde a la carga que puede desarrollar cada impulsor (o paso) debiéndose multiplicar por el número total de pasos de la bomba. En algunos casos, deben hacerse correcciones de eficiencia que vienen indicadas en las curvas.

II.3.2.- Altura Nominal Máxima:

Se define como la máxima altura que puede desarrollar una bomba tomando en cuenta el número de pasos (si esto aplica), la gravedad específica y el recorte de impulsor (si aplica), para la condición de Q cero.

II.4.- Presión de Vapor (Pv):

Es la presión que ejercen los vapores de un líquido a una determinada temperatura, es decir, un líquido tiende a evaporarse, sin embargo, la presión atmosférica contrarresta la presión de dichos vapores. Cada líquido tiene su propia y única presión de vapor.

Cuando la presión de vapor de un líquido se iguala con la presión atmosférica, se dice que el líquido está en su punto de ebullición.

II.5.- Caudal (Q):

El caudal se define como la cantidad de líquido que fluye por algún dispositivo, esto es, cuando un fluido que llena un tubo, fluye a lo largo del tubo con una velocidad media v , el flujo, caudal o gasto Q es,

$$Q = Av$$

Donde A , es el área de la sección transversal al tubo.

II.5.1.- Flujo mínimo:

Gasto mínimo al que puede operar una bomba sin dañarse por calentamiento y eventual evaporación del líquido manejado. Este dato lo proporciona el fabricante, el cuál lo obtiene verificando que la presión del líquido a una temperatura dada sea menor a su presión de vapor, si esto se cumple, la bomba podrá operar a este caudal, esta condición se vuelve crítica cuando se eleva la temperatura de operación y/o cuando se opera por un período de tiempo prolongado.

En algunas curvas de comportamiento, el flujo mínimo viene indicado, en caso de no estarlo, puede considerarse flujo mínimo el último punto marcado con eficiencia.

II.6.- Velocidad específica (n_s):

La velocidad específica constituye un elemento de selección para el tipo de impulsor con que deberá contar un equipo de bombeo (como se verá en el capítulo V). Expresa el número específico de revoluciones a las que giraría una bomba imaginaria, geoméricamente similar a la que se considera, calculando esta velocidad para impulsar 75 l/s a 1 m de altura, matemáticamente, se expresa:

$$n_s = 3.65 n \sqrt{Q} / H^{3/4}$$

Donde: Q [m³/s de agua] y H [m].

II.7.- Carga Neta Positiva de Succión (NPSH) [NET POSITIVE SUCTION HEAD]:

Es la cantidad de energía del líquido en la línea de centros de la bomba y puede ser definido con dos acepciones; NPSH Disponible y NPSH Requerido.

II.7.1.- NPSH Disponible:

Característica propia del sistema, definida como la energía del líquido en la conexión de succión de la bomba, es decir, la presión que ofrece el sistema al equipo de bombeo y puede ser mayor o menor que dicha energía del líquido debido a su presión de vapor. Este concepto constituye un punto medular en la selección de un equipo de bombeo, ya que un error en el cálculo de este parámetro, podría provocar el efecto de cavitación, teniendo como consecuencia desde el deterioro prematuro del equipo, hasta daños irreparables.

La fórmula para el cálculo de el NPSH disponible es:

a) Para succiones abajo de la línea de centros de la bomba.

$$\text{NPSH} = \text{HA} - \text{HVPA} - \text{HST} - \text{HFS}$$

b) Para succiones arriba de la línea de centros de la bomba.

$$\text{NPSH} = \text{HA} - \text{HVPA} + \text{HST} - \text{HFS}$$

donde:

HA = La presión absoluta (en pies de líquido) sobre la superficie del nivel del líquido, que será la presión barométrica si la succión es de un tanque abierto o un pozo;

la presión absoluta existente en un tanque cerrado como un condensador o un deaerador.

HVPA = La carga en pies correspondiente a la presión de vapor del líquido, a la temperatura de bombeo.

HST = La altura estática en pies del nivel del líquido a bombear, arriba o abajo de la línea de centros u ojo del impulsor de la bomba.

HFS = Todas las pérdidas de presión en la línea de succión (en pies), incluyendo pérdidas a la entrada y pérdidas por fricción a lo largo de la tubería, válvulas y accesorios.

II.7.2.- NPSH Requerido:

Es una característica de la bomba. Es la energía requerida para vencer las pérdidas por fricción de la succión de la bomba a los álabes del impulsor; se determina por pruebas o cálculos y varía con el diseño de la bomba, tamaño y condiciones de operación.

El NPSH Disponible, deberá ser siempre mayor o igual, cuando menos, al NPSH Requerido por la bomba.

La experiencia en la aplicación de este concepto, dicta que deben dejarse de 3 a 5 ft. de diferencia como rango de seguridad, dependiendo de la estabilidad en la contrapresión propia del sistema, el Instituto de Hidráulica recomienda un margen de 3 ft.

Como se mencionó anteriormente, el NPSH requerido de un equipo de bombeo, se obtiene de la experimentación, para comprobar que los parámetros ofrecidos por el fabricante son correctos, se corre la prueba denominada "prueba de NPSH R", que consiste en restringir el paso de la válvula de succión, censando los valores obtenidos, hasta llegar al punto de cavitación. Esta prueba debe llevarse a cabo con mucho cuidado y por corto tiempo, ya que puede tener consecuencias destructivas.

II.8.- Cavitación:

Si la energía en la línea de succión está por debajo de la presión de vapor del líquido, habrá formación de vapor en la corriente o flujo. Las burbujas de vapor se colapsarán al pasar de una zona de baja presión a una zona de máxima presión dada en el diámetro máximo del impulsor.

Los efectos de la cavitación son tremendamente destructivos, detectándose ruidos anormales, vibración, etc. Si se opera bajo condiciones de cavitación durante mucho tiempo, se pueden producir los siguientes problemas:

- a). Desprendimiento de material en los alabes del impulsor.
- b). Fallas en los baleros.
- c). Ruptura de la flecha y otras fallas por fatiga en la bomba.
- d). Serios daños a los sellos mecánicos como: Desgaste rápido de los pernos y ranuras de los mismos, resortes rotos, desgaste de la flecha en donde están los sellos secundarios, rotura de las caras de carbón, etc.

II.9.- Densidad Específica o absoluta:

La densidad específica o absoluta es igual a la masa entre unidad de volumen:

$$\sigma = m / v$$

donde: m = masa en Kilogramos en el S.I.

v = volumen en metros cúbicos en el S.I.

La densidad absoluta está en función de la presión y de la temperatura. La variación de la densidad absoluta de los líquidos es muy pequeña, salvo a muy altas presiones y suele considerarse despreciable.

II.10.- Densidad Relativa:

La densidad relativa es la relación entre la masa, a la masa de un mismo volumen de agua destilada, a la presión atmosférica y 4° C, la densidad relativa es función de la temperatura y de la presión. Además, la densidad relativa es una propiedad adimensional.

II.11.- Peso específico:

Peso específico es el peso entre unidad del volumen:

$$\sigma = W / V$$

donde: W = Peso en Newtons en el S.I.

V = Volumen en metros cúbicos en el S.I.

El peso específico es función de la temperatura y de la presión, aunque en los líquidos no varía prácticamente con esta última.

II.12.- Volumen específico:

El volumen específico, se define como el recíproco de la densidad absoluta:

$$V = 1 / \sigma$$

es decir, el volumen que ocupa 1 Kg. de masa de la sustancia.

II.13.- Compresibilidad:

En los fluidos, lo mismo que en los sólidos, se verifica La Ley Fundamental de la Elasticidad. El esfuerzo unitario es proporcional a la deformación unitaria. En nuestro caso, el esfuerzo unitario considerado, es el de compresión, la deformación unitaria, es la deformación unitaria del volumen, es decir:

$$\Delta V / V = \Delta v / v$$

por lo tanto, la Ley anterior queda como:

$$\Delta p = - E * \Delta v / v$$

donde: A_p = Esfuerzo unitario de compresión en N/metro cuadrado en el S.I.

Δv = Incremento de volumen específico en metro cúbico/Kg en el S.I.

v = Volumen específico en metro cúbico/Kg en el S.I.

E = Módulo de elasticidad volumétrica en N/metro cuadrado en el S.I.

El signo (-), expresa que a un incremento de presión, corresponde un decremento de volumen.

II.14.- Viscosidad:

II.14.1.- Viscosidad Dinámica:

Un sólido puede soportar esfuerzos normales (llamados así porque la fuerza es normal al área que resiste a la deformación). Hay dos clases de esfuerzos : De compresión y de tracción.

Los sólidos y los fluidos pueden estar sometidos también a esfuerzos cortantes y tangenciales. En ellos la fuerza es paralela al área sobre la que actúa. Todos los cuerpos se deforman bajo la acción de las fuerzas tangenciales a que están sometidos. En los cuerpos elásticos, la deformación desaparece cuando deja de actuar la fuerza. En la deformación plástica subsiste la deformación, aunque desaparezca la fuerza deformadora.

En los fluidos, la deformación aumenta constantemente bajo la acción del esfuerzo cortante por pequeño que sea.

Entre las moléculas de un fluido, existen fuerzas moléculares que se denominan fuerzas de cohesión. Al desplazarse unas moléculas con relación a las otras, se produce a causa de ellas una fricción. Por otra parte, entre las moléculas de un fluido en contacto con un sólido y las moléculas del sólido, existen fuerzas moléculares que se denominan fuerzas de adherencia. El coeficiente de fricción interna del fluido, se denomina viscosidad y se designa con la letra griega μ . El estudio de la viscosidad y de sus unidades se hace mediante La Ley de Newton que cumplen los fluidos llamados Newtonianos (agua, aire, etc.).

II.14.2.- Viscosidad Cinemática:

En hidrodinámica, intervienen junto con las fuerzas debidas a la viscosidad, las fuerzas de inercia, que dependen de la densidad; por eso tiene un significado importante la viscosidad dinámica μ a la densidad σ , que se denomina viscosidad cinemática y se expresa como :

$$V = \mu / \sigma$$

La viscosidad dinámica de los fluidos, varía mucho con la temperatura, aumentando con la temperatura en los gases y disminuyendo

en los líquidos; pero unos y otros prácticamente son independientes de la presión. Por el contrario, la viscosidad cinemática de los gases, varía mucho con la presión y la temperatura, mientras que en los líquidos, sólo varía con la temperatura.

II.15.- Tensión Superficial:

La tensión superficial, es una fuerza que como su nombre lo indica, produce efectos de tensión en la superficie de los líquidos, ahí donde el fluido entra en contacto con otros fluidos no miscibles, particularmente con un gas o con un contorno sólido (vasija, tubo, etc.).

El origen de esta fuerza es la cohesión intermolecular y la fuerza de adhesión del fluido al sólido.

En la superficie libre de un líquido, que es tanto la superficie de contacto entre dos fluidos (líquido y aire), la tensión superficial, se manifiesta como si el líquido creara ahí una fina membrana. El origen de la tensión superficial puede explicarse de la siguiente manera: Una molécula situada en el interior del fluido, como la molécula 1 de la figura; II.1, es atraída por igual en todas direcciones por las moléculas circundantes y se encuentra en equilibrio. Las fuerzas de cohesión molecular no producen efecto resultante alguno, por el contrario; las moléculas 2 y 3 se encuentran cerca de (o sea a una distancia menor que el radio de la esfera de acción de la cohesión molecular) ó en la misma superficie libre, respectivamente, en cuyo caso el equilibrio se rompe porque las moléculas del líquido ejercen una atracción mucho mayor que las del gas (aire) de la superficie libre. En este caso hay una resultante (F), de las fuerzas de cohesión dirigida hacia el interior del líquido. Esta fuerza origina una tensión tangencial en la superficie libre, que la convierte en algo semejante a una membrana elástica.

Si sobre la superficie libre del líquido se traza una línea cualesquiera la tensión superficial es σ , la fuerza superficial normal a dicha línea por unidad de longitud.

La fuerza debida a la tensión superficial es igual a $L \cdot \sigma$. Esta fuerza suele ser muy pequeña, disminuyendo además al aumentar la temperatura.

La tensión superficial, explica los fenómenos de formación de menisco y el de elevación de líquido en tubos capilares.

II.16.- Sistema:

Se identifica como sistema a la red hidráulica completa a ser alimentada por la bomba que se pretende seleccionar.

El conocer en detalle el Sistema, es indispensable para poder proceder con precisión al dimensionamiento de la bomba que satisficará sus necesidades específicas.

Se sabe que el Sistema está compuesto por una serie de elementos como son: Tubería, conexiones, válvulas y accesorios, y que cada uno de estos de estos elementos, causan pérdidas de carga por fricción cuya

magnitud depende entre otras cosas del flujo que pase a través de ellos (a mayor flujo, mayores pérdidas) y del área de la sección del elemento por la cual pasa el flujo (a mayor área, menores pérdidas). Lo anterior constituye, una demanda de carga del sistema, debida a las pérdidas por fricción.

Otra fuente de demanda de carga del sistema, se genera en función de la diferencial de altura resultante entre los puntos de toma y entrega del líquido a manejar, a lo que se llama carga estática. Existen fuentes adicionales de demanda de carga en un sistema, como pueden ser una presión determinada de entrega requerida o carga de presión.

La demanda total de carga del sistema, será igual a la suma algebraica de las cargas demandadas por los diferentes conceptos, (pérdidas por fricción estática de presión) y siempre se relacionará con un gasto dado.

II.17.- Sistemas de Unidades:

Las leyes que rigen los fenómenos físicos, se expresan mediante ecuaciones entre magnitudes físicas, como la presión, viscosidad, etc.; que es preciso medir. La medida es un número expresado en un Sistema de Unidades. Si se escogen tres magnitudes básicas o fundamentales, y se asigna una unidad a cada una de estas tres magnitudes fundamentales, así como sus unidades; se denominan unidades derivadas y pueden expresarse en función de las tres unidades fundamentales. Sólo tres magnitudes y unidades fundamentales son necesarias en Mecánica de Fluidos, a éstas, hay que añadir otros tres cuyo exclusivo es de la Electricidad, Óptica, etc. Los tres sistemas de unidades más utilizados son:

II.17.1.- Sistema Giorgi ó Sistema M.K.S.- (Magnitudes Fundamentales): Masa (M), longitud (L), tiempo (t). (Unidades Fundamentales): Kilogramo (Kg), metro (m) y segundo (s).

II.17.2.- Sistema Inglés.- (Magnitudes Fundamentales): Masa (M), longitud (L), tiempo (T). (Unidades Fundamentales): Libra (Lb), pie (ft) y segundo (s).

II.17.3.- Sistema técnico (Magnitudes Fundamentales): Fuerza (F), longitud (L), tiempo (t), kilopondio (kp), metro (m) y segundo (s).

Los dos primeros sistemas, se diferencian esencialmente; el Sistema Giorgi es un sistema másico, porque la masa en él, es magnitud fundamental (mientras que la fuerza es magnitud derivada); el Sistema Técnico es un sistema gravitatorio, porque la fuerza en él, es magnitud fundamental (mientras que la masa es magnitud derivada).

II.17.4.- Sistema Internacional de Unidades (S.I.):

El sistema Internacional de Unidades, denominado actualmente en el mundo entero con las siglas S.I., no es más que una extensión y perfeccionamiento del Sistema Giorgi ó M.K.S.

El Sistema Internacional, consta de siete magnitudes y siete unidades fundamentales, que se dan a continuación:

MAGNITUDES Y UNIDADES FUNDAMENTALES EN EL S.I.

Magnitud Fundamental.

Unidad	Nombre:	Símbolo:
Masa	Kilogramo	Kg.
Longitud	Metro	m.
Tiempo	Segundo	s.
Intensidad de Corriente Eléctrica	Ampério	A.
Temperatura	Kelvin	°K.
Intensidad Luminosa	Candela	cd.
Cantidad de Sustancia	Mol	mol.

Las unidades derivadas, se expresan convenientemente como producto de las unidades fundamentales elevadas a ciertos exponentes. A veces, las unidades derivadas se expresan con nombres especiales. La técnica para obtener estos productos de unidades fundamentales que integran una unidad derivada cualquiera, consiste en despejar la unidad derivada en una unidad física cualquiera.

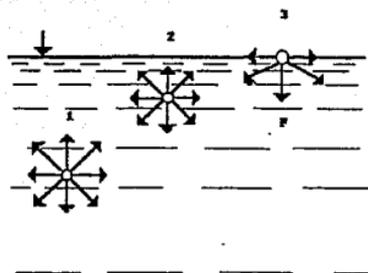


FIGURA II.1

FUERZAS DE COHESION MOLECULAR EN
UN LIQUIDO.

CAPITULO III.

BOMBAS, CLASIFICACION Y APLICACION.

III.1.- Introducción a las bombas centrífugas:

El bombeo puede definirse como la adición de energía a un fluido para moverse de un punto a otro. No es, como frecuentemente se piensa, la adición de presión. Porque la energía es capacidad para realizar un trabajo, adicionándola a un fluido obliga al fluido a hacer trabajo, normalmente fluyendo por una tubería o elevándose a un nivel más alto.

Una bomba centrífuga, es una máquina que consiste en un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o cárter, también llamada cubierta o carcasa. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza centrífuga. Así, despojada de todos los refinamientos, una bomba centrífuga tiene dos partes principales:

- 1.- Un elemento giratorio, incluyendo un impulsor y una flecha.
- 2.- Un elemento estacionario, compuesto por una carcasa, estopero y chumaceras.

Uno de los factores más importantes que contribuyen al creciente uso de bombas centrífugas, ha sido el desarrollo Universal de la fuerza eléctrica. Este siglo, ha visto la sustitución por la fuerza eléctrica de pequeñas plantas de vapor como la fuente principal de fuerza industrial.

Una tendencia interesante en las bombas centrífugas de tamaño pequeño y mediano, es la extensa unificación provocada por el hecho de que cerca del 60% de todas las bombas en uso son de diseño centrífugo, y más del 75% de éstas están en una clasificación de altura de elevación y capacidad que puede cubrirse con bombas normalizadas de succión en el extremo.

Un ejemplo típico de esta tendencia de unificación, es una línea de bombas que consiste en varios extremos de líquido, todos apropiados para montarse en:

- 1.- Un motor para conexión de acoplamiento rígido.
- 2.- Un soporte con chumaceras para impulsor acoplado o de banda.
- 3.- Una turbina con acoplamiento rígido.

Luego se incorporan muchas alternativas de norma en el plan básico, tanto en los materiales seleccionados, como en construcción mecánica, eliminando así las "especiales".

El uso de una línea integral así, dá por resultado un tiempo de entrega mejor, una selección más amplia de unidades normales y ahorro en efectivo por el uso máximo de partes intercambiables.

Si bien el motor eléctrico es la máquina que ocupa el primer lugar de utilización en el mundo y ha contribuido al bienestar y progreso de la

humanidad, las bombas con sus variados diseños, ocupan también un lugar prominente para el desarrollo y progreso de las Naciones.

La evolución de los sistemas de bombeo permitió a la civilización, alejarse de los ríos y manantiales, y desarrolló vastas zonas de terreno que anteriormente eran inhabitables.

Los antiguos Chinos y Egipcios, contribuyeron grandemente al desarrollo y mejoramiento de artefactos y sistemas rústicos para lograr transportar y elevar cantidades considerables de agua, y así; satisfacer sus necesidades de suministro de agua para beber y principalmente para regar sus siembras.

En 1840 se inventó la primera bomba de acción directa movida por vapor. Desde entonces el constante progreso ha convertido a las bombas en una absoluta necesidad de la vida moderna.

Uno de los factores más importantes que contribuyen al creciente uso de equipos de bombeo, ha sido el desarrollo universal de la fuerza eléctrica. Aún cuando las bombas reciprocantes(III. 7) eran ideales para impulso con vapor, el desarrollo del motor eléctrico permitió el desarrollo de la bomba centrífuga, más barata y ligera, acoplada directamente. Aunque las primeras bombas centrífugas se considerarían ineficientes, según las normas actuales de funcionamiento, su costo inicial más bajo compensaba con creces esta deficiencia. La bomba centrífuga también demostró inmediatamente otras ventajas importantes sobre la bomba recíproca. Por ejemplo; la bomba centrífuga dá un flujo sostenido a presiones uniformes sin variaciones de presión.

Provee la flexibilidad máxima posible, desarrollando una presión específica máxima de descarga en cualquier condición con caudal controlado ya sea por variación de velocidad o estrangulación.

Naturalmente, los fabricantes trabajando para ampliar el campo de aplicación de la bomba centrífuga; con la experiencia y la investigación, han mejorado mucho la variación de presiones de operación, la eficiencia y el diseño mecánico e hidráulico de su producto.

Simultáneamente, los fabricantes de motores eléctricos mejoraron sus diseños, permitiendo a los fabricantes de bombas usar velocidades más altas y desarrollar bombas adecuadas para mayores alturas de elevación. Así, durante el último medio siglo se ha extendido ampliamente la aplicación de las bombas centrífugas, tanto en presión como en capacidad. Se han fabricado bombas centrífugas en tamaños que varían desde unos cuantos litros por minuto, hasta bombas gigantes que manejan 2290 m³/min, contra una altura de elevación de 94.55 m. de columna hidráulica total (carga dinámica total), movidas por motores de 65 000 Hp.

Por lo que respecta a presiones, las bombas centrífugas pueden variar desde la de drenaje de sótano de una sola etapa, que desarrolla una altura de elevación de 3 a 4.5 m., hasta las unidades de varios pasos de alimentación a calderas para las plantas de fuerza de sobrepresión, que desarrollan presiones de descarga de más de 422.4 Kg/cm² (13,884 pies). Y se han fabricado bombas centrífugas que operan a velocidades hasta de 10 000 RPM

Actualmente, en casi la totalidad de los procesos industriales de conversión de energía, un fluido está siempre en juego, cediendo o tomando energía de un sistema mecánico. Conocer las máquinas capaces de realizar esta conversión, es saber cómo se puede disponer de las fuentes energéticas naturales y cómo se puede manejar la energía en sus diversas aplicaciones.

Para reconocer el papel que las bombas juegan en nuestra vida diaria, basta considerar un ejemplo muy utilizado en el medio de la industria del bombeo; el ejemplo del automóvil y la gasolina que su motor consume. Los equipos para perforación de pozos petrolíferos utilizan diferentes tipos de bombas. Si el yacimiento es antiguo, el petróleo ha de ser extraído a veces con agua a presión.

Esto requiere un pozo en el que el agua pueda ser bombeada por medio de una bomba de pozo profundo adecuada al diseño o construcción especial para tal fin. Seguidamente una bomba reciprocante, probablemente triplex, impulsa el agua hacia abajo por un pozo de presión, hasta un nivel inferior al de la carga de petróleo, haciendo así que éste, suba por flotación hasta un punto en el que la bomba de pistón envía el petróleo por un tercer pozo a un depósito situado en la superficie. Las bombas de recolección, bien de pistón o centrífugas, bombean el petróleo crudo a grandes depósitos de almacenamiento y a continuación bombas centrífugas mayores de alta presión lo bombean de nuevo a través de oleoductos hasta la refinería. En otros casos, otro tipo de bomba carga el crudo en buques petroleros, de los que posteriormente se descarga en la refinería, mediante otro tipo de bomba diferente de las anteriores. La transformación del petróleo crudo en gasolina en los modernos procesos de refinación, precisa una multitud de diferentes tipos y tamaños de bombas no sólo para su manipulación directa sino también, indirectamente, para el bombeo de agua para alimentación de calderas, productos químicos para el tratamiento de aguas, agua condensada, agua de refrigeración, servicios auxiliares, etc.

El producto final es bombeado a los depósitos de almacenamiento. Otras bombas lo cargan en camiones para su transporte. Bombas montadas en los camiones lo descargan en la estación de servicio local. Un tipo diferente de bomba impulsa la gasolina al depósito del automóvil. Por último, la bomba de combustible del auto, inyecta la gasolina en el motor.

El ejemplo anterior va muy ligado con la industria petroquímica, sin embargo, existen industrias no menos importantes como la eléctrica, siderúrgica, química, papelera, minera y nuclear entre otras; así como servicios de suministro de agua potable, irrigación y desalajamiento de aguas residuales y negras, servicios que forman parte de nuestra vida diaria y que requieren de un mejoramiento y crecimiento acelerado para satisfacer nuestras necesidades primarias de alimentación y salubridad.

Por lo anterior, es importante enfatizar que entre la gran variedad y cantidad de equipos utilizados en la industria y Servicios Nacionales, el papel que desempeñan los equipos de bombeo es imprescindible; y de todos esos equipos de bombeo, cerca del 60%, son bombas centrífugas.

Por otra parte, como se señaló en la introducción del presente trabajo, no debemos olvidar que una poderosa bomba irriga nuestro cuerpo, y nos permite vivir y pensar; pero sobre todo crear, y es la creación precisamente la que origina el progreso.

III.2.- Funciones de un equipo de bombeo:

Para poder definir la función de una bomba, se debe aclarar primero, qué es una máquina.

Máquina es un transformador de energía; es decir, una máquina "toma" energía de una clase y la "entrega" en otra forma de energía; por ejemplo, un motor eléctrico "toma" energía eléctrica y la "entrega" en energía mecánica.

Las máquinas se clasifican en grupos: Máquinas de fluidos, máquinas-herramientas, máquinas eléctricas, etc.

Las máquinas hidráulicas pertenecen al grupo llamado máquinas de fluidos, mismas que se definen como aquellas en las que el fluido proporciona la energía que "toma" la máquina o que el fluido recibe la energía que la máquina transformó; por ejemplo, una turbina generadora de energía eléctrica toma del agua proveniente de una presa su energía de presión y ésta, la transforma en energía eléctrica.

Las máquinas de fluidos, se clasifican en máquinas hidráulicas y máquinas térmicas.

Las máquinas hidráulicas son aquellas en las que el fluido que "intercambia" su energía no varía sensiblemente la densidad a través de la máquina. Siendo las máquinas térmicas aquellas en que el fluido en su paso a través de la máquina, varía sensiblemente de densidad y de volumen específico.

De acuerdo con lo anterior las bombas se definen como una máquina Hidráulica que "toma" energía mecánica y le proporciona al líquido energía hidráulica es decir "toma" la energía mecánica de un accionador e incrementa la velocidad del líquido por medio del impulsor y esta última se convierte en energía de carga mediante el difusor de la bomba.

De acuerdo a lo anterior, la función de un equipo de bombeo, es añadir energía de velocidad, de presión, y/o de posición a un fluido, para las muy diversas aplicaciones que esto tiene.

III.3.- Fundamentos de las bombas centrífugas:

Supongamos que tenemos una rueda que lanza tangencialmente hacia arriba partículas. Si dicha rueda gira a N revoluciones por minuto y despreciamos las pérdidas por fricción, una partícula llegará hasta una altura independientemente del peso de ésta.

Si duplicamos el diámetro o las revoluciones, la velocidad se duplicará, por lo que la altura que pueda alcanzar la partícula se cuadruplicará. En general, veremos que varía proporcionalmente al cuadrado de la relación de diámetros o de velocidades angulares. Esta consideración es particularmente importante ya que proporciona elementos para discernir entre posibles alternativas seleccionadas, (Tal como se verá en el capítulo V

del presente trabajo) ya que al aumentar el diámetro del impulsor, puede suceder que entremos a un tamaño mayor de bomba; lo que podría resultar excesivamente costoso.

III.4.- Clasificaciones generales de las bombas:

Los equipos de bombeo se clasifican comunmente bajo dos diferentes criterios:

1.- Aquel que toma en consideración las características del líquido bombeado y las condiciones de operación bajo las cuales trabajará la bomba.

2.- Aquel que considera el tipo específico de aplicación del equipo.

Aún cuando no todas las bombas centrífugas están clasificadas por un nombre genérico, se designa su aplicación final, un gran número de ellas incluyen este término relacionado con su servicio. Así, las bombas centrífugas pueden llamarse de alimentación de caldera, de propósito general, de sumidero, de pozo profundo, de refinería (petróleo caliente), de manejo de condensados, de vacío (calefacción de proceso), drenaje, desperdicios, circulación, cenizas, agua de retroceso, etc. En general, cada una tiene características específicas de diseño, así como los materiales que el constructor recomienda para el servicio particular.

Hay aún otra subdivisión basada en las características estructurales y generales; tales como unidades horizontales y verticales, diseños de acoplamiento directo, impulsores de succión simple y doble, carcazas divididas horizontalmente, carcazas de barril, etc. La evaluación correcta de todas estas variaciones es una de las tareas principales en la selección de una bomba para una aplicación dada.

III.4.1.- Diseños normales típicos de las bombas:

Los diseños normales para servicios específicos facilitan la selección de una bomba, porque muchos de los problemas usuales han sido ya resueltos por el fabricante. Sin embargo, esto no releva al diseñador del sistema de bombeo de la responsabilidad de comprobar un diseño dado en función de su aplicación. Tampoco elimina la necesidad de un análisis económico, cuando puede usarse más de una unidad para cubrir un determinado grupo de condiciones. Es importante, recalcar los siguientes elementos, como de alta prioridad en la selección de bombas centrífugas (Se analizará a detalle, cada uno de estos elementos, en los párrafos siguientes).

III.4.1.1.- Impulsores:

Además de clasificarse de acuerdo con la velocidad específica, un impulsor se identifica en cuanto a la forma en que entra el líquido, los detalles de los álabes, y el uso para el que se destina.

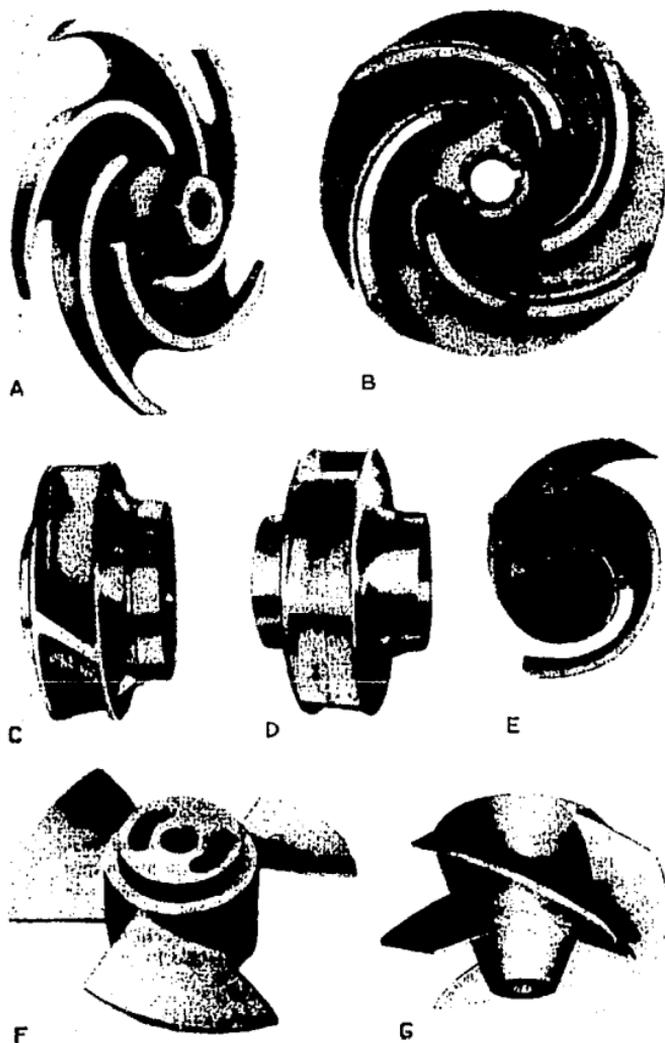


FIGURA III.1

Los impulsores abiertos (fig. III.1,A), tienen álabes unidos a un mamelón central por medio de tabiques relativamente pequeños, co este tipo de impulsor se obtienen altos caudales, pero bajas presiones, tienen la ventaja de que permiten, con relativa ventaja sobre los impulsores cerrados, el paso de ciertos sólidos en suspensión. Los impulsores semiabiertos (fig. III.1,B), tienen una tapa o pared en un solo lado. Los impulsores cerrados (fig. III.1,C y D) tienen tapas en ambos lados para encerrar el paso del líquido; esto proporciona la posibilidad de obtener alta presión, pero caudal relativamente bajo. Las unidades de succión simple (fig. III.1,C), tienen la entrada de líquido en un lado.

En el tipo de doble succión (fig. III.1,D), el líquido entra en ambos lados. En los últimos impulsores (fig. III.1,E, F y G) se muestran diseños para manejar pulpa de papel, un tipo de paletas y uno de flujo mixto.

III.4.1.2.- Carcazas:

Las carcazas de las bombas centrífugas pueden estar divididas horizontalmente (fig. III.2,A), verticalmente (fig. III.2,B), o diagonalmente (a un ángulo cualquiera diferente de 90°, fig. III.2,C).

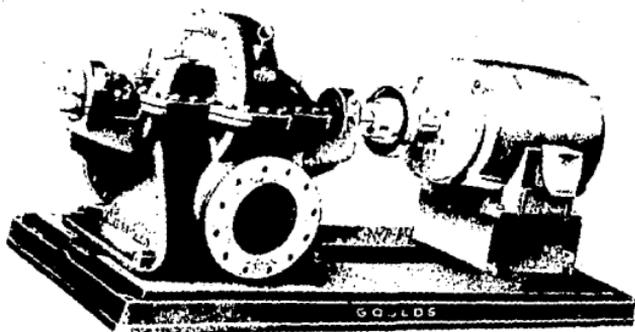
Las carcazas divididas horizontalmente, también se conocen como divididas axialmente. Tanto las bridas de succión como de descarga, se encuentran generalmente en la mitad inferior de la carcaza. Este tipo de arreglo, facilita mucho cualquier servicio al rotor que se requiera, este tipo de bomba es recomendado para el servicio de bomba contra incendio y la norma NFPA 20 marca como obligatorio el uso de bombas bipartidas axialmente (como la de la fig. III.2,A).

Las carcazas divididas verticalmente, se conocen también como divididas o bipartidas radialmente; se utilizan en diseños de acoplamiento directo o de montaje sobre marco.

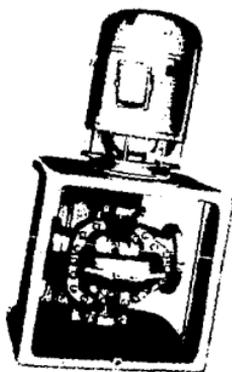
Las carcazas divididas diagonalmente, facilitan su desensamble para servicio, sin embargo el uso de este tipo de bombas no es muy generalizado.

Las carcazas de barril, se utilizan en bombas de difusor o en presión y de espiral. La carcaza inferior se ajusta en el barril exterior. La presión de descarga que actúa sobre la carcaza inferior suministra la fuerza de sello necesario, para mantener las mitades de la carcaza juntas, este tipo de bomba tiene aplicación cuando se requiere de muy altas presiones.

A.- BOMBA DIVIDIDA AXIALMENTE.



B.- BOMBA DIVIDIDA
RADIALMENTE.



C.- BOMBA DIVIDIDA
DIAGONALMENTE.

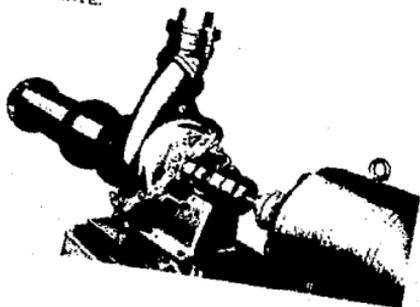


FIGURA III.2

III.4.1.3.- Anillos de desgaste:

Para evitar el desgaste costoso de la carcaza y del impulsor en operación, se instalan anillos de desgaste, conocidos también como anillos de sellado o de carcaza. Cuando estos anillos son móviles, que es el caso general, pueden reemplazarse a una fracción del costo de un nuevo impulsor o carcaza de la bomba que de otra manera serían necesarios.

En la práctica suele suceder que los anillos de desgaste no son reemplazados a tiempo y los impulsores sufren desgaste contra la carcaza, dañando a ambos. En la urgencia de hacer funcionar el equipo, los mecánicos rellenan con soldadura los desgastes y maquinan para obtener dimensiones similares a las que tenía el equipo originalmente. Este tipo de acciones tienen consecuencias desastrosas para el equipo de bombeo como son entre otras; pérdida de balanceo deformando a la larga el eje de la bomba, pérdida de las tolerancias entre carcaza, anillos e impulsor, y la consecuente merma de eficiencia en la bomba. Cabe hacer notar en este último punto que si el accionador se seleccionó sin un margen de seguridad en la potencia, y si no se consideraron posibles condiciones extremas en el sistema, el accionador podría resultar dañado, de ahí la importancia de hacer una correcta selección tanto de la bomba como del accionador. En la fig. III.3,A, el sello es una unión plana simple. Una unión similar se observa en la fig. III.3,B, la cual tiene un anillo plano montado en la carcaza de la bomba. En la fig. III.3,C, el anillo se ajusta en una ranura de la carcaza; el impulsor puede tener un anillo similar. En los diseños siguientes; (fig. III.3,D,E y F) los anillos están ajustados tanto a la carcaza como al impulsor. La forma y la disposición varían de acuerdo con la presión de descarga de la bomba, el servicio, etc.

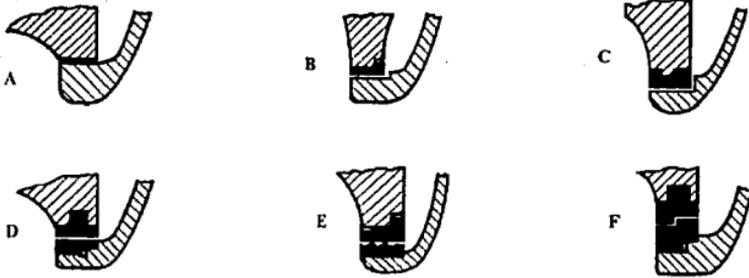


FIGURA III.3

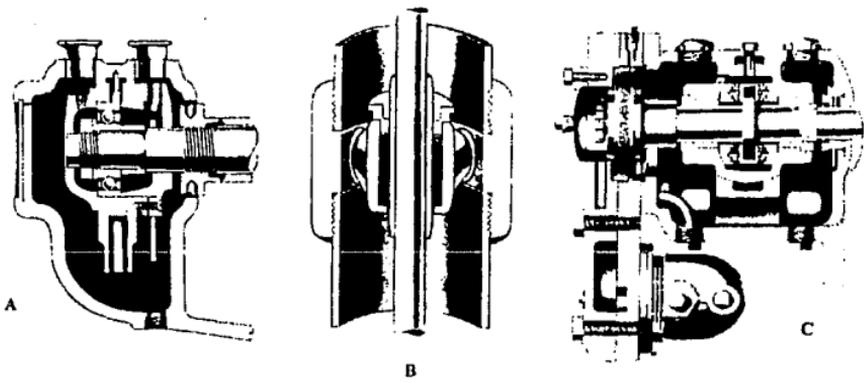


FIGURA III.4

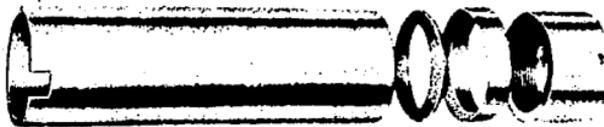


FIGURA III.5

III.4.1.4.- Chumaceras:

Las chumaceras son el dispositivo mecánico que mantiene sujeto al eje y le dan la posibilidad de girar oponiendo una fuerza de fricción muy baja. Prácticamente todos los tipos de chumaceras existentes, se han usado en las bombas centrífugas. Al presente, las más usadas son las de balas, manguito y Kingsbury. Muchas bombas tienen más de un tipo de chumacera para llenar diferentes requisitos. Las chumaceras de balas (fig. III.4,A) pueden ser del tipo de una o dos hileras. Las chumaceras de rodillos cilíndricos se usan ampliamente en flechas de bombas grandes. Las chumaceras de manguito, (fig. III.4,B) pueden ser horizontales o verticales. En el último caso, el lubricante es generalmente el líquido a bombear. En las bombas más grandes todavía se usan chumaceras de empuje Kingsbury, (fig. III.4,C). El diseño se asemeja mucho al usado en la maquinaria rotatoria.

III.4.1.5.- Cubreflechas:

El cubreflechas, llamado también buje de protección, (fig. III.5) resguarda a la flecha contra corrosión, erosión y desgaste que afecte su resistencia. Se utiliza en muchas formas en las bombas grandes, pero en las pequeñas el buje generalmente se elimina con objeto de reducir las pérdidas hidráulicas en los estoperos, la flecha se hace entonces de un metal con suficiente resistencia a la corrosión y al desgaste para dar una vida útil satisfactoria. Pueden existir cubiertas de flechas entre los diversos pasos de una bomba de varios impulsores. En algunas, un mamelón alargado sobre el impulsor reemplaza a la cubierta entre impulsores.

III.4.1.6.- Anillos de sellado:

Los anillos de sellado mejor conocidos como empaquetaduras, (fig. III.6) se usan para evitar la entrada de aire a la bomba cuando opera con una elevación de succión, así como para distribuir el líquido sellador uniformemente en el espacio anular entre el núcleo de la caja y la superficie de la cubierta de la flecha. También se conocen como cajas selladoras y anillos de sello de agua o de sello de líquido y reciben el líquido bajo presión de la bomba o de una fuente independiente. Algunas veces se usa grasa como medio sellador, cuando no se tiene a la mano líquido limpio o cuando este no puede usarse como en las bombas de drenaje.

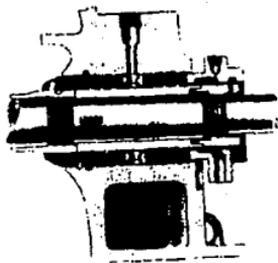
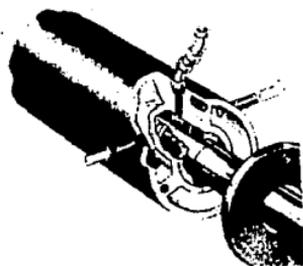


FIGURA III.6

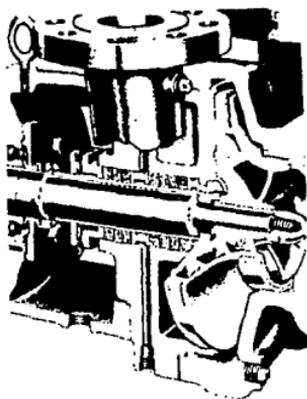
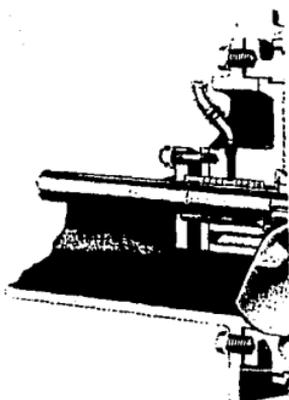


FIGURA III.7



FIGURA III.8

III.4.1.7.- Prensaestopas:

Los prensaestopas, tienen por objetivo, dosificar la salida de líquido lubricante (en este caso el mismo que se está bombeando) presionando la empaquetadura contra el mismo prensaestopa y contra la flecha o bien, en su caso, contra el buje de protección, evitando así la entrada del aire en la carcasa cuando la presión dentro de ella se encuentra bajo la atmosférica y limita el escape de la carcasa a un mínimo cuando la presión es superior a la atmosférica.

En la figura III.7, se muestran dos disposiciones de el prensaestopas y en la figura del lado izquierdo, un sistema de inyección de líquido lubricante externo con anillos.

En bombas que manejan líquidos calientes, o que tienen presiones altas en el prensaestopa, éste se encuentra generalmente cubierto por una chaqueta de agua para fines de enfriamiento. En algunos casos, se mezclan el líquido de enfriamiento y el bombeado, cuando estos son compatibles.

III.4.1.8.- Sellos mecánicos de flecha:

Se usan en una gran variedad los sellos mecánicos, cuando no se puede permitir tener escapes alrededor de la flecha, esto puede ser por que el líquido de proceso sea muy caro o bien por ser venenoso. También, encuentra aplicación cuando los prensaestopas no suministran una adecuada protección contra escapes. Las superficies del sellado perpendicular a la flecha de la bomba, usualmente comprenden dos partes pulidas y lubricadas que rozan entre sí. Aún cuando no son a prueba de escapes, éstos son prácticamente nulos, en ciertas aplicaciones con ácidos o fluidos altamente tóxicos, se recomienda el uso de doble sello mecánico e incluso se puede instalar una alarma de fuga a la salida del primer sello. Al igual que la empaquetadura el sello mecánico se puede lubricar con el mismo líquido bombeado o bien recurrir a un líquido externo compatible con el bombeado. El tipo externo (fig. III.8,A) se usa cuando es indispensable tener líquidos sucios o de escape retenidos en el prensaestopa. El tipo interno (fig. III.8,B) tiene muchas aplicaciones en líquidos volátiles.

En algunas aplicaciones, se requiere un plan de lavado para las caras del sello cuando el líquido bombeado contiene partículas en suspensión que podrían dañar el acabado de las caras del sello, ocasionando así posibles fugas además de un daño irreparable al mismo.

Para aplicaciones donde existe muy alta temperatura, se puede recurrir a un plan de enfriamiento para el sello.

La norma API 610 marca los principales planes de enfriamiento y lavado para sellos mecánicos.

III.4.2.- Clasificaciones modernas de las bombas:

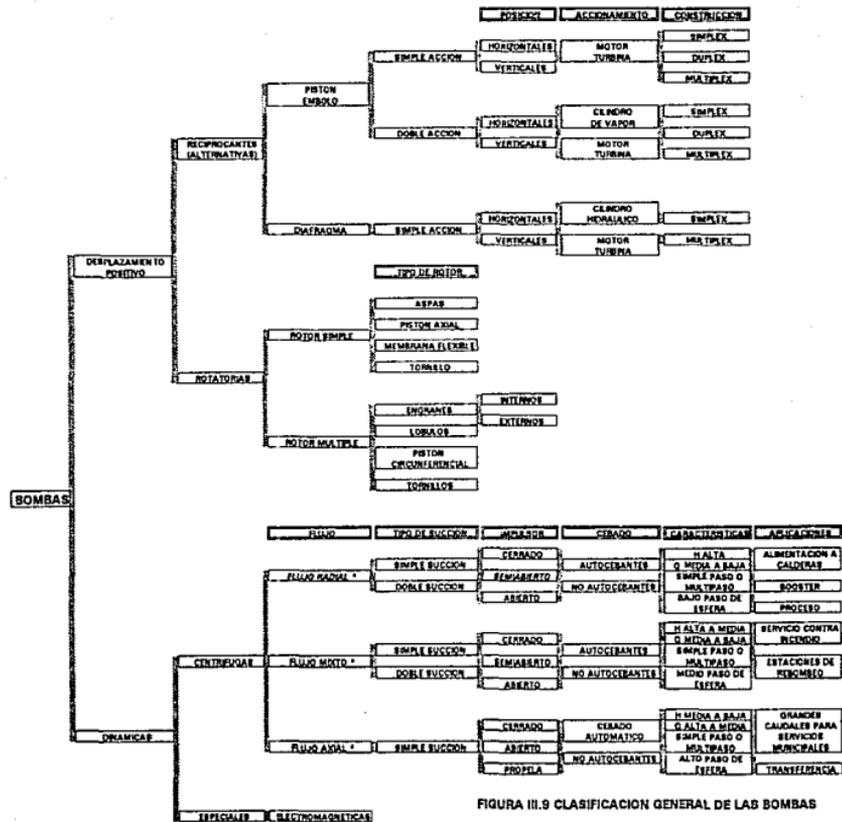
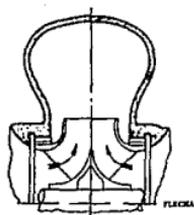
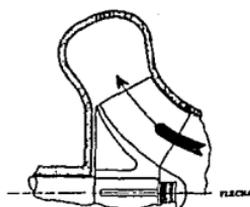


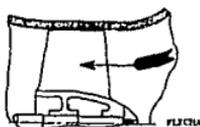
FIGURA III.9 CLASIFICACION GENERAL DE LAS BOMBAS



BOMBA DE FLUJO RADIAL



BOMBA DE FLUJO MIXTO



BOMBA DE FLUJO AXIAL

VALORES DE VELOCIDADES ESPECIFICAS

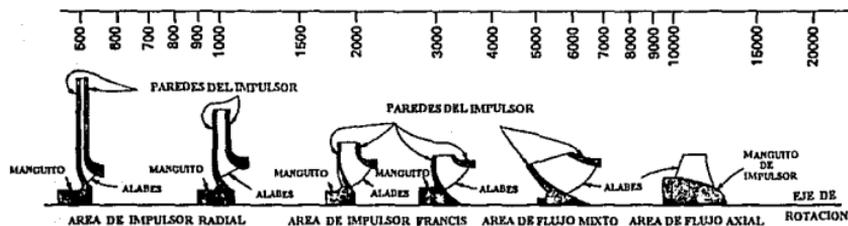


FIGURA III.10 TIPOS DE FLUJO

En las figuras anteriores se muestran dos clasificaciones modernas generales de las bombas. Como se puede observar existe una gran variedad de parámetros para clasificar las bombas, pero para fines prácticos bastará mencionar alguno de los mencionados y la aplicación que se le dará al equipo de bombeo para saber con precisión de que equipo se trata.

Hicks y Edwards, es su libro "Pump Application Engineering" (III.2) incluyen la siguiente clasificación general que ayuda mucho en la discriminación de las clases y los tipos de bombas. Podría llamarse una guía del mundo de las bombas. Actualmente, encontramos tres clases de bombas:

- a). Centrífugas.
- b). Rotatorias.
- c). Recíprocas.

Debe notarse claramente, que estos términos aplican sólo al principio de operación mecánico del manejo del líquido, y no al servicio para el cual los equipos son diseñados. Esto es importante, porque la mayoría de las bombas son vendidas y construídas para un servicio específico.

Es así, que el conocimiento de las clases y tipos de bombas puede llegar a ser de gran utilidad en el complejo problema de encontrar y seleccionar el equipo que tenga el mejor diseño para la aplicación requerida. Cada clase se sub-divide en diferentes tipos de bombas; por ejemplo, las rotatorias agrupan a bombas de tornillo, engranes y paletas, entre otras. Cada una de ellas es un tipo particular de bombas rotatorias.

Como un ejemplo de aplicación más específico, veamos a una bomba para manejo de petróleo crudo, que es de uso común en la actualidad. Es una bomba rotatoria de tres tornillos con rotores fabricados en diversos materiales y cuatro dispositivos para balancear el empuje axial.

El Instituto de Hidráulica (III.3), recomienda que su clasificación sea considerada sólo como una descripción general de las clases y tipos de bombas, y deja a los fabricantes la clasificación de los detalles que haya desarrollado o estandarizado para cada tipo de bomba. Por lo tanto, en la selección adecuada de una bomba es necesario comparar conjuntamente los requerimientos de operación, construcción y aplicación.

En sus normas el Instituto de Hidráulica (III.4), clasifica a las bombas centrífugas: Por el número de pasos en una etapa y multi-etapas; por el tipo de carcasa en voluta y difusor; por la posición de la flecha en horizontal y vertical (de pozo seco y sumergible); por la succión en simple y doble succión; por su impulsor en abierto, semi-abierto y cerrado; por su flujo en radial, mixto y axial.

En términos de materiales de construcción, el Instituto de Hidráulica (III.5), utiliza las siguientes designaciones:

- 1.- Con interiores de bronce.
- 2.- Toda de bronce.

- 3.- Aleaciones especiales de bronce.
- 4.- Toda de hierro.
- 5.- Con interiores de acero inoxidable.
- 6.- Toda de acero inoxidable.

Las bombas con interiores de bronce tienen carcasa de fierro impulsor de bronce, y anillos de la carcasa de bronce y mangas de flecha en bronce (estas últimas sí son requeridas).

En las bombas todas de bronce, todas las partes en contacto con el líquido bombeado (partes húmedas), están hechas en bronce estándar del fabricante.

Para la tercera designación, la descripción es la misma que la segunda, sólo que las partes son hechas de aleaciones especiales de bronce adecuadas a la aplicación específica de las bombas.

Las bombas de fierro tienen sus partes húmedas hechas en metales ferrosos. En las bombas con interiores de acero inoxidable, la carcasa es de un material adecuado al servicio, mientras que el impulsor, los anillos del impulsor y las mangas de la flecha están hechos de un acero resistente a la corrosión y adecuado al líquido manejado.

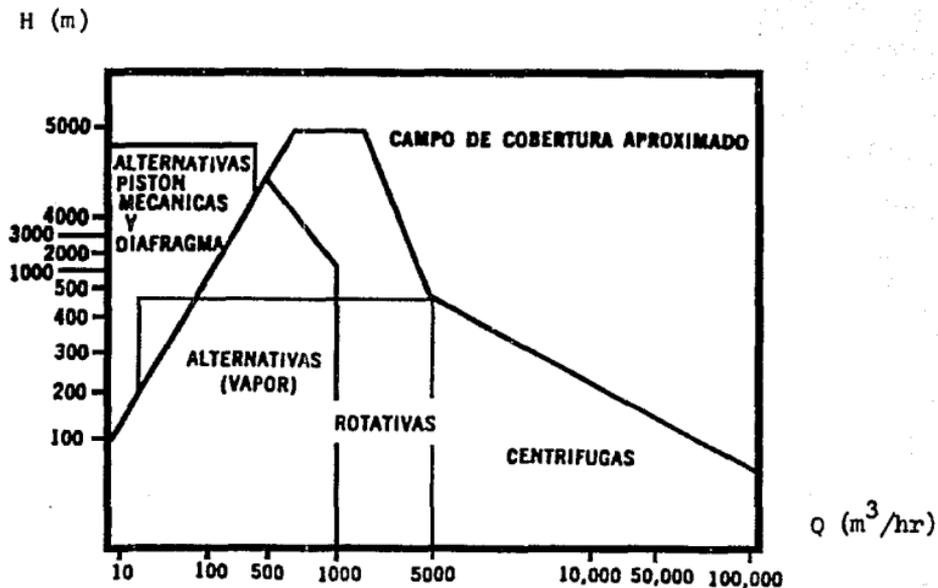
En una bomba toda de acero inoxidable, las partes húmedas (en contacto con el líquido bombeado) están hechas de un acero resistente a la corrosión adecuado a la aplicación, mientras que la flecha es de un acero resistente a la corrosión de igual grado que las otras partes de la bomba.

III.5.- Campo hidráulico de cobertura:

Para obtener otra referencia sobre el tipo de bomba a utilizar en alguna aplicación, se debe observar qué capacidades y presiones (cargas ó alturas), cubren normalmente los equipos de bombeo.

Indudablemente, existen zonas de superposición, esto sin duda tiene que ocurrir, pero generalmente la viscosidad, sólidos en suspensión, NPSH, etc., dan la pauta para la selección del tipo de bomba en estos casos límites.

FIGURA III.11 CAMPO HIDRAULICO DE COBERTURA APROXIMADO



Donde dos o más unidades del mismo tipo ó diferente tipo, cumplen con las condiciones hidráulicas, el estudio debe ir un poco más adelante para determinar cuál de los equipos es mejor para la instalación. La planta puede requerir bajo costo de adquisición de la bomba, vida útil larga o máxima economía de operación. Normalmente, todo esto no se encuentra en un sólo paquete, por lo que deberá decidirse qué es lo más importante para el servicio e instalación considerada, sin embargo, la experiencia dicta algunos criterios para la correcta aplicación de las bombas centrífugas (sin que deban tomarse con el rigorismo de una regla);

-Aplicaciones donde las densidades no sean mucho mayores a la del agua.

-Aplicaciones donde no se requiera de gran precisión en el caudal desplazado.

-Aplicaciones donde se requiera que la presión de la bomba varíe respecto de la contrapresión del sistema, dentro del rango descrito por la curva de comportamiento.

-Aplicaciones donde se requiera de un flujo continuo (no pulsante), por las características propias del proceso.

III.6.- Bombas centrífugas:

Son aquellas que imparten la energía principal al líquido mediante la acción de la fuerza centrífuga, como se mencionó con anterioridad, se subdividen, (entre otras características) atendiendo a la dirección del flujo en el impulsor, por lo tanto, pueden ser bombas con impulsor de flujo radial, de flujo mixto y flujo axial, pudiendo ser los impulsores de tipo cerrado, con paredes integrales laterales; abierto, sin paredes; semicerrados con una sola pared integral. En lo que respecta a la succión en el impulsor, éste puede ser de succión sencilla o doble, un impulsor de doble succión, es aquel que tiene dos ojos de succión, similar a lo que formarían dos impulsores cerrados contrapuestos.

Se debe aclarar que en relación con sus aspas, se conocen dos tipos de impulsores de flujo radial: Impulsor de Aspas Rectas e Impulsor de Aspas tipo Francis o tornillo. En una serie de curvas de comportamiento, son perfectamente reconocibles los distintos tipos de impulsor, ya que están ligados éstos, con el número que determina el valor de la velocidad específica en la forma siguiente:

Tipo de Impulsor.	Valor de la Velocidad Específica.
Radial de Aspas Rectas.	500 - 1000.
Francis.	1500 - 4000.
Flujo Mixto.	4000 - 7500.
Flujo Axial.	8000 - 20000.

Los impulsores de flujo mixto y axial, son generalmente del tipo succión sencilla.

Si atendemos ahora a la forma de las carcazas, podemos decir que éstas se dividen en dos grupos: Bombas con carcaza de voluta y bombas con carcaza de difusor, siendo estos casos bipartidas axial y radialmente de manera respectiva. Con respecto a la posición de la succión, hay dos tipos principales: Bombas con succión en el extremo y bombas con succión lateral (se dice que son los dos principales tipos, ya que también existen bombas con succión hacia arriba y hacia abajo).

Por regla general, todas las bombas con succión en su extremo, usan impulsor del tipo de succión sencilla; no se puede decir lo mismo con respecto a las bombas de succión vertical, ya que éstas utilizan según su tipo, impulsor con succión sencilla o de doble succión.

Cuando una bomba genera toda su carga utilizando un sólo impulsor, se dice que esta es de un sólo paso, y cuando utiliza para el mismo efecto dos o más impulsores, se denomina bomba de pasos múltiples (multipasos).

Respecto a la posición de su eje giratorio, a las bombas centrífugas, se les conoce como horizontales o verticales. En las primeras, generalmente se utilizan los impulsores radiales y de flujo mixto, y en las verticales también los de flujo mixto y los axiales; aunque gran número de tipos de bombas horizontales, tienen variantes verticalizadas.

Entre las verticales, se encuentran las de impulsor de flujo axial tipo propela y las de impulsor cerrado para pozo profundo.

Desde el punto de vista de su aplicación, se pueden agrupar en lo siguiente:

III.6.1.- Bombas Inatascables.- Tienen como característica, utilizar impulsor abierto o semiabierto, pero del tipo Francis corto y también en el de flujo mixto, de succión sencilla; generalmente son capaces de manejar aguas negras con sólidos de tamaño limitado (III.6) o aplicables en la Industria Papelera, en lo referente al manejo de la pulpa o licores (III.7).

III.6.2.- Bombas de Proceso.- Aplicables para manejar una gran gama de líquido utilizados en procesos industriales que requieren condiciones de temperatura, presión ó de ambas características, más altas que las normales, o cuyos efectos corrosivos son notorios. Generalmente, estas bombas son de metalurgia especial, para la mayor parte de este tipo de bombas, las aplicaciones exigen el uso de alguna de las normas como son: DYN, ANSI o API.

III.6.3.- Bombas de Inyección a Calderas.- Estas bombas son generalmente, de capacidades medianas, pero de altas presiones, y casi

todas son del tipo multipasos y con metalúrgia adecuada, para manejar aguas tratadas y a altas temperaturas.

III.6.4.- Bombas de Uso General.- Por su uso general, entendemos el manejo de aguas en condiciones normales de operación y para capacidades pequeñas, medianas o grandes, y cargas generalmente medianas o bajas; se encuentran en varios tipos: Bombas con succión en su extremo y sencilla con carcazas partidas radialmente, y las bombas de succión lateral doble y carcaza partida horizontalmente, aquí se puede incluir la aplicación de bombas contra incendio (*III.8*).

III.6.5.- Bombas de Pozo Profundo.- Son del tipo vertical, generalmente con impulsores cerrados y como característica común, la de ser de varios pasos con columnas de longitud adecuada, para llevar el cuerpo impelente hasta el seno del líquido a bombear.

Aunque su gran aplicación está en el suministro de agua de pozos para riego, no es ésta la única, ya que también es posible utilizar este tipo de bombas en el manejo de hidrocarburos o de salmueras.

III.6.6.- Bombas Regenerativas.- Estas bombas, aunque suministran carga al líquido por medio de fuerza centrífuga, su impulsor tiene una marcada diferencia con las demás bombas centrífugas, ya que se parece bastante a los rodetes de las turbinas, pues tienen tallado en ambos lados un número determinado de aspas cortas radiales. La forma de la vía de agua de la carcaza en estas bombas, hace que el impulsor tome varias veces el agua antes de que ésta logre terminar su viaje desde la succión hasta la descarga, con lo cual se le comunica una alta carga al agua manejada. La característica más distintiva de estas bombas es que aunque sus capacidades son demasiado limitadas, sus cargas son altas.

III.7.- Principales normas de fabricación:

III.7.1.- ANSI.

El ANSI, American National Standard Institute, es un código que cubre las bombas centrífugas de diseño horizontal, simple etapa, succión al extremo y descarga sobre la línea de centros.

El estándar incluye intercambiabilidad dimensional, así como requisitos para ciertas características de diseño que se faciliten la instalación, y el mantenimiento. Lo que se persigue con este estándar, es que siendo las dimensiones críticas determinadas por el código, las bombas sean intercambiables aún siendo de diferentes marcas comerciales, las dimensiones claves corresponden a las bases, localización y tamaño de bridas de succión y descarga, diámetros de flechas y localización de anclajes.

Los diseños alternativos, serán considerados si se prueba que tanto sus detalles de construcción y funcionamiento están en términos generales de acuerdo a lo especificado en el código. Todas las desviaciones deberán ser descritas detalladamente para evitar problemas de estándares.

La fuente para obtener la nomenclatura y definición, para los componentes de las bombas, será el Instituto de Hidráulica, en su sección "Bombas Centrífugas" (III.9).

III.7.1.1.- Características de construcción y diseño:

a). Límites de presión y temperatura.- La presión de diseño de la carcaza, incluyendo la caja de empaques y prensaestopas, deberá ser al menos igual a la que corresponde al rango presión-temperatura de las bridas clase 125 ó clase 150, ANSI B.16.5, según el material de construcción que se use. La carcaza, tapa y chaquetas deberán diseñarse, para soportar una prueba hidrostática de 1.5 veces la presión máxima de diseño para el material de construcción usado.

b). Límites de temperatura.- Las bombas deberán soportar hasta 260° C (500° F). La limitación para hierro fundido será de 150° C (300° F) como máximo.

Chaquetas de enfriamiento y otras modificaciones, pudieran requerirse para cumplir la temperatura de operación.

c). Las limitaciones de presión y temperatura, deberán estar claramente establecidas por el fabricante del equipo.

d). Bridas.- Las conexiones de succión y descarga, deberán ser bridadas; las bridas se ajustarán en sus dimensiones, número y tamaño de pernos y taladros a lo especificado en el ANSI B.16.1 Clase 125 ó B.16.5 Clase 150 para fierro y acero fundidos, respectivamente. Las bridas serán de cara plana, con un espesor mínimo igual a aquél, de la cara realizada especificada en el código para el material de construcción de que se trate.

Los taladros para los pernos, deberán distribuirse alrededor de la línea de centros horizontal y vertical. Como una opción, podrán ofrecerse bridas de 250# en fierro fundido, ó de 300# en acero fundido, sujetándose a la limitación de presión establecida por el fabricante.

e). Carcaza.- Las carcazas deberán tener mamelones para conexión de drenaje. Su tamaño deberá ser suficiente para acomodar una conexión de 1/2 " NPT como mínimo. El taladro y roscado de estos mamelones es opcional.

Los mamelones para conexiones de manómetros. La succión y descarga, deberá tener mamelones para conexión de manómetros, su tamaño será suficiente para acomodar conexiones de 1/4 " NPT como mínimo, prefiriéndose que dichas conexiones sean de 1/2 " NPT. El taladro y roscado de los mamelones es opcional.

Las bombas deberán soportarse, por una pata bajo la carcaza o por un soporte conveniente entre ésta y la base.

El diseño deberá permitir, que el elemento rotativo sea desmontado de la carcaza, desde la parte posterior sin que sea necesario desconectar ésta de las tuberías o remover el accionador. Se deberá proveer de adecuados taladros roscados o barrenos para espárragos, de manera que sea fácil desensamblar la carcaza de la tapa de la caja de empaques.

Las chaquetas para enfriamiento o calentamiento de la carcaza, caja de empaque, o ambas; son opcionales. Deberán diseñarse, para una presión de operación de 690 KPa manométricas a 170° C (340°F). Las chaquetas

de enfriamiento que se requieren para temperaturas, en las mismas, de 260° C (500° F), requerirán una correspondiente reducción de la presión de operación. Las conexiones para agua de enfriamiento deberán ser cuando menos de 1/2 " NPT.

Las juntas entre la carcasa y la tapa de la caja de empaques, deberán estar confinadas en el lado de la presión atmosférica, para prevenir que se hinchen y no sellen adecuadamente.

f). Impulsores.- Los impulsores abiertos, semiabiertos o cerrados, son aceptados por el código.

Si el diseño requiere periódicos del claro, se deberá suministrar un mecanismo para que dicho ajuste pueda ser efectuado externamente.

Todos los impulsores, serán de preferencia, balanceados dinámicamente, sin embargo, cuando la relación entre el diámetro exterior máximo, dividido por el ancho en la periferia, incluyendo los hombros, pero no la venas posteriores, sea 6 ó más se aceptará balanceo estático.

Sujeción en la flecha. El impulsor se fijará a la flecha con una cuña o bién roscado, si éste es el caso, deberá apretarse en sentido contrario a la rotación. La rosca o cuña, deberá protegerse de manera que no entre en contacto con el líquido bombeado.

g). Flecha.- El diámetro de la flecha o de la camisa de empaques, deberá ser en incrementos de 1/8" desde un diámetro mínimo de 1". Para permitir el uso de sellos mecánicos, la tolerancia en diámetro a través de la caja de empaques, no deberá exceder del diámetro nominal a menos 0.05 mm (0.002").

El acabado para la superficie de la flecha, en la caja de empaques y donde entra en contacto con los retenes de aceite de los baleros, no deberá exceder de una rugosidad de 0.032" a menos que el sello mecánico demande otra cosa.

El descentramiento de la flecha en la cara de la caja de empaques, no debe exceder de 0.05 mm (0.002") como lectura total del indicador de carátula.

La deflexión dinámica de la flecha, en la cara de la caja de empaques, no deberá exceder de 0.05 mm (0.002"), a:

- Carga máxima para bombas del tamaño AA a A70.
- Carga de diseño para bombas tamaño A80 y mayores.

Se define como carga hidráulica máxima, la del impulsor máximo, operando a cualquier punto sobre la curva de velocidad angular máxima cuando se bombea un líquido de Gravedad Específica de 1.0.

Se define como carga de diseño, la carga hidráulica máxima del impulsor máximo, operando dentro de un rango especificado por el fabricante y sobre la curva de velocidad máxima cuando bombea un líquido de Gravedad Específica de 1.0.

Los claros deberán ser de tamaño suficiente, para prevenir rozamientos cuando se opere a la carga máxima.

h). Caja de empaques.- Se diseñara de manera que pueda alojar empaquetadura cuadrada convencional de 3/8" para las bombas de los tamaños A05 al A80.

Para los tamaños AA y AB, se debe usar empaque de 5/16". Las cajas de empaques, deberán ser adecuadas, también para la instalación y

operación de sellos mecánicos; incluyendo los aditamentos necesarios para la eliminación de aire o gas atrapado. La localización de las conexiones de tuberías, a la caja de empaque y prensaestopa, es opcional; el tamaño de las conexiones, será al menos 1/4" NPT, pero se prefiere que sean de 3/8 " NPT.

El descentramiento de la cara, no deberá exceder de 0.05 mm (0.002 ") de la lectura total del indicador de carátula, sobre la flecha.

Requerimientos de espacio: éste deberá ser suficiente para:

- Cinco anillos de empaque, un anillo de linterna y espacio para reempacar el equipo.
- Un buje de garganta rompedor de presión, un anillo de linterna y tres anillos de empaque.
- Sello mecánico interno, con o sin buje de garganta.
- Sellos mecánicos dobles internos.
- Sello mecánico externo, con o sin buje de garganta.

Las bombas se deberán diseñar para tener cuatro pernos, pero los prensaestopa serán:

- De 2 ó 4 pernos para el empaque convencional.
- De 4 pernos para el sello mecánico.

La junta entre el prensaestopa y la caja de empaques, deberá estar confinada en la presión atmosférica para evitar que se hinche y no selle.

Los materiales de construcción serán:

- El material del prensaestopa será opcional.
- Los pernos, tuercas y espárragos serán de acero inoxidable de la serie 300, y deberán tener 3/8" ó más en el diámetro.

i). Baleros.- Dos ensambles de baleros de bolas son requeridos, uno estará libre dentro del soporte a fin de absorber la carga radial solamente, el otro deberá diseñarse para absorber, tanto carga radial como axial.

Los baleros deberán seleccionarse, de acuerdo con el código ANSI B.3.15 y B.3.16 en su sección "Rangos de Carga y Vida Esperada para Baleros de Bolas y Rodillos".

Las bombas de tamaño AA a A70 deben tener un mínimo de vida de B10, esto es 17500 horas cuando están sujetos a la carga máxima. Los tamaños A80 y mayores, deberán tener un mínimo de vida de B10, es decir, 17500 horas cuando están sujetos a la carga máxima de diseño.

Juego axial: En el caso del balero axial, el juego deberá ser mínimo, la definición de su magnitud depende, tanto de los claros internos, como de los requerimientos del sello mecánico.

Aislamiento: Los alojamientos de baleros, deberán construirse para proteger a los mismos del agua, polvo y de otros contaminantes.

Lubricación: Los alojamientos de empaque, deberán equiparse con conexiones roscadas para aceiteras de niveles visuales del aceite contenido dentro del alojamiento.

Materiales de construcción: Se define así a aquél material de la bomba que está en contacto mayor con el líquido bombeado. Las bombas deberán estar disponibles en los siguientes materiales de construcción:

MATERIALES

ESPECIFICACION ASTM

- Fierro fundido (no usar para líquidos peligrosos). A278 ó A48.
- Fierro Dúctil. A395.
- Acero al carbón. A216, Grado WCB.
- Acero fundido de alta aleación (similar al acero inoxidable 316). A296, Grado CF8M.
- Otros. Opcional.

Tolerancia a la corrosión: La carcaza, tapa y prensaestopas, deberán tener una tolerancia a la corrosión de cuando menos 1/8".

Sentido de rotación: El sentido de rotación será como el de las manecillas del reloj, visto desde el cople. Una flecha ya sea de fundición o troquelada de un material durable, mostrará dicho sentido.

Guardacoples: Deberá suministrarse en todas las unidades en que la bomba y el accionador están montados sobre una base común.

Roscas: Todas las partes roscadas como pernos, tuercas o tapones, deberán estar de acuerdo con los estándares del código ANSI.

Anillos para izamiento: Se deberán suministrar siempre que el bastidor y su ensamblaje asociado pese más de 27 Kgs.

Orificios: Todos los orificios expuestos al fluido bombeado, más aquellos que correspondan al prensaestopas o sello mecánico deberán ser del mismo material que la carcaza, excepto que tapones de acero al carbón pueden usarse en bombas de hierro fundido o dúctil. En el caso de chaquetas de enfriamiento o calentamiento, usar cinta a prueba de agua.

III.7.2.- API 610.

El estándar del American Petroleum Institute cubre los requerimientos mínimos, para bombas centrífugas a usar en servicios de refinerías petroleras. Este estándar, se aplica también a las turbinas hidráulicas de recuperación de energía.

El proveedor podrá ofrecer diseños alternativos: Dimensiones métricas equivalentes, sujetadores y bridas pueden ser sustituidos por mutuo acuerdo entre ambas partes.

En caso de conflicto entre este estándar y la solicitud o pedido, la información contenida en el pedido, será la que se mande. Los términos empleados en este estándar, se definen como sigue:

- Normal.- Aplica a condiciones a las que el equipo operará normalmente.

- Nominal.- Aplica a las condiciones de operación especificadas para el punto de operación garantizado; incluyendo gasto, carga, NPSH, gravedad específica, velocidad y viscosidad.

- Máxima presión de trabajo permisible para la caja.- Es la mayor presión de descarga a la temperatura de bombeo especificada para la cual la caja de la bomba está diseñada. El diseño debe cumplir con las reglas de diseño de la bomba, establecidas en este estándar. Esta presión debe ser igual o mayor a la presión máxima de descarga requerida.

- Máxima presión de descarga.- Es la mayor presión de succión posible de operar, más la presión diferencial máxima que la bomba es capaz de desarrollar, operando a las condiciones especificadas de velocidad; gravedad específica y temperatura de bombeo con el impulsor suministrado.

- Presión de descarga nominal.- Es la presión de descarga de la bomba en el punto garantizado, con condiciones nominales de gasto, velocidad, presión de succión y gravedad específica.

- Presión máxima de succión.- Es la mayor presión de succión a la que la bomba se ve sometida durante la operación.

- Presión de succión nominal.- Es la presión de succión para las condiciones de operación del punto garantizado.

- Temperatura máxima permisible.- Es la temperatura máxima continua para la cual el fabricante ha diseñado el equipo (o cualquiera de las partes a la que este término se refiere) cuando maneja un fluido especificado a una temperatura especificada.

- Velocidad nominal.- Es el número de revoluciones por minuto de la bomba, requeridas para encontrar las condiciones nominales de operación. (Se debe hacer notar que los motores de inducción, operarán a una velocidad que es función de la carga impuesta).

- Potencia al freno nominal.- Es la potencia requerida por la bomba a las condiciones nominales de operación.

- Presión máxima de sellado.- Es la más alta presión esperada en cada cámara de sellado.

- Velocidad específica de succión.- Es un índice de las características operativas de la succión de la bomba, determinado en el punto de mayor eficiencia (en diámetro máximo). (Este valor, sirve como un indicador de el NPSH requerido, para valores dados de gasto y velocidad rotacional y proporciona alguna evaluación de la tendencia de la bomba a la recirculación interna).

- Flujo máximo continuo estable.- Es el flujo más alto en el que la bomba puede operar sin rebasar los límites de ruido y vibración impuestos por este estándar.

- Flujo mínimo continuo térmico.- Es el más bajo flujo en el que la bomba puede operar, manteniendo la temperatura del líquido por debajo del punto en el cual el NPSH disponible iguala al NPSH requerido.

- Proveedor.- Se refiere al fabricante, distribuidor, o comercializador de la bomba.

- Buje de estrangulamiento.- Es un anillo restrictor de claro, colocado alrededor de la flecha o manga ubicado en el lado externo del sello mecánico.

- Buje de garganta.- Es un anillo restrictor de claro, colocado alrededor de la flecha o manga, ubicada entre el sello o empaquetadura y el impulsor.

- Caja sujeta a presión.- Es el conjunto de todas las partes estacionarias contenedoras de presión de la unidad, incluyendo boquillas y otras partes agragadas.

- Doble caja.- Se refiere al tipo de construcción en el cual la caja sujeta a presión, está separada y es distinta a los elementos de bombeo contenidos en ella.

- Barril.- Se refiere específicamente a una bomba horizontal del tipo de doble caja.

- Bomba de barril enlatada.- Se refiere específicamente a una bomba vertical del tipo doble caja.

- Turbina hidráulica de recuperación de energía.- Puede ser una bomba operada con flujo INVERSO para entregar energía cinética en el cople, a partir de la recuperación de energía extraída de una reducción de presión del fluido (y algunas ocasiones, por la energía adicional de los vapores o gases).

- Partición radial.- Se refiere a las juntas de la caja que son transversales a la línea de centros de la flecha.

- Partición axial.- Se refiere a las cajas cuyas juntas son paralelas a la línea de centros de la flecha.

- NPSH.- Carga Neta Positiva de Succión, es la carga total de succión, en altura absoluta de columna del líquido, determinada en la boquilla de succión y referida a la elevación en "REFERENCIA" menos la presión de vapor del líquido en pies absolutos. La REFERENCIA, es la línea de centros en bombas horizontales, la línea de centros de la boquilla de succión en bombas verticales IN-LINE (en línea), y la parte superior de la cimentación para otras bombas verticales.

- NPSH Disponible (NPSH A).- Es el NPSH determinado por el comprador para el sistema de bombeo con el líquido bombeado, a la temperatura de bombeo.

- NPSH Requerido (NPSH R).- Es el NPSH determinado por el proveedor a partir de pruebas de bombeo, realizadas con agua. El NPSH R, es expresado en pies absolutos de líquido, y es el mínimo NPSH requerido a la capacidad o gasto nominal para prevenir desviaciones de comportamiento debido a cavitación.

- Cojinetes hidrodinámicos.- Son rodamientos que usan los principios de lubricación hidrodinámica, creada cuando sus superficies están orientadas de tal manera que su movimiento relativo, genera la presión de aceite para soportar la carga, sin que exista contacto metal-metal.

- Cojinetes radiales hidrodinámicos.- Incluyen los rodamientos tipo manga y de zapatas.

- Cojinetes de empuje hidrodinámicos.- Como se refiere en este estándar, está limitados a los rodamientos múltiples segmentados de zapatas.

- En boquillas de turbinas hidráulicas de recuperación de energía.- Todas las referencias de este estándar a "SUCCION" y "DESCARGA"; deben ser interpretadas como "ENTRADA" y "SALIDA" respectivamente.

- El uso de la palabra "DISEÑO"; en cualquier término (como por ejemplo; potencia de diseño, presión de diseño, temperatura de diseño, y velocidad de diseño), debe ser evitada en las especificaciones del comprador. Esta terminología debe ser usada exclusivamente por el diseñador y fabricante del equipo.

III.7.3.- NFPA 20 (III.10).

Norma desarrollada por la National Fire Protection Association para estandarizar las bombas destinadas al uso contra incendio.

En cuanto al comportamiento de estas bombas, deben operar en rangos de caudal de; 658, 757, 1350 y 1703 LPM (150, 200, 300 a 450 GPM) y presiones de trabajo entre 2.7 a 6.8 Bars (40 a 100 PSI). Las bombas deberán comportarse de tal forma; que la potencia requerida del motor no exceda los 22 Kw (30 Hp), así como el gasto máximo no deberá exceder del 130% del gasto normal. La presión a la que deberá operar la bomba, debe estar en un rango muy cercano a los 2.76 Bars (40 PSI) o mas en el servicio, es decir en las tomas.

Las bombas contra incendio deberán contar con un manómetro en la descarga de carátula de 9 cm. y de escala adecuada al rango de presión de la bomba, deberá contar con una válvula de retención en la descarga (independientemente de que se requiera también una en la succión), así como válvulas de compuerta requeridas para dar servicio a la bomba y a la válvula de retención.

Se recomienda que el motor eléctrico tenga un enclaustramiento adecuado para el ambiente en el cual va a operar, que opere en rangos de voltaje inferiores a los 600 Volts, y se seleccionarán para una potencia por lo menos 20% mayor que la requerida por la bomba en el punto del 150% de su gasto normal.

En instalaciones con sistemas de arranque automático, se recomienda el uso de alarmas audibles y visuales para los casos de:

- Falla de arranque de la unidad motriz.
- Interruptor abierto.
- Falta de energía eléctrica.

En el caso de una instalación con motores de combustión interna se recomienda que estos sean capaces de suministrar al menos el 20% mas de la potencia requerida para la condición de 150% del gasto normal, deducir de la eficiencia un 10% por cada mil metros de altitud y debe tenerse especial cuidado en el ambiente en el que vá a operar el motor de combustión a fin de que no se convierta en un factor de ignición.

III.8.- Principales Fabricantes Nacionales.

Es muy amplia la lista de los fabricantes de bombas en México ya que van desde las grandes firmas transnacionales, hasta mini empresas de producción casi artesanal.

El tipo de sistema productivo también es cambiante respecto del tipo de bomba que se fabrique incluso dentro de una misma planta, resulta evidente la diferencia que existe entre fabricar una bomba bipartida acoplada a motor de 1000 HP. para una estación de bombeo de agua potable con diámetro de succión de 12", a una bomba de recirculación de agua caliente para calefacción hidrónica.

A continuación se expone una lista de los principales fabricantes de bombas centrífugas en México, así como las principales líneas de fabricación con las que cuentan.

Bombas Goulds de México.

Bombas de proceso químico en materiales convencionales y plásticos, bombas in line, bombas para manejo de pulpas (resistentes a la abrasión), bombas bipartidas axialmente de doble succión para altos caudales, bombas multipaso para alta presión, motobombas, bombas verticales tipo turbina, bombas sumergibles.

Byron Jackson Co., S.A.

Bombas de alimentación a caldera, bombas de proceso, bombas verticales de cárcamo húmedo y seco, bombas de barril, motobombas sumergibles, bombas de pozo profundo, bombas inatascables.

Crane Deming en unión con Worthington.

Bombas para proceso químico, bombas de servicio general, bombas de proceso API, bombas tipo Slurry para minería y fuerte abrasión, bombas bipartidas axialmente, bombas reciprocantes (sólo por mencionarlas), bombas verticales tipo turbina y sumergibles, bombas de cárcamo húmedo, bombas multipaso.

KSB Mexicana, S.A.

Motobombas sumergibles, bombas de proceso (normas DYN), bombas multipaso de alta presión, bombas bipartidas axialmente.

Peerless Tisa, S.A.

Bombas de pozo profundo tipo turbina, bombas de proceso (importación en la mayoría de los casos), bombas bipartidas axialmente.

Sistemas de Bombeo, S.A de C.V. fabricantes de ITT.

Bombas verticales de hélice, motobombas sumergibles, motobombas y bombas de proceso, bombas autocebantes.

Bombas Cuma, S.A.

Bombas de achique, bombas autocebantes, motobombas para usos generales.

Sulzer Hermanos S.A. en union con Bingham.

Bombas verticales de cárcamo húmedo, Bombas bipartidas axialmente, bombas multipaso de alta presión, bombas de proceso API.

III.9.- Principales Fabricantes en el mundo con ventas en México.

La siguiente lista enmarca a algunos de los principales fabricantes de bombas centrífugas con plantas en el extranjero cuyas ventas en México son de considerable importancia. Varios de estos fabricantes son las mismas

firmas que aparecieron en la lista de fabricantes nacionales, sin embargo corresponden a las divisiones internacionales de las mismas o bien, en la anterior lista se trata de compañías que compraron la tecnología para fabricar en México y que se encuentran separadas de su similar internacional.

Sulzer Bingham.

Aplicaciones especiales, grandes capacidades y metalurgias especiales.

Goulds Pumps, Inc.

Motobombas de pozo profundo, bombas de proceso, motobombas sumergibles.

Grundfos Pumps Co.

Bombas recirculadoras, bombas booster in line, bombas tipo Jet, motobombas sumergibles, bombas multipaso de alta presión.

Afton Pumps, inc.

Especialistas en bombas verticales y verticales in line API.

III.10.- Aplicaciones de las Bombas Centrífugas.

En la elaboración industrial de cualquier tipo de producto perecedero o impercedero, de primera necesidad o de lujo, y en la generación de Bienes Muebles y casi en la totalidad de servicios, se requiere de una organización productiva en la que normalmente encontramos uno o varios centros de trabajo, que van desde pequeñas Fábricas hasta Complejos Petroquímicos, Centrales Eléctricas, Plantas Fertilizantes, Plantas Siderúrgicas, Minas, Papeleras, Plantas Potabilizadoras, Sistemas de Riego, Desalojamiento de Aguas Negras para Servicios Municipales, etc., que están constituidas por una gran variedad de equipos mecánicos, eléctricos, de control y electrónicos, algunos de ellos sencillos y otros muy sofisticados, que requieren de una operación confiable y en muchos casos continua. Sería complicado y fuera de tema hablar de todos estos equipos, por lo que se hará referencia únicamente a los Equipos de Bombeo Centrífugos.

Una bomba sigue siendo un producto que satisface las necesidades de la industria en general, en función de las características de construcción y condiciones de operación especificadas por los usuarios, por tal motivo, es de suma importancia contar con las herramientas y criterios de aplicación suficientes para el análisis de posibles alternativas de aplicación que conduzcan a obtener la mejor selección del equipo de bombeo y así cumplir con el servicio demandado.

Actualmente el mundo entero, vive una situación crítica con respecto a la disponibilidad y aprovechamiento de energía, y México no está fuera de este contorno que trasciende en lo político y económico; por lo que cada día

tiene mayor importancia el ahorro de energéticos, es por esta razón que se analizarán las ventajas económicas que proporciona una correcta Selección Integral de los equipos de bombeo. A continuación se darán algunas aplicaciones importantes de las Bombas:

III.10.1.-Aplicación en la Industria Petrolera.

La industria petrolera tiene particular importancia dentro de cualquier sistema económico, especialmente en México constituye la fuente de recursos más importante del país. Para efectos de clasificación, las bombas que se usan en la industria petrolera pueden ser agrupadas en ocho categorías: perforación, producción, transporte, refinería, fracturación, pozos submarinos, portátiles y de proporción.

El petróleo es, después del agua, el líquido que más comúnmente se maneja con bombas. Siendo esto así, es sorprendente que el número de tipos de bombas que se usan en la industria del petróleo es relativamente pequeño, comparado con otras industrias. En esta industria es característico un alto grado de normalización de bombas.

Bombas sumergibles.- Las bombas sumergibles operadas por motor eléctrico, se usan en algunos pozos de petróleo. La capacidad de estas unidades varían de 705 lt a 528 m3 por día dependiendo del tamaño y capacidad de la bomba. El consumo de potencia es de alrededor de .046 kwhr por lt y por 1000 m de elevación. La eficiencia de la bomba es un generalmente promedio un 50 por ciento.

Bombas portátiles.- Se usan bombas portátiles autocebantes, de uno o varios pasos en la perforación de pozos de prueba, para chorrear agujeros existentes y para protección contra incendio.

Transportes.- En México existen miles de Kilómetros de líneas de tubería para el transporte de petróleo que se dividen en tres clases de líneas: petróleo crudo, beneficio y producto. Puesto que las tuberías pueden competir con otros métodos de transporte: tanques, pipas, etc., se espera una continuada expansión de las líneas de tubería.

Se notan algunas tendencias importantes de las tuberías al presente: éstas son:

1.) El uso de mayor diámetro para las tuberías. -se usa tubería de 914 mm en algunas líneas, comparadas con los tamaños de preguerra de 30.5 cm o menos-. Una tubería de 762 mm requiere tres veces más acero que una de 30.5 cm pero maneja ocho veces más crudo por año.

2.) Las estaciones de bombeo a la interperie, sin cubierta para las bombas y sus motores se hacen más populares.

3.) La operación automática de estaciones principales y de elevación está muy extendida y promete hacerse aún más popular.

Bombas de tubería.- Se usan actualmente bombas del tipo voluta, carcasa bipartida, horizontales, de varios pasos y bombas del tipo de difusor en un gran número de líneas de tubería. Para este servicio generalmente vienen provistas con sellos mecánicos y están movidas por motor, turbina, o máquina de combustión interna. Algunas bombas reciprocantes verticales de varios cilindros se usan en líneas principales y de concentración. Pero las bombas centrífugas son las comunes y más populares para servicio de

líneas principales. En servicios de líneas de elevación la bomba de turbina vertical ha encontrado aplicaciones extensas en años recientes manejando crudos, gasolina, combustibles diesel, etc. Las bombas rotatorias para transporte del aceite están confinadas a capacidades pequeñas y medianas, excepto en tanques y estaciones de carga en que se usan grandes unidades.

Estaciones de carga.- Algunas tuberías terminan en estaciones de carga para tanques, otras en estaciones de transferencia y almacenamiento para transporte por carretera y ferrocarril. Las bombas horizontales del tipo de voluta de uno o varios pasos, las bombas de turbina verticales y varios diseños especiales de bombas verticales se usan en estaciones de carga, barcasas, tanques subterráneos, etc. También se usan bombas de impulsores de turbina combinada cuando el NPSH es un factor crítico.

Combustibles aeronáuticos.- El extremo final de algunas entregas de combustible se encuentra en sistemas de almacenamiento de combustibles subterráneos en aeropuertos. Las bombas que se usan para entregar combustibles a los aviones se asemejan a las de barcasas. Los combustibles de aviones a chorro, con líquidos como JP-4, son particularmente peligrosos y deben manejarse cuidadosamente debido a que una chispa de electricidad estática que se produzca a lo largo de la superficie líquida en los tanques que se llenan a gran velocidad puede ocasionar un incendio.

Las cargas estáticas se forman durante el bombeo del petróleo. Reduciendo la velocidad del bombeo, se logra que se desarrollen cargas menores. Una compañía llena los tanques de almacenamiento de JP-4 a 1,762 lts por hr. por los primeros 76 mm de combustible en el tanque, aumentando la velocidad a 3,520 lts por hr. por los siguientes 84 mm. El tanque se llena a través del tubo de purga de agua hasta que la profundidad es de unos 91 mm. Las especificaciones para bombas de aprovisionamiento de combustible están publicadas por la Autoridad de Aeronáutica Civil, así como por el Ejército, la Marina y la Armada.

Estaciones de bombeo.- Hay muchas opiniones en favor y en contra de las estaciones a la intemperie, pero su empleo está en aumento. Existe ya un gran número de estaciones de bombeo operadas eléctricamente hoy día que utilizan energía comprada en muchos casos. En algunas estaciones la energía eléctrica se genera en el mismo lugar. También son muy populares las bombas movidas por máquinas diesel. La turbina de gas está aumentando en su uso. Las estaciones de inyección frecuentemente usan bombas reciprocantes de pistón o émbolo debido a que deben desarrollar una presión mayor que la existente en la línea principal para forzar el líquido a la misma en un punto intermedio de su longitud. Se usan sistemas de control y comunicación de microonda en muchos oleoductos modernos de estaciones, puntos de inspección y otros. Las nuevas turbinas están ahora usando tubería de plástico para algunas de sus líneas.

Refinerías.- La Norma API 610 señala las especificaciones generales para bombas centrífugas de servicio general en refinerías, sellos mecánicos de flechas y bombas verticales de procesos. Las bombas de refinería deben tener una carcasa dividida a ángulos rectos con la flecha si:

- 1.) La temperatura del diseño es de 177°C o mayor.

2.) La bomba maneja líquidos tóxicos o inflamables con una presión de vapor mayor a 1 Kg/cm² a la temperatura de bombeo o a 38°C tomando la que sea mayor.

3.) La bomba maneja líquidos inflamables o tóxicos con densidades menores a 0.825 a la temperatura de bombeo, combinadas con una presión de succión que excede a 10.5 Kg/cm².

4.) La presión de succión excede 17.6 Kg/cm². La carcasa de estas bombas debe ser hecha de acero vaciado, forjado, al carbón o de aleación.

Las bombas de refinería manejan una gran variedad de líquidos calientes y fríos y en una amplia región de presiones. Un ejemplo de este tipo de bomba lo constituye una bomba Allis Chalmers, esta unidad se construye en siete tamaños para manejar hasta 82 lps a columnas de 183 m, temperaturas de 427°C. Una bomba de refinería con difusor de dos pasos puede desarrollar columnas mayores. Igual que la bomba anterior, está provista de un collarín de retención para eliminar las fugas de líquidos inflamables más allá del empaque. Así mismo enfría la flecha y cubreflecha. El empaque de la flecha está enfriado por agua. Los sellos mecánicos deben usarse en lugar de empaque.

Las bombas del tipo de proceso se usan muchos para servicios generales y medianos en refinerías modernas. Las capacidades de estas unidades varían, pero una línea típica maneja de 1.2 a 34.7 lps a presiones de 21 Kg/cm², temperaturas hasta 260°C. La mayor parte de los diseños están provistos de collarines para servicio de refinería. Se usan sellos mecánicos o empaques. El mantenimiento es simple. Los acoplamientos del tipo espaciador se usan frecuentemente en las bombas de proceso y de refinería.

Las bombas del tipo de barril horizontales y verticales encuentran muchos usos para servicios en carga de refinería, caliente o frío. En una bomba de difusor típica del tipo de barril para bombeo de aceite caliente, debido a que las presiones y las temperaturas son altas y la presencia de la acción corrosiva de los crudos, las bombas de carga de aceite caliente presentan muchos problemas de diseño.

Se usan muchos otros tipos de bombas centrífugas en las refinerías, y plantas petroquímicas de gasolina y similares en la industria del petróleo. Estas incluyen bombas de acoplamiento estrecho, portátiles autocebantes, de turbina vertical, de turbina regenerativa, químicas sumergibles, de sumidero y de atarjeas. Un gran número de bombas rotatorias y reciprocantes se usan también en refinerías. Las bombas rotatorias manejan los productos crudos y refinados y pueden estar provistos de camisa de vapor cuando manejan crudos extremadamente viscosos. Las bombas reciprocantes de alta presión se usan para el reciclaje de aceite limpio y para manejar gasolina natural y muchos otros productos, dependiendo del proceso. Otras bombas reciprocantes alimentan productos químicos, inhibidores de goma, deactivadores de metales, extraen la sal de los crudos, odorizan el gas natural, etc.

Bombas especiales.- Se usan muchas en refinerías. Para el reciclado de residuos, del fondo de las torres de separación y de aceite negro, donde se maneja coke de tamaño y formas irregulares, se usa una bomba del tipo de quebrador de coke. Estos contienen un quebrador en la cámara de succión localizado al frente del ojo del impulsor.

Cualquier coque sólido en el bombeo debe pasar a través del quebrador antes de entrar al impulsor. Las partículas de coque pulverizado son lo bastante pequeñas para pasar libremente a través de la bomba y de todo el equipo del sistema.

Las unidades alkylation usan frecuentemente bombas de circulación del tipo de propulsor construidas en el reactor o contacto. También se usan las bombas de impulsor horizontal. Los sellos mecánicos dobles bañados de aceite se usan para las flechas de las bombas. La capacidad usual de la bomba principal es de 630 lps o mayor a columnas de 15 m o menores. La bomba se mueve frecuentemente por una turbina de vapor a través de una reducción de engranes, a 500 y hasta 1,200 rpm. Las bombas que manejan ácidos o hidrocarburos deben estar provistas de un aditamento para inyectar aceite en el estopero o sello mecánico, si hay peligro de corrosión o fugas. En servicio de aceite rico o limpio, se usan generalmente dos o más bombas en una sola flecha. Para resolver los problemas de empaque actualmente muchas refinerías se han normalizado en el uso de sello mecánicos para casi todas bombas; otras refinerías y tuberías usan las bombas sin cajas de empaque adecuadas para este servicio.

III.10.2.- Aplicación en Centrales Eléctricas:

Una planta generadora, se traduce en la conversión de energía química potencial del combustible en energía eléctrica.

En su forma más sencilla, consiste de una caldera y una turbina manejando un generador eléctrico.

La caldera, es un mecanismo para transformar agua en vapor.

El chorro de vapor fluyendo por la salida, hace girar las hélices y se corta el campo magnético.

En este tipo de aplicaciones, las bombas centrífugas pueden cubrir la mayor parte de los servicios. Las bombas reciprocantes para alimentación en plantas de vapor de baja presión (hasta unos 28 Kg/cm²) pueden ser horizontales o unidades verticales de acción directa. Estas pueden obtenerse en numerosos diseños, algunos provistos con receptores de condensado que tienen controles de flotador para arrancar y parar la bomba.

Recientemente, las bombas regenerativas de turbina han encontrado muchas aplicaciones para servicio de alimentación en plantas de baja presión. Estas pueden o no tener receptor, dependiendo de los requisitos. Las bombas centrífugas horizontales de uno o varios pasos, del tipo de voluta encuentran aplicación en instalaciones de baja presión cuando el gasto excede de unos 6 litros por segundo.

Las plantas de presiones medias, de 28 a 84 Kg/cm² usan bombas centrífugas del tipo voluta de varios pasos y carcasa dividida con tres a seis pasos.

El difusor de pasos múltiples dividido horizontalmente y las bombas de retorno, del tipo de barril y de varios pasos, se usan también en esta región de presiones y hasta unos 112 Kg/cm², se emplea un disco o tambor de balance.

Las bombas reciprocantes del tipo de potencia también se usan en servicio de alimentación para plantas de vapor de presiones medias. Estas comparten el campo de aplicación con las dos anteriores en las presiones más altas y se usan frecuentemente para alimentación de sobrecalentadores.

Las bombas de potencia se controlan con facilidad automáticamente, en forma de línea recta, sin pasos, desde 0 a 100% de capacidad nominal.

Su uso en servicios de alimentación parece ir en aumento, particularmente en instalaciones marinas.

Las plantas de alta presión (84 Kg/cm²) usan bombas de difusor de varios pasos y carcasa dividida hasta unos 112 Kg/cm²; los diseños de algunos fabricantes permiten presiones algo mayores. Las bombas reciprocantes de tipo de potencia son populares también en esta región. Más allá de unos 140 Kg/cm², la bomba centrífuga de varios pasos de tipo barril de doble carcasa es la elección más común.

Arriba de unos 110 Kg/cm², el mantener un sello hermético en bombas divididas horizontalmente es frecuentemente un problema. De manera que se aplican bombas de barril del tipo difusor hasta de doce pasos ya que el sellado de sus extremos es algo más fácil. Las presiones desarrolladas por las unidades de este diseño llegan hasta unos 420 Kg/cm². La temperatura del agua manejada en servicio de alimentación puede ser de 370°C o aún mayor. La primera planta de superpresión es la Estación Philo de la Ohio Power Co., que utiliza dos bombas de este tipo en serie para alimentación de calderas. La bomba de baja presión descarga cerca de 140 Kg/cm² a la de alta presión que a su vez descarga a 387 Kg/cm².

Las tendencias presentes indican que otras plantas de superpresión usarán bombas de alimentación de alta velocidad, de 9,000 a 15,000 rpm, debido a que puede desarrollarse mayor columna por paso con impulsores de diámetros menores. Así, se hará menos uso de las unidades de 3,600 rpm (que ahora son normales) en plantas que operan a presiones extremadamente altas. Las bombas del tipo difusor de alta velocidad probablemente desarrollen de 35 a 70 Kg/cm² por paso, comparado con 21 Kg/cm² por paso al presente.

En el futuro inmediato, las más populares serán las bombas movidas por motor eléctrico con engranes de aumento para este servicio.

La planta futura de alta presión probablemente tendrá bombas de alimentación operadas a velocidades superiores a 3,600 rpm, ya sea a velocidad superior o inferior a la crítica. Las bombas de reserva probablemente se eliminen, ya que la experiencia actual muestra que las bombas del tipo de barril, pueden operar con toda seguridad arriba de unas 100,000 Horas, sin que necesiten abrirse para inspección o ajuste. Las unidades movidas por turbina operan a alta velocidad y desarrollan altas presiones en unos cuantos pasos; encuentran aplicación tanto en plantas estacionarias, como marina, para alimentación de alta presión.

III.10.3.- Aplicación en la Generación de Energía Nuclear.

La industria química durante mucho tiempo buscó una bomba centrífuga a prueba de fugas para empleo en procesos, sin embargo, no fue sino hasta el advenimiento de las plantas de energía nuclear que se inició un estudio profundo del problema. Antes de esto, las únicas compañías Norteamericanas que estudiaban activamente los requisitos de servicio de bombeo a prueba de fugas era la Chempump Corporation, The Fostoria Pressed Steel Co. (bajo licencia de la Zenith Engineering Corp.) y la

Westinghouse Electric Corp. Las bombas desarrolladas de estos estudios fueron unidades relativamente pequeñas.

En los primeros pasos de diseño de las plantas de energía nuclear la Comisión de Energía Atómica del gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica (CEA) tuvo necesidad del desarrollo de dos bombas selladas herméticamente. Las firmas que se avocaron a su desarrollo fueron la Allis-Chalmers Manufacturing Co. Byron Jackson Co. y Westinghouse Electric Corp. Las bombas requeridas eran:

- 1.) Una bomba de 252.4 lps para desarrollar 7 Kg/cm² manejando agua a altas temperaturas y a alta presión (140 Kg/cm²)
- 2.) una unidad de 9.46 lps para desarrollar 8.44 kg/cm² manejando agua a alta presión y a alta temperatura.

La primera unidad fue la bomba de enfriamiento principal y la segunda una bomba de servicio hidráulico para una planta atómica.

De estos y otros estudios y pruebas, han surgido un gran número de bombas muy apropiadas para diversos tipos de reactores y unidades nucleares. Se han desarrollado presiones hasta de 350 kg/cm² a temperaturas de 650°C en algunas de ellas. Los líquidos manejados incluyen agua pesada, agua radiactiva, sodio líquido, lodos radioactivos y bismuto líquido. Aun cuando es prematuro el determinar qué diseño o diseños de bombas habrán de convertirse en selecciones normales, son muy interesantes algunos detalles de muchas de esas bombas. Un conocimiento de éstos es útil para elegir bombas en aplicaciones nucleares.

Las condiciones de carga y capacidad de las aplicaciones nucleares no son severas: las cargas son moderadas (del orden de 7 a 14 kg/cm²) mientras que las necesidades de capacidad son de moderadas a grandes (hasta unos 315 lps, al presente). Lo que introduce problemas de diseño y manufactura es el requisito de cero fugas, las restricciones en cuanto a los materiales de construcción y la naturaleza de algunos de los datos sobre los que se basan los diseños de las bombas. Pero estas dificultades se están venciendo rápidamente. Actualmente algunas formas tienen una línea normal de bombas obtenibles para aplicaciones de energía nuclear y otras, relacionadas a éstas o no.

Para cumplir con las condiciones de servicio de la energía nuclear por lo menos se han estudiado siete variaciones de diseño:

- 1.) Bomba de motor enlatado o encapsulado.
- 2.) Bomba de motor sumergido.
- 3.) Bomba con motor en atmósfera de gas.
- 4.) Bomba con motor en aceite.
- 5.) Bomba con fuga controlada.
- 6.) Bomba electromagnética.
- 7.) Bombas de diafragmas especiales.

Las primeras cuatro unidades son bombas de cero fugas provistas de motores de acoplamiento estrecho y la unidad herméticamente sellada en una carcasa adecuada. La quinta es una bomba de bajo costo; fugas controladas con un sello mecánico para limitar las fugas a la flecha de mando de la unidad. El motor principal de la bomba puede ser un motor eléctrico, turbina de vapor o motor de gasolina o diesel. Las dos últimas bombas son unidades de cero fugas.

III.10.4.- Aplicación en la Industria Papelera.

Los molinos de pulpa y papel, utilizan en su mayoría exclusivamente bombas centrífugas en sus operaciones de procesos. Para alimentación de productos químicos se aplican algunas bombas reciprocantes, y algunas bombas rotatorias para usos hidráulicos, particularmente de aceite. Sin embargo, su número es pequeño comparado con las bombas centrífugas.

Tipos de bombas.- Puesto que las bombas centrífugas en molinos de pulpa y papel, manejan una gran variedad de líquidos -desde agua clara hasta ácidos, cáusticos, licores, pastas y agua blanca- hay un número de unidades que se construyen para trabajos específicos en estas instalaciones. Algunas se parecen o son idénticas a las bombas químicas. Estas son unidades montadas en marco de un solo paso, succión por el extremo, con carcasa divididas vertical o diagonalmente. Las unidades que manejan pulpa con una consistencia mayor de uno por ciento por peso, generalmente se les llama bombas de pasta de papel y tienen impulsores especiales. Una característica columna-capacidad sumamente inclinada asegura un gasto aproximadamente constante, independiente del cambio de la columna de succión. Las bombas verticales se usan frecuentemente para ahorrar espacio de piso.

Otras características de las bombas modernas para pulpa incluyen un mínimo de uniones de carcasa para reducir la posibilidad de fugas, empaques de metal renovables para ambos lados del impulsor, una variedad de diseños de impulsor, el uso de un impulsor auxiliar para asegurar un buen flujo de succión y el revestimiento de la carcasa y del impulsor con hule para dar mayor vida a las partes de las bombas que están en contacto con el líquido manejado.

Cuando el líquido que se maneja es agua clara, otros líquidos neutros no abrasivos o corrosivos, las bombas normalmente de aplicación general, se usan ampliamente. Las bombas de impulsor del tipo de codo, horizontales de un paso se usan en plantas en que prevalecen condiciones de gran volumen y baja columna, como en las de proceso de cristal y sulfato de amonio y otras. La bomba se instala en el lugar de un codo, reduciendo los costos de tubería.

La naturaleza utiliza la celulosa como material de refuerzo, sostén y protección, la cual constituye un verdadero esqueleto en todas las plantas. La celulosa en el reino vegetal es la sustancia que dá rigidez a las paredes de las células vegetales y protege al protoplasma, delicada sustancia que éstas contienen.

Existe casi pura en las fibras de algodón y asociada a una sustancia compleja llamada lignina en las hojas, tallos, en las frutas y en la madera de los árboles.

En la manufactura del papel, las partes fibrosas de las plantas se reducen a pulpa es decir, que las fibras son separadas por la acción química de ciertas sustancias, las cuales remueven el material que las mantiene unidas. En México cabe mencionar que los materiales que después de la madera representan un potencial valioso para la obtención de pulpas, son el bagazo de caña, la paja y en menor importancia la yuca y los tallos de maíz. La composición de la madera es la siguiente:

- a).- Médula.- Es el filamento central de la madera.
- b).- Corazón de la madera.- Es la madera que rodea la médula, cuyo color es más oscuro que todo el resto.

c).- Anillos anulares.- Madera de primavera de color claro y madera de verano de color café rojizo.

d).- Cambium.- Capa de células vivas en donde se forman nuevas celdillas para dar origen al nuevo anillo.

e).- Corteza.- Parte exterior de la madera que protege al cambium.

f).- Rayos.- Ductos radiales por donde se conduce la savia elaborada del cambium hacia la parte inferior del tronco.

g).- Fibras.- Son las celdillas sin protoplasma que se forma en el cambium.

h).- Lámina media o lamella.- Es una sustancia que queda entre una y otra celdilla y que actúa como un cemento natural para pegar las celdillas.

i).- Vasos.- Conductos de longitud muy pequeña y diámetro relativamente grande en comparación con las celdillas y que son apropiados para la conducción de la savia.

Algunas propiedades físicas de la madera son las siguientes:

- Peso específico.- El peso específico de la madera tiene bastante importancia en la utilización de las diferentes especies para la fabricación de celulosa. La densidad de las coníferas oscila entre 0.31 hasta 0.55 estando casi siempre los valores arriba de 0.40. La composición química de la madera es: Holocelulosa (celulosa y hemicelulosa), lignina, resinas y grasas, taninos y sustancias volátiles.

- La holocelulosa es la parte insoluble que queda de la madera después de haber retirado toda la lignina. La holocelulosa está a su vez formada por celulosa y hemicelulosa.

- La celulosa es el componente más importante de la madera. Es una sustancia fibrosa insoluble en agua y en solventes como gasolina, aguarrás, acetona, alcohol, etc.

La celulosa está compuesta fundamentalmente por tres elementos; carbono, hidrógeno y oxígeno cuya combinación da lugar a las sustancias llamadas hidratos de carbono, entre las cuales están los diferentes tipos de azúcares y almidón.

Su estudio químico indica que está formada a partir de moléculas del azúcar, conocido como glucosa. Las moléculas de glucosa se unen unas con otras en gran número que oscila entre 3,000 y 5,000 para dar lugar a una molécula de celulosa. A esta molécula de celulosa se le llama fibrilla y a la unión de muchas fibrillas se les conoce como fibras.

- La hemicelulosa.- Es la parte que después de retirar la lignina se disuelve fácilmente en la solución de sosa cáustica diluida.

- Lignina.- Después de la celulosa es el segundo componente de la madera en importancia.

La lignina es uno de los principales componentes de la lámina media o lamella que rodea las fibras y que las pega.

- Resinas y grasas.- Son componentes extraños a la madera. Las resinas son ácidos, los cuales varían en composición, pero son similares a los que se encuentran en la breá.

Las grasas son sustancias que resultan de la unión de la glicerina con ácidos orgánicos. Los ácidos y las grasas que contiene la madera son solubles en éter.

- Taninos.- Son sustancias químicas que pueden convertir la piel de los animales en cuero.

- Sustancias volátiles.- La sustancia volátil más importante de la madera es el aguarrás, que se usa en pinturas.

Dadas estas condiciones de variedad, es importante resaltar que las bombas utilizadas para la industria papelera incluyen desarrollos tecnológicos tales como los recubrimientos de hule en impulsores y carcazas a fin de contrarrestar los efectos de abrasión y corrosión en el manejo de pulpas.

III.10.5.- Aplicación en la Industria Química.

Las industrias químicas son usuarios principales de bombas de todos los tipos, pero, en particular, de las centrífugas. Esta última clase se usa tan extensamente que la Asociación Americana de Normas (ASA) ha considerado la posibilidad de llevar acabo con la asociación de la Comisión Consultiva de la Industria Química (Chemical Industry Advisory Board) para la normalización de las bombas de proceso, centrífugas de baja presión. Este proyecto habrá de ahorrar millones de dólares a la industria química. Las bombas que se consideran son unidades movidas por motor, de un solo paso, con succión en el extremo, horizontal, en la región de capacidad de .3 a 63 lps y a temperaturas hasta de 260°C.

Bombas químicas.- Se usan hoy en día un gran número de bombas químicas verticales de carcasa dividida para una gran variedad de aplicaciones de procesos químicos de rutina. Fabricadas por la mayor parte de los constructores principales de bombas, están diseñadas para tener la máxima aplicación de servicio de proceso sin la necesidad de cambios considerables en materiales, empaques, motores, etc. Los materiales que se usan en la construcción de las partes principales de estas bombas incluyen; bronce, hierro, acero al carbón o de aleaciones, vidrio, plástico, grafito, hule duro, porcelanas, acero inoxidable y una gran cantidad de otros metales y sintéticos resistentes a la corrosión y a la erosión.

El objetivo principal en el diseño de estas bombas es una resistencia completa a la corrosión-erosión cuando manejan ácidos, álcalis y otros líquidos, facilidad de instalación, operación y mantenimiento, fiabilidad de operación. Algunos fabricantes enfatizan la facilidad de intercambios (este renglón podría ser realmente importante si se normalizaran este tipo de bombas).

Generalmente movidas por motor, la bomba química moderna normal es del tipo voluta con succión en el extremo y con impulsor abierto o cerrado, baleros de servicio pesado para flecha y un estopero convencional y en algunos diseños, la provisión para enfriamiento por agua del empaque cuando la temperatura del líquido bombeado excede de 150°C. Si se desea, puede substituirse el sello mecánico por el empaque. Algunos fabricantes suministran un adaptador que puede atornillarse a la carcasa, ya sea en el campo, para permitir el cambio de empaque a sello mecánico, o viceversa. La carcasa dividida verticalmente permite el uso de un empaque circular de una pieza. Aun cuando la mayoría de las unidades son de un solo paso, se pueden obtener diseños normales similares para dos pasos.

Aun cuando existen naturalmente diferencias en el diseño de bombas químicas de un fabricante a otro, existen también un número sorprendente de semejanzas. Casi todas las bombas existentes hoy en día son de succión en el extremo, voluta, carcasa dividida verticalmente, y movidas por motor. Los líquidos que se manejan incluyen ácidos, bases, sales, acetatos, hidrocarburos, cloruros, almidones, aceites, etc. Algunas están montadas

en bases, otras, que deben manejar líquidos a temperaturas más altas tienen montaje en la flecha. La lubricación por grasa es normal para temperaturas de líquido hasta de 204°C. Arriba de ésta se usa aceite.

Bombas de proceso.- Este tipo, aun cuando se asemeja a la bomba química en muchos aspectos, se diseña generalmente para temperaturas de trabajo algo mayores. El mismo criterio de diseño se encuentra, sin embargo, en ellas: simplicidad, fiabilidad de operación, intercambio. Con algunos fabricantes hay grandes semejanzas entre el diseño de sus bombas químicas y sus bombas de proceso: como en otros, los dos tipos son completamente divergentes.

Generalmente se trata de una bomba de tipo voluta con succión en el extremo, de un solo paso, con carcasa dividida verticalmente. La bomba está soportada en el eje central horizontal para asegurar el alineamiento correcto a lo largo de todo el rango de temperatura de operación a la unidad. Para facilitar la instalación, la boquilla de succión puede ser vertical y horizontal: La boquilla de descarga es siempre vertical. Pueden usarse empaques o sellos mecánicos. La carcasa se construye generalmente extra gruesa, para dar un margen de amplio para corrosión y erosión con un factor de seguridad.

Un fabricante estima que con sólo seis juegos de extremos líquidos, adecuados para montarse sobre el motor, turbina o marco de baleros, pueden obtenerse 111 tamaños y disposiciones diferentes de sus bombas químicas y de proceso. Combinando estos tamaños con los diferentes materiales existentes, y modificaciones de diseños normales, existen más de 60,000 bombas disponibles. Sin embargo, todas estas unidades están construidas con partes normales. Algunas de las bombas nuevas hoy en día tienen colectores especiales adaptados a los estoperos para coleccionar y purgar cualquier fuga de la caja. Se usan sellos mecánicos dobles para líquidos extremadamente corrosivos o temperaturas muy altas.

Aun cuando no existen reglas fijas, la columna desarrollada por la mayor parte de las bombas de proceso y químicas hasta la fecha es alta a moderada: 6 a 250 m de líquido. Las capacidades varían hasta unos 315 lt por segundo para temperaturas hasta 420°C.

Servicios en Alta Presión.- Las bombas de voluta divididas horizontalmente de varios pasos se están haciendo más populares en la plantas de proceso y químicas modernas para servicios de hidráulica de presiones medianas y altas. Cuando se requieren presiones mucho más altas, se usan bombas del tipo de barril. Generalmente se utilizan impulsores opuestos para balancear el empuje axial dentro de la bomba y se usan chumaceras de mango o de balas. Cuando se tiene un NPSH limitado, frecuentemente se aplican las bombas verticales de uno o varios pasos al manejo de químicos. Estas se obtienen en una gran variedad de diseños, con sellos mecánicos o empaques. Las capacidades llegan hasta 315 lps, columnas hasta 305 m. temperaturas hasta 204°C, o más.

Bombas de cero fugas.- Las bombas de movimiento magnético se construyen tanto en diseños horizontales como verticales. Los extremos de movimientos y mojado están completamente separados por un diafragma no magnético. El líquido bombeado sirve como lubricante para la bomba. Este diseño es especialmente adecuado para líquidos peligrosos, tóxicos, odoríferos, extremadamente calientes o fríos o altamente corrosivos. Las capacidades presentes llegan hasta 9.5 lps, las columnas hasta 21 m.

Puesto que la bomba no usa empaques, sellos o lubricantes externos, es completamente a prueba de fugas y puede usarse siempre que se requiera una seguridad completa de que no existan fugas.

Bombas de turbina.- Las bombas de turbina regenerativas de succión lateral, montadas en el extremo de un solo paso, encuentran muchas aplicaciones en plantas químicas para manejar ácidos, acetatos, sales, propano, butano, etano, freón, etc. Las capacidades usuales varían de .3 a 6.3 lps. a presiones diferenciales de 17.6 Kg/cm². Se pueden obtener en una gran variedad de materiales de construcción para diferentes líquidos. Se usa ya sea empaque o sellos mecánicos para evitar fugas en la flecha de estas bombas.

III.10.6.- Aplicación en la Industria Textil.

Las bombas de fábricas textiles manejan una gran variedad de líquidos comunes. Estos incluyen agua, colorantes, sulfuros de carbono, ácidos, sosa cáustica, acetados, solventes, sosa comercial, alcohol, decolorantes, peróxido de hidrógeno, sales, engomados y butano. Algunos procesos, por ejemplo la producción de fibras sintéticas requieren control extremadamente cuidadoso de las condiciones de bombeo. En esta aplicación particular, la presencia de materia extraña puede alterar el color de la fibra: de manera que es esencial una libertad absoluta de productos de corrosión o de erosión. La elección de aleaciones de alta calidad para construcción de bombas puede pues justificarse en este servicio. Toda clase de bombas se usan en las instalaciones textiles modernas.

Se usan muchas bombas de medición y proporción en las aplicaciones textiles para manejar las soluciones de decoloración control del pH del agua para lavado del rayón, control de color en el teñido, carbonización de la lana, etc.

Las bombas centrífugas se aplican extensamente en los departamentos de proceso y manufactura de todo tipo de instalaciones textiles. Cuando se maneja agua y otros líquidos limpios y fríos, no corrosivos, se usan bombas de diseño general de varios tipos. También se usan bombas del tipo de proceso. Para ácidos y bases, incluyendo materiales tales como engomado caliente se usan bombas del tipo químico. Algunos diseños tienen estopero trabajando bajo presión de succión y usan un impulsor semiabierto con cuñero. Algunas bombas de licores de teñido tienen una válvula de cuatro vías, que permiten la inserción del flujo en la cuba sin parar la bomba. Para manejar latex, las bombas tienen aditamentos especiales para desarmarse rápidamente y éstos se usan frecuentemente para permitir un limpiado fácil. Estas unidades son similares o idénticas a las bombas centrífugas del tipo sanitario.

Columna y Capacidad: En las instalaciones textiles se usan columnas de bajas a medianas, y la presión requerida raramente excede 14 Kg/cm². Las capacidades pueden ser de medianas a grandes, dependiendo de la aplicación. **Materiales:** En instalaciones textiles se usan ablandadores de agua de zeolite, que dan una agua suave que se maneja muy fácilmente en bombas con aditamentos de bronce. **Accionamiento:** Los más comunes son los motores eléctricos, aunque en las plantas grandes se usan también turbinas de vapor. Las bombas de motor enlatado están creciendo en popularidad en el campo textil.

Respecto al NPSH, debe cuidarse que este sea suficiente, especialmente con engomado caliente y los similares. Control: El tipo común de control de bombas es por estrangulamiento de la descarga en este servicio. Empaques: Son populares los empaques de teflón y sellos mecánicos, dependiendo del líquido manejado. Número de Bombas: Generalmente una por servicio, con relativamente pocas unidades de reserva.

III.10.7.- Aplicación en la Producción del Hule.

Las bombas en la industria del hule manejan un gran número de líquidos diferentes, incluyendo solventes, aceites suavizadores, sosa caústica, pigmentos, licores, latex, ácidos, butadieno, estireno, salmueras, catalizadores, solución de jabón, modificadores, etc. Las bombas centrífugas encuentran muchos usos en los casos de grandes gastos a presiones bajas o altas. Las bombas recíprocas de medición y proporción se aplican en flujos pequeños a presiones altas. Los usos típicos incluyen rellenos de medidores, lubricantes y otros ingredientes de composición. Manejo de gelatinas y óxidos, control de flujo de butadieno y estireno, etc. En la producción de aceleradores de hule se usa una bomba recíproca de carrera ajustable duplex a 70 Kg/cm². Esta provista de un motor de velocidad variable. Las bombas rotatorias encuentran también uso para muchos servicios.

Las bombas para proceso y manufactura del hule se eligen de manera muy similar a las de papel y plantas textiles y químicas. Las bombas de medición y proporción manejan butadieno, estireno, gelatinas de fluoruro, óxido de cinc, rellenos, lubricantes e ingrediente de composición en la producción de hule sintético y natural. Las bombas rotatorias de un solo tornillo se usan para manejo cemento de hule y solventes.

III.10.8.- Aplicación en la Industria Alimenticia.

Las bombas sanitarias están diseñadas específicamente para manejar alimentos. Estas tienen frecuentemente muchas características especiales que no son necesarias en otros tipos de servicios. Para poder servir en aplicaciones de alimentos una bomba debe:

- 1.) Ser altamente resistente a la corrosión.
- 2.) Fácil de desarmar para su limpieza.
- 3.) No debe triturar el alimento o producir espuma.
- 4.) Debe tener un sistema de lubricación absolutamente estanco.
- 5.) Debe estar libre de partes sujetas a desgaste o frotamiento durante su operación
- 6.) Debe tener empaques positivamente sellados del interior de la carcasa.
- 7.) Debe tener pasajes internos en la carcasa que sean tersos y libres de esquinas abruptas o cambios pronunciados en su superficie.

Existe un gran número de bombas centrífugas, rotatorias y recíprocas para usos sanitarios, que llenan estos requisitos. Muchas están provistas de conexiones sanitarias en las boquillas de succión y de descarga de manera que el impulsor y la carcasa pueden quitarse fácilmente para su

limpieza. Las tuberías y accesorios que se usan con las bombas sanitarias generalmente son de acero inoxidable, aleaciones de níquel, hule duro, cristal o plástico. La bomba misma está hecha de acero inoxidable, monel, aluminio, hierro, cristal, porcelana u otras aleaciones especiales. Además de resistir al alimento, los materiales de construcción deben resistir los detergentes, jabones y agentes germicidas que se usan en el limpiado y lavado de la bomba. En muchos procesos de alimentos la bomba debe abrirse y limpiarse por lo menos una vez al día.

Debido a que los impulsores de muchas hojas dañan algunos alimentos frágiles, frecuentemente se usan impulsores sin aletas e impulsores de tornillo de una o dos aletas en bombas centrífugas diseñadas para manejar una gran variedad de alimentos. Las manzanas, naranjas, maíz, fresas, habas, ostiones, camarones, huevo, aceitunas, col de bruselas, jugo de frutas y muchos otros alimentos pueden manejarse con seguridad por impulsores sin paletas.

Las bombas centrífugas del tipo de proceso, se pueden obtener para muchos alimentos que tienen un bajo contenido de sólidos: jugo de caña, de uva, de jitomate, puré de tomate, licor de azúcar, aceite vegetal, etc. Estas se construyen en capacidad hasta 126 lps. y columnas hasta 61 m. según datos de un fabricante. Un solo diseño de bombas cubre esta región, simplificando la selección. La mayor parte de los grandes fabricantes tienen un diseño de este tipo. Las bombas centrífugas de tipo químico, se utilizan también para alimentos que tienen bajo contenido de sólidos. Sin embargo, su uso se confina generalmente a alimentos corrosivos.

Las bombas sanitarias generalmente se suministran ya sea como bombas montadas sobre pedestal o de acoplamiento estrecho. Pueden estar provistas por un sello de collarín removible, un sello rotorario enfriado por agua, o un sello de carbón inerte. Se construyen en capacidades hasta de 63 lps y columnas hasta de 66.1 m para manejar leche, tomates, zanahorias en cubos, sopas y concentrados para sopas. La columna de bombeo y todas sus partes deben estar hechas de acero inoxidable u otras aleaciones adecuadas. Los movimientos recomendados incluyen motores, turbinas y máquinas de combustión interna, ya sea conectadas directamente o por banda.

Existen bombas que se usan para manejo de masas, pulpas, sólidos, etc. Las bombas centrífugas portátiles encuentran también alguna aplicación en las industrias de alimentación. Estas deben, desde luego, ser de construcción sanitaria, y ha de usarse en las secciones de proceso o manufactura de la planta. Las bombas inatascables de impulsor abierto succión por extremo del tipo de proceso encuentran muchas aplicaciones en el manejo de pulpa de betabel. En los ingenios, las bombas de columna mediana verticales de flujo mixto son el tipo principal que se usa para circulación de carbonación. En estos servicios se requieren grandes gastos a columnas moderadas. Se usan impulsores de acero inoxidable y columnas de descarga de acero soldado. Las bombas de lechada de cal o kieselguhr son generalmente unidades de impulsor abierto succión simple de un solo paso diseñadas para manejar abrasivos. La carcasa está atornillada para facilidad de remoción. Tiene una dureza de 600 brinell. Otras unidades de proceso para ingenios incluyen bombas para licor normal, almacenamiento, lactosa, jugos ligeros, filtrados y jaleas. Todas son generalmente bombas del tipo proceso de un solo paso.

III.10.9.- Aplicación para el Suministro de Agua.

Fuentes de agua dentro de la tierra.- El agua que se bombea de pozos abajo de la superficie de la tierra suministra un alto porcentaje de la cantidad total de agua que se usa diariamente en el mundo. El resto viene de fuentes de superficie. En plantas industriales, alrededor del 13.5 por ciento del agua que se utiliza viene de pozos, 19.8 por ciento viene de suministros públicos de agua y el 66.7 por ciento viene de fuentes de superficie. El agua salada constituye alrededor de 21.3 por ciento de las tomas de aguas industriales. Es interesante notar que el 52.6 por ciento del total del agua industrial se recircula para usarse de nuevo.

Pozos Profundos.- Las bombas del tipo difusor de varios pasos, se usan mucho para servicio de pozo profundo. Las unidades de este diseño general se llaman comúnmente bombas tipo turbina verticales. (no deben confundirse con bombas de turbina regenerativas)

Las bombas turbinas verticales pueden ser lubricadas por aceite o por agua. Cuando se tienen chumaceras lubricadas con aceite se usa un tubo de cubierta de flecha. El líquido manejado por la bomba sirve como lubricante en las bombas lubricadas por agua. En estas no se necesita cubreflecha, por lo que se conoce como bomba de flecha descubierta. Las bombas turbinas verticales pueden ser movidas por motores eléctricos, turbinas de vapor o máquinas de gasolina o diesel. Las bombas lubricadas por agua se usan cuando se requiere agua absolutamente libre de aceite o cuando algunos cuerpos reguladores deciden que hay una probabilidad remota que el aceite que se usa para lubricación pueda contaminar el agua bombeada. Hay sin embargo, defensores de ambos tipos de construcción.

Las bombas turbinas verticales de pozo profundo se fabrican comúnmente para pozos perforados de 153 mm de diámetro y mayores. En muchas áreas el perforado es de 30 mm, pero los tamaños intermedios son populares en instalaciones industriales y municipalidades pequeñas. Se han construido bombas de hasta 760 mm de diámetro y las hay disponibles en el mercado. Además de agua, estas bombas pueden manejar aceite, líquidos volátiles, químicos, etc.

Las bombas de varios pasos para servicio de pozo profundo desarrollan columnas de más de 460 metros y manejan gastos hasta de 1,900 lps. El número de pasos elegido depende de la columna que deba desarrollarse siendo la elevación de presión uniforme en cada paso. Las bombas de alta columna pueden tener 20 o más pasos, pero la mayor parte de las unidades que se usan hoy en día tienen generalmente menos.

Los impulsores son generalmente cerrados o semiabieretos. Los difusores, se extienden hacia arriba en los tazones de la bomba. Para las condiciones promedio del agua, los materiales que se usan para el impulsor incluyen bronce, hierro de fundición gris de grano fino, hierro de alto níquel y hierro esmaltado con porcelana. Los tazones revestidos con porcelana también se fabrican pero no se usan extensamente debido que el impulsor está sujeto a mayor acción de corte que los tazones. Nótese que el ademe del pozo no es parte de la bomba.

Bombas de Motor Sumergido.- En este diseño, una bomba centrífuga del tipo difusor, vertical, se monta directamente sobre un motor de pequeño diámetro que opera sumergido en el agua del pozo en todo tiempo (también llamadas motobombas sumergibles). La tubería de descarga, llamada

también tubo de columna o elevador, soporta el peso de la bomba y el motor. Los motores usados con bombas de este tipo, se diseñan para gran servicio sin atención. En caso de una falla en el motor, debe extraerse toda la bomba del pozo. Esto es una desventaja en pozos extremadamente profundos.

Muchas bombas de motor sumergido se construyen para columnas de hasta 3,660 metros y capacidades de 25 lps a temperaturas del líquido de 132°C. Algunas bombas mayores de este tipo tienen más de 100 pasos. Muchas bombas de motor sumergido de varios diseños se usan a la fecha tanto para pozos poco profundos como profundos, especialmente cuando el pozo está desviado. Con todas las bombas de este tipo, es necesario una conexión de lubricación entre el motor y la superficie, así como un cable de energía.

Bombas de Eyector.- Estas, (también llamadas tipo Jet) combinan una bomba centrífuga de un solo paso en la parte superior del pozo con una boquilla de chorro o eyector localizada en la pantalla de succión del pozo. Una parte del agua descargada por la bomba fluye hacia abajo y a través del eyector, en donde coopera para mejorar el flujo que va a la bomba, subiendo por el tubo de descarga.

Para pozos de poca profundidad, con una elevación de menos de 7.60 metros, el eyector se coloca generalmente sobre la superficie, en la carcasa de la bomba, en lugar del pozo. Esto permite un mantenimiento más fácil. Para profundidades mayores el eyector se encuentra en el pozo y la bomba, que puede ser horizontal o vertical, en la superficie.

Las bombas de eyector son más adecuadas para elevación de 7.60 metros o más con capacidades hasta 3.16 lps de descarga neta (= capacidad de la bomba - cantidad usada en el chorro). Son comunes las elevaciones hasta 38 metros, y algunas bombas operan con elevaciones de 45.7 metros. En general la eficiencia de una bomba de eyector en elevaciones altas es reducida; hay otros diseños mejores para servicio de columnas altas.

Bombas de Rotor Helicoidal.- Estas se asemejan a las bombas turbinas lubricadas por agua, excepto en el extremo líquido y su conexión a la flecha. En lugar de un impulsor la bomba está provista con un rotor helicoidal que opera en un estator bihelicoidal. El agua atrapada en las depresiones del estator se desplaza positivamente por el contacto móvil continuamente hacia arriba del estator con el rotor. Un tubo de transmisión flexible arriba del rotor amortigua los efectos de los movimientos del rotor y el estator. Las unidades de este tipo se diseñan para pozos profundos y capacidades de 32 a 210 lps y columnas hasta de 305 metros. Se usan pozos perforados con diámetros internos de 10 centímetros o más.

Bombas Reciprocantes.- Se usan a la fecha relativamente pocas bombas reciprocantes en pozos industriales ya que los varios tipos de bombas centrífugas obtenibles se adaptan mejor a este servicio. La cabeza de bombeo de este tipo de bombas, puede usarse con muchos tipos de extremos líquidos. El extremo líquido de doble acción se localiza en el pozo, por debajo de la superficie del agua. Las bombas de pozo reciprocantes se construyen en capacidades de 19 lps y columnas de alrededor de 240 metros de agua.

Fuentes Superficiales de Agua.- El suministro de agua de fuentes superficiales cubre las dos terceras partes del agua que se usa en la industria. Las bombas turbinas verticales de acoplamiento estrecho, encuentran muchas aplicaciones actualmente en este servicio. Estas se asemejan a las bombas turbinas verticales descritas al principio de este subcapítulo pero generalmente están diseñadas para instalaciones más reducidas. Estas unidades se usan para bombeo de lagos, ríos, lagunas, pozos, sumideros, etc. En donde se requiere un gasto de pequeño a mediano con presión alta. Las capacidades en una línea llegan hasta 1,890 lps columnas hasta 456 metros.

Para gastos medianos a grandes y a presión mediana, se usan frecuentemente bombas de flujo mixto verticales. Estas se construyen para operar a velocidades de alrededor de 400 a 1,750 rpm para entregar 32 a 6,300 lps a columnas de 6.1 a 30 metros. Este tipo, generalmente tiene una velocidad específica de entre 143 y 307, es ideal para manejar agua de superficie, de ríos, lagos y otras fuentes. Está excepcionalmente bien adaptada para las aplicaciones que requieren una capacidad demasiado grande para la bomba de turbina vertical y una presión demasiado alta para la bomba de impulsor. Esta llena pues el espacio entre la turbina vertical y la bomba de impulsores.

Las bombas de impulsores manejan gastos de más de 12,600 lt/seg y columnas de 0.3 a unos 15 metros. La velocidad específica es superior a 307.

Bombas de Aplicación General.- Estas son frecuentemente bombas centrífugas del tipo voluta con aditamentos de bronce de un solo paso horizontales, diseñadas para manejar líquidos limpios y fríos a temperaturas ambiente o moderadas. Encuentran gran número de aplicaciones en suministros de agua, particularmente para aguas de superficie.

Las bombas centrífugas de acoplamiento estrecho montadas en el extremo y del tipo de cuna, para suministros de agua y servicios generales aumentan en popularidad. Este diseño, permite la separación completa del extremo líquido de la bomba y de las chumaceras, permite mantenimiento fácil sin intervenir la tubería y usa solamente una caja de empaque o sello mecánico. Estas unidades son generalmente el tipo de voluta de un solo paso, pero también existen unidades del tipo voluta de dos pasos. Las capacidades ascienden a 177 lps, columnas a 175 metros.

Suministro de Aguas Municipales.- En instalaciones municipales se utilizan los mismos tipos de bombas descritos antes para suministro de agua a las industrias. Igual que las bombas de servicios industriales, se emplea una gran variedad de motores. Los motores eléctricos son los más comunes, siguiéndoles las máquinas de combustión interna, particularmente las unidades de gasolina, en instalaciones municipales. También se usan las turbinas de vapor. Cuando se eligen bombas para suministro municipal de agua, es conveniente prever futuros crecimientos en la elección de la tubería y equipo.

CAPITULO IV.

EQUIPOS PERIFERICOS.

IV.1.- Accionadores:

Para accionar una bomba centrífuga, se utilizan muy diversos equipos entre los que se pueden citar como ejemplo; los motores eléctricos, las turbinas de vapor, los motores de combustión interna, etc.

Entre los accionadores mencionados, el que abarca indiscutiblemente la mayor parte de los equipos existentes; es el motor eléctrico, por lo que solamente se hará referencia a este tipo de accionador.

IV.1.1.- Motores eléctricos.

Existe una gran variedad de motores eléctricos que se pueden dividir en dos grandes grupos: Los de corriente directa y de corriente alterna; algunos representativos de estas características se muestran a continuación:

- Motores de corriente directa:

- Tipo Serie.
- Tipo Paralelo.
- Tipo Compuesto (Compound).
- Tipo Imán permanente.

- Motores de corriente alterna:

Monofásicos:

- De capacitor permanente.
- De capacitor en el arranque.
- De polo sombreado.
- De reluctancia.
- Universal.

Trifásicos:

- Rotor devanado (anillos rozantes).
- Síncronos.
- Inducción.

Los motores de corriente directa, son preferentemente usados en aplicaciones tales como; las grandes tracciones de los transportes eléctricos, grúas, movimientos de precisión, servomecanismos, etc.

Los motores de corriente directa tienen múltiples ventajas respecto de su contraparte en corriente alterna tales como; dependiendo del tipo de conexión entre el rotor y el estator se puede lograr un excelente control del par y/o de la velocidad (esta es la razón de su alta recurrencia en las aplicaciones de transporte), esta versatilidad abre una gama de aplicaciones

que van desde la tracción de una cinta de audio o video, hasta la tracción del Sistema de Transporte Colectivo Metropolitano. Sin embargo, por lo general (y en especial en grandes tamaños), los motores de corriente directa resultan considerablemente mas costosos que los motores de corriente alterna, tanto en su adquisición, como en su operación.

Los motores monofásicos existen en un gran número, pero su aplicación se reduce practicamente al uso casero y semi-industrial ya que no se puede fabricar para desarrollar mucha potencia debido a que; el voltaje de alimentación es bajo (generalmente 127 VCA) y por lo tanto, el consumo de corriente para una mayor potencia se elevaría a niveles inaceptables, además de que la máquina eléctrica mas eficiente es probadamente la trifásica.

En la industria moderna, el motor de mayor recurrencia es, sin duda, el motor trifásico de inducción tipo jaula de ardilla, es una máquina con excelentes cualidades tales como su alta eficiencia, su bajo costo de adquisición, su facilidad de mantenimiento, entre otras.

El gran desarrollo de la electrónica de estado sólido ha permitido desarrollar "Inversores" o "Current Drivers" que permiten variar la frecuencia de la corriente de alimentación de los motores jaula de ardilla, (éste es el único método de variar por medios electrónicos la velocidad de un motor jaula de ardilla) variando así su velocidad y parámetros como el par de arranque etc.

Estableciendo una comparación entre un motor de corriente directa y un motor de corriente alterna respecto de algunos parámetros económicos//V.1) se tiene que; Un motor de corriente directa, campo en derivación de 20 HP, 1750 RPM de velocidad base, 2300 RPM de velocidad máxima, base rígida, totalmente cerrado con ventilación; pesa 404 Kg. y cuesta 4.88 veces mas que un motor de corriente alterna tipo jaula de ardilla de 20 HP, 1750 RPM, base rígida, totalmente cerrado con ventilación; el cual pesa 211 Kg. y su costo representa solamente el 20% del valor del anterior.

La comparación anterior debe tomarse con las debidas reservas ya que cada motor tiene sus aplicaciones específicas, esta es la razón de que comercialmente existan ambos tipos de motores.

IV.1.1.1.- Motores de Inducción tipo Jaula de Ardilla.

Tal como se mencionó anteriormente, los motores más utilizados industrialmente, son los trifásicos del tipo Inducción Jaula de Ardilla.

A continuación se enunciarán algunas características importantes de estos motores de accionamiento.

IV.1.1.1.1.- Enclaustramiento:

Se entiende por encierre o enclaustramiento las características de protección que proporciona la cubierta externa del motor, con respecto al medio ambiente.

Básicamente, existen dos tipos de encierre: Abierto y Cerrado; los cuales pueden adquirir modificaciones según los

requerimientos del medio ambiente en el que el motor sea instalado, como se muestra en la siguiente tabla:

IV.1.1.1.1.1.- Abierto.- Una máquina abierta, es aquella que tiene aberturas de ventilación que permiten el paso de aire exterior para enfriamiento dentro y alrededor de la máquina. Se tienen las siguientes sub-clasificaciones:

a) A prueba de goteo.- Una máquina a prueba de goteo, es una máquina abierta, en la cual las aberturas para ventilación, están construidas de tal manera, que su operación satisfactoria no es interferida, cuando gotas de líquido o partículas sólidas incidan o entren con ángulo entre cero y 15 grados respecto a la vertical. (Se conocen como APG [Abierto a Prueba de Goteo] o bien ODP [Open Drip Proof]).

b) A prueba de salpicadura.- En una máquina abierta, en que las aberturas para ventilación, están construidas de tal manera, que su operación satisfactoria no es interferida cuando gotas de líquido o partículas sólidas inciden o entran con un ángulo no mayor a 100 grados respecto a la vertical. [Splash Proof].

c) A prueba de intemperie tipo Nema I.- Es una máquina abierta, en la cual sus pasajes para ventilación están construidos, de tal manera que reducen a un mínimo la entrada de lluvia, nieve y partículas en el aire hacia las partes eléctricas, también previenen el paso de un rodillo cilíndrico de 3/4" de diámetro. [Weather Protect I].

d) A prueba de intemperie tipo Nema II.- En una máquina que además de las características definidas en la máquina tipo Nema I tiene sus pasajes de ventilación de entrada y descarga construidos de tal forma que las ráfagas de viento y de partículas del ambiente, impulsados hacia la máquina por tormentas o vientos fuertes, puedan decantar sin penetrar directamente a las partes eléctricas o al interior de la máquina.

La trayectoria normal de aire que llega a las partes eléctricas de la máquina se manejará por medio de baffles o cavidades separadas para obtener al menos tres cambios abruptos de dirección con no menos de 90 grados cada uno. Además, deberá existir un área de baja velocidad que no exceda 600 pies/minuto en la trayectoria de toma de aire para reducir la posibilidad de que entre a las partes eléctricas humedad o suciedad. [Weather Protect II].

e) Con ventilación forzada.- Es aquella máquina, en la cual la ventilación se obtiene a través de un soplador independiente montado sobre la estructura de la máquina, a este tipo de arreglo se le conoce como ventilador por soplador o máquina abierta ventilada externamente.

IV.1.1.1.1.2.- Cerrado.- Una máquina totalmente cerrada, es aquella suficientemente cerrada para prevenir el intercambio de aire entre el exterior y el interior, pero no lo suficientemente cerrada como para ser considerada hermética. Se sub-clasifican en:

a) No ventilados.- Es una máquina totalmente cerrada, la cual no es equipada con medios externos para enfriamiento [TCSV Totalmente Cerrados Sin Ventilación].

b) Totalmente Cerrado Con Ventilación.- Es una máquina totalmente cerrada equipada con medios externos de enfriamiento por uno o más ventiladores integrados a la misma. [TCCV o TEFC [Totally Enclosed Fan Cooled].

c) A prueba de explosión. [APE o XP eXplosion Proof].

- Clase I.- Es una máquina totalmente cerrada cuyo encierre está diseñado y construido para soportar una explosión de un vapor o gas especialmente en su interior, y prevendrá la ignición del gas o vapor que rodea a la máquina por chispas o productos de la explosión en su interior.

- Clase II.- Es una máquina totalmente cerrada cuyo encierre está construido y diseñado de tal manera que excluya cantidades inflamables de polvo o partículas que puedan afectar su comportamiento y no permita arcos, chispas o generación de calor que causen la ignición de acumulaciones externas o en suspensión a la atmósfera de un polvo específico sobre su encierre o en su cercanía.

d) A prueba de agua.- Es una máquina totalmente cerrada, que excluye el agua salpicada en forma de chorro, con la excepción de que podrá haber una entrada de agua a través del claro en la flecha, pero tendrá provisiones de drenado automático para que ésta no alcance los recipientes de lubricación.

e) Con intercambiador de calor-aire-aire.- Es una máquina totalmente cerrada, la cual se enfría por aire circulando en su interior y a través de un intercambiador de calor, el cual, a su vez es enfriado por circulación de aire exterior. [CACA].

f) Con intercambiador de calor-aire-agua.- Es una máquina totalmente cerrada, la cual se enfría por aire circulando en su interior y a través de un intercambiador de calor, el cual a su vez, es enfriado por circulación de agua. [CACW].

g) Una máquina totalmente cerrada ventilada por tubos, es una máquina totalmente cerrada con arreglos de entrada, tales que cuando se le conectan tuberías o ductos de entrada y salida no hay intercambio libre de aire interior y el aire exterior al encierre. Puede ser del tipo autoventilado (el aire se hace circular por medios integrados a la máquina), o ventilación forzada (el aire circula por medios externos y que no son parte de la máquina).

IV.1.1.2.- Montaje:

El tipo más común de montaje es el horizontal, anclado por medio de patas en el motor. También existen montajes verticales generalmente realizados por bridas, el uso más frecuente es en bombas verticales, en

estos casos particulares deberá tomarse especial cuidado en el valor de carga axial que el motor debe soportar.

En general, las dimensiones de bridas, patas y flechas están normados por diferentes instituciones, de acuerdo al País de origen. Entre las más importantes se mencionan: NEMA, DINBS, CONNIE, CSA, KIS, etc.

Dentro de las características de montaje se debe mencionar que la posición requerida para las cajas de conexiones, así como el sentido de giro del motor deberán tomarse en consideración.

El acoplamiento del motor a la máquina accionada puede realizarse por medio de cople rígido, cople flexible, poleas planas, bandas en V, catarinas, reductores, coples hidráulicos, coples magnéticos, etc.

Dentro de estos acoplamientos se debe tener especial cuidado en la aplicación de poleas, catarinas y coples rígidos, ya que estos elementos pueden imponer cargas mecánicas excesivas a los rodamientos del motor.

IV.1.1.3.- Construcción.

Los principales elementos componentes de un motor eléctrico de inducción jaula de ardilla son los siguientes:

a) Núcleo Estator.- Compuesto por laminaciones de material ferromagnético con alta conductividad, bajas pérdidas por corrientes circulantes e histéresis. Su función es primordialmente la de conducir el campo magnético, y también sirve de soporte mecánico al devanado estator.

b) Devanado Estator.- Constituido por una serie de bobinas aisladas e insertadas en ranuras sobre el núcleo estator. Estas bobinas están formadas por conductores de cobre o aluminio y materiales aislantes. Su principal función es la de crear el campo magnético rotatorio.

c) Núcleo Rotor.- Su construcción es similar a la del estator. Principalmente es el elemento que cierra el circuito magnético con el estator y sirve de soporte al devanado rotor.

d) Devanado del Rotor.- Puede ser un devanado similar al del estator o por barras conductoras en cortocircuito (jaula de ardilla). Es el elemento que transforma la energía electromagnética en mecánica, al reaccionar bajo la influencia del campo magnético rotatorio.

e) Flecha o Eje.- Este elemento es construido con acero y maquinados de precisión, su función es la de soportar las partes giratorias de la máquina y transmitir la energía motriz hacia la máquina accionada.

f) Rodamientos.- Existen varios tipos de rodamientos entre los que se puede citar tipo antifricción (baleros), de buje, tipo Kinsburry, etc. Tanto el tipo y tamaño de rodamiento, así como el sistema de lubricación empleado, dependerán de las cargas mecánicas impuestas por la aplicación, tales como cargas axiales, cargas radiales, posición del motor, velocidad de operación, temperatura de trabajo, dimensiones de la máquina, horas de vida

requeridas, etc. Su función es el enlace entre las partes móviles y las estacionarias.

g) Soporte del Rodamiento.- Esta parte toma diferentes formas y dimensiones dependiendo de la construcción y requerimientos especiales del motor. Generalmente, en motores medianos (500 HP o menos) forma parte integral de las tapas o cubiertas laterales; sin embargo, en máquinas grandes puede ser un elemento independiente. Su principal función es soportar en forma adecuada al rodamiento y generalmente, suministrarle los medios para su sistema de lubricación.

h) Carcaza o Soporte Principal.- Este elemento también toma formas diversas dependiendo del tamaño y tipo de construcción. Generalmente, en motores medianos forma parte integral de la base y el encierre o cubierta exterior (carcaza).

En máquinas grandes puede constar de varios elementos. Su principal función es servir de base para integrar mecánicamente a todos los elementos y servir como medio para la fijación de la máquina.

i) Cubierta o Encierre.- Este elemento también toma diferentes formas, en motores medianos está integrado a la carcaza y a las tapas externas, en grandes máquinas, es generalmente un elemento independiente que, a su vez, se ve modificado por los sistemas de enfriamiento empleados.

Su principal función es la de proteger las partes interiores de la máquina contra los agentes externos.

j) Sistema de Enfriamiento.- El sistema de enfriamiento puede ser desde simple radiación de calor, hasta complicados sistemas con intercambiadores de calor. Su función es la de remover la energía calorífica, productos de las pérdidas en los diferentes elementos de la máquina.

IV.1.1.4.- Voltajes recomendados:

Deberá existir un equilibrio entre el costo del equipo e instalación, en relación con el voltaje a utilizarse; en general, se pueden mencionar como cierta guía, las siguientes relaciones:

- 1.- Motores Monofásicos, hasta 1 HP. 115 Volts.
- 2.- Motores Trifásicos, hasta 100 HP. 220 ó 440 Volts.
- 3.- Motores Trifásicos de 125 a 300 HP. 440 Volts.
- 4.- Motores Mayores 2300, 4000, 4160, 6000, 6600, 13000, 13200 Volts.

En algunos casos, las características de la instalación eléctrica que ya existe, determinará el voltaje a utilizarse.

IV.1.1.5.- Protecciones integradas al motor eléctrico:

IV.1.1.5.1.- Detectores de Temperatura en Devanados y Rodamientos.- La función de estas protecciones es la de detectar la temperatura alcanzada en los puntos críticos del motor que generalmente son los devanados y los rodamientos. Esta señal de temperatura se utiliza según el tamaño e importancia del motor.

Los principales tipos de sensores utilizados en motores eléctricos son:

a). RID.- Es un elemento que da una señal de resistencia proporcional a la temperatura. Requiere de equipos auxiliares para utilizar la señal adecuadamente. Su tiempo de respuesta y precisión son buenos, se utilizan en máquinas grandes.

b). Termistor.- Es un semiconductor que tiene características resistencia-temperatura constantes hasta antes de su valor de calibración, arriba del cual, la resistencia se incrementa rápidamente. Esta propiedad se aprovecha en un dispositivo electrónico que operará las señales de alarma o disparo. Debido a su masa muy pequeña, tiene un tiempo de respuesta muy rápido.

c). Termopar.- Es un elemento formado por un par galvánico que genera una fuerza electromotriz proporcional a la temperatura. Su utilización se considera adecuada sólo para tener lecturas de referencia, ya que la caída en los terminales puede afectar notablemente las lecturas.

d). Termostato.- Es un interruptor formado por un elemento bimetálico calibrado para operar a una temperatura establecida.

Cuando se sobrepasa la temperatura de calibración, opera el interruptor, que puede estar en serie con la bobina de arranque o cerrar una alarma. Su tiempo de respuesta es largo y tiene limitaciones en cuanto a la corriente y voltajes que pueda manejar. Su aplicación es generalmente en motores con menos de 300 HP.

IV.1.1.5.2.- Detectores de vibración.- Son dispositivos colocados generalmente en las chumaceras, que emiten una señal proporcional ya sea a la amplitud de vibración, a la velocidad de vibración o a la aceleración de vibración. Esta señal se podrá convertir por un dispositivo adecuado, en lecturas a un tablero de control o directamente en señales de alarma o disparo para un valor límite seleccionado.

IV.1.1.5.3.- Detector de Movimiento Axial.- Es un dispositivo que detecta la posición axial del rotor en un determinado momento, o que fija los límites dentro de los cuales, la máquina puede operar satisfactoriamente. Su principal objetivo es proteger las chumaceras.

IV.1.1.5.4.- Relevador de Sobrecorriente y Temperatura.- Es un dispositivo bimetálico utilizado generalmente en motores muy pequeños, el cual maneja la corriente de línea consumida por el motor. Al obtener la temperatura de calibración, abre sus contactos sacando al motor de la línea; el calentamiento del elemento bimetálico se debe a la acción combinada de temperatura y corriente.

IV.1.1.5.5.- Calefactores de Espacio.- Estos dispositivos tienen por objetivo proteger a los aislamientos de posibles condensaciones de agua, las que pudieran ocurrir cuando el motor está desenergizado.

Cuando el motor está fuera de operación, se energizan estos elementos, suministrando una fuente de calor que mantenga las partes internas del motor a una temperatura mayor que la del medio ambiente,

evitando de esta forma la condensación. Se utilizan generalmente en máquinas grandes, instaladas en lugares húmedos.

IV.1.1.5.6.- Supresores de Impulso.- Son dispositivos conectados a las terminales del motor con la finalidad de proveer trayectorias de descarga a picos transitorios en la línea. Generalmente, se utilizan en máquinas mayores de 100 HP.

IV.1.1.5.7.- Detector de caída de fase de estado sólido.- Es un dispositivo electrónico que detecta una caída de fase o bien un desbalanceo considerable, con extremada rapidez enviando una señal de control que abre las terminales del motor, este dispositivo de reciente desarrollo es particularmente importante en los motores de tipo sumergible.

IV.1.1.6.- Aislamiento y elevación de temperatura:

Para que la vida y operación de un sistema de aislamiento sea adecuada, deberá existir compatibilidad entre la temperatura desarrollada por la máquina y la clase de aislamiento seleccionada. En la actualidad existen las siguientes clases de aislamiento:

- a) Clase A para operar satisfactoriamente hasta 105° centígrados.
- b) Clase B para operar satisfactoriamente hasta 130° centígrados.
- c) Clase F para operar satisfactoriamente hasta 155° centígrados.
- d) Clase H para operar satisfactoriamente hasta 180° centígrados.

La temperatura total de la máquina puede separarse en dos componentes; la temperatura del medio ambiente y el incremento de temperatura de la propia máquina.

Por ejemplo; una máquina con aislamientos clase F, puede trabajar en un lugar con una temperatura ambiente hasta de 40 grados centígrados, permitiendo un incremento de temperatura propio de la máquina de 105 grados centígrados, dando un rango de protección de 10 grados centígrados. Bajo estas condiciones, el aislamiento deberá operar satisfactoriamente a 145 grados centígrados de temperatura.

Deberá de tomarse en consideración, al seleccionarse una máquina, que la temperatura ambiente, ya sea natural o artificial y la elevación sobre el nivel del mar, influirá notablemente en la temperatura final de operación, y por tanto en la selección de la clase de aislamiento adecuada.

En la actualidad, ya es difícil encontrar, motores con aislamiento clase A; la mayor parte de los fabricantes, tanto Nacionales, como Extranjeros; utilizan ya el aislamiento clase F como estándar de fabricación.

IV.1.1.7.- Factor de servicio:

Se define al factor de servicio de un motor, como aquel valor especificado en la placa, que al ser multiplicado por la potencia nominal, dé la capacidad máxima que puede obtenerse en forma continua. Bajo estas condiciones, el motor no desarrollará una temperatura mayor que la clase de su sistema de aislamiento, siempre y cuando la temperatura ambiente y la altura sobre el nivel del mar sean los especificados.

Se deberá considerar que los valores de eficiencia, factor de potencia, par, deslizamiento y corriente son diferentes a las de la potencia equivalente sin considerar al factor de servicio.

El factor de servicio se deberá usar siempre como un margen de seguridad, ya que su aplicación en forma total es riesgosa, debido a posibles variaciones en el balanceo y valor del voltaje, la frecuencia o la carga demandada.

IV.1.1.8.- Accesorios:

Además de los dispositivos de protección mencionados con anterioridad, se pueden requerir otro tipo de accesorios tales como: Bases, rieles tensores, acabados de pintura especiales, tropicalizados, tratamientos a prueba de corrosión, sellos especiales, protección contra polvos, etc.

La aplicación de estos accesorios, dependerá de los requerimientos tanto de instalación como de las condiciones ambientales en que operará el motor y será de vital importancia el tomarlos en cuenta, antes de seleccionarlo.

IV.2.- Acoplamientos:

Las bombas centrífugas están conectadas a sus accionadores por medio de acoplamientos de una u otra clase, excepto las unidades conectadas en forma compacta, en las que el impulsor está montado en una extensión de la flecha de la unidad motriz. Los acoplamientos pueden ser flexibles o rígidos. Un acoplamiento que no permite movimiento relativo axial o radial entre las flechas del impulsor y de la bomba se llama acoplamiento rígido. Conecta las dos flechas sólidamente y, en efecto, las convierte en una sola flecha. El uso de acoplamientos rígidos está principalmente restringido a bombas verticales.

Un acoplamiento flexible, por otro lado, es un dispositivo que conecta dos flechas, pero es capaz de transmitir torque de la flecha del impulsor a la flecha impulsada, pero tolerando un pequeño desalineamiento (angular, paralelo o una combinación de ambos).

Contra las creencias populares, el desalineamiento es siempre indeseable, y no deberá tolerarse permanentemente.

Causa chicoteo de las flechas, aumenta el empuje de los cojinetes de la bomba y del impulsor y generalmente resulta en un mantenimiento excesivo y falla potencial del equipo.

Un acoplamiento flexible debe permitir también algún desplazamiento lateral de las flechas para que sus dos extremos puedan acercarse o separarse bajo la influencia de la expansión térmica, fluctuación hidráulica, o desplazamiento de los centros magnéticos de los motores eléctricos, y moverse así sin imponer empuje excesivo en los cojinetes. Este aspecto del diseño de los coples flexibles se analizará posteriormente a detalle.

IV.2.1.- Acoplamientos Rígidos:

IV.2.1.1.- Acoplamiento de Abrazadera.- El acoplamiento de abrazadera, consiste básicamente de una manga dividida provista de tornillos de manera que pueda prensarse en los extremos adjuntos de las dos flechas y formar una conexión sólida. Generalmente, se incorporan cuñas axiales y circulares en el acoplamiento de abrazadera para que la transmisión del torque y del empuje no se haga solamente dependiendo de la fricción de la sujeción.

IV.2.1.2.- Acoplamiento de Compresión.- Un acoplamiento de compresión, es igualmente en esencia un acoplamiento rígido. La posición central del acoplamiento está formada de un manguito ranurado, taladrado para ajustarse a las dos flechas y cónico en su diámetro exterior del centro a ambos extremos.

Las dos mitades del acoplamiento en sí, están acabadas con perforaciones para adaptarse a esa conicidad. Cuando se aprietan una a la otra con tornillos, el manguito se comprime contra las dos flechas y la sujeción por fricción transmite el torque sin el uso de cuñas.

IV.2.2.- Acoplamiento Flexibles:

IV.2.2.1.- Acoplamiento de Pasador y Amortiguador.- Un acoplamiento de pasador y amortiguador es un acoplamiento flexible con pasadores sujetos a una de sus mitades, los cuales atraviesan los amortiguadores que se montan en la otra mitad del acoplamiento en la otra flecha.

Los amortiguadores están hechos de hule o de otro material compresible para dar la flexibilidad necesaria. Los pernos impulsores tienen un ajuste fácil de deslizamiento en los manguitos; las pequeñas variaciones longitudinales, por lo tanto, se contrarrestan mientras los ligeros errores de angularidad se compensan por la flexibilidad del hule.

IV.2.2.2.- Acoplamiento Flexibles todos metálicos.- Un acoplamiento totalmente metálico es aquel cuyas partes están hechas completamente de metal. Algunos de estos acoplamientos dependen de la flexibilidad de las placas metálicas o de resortes, mientras que otros dependen del desplazamiento angular que es posible con dos estrías conectadas con una manga también estriada.

IV.2.2.3.- Acoplamiento de Flecha Flotante.- Los acoplamiento flexibles ordinarios, están hechos para conectar las flechas impulsora e impulsada con los extremos relativamente cerca uno de otro y son adecuados para desalineamientos limitados. Algunas veces, sin embargo, se tienen que tomar medidas para un mayor desalineamiento, o cuando por razones especiales se tienen que separar los extremos de las flechas del impulsor y de la bomba a una distancia considerable.

Tal es el caso, por ejemplo, con los diseños de bombas de succión en el extremo en los casos que el conjunto de rotor y cojinete se desmonta retirándolo axialmente hacia el impulsor.

Si no se puede retirar fácilmente ni la bomba ni el impulsor, es conveniente separar los extremos de las flechas del impulsor y de la bomba, lo suficiente para permitir que se pueda retirar el rotor de la bomba. Para

este objeto, es necesario un impulsor flexible fácilmente desmontable de suficiente longitud.

El acoplamiento de extensión o de manga separadora se usa comúnmente en las unidades de bombeo que manejan líquidos calientes y que, por lo tanto, están sujetas a expansión y a posible desalineamiento. Su propósito es evitar desalineación perjudicial con una separación mínima de los extremos de las flechas impulsora e impulsada. Generalmente consisten de dos elementos de engrane sencillo conectados por una manga.

El acoplamiento de flecha flotante consiste de dos elementos flexibles conectados por una flecha que debe estar soportada en cada extremo por los propios elementos flexibles.

IV.2.2.4.- Acoplamiento de Embrague.- Los embragues comunes en disco se usan raras veces para conectar una bomba centrífuga a un impulsor por dos razones principales. La primera es que la mayoría de los diseños de embragues imponen una alta carga de empuje adicional en el cojinete de empuje de la bomba; la segunda es que se necesita un ajuste muy preciso entre las partes del embrague y este resulta difícil de mantener. El diseño de embrague de rotación libre se ha usado para conectar impulsores a bombas, especialmente en unidades de impulsor dual, y los más provechosos de estos diseños tienen un acoplamiento flexible incorporado dentro de la unidad de embrague. También se usa un acoplamiento de embrague con pesas careadas en la mitad del impulsor que se oprimirán contra la superficie de un tambor en la mitad impulsada por la fuerza centrífuga.

IV.2.2.5.- Acoplamiento para Impulsor Dual.- En instalaciones de bombas con impulsor dual, generalmente es conveniente tener un impulsor inactivo para ahorrar energía o evitar desgaste. Las máquinas de combustión interna, sin embargo, no pueden dejarse en movimiento sin trabajar y deben desconectarse. El tipo ideal de acoplamiento para esas unidades es aquel que puede desconectarse y volverse a conectar fácilmente.

IV.2.3.- Criterios de selección de acoplamientos:

Una vez analizadas las características de los acoplamientos es importante establecer, las consideraciones primarias de selección, así como las ventajas y los tipos disponibles de coples en aplicaciones reales.

IV.2.3.1.- Consideraciones primarias de selección:

- Potencia a transmitir.
- Variación de torque.
- Velocidad.
- Distancia entre terminales de flecha.
- Alineamiento.
- Posición de equipo.
- Juego axial y/o radial.
- Facilidad de mantenimiento.
- Disponibilidad de refacciones.
- Fabricación Nacional.
- Tiempo de entrega.
- Precios.
- Efectos del medio ambiente.

La tendencia actual está encaminada a los coples que se flexionan como son los elastoméricos y los de membranas, alejándose de los que se deslizan, como son los engranes y rejillas.

IV.2.3.2.- Ventajas que presentan los coples elastoméricos:

- No requieren lubricación.
- Momentos y fuerzas de reacción en los rendimientos son bajos.
- Pueden ser diseñados para vida infinita.
- Mantienen mejor el llamado Balance Dinámico.
- Sin mantenimiento.
- Rapidez de instalación.
- Sin roce metálico entre partes.

Es importante asegurarse, al seleccionar un acoplamiento, que el espaciador que especifica API 610 pueda ser removido fácilmente, y de ser posible, sin desmontar de éste el banco de membranas. Asimismo, el cople deberá incorporar en su diseño la garantía de que, al sobrevivir un fallo del elemento flexible, el espaciador no se convierta en un misil destructivo, no sólo para el equipo, sino para los equipos y el personal que se encuentra en el área.

Algunos de los tipos disponibles de acoplamiento y su aplicación:

- Engranes, rejillas y cadenas.- La transmisión de potencia a través de estos elementos mecánicos, requieren lubricación. En su versión de espaciador son normalmente más caros que los flexionantes, permiten mayores desalineamientos. Se les puede utilizar en un gran rango de transmisión de potencia.

- Elemento flexible elastomérico.- El elemento flexible, que puede ser de hule, Buna N, etc., transmite la potencia y permite grandes desalineamientos. Debe ser un cople económico, no requiere mantenimiento. Una posible desventaja es que permite el efecto látigo en arranques y fluctuaciones de torque. No se usa en medios corrosivos o extremos de temperatura.

- Coples rígidos.- Aplicación limitada a equipos que absorban desalineamientos. Por ejemplo: Bombas verticales, donde este tipo de cople con una función retentiva de parte del equipo, no sólo la de transmitir potencia. Se fabrican para un gran rango de transmisión de torques en versiones sencillas, ajustables y tipo espaciador. Aplicación limitada también a velocidades relativamente bajas.

IV.2.4.- Normas aplicables:

a) Coples flexibles y guardas entre motores y bombas serán suministrados por el fabricante de la bomba, a menos que se especifique lo contrario.

b) La marca, modelo, materiales, "rating" y el arreglo de montaje, serán especificados por el comprador. Se utilizará un cople tipo espaciador de longitud nominal mínima de 5" (127 milímetros), a menos que se especifique lo contrario. La longitud del espaciador permitirá el desmontaje del cople, los rodamientos, el sello y/o rotor, sin mover el motor o las conexiones de succión y descarga.

c) La información dimensional acerca de flechas y cuñeros, así como movimientos de la flecha por efectos térmicos será proporcionada por el vendedor de la bomba al vendedor del cople.

d) Los coples serán correctamente acuñados en sitio. Los ajustes cilíndricos serán lo suficientemente ligeros para permitir un desmontaje rápido y sencillo de los mamelones en el campo, sin necesidad de calentamiento. Otros métodos de montaje serán según acuerdo específico entre comprador y vendedor. Los mamelones se suministrarán con barrenos roscados (3/8" mínimo), para auxiliar en el desmontaje.

e) Los coples y los adaptadores entre cople y flecha serán calculados por lo menos a la potencia máxima del motor incluyendo cualquier factor de servicio. Un factor de servicio mínimo de 1.5 será aplicado a coples de elemento flexible.

f) Los diámetros de localización de los coples y los diámetros de referencia para alineamiento serán concéntricos al diámetro de la flecha dentro de 0.0005 pulgadas por pulgada de diámetro de la flecha con una tolerancia mínima aplicable de 0.001 pulgadas y máxima de 0.003 pulgadas. Las caras de localización y las de referencia de alineamiento serán perpendiculares a las superficies cilíndricas dentro de estos mismos límites, los demás diámetros serán concéntricos y perpendiculares al eje de rotación dentro de 0.005 pulgadas.

g) Si se especifica por el comprador, o se recomienda por el vendedor, los coples serán dinámicamente balanceados de acuerdo a la norma AGMA 515.02. La clase AGMA de balanceo será de común acuerdo entre vendedor y comprador.

h) Si es especificado por el comprador los coples y su montaje cumplirán con la norma API 671.

i) Para evitar que los rotores en motores de flechas flotantes rocen con los puntos de apoyo de los rodamientos, se instalarán coples de limitado movimiento axial. Estos serán de acuerdo a normas NEMA.

j) Si se utilizan motores de flecha sólida en bombas verticales el cople será todo de acero y del tipo rígido ajustable.

k) Cuando se utilice un motor de flecha sólida en bombas verticales equipadas con sello mecánico, el cople deberá ser del tipo espaciador. El espaciador será de longitud suficiente para permitir el reemplazo del ensamble del sello, incluyendo la manga sin desmontar el motor. El medio cople de la bomba será diseñado para permitir su desmontaje sin necesidad de calentamiento.

l) Cuando el proveedor de la bomba no esté obligado a montar el motor, entregará el medio cople completamente maquinado a el fabricante del motor junto con las instrucciones necesarias para su montaje, de acuerdo a lo especificado por el comprador en las hojas de especificación.

m) Se suministrarán guarda coples desmontables. Estos cumplirán con las normas y requerimientos para guarda coples de OSHA (Organización de Salud y Seguridad Ocupacional).

CAPITULO V.

SELECCION DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS.

V.1. Criterios de Selección.

Conociendo los tipos de bombas que existen de acuerdo a la clasificación general de las bombas expuesta en el capítulo III del presente trabajo, las aplicaciones principales así como el principio de funcionamiento de las bombas centrífugas y los principales equipos periféricos que utilizan, en este capítulo, se hará una exposición de los criterios generales de carácter principalmente pragmático útiles para llevar a cabo una correcta selección de un equipo de bombeo dentro del universo de tipos, marcas y aplicaciones diferentes que se pueden presentar. No obstante, después de haber seguido los criterios de selección puede darse el caso de contar con varias alternativas que cumplen satisfactoriamente con el servicio requerido; se deberá entonces ampliar el rango de consideraciones hacia factores tales como; experiencias con equipos similares instalados en otras plantas, factores de tipo económico, profundidad en las condiciones técnicas, entre otros.

Para comenzar el proceso de selección de las bombas para una aplicación dada, se puede presentar alguna de las siguientes situaciones:

1.) El cliente convoca a uno o mas proveedores a que analicen sus necesidades de equipo de bombeo, siendo los proveedores los responsables de obtener datos correctos de operación y de realizar una adecuada selección.

2.) El cliente suministra detalles completos (a los comercializadores, firmas de ingeniería o fabricantes), de las condiciones de bombeo y pide una recomendación y oferta de las unidades que resulten más apropiadas para la aplicación. En esta situación, el comprador es responsable de la veracidad y exactitud de los datos que proporcione al proveedor, siendo este último responsable de la selección del equipo que realice.

3.) El comprador efectúa un cálculo completo del sistema de bombeo procediendo luego a elegir la unidad más adecuada en base a; catálogos, curvas de comportamiento e información técnica con que cuente, procediendo después a adquirir la opción mas conveniente, siendo absolutamente responsable por la selección que realizó.

4.) Se utiliza una combinación de estas situaciones para llegar a la selección final, trabajando juntos proveedor(es) y cliente. Puede darse el caso en que intervenga una firma de ingeniería como mediador técnico-comercial entre el (los) proveedor(es) y el cliente final.

La selección directa por parte del fabricante se utiliza generalmente para bombas grandes en aplicaciones con condiciones poco usuales, y en casos en que el seleccionador no tenga elementos técnicos suficientes. Existen cálculos, que después de haber realizado la selección, son reservados al departamento de ingeniería del fabricante, por ejemplo (y como se verá posteriormente) el diámetro final de un impulsor con recorte.

Sin embargo, aun cuando la selección la realice el proveedor, las recomendaciones y ofertas deben evaluarse y compararse, y para hacer esto, se requiere un conocimiento completo del problema de bombeo, los méritos relativos de varios diseños y la economía de la instalación.

La siguiente lista, propuesta por el fabricante de bombas marca Worthington, agrupa los datos esenciales requeridos por cualquier fabricante de bombas, antes de que pueda preparar una recomendación y una oferta. Muchos fabricantes, tienen formas que puede llenar el comprador sin pedir una recomendación. Estas pueden ser sumamente útiles, debido a que ayudan a evitar la omisión de datos importantes.

Cuando se suministran datos a un fabricante, debe tenerse extremo cuidado de se den todos los datos concernientes a la instalación. Cuando los datos no están completos, pueden conducir a una recomendación equivocada o errónea, debido a que el Ingeniero que elige la unidad puede hacer suposiciones falsas.

TABLA V.1.- Compendio de Datos Esenciales que se Requieren en la Selección de Bombas Centrífugas.

- 1.- Número de unidades requeridas.
- 2.- Naturaleza del líquido que habrá de bombearse.
 - a). Agua fresca o salada, ácida o alcalina, aceite gasolina, lodo o pulpa de papel.
 - b). Frío o caliente; si es caliente, a qué temperatura y cuál es la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.
 - c).Cuál es su densidad.
 - d). Es viscoso o no.
 - e). Limpio o libre de materias extrañas o sucio y abrasivo. En este último caso, cuál es el tamaño y naturaleza de los sólidos y son éstos abrasivos. Si el líquido es de naturaleza pulposa, cuál es la consistencia, expresada ya sea en porcentaje (%) o en Kg/metros cúbicos de líquido. Cuál es el material en suspensión.
 - f).Cuál es el análisis químico, Número de pH, etc. Cuáles son las variaciones permisibles en este análisis. En caso de ser corrosivo, cuál ha sido la experiencia pasada, tanto con materiales satisfactorios, como no satisfactorios.
- 3.- Capacidad. Cuál es la capacidad requerida, así como la cantidad máxima y mínima de líquido, que habrá de desarrollar la bomba.
- 4.- Condiciones de succión. Existe:
 - a). Una elevación de succión.
 - b). O una columna de succión.
 - c). Cuál es la longitud y el diámetro del tubo de succión.

- 5.- Condiciones de descarga.
- Cuál es la columna estática. Es constante o variable.
 - Cuál es la columna de fricción.
 - Cuál es la presión de descarga máxima contra la que habrá de trabajar la bomba.
- 6.- Columna total. Variaciones en los puntos 4 y 5 causará variaciones en la columna total.
- 7.- Es el servicio continuo o intermitente.
- 8.- Se habrá de instalar la bomba en posición horizontal o vertical. En este último caso.
- Es pozo húmedo.
 - Es pozo seco.
- 9.- Qué tipo de potencia se tiene disponible para mover la bomba, y cuáles son las características de ésta?
- 10.- Qué limitaciones de espacio, peso o transporte habrán de encontrarse?
- 11.- Localización de instalación.
- Localización geográfica.
 - Elevación sobre el nivel del mar.
 - Instalación interior o a la intemperie.
 - Variación de las temperaturas ambientes.
- 12.- Existen algunos requisitos o preferencias marcadas con respecto a diseño, construcción o características de las bombas?

En la propuesta o cotización, la mayor parte de los proveedores combinan su recomendación técnica y proposición comercial, en un sólo documento. La propuesta usual, contiene la siguiente información: Número de modelo de la bomba, clase, tipo, construcción, detalles y materiales, tipo de motor para el que se ha diseñado la bomba, curvas de operación con tabulaciones, peso unitario, alcance de suministro, precio, tiempo de entrega de la bomba después de recibida la orden, y disposiciones o acuerdos legales con respecto a planos, garantías, instalación de la unidad, fecha de embarque, condiciones de pago, impuestos, seguros, transportes, etc. Incluido con la propuesta típica viene una ilustración de la bomba y un catálogo. Si la bomba debe construirse especialmente para el comprador, puede no incluirse el catálogo debido a que el fabricante puede no tener boletines disponibles.

Para comenzar una selección, es conveniente realizar primeramente los sencillos pasos que se indican a continuación:

- Trazar un diagrama de la disposición de la bomba y tuberías.
- Determinar el caudal a manejar.
- Calcular la Carga Dinámica Total.
- Analizar las condiciones del líquido.
- Elegir la clase y el tipo de bomba, atendiendo

al servicio a operar y a las condiciones requeridas.

Posteriormente se deberán realizar los cálculos y consideraciones que a lo largo de este capítulo se detallan.

V.1.1.- Determinación de la Carga Dinámica Total CDT: (en Inglés Total Dynamic Head TDH) Todas las bombas centrífugas, se seleccionan en base a una presión diferencial, esto quiere decir que si se requiere una bomba para dar 10 Kg de presión en la descarga y la presión de succión es de 2 Kg, la bomba deberá seleccionarse para 8 Kg de presión, tal como se definió en el punto II.3 del presente trabajo. Esta consideración es muy delicada cuando las presiones de succión son considerables, también cuando se colocan 2 bombas en serie, la presión de descarga de la primera, será ahora la presión de succión de la segunda, deberá tomarse en cuenta el valor máximo de presión en la succión que determine el fabricante para una bomba dada.

V.1.2.- Determinación del NPSH Disponible (Net Positive Suction Head o CNPS Carga Neta Positiva de Succión): Tal como se definió en el punto II.7 del presente trabajo, el NPSH es la mínima carga positiva que requiere una bomba para poder inducir el líquido en el impulsor, el cálculo del NPSH disponible debe hacerse con cuidado ya que de no contar con suficiente presión positiva en la succión, la bomba entrará en el efecto de cavitación (Punto II.8), provocando la eventual destrucción de la bomba.

Para mayor facilidad en el cálculo del NPSH disponible, se pueden hacer 2 consideraciones, la primera, que el tanque de alimentación esté abierto a la atmósfera y la segunda que esté presurizado (generalmente este caso se presenta cuando el líquido a bombear es muy caliente y se deberá cuidar la presión de vapor)

Para un recipiente de alimentación abierto:

$$\text{NPSH disp} = (P_B - P_V) * 10 / \text{Gr esp.} \pm H_{GEO} - H_f + (V^2/2G)$$

Donde: P_B ; es la presión barométrica del lugar, P_V ; es la presión de vapor, H_{GEO} ; es la altura geodésica del espejo de alimentación al ojo del impulsor y es (+) cuando el tanque de alimentación está por encima del ojo del impulsor y es (-) cuando está por debajo, H_f ; representa las pérdidas por fricción en la tubería de alimentación, $(V^2/2G)$; representa la carga dada por la velocidad de flujo en el tanque de alimentación, en la mayoría de las aplicaciones este valor es despreciable

Para un recipiente de alimentación presurizado:

$$\text{NPSH disp} = ((P_M + P_B) - P_V) * 10 / \text{Gr esp.} \pm H_{GEO} - H_f + (V^2/2G)$$

Donde P_M ; representa la presión manométrica del sistema o del recipiente de alimentación, P_B ; representa la presión barométrica del lugar (la suma de estas dos es la presión absoluta).

V.1.3.- Demanda de potencia: La demanda de potencia requerida por la bomba o BHP conduce a la selección del motor a utilizar.

Se denomina HP hidráulico a la potencia consumida por la bomba para manejar un caudal, una carga, y una gravedad específica dados independientemente de la eficiencia de la bomba, es decir, suponiendo una eficiencia del 100% y puede calcularse como:

$$\text{HP hidr} = (Q * H * \text{GR ESP}) / K$$

donde:

HP hid. = demanda de potencia [HP]

Q = gasto [m^3/Hr]

H = columna total de la bomba [m de líquido]

GR ESP = gravedad específica a la temperatura de bombeo
(adimensional)

K = Constante para coincidir Hp con sistema métrico
equivalente a 273.6

Se denomina BHP nominal a la potencia requerida por la bomba para operar a las condiciones nominales y se calcula:

$$\text{BHP nominal} = (Q * H * \text{GR ESP}) / K * e$$

donde:

e = eficiencia de la bomba expresada en decimales.

Para lograr una correcta selección del motor, éste debe ser adecuado para poder operar en las condiciones de operación máximas obteniendo así el BHP máximo:

$$\text{BHP máximo} = (Q_{\text{max}} * H_{@Q_{\text{max}}} * \text{GR ESP}) / K * e$$

Una vez calculada la potencia requerida por la bomba o BHP (máximo) esta deberá adecuarse a la disponibilidad de potencias comerciales de motores que existen en el mercado, para mayor referencia, se enlistan las potencias comerciales mas comunes, disponibles, para motores eléctricos, trifásicos, de inducción tipo jaula de ardilla: (V.1)

POTENCIA [HP]	HORIZONTAL (* = SI)	VERTICAL (* = SI)
0.5	*	
0.75	*	
1		*
1.5	*	*
2		*
3		*
5		*
7.5	*	*
10		*
15		*
20		*
25		*
30		*
40		*
50		*
60		*
75		*
100		*
125		*
150		*
200		*
250		*
300		*
350		*
400		*

Las potencias comerciales mostradas son las más comunes para motores que operan a 220 o 440 Volts, para potencias menores a las mostradas, se recomienda el uso de motores monofásicos, para potencias arriba de los 200 HP, se recomienda el uso de motores a 440 Volts, para potencias mayores a los 350 HP, se recomienda el uso de voltaje medio; 2300, 4160 y 6600 Volts para evitar un excesivo consumo de corriente con el consecuente incremento en los costos de adquisición y operación (siempre que halla disponibilidad de voltaje medio).

En caso de llegar a un BHP en el límite de una potencia comercial, donde pasar al siguiente tamaño de motor tiene un costo muy elevado, puede recurrirse al factor de servicio; definido en el punto IV.1.1.7. del presente trabajo. Es de vital importancia tomar en cuenta las posibles variaciones extremas en el sistema, un incremento en el caudal en la bomba, repercute en la demanda de potencia de la bomba al motor, si tomando en cuenta la variación extrema posible del sistema queda un margen de seguridad, es entonces recomendable el uso del factor de servicio. Por ejemplo; en una aplicación dada, se obtuvo un BHP normal de 295 HP y un BHP máximo de 309 HP, puede entonces optarse por un factor de servicio de 1.1 que es capaz de operar hasta en 330 HP, en vez de seleccionar un motor de 350 HP, que resultaría más costoso.

V.1.4.- Cambio de Características: El alterar la velocidad o diámetro del impulsor de una bomba centrífuga, altera las características de la unidad. Existen tres reglas para relacionar el comportamiento de la bomba con el cambio de velocidad y tres para el cambio de diámetro.

Con un impulsor de diámetro constante:

- 1.) La capacidad de la bomba varía directamente con la velocidad.
- 2.) La columna varía con el cuadrado de la velocidad.
- 3.) La potencia requerida varía con el cubo de la velocidad.

A velocidad constante:

- 1.) La capacidad varía directamente con el diámetro del impulsor.
- 2.) La columna varía con el cuadrado del diámetro del impulsor.
- 3.) La potencia varía con el cubo del diámetro del impulsor.

Estas reglas son reales aproximadamente para todos los tipos de bombas centrífugas.

V.1.4.1.-Leyes de Afinidad:

Conociendo las características de una bomba que trabaje a la velocidad n_1 , pueden obtenerse con gran facilidad y detalladamente, las características que correspondan a una velocidad cualquiera n_2 . A partir de la velocidad n_1 se puede tener la siguiente relación:

$$(Q_1/Q_2) = (n_1/n_2) \quad ; \quad (H_1/H_2) = (n_1/n_2)^2$$

Las alturas manométricas y los caudales varían en forma parabólica, mientras que los triángulos de velocidad y las condiciones generales de flujo permanecen geoméricamente invariables. La potencia absorbida es proporcional al producto Q-H, y como el rendimiento permanece prácticamente constante para condiciones hidráulicas iguales, es válida, dentro de ciertos límites, la ecuación siguiente:

$$P_1 / P_2 = \{ n_1 / n_2 \}^3$$

Donde: Q; representa el caudal de la bomba, n; las revoluciones por minuto a las que gira la bomba, H; la carga de la bomba y P la potencia absorbida por la bomba o potencia en el eje o BHP.

V.1.5- Cople Flexibles.- Para elegir un cople flexible adecuado para una bomba, tiene que conocerse; la potencia que debe transmitir, así como la velocidad de la rotación y el factor de servicio aplicable. Este último punto compensa las cargas por choques y otras variaciones en la potencia de entrada. Los coples vienen generalmente clasificados en caballos por 100 RPM, determinados de:

$$C = 100(PF)/S$$

donde:

C = Capacidad del cople, en [HP] por 100 RPM

- P = Entrada de potencia a la bomba en [HP]
 F = Factor de servicio del cople
 S = Velocidad del cople en [RPM]

Los factores de servicio varían de un fabricante de coples a otro, y según el motor que se usa para la bomba.

V.1.6.- Velocidad Específica: Tal como se mencionó en el punto II.6 de este trabajo, la velocidad específica constituye un elemento para realizar una correcta selección de una bomba, es una práctica común recomendable, el comprobar la velocidad específica de una bomba propuesta para asegurarse que se encuentra dentro de los límites normales para el tipo de bomba elegido, sin embargo, con experiencia y un conocimiento mas profundo de una línea de bombas específica, este cálculo puede obviarse.

Las características generales del comportamiento de las bombas centrífugas están íntimamente relacionadas con la trayectoria del fluido, a través de su impulsor.

Algunas veces, las bombas de flujo axial, las de flujo radial y las de flujo mixto; son consideradas como bombas de diferente tipo. No obstante esto, y a pesar de que entre ellas hay algunas diferencias, todas ellas son básicamente la misma clase de dispositivo. Cuando un fluido va pasando a través del impulsor, éste recibe una velocidad rotatoria; el fluido pasa a la caja estacionaria, donde es reducida su velocidad, incrementándose su presión. Si la carga requerida es alta en relación a la cantidad de flujo, entonces será necesario un impulsor de flujo radial. Si la carga es baja, en relación con la cantidad de flujo, se requerirá de un impulsor axial. Una manera conveniente para determinar el tipo de flujo requerido en el impulsor, es obtener un número o factor que relacione la velocidad rotacional, la cantidad de flujo y la carga desarrollada por una bomba. Este número, es llamado "Velocidad Específica", y puede ser considerado un índice del tipo de impulsor requerido por una bomba para desarrollar el trabajo específico. La velocidad específica se calcula por medio de la fórmula expuesta en el punto II.6 para sistema internacional o bien para sistema inglés con la siguiente fórmula:

$$n_s = (\text{RPM})(\text{GPM})^{1/2} / (\text{Ft})^{3/4}$$

La experiencia ha mostrado, que los impulsores de flujo radial se necesitan para bajas velocidades específicas, los de flujo axial para altos valores de NS y los de flujo mixto para valores intermedios, por una tabla que relaciona la velocidad específica con el tipo de impulsor. Los diseños de impulsores mostrados en ella, varían gradualmente, según los requerimientos.

La siguiente tabulación muestra tres diferentes condiciones de operación, la velocidad específica calculada a partir de los requerimientos y el tipo de impulsor que debería ser usado para obtener la mejor eficiencia para operar en esas condiciones:

CASO	GPM	CDT	RPM	NS	TIPO DE IMPULSOR
A	200	100	1760	786	FLUJO RADIAL
B	3000	100	1760	3050	FLUJO MIXTO
C	1000	10	1760	9900	FLUJO AXIAL

La capacidad de una bomba centrífuga cambia con los requerimientos de carga impuestos por el sistema. La relación de carga a capacidad, está mostrada en una curva característica de comportamiento.

La velocidad específica de la bomba, debe ser calculada en las condiciones de diseño de la bomba, hacerlo de otra forma, no tendría significado.

La carga y potencia a válvula cerrada, en relación con los valores del punto de diseño, varían con la velocidad específica. Las unidades de baja velocidad específica (flujo radial) tienen una potencia a válvula cerrada menor que en el punto de diseño; por ello, es que se recomienda arrancar estas unidades a válvula cerrada. Las bombas de flujo mixto, tienen una potencia igual o mayor en válvula cerrada que la que se demanda en el punto de diseño. Las bombas de flujo axial, de alta velocidad específica presentan requerimientos de potencia en válvula cerrada que representa dos o tres veces la que se demanda en el punto de diseño. Ambos tipos de unidades deben ser arrancadas con la válvula, lo más abierta posible. Los motores deben suministrarse para cubrir suficientemente la demanda de potencia en cualquier punto de operación de la unidad. Debiendo incluso, evitar cualquier operación riesgosa de la unidad en la que el accionador pudiera llegar a ser dañado debido a requerimientos excesivos de potencia, incluyendo cierres accidentales de la válvula de descarga en bombas de flujo axial o disminuciones severas de la demanda de carga, que permitiera a una bomba radial trabajar con un alto gasto. Los valores típicos a válvulas cerradas, se muestran en la siguiente tabla:

VALORES A VALVULA CERRADA
COMO % DEL PUNTO DE DISEÑO

NS	TIPO DE FLUJO	CARGA	POTENCIA
500-1800	RADIAL	90-115	50-75
1800-8000	MIXTO	130-200	100-180
8000-1500	AXIAL	200-300	200-300

V.1.7.- Correcciones por viscosidad:

Como se ha definido a lo largo de este trabajo; el proceso de bombeo puede definirse, como la adición de energía a un líquido para transportarlo de un punto a otro, por medio de un accionador.

La efectividad de esta conversión de energía, depende inicialmente del diseño correcto de las bombas para un uso específico. No obstante, la correcta selección del equipo es el complemento para lograr una operación libre de problemas.

Algunos factores externos al equipo que afectan su operación son las propiedades físicas del fluido manejado, esto es:

1.- Gravedad específica (en la potencia al freno).

2.- Viscosidad (en la capacidad, carga dinámica, eficiencia y potencia al freno).

Actualmente, el bombeo de productos derivados del petróleo, es de gran importancia, existiendo la necesidad de manejar fluidos con viscosidades más altas que las del agua.

Esto ha hecho necesaria la investigación de medios para conocer el comportamiento de las bombas centrífugas; cuando se utilizan en este tipo de servicios, partiendo del conocimiento de su comportamiento con agua.

No es objetivo de este trabajo el tratar a profundidad los conceptos relacionados a la viscosidad ya que este es tema de un tratado completo. A continuación se enuncian las clasificaciones y algunos conceptos de los líquidos viscosos.

Se pueden clasificar los líquidos viscosos en Newtonianos y los No-Newtonianos; considerando las siguientes características:

A). Newtonianos.- No son afectados por la magnitud y tipo de movimiento, los cuales siguen las siguientes características:

A.1). La viscosidad es independiente del gradiente de velocidad o de corte.

A.2). El esfuerzo de corte es directamente proporcional al gradiente de corte o velocidad.

B). No-Newtonianos.- Se clasifican a su vez en los siguientes tipos:

B.1). Dilatantes.- Son aquellos fluidos en los cuales la viscosidad aumenta a medida que son agitados.

B.2). Plásticos.- Son caracterizados por contar con un "punto de cedencia", el cual debe ser excitado para empezar a fluir, después de lo cual la viscosidad disminuye, con un aumento en agitación.

B.3). Pseudo-plásticos.- No tienen "punto de cedencia", su viscosidad "aparente" disminuye con el aumento de esfuerzo de corte (o agitación).

B.4). Tixotrópicos.- Estos líquidos muestran una disminución en su viscosidad, debido a un incremento en la agitación y pueden ser reversibles (cuando recuperan su viscosidad al cesar los esfuerzos de corte) e irreversibles (cuando al cesar los esfuerzos de corte su viscosidad es menor que la original).

B.5). Reopécticos.- La viscosidad de estos líquidos, aumenta cuando están sujetos a un gradiente de corte constante; pero cuando este esfuerzo cesa y después de un tiempo de reposo, su viscosidad disminuye nuevamente.

Es importante establecer el comportamiento de una bomba manejando líquidos viscosos por deducciones puramente teóricas, aún cuando su comportamiento con agua sea conocido. De análisis y estudios realizados, se ha encontrado que la relación entre capacidad y carga a velocidad constante, con diferentes viscosidades, producen diferentes curvas capacidad-carga. Asimismo, se han encontrado guías importantes para correlacionar los datos de pruebas para líquidos de varias viscosidades, proporcionando medios para predecir el comportamiento de las bombas centrífugas cuando se conoce su comportamiento con agua. Se pueden establecer los siguientes criterios:

1.- Leyes de Afinidad.- Se mantienen para las viscosidades, pero con menos exactitud que con agua. Esto significa que cuando la velocidad varía, la capacidad varía directamente con la velocidad, y la carga varía directamente con el cuadrado de la velocidad.

Generalmente, la eficiencia es mejor a altas velocidades; por lo tanto la velocidad aumenta, el BHP aumenta casi proporcionalmente con el cubo de la velocidad y la carga incrementa más que el cuadrado de la velocidad.

Cuando la velocidad es variada, la velocidad específica en el punto de mejor eficiencia, permanece constante, durante el bombeo de líquidos viscosos.

2.- A velocidad constante, la curva capacidad-carga decrece, a medida que la viscosidad aumenta, de modo que la velocidad específica permanece constante. Lo anterior es importante, para estimar el punto de máxima eficiencia cuando se bombea un líquido viscoso, sólo se requiere un factor de corrección experimental, el otro seguirá la relación anterior.

3.- A velocidad constante y viscosidad variable, la curva capacidad-carga disminuye a medida que la velocidad aumenta, pero la carga a capacidad cero permanece constante, resultando en una curva más pronunciada para viscosidades altas.

Por lo tanto, puede generalizarse que la carga a "Shut-off", no depende del ángulo de descarga del impulsor, ni de la viscosidad del líquido. Sin embargo, este es afectado apreciablemente por la carcasa de la bomba, sobre todo cuando, se manejan líquidos viscosos. Por ejemplo, si el diámetro del impulsor es bastante pequeño para la carcasa de la bomba y existe, un claro grande entre la periferia del impulsor y la lengüeta de la voluta, la carga a válvula cerrada, será más baja para viscosidades más altas, y la caída de carga en el punto de máxima eficiencia será más grande que para el mismo impulsor en una carga normal.

Lo anterior es debido a que el impulsor, no puede mantener una velocidad normal de distribución en la carcasa, debido a que mucho del corte del fluido toma lugar en la periferia del impulsor y esto resulta en una carga generada más baja.

Por otro lado, si un impulsor manejando un líquido viscoso es ajustado bastante cerca de la lengüeta de la voluta, se formará un exceso de carga más alta que con agua a bajas capacidades debido al arrastre viscoso. Se ha observado en bombas de baja velocidad específica con impulsores cerrados, que la carga, aún en el punto de máxima eficiencia, aumentará arriba de aquella para agua por un ligero incremento de viscosidad, antes de que la carga empiece a caer. Esto es causado por el hecho, que un ligero incremento en viscosidad suprime la circulación relativa dentro de los canales del impulsor; suficientemente para incrementar la carga generada más que la que es necesaria para compensar el incremento de pérdidas hidráulicas a través de la bomba.

Con impulsores abiertos, por causa de la ausencia de una de las cubiertas del impulsor, dichos efectos no han sido notados. En impulsores de alta velocidad específica, las cubiertas son relativamente pequeñas y en los impulsores anchos, por lo tanto, dicho efecto es despreciable.

4.- Para una viscosidad constante y velocidad variable, la eficiencia en el punto de máxima eficiencia aumenta proporcionalmente al aumento de la velocidad de rotación.

5.- Cuando se bombean aceites viscosos la potencia al freno aumenta la misma cantidad para un amplio rango de capacidad, este incremento es el reflejo del incremento de pérdidas de fricción en el disco.

Es importante hacer notar que, la potencia al freno aumenta con la viscosidad. Esto significa que, aunque la carga y la capacidad caen con la viscosidad, la eficiencia disminuye más rápidamente que el producto de la carga y capacidad.

Actualmente, para estimar el comportamiento de las bombas centrífugas, se utilizan las cartas aprobadas por el Instituto de Hidráulica; las cuales son utilizadas por casi todos los fabricantes de equipo de bombeo.

Las cartas fueron preparadas con datos experimentales obtenidos por medio de pruebas, pero estas curvas de corrección no son exactas para algunas bombas en particular.

En el caso de que se desee información exacta del comportamiento de una bomba manejando líquidos viscosos, se deberán realizar pruebas de comportamiento con el fluido a manejar.

Existen algunas limitaciones y aclaraciones en el uso de las cartas de corrección, y son:

1.- No extrapolar más allá de los límites de corrección mostrados, ya que se podrían obtener resultados equivocados.

2.- Utilizarlas sólo para bombas de diseño hidráulico convencional, en el rango de operación normal, con impulsores abiertos o cerrados. No utilizar las cartas de corrección para bombas de flujo mixto o axial ó para bombas de diseño hidráulico especial, para líquidos uniformes o no viscosos.

3.- Utilizarlas sólo donde haya NPSH disponible adecuado, con el objetivo de evitar cavitación.

4.- Utilizar las cartas de corrección, sólo con líquidos Newtonianos.

5.- En bombas de pasos múltiples, hacer las correcciones de viscosidad por paso, dividiendo la carga dinámica total del equipo entre el número de pasos.

V.2.- Curvas de Comportamiento.

A diferencia de las bombas de desplazamiento positivo (rotativas y reciprocantes), una bomba centrífuga que se opera a velocidad constante, puede suministrar cualquier capacidad desde cero a su máximo caudal, dependiendo de la carga, diseño y succión. Las curvas características, muestran la relación existente entre la carga de una bomba, capacidad, potencia y eficiencia para un tamaño determinado de carcasa. Es habitual dibujar la carga, potencia y eficiencia en función de la capacidad a velocidad constante, pero en casos especiales, es posible señalar en las gráficas tres variables cualesquiera contra una cuarta. La curva de caudal-carga, conocida como HQ, muestra la relación entre la capacidad y la columna total, y puede ser creciente, decreciente, con gran inclinación o casi horizontal, dependiendo del tipo de impulsor usado y de su diseño.

Para formar un tipo especial de curva HQ a diferentes velocidades, se trazan curvas HQ para las diferentes velocidades que se consideran, luego

se sobreponen las curvas que tienen la misma eficiencia. Estas curvas de eficiencia constante, llamadas también curvas de isoeficiencia, permiten encontrar la velocidad requerida y la eficiencia para cualquiera de las condiciones de columna capacidad dentro de los límites de la gráfica.

Existe un tipo de curva característica que representa con una sola curva el comportamiento de una bomba a un solo diámetro (del impulsor, generalmente es el diámetro máximo) y a una sola velocidad dada.

Comunmente, suelen encontrarse curvas de comportamiento que representan un solo modelo de bomba a una velocidad determinada, mostrando varias curvas de comportamiento HQ, que pueden estar trazadas con líneas gruesas que representan los diámetros de impulsor mas comunes y estas curvas son intersectadas por las curvas que representan las eficiencias de la bomba.

Existen otro tipo de curvas HQ llamadas de "características compuestas", que expresan de manera general el comportamiento de toda una línea de bombas. Los fabricantes suelen presentar este tipo de curvas en sus catálogos descriptivos generales.

Aún cuando las bombas centrífugas pueden seleccionarse, de tablas de clasificación; las curvas de comportamiento dan una imagen mucho más clara de las características de la unidad a una velocidad dada.

Las curvas de eficiencia, generalmente, se eliminan de una gráfica de características compuestas debido a que es difícil trazarlas. Sin embargo, para objetivos de selección fácil, tales gráficas proporcionan los datos normalmente requeridos (capacidad, columna, tamaño de la bomba y en algunos casos incluso la potencia del motor). Una vez que se ha elegido el tamaño de la bomba, puede utilizarse una curva HQ, para obtener el diámetro del impulsor, eficiencia y otros detalles.

Las Curvas de Columna de Sistema, se obtienen combinando la curva de columna de fricción del sistema con la columna estática del sistema y las diferencias de presiones que puedan existir. Una curva de columna de fricción, es una curva de la relación entre el flujo y la fricción en los tubos, válvulas y accesorios de las líneas de succión y descarga. Puesto que la columna de fricción, varía aproximadamente en forma proporcional, al cuadrado del flujo, la curva es generalmente parabólica. La columna estática, es la diferencia en elevación entre los niveles líquidos de la succión y la descarga.

Para mayor claridad respecto de las curvas de comportamiento, en la sección de ejemplos de selección se encuentran representadas algunas de estas.

V.2.1.- Curvas del Sistema:

Ya que la curva HQ (Gasto-Carga) de una bomba, proporciona información relativa a la carga diferencial que ésta es capaz de desarrollar a diferentes rangos de flujo, es necesario que la curva del sistema, de manera homogénea, muestre la carga diferencial que demanda a diferentes rangos de flujo. Por lo anterior, para desarrollar la curva de un sistema, se deben conocer dos elementos básicos:

- 1.- La carga de succión, disponible para la bomba a varios gastos.
- 2.- La carga de descarga, demandada por el sistema, a varios gastos.

Restando la carga de succión disponible para la bomba a la carga de descarga, a una capacidad dada, se obtendrá la carga diferencial demandada por el sistema a esa capacidad o gasto.

Graficando varios puntos, variando los gastos, se puede dibujar la curva del sistema, misma que describe los requerimientos de carga del sistema a través de su rango completo de operación.

Una vez contando con la curva del sistema y conociendo el punto en el que se espera que el sistema opere normalmente, se procede a comparar con las diversas alternativas de curvas Gasto-Carga correspondientes a las diferentes bombas consideradas para elegir finalmente la que será integrada al sistema.

Ya que las unidades de ambas curvas son homogéneas, se procede a graficar la curva Gasto-Carga de la bomba junto con la Curva del Sistema, encontrando con esto, el punto de operación que será precisamente el punto en que las dos curvas se intersectan. En este punto, la demanda del sistema coincide con la capacidad de la bomba.

Se insiste en hacer notar, que el punto de intersección de las curvas Sistema y Bomba, es el único punto posible en que el conjunto SISTEMA-BOMBA operará.

A la derecha del punto de intersección, la demanda del sistema excede la capacidad de la bomba y por lo tanto, no se puede operar a flujos mayores sin cambiar las características del sistema (reduciendo demanda de carga) o de la bomba (aumentando su capacidad de carga).

A la izquierda de este punto la capacidad de la bomba, excede a la demanda del sistema, por lo que si el proceso lo requiere y el usuario lo acepta, el conjunto sistema-bomba, puede ser operado en esa zona, utilizando alguno de los dos caminos siguientes:

1.- Instalando una válvula de control de flujo en la descarga de la bomba, de tal manera que al estar cerrándola, se vaya incrementando la demanda de carga del sistema, por pérdidas de fricción, con lo cual se lograría escalonar la curva del sistema.

2.- Utilizando un accionador de velocidad variable para mover a la bomba, con lo cual, modificando la velocidad de la bomba, se pueden modificar las características de la curva Gasto-Carga de la bomba.

Debido a que la bomba operará solamente en un punto de su curva específica; y que ese punto es precisamente el de intersección con la curva del sistema, es muy importante el definir con precisión el punto de operación deseado, en el que el sistema opera realmente y en cuya definición se basará totalmente la selección hidráulica del tamaño de la bomba a utilizar.

Cualquier fabricante, una vez seleccionado el Tipo de bomba, procede a definir su tamaño, procurando ofrecer siempre aquella en que el punto de operación solicitado se ubique con respecto a la curva específica de la bomba en eficiencia máxima o bien cerca de ella, con el fin de lograr una ventajosa selección.

Lo anterior, pierde totalmente validez en la operación real, si el punto definido como de "operación" (por el usuario) para selección, resultara considerablemente diferente al real, ya sea debido a errores en sus cálculos de obtención, o bien a "protecciones" definidas durante la etapa de proyecto y selección de equipo.

Desafortunadamente en la práctica, no es común que el usuario proporcione o cuente siquiera con una curva definida para su sistema, por lo que las bombas se seleccionan para operar en dos puntos; condiciones de diseño y máximas.

V.3.- Hojas de Datos.

Una hoja de datos consiste en un formato preestablecido en donde el cliente o el usuario asienta los datos de identificación del equipo, del proyecto, las condiciones de operación que conoce y también establece sus requerimientos técnicos, corresponde al proveedor complementar toda la información requerida respecto del equipo que ofrece.

Existe una gran diversidad de formatos para las hojas de datos que van desde los formatos generales propuestos por el API, hasta las hojas elaboradas por las firmas de Ingeniería para una aplicación en particular. Cabe resaltar que las hojas de datos deben adecuarse al tipo de bomba que se trate, ya que evidentemente no serán iguales los datos requeridos para una bomba vertical tipo turbina de pozo profundo, que para una bomba de proceso.

Las hojas de datos comienzan con los datos de identificación del equipo tales como; número de proyecto, clave, referencia, cliente (si es el caso), planta, localización, etc. En seguida vendrán los espacios para asentar las condiciones de operación del equipo. A continuación los datos de construcción del equipo tales como montaje, materiales, sello mecánico (y sus planes de enfriamiento y lavado si se requieren) o empaquetadura según se requiera, tubería auxiliar para lubricación y/o lavado. Otro apartado contendrá los datos del accionador; comúnmente un espacio para los datos de motor eléctrico y otro para turbina de vapor, según sea el caso, se llenará uno de estos espacios y se tachará el otro. El siguiente apartado sirve para asentar las características que describen el equipo tales como; número de curva, NPSH requerido, eficiencia, rotación, etc. Continúa la sección de pruebas que pueden requerirse del equipo como la hidrostática (para comprobar que no hay fugas), la de comportamiento (para comprobar que la bomba cumple con el gasto-carga-eficiencia ofrecido), y la de NPSH (prueba especial para comprobar que la bomba cumple con el NPSH requerido). La mayor parte de las hojas de datos para bombas centrífugas en general, reserva un espacio para asentar datos en caso de tratarse de una bomba vertical. En última instancia contiene una sección para asentar los pesos de la bomba, placa de base (en su caso), accionador y cople.

En la figura V.1 se observa una hoja de datos tradicional de uso común. En la figura V.2 se muestra una hoja de datos para bombas verticales tipo turbina de pozo profundo. En la figura V.3 se muestra una hoja de datos propuesta en base a la investigación de los datos más importantes y recurrentes de las aplicaciones de bombas centrífugas.



EACO MEXICANA S.A. DE C.V.

FRONTERA No. 96 2D COL. ROMA 06700 MEX.D.F. TEL: 2085431 FAX: 5334704

BOMBA VERTICAL TIPO TURBINA PARA POZO PROFUNDO

No. COT.: PRO OT. _____
 CLIENTE _____
 S/REFERENCIA _____
 PARTIDA No. _____
BOMBA VERTICAL:
 MODELO _____ PASOS _____
 COLUMNA LUBRICADA POR _____
 DIA. DE COLUMNA _____ PULG.
 DIA. EXT. TAZON _____ PULG.
 DIA. FLECHA _____ PULG.
 DIA. CUBIERTA _____ PULG.

CONDICIONES DE OPERACION
 LUGAR DE OPERACION _____

DIA. ADENE _____ PULG.
 NIVEL NCR. MAR _____ PIES _____ m
 NIVEL MIN. MAR _____ PIES _____ m
 PRESION DE DESC. _____ PIES _____ m
 C. D. T. _____ PIES _____ m
 GASTO _____ LPS _____ GPM
 BHP _____

MOTOR ELECTRICO VERTICAL
 FLECHA: HUECA _____ SALIDA _____
 MARCA: _____
 VOLTAJE: _____ VOLTS ; F.S. _____
 No. POLOS _____ POTENCIA _____ HP
 ARMAZON _____ TIPO _____

MATERIALES DE CONSTRUCCION

OBSERVACIONES: _____

ELABORO: _____

FECHA: _____

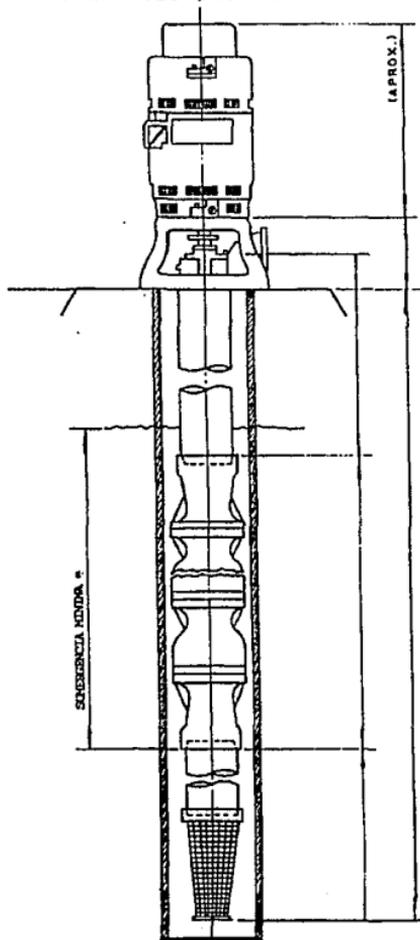


FIGURA V.2 HOJA DE DATOS PARA BOMBAS VERTICALES TIPO TURBINA

DATA SHEET PUMP

NO.	DESCRIPTION	OUR REF.:			
		ITEM 1	ITEM 2	ITEM 3	ITEM 4
01	MANUFACTURER:				
02	MODEL / STAGES No.:				
03	SIZE:				
04	LIQUID:				
05	TEMPERATURE (°F):				
06	SPECIFIC GRAVITY:				
07	STEAM PRES. (Pslg):				
08	VISCOSITY (Cp):				
09	CORROSION - EROSION:				
10	NPSH AVAILABLE (Ft):				
11	CAPACITY (GPM):				
12	SUCT. PRES. (Pslg):				
13	DISCH. PRES. (Pslg):				
14	DIF. PRES. (Psl):				
15	T.D.H. (Ft):				
16	MAX. HEAD (Ft):				
17	MAX. PRES. CASE (Pslg):				
18	HIDRO. TEST PRES. (Pslg):				
19	MIN. FLOW (GPM):				
20	NPSH REQ. (Ft):				
21	EFFICIENCY (%):				
22	NOR. BHP:				
23	MAX BHP:				
24	RPM:				
25	ROTATION (viewing from coupling):				
26	DESIGN CODE:				
27	API CONSTRUCTION MATERIALS:				
28	CASE - COVER:				
29	IMPELLER:				
30	WEAR RINGS:				
31	SHAFT:				
32	THROAT BUSH:				
33	SUCT. DIAM. FLANGE / ANSI / FACE:				
34	SUCT. POSITION:				
35	DISCH. DIAM. FLANGE / ANSI / FACE:				
36	DISCH. POSITION:				
37	ASSEMBLING CASE:				
38	DIVISION CASE:				
39	VOLUTE TYPE:				
40	IMP. DIAM. DESIGN / MAX.:				
41	IMPELLER TYPE:				
42	MECHANICAL SEAL:				
43	MANUFACTURER / API CODE:				
44	SEAL FLUSH PIPING PLAN:				
45	COOLING WATER PIPING PLAN:				
46	PACKING:				
47	START - TEST PACKING:				
48	BEARINGS RADIAL / THRUST:				
49	LUBRICATION TYPE:				
50	COUPLING TYPE:				
51	Hidro. Test / Unit Price:				
52	Perfor. Test / Unit Price:				
53	NPSH Test / Unit Price:				
54	PUMP WEIGHT:				
55	SHIPMENT WITH DRIVER (Weeks):				
56	Unit Price (US Dls.): Without Motor:				

FIGURA V.3 HOJA DE DATOS PROPUESTA PARA BOMBAS EN INGLES

MOTOR DRIVER

OUR REF.:

NO.	DESCRIPTION	ITEM 1	ITEM 2	ITEM 3	ITEM 4
01	MANUFACTURER:				
02	NOMINAL POWER:				
03	VOLTS / PHASE / HERTZ:				
04	DESIGN: VOLTS / PHASE / HERTZ:				
05	TYPE:				
06	SYNCRONE SPEED (RPM):				
07	FULL LOAD SPEED (RPM):				
08	NEMA LETTER DESIGN:				
09	NEMA LETTER CODE:				
10	CLASS INSULATION:				
11	TEMPERATURE RISE (°F):				
12	TREATMENT:				
13	SERVICE FACTOR:				
14	POWER FACTOR: 100 % / 75 % / 50 %:				
15	EFFICIENCY: 100 % / 75 % / 50 %:				
16	No. FRAME:				
17	ENCLOSURE:				
18	CLOCKWISE (viewing from coupling):				
19	ASSEMBLING:				
20	SHAFT: SOLID / HOLLOW:				
21	SPACE HEATER:				
22	RADIAL BEARING:				
23	LUBRICATION:				
24	THRUST BEARING:				
25	LUBRICATION:				
26	UP AXIAL THRUST:				
27	DOWN AXIAL THRUST:				
28	TOTALY WEIGHT MOTOR (Lbs.):				
29	SHIPMENT (Weeks):				
30	UNIT PRICE MOTOR (US DLLS.):				

STEAM TURBINE DRIVER

NO.	DESCRIPTION	ITEM 1	ITEM 2	ITEM 3	ITEM 4
01	INLET STEAM PRES. (Psi):				
02	INLET STEAM TEMP. (°F):				
03	OUTLET STEAM PRES. (Psi):				
04	MANUFACTURER:				
05	MODEL:				
06	HP:				
07	RPM:				
08	TYPE:				
09	SPEC. CONSUME STEAM (lb/HPHr):				
10	CONSTRUCTION MATERIALS:				
11	CASE:				
12	ROTOR:				
13	SHAFT:				
14	GOVERNOR:				
15	MANUFACTURER:				
16	TYPE:				
17	LUBRICATION:				
18	TOTALY WEIGHT (Lbs.):				
19	SHIPMENT (Weeks):				
20	UNIT PRICE (US DLLS.):				

FIGURA V.4 HOJA DE DATOS PROPUESTA PARA ACCIONADORES EN INGLES

HOJA DE DATOS DE BOMBA

		REFERENCIA:			
NO.	DESCRIPCION	PARTIDA 1	PARTIDA 2	PARTIDA 3	PARTIDA 4
01	Fabricante:				
02	Modelo / No. de Pasos:				
03	Tamaño:				
04	No. de Curva Propuesta:				
05	Líquido:				
06	Temperatura (°F):				
07	Gravedad Específica:				
08	Presión de Vapor (Pulg):				
09	Viscosidad (Cp):				
10	Corrosión - Erosión:				
11	NPSH Disponible (Ft):				
12	Capacidad (GPM):				
13	Presión Succión (Pulg):				
14	Presión Descarga (Pulg):				
15	Presión Diferencial (Pulg):				
16	Carga Dinámica Total (Ft):				
17	Carga Máx. del Impulsor (Ft):				
18	Presión Máx. de Carcasa (Pulg):				
19	Presión Prueba Hidrostática (Pulg):				
20	Flujo Mínimo (GPM):				
21	NPSH Requerido (Ft):				
22	Eficiencia (%):				
23	BHP Normal:				
24	BHP Máximo:				
25	Velocidad (RPM):				
26	Código de Diseño:				
27	Materiales Clasificación API:				
28	Carcasa:				
29	Tapa de Carcasa:				
30	Impulsor:				
31	Axillos de Desgasta:				
32	Flacha:				
33	Buía de Garganta:				
34	Diámetro Succión / ANSI / Cara:				
35	Posición de Succión:				
36	Diámetro Descarga / ANSI / Cara:				
37	Posición de Descarga:				
38	División Carcasa:				
39	Voluta Tipo:				
40	Diámetro Impulsor, Diseño / Máx.:				
41	Impulsor Tipo:				
42	Sello Mecánico / Tamaño:				
43	Fabricante / Código API:				
44	Plan de Lavado al Sello:				
45	Plan de Enfriamiento al Sello:				
46	Empaquetadura:				
47	Rodamiento: Radial / Empuja:				
48	Lubricación:				
49	Cople Tipo:				
50	Prueba Hidrostática / Presión (Pulg.):				
51	Prueba de Comportamiento:				
52	Prueba de NPSH:				
53	Peso de la Bomba:				
54	Peso Bomba - Motor (Lbs.):				

FIGURA V.5 HOJA DE DATOS PROPUESTA PARA BOMBAS

MOTOR ELÉCTRICO

		REFERENCIA:			
DESCRIPCION		PARTIDA 1	PARTIDA 2	PARTIDA 3	PARTIDA 4
01	Fabricante:				
02	Potencia nominal:				
03	Volts / Fases / Ciclos:				
04	Tipo:				
05	Velocidad Síncrona (RPM):				
06	Velocidad Nominal (RPM):				
07	Letra de Diseño:				
08	Letra de Código:				
09	Aldamiento:				
10	Elevación de Temperatura (°F):				
11	Tratamiento:				
12	Factor de Servicio:				
13	Factor de Potencia: 100 % / 75 % / 50 %:				
14	Eficiencia: 100 % / 75 % / 50 %:				
15	No. de Arzones:				
16	Carcasa Tipo:				
17	Rotación (visto lado cople):				
18	Montaje:				
19	Flacha: Solida / Hueca:				
20	Resistencia Calafateada:				
21	Volts / Fases / Ciclos:				
22	Rodamiento Radial:				
23	Lubricación:				
24	Rodamiento de Empuje:				
25	Lubricación:				
26	Empuje Axial Normal:				
27	Empuje Axial Maximo:				
28	Peso del Motor (Lbs.):				

ACCIONADOR TURBINA DE VAPOR

		REFERENCIA:			
DESCRIPCION		PARTIDA 1	PARTIDA 2	PARTIDA 3	PARTIDA 4
01	Presión Vapor de Entrada (Pulg):				
02	Temperatura Vapor de Entrada (°F):				
03	Presión Vapor de Salida (Pulg):				
04	Fabricante:				
05	Modelo:				
06	Potencia (HP):				
07	Velocidad (RPM):				
08	Tipo:				
09	Consumo Especifico de Vapor (lb/HP/Hr):				
10	Materiales de Construcción:				
11	Carcasa:				
12	Rotor:				
13	Flacha:				
14	Gobemador:				
15	Fabricante:				
16	Tipo:				
17	Lubricación:				
18	Peso de la turbina (Lbs.):				

FIGURA V.6 HOJA DE DATOS PROPUESTA PARA ACCIONADORES

V.4.- Ejemplos de Selección.

V.4.1.- Ejemplo de selección de una Bomba de Uso General:

Como primer ejemplo de selección se plantea el siguiente caso:

Se requiere de una bomba para presurizar una línea con las siguientes condiciones:

Gasto a manejar: 210 GPM.
 Presión de succión: 0.2 Kg/cm²
 Presión requerida en la descarga: 0.9 Kg/cm²
 Líquido a bombear: Agua Limpia.
 Temperatura: Ambiente (20°C).
 NPSH disponible: 8 ft.

Como primer paso, se debe decidir que tipo de bomba es la mas adecuada para este servicio.

Sabemos que el uso que se le dará es el de presurizar una línea, puede tratarse quizá de una bomba de presión para una línea contra incendio o bien una bomba reforzadora para alimentación de agua potable, por mencionar algunos usos. Si la bomba refuerza la presión de una línea, lo mas lógico es que se seleccione una bomba tipo "in line", una bomba reforzadora se conoce con el nombre de bomba "booster".

1) Calculando la presión diferencial:

$$P_{dif} = P_{desc} - P_{succ} \quad 0.9 - 0.2 = 0.7 \text{ Kg/cm}^2$$

2) Calculando la carga dinámica total CDT o TDH:

$$CDT = (P_{dif} * 10) / Gr_{esp} \\ (0.7 * 10) / 0.9982 = 7.05 \text{ m} \approx 23.12 \text{ ft}$$

3) Con los valores obtenidos se recurre a una gráfica de características compuesta (como la definida en el punto V.2), para bombas in line booster para poder aproximar que modelo de bomba es el adecuado para este caso, resultando el modelo 3.0 LM5 de un fabricante conocido.

4) En la curva de comportamiento, se marcan las condiciones de caudal y carga intersectando las curvas como se indica en la ilustración y obteniendo los siguientes datos:

Velocidad: 1750 RPM
Eficiencia: 76% (conservador) [*]
Diámetro máximo de impulsor: 5.4"
Diámetro nominal de impulsor aprox: 5.29" [**]
NPSH requerido: 3.8 ft + 3 ft de protección: 6.8ft
Potencia del motor 2 Hp.

[*] Interpolando linealmente.

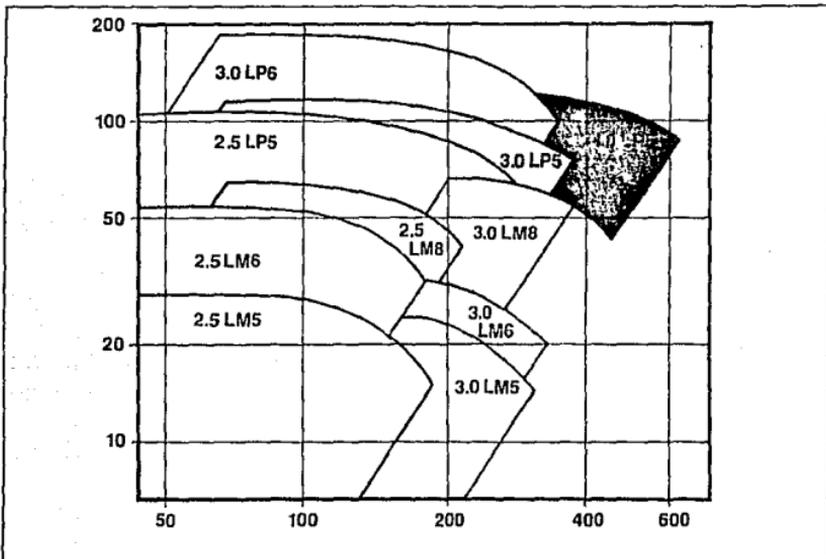
[**] Interpolando linealmente, el dato exacto corresponde al fabricante.

Se pueden obtener también los materiales de construcción de este modelo en el recuadro inferior.

En este caso, el fabricante incluye en su curva el dato de la potencia del motor, sin embargo en ejemplos posteriores, esta tendrá que ser calculada.

Series L, Single Stage Booster Pumps

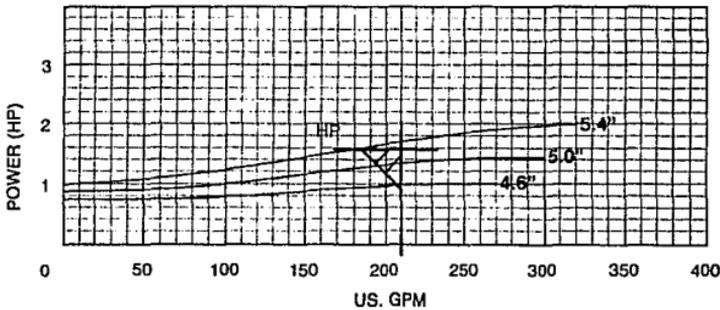
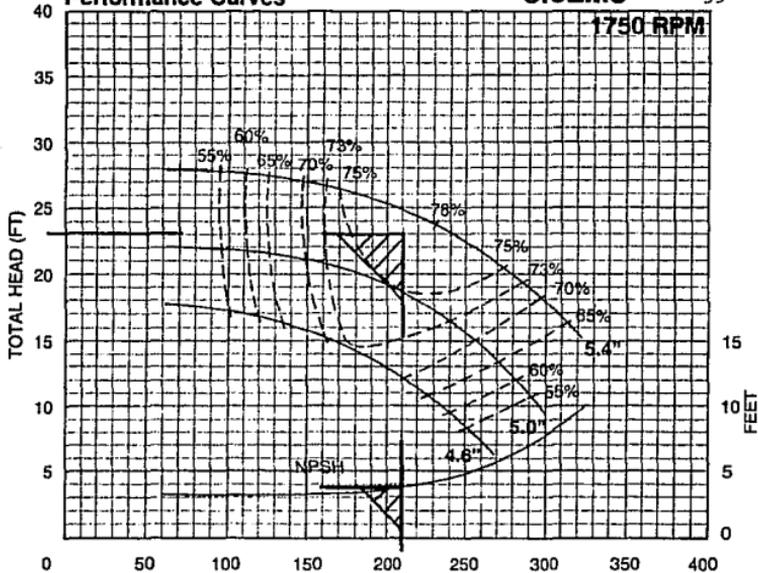
LM = 1750 RPM; LP = 3450 RPM 60 Hz



Performance Curves

3.0LM5

99



Construction Materials

Stainless Steel (431 S.S.): Shaft
 Stainless Steel (304 S.S.): Impeller, Impeller Wear Ring, Coupling
 Guards, Impeller Inlet Cone
 Stainless Steel: Impeller Locking Nut and Washer
 Other Seal Parts

Tungsten Carbide: Shaft Seal
 Cast Iron: Pump Housing, Motor Stool
 SG Iron: Coupling
 EPDM Rubber: Seal and Housing 'O' Rings
 Brass: Air Vent Screw

V.4.2.- Ejemplo de selección de una Bomba Multipaso:

Un cliente dado proporciona los siguientes datos para que le sea seleccionado un equipo de bombeo adecuado a sus necesidades:

Líquido a manejar: Sosa regenerada (19% de peso)
 Servicio: manejo de sosa a catalizador
 Destino: Refinería Antonio Dovalf Sajina Cruz Oax.
 Gasto: 68 lpm \approx 18 GPM \approx 4.0 m³/Hr
 Temperatura: 158° F \approx 70° C
 Gr Esp: 1.212
 Viscosidad: 1.3 CP.
 Presión de Vapor 1.0 Kg/cm² \approx 14.223 psia
 Presión de descarga: 23 Kg/cm² \approx 323.1 psig
 Presión de succión : 2.5 Kg/cm² \approx 35.5 psig
 Presión diferencial: 20.5 Kg/cm² \approx 287.6 psig
 NPSH disponible: 7.62 mts \approx 25 ft
 Montaje: horizontal

1) Dado el líquido a manejar, el Instituto de Hidráulica recomienda utilizar las siguientes metalurgias: bomba toda de hierro, acero cromo 12%, acero austenítico 19-9, acero austenítico cromo níquel con cobre y molibdeno, níquel. Por lo que se deberá seleccionar una bomba ejecutada en estos materiales. La ejecución recomendada por un fabricante conocido es: carcasa en acero al carbón, impulsor en ní resist, partes de desgaste en ní resist y eje en acero al carbón.

2) Dado el caudal a manejar, se elige de entre las alternativas posibles, el modelo MB 32 de un fabricante conocido.

3) Calculando la carga dinámica total:

$$H = CDT = (20.5 \text{ Kg/cm}^2 * 10 \text{ mts}) / 1.212$$

$$CDT = 167 \text{ metros columna de sosa.}$$

4) La bomba seleccionada, es una bomba de tipo multipaso, de manera que, como se indicó con anterioridad, mientras el caudal permanece constante, la carga se va sumando respecto al número de pasos. La carga indicada en la curva de una bomba multipaso (salvo que se indique lo contrario), corresponde a la carga desarrollada por cada paso. En la curva de comportamiento de la bomba correspondiente al modelo elegido, se observa que ésta puede desarrollar una carga por paso en el rango que va desde 23 hasta 33 metros columna de líquido aproximadamente, de modo que dividiendo la CDT obtenida entre 6 pasos (steps), se tiene que la bomba operará a 27.83 mcl. (si dividiéramos entre 5; la bomba operaría a diámetro máximo y con riesgo de no cumplir con el caudal requerido, si dividiéramos entre 7; la bomba operaría muy cerca de su diámetro mínimo además de que resultaría mas costosa).

5) Trazando los puntos de operación en la curva como se muestra posteriormente, obtenemos los siguientes datos:

Modelo MB 32 6ST

Curva D4200.11.03/2

Máximo paso de esfera: 4 mm

Brida de succión 50mm \approx 2"

Brida de descarga 32mm \approx 1 1/4"

Velocidad de rotación: 3500 RPM.

Sentido de rotación CW (visto lado cople)

Diámetro mínimo/nominal/máximo: 110/120/130mm

Eficiencia: 38%

NPSH requerido: 1.6 mts mas 3ft de seguridad que marca el Instituto de Hidráulica, se tienen: 2.52 mts

6) Calculando la demanda hidráulica de potencia:

$$HP_{hid} = Q \cdot H \cdot Gr_{Esp} / K$$

$$HP_{hid} = (4.0)(167)(1.212) / (273.6) = 2.96 \text{ Hp}$$

7) Calculando el BHP nominal:

$$BHP_{nom} = Q \cdot H \cdot Gr_{Esp} / K \cdot e$$

$$BHP_{nom} = (4.0)(167)(1.212) / (273.6)(0.38) = 7.8 \text{ Hp}$$

8) Calculando el BHP máximo:

$$BHP_{m\acute{a}x} = Q_{m\acute{a}x} \cdot H_{@Q_{m\acute{a}x}} \cdot Gr_{Esp} / K \cdot e_{@Q_{m\acute{a}x}}$$

$$BHP_{m\acute{a}x} = (10.3)(81)(1.212) / (273.6)(0.35) = 10.5 \text{ Hp}$$

9) Selección del motor:

De acuerdo al BHP nominal y máximo obtenido, se pueden hacer las siguientes consideraciones;

a) si el cliente no requiere que el motor sea capaz de cubrir toda la curva (Q máximo) debido a que su sistema es muy estable, se podría recurrir a un motor de 10 Hp.

b) si el cliente requiere que el motor pueda cubrir toda la curva de operación de la bomba por una posible demanda del sistema; entonces podría optarse por un motor de 10 Hp con un factor de servicio de 1.1.

c) si el cliente estima un crecimiento en su demanda en el mediano plazo y desea tener la posibilidad de ampliar la capacidad de la bomba (incrementando el diámetro de sus impulsores) sin tener que reemplazar su motor, puede optarse por el motor de 15 Hp, haciendo las consideraciones necesarias de las condiciones futuras.

En el ejemplo analizado el cliente opta por un motor capaz de cubrir toda la curva de operación, por lo que se selecciona el motor de 10 Hp con factor de servicio de 1.1.

Para las condiciones de la planta del cliente donde prevalecen gases volátiles, se recomienda un enclaustramiento del tipo a prueba de explosión clase I, grupo D y por el ambiente marino, se recomienda que el motor sea tropicalizado.

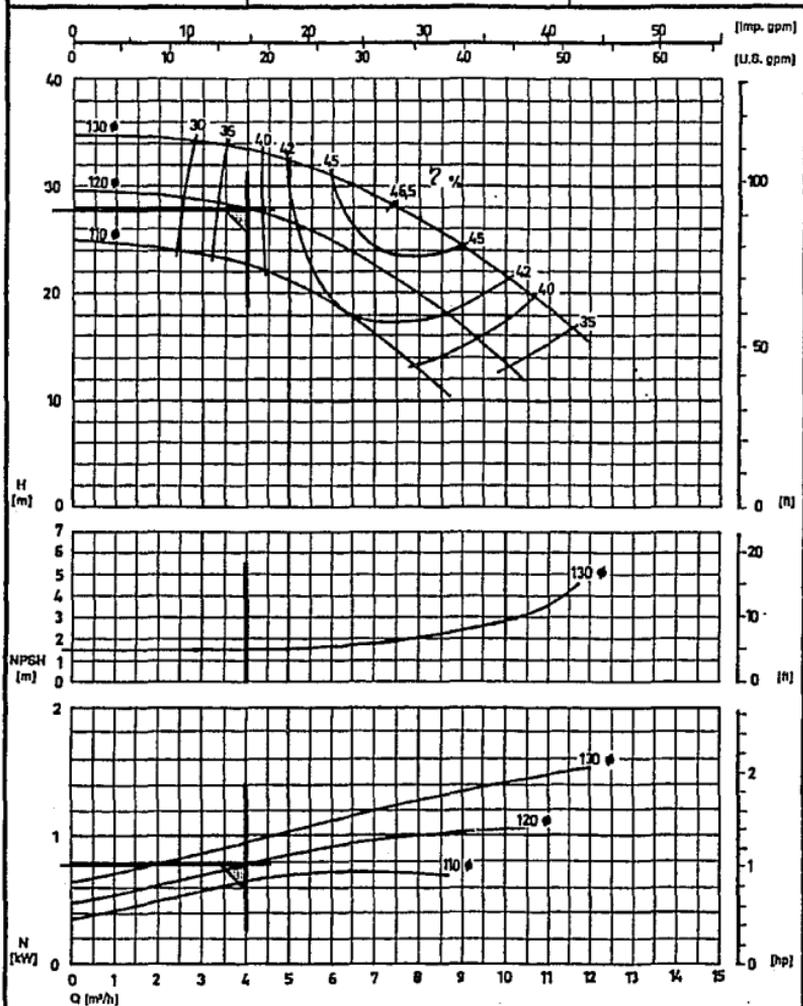
10) **Altura nominal máxima:** Altura máxima que puede desarrollar la bomba tomando en cuenta la gravedad específica y el recorte de impulsor a Q cero, en el ejemplo, 30 mts por paso por 6 pasos: 180 mts.

11) **Flujo mínimo:** gasto mínimo al que puede operar la bomba sin dañarse, en este caso se considera un flujo mínimo de $2.5 \text{ m}^3/\text{Hr}$.

12) Dadas las características del líquido a manejar, se recomienda el uso de sello mecánico con un plan 11 de lavado según API.

SULZER**D 4200.11.03/2**

		Gehäuse			Grandeur - Baugröße - Size					
		Laufrad, 1. Stufe			MB 32					
		Laufrad								
		Leitrad								
Dia. de grain max. Max. Korngröße Max. grain size		4	mm mm mm	Laufrad, 2. Stufe	3-048901	48 901	50 731	Bride aspiration Saugstutzen Suction branch	DN NW ND	50
Vitesse Drehzahl Speed		3500	U/min U/min rpm	Sens de rotation Drehrichtung Rotation	à droite rechts clockwise	vu côté accouplement v. Antrieb facing coupling		Bride refoulement Druckstutzen Discharge branch	DN NW ND	32
				Spatwand	3-048899	40 899	48 899			



HOJA DE DATOS PARA BOMBAS CENTRIFUGAS

APLICACION A PROPUESTA COMPRA CONSTRUCCION

NOTA: INDICA INFORMACION A SER COMPLETADA POR COMP.

POR FABRICANTE

TRABAJO No. 1 ITEM No. 1

ORDEN DE COMPRA No. _____

REQUISICION No. VISITA A CAJALO

COTIZACION No. CAF-COR-93-048

FECHA 26-11-93 REVISION 0

PARA PELUX REFINACION LUGAR REFINERIA ANTONIO DOVAL JAIMES
 UNIDAD SALINA CRUZ OAXACA SERVICIO AGUA DE SUELO REGENERADA
 No. MOTORES REGD. 1 ITEM No. 1 SUMINISTRADO POR ERCO MONTADO POR SULZER
 No. TURBINAS REGD. _____ ITEM No. _____ SUMINISTRADO POR _____ MONTADO POR _____
 FABRIC. BOMBAS SULZER TAMAÑO Y TIPO MB32-6ST SERIE No. _____

CONDICIONES DE OPERACION POR CADA BOMBA

LIQUIDO Sosa Regenerada CAP. M³A T¹HOR 4.0 NOMINAL 4.0 CURVA PROP. No. D4200-11.03/2
 PRES. DEL. 2.3 Kg/cm² RPM 3600 NPSH (AGUA) m 1.6
 T¹PC NOM. 30 MAX. 30 PRES. SUCC. MAX. 2.5 NOMINAL 2.5 k/m² EFF. 38% HP NOMINAL 7.8
 GR. ESP. ATR. 1.212 PRES. DIF. 20.5 Kg/cm² HP NOM. MAX. 10.5
 PRES. VAP. ATR. 1.05 k/m² ALT. MAX. m 16.7 ALT. NOM. MAX. 18.0
 VIS. ATR. m 1.300 NPSH m 3.6 FLUJO MINIMO m³/h 2.5
 CORRIENTE CAUSADA POR Sosa Regenerada HID. 2.96 HP ROTACION (VISTO LAZMO COPIE) CV

EFICIENCIA

CONSTRUCCION

BRIDAS	TAMAÑO	PRESION	CARA	POSICION
SUCCION	<u>2"</u>	<u>150#</u>	<u>R.F.</u>	<u>Horizontal Demicha</u>
DESCARGA	<u>1 1/2"</u>	<u>300#</u>	<u>R.F.</u>	<u>Vertical</u>

PRUEBAS DE TALLER

No. ATEST. EFIC. ATEST. EFIC.
 No. ATEST. HIDRO ATEST. HIDRO
 NPSH REG. ATEST. NPSH
 INSPECCION TALLER
 INSP. DESMONTAJE POS. PRUEBA
 OTRAS _____

MONTAJE CARCAZA AL CENTRO PIE SOPORTE VERT. TIPO
 DIVISION: AXIAL RADIAL TIPO VOLUTA SENCILLA DOBLE DIFUSOR
 PRESION: MAX. PERM. 40 bar 100 °C PRUEBA HIDROS 60 bar
 CONEXIONES: VENT. DRENAJE MANOMETRO
 DIAM. IMPULS. NOM. 120 mm MAX. 130 mm TIPO CEJADO
 MONTAJE: ENTRE COJINETES SUSPENDIDO
 TIPO RODAMIENTO: RADIAL Bolas ANGULAR Doble/Bolas
 LUBRICACION: ANILLO LUB. ANEGADO L. FORZADA GRASA
 COPIE: FAL. BERLIX MOD. TAM. TSK0011/0056 ESPACIADOR 140 mm
 MEDIO COPIE ACCIONAMIENTO MAQ. POR: FAB. BOMBA FAB. ACCION COMPRA
 EMPAQUETADURA FAB/TIPO: _____ TAMB. ANILLOS
 SELLO: FAL. MOD. FLO 184037 COD. API CLASE 31CY
 MATEMATICAS COD. FAB. ALBIDOS

CERTIF. DE MATERIAL

MATERIALES

BOMBA: CLASE CUENTA _____
 CARCAZA ALUMINIO
 IMPULSOR NI-RESIST
 PART. PERI. NI-RESIST
 SE AGUA AL CARBON
 MANGUERAS NI-RESIST

MATEMATICAS

PLACA DE BASE ACERO ESTRUCTURAL

TUBERIA AUXILIAR

PLAN AGUA ENF. _____ CU A. INDC. TUBING TUBO
 AGUA ENF. TOTAL REQUERIDA m³/h _____ DIAM. ORIFICIO _____
 ENFRIAMIENTO EN EMPAQUE REG. m³/h _____ bar
 PLAN CIRCULACION SELLO: A.C. A.L. TUBING TUBO
 CIRCULACION EXTERNA _____ m³/h _____ bar
 PLAN AUXILIAR LAVADO A.C. A.L. TUBING TUBO
 PLAN AUXILIAR LAVADO PLAN 11 DE API

BOMBAS VERTICALES

~~PLAN CARCAMO
 MIN. DISTANCIA REG.
 COLUMNA GUIA BRID. ROSC.
 EJE ARRINDO CERRADO
 LUB. ROD. AGUA ACEITE GRASA
 PLOT. Y BARRA CAO AL BRZO NO
 INTERR. FLOSOGR
 EMPUJE BOMBA Kg ARABO
 ARABO~~

MOTOR

HP 10 RPM 3600 ARMAZON 215TP VOLTS/FASES/CICLOS 220/3/60
 FAB IDA RODAMIENTOS Bolas LUBRIC. GRASA
 TIPO INDUC. TCCV-XF AISLAME. F AMPS CARGA TOTAL _____
 ELEV. TEMP. °C _____ AMPS ROTOR BLOQUEADO _____
 CAPACIDAD EMP. VERT. Kg _____

PESO APROX. BOMBA BASE 85 Kg
 Kg MOTOR 110 TURBINA _____

SEGUN NORMA API 610, A MENOR CUE OTRA SEA ANOTADA

SE NO ES BOMBA API

DIBUJOS

DIB. CORTE BOMBA _____
 DIB. CORTE/EM _____
 DIB. DIMENSIONES _____
 PLAN CIRCULACION _____
 PLAN AGUA DE ENFRIAM. _____

CAPITULO VI.

INSTALACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO.

VI.1.- Instalación, Alineación Y Acoplamiento.

Un instructivo en general, contiene direcciones para las siguientes fases del uso de la bomba:

- 1.- Instalación para servicio máximo con un mínimo de desgaste y costos.
- 2.- Ajuste y operación para funcionamiento óptimo.
- 3.- Mantenimiento y reparación cuando se necesita.

Como los instructivos intentan ayudar a mantener la maquinaria eficiente y disponible constantemente, siempre deberán estar al alcance del siguiente personal:

- a). Personal de construcción responsable de la instalación.
- b). Operadores que usan el equipo y hacen inspecciones y pruebas periódicas.
- c). Personal de mantenimiento que repara y dá servicio al equipo.
- d). Ingenieros que determinan el uso adecuado del equipo.

Los criterios para la correcta instalación de una bomba se dan a continuación:

VI.1.1.- Preparación para embarque.- El procedimiento general para la preparación de bombas para embarque después de fabricadas es prácticamente idéntico con todos los fabricantes. Todas las bridas y partes metálicas terminadas expuestas se limpian de materias extrañas y se tratan como un compuesto anticorrosivo, como grasa, vaselina o aceite grueso. Para protección durante el embarque y la instalación, todas las bridas y aberturas de tubería y boquillas se protegen con bridas de madera o con tapones de metal enroscados, que evitan la entrada de suciedad, polvo humedad o materia extraña. Todas las tuberías pequeñas se limpian y se instalan guardas protectoras si es necesario.

Generalmente, el accionador se entrega al fabricante de la bomba, donde se arma y alinea con la bomba en una base común. La placa de base se perfora para montar el accionador, pero la colocación fija final puede hacerse, si se requiere, en el campo después del alineamiento final. Cuando

el tamaño y el peso lo permiten, la unidad se embarca ya armada, es decir, con el accionador y la bomba en la base. Sin embargo, algunas veces los accionadores de tamaño muy grande se embarcan para montarse directamente en el campo. Entonces se tendrá que taladrar la base en el lugar de trabajo.

Algunas veces es impráctico embarcar la bomba montada en su base, como cuando las boquillas de succión y descarga están colocadas verticalmente hacia abajo y sobresalen una distancia apreciable abajo de la placa de la base, o si existen limitaciones de tamaño o de peso. Estas bombas deben embarcarse por separado o voltearse hacia abajo y asegurarse temporalmente a la base.

VI.1.2.- Cuidado del equipo en el campo antes de usarlo.- El equipo deberá inspeccionarse y verificarse contra el talón de embarque inmediatamente que se recibe el envío. Cualquier daño o faltante se deberá informar al agente local de la compañía transportadora.

Si se recibe el equipo de bombeo en el lugar de destino antes de que se pueda usar, se deberá almacenar inmediatamente en un lugar seco. Las bridas y acabados protectores deberán permanecer en las bombas. Los cojinetes y acoplamientos deberán protegerse cuidadosamente de la arena, polvo u otra materia extraña y el rotor de la bomba deberá girarse a mano a intervalos frecuentes para evitar que se oxide o se pague.

Algunas veces durante el almacenamiento, un rotor se pegará ligeramente. Para despegarlo se deberá sacar o desarmar el cojinete de empuje y se deberán aflojar los vertederos de aceite, protectores u otras partes que puedan restringir el movimiento del extremo. Moviéndolo el rotor unas cuantas veces se despegará de los anillos de desgaste o de donde se haya pegado en los espacios libres móviles interiores.

Si una bomba se tiene que almacenar por largo tiempo, se requieren precauciones más completas. Se deberá secar el interior de la bomba cuidadosamente con aire caliente o un dispositivo productor de vacío para evitar que se oxiden las partes internas. Una vez libre de humedad, se deberá llenar la bomba con un líquido protector, como aceite ligero, Kerosina o anticongelante. Todas las partes accesibles como cojinetes y acoplamientos, deberán desarmarse, secarse y cubrirse con vaselina o aceite grueso libre de ácido, después de lo cual deberán etiquetarse apropiadamente, envolverse y colocarse en cajas para evitar contacto metal a metal y guardarse.

Si se ha utilizado un preventivo de oxidación en las partes almacenadas, estas deberán limpiarse completamente antes de su instalación final. Se debe tener un gran cuidado para asegurarse de que se han eliminado todas las trazas del recubrimiento protector y se han relubricado los cojinetes.

VI.1.3.- Reglas generales para localización de bombas.- Las bombas que se instalan en interiores, en lugares mal alumbrados y ventilados y sin amplitud, o donde se acumula polvo y humedad, están situadas inadecuadamente para desarmarlas y repararlas; se descuidarán y tanto la bomba como el accionador se podrán dañar. Las bombas se deberán instalar en lugares alumbrados, secos y limpios siempre que sea posible.

Siempre se debe dejar espacio suficiente para desarmar la bomba; es decir, se debe contar con bastante espacio arriba de las bombas horizontales con cubiertas axialmente divididas, para que la mitad superior de la cubierta se pueda levantar dejando libre el rotor. Algunas bombas de alta presión están radialmente divididas y su rotor se saca longitudinalmente. Se debe tener espacio para poder sacar el rotor sin inclinarlo, para bombas grandes con cubiertas y rotores pesados, se debe proveer sobre la localización de la bomba una grúa viajera o facilidades para armar un malacate. Si el espacio es crítico desde la selección del equipo debe tomarse en cuenta esta limitación y optar, en la medida de lo posible, por equipos verticales (si es el caso).

Cuando el equipo de bombeo deba usarse a niveles en los que es posible una inundación, se pueden tomar dos clases de medidas:

- a). Se puede utilizar una bomba vertical de cárcamo húmedo.
- b). Se deben proveer bombas auxiliares de achique de foso lleno.

En instalaciones normales las bombas deberán localizarse tan cerca como sea posible de la fuente del suministro del líquido. Cuando sea conveniente, la línea de centro de la bomba deberá colocarse abajo del nivel del líquido del depósito de succión. Siempre se deben seguir las recomendaciones del fabricante sobre las condiciones de succión. Con la mayoría de las unidades de bombeo, se obtiene servicio más satisfactorio cuando se suministra un cimiento rígido.

VI.1.4.- Cimentaciones.- Las cimentaciones son cualquier estructura rígida suficientemente pesada que proporcione un soporte rígido permanente a toda el área de la plancha de la base y absorba cualquier esfuerzo o impacto normales. Las cimentaciones de concreto construidas desplantándose desde suelo firme son las más satisfactorias. Al construir la cimentación, se debe dejar un margen para poner lechada de concreto entre la superficie áspera del concreto y la cara inferior de la placa de base.

Cuando la mayoría de las unidades de bombeo se montan en planchas de base, el equipo muy grande puede montarse directamente sobre la cimentación. En estos casos se deben suministrar placas de zapata bajo las patas de la bomba y del accionador. De esta manera, el alineamiento puede corregirse con laines y se puede desmontar y reponer la unidad sin dificultad, si es necesario.

El espacio requerido por unidad de bombeo y la colocación de los pernos de anclaje se determinan con los palnos suministrados por el fabricante. Cada perno de cimentación deberá rodearse de una camisa de tubo, de diámetro 3 ó 4 veces mayor que el del perno. Después de colada la cimentación de concreto, se sostiene sólidamente en su lugar el tubo mientras que el perno puede moverse para que corresponda al agujero de la placa de la base. Cuando una unidad se monta en una armadura de acero u otra estructura, se debe colocar tan cerca como sea posible de los miembros principales, vigas y paredes, y soportarse de modo que no pueda deformarse la placa de base o estropear el alineamiento por cualquier flexión o expansión de la estructura o la plancha.

VI.1.5.- Alineamiento.- Cuando una unidad que consiste de bomba, base, acoplamiento y accionador se arma en la fábrica, la placa de la base se coloca en una superficie plana y lisa, se montan la bomba y el motor y se alinean con precisión las mitades del acoplamiento con laines abajo de las superficies de montaje de la bomba y del impulsor donde sea necesario. Generalmente, la bomba se fija con prisioneros a la placa de la base en la fábrica, pero, como se describió previamente, el accionador se asegura después de la instalación en el lugar porque el alineamiento de fábrica no se puede mantener con suficiente precisión para arrancar y operar la unidad sin volverla a alinear en el campo.

Las placas de base de suficiente resistencia y rigidez y patas de montaje y pernos de suficiente tamaño para permitir la operación sin un nuevo alineamiento en el campo serían de tamaño, peso y costo prohibitivos. Durante el embarque, además, la bomba, su accionador y la base se someten a tales esfuerzos que se originan serios desalineamientos.

Cuando la placa de base se monta en el lugar y se conecta la tubería puede ocurrir, un mayor desalineamiento, a veces lo bastante serio para provocar falla de cojinetes y acoplamiento y, en algunos casos, la rotura de la flecha. Si la bomba maneja líquido a alta temperatura, el alineamiento final en el campo, deberá hacerse con la bomba y el motor llevados a su temperatura de operación normal.

Con unidades de tamaño moderado generalmente es innecesario quitar de su lugar la bomba o el motor cuando se está nivelando. La unidad deberá ponerse sobre la cimentación y soportarse con pequeñas tiras de placa de acero o material para laines cerca de los pernos de anclaje, dejando un espacio de 1.9 a 5.08 cm., entre el fondo de la plancha y la parte superior del cimiento para la lechada de concreto. El material para laines deberá extenderse completamente a través del borde de soporte de la placa de base. Los pernos del acoplamiento deberán sacarse antes de nivelar la unidad y de alinear los medios coples. Algunas veces se usan cuñas en vez de tiras planas, aunque son menos satisfactorias. Las opiniones difieren con respecto al retiro de las tiras o cuñas después de cimentar con concreto. Los bordes salientes de las bases que soportan las patas de la bomba y del impulsor, cuando se limpian con escrepa, pueden usarse con un pequeño nivel de burbuja para nivelar la base. Cuando se puede, es preferible colocar el nivel en alguna parte expuesta de la flecha de la bomba, manguito o superficie pulida de la cubierta. Las tiras de acero o laines de bronce bajo la placa de base deberán ajustarse hasta que la flecha de la bomba éste a nivel, las bridas de las boquillas de succión y descarga estén verticales u horizontales según se requiera y la bomba esté a la altura especificada y en su lugar. Cuando la placa se ha nivelado, se deberán apretar con los dedos las tuercas de los pernos de anclaje.

Durante la nivelación de la bomba y la placa de base, se deberá mantener el alineamiento preciso entre los dos medios coples desarticulados entre las flechas de la bomba y el impulsor. Antes de alinear, tanto el rotor de la bomba como el del impulsor deberán girarse a mano para asegurarse de que se mueven libremente. Se deberá colocar unas regla recta a través del acoplamiento por un lado y por arriba, y, al mismo tiempo, las caras de las mitades del acoplamiento deberán verificarse con un medidor cónico de espesores o un calibrador de hojas, para ver que estén paralelas. Para todas las verificaciones de alineamiento, incluyendo el paralelismo de

las caras del acoplamiento, ambas flechas deberán empujarse con fuerza hacia un lado al tomar las medidas.

Cuando las periferias de las mitades del acoplamiento son círculos perfectos del mismo diámetro y las caras están planas, existe un alineamiento exacto cuando la distancia entre las caras es la misma en todos los puntos y una regla recta asiente bien en cualquier punto de los cantos. Si las caras no están paralelas, los calibradores de espesores o de láminas mostrarán una variación en distintos puntos. Si un acoplamiento está más alto que el otro, la cantidad puede determinarse con la regla recta y los calibradores de hoja.

Algunas veces los medios acoplamientos no son círculos perfectos y no son de diámetro idéntico por las tolerancias de fabricación. La perfección de cada medio acoplamiento se verifica haciendo girar uno y sosteniendo el otro estacionario y verificando el alineamiento cada cuatro de revolución del medio acoplamiento que gira. Luego se sostiene estacionaria la mitad que se giró previamente y se verifica el alineamiento. Puede encontrarse una variación dentro de los límites de los fabricantes en cualquiera de las dos mitades y se debe dejar una tolerancia adecuada para compensarla cuando se alinea la unidad.

Se puede utilizar un indicador de carátula atornillado a la mitad del acoplamiento de la bomba para verificar tanto el alineamiento radial como axial en vez de la regla recta y el calibrador de espesores. Con el botón descansando en la periferia del otro acoplamiento, se debe colocar en cero la manecilla indicadora y hacer con gis una marca en el punto del medio acoplamiento en el que está el botón. Para cualquier verificación (arriba, abajo o a los lados) ambas flechas deberán girarse una cantidad igual, es decir, todas las lecturas en la carátula deberán hacerse con el botón en la marca de gis. Las lecturas de la carátula indicarán si el impulsor debe elevarse, bajarse o moverse a uno o a otro lado. Después de cualquier movimiento, es necesario verificar que las caras del acoplamiento permanecen paralelas una respecto a la otra.

Por ejemplo, si la lectura del indicador en el punto inicial se coloca en cero y la lectura diametralmente opuesta en el fondo o en los lados es de .25 mm. más menos el impulsor deberá subirse o bajarse con lanas o moverse a un lado u otro la mitad de la lectura.

Cuando se conecta con un acoplamiento de extensión la bomba con su impulsor, se deberá usar un indicador de carátula para verificar el alineamiento. Se deberá quitar la pieza de extensión de entre los dos medios acoplamientos, exponiendo los cubos. Se deberá utilizar la tuerca del acoplamiento de la flecha para fijar un brazo de extensión apropiado o ménsula suficientemente larga para que alcance entre los dos medios acoplamientos. El probador de carátula indicadora se monta en este brazo y se verifica el alineamiento tanto de concentricidad de los diámetros de los cubos como el paralelismo de sus caras. Con el cambio del brazo de un cubo al otro se obtiene una verificación adicional.

El espacio libre entre las caras de acoplamientos del tipo de perno y amortiguadores y los extremos de las flechas en otros tipos se deberá fijar de manera que las caras no puedan tocarse, rozarse o jalar, ya sea la bomba

o el motor. Este espacio libre variará de acuerdo con el tamaño y tipo de acoplamiento usado.

Un espacio suficiente permitirá un movimiento del extremo de la flecha sin obstáculos del elemento impulsor hacia el límite de su tolerancia de cojinetes.

En unidades movidas por motor, el centro magnético del mismo determinará la posición de trabajo de la mitad del acoplamiento correspondiente. Esta posición deberá verificarse operando el motor mientras está desconectado; también deberá verificarse la dirección de rotación del motor. Si no se tiene corriente disponible, se deberá mover la flecha del motor en ambas direcciones tanto como lo permitan los cojinetes, luego se deberá ajustar el centro de esos límites. La unidad deberá armarse con la separación correcta entre los dos medios acoplamientos.

Los motores eléctricos horizontales grandes con cojinetes de manga generalmente no están equipados con cojinetes de empuje. Se permite que el rotor flote y aunque busque su centro magnético, una fuerza de magnitud muy pequeña puede hacer que se salga de su centro. Algunas veces se moverá lo bastante como para hacer que el collar de la flecha se ponga en contacto con el cojinete, provocando generalmente, serias dificultades de los cojinetes del motor. Para evitar esto, los fabricantes de bombas y motores han convenido en usar un acoplamiento de flotación limitada entre el motor y la bomba en todas las unidades de tamaño grande, sacando ventaja del hecho de que todas las bombas están equipadas con cojinetes de empuje adecuados. De esta manera, el rotor del motor se coloca dentro de una posición restringida. Los fabricantes de motores marcan los dos extremos del desplazamiento en la flecha del motor y hacen que el espacio libre total axial entre los collares de la flecha y los bordes de los cojinetes no sea menos de 1.27 cm. A su vez, los fabricantes de bombas suministran acoplamientos flexibles que limitarán el desplazamiento lateral del rotor del motor a 0.476 cm.

Cuando las bombas se mueven con turbinas de vapor, el alineamiento final deberá hacerse con el impulsor calentado a su temperatura de operación. Cuando esto no es posible al tiempo de alinearla, se debe dejar una tolerancia adecuada para que se eleve la flecha cuando se expande la unidad.

Siempre deberá verificarse el alineamiento cuando la unidad está a la temperatura de operación y ajustarse según se requiera antes de poner la bomba en servicio. El calor aplicado a la tubería de entrada y descarga de vapor causa expansión, y la instalación deberá hacerse de modo que las boquillas de la turbina no queden sujetas a esfuerzos por la tubería. Cuando la unidad está nivelada y alineada con precisión, los pernos de sujeción se deberán apretar suave y uniformemente antes de poner la lechada de cemento.

La alineación se debe verificar nuevamente después de que la tubería de succión y descarga sea fijada con los tornillos a la bomba, para probar el efecto de los esfuerzos por la tubería. La alineación de la bomba y su impulsor se debe verificar ocasionalmente porque pueden desarrollarse esfuerzos por la tubería después de que la unidad ha estado operando por algún tiempo, causando un desalineamiento. Esto es, especialmente cierto cuando la bomba maneja líquidos calientes, porque hay una probabilidad de

expansión o cambio de la forma de la tubería. Las bridas de la tubería en la bomba se deben desconectar después de un período de operación para verificar el efecto de la expansión de la tubería y se deben hacer los ajustes para compensarlo.

VI.1.6.- Principales puntos a verificar antes de proceder al arranque.- Como una guía rápida de aspectos a verificar, tenemos los siguientes:

-Verificar que la bomba (ya acoplada y montada), gire libremente con la fuerza de las manos. En bombas verticales debe verificarse que el rotor ha sido alzado a la altura que indica el manual.

-Verificar el sentido de giro del motor respecto del sentido de giro de la bomba, esto puede hacerse energizando por aproximadamente 2 segundos el motor observando como gira respecto al sentido de giro indicado en la bomba (este procedimiento depende de la potencia del motor). Debe tenerse particular cuidado con motores verticales con trinquete de no retroceso y con bombas verticales sumergibles.

-Verificar que el sello mecánico o la empaquetadura, según el caso, han sido correctamente instalados (si el sello cuenta con plan de enfriamiento y/o lavado consúltese el manual antes de arrancar para evitar que pueda dañarse).

-Verificar que la bomba esté totalmente cebada. Verificar también la correcta instalación de la válvula de retención cuando sea el caso. En caso de una bomba sumergida, asegurarse de que esté totalmente inundada por lo menos hasta el nivel mínimo de sumergencia permitido.

-Verificar que las tuberías de succión y descarga de la bomba estén debidamente ancladas de modo que no estén soportadas sobre las bridas de la bomba o bien que pudieran estar desalineadas provocando esfuerzos a la carcasa de la bomba.

-En bombas verticales, la principal causa de daño al equipo es la falta de linealidad en el rotor, por lo que de una correcta instalación completamente lineal dependerá en gran medida la vida útil del equipo.

VI.2.- Arranque.

Las bombas centrífugas, pueden arrancarse de cuatro modos diferentes a saber en cuanto al torque demandado, y éstos son:

VI.2.1.- Arranque contra válvula cerrada.- La figura VI.1, muestra la forma en que se arranca una bomba utilizando el método de arranque contra válvula cerrada. Cuando tiene comparativamente altos rangos de operación, la bomba debe arrancar con un flujo mínimo permitido por la válvula de descarga semiabierta, esto debido al riesgo de que el líquido pueda evaporarse dentro de la bomba. Tan pronto como la velocidad de operación sea alcanzada, la válvula de descarga debe abrirse.

Este método es posible solamente en bombas con baja velocidad específica, en donde la potencia de entrada y el torque con la válvula cerrada son menores que en el punto real de operación.

VI.2.2.- Arranque contra válvula de retención cerrada y con válvula de descarga abierta.- La Fig. VI.2, muestra cuando arranca la bomba. La válvula de retención abre en el punto A, es en ese momento cuando la

contrapresión sobre la válvula es alcanzada. El desarrollo de la salida, por ejemplo el caudal y la presión se elevan a su punto de operación a través de la curva del sistema en función de la velocidad.

VI.2.3.- Arranque con la válvula de descarga abierta, pero sin carga geodésica.- La Fig. VI.3 muestra esta característica, aquí, la curva del torque es una parábola hasta el punto de operación B, considerando que el tubo es corto y que el tiempo necesario para acelerar la columna de agua coincide con el tiempo de arranque de la bomba.

VI.2.4.- Arranque con válvula de descarga abierta y tubería de descarga sin líquido.- Las bombas con alta velocidad específica son principalmente arrancadas con la tubería de descarga vacía. Una contrapresión debe ser establecida tan pronto como sea posible, incluso si es necesario, estrangular la válvula de descarga para prevenir que la bomba trabaje demasiado en un rango donde exista el peligro de presentarse el efecto de cavitación. La Fig. VI.4 muestra este método de arranque de bombas. Arrancar bombas de este tipo con tuberías llenas es posible mediante el uso de válvulas de bypass.

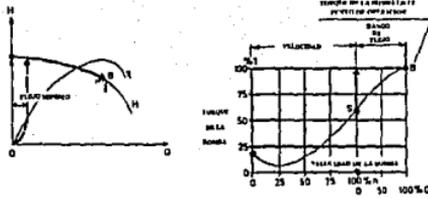


FIG. VI.1 ARRANQUE CONTRA VALVULA CERRADA

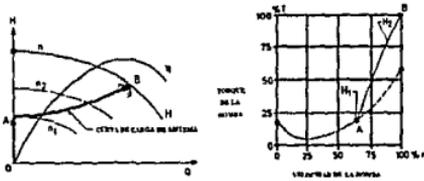


FIG. VI.2 ARRANQUE CONTRA VALVULA DE RETENCION CERRADA Y CON VALVULA DE DESCARGA ABIERTA

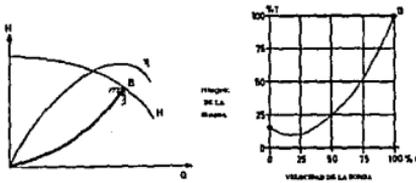


FIG. VI.3 ARRANQUE CON LA VALVULA DE DESCARGA ABIERTA PERO SIN CARGA GEODESICA

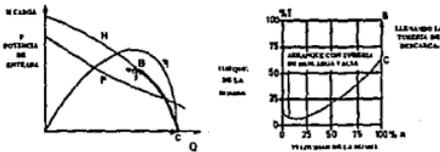


FIG. VI.4 ARRANQUE CON VALVULA DE DESCARGA ABIERTA Y TUBERIA DE DESCARGA SIN LIQUIDO

VI.3.- Mantenimiento de la Bomba.

Debido a la gran variación de tipos, tamaños, partes y diseños de las bombas centrífugas, cualquier descripción del mantenimiento debe restringirse a los tipos más comunes de las bombas centrífugas.

La amplitud de los conocimientos que debe tener una persona que practique el mantenimiento a las bombas, depende de las demandas y complejidad del sistema en el que estén instaladas. En la mayoría de los casos, es suficiente la información completa que se da en el instructivo general sobre la construcción mecánica. Por lo general, el personal de mantenimiento, sólo necesita saber las condiciones especificadas para el servicio, que generalmente se dan en la placa de la bomba. Ocasionalmente, se requiere también información más completa sobre las características de la bomba para proporcionar inspección y mantenimiento más adecuados. En estos casos se requiere una curva de funcionamiento de la bomba y si no está incluida en el manual de instrucciones, se deberá obtener del fabricante de la bomba.

Existe una considerable diferencia de opinión en relación con la bondad del procedimiento de reconstruir partes desgastadas como anillos de desgaste o manguitos de flecha, sin embargo la experiencia y observación al respecto dicta que en bombas de tolerancias críticas, es decir de uso especializado, el reconstruir piezas por parte del usuario tiene en muchos casos resultados desastrosos para el equipo. Los problemas de mantenimiento del equipo de bombeo centrífugo, varían de sencillos a complicados. El tipo de servicio para el que la bomba está destinada, la construcción general de ella, la complejidad relativa de las reparaciones requeridas, las facilidades disponibles en el lugar, y otros factores estarán en la decisión de si las reparaciones necesarias se ejecutan en la instalación o en la planta del fabricante de la bomba. Algunas veces, especialmente, cuando se dispone de suficiente equipo auxiliar de relevo, una bomba que necesite reparación se manda a la planta del fabricante para reconstrucción completa. De otra manera, las reparaciones o reconstrucciones se hacen localmente con los mecánicos que prestan sus servicios en las instalaciones del cliente. Cuando es más rápido, los Ingenieros de servicio de la planta del fabricante de la bomba ejecutan la reparación en el lugar del usuario.

VI.3.1.- Observación Diaria.- Las instalaciones de bombas que se atienden constantemente deberán inspeccionarse cada hora (por mencionar un intervalo de tiempo reducido) y todos los días.

Un sistema de tarjetas para estas inspecciones no se considera necesario porque el operador debe reportar inmediatamente, cualquier irregularidad en el funcionamiento de la bomba. Un cambio de sonido en una bomba que está trabajando debe investigarse inmediatamente.

Las temperaturas de los cojinetes debe observarse y medirse cada hora. Un cambio repentino de temperatura en un cojinete es una indicación mucho más clara de dificultades que una temperatura alta constante. Si la bomba está equipada con chumaceras aceitadas con anillo, se deberá observar el funcionamiento apropiado de los anillos de aceite. También se

debe observar cada hora la operación de los estoperos. Se debe revisar el escurrimiento de los estoperos para ver si es suficiente, para proporcionar enfriamiento y lubricación a la empaquetadura pero no excesiva y con desperdicio. Los manómetros e indicadores de flujo, si están instalados, deberán también revisarse cada hora para su correcta operación. Los instrumentos registradores, si se cuenta con ellos, se deben verificar todos los días para asegurarse de que la capacidad de salida, presión o consumo de corriente no indican que algo necesita atención.

VI.3.2.- Inspección Semestral.- El prensaestopos del estopero, deberá revisarse cada medio año para ver que tenga movimiento libre. Se deberán limpiar y aceitar los pernos y tuercas del prensaestopos e inspeccionar la empaquetadura para determinar si necesita reponerse. El alineamiento de la bomba y del impulsor deberá verificarse y corregirse si es necesario. Los cojinetes lubricados con aceite deberán vaciarse, escurrirse y rellenarse con aceite nuevo. Los cojinetes lubricados con grasa deberán inspeccionarse, para ver si se proporcionó la cantidad correcta de grasa y si todavía es de consistencia adecuada.

VI.3.3.- Inspección Anual.- Las bombas centrífugas se deben inspeccionar muy cuidadosamente una vez al año. Además del mantenimiento semestral, se deben desmontar los cojinetes, limpiar y examinar si tienen defectos. Las cajas de cojinetes deben limpiarse cuidadosamente. Los baleros antifricción deberán examinarse para ver si están rayados o tienen desgaste después de limpiarse. Inmediatamente, después de la inspección los cojinetes deben cubrirse con una capa de aceite o grasa para evitar la entrada de polvo o humedad.

La empaquetadura deberá sacarse y los manguitos de la flecha, o la flecha misma si no se utilizan manguitos, deberán examinarse buscando si hay desgaste. Las mitades del acoplamiento deberán desconectarse y verificar el alineamiento. En el caso de bombas horizontales con cojinetes de babbit, deberá verificarse el movimiento vertical en ambos extremos con la empaquetadura fuera y el acoplamiento desconectado.

Cualquier movimiento vertical superior a 150% del juego original requiere una investigación para determinar la causa. El juego permitido en los extremos por los cojinetes, también deberá verificarse y si tiene más del requerido por el fabricante, se deberá determinar la causa y corregirse.

Los drenajes, tubería de agua de sello, tubería de agua de enfriamiento y otras tuberías deberán revisarse y soplarse. Si se usa un enfriador de aceite, deberá soplarse y limpiarse. Se deberán reempacar los estoperos y volver a conectar el acoplamiento. Si se tienen disponibles dispositivos e instrumentos de medición, éstos deberán recalibrarse y hacer una prueba para determinar si se obtiene un funcionamiento correcto. Si se hacen reparaciones internas deberá probarse nuevamente la bomba al terminar la reparación.

VI.3.4.- Reconstrucción Completa.- No se pueden establecer fácilmente reglas generales para determinar la frecuencia apropiada y la periodicidad de las reconstrucciones generales de las bombas centrífugas. El tipo del servicio para el que se destina la bomba, su construcción general, el líquido manejado, los materiales utilizados, el tiempo promedio de operación de la bomba, y la cuantificación de los costos de reconstrucción contra los

posibles ahorros de fuerza por la renovación de los espacios libres, todos entran en la desición de la frecuencia de las reparaciones generales. Algunas bombas en servicios severos pueden requerir una reconstrucción completa cada mes (por ejemplo en bombas utilizadas en minas), mientras que otras aplicaciones sólo la requieren cada dos o cuatro años, e incluso, en ocasiones, con menos frecuencia (por ejemplo en bombas de suministro de agua potable). La mayoría de los diseñadores de bombas y de los especialistas consideran que una bomba centrífuga no necesita abrirse para inspeccionarla a menos que la evidencia de hecho o circunstancial indique que es necesaria la reconstrucción.

VI.3.4.1.- Evidencia de Requerimiento de Reconstrucción.- Algunos tipos de evidencia positiva son una declinación en el funcionamiento de la bomba, tales como; una baja considerable de eficiencia, ruido o temperatura excesiva de los cojinetes, sobrecarga del impulsor, imposibilidad de cumplir con las condiciones requeridas inicialmente de gasto-carga o dificultades similares. La instrumentación apropiada es de primordial importancia para la operación satisfactoria y larga vida del equipo de bombeo centrífugo. El equipo para determinar las capacidades y presiones de las bombas es tan importante como cualquier otra herramienta de mantenimiento y siempre deberá tenerse a mano.

Se debe establecer un programa para pruebas completas frecuentes de la unidad de bombeo y los resultados de estas pruebas se comparan con el funcionamiento de la bomba en su condición inicial. Cualquier declinación repentina en el funcionamiento se puede advertir inmediatamente.

Esta comparación de funcionamiento, y no el transcurso de un período de tiempo fijo, deberá ser la base para determinar si es o no suficiente el desgaste interno que ha ocurrido para que se requiera una reconstrucción completa. El correr una prueba completa es menos costoso que abrir una bomba para inspección y no se requiere sacar de servicio la unidad.

La vida de una bomba centrífuga se determina por la magnitud del desgaste interno y el efecto de este desgaste en el funcionamiento de la bomba. Dos causas distintas conducen al aumento de los espacios libres interiores:

- 1.- La acción abrasiva del líquido que pasa por los anillos de desgaste y otros muchos espacios libres interiores.
- 2.- Los contactos momentáneos poco frecuentes que a veces ocurren durante la operación de la bomba.

No importa con cuánta exactitud se diseñe una bomba, pueden presentarse ciertas condiciones durante una operación anormal (como cavitación, pérdida de cebado, o choques hidráulicos repentinos), que imponen una vibración momentánea en el elemento giratorio suficiente para causar un ligero contacto con las juntas giratorias. Por la acción de fricción entre dos metales ocurrirá un desgaste, aunque el contacto pueda ser muy ligero para causar raspaduras y que se pegue el rotor con las partes estacionarias. Puede existir una condición similar si la deformación de la flecha en condiciones estacionarias excede a los espacios libres internos. Esto puede ocurrir aun si la deformación se reduce a menos del espacio libre

de operación por la acción de soporte de las juntas internas de espacio libre que actúan como cojinetes estabilizadores adicionales lubricados por el líquido bombeado. En estos casos, ocurrirá un ligero desgaste cada vez que se arranca la bomba.

La cantidad exacta de desgaste causada por la erosión y los contactos momentáneos no pueden determinarse con exactitud. Entre más rígida sea la construcción de la bomba, sin embargo, menos causa habrá para esperar desgaste por contacto en los espacios de juego de funcionamiento. Como el juego de trabajo aumenta con el desgaste, una gran parte de la capacidad bruta de la bomba hace cortocircuito por los espacios libres y tiene que bombearse nuevamente. La capacidad efectiva o neta descargada por la bomba contra una carga dada se reduce en una cantidad igual al aumento del escurrimiento. Mientras que en teoría el escurrimiento varía como la raíz cuadrada de la presión diferencial a través de un espacio libre de juego, y por lo tanto, con la raíz cuadrada de la carga total, es suficientemente preciso suponer que el aumento de escurrimiento permanece constante con todas las cargas.

Se deberá incluir siempre cierto margen de capacidad en el diseño para compensar la reducción de capacidad que se puede esperar debido al desgaste del juego interno de movimiento.

La decisión de cuándo reconstruir una bomba depende, por lo tanto, de la cantidad de margen incluida inicialmente en la selección de la bomba y de la consideración económica de la reducción en la operación contra el costo de la reconstrucción.

VI.3.4.2.- Evidencia Circunstancial.- La evidencia circunstancial se refiere a los datos acumulados por la experiencia obtenida con anterioridad, ya sea con la bomba en cuestión o con equipo similar en servicio igual. Por ejemplo; si un grupo de bombas de alimentación a calderas construidas con acero inoxidable con aleación de cromo, ha trabajado continuamente durante 80 000 horas, sin la necesidad de una reconstrucción, una unidad duplicada no requerirá inspección antes de que haya operado 80 000 horas.

Las bombas en servicios severos que han requerido reconstrucción a intervalos de tres meses, pueden sustituirse por unidades mejor construidas o más fuertes. Sin embargo, hasta que el nuevo equipo se ha probado y se ha establecido un tipo nuevo de experiencia, la bomba deberá abrirse al final de tres meses para valorar el efecto de la nueva construcción o de los nuevos materiales.

VI.3.4.3.- Excepciones.- Las dificultades por corrosión-erosión, que no se pueden clasificar con algunos de los tipos de evidencia precedentes, no necesariamente serán obvias en las características de funcionamiento de la bomba obtenidas por medio de pruebas de rutina. Si se permite que estas dificultades continúen sin atenderse, sin embargo, pueden fácilmente conducir a la destrucción de la bomba, más allá de cualquier posibilidad de reparación. Sin embargo, las dificultades por corrosión-erosión son generalmente previsible. Por ejemplo; una bomba que maneja productos químicos corrosivos que está construida con materiales ordinarios o de materiales que no se han probado en esa aplicación en particular, puede dañarse rápida y severamente. En este caso, la bomba deberá abrirse para

inspección pronto, después de la instalación inicial y después a intervalos frecuentes, hasta que se pueda determinar la vida de los materiales de la bomba en las condiciones actuales.

Otra excepción, es el caso de un operador que prefiere depender de inspecciones visuales periódicas y medidas físicas del juego de operación.

Si no se le puede convencer de que este procedimiento es innecesario, la excepción está plenamente justificada porque la confianza del operador en su equipo es mucho más importante que el hecho de que una pieza del equipo se ha abierto una o dos veces adicionales durante su vida útil.

Se debe mantener constantemente un almacén adecuado de partes para asegurar una pronta restauración del servicio en el evento de una reconstrucción inesperada y para evitar cualquier demora en la obtención de partes esenciales de repuesto con el fabricante.

VI.4.- Operación de la Bomba.

Generalmente, las bombas centrífugas se seleccionan para una capacidad y carga total determinadas cuando operen a su velocidad especificada. Estas características se conocen como condiciones especificadas de servicio y con pocas excepciones, representan las condiciones en las que la bomba operará la mayor parte del tiempo. La eficiencia de la bomba deberá ser la máxima para estas condiciones de servicio, y así se seleccionan las bombas siempre que es posible. Con frecuencia sin embargo, se requiere que las bombas operen a capacidades y cargas que difieren considerablemente de las condiciones especificadas. Son un ejemplo las aplicaciones para servicios de centrales de fuerza de vapor, en las que las bombas de alimentación de la caldera, de condensado y drenaje de calentadores pueden sujetarse a descargar a la caldera un flujo que puede variar de la capacidad total a cero, dependiendo de la carga que tiene en el momento el turbogenerador. Las bombas de circulación de condensado están sujetas a variaciones algo menores, pero sin embargo, estas bombas pueden operar contra cargas totales muy variables y por lo tanto, a distintas capacidades. Las bombas de servicio general, en una gran variedad de aplicaciones, también pueden sujetarse a operaciones con flujos muy variables. Es muy importante, por lo tanto, que el usuario de bombas centrífugas, se familiarice con los efectos de operar las bombas a capacidades y cargas distintas a las especificadas y con las limitaciones impuestas sobre esta operación por consideraciones hidráulicas, mecánicas o termodinámicas.

VI.4.1.- Operación de Bombas Centrífugas con Flujos Reducidos.- Las bombas de doble voluta no siempre son apropiadas para operar con todos los flujos hasta cero. Por lo tanto, es importante adherirse a las limitaciones de los mínimos recomendados de flujo para operación continua dados por el fabricante. Otro problema se presenta por la operación de una bomba centrífuga con flujos extraordinariamente reducidos (el problema termodinámico causado por el calentamiento del líquido manejado por la bomba).

La diferencia entre los caballos de fuerza al freno consumidos y los caballos de fuerza hidráulicos desarrollados representa las pérdidas de energía dentro de la propia bomba, excepto una pequeña cantidad que se pierde en los cojinetes de la bomba. Estas pérdidas de energía se convierten en calor y transmiten al líquido que pasa por la bomba. Si la bomba está operando contra una válvula completamente cerrada, las pérdidas de energía son iguales a los caballos de fuerza al freno con descarga cerrada y como no se origina ningún flujo por la bomba, toda esta fuerza se gasta en calentar la pequeña cantidad de líquido contenido en el cuerpo de la bomba. Al ocurrir este proceso, la misma cubierta de la bomba se calienta y cierta cantidad de calor se disipa por radiación y convección a la atmósfera circundante. Si la cantidad de calor agregado al líquido es pequeña, se puede transmitir por la cubierta con un diferencial bajo de temperatura entre el líquido de la cubierta y el aire exterior. Si la pérdida de energía es muy alta, sin embargo, la temperatura del líquido tendrá que alcanzar un valor excesivamente alto, muy en exceso de la temperatura de ebullición a la presión de succión, antes de que la cantidad de calor disipada iguale a la generada por la bomba propiamente dicha. La operación de la bomba en esas condiciones tendría efectos desastrosos. Es muy claro que la velocidad de calentamiento del líquido en el cuerpo de la bomba para una pérdida de energía dada, depende del volumen de agua contenido en el cuerpo de la bomba y de la superficie de la cubierta que puede disipar calor (por razones prácticas, la disipación de calor por radiación se puede despreciar).

VI.4.2.- Cebado.- Las bombas centrífugas nunca deben arrancarse sino hasta que estén bien cebadas(VI. 1), es decir, hasta que se han llenado con el líquido bombeado y se ha escapado todo el aire. Las excepciones son las bombas autocebantes y algunas instalaciones especiales de gran capacidad y baja carga, y baja velocidad en las que no es práctico cabar antes de arrancar, y el cebado es casi simultáneo con el arranque.

VI.4.3.- Calentamiento.- Las bombas que manejan líquidos calientes deberán mantenerse aproximadamente a la temperatura de operación cuando están inactivas. Un pequeño flujo constante a través de la bomba será suficiente para lograrlo. Hay muchas alternativas disponibles para este procedimiento de calentamiento. En algunos casos, el flujo va de la succión abierta, por la bomba, y sale por una válvula de calentamiento en el lado de la bomba de la válvula de descarga. Los drenajes de la válvula se regresan al ciclo de bombeo en un punto de presión más baja que la succión de la bomba.

En otros casos, el flujo va a través de la válvula de retención de la descarga, por la bomba y al cabezal común de succión. El arreglo exacto que se debe usar deberá recomendarlo el fabricante de la bomba. Algunos diseños de bombas son capaces de arrancar frías en una emergencia, mientras que otras nunca deberán exponerse a un choque térmico repentino; se deberá consultar al fabricante de la bomba en cada caso particular.

VI.4.4.- Reglas Generales para la Operación de Bombas.- Correr una bomba en seco.- Sólo una bomba centrífuga con espacios libres excesivos, entre las partes estacionarias y las giratorias, podría trabajar en seco por tiempo indefinido. La mayoría de las bombas centrífugas, tienen ajustes

precisos en las juntas de escurrimiento, y no pueden operar en seco de ninguna manera, o en algunos casos, por más de unos segundos, sin dañarse seriamente. La única excepción a esta regla, es un diseño especial de bombas grandes de baja carga y cebado automático. La bomba se arranca en seco al arrancar la bomba en vacío, y corre en seco por no más de dos minutos, tiempo al cual ya es completo el cebado, y la bomba entra en operación normal.

Para asegurar una operación provechosa en estas condiciones, los espacios libres en los anillos de desgaste, se hacen ligeramente más grandes que en el diseño normal.

Estrangulación de la succión de la bomba.- Si se estrangula la succión de una bomba centrífuga, se origina una reducción de la presión absoluta en la entrada del impulsor. Esto puede hacerse para que resulte una reducción en capacidad, forzando la bomba a operar en "vacío", y reduciendo la capacidad de descarga por la alteración de la forma de la curva de carga-capacidad. Esta operación es dañina para la bomba, a menos que, como en el caso de una bomba de condensado, esté específicamente diseñada para ella. La eficiencia de la bomba se reduce, cuando se opera "al vacío"; pero lo más importante, es que se causa erosión y destrucción prematura por la cavitación provocada al estrangular la succión. La capacidad de la bomba puede reducirse simple y seguramente estrangulando la descarga. De esta manera, las pérdidas artificiales por fricción, se introducen estrangulando, y se obtiene una nueva curva del sistema que cruza la curva de carga-capacidad, en el flujo deseado. Sólo se permite estrangular la succión, cuando la presión de succión excede con amplio margen los requerimientos mínimos, como en el caso de la segunda bomba de una unidad en serie. El efecto, sin embargo, no es reducir la capacidad por operación al vacío, sino más bien por la reducción de la carga total neta generada por la unidad en serie. Esto hace que las curvas de características de carga-capacidad y carga del sistema, se crucen en un caudal menor.

Arrancar de nuevo bombas movidas a motor, paradas por falta de corriente.- Si una válvula de retención, protege a una bomba del flujo inverso después de una falla de corriente, generalmente no hay razón, para no volver a arrancarla una vez que se ha reestablecido la corriente. El tipo de control del motor, determina si el motor arrancará automáticamente o no, una vez que se reanuda el suministro eléctrico. Los arrancadores se hacen con protección por bajo voltaje, con desconexión por bajo voltaje, por caída de control del motor, determina si el motor arrancará automáticamente o no, una vez que se reanuda el suministro eléctrico. Los arrancadores se hacen con protección por bajo voltaje, con desconexión por bajo voltaje, por caída de control del motor, determina si el motor arrancará automáticamente o no, una vez que se reanuda el suministro eléctrico. Los arrancadores con protección de bajo voltaje, se desenergizarán en condiciones de bajo voltaje, o después de una falla de corriente, y las unidades que controlan, deben arrancarse otra vez manualmente. Los arrancadores con protección de bajo voltaje, sólo se pueden usar con dispositivos pilotos de contacto instantáneo, y no con los de contacto sostenido, como interruptores de flotador, a menos que se incluyan en los controles relés (relevadores auxiliares). Si el arrancador no tiene protección por bajo voltaje, al reanudarse el suministro eléctrico, la unidad volverá a arrancar automáticamente. Debido a que las bombas que operan con elevación de succión pueden perder su cebado, durante el período que no hay corriente, los arrancadores para esas instalaciones deben proveerse con protecciones para baja carga. Esto no se aplica, por supuesto, si las bombas se ceban automáticamente, o si se incluye algún dispositivo de protección, para que la bomba no trabaje si no está cebada.

Operación de las bombas centrífugas, y reciprocantes en paralelo.- Mientras que con frecuencia, las bombas centrífugas se pueden operar en paralelo, con bombas reciprocantes, el funcionamiento general de la bomba centrífuga, se afectará, tanto mecánica como hidráulicamente por las pulsaciones de las bombas reciprocantes. Una bomba triplex, tendría menos efecto en la operación de la unidad centrífuga, mientras que se tendrán dificultades si se pone en paralelo una unidad centrífuga con una bomba de un cilindro de acción sencilla. Es importante, no usar una línea de succión común para una bomba centrífuga y una reciprocante, especialmente si operan con elevación de succión alta.

VI.5.- Operación y Mantenimiento del Motor Eléctrico:

En el terreno de la práctica y por razones obvias, es normal que previo a la instalación del equipo se efectúe un estudio y revisión del mismo. Los motores eléctricos no son la excepción, si bien ha de reconocerse que las reglas a seguir son bastantes claras y muy importantes, ya que de llevarse a efecto, se obtendrá una prolongada, correcta y económica operación.

VI.5.1.- Recepción del motor.- Revisar el motor con cuidado y asegurarse que no sufrió daño alguno durante su embarque y transporte, cerciorarse de que la flecha se mueve libremente, haciéndola girar con la mano.

La capa protectora contra oxidación y corrosión con que va cubierta la extensión de la flecha, puede eliminarse tomando las medidas de seguridad correspondientes con la aplicación de un solvente como: thinner, gasolina, petróleo o cualquier otro similar. Comprobar que los datos de placa correspondan a la tensión y frecuencia de la red de energía eléctrica con que vá a ser alimentado el motor. Efectuar cuidadosamente las conexiones en las terminales, siguiendo las instrucciones indicadas en la placa descriptiva.

VI.5.2.- Instalación del motor.- El motor debe instalarse en un lugar donde se tenga libre flujo de aire, aún en aquellos casos donde se requiera usar alguna caseta o pantalla protectora. La temperatura ambiente no deba exeder los 40 grados centígrados al nivel del mar o de 30 grados centígrados a una altura máxima de 2280 metros sobre el nivel del mar. El motor deberá montarse sobre una cimentación rígida, procurando que asiente perfectamente la base y fijándolo por medio de tornillos o pernos del diámetro permisible por los barrenos de la base. Un montaje defectuoso puede motivar:

- 1.- Vibración excesiva.
- 2.- Ruido.
- 3.- Corrientes altas.
- 4.- Operación a altas temperaturas.
- 5.- Falla de baleros.

A continuación se describirá brevemente, cada uno de los conceptos anteriores.

VI.5.2.1.- Vibración excesiva.- Un problema frecuente en los motores es la excesiva vibración. Se tiene perfectamente entendido que todo motor o maquinaria en movimiento siempre tendrá cierta vibración, que los mejores métodos de balanceo no pueden evitar totalmente. Cuando un motor es alimentado, la vibración aparece y consecuentemente se puede llegar a pensar que el motor es la causa del problema. Normalmente un motor forma parte de un equipo que está constituido por uno o más mecanismos pudiendo ser cualquiera de ellos el origen de la vibración. Las causas más comunes que provocan vibración excesiva son:

- a.- Resonancia en la cimentación o estructura.
- b.- Alineamiento defectuoso.
- c.- Falsa sujeción de los tornillos o pernos que se encuentran dentro de la estructura, y que fijan al motor a la cimentación.
- d.- Desbalance en el cople, polea o engrane similar.

En el caso de vibración excesiva, se recomienda efectuar un estudio de la amplitud y frecuencia de la vibración, siguiendo los pasos descritos a continuación:

1.- Resonancia en la cimentación o estructura:

a.- Durante la operación, mida la amplitud de la vibración directamente sobre las cajas de los baleros en ambas tapas en sentido horizontal, vertical y axial.

b.- Mida la amplitud de la vibración en la estructura, durante la operación hasta determinar el antecedente de la vibración. Si la frecuencia de la vibración en la cimentación es baja (menos de 50 %) comparada con la del motor a su velocidad de operación, el movimiento de la cimentación tenderá a estar en fase con el movimiento del motor. Por consiguiente, la amplitud total de la vibración registrada en el motor, será la suma de la vibración del motor más la vibración de la cimentación.

Si la frecuencia de la vibración en la cimentación es alta (más del 150%), respecto a la del motor, a su velocidad de operación, el movimiento de la cimentación tenderá a ser en dirección opuesta (defasada 180 grados aproximadamente) al movimiento del motor, siendo la amplitud de la vibración registrada en el motor en forma aproximada, la diferencia entre la vibraciones del motor y la cimentación (esta condición es extremadamente rara y casi siempre tiene su origen en una fuente externa al motor y a la estructura de la cimentación). Cuando la frecuencia de la cimentación se encuentra entre los rangos del 50 a 150%, de la frecuencia de operación, la relación de fases entre el motor y las amplitudes de la cimentación resultan complejas, requiriéndose para una completa determinación el uso de un vibrómetro provisto de un filtro para medir la amplitud y fase de cada componente de la frecuencia.

Tales medidas y análisis son usualmente requeridos sólo para identificar una fuente externa de vibración eliminable.

c.- Determinar la frecuencia natural de la vibración con el sistema rotatorio en reposo. La vibración a la frecuencia natural puede ser inducida originando movimientos en el motor (desacoplándolo del mecanismo respectivo y operándolo en vacío), en la misma localización y plano donde se registro la vibración máxima. Si la frecuencia natural es cercana (en el

rango de 1/2 a 3/2) a la frecuencia de operación o a un múltiplo de la frecuencia de operación (llamado armónica) deberán efectuarse cambios para evitar resonancia. Esto puede lograrse reforzando al sistema de cimentación. La vibración puede tener origen en la base de la cimentación si la construcción carece de la masa necesaria en la cimentación. La estructura de la cimentación está formada por concreto, acero o una combinación de los dos.

Una estructura de concreto, puede incrementar su masa o su peso agregando en la cantidad requerida una capa más de concreto.

2.- Alineación Defectuosa.

d.- Revise y corrija la alineación del sistema de acoplamiento antes de iniciar la operación de trabajo (en frío), y después de éste (en caliente). Para máquinas cuya velocidad de operación es menor a 2000 RPM, la alineación (paralelismo y angularidad) deberá efectuarse con una tolerancia de más-menos 0.051 mm (0.002"). Para máquinas con velocidad de operación de 2000 RPM ó más, la alineación deberá efectuarse con una tolerancia de más-menos 0.025 mm ó (0.001").

3.- Falsa sujeción de los tornillos opernos "anclados" en la cimentación.

e.- Si la frecuencia natural se encuentra arriba de la frecuencia de operación, (150% de la velocidad de operación o más), y no es armónica, asegurarse que los tornillos o pernos anclados en la cimentación (para fijar el motor a la misma), estén firmemente sujetos a todo lo largo, evitando que tengan juego con respecto a los barrenos de la estructura.

4.- Desbalance en el cople, polea, engrane o similar.

f.- Siguiendo las instrucciones indicadas en el paso "a", medir la amplitud de la vibración. Deberá tenerse plena seguridad de que no hay resonancia. Si la amplitud de la vibración excede los valores indicados por las mencionadas normas para motores eléctricos, significará que el cople, polea, engrane o similar, según el sistema de transmisión usado, está desbalanceado.

VI.5.2.2.- Ruido.

Es muy importante definir el tipo de ruido que puede llegar a manifestarse en un motor eléctrico, ya que su inmediata identificación, impedirá daños que podrían perjudicar seriamente alguna de sus partes.

a.- Rechinidos.- Este tipo de ruido indica que las superficies de partes que giran está en contacto directo. El origen de este ruido debe ser localizado y reparado de inmediato. Las probables causas son: Ventilador corrido rozando contra la pantalla, flecha rozando contra la cubierta del o los baleros, etc.

b.- "Ruido sordo".- Estos ruidos indican un balero en mal estado. El continuar la operación con este desperfecto, puede ocasionar rozamiento del rotor con el estator.

c.- Fuertes ruidos magnéticos.- Los ruidos magnéticos, son originados por falla en las conexiones, cortocircuito u operación con una fase. Si se continua operando con cualquiera de estas fallas, al motor; puede llegar a quemarse. Es probable que a pesar de haber revisado lo antes indicado, el motor continúe operando con ruidos; deberá pensarse que el origen de estos ruidos es una fuente externa o en realidad se trate de vibración.

VI.5.2.3.- Corrientes altas.

La corriente indicada en la placa descriptiva, es la que corresponde a la tensión nominal y a plena carga; por tanto, en caso de llegar a tener lecturas de corriente diferente, a la de la placa, se deberá medir la tensión de alimentación. Cuando la tensión de línea es más alta que la indicada en la placa descriptiva, aumentará la corriente en el motor apreciablemente, hasta que la saturación magnética de los materiales alcanza un punto tal, que la corriente se incrementa rápidamente hasta quemarse el motor.

Los motores deberán operar correctamente a carga nominal, bajo una variación de tensión de más-menos 10% y una variación en la frecuencia de más-menos 5%. Tensión y frecuencia combinados más-menos 10%, siempre y cuando la frecuencia permanezca dentro de más-menos 5% de su valor nominal. Su funcionamiento dentro de esta variación combinada no deberá estar necesariamente de acuerdo con las normas establecidas para su operación a tensión y frecuencia nominales.

VI.5.2.4.- Operación a altas temperaturas.

Lo primero es determinar la temperatura a la que está operando el motor; el colocar la mano sobre el mismo y pensar que está caliente, no significa que realmente esté operando con exceso de temperatura, ya que deberá tenerse presente que el uso de aislamiento clase B permite sobrecargas que permiten una temperatura de 130°C en el cobre a 50 ó 60 Hz, por tanto, es preferible hacer uso de un termómetro. A continuación se indican las posibles causas de alta temperatura:

1.- Verificar si el motor tiene suficiente aire frío en su ventilación; la ventilación es efectiva si:

- a.- La flecha del ventilador está limpia.
- b.- No hay obstáculos en la entrada y salida del aire.
- c.- No hay recirculación del aire de la salida a la entrada del motor (la temperatura del aire de entrada no debe ser mayor de 5°C sobre el ambiente).
- d.- La diferencia entre las temperaturas de entrada y salida indican un incremento normal.
- e.- La cantidad de aire es suficiente. Verifique que la pantalla (en los motores a prueba de goteo), está en su lugar; la distancia entre la cara interior de la tapa y la pantalla debe ser aproximadamente de 6.35 mm (1/4").
- f.- La velocidad es correcta. Compruebe que la velocidad del motor sea la indicada en la placa descriptiva para plena carga.

- 2.- Verificar que la carga que mueve el motor es correcta.
 - a.- En caso de que el ciclo de trabajo sea intermitente, evitar que los arranques y paradas sean demasiado frecuentes.
 - b.- Revisar la tensión de línea. El voltaje incorrecto origina excesiva corriente a plena carga.
 - c.- Revisar la frecuencia de la línea; las normas consideran permisible que los motores operen con variaciones de más-menos 5% de la frecuencia nominal.
 - d.- Comprobar que no exista desbalance de tensión entre fases.
 - e.- Revisar la tensión y corriente a plena carga.
- 3.- Desacoplar el motor, y tomar lecturas entre fases de tensión de alimentación, corrientes y potencias, para determinar si son normales.
- 4.- Verificar que los baleros se encuentren en buen estado, ya que en caso contrario, aumentará la carga del motor y esto en motores de poca capacidad, representa un gran porcentaje de sobrecarga y de incremento en la temperatura.
- 5.- Si todos los pasos anteriores se reportan como normales, la capacidad del motor no es la indicada.

VI.5.2.5.- Falla de baleros.

La falla o mal funcionamiento de los baleros, es un problema, atribuible a cualquiera de las siguientes causas:

- a.- Inadecuada, excesiva o mala lubricación. En el caso de los baleros lubricables, éstos cuentan con una cámara para alojar la grasa; si esta cámara llega a saturarse totalmente, la grasa no recirculará al interior del balero y esto provoca que el balero se caliente hasta llegar a pegarse; la falta de lubricación es de las mismas consecuencias al balero o baleros.
- b.- Desalineamiento.
- c.- Sobrecarga.
- d.- Ajuste incorrecto.
- e.- Daños durante la instalación.
- f.- Vibración durante el reposo.
- g.- Corrosión.
- h.- Paso de corriente eléctrica al balero.
- i.- Balero(s) incorrecto(s) o defectuoso(s).

- En el aspecto de la lubricación, la causa más común en la falla de los baleros es lubricación defectuosa. Si el suministro de grasa es inadecuado, el balero trabajará en seco con el correspondiente sobre calentamiento y falla. Si el sobre calentamiento del balero es excesivo, el balero se pegará casi de inmediato, de no suceder así, quedarán rayadas las pistas y balas, teniéndose como consecuencia una operación ruidosa y con vibraciones.

El balero requiere de sólo una pequeña cantidad de lubricante en su interior para su correcta operación y evitar la oxidación; el espacio o caja que está localizada en la tapa y junto al balero, tiene como objetivo almacenar la grasa. Demasiada lubricación provoca el mismo efecto que la escasez de la misma; en cuanto la bala o rodillo empieza a girar, cualquier exceso de lubricación será expulsada a un lado de la pista, si el balero no puede desalojar el exceso por sí mismo, comenzará a batirlo generando presiones en su interior y por consiguiente alta temperatura.

Se recomienda para el motor, quitar el tapón de la purga y por medio de un inyector manual, lubricar el interior. También es de suma importancia usar la grasa especificada o un sustituto autorizado. En el caso de aceite debe tener la suficiente viscosidad, para que la película no se rompa bajo la carga, pero debe evitarse el exceso de viscosidad, ya que produce altas cargas por fricción. La grasa no debe ser muy espesa, ya que no penetraría al interior del balero; debe ser lo suficientemente suave para cumplir con sus funciones.

Como regla general no es aconsejable mezclar diferentes lubricantes, ya que probablemente la base de ellos no sea compatible y de inmediato pierda sus características específicas convirtiéndose en un compuesto altamente perjudicial.

- Para el desalineamiento, es obvio que el desalineamiento de flecha, acarreará serias consecuencias al balero, ya que por cada revolución, la carga se manifestará en mayor intensidad en una parte del balero, dañando hasta la fatiga los materiales y todos sus componentes. A la velocidad de operación estos continuos cambios de carga tendrán similitud con el efecto de un golpe sólido en la superficie de las balas o rodillos y pistas.

- Para la sobrecarga, se tiene como una regla, que la vida de los baleros es inversamente proporcional al cubo de la carga, de aquí que un pequeño incremento de carga; corte sensiblemente la vida de los mismos. El material de las pistas se va deformando al continuo paso de las balas o rodillos, hasta que sufre fatiga y fractura o adelgazamiento del material que finalmente, y en forma de rebaba acaba por incrustarse en todo el balero.

Las pesadas cargas radiales sobre un balero pueden ser producidas, por desalineamiento o por excesiva tensión de la banda, cuando se usa este tipo de transmisión. Con motivo del desalineamiento pueden originarse fuertes cargas que perjudiquen el equipo al cual está acoplado el motor. En los sistemas de transmisión por banda, a mayor diámetro de la poleareceptora, será mayor la carga axial impuesta a la flecha del motor, y por consiguiente a los baleros; lo mismo sucede en los sistemas de transmisión por banda tipo V, aún en el caso de usar la mínima cantidad posible, ya que con el objetivo de evitar deslizamientos, las someten a fuertes tensiones, que en caso de ser excesivas, acortarán sensiblemente la vida de los baleros.

- Para el ajuste correcto, son cuatro las áreas importantes, donde el ajuste entre el balero y las otras partes del motor deben quedar dentro de los límites preescritos con el objetivo de prevenir fallas en la operación.

- 1.- El ajuste entre el anillo interior del balero y la flecha.
- 2.- El ajuste entre el anillo exterior del balero y la caja en la tapa.
- 3.- El claro o entrehierro entre las balas o rodillos del balero y sus pistas.
- 4.- El ajuste total entre el rotor y flecha, y los baleros.

A continuación, se establece el análisis para cada uno de los puntos tratados con anterioridad:

1.- Cuando el balero entra relativamente holgado a la flecha, una vez que inicia su operación, éste tenderá a "patinarse" en la flecha, originando suficiente temperatura hasta quedar inutilizado en pocas horas. La interferencia entre el anillo interior del balero y la flecha es de 0.0254 mm (0.001") a 0.03048 mm (0.0012") para motores con armazones pequeñas; y de 0.0076 mm (0.0003") a 0.0381 mm (0.0015") para motores de armazones grandes.

2.- El ensamble entre los baleros y las cajas en las tapas se efectúan dejando un claro dentro de los siguientes límites, evitando que gire libremente, ya que provocaría el mismo efecto del caso 1. El claro entre el anillo exterior y la caja es de 0.0254 mm (0.001") a 0.33 mm (0.0013") para armazones pequeñas y de 0.0101 mm (0.0004") a 0.060906 mm (0.0024") para armazones grandes.

3.- El claro o entrehierro que debe haber entre las balas o rodillos y las pistas es muy importante, ya que de no existir, el balero de pegará casi de inmediato. Normalmente el anillo interior del balero y la flecha trabajan a mayor temperatura que el anillo exterior, de ahí que la expansión de estas partes sea mayor. El ensamble del balero y la caja en la tapa con su claro correspondiente, permitirá la expansión, y por consiguiente y debido al contacto de las superficies, la radiación de temperatura hacia el exterior.

4.- Ajustes erróneos motivados por dimensiones incorrectas, y aún el caso de flechas "torcidas", motivan también la falla prematura de baleros.

- En lo que respecta a los daños durante la instalación, son usualmente falta de cuidado o ignorancia. El golpear los baleros en las caras de los sellos o el anillo exterior al montarlo en la flecha, así como colocarlos mediante una prensa neumática careciendo de los aditamentos indicados, son errores que acaban previamente la vida de los mismos. Es más aconsejable introducir el balero en aceite caliente (abajo de la temperatura de flamaación del mismo) y enfriar la flecha (con hielo seco) para un correcto montaje.

- Las vibraciones durante el reposo; si los motores equipados con baleros de balas o rodillos, están sujetos a vibraciones durante un largo período en que el motor permanezca en reposo, marcará las pistas en los puntos de contacto. Este daño puede causarse cuando el motor, es transportado largas distancias sin los cuidados necesarios.

- En lo que respecta a la corrosión, la corrosión en los baleros, es el resultado de un prolongado almacenamiento en lugares con alto promedio de humedad en el ambiente y la introducción al interior de los baleros de la misma.

La herrumbre ataca las superficies de balas o rodillos, y pistas inutilizándolos totalmente. Los motores deben almacenarse en un lugar limpio y seco, lubricando periódicamente los baleros y demás partes con el objetivo de mantener una película lubricante.

- Para el paso de corriente eléctrica al balero, la falla de baleros originada por el paso de corriente es sumamente rara. En caso de haber sucedido así, deberá solicitarse de inmediato un diagnóstico y corrección de la falla.

- En relación a los baleros incorrectos o defectuosos, la mayor parte de los motores están equipados con baleros prelubricados; estos baleros tienen la cantidad y características de grasa requeridas, están sellados por ambos lados con unas cubiertas de lámina para impedir la fuga de grasa y la entrada de materias extrañas que podrían dañarlos; el resto de los motores, tienen sistema de lubricación y baleros re-engrasables; deberá acudir a la placa descriptiva para saber tamaño y tipo de los mismos. Revisar que los baleros se encuentren en buen estado y que realmente son del mismo tipo, que los que van a ser repuestos asegurando una eficiente operación.

VI.5.3.- Necesidades de Instalación.

Es de primera importancia saber las necesidades de montaje, el tipo de trabajo a efectuar y la instalación del caso en particular. Todos los motores horizontales, pueden ser sometidos a operación vertical previa indicación a la fábrica. En algunos casos, y debido a lo específico de la operación, será necesario cambiar baleros. En la mayoría de los motores horizontales de baja capacidad es permisible, sin ningún cambio, poder operarlos en posición vertical con la flecha hacia arriba o hacia abajo, siempre que el peso de la polea, cople, engrane o similar no exceda el peso del rotor. Los motores para operación horizontal que sean destinados a transmisión por banda (cualquier tipo de banda), cadena o similar, podrán ser montados en rieles tensores, para que de acuerdo a las necesidades, pueda ajustarse la tensión correcta, de igual forma, deberá tenerse mucha precaución al alinear las poleas, engranes piñones o similar(es), ya que cualquier desalineamiento provocará incrementos en la carga radial, disminuyendo la vida de los baleros. Para acoplamiento directo, ver lo concerniente a alineación defectuosa.

VI.5.4.- Mantenimiento.

El mantenimiento de los motores se reduce lo siguiente:

a.- Limpiar y/o soplear con aire limpio y seco, y a una presión menor de 3kg/cm^2 , la superficie del motor, así como sus partes internas (en

motores abiertos). En el caso de motores que estén expuestos a goteo o salpicadura de agua, líquidos corrosivos o compuestos químicos, deberá efectuarse la limpieza con mayor frecuencia.

b.- Revisar montaje y alineación.

c.- Efectuar mediante un reporte periódico, lecturas de corriente y watts de entrada.

d.- Verificar que la operación de los baleros sea sin ruido o vibraciones para los motores con baleros re-engrasables; seguir las instrucciones según número de horas de trabajo, así como tipo de grasa indicadas en el motor.

VI.6.- Operación y Mantenimiento del Cople.

Un acoplamiento es un mecanismo que se utiliza en la transmisión de potencia mecánica, para conectar dos flechas en movimiento de rotación. Existe en el mercado una gran variedad de acoplamientos, pero básicamente éstos se pueden clasificar en dos tipos:

- 1.- Acoplamientos rígidos.
- 2.- Acoplamientos flexibles.

Los acoplamientos flexibles se clasifican también, según su construcción y el tipo de elementos que utilizan para transmitir la potencia en:

- Acoplamientos torsionalmente flexibles.

- 1.- Coples que utilizan partes metálicas flexibles (coples de rejillas).
- 2.- Coples que no utilizan partes metálicas (coples con elementos de hule).

-Acoplamientos no-torsionalmente flexibles.

- 1.- Coples que utilizan partes metálicas (coples de laminillas).
- 2.- Cople de cadena.
- 3.- Cople de engranes.
- 4.- Coples que usan sistemas o partes deslizantes (cople hidráulico, clutch).

Los acoplamientos flexibles tienen las siguientes funciones:

- a.- Transmitir el par torsional.
- b.- Permitir movimientos axiales de las flechas conectadas.
- c.- Permitir desalineamientos angular y paralelos.
- d.- Evitar cargas adicionales a cojinetes, y a los apoyos de las máquinas conectadas.
- e.- Absorber y compensar cargas por choques y fuertes variaciones del par torsional.

VI.6.1.- Mantenimiento de acoplamientos.- El mantenimiento tiene como objetivo, que el acoplamiento esté en buenas condiciones de operación, dentro de sus especificaciones de diseño. De acuerdo al modo de actuar de un Departamento de Mantenimiento, ya sea anticipadamente o después de que se produce la falla, el mantenimiento se divide en:

1.- Preventivo.- Consiste en detectar con anticipación la posible falla, y adoptar las disposiciones necesarias para evitar que éstas se produzcan. Así, por ejemplo: Cuando un cople es cambiado frecuentemente, deberá analizarse el por qué de estos cambios, ya que pueden ser ocasionados por:

- a.- Una mala instalación (desalineamiento de origen).
- b.- Lubricación deficiente (en los coples que la requieren).
- c.- Acoplamiento inadecuado (operación en rangos superiores al del diseño).

Para tener la seguridad de un buen funcionamiento de un acoplamiento, es necesario que el mantenimiento preventivo sea:

- Periódico (diario, semanal).
- Cíclico (mensual).
- Programado (semestral o anual).

En el mantenimiento preventivo periódico, se tendrá que revisar la lubricación del acoplamiento, y las vibraciones mayores a las normales. En el mantenimiento preventivo cíclico, se tendrá que verificar la firmeza de la tonillería de apriete del cople. En el mantenimiento preventivo anual, se verificará el buen estado de los acoplamientos, y que el alineamiento de éstos, esté dentro de las tolerancias permitidas.

2.- Predictivo.- Es el que predice la necesidad de cambiar las refacciones críticas de los acoplamientos, teniendo como base la determinación de la vida útil del conjunto de elementos que lo forman antes de que éstos sufran un desperfecto. Por lo que este tipo de mantenimiento, requiere llenar una estadística del tiempo trabajado de cada cople y tener las refacciones con oportunidad.

3.- Correctivo.- Consiste en la reparación de las fallas que se presentan sin previo aviso. Estas fallas pueden ser originadas por:

- Mal alineamiento (de origen en el montaje).
- Mal mantenimiento (falta de lubricación, negligencia, etc.).
- Mala operación del cople (explotación inadecuada).

Por lo tanto, una selección correcta del acoplamiento y un buen mantenimiento, asegurarán una operación continua de los equipos conectados.

VI.6.2.- Causas de desalineamiento de las flechas:

- a.- Error humano.
- b.- Levantamiento o asentamiento de la cimentación.
- c.- Desgaste de chumaceras y rodamientos.

- d.- Expansión térmica.
- e.- Esfuerzos externos inducidos al sistema.
- f.- Deflexión de las flechas.
- g.- Desbalanceo dinámico.

Dado que el desalineamiento de las flechas, aunque sea pequeño es inevitable; las fallas debidas al desalineamiento de las flechas son evitables o compensadas, utilizando acoplamientos flexibles.

Tal como se indicó anteriormente existen dos tipos básicos de alineamientos:

- 1.- El angular.
- 2.- El radial.

Existen dos métodos para alinear coples y son:

- 1.- Lainómetro.
- 2.- Indicador.

En ambos se efectúan, cuatro operaciones de alineamiento. Sólo cuando se efectúan en el orden correcto, estas operaciones se puede proceder a pasos sucesivos de alineación sin afectar las operaciones ya hechas. Existen cuatro pasos en secuencia para el alineamiento de coples y son:

1.- Alineamiento vertical de caras.- El primer ajuste efectuado para corregir desalineamiento angular, se hace en el plano vertical. Este se hace por medio de girado de la unidad. El espacio arriba y abajo se mide con lainómetro, y se hacen ajustes para que las superficies tengan un espacio.

2.- Alineamiento vertical de altura.- Este ajuste corrige desalineamiento paralelo en el eje vertical. La unidad se sube sin cambiar su posición angular. La diferencia de altura se encuentra verificando el espacio radial inferior o superior.

3.- y 4.- Alineamiento horizontal lateral y de caras.- Cuando la unidad está en alineamiento vertical, se terminó el uso de laines. El alineamiento horizontal se hace efectuando operaciones radiales y angulares simultáneamente. La unidad se mueve para lograr alineamiento en las caras y espacios laterales.

VI.7.- Operación y Mantenimiento del Sistema de Sellado.

Un sello mecánico es un aditamento de precisión, y debe instalarse cuidadosamente en un equipo mecánicamente en buenas condiciones, en un ambiente apropiado a su diseño y debe mantenerse de acuerdo a los procedimientos recomendados.

Muchos diseños de sellos y materiales están disponibles para cumplir las varias condiciones de operación que se encuentran en la industria del proceso. Básicamente, sin embargo, todos los diseños de sellos consisten de tres elementos fundamentales:

1.- Un juego de caras del sello, una cara sujeta al eje y dando vueltas con él, y la otra cara sujeta al equipo.

2.- Un juego de sellos secundarios llamados empaquetaduras del eje y montajes del inserto tales como anillos "O" y anillos "V".

3.- Componentes, incluyendo anillos de brida, abrazaderas, anillos de compresión, chavetas, resortes y fuelles.

VI.7.1.- Identificación.

La identificación adecuada de un sello mecánico y de sus partes, es una condición necesaria para su adquisición y para su mantenimiento, se recomienda que se mantenga un archivo permanente de documentos e información para todos los sellos en uso. Un sello mecánico puede ser identificado en cuatro formas:

1.- El número de la lista de materiales.- La lista de materiales, es una lista completa de componentes y materiales suministrados para cada sello. El número de la lista de materiales es el índice patrón de Ingeniería para todo el diseño y las especificaciones de materiales de cada sello producido. Todos los sellos con el mismo número de lista de materiales son idénticos. Como el número de la lista de materiales no está en el sello mismo, es muy importante que se lleve un registro no solamente de cada sello en uso, sino también de su localización. Muchos constructores de equipo o usuarios colocan una placa de metal con el número de la lista de materiales del sello directamente al equipo. Las copias de las listas de materiales están disponibles con el proveedor.

2.- Dibujo de Ingeniería.- Se incluye un dibujo con el sello. El dibujo muestra la localización de las partes del sello y detalles de las dimensiones de ajuste del sello.

3.- Número de serie de la brida.- Algunas bridas hechas por el proveedor, tienen un número de serie grabado en el diámetro exterior del anillo de la brida. El proveedor mantiene registros en la fábrica para poder encontrar el número de serie.

4.- Número de código de la pieza.- Todas las piezas de sellos tienen un número individual de código. Este número aparece en la lista de materiales frente al de la pieza e identifica el tipo, diseño, los materiales de construcción y el tamaño de la pieza. El número de código de la pieza también se muestra en la mayoría de las piezas individualmente. Todas las piezas de sellos con el mismo número de código de la pieza son completamente intercambiables, sin tener en cuenta el número de la lista de materiales. Las piezas individuales pueden ordenarse con el número de código de la pieza, pero es aconsejable incluir el número de la lista de materiales como referencia para verificación.

VI.7.2.- Nomenclatura.- La debida comprensión, por parte del mecánico de mantenimiento, de los términos que el proveedor utiliza, facilitará que se sigan los procedimientos recomendados y economizará tiempo en la obtención de las piezas de repuesto adecuadas. A continuación se muestran algunos ejemplos de los diseños básicos de las categorías de sellos con la nomenclatura correcta de sus partes componentes (fig. VI.5).

El fabricante ofrece a sus clientes a un costo nominal un servicio completo de reparación y reconstrucción. Las piezas del sello pueden regresarse para reparación a la fábrica o a uno de los centros de servicio.

Un sello mecánico ha fallado cuando el escape es excesivo. Este es el resumen de las causas comunes en las fallas de los sellos:

1.- Mal manejo de los componentes. Esto incluye el permitir que los sellos se ensucien, se despostillen, sufran rayaduras o indentaciones, o en general, que se dañen antes o durante el ensamble.

2.- Ensamble incorrecto del sello. Incluye la colocación errada de los componentes en la cavidad del sello.

3.- Selección incorrecta del sello. Incluye la selección errada de los materiales de construcción o un diseño incorrecto por la combinación de presiones, temperaturas, velocidades y propiedades del fluido.

4.- Arranque inapropiado. Incluye olvidar la presurización del sello doble antes de arrancar la bomba o inadvertidamente operar el sello en seco.

5.- Controles ambientales inadecuados.- Incluye la ausencia de derivación, descarga externa o controles de temperatura adecuados.

6.- Contaminación del fluido.- Incluye la presencia de partículas sólidas dañinas en el fluido de la cavidad del sello.

7.- Equipo en pobres condiciones. Incluye excentricidad, deflexión o vibración excesiva en el eje.

8.- Sello desgastado. El sello puede haber hecho un ciclo de vida satisfactorio.

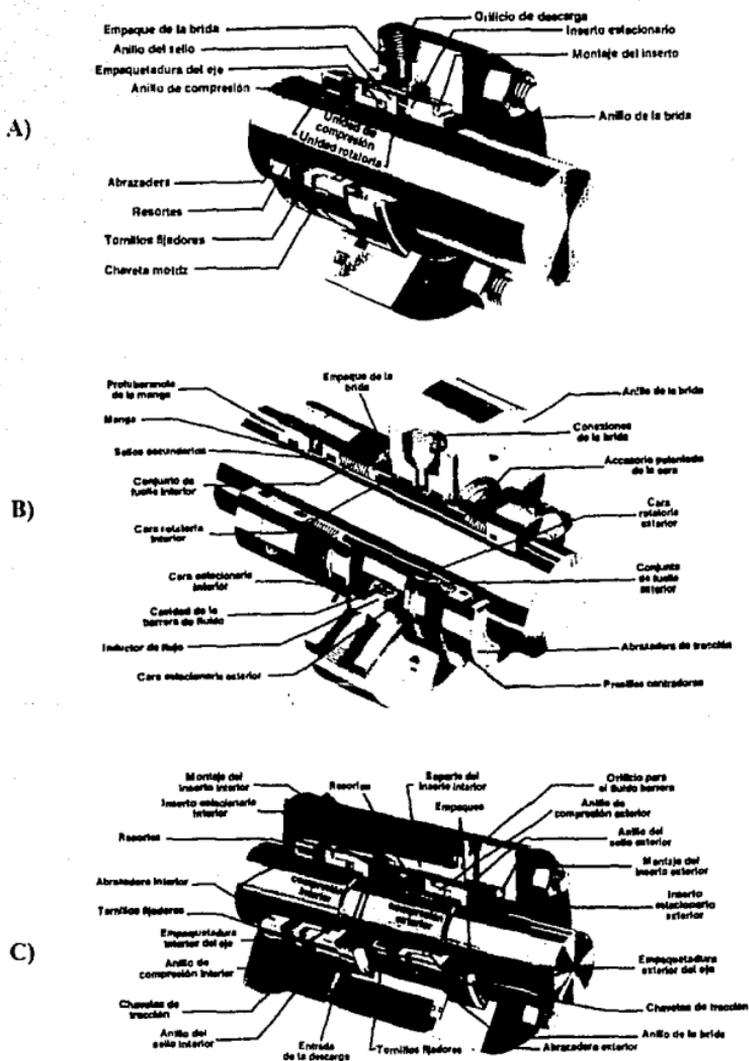


FIG. VI.5 DISEÑOS BASICOS DE SELLOS Y NOMENCLATURA

A continuación se enumeran algunos problemas de mantenimiento específicos, sus probables causas y las soluciones recomendadas. Cuando se use esta lista para reparación de averías, es importante leerla con atención, para encontrar el problema que describe más de cerca las circunstancias actuales. En cuanto sea posible, el lugar de instalación del sello debe examinarse mientras el sello está aún en funcionamiento. Se puede aprender mucho observando la temperatura de operación, los controles ambientales, la vibración del equipo y otros factores. La lista de problemas es la siguiente:

Problema 1.- El sello lanza chisquetes en funcionamiento.

Causas: El producto se vaporiza y escapa a través de las caras del sello.

Solución:

- Tomar las medidas para mantener el producto en una condición líquida en la cavidad del sello. Verificar la presión en el bastidor del sello, la temperatura y la presión de vapor del producto.

- Solicitar al fabricante del sello una verificación de su diseño.
- Revisar los controles ambientales.

Problema 2.- El sello fuga.

Causas:

- Los tornillos de la brida pueden estar sueltos.
- El empaque de la brida puede estar defectuoso. En el empaque puede haber fluido en frío.
- Las caras del sello pueden no estar planas. Los tornillos de la brida pueden estar muy apretados, o la carga sobre la tubería puede haber causado la torcedura del inserto.
- La empaquetadura del eje o el montaje del inserto, pueden haberse indentado o pellizcado durante la instalación.
- El inserto de carbono puede haberse partido o la cara del inserto, puede haberse despostillado durante la instalación.
- Las caras del sello pueden haberse rayado con partículas extrañas.
- El líquido puede estar escapándose bajo la manga del eje del equipo.
- Excesiva vibración del equipo.
- Equipo defectuoso.

Solución:

Revisar de nuevo y corregir, el par de fuerza del perno de la brida. Desarmar el sello, analizar el problema y reparar o reemplazar según sea lo indicado.

Problema 3.- El sello chilla durante la operación.

Causas: Cantidad inadecuada de líquido en las caras sellantes.

Solución:

- Instalar o agrandar las líneas de derivación o las líneas de descarga externa.
- Instalar un cojinete en el fondo del bastidor del sello, para aumentar la presión en la cavidad del sello.
- Ventilar la caja de empaquetadura.
- Verificar y ajustar la succión de la bomba.

Problema 4.- El polvo de carbono se acumula en la parte de afuera del anillo de la brida.

Causas:

- Cantidad inadecuada de líquido en las caras sellantes.
- La película de líquido está saliendo repentinamente y evaporándose de entre las caras del sello dejando residuo que muele y saca el carbono.
- La presión puede ser muy alta para el tipo de sello y producto.

Solución:

- Verificar las condiciones en la succión y en su caso corregir.
- Verificar que las condiciones de operación no obliguen a trabajar la película del sello a temperatura crítica.

APENDICE I

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

(I.1) También llamada "Bomba Booster", este tipo de bomba es una bomba reforzadora de presión en una línea y puede usarse para rebombeo.

(I.2) De acuerdo a la ley de la continuidad que establece: $V_1 A_1 = V_2 A_2$, de donde, si A_2 disminuye respecto a A_1 , V_2 aumenta respecto a V_1

(III.1) "Bombas Reciprocantes.- Son bombas de desplazamiento positivo que se dividen en: reciprocantes de vapor, reciprocantes de poder y dosificación, y reciprocantes de diafragma." ("Hydraulic Institute Standards" p.172)

(III.2) Hicks and Edwards.
"Pump Application Engineering", p.135.

(III.3) "Hydraulic Institute Standards", p.95.

(III.4) Ibid; p.97.

(III.5) Ibid; p.102.

(III.6) Característica también llamada paso de esfera.

(III.7) En ciertas aplicaciones, es recomendable la utilización de los trituradores como elementos primarios para procesos industriales con aplicaciones específicas.

(III.8) La norma NFPA 20, marca el uso de una bomba Jockey ("IN LINE, BOOSTER"), accionada por motor eléctrico para mantener presurizada la línea que contiene las tomas de agua contra incendio. A la caída de presión deberá entrar en operación una bomba bipartida axialmete accionada por motor eléctrico. En caso de interrupción en el suministro de energía eléctrica, deberá entrar en operación una bomba adicional bipartida axialmente, accionada por motor de combustión interna.

(III.9) Ibid; p.9

(III.10) NFPA 20, significa National Fire Protection Association y norma todos los estándares para las instalaciones contra incendio.

(IV.1) "Price Catalog 501"
Baldor (motores eléctricos)

(V.1) "Catálogo General y Lista de Precios"
Industrias IEM S.A. de C.V.

(VI.1) Con excepción de las bombas autocebantes, las cuales cuentan con una cámara que almacena líquido el cuál ceba la bomba desde la succión y por decirlo así; es capaz de "Succionar" el líquido hasta una distancia determinada.

APENDICE II.

CALCULO DE PERDIDAS POR FRICCION EN TUBERIAS Y ACCESORIOS.

Todo flujo a través de una tubería o accesorio, origina pérdidas de carga por la fricción ocasionada por el roce del fluido con las paredes de la tubería o accesorio, estas pérdidas se expresan en metros de columna de líquido y se obtienen mediante el uso de curvas y nomogramas.

APII.1.- Calculo de pérdidas por fricción en tuberías.

Para calcular las pérdidas por fricción en tuberías, debe primero recurrirse a la gráfica APII.1, en donde, mediante el caudal a manejar y el diámetro de la tubería, se podrá obtener la velocidad (en m/seg) del líquido. Cabe aclarar que si el diámetro de la tubería no es constante, se deberán hacer cálculos para cada tramo de tubería con diámetro constante.

Una vez obtenida la velocidad, se deberá recurrir ahora a la gráfica APII.2, en donde, mediante el caudal a manejar, el diámetro de la tubería y la velocidad del líquido se obtienen las pérdidas de carga por fricción en metros por cada mil metros de tubería. Los valores de esta tabla, están calculados para tuberías de hierro colado (correctamente instaladas) usadas pero no incrustadas, para tuberías de fundición nuevas las pérdidas serán aproximadamente 20% menores, mientras que para tuberías incrustadas los valores obtenidos deberán multiplicarse por 1.1 hasta por 1.2 según el estado que guarden. Cabe aclarar que estos valores están calculados para agua limpia.

APII.2.- Cálculo de pérdidas por fricción en accesorios.

Para calcular las pérdidas por fricción en accesorios tales como válvulas, codos, etc., se deberá recurrir a la gráfica APII.3, en donde, haciendo coincidir con una regla, el accesorio con el diámetro interior, se obtendrá la longitud equivalente de las pérdidas que ocasiona en metros columna de líquido.

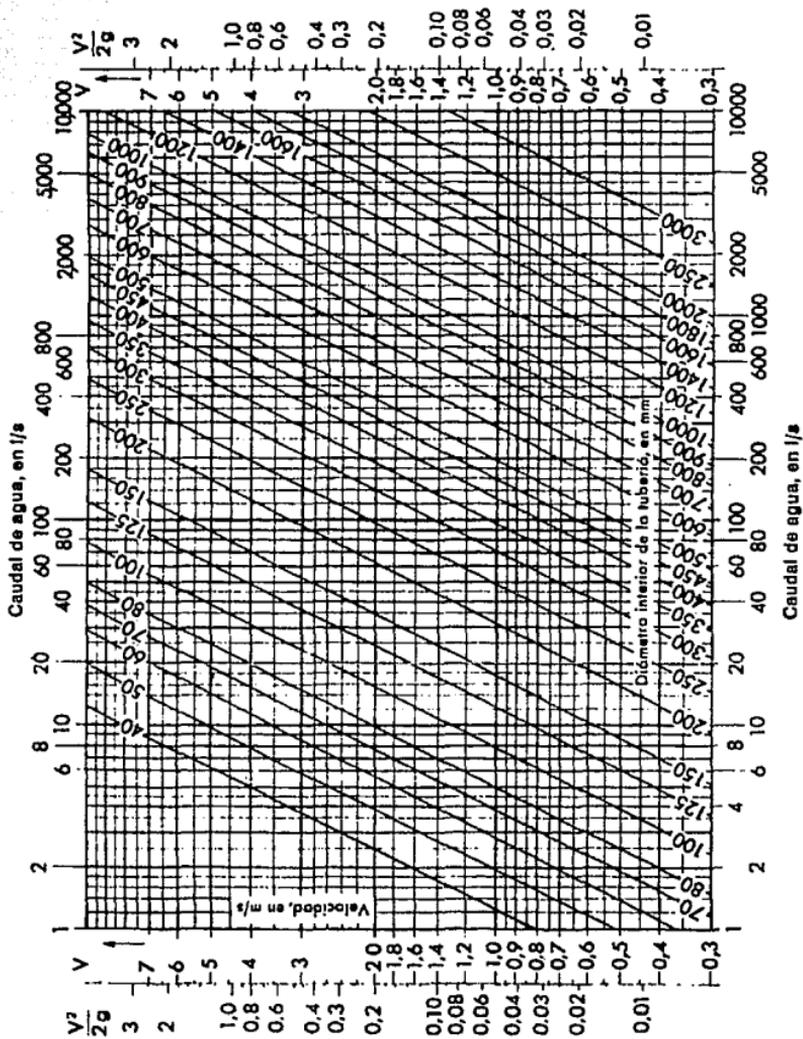


FIGURA APII.1

Las pérdidas de carga han de multiplicarse por 0,8 referidas a tuberías nuevas de hierro colado; para tuberías con incrustaciones habrá que multiplicar las pérdidas de carga por 1,1 a 1,2

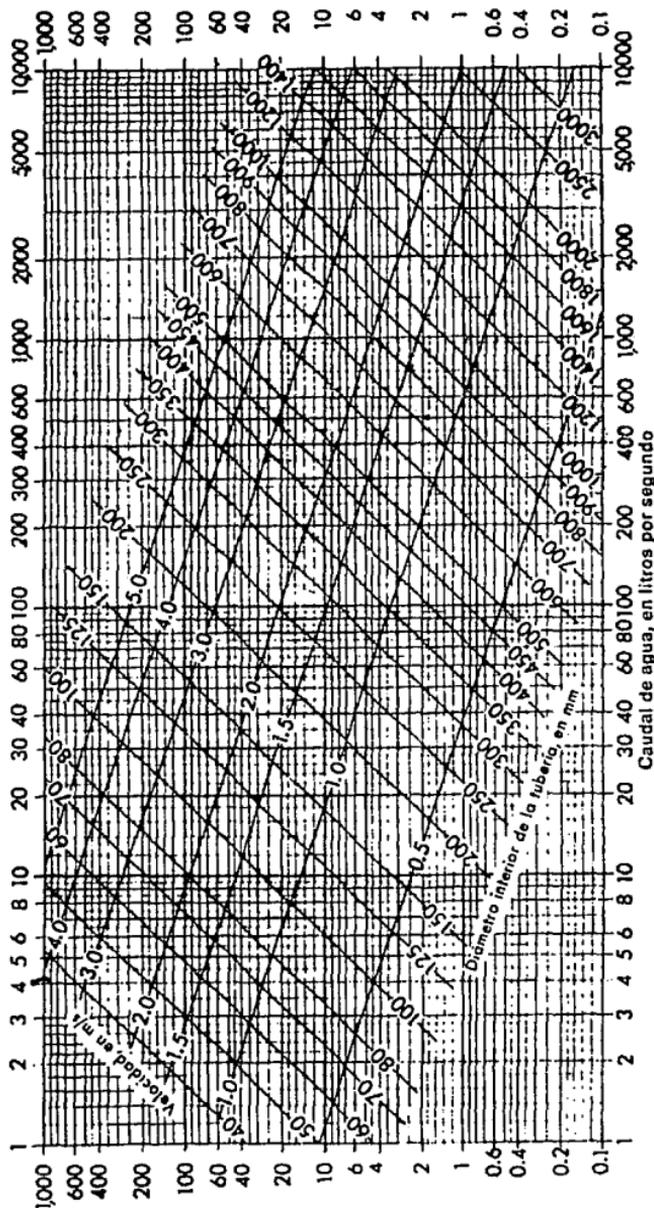


FIGURA APII.2

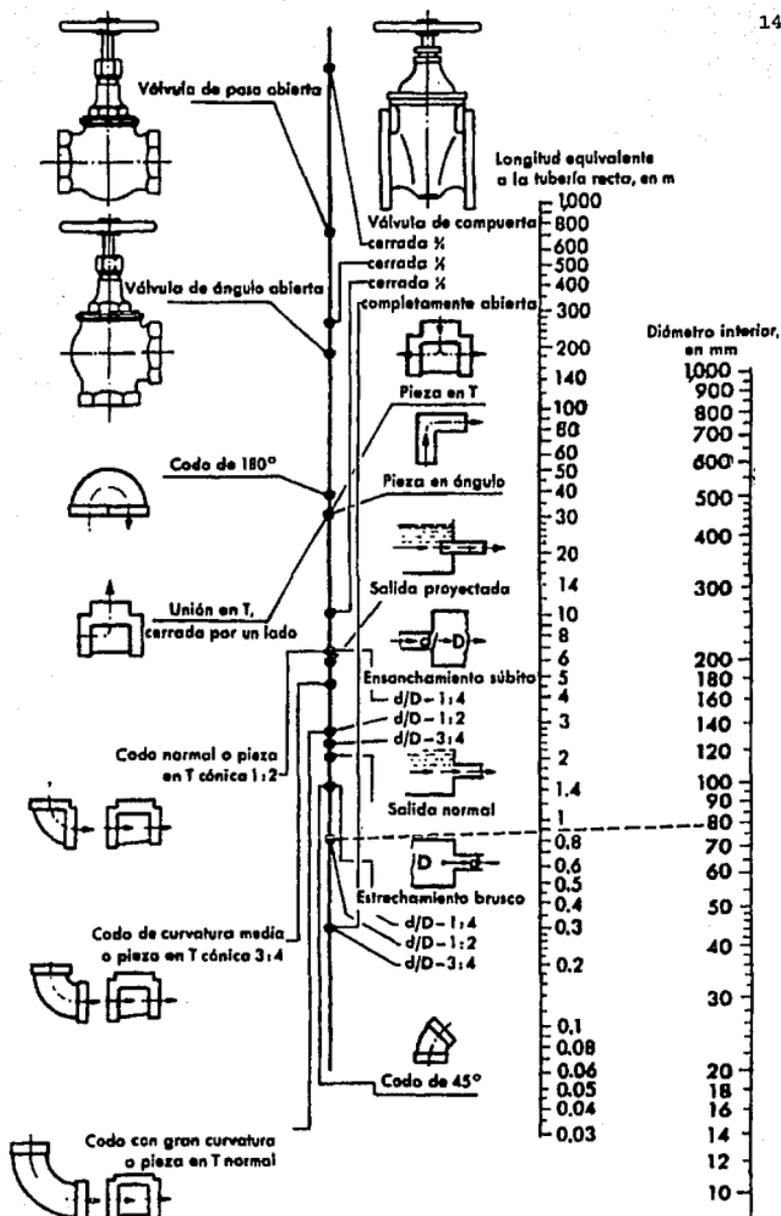


FIGURA APII.3

APENDICE III.

FORMULARIO GENERAL.

I. Volumen y Peso.

- 1 gal americano = 8.34 lb * peso específico.
 1 gal americano = 0.84 gal imperial.
 1 pie cúbico de líquido = 7048 gal.
 1 pie cúbico de líquido = 62.32 lb * peso específico.
 Peso específico del agua de mar = 1.025 a 1.03.
 1 metro cúbico = 264.5 gal = 1 000 lt.
 1 barril (de aceite) = 42 gal = 159 lt.

II.- Capacidad y velocidad.

- 1 gal/mín (gpm) = 449 ft cúbicos/seg = 3.785 lt/mín.
 1 gal/mín = libras por hora/500 * peso específico.
 1 gal/mín = 0.069 * HP de vapor.
 1 gal/mín = 0.7 * barril/hora = 0.0292 barriles/día.
 1 gal/mín = 0.227 ton mét/hora.
 1 millón de galones por día = 694.5 gal/mín.
 $V = \text{gal/mín} * 0.321/\text{área en pulg}^2 = \text{gal/mín} * 0.409/D^2$.
 $V = \sqrt{2gH}$.
 gpm (gal/mín) = galones por minuto.
 p esp * = peso específico basado en agua a 16.7°C.
 HP = caballos de fuerza.
 bbl = barril de aceite = 42 gal = 159 lt.
 mgd = millón de galones por día de 24 horas.
 V = velocidad en ft/seg (en CGS = m/seg).
 D = diámetro en pulgadas (en CGS en centímetros).
 g = 32.16 ft/seg/seg = 9.81 m/seg/seg.
 H = carga en pies (altura de elevación en metros).

III.- Altura de elevación o carga.

- Carga en pies = carga en lb/pulg² * 2.31/p esp.
 carga en metros = carga en kg/cm² * 0.1.
 1 pie de agua (fría, seca) = 1.133 pulg de mercurio.
 1 metro de agua = 7.6 cm de mercurio.
 1 lb/pulg² (psi) = 0.0703 kg/cm².
 1 lb/pulg² (psi) = 0.068 atmósferas.
 $H = V^2/2g$.
 psi = libras por pulgada cuadrada.

IV.- Fuerza y torque.

- 1 caballo de fuerza = 500 lb-ft/seg = 75 kg-m/seg.
 = 33 000 lb-ft/mín.
 = 5 545 BTU/hora.

1 caballo de fuerza = 745.7 Watts.
= 0.7457 kW.

$$\text{bhp} = \frac{\text{gpm} * \text{carga(ft)} * \rho \text{ esp.}}{3\,960 * \text{eficiencia}} = \frac{\text{lt/mín} * \text{carga(m)} * \rho \text{ esp}}{4\,560 * \text{eficiencia}}$$

$$\text{bhp} = \frac{\text{gpm} * \text{carga en psi}}{1\,714 * \text{eficiencia}}$$

$$\text{HP} = \frac{\text{ohp} [1.05 + 1.35/\text{ohp} + 3]}{\text{eficiencia de la bomba}}$$

en donde ohp, es la salida en caballos de fuerza o trabajo ejecutado en caballos de fuerza hidráulica por la bomba, lo que se determina por:

$$\text{ohp} = \frac{\text{lt/mín} * \text{carga(m)} * \text{peso específico}}{4\,560}$$

$$\text{ohp} = \frac{\text{gpm} * \text{carga (psi)}}{1\,714}$$

Torque en lb-ft = Hp * 5 252/RPM Y el resultado por 0.13826
dá kg-metros
bhp = caballo de fuerza al freno.
RPM = revoluciones por minuto.

V.- Fórmulas misceláneas para bombas centrífugas.

$$\text{Velocidad específica} = N = \sqrt[3/4]{\text{gpm} * \text{RPM} / H}$$

en donde H = carga por etapa en pies.

$$\text{Diámetro del impulsor en pulg} = d = \frac{1840 \text{ Ku} \sqrt[3/4]{H}}{H}$$

en donde Ku, es una constante que varía con el tipo y diseño del impulsor.
Usar H a descarga cerrada (capacidad cero) Ku es aproximadamente 1.0

APENDICE IV.

TABLAS DE CONVERSION.

Unidad Angstrom = 10^{-10} metros	
= 1/10 000 micrón	
= 0.003937 pulg	
Atmósfera = 14.7 lb (inglesas)	
= 14.223 lb (rusas)	
BTU = 778 pies libras	
= 0.2930 watt hora	
= 0.252 calorías	
Caloría = 1 kg de agua elevado 1°C	
= 3.97 BTU	
Centiárea = 10.764 ft ²	
Centímetro = 0.3937 pulg	
Cheval = 0.986 HP	
Circular mil = 1/1 000 pulg	
0.3000000785 pulg ²	
Cm cúbico = 0.061 pulg cúbica	
Pie cúbico = 1.728 pulg cúbicas	
= 7.48 gal	
= 60 pintas	
= 8/10 de bushel	
= 62.32 lb de agua ($62^{\circ}\text{F} = 16.7^{\circ}\text{C}$)	
= 1 000 oz de agua aproximadamente	
= 0.028 metros cúbicos	
= 28032 lt	
Pulg cúbica = 16.39 cm cúbicos	
Metro cúbico = 35.315 ft cúbicos	
= 1.308 yardas cúbicas	
Yarda cúbica = 27 ft cúbicos	
= 0.765 metros cúbicos	
Decímetro = 3.937 pulg	
Pie = 12 pulg	
= 0.385 m	

Pie libra	= 0.1364 kilogramos
Galón	= 231 pulg ³ = 4 cuartos = 8 pintas = 3.785 lt = 128 oz fluidas = 8.33 lb de agua
Galón por mín	= 449 ft cúbicos/seg = 0.227 ton mét/hora
Galón (Brit.)	= 277.3 pulg cúbicas = 1.201 galones americanos = 10 lb de agua a 15°C = 4.546 lt
Grano	= 1/7 000 lb Avoir du pois = 0.0684 g
Gramo	= 15.43 granos = 0.0353 oz = 0.0022 lg
HP	= 33 000 ft/lb/mín = 42.41 BTU/mín = 1.014 chevales = 746 Watts
Ciento de peso	= 112 lb = 50.80 kg
Pulgada	= 39 540 $\frac{1}{2}$ longitudes de onda del rayo rojo del Cadmio = 25.4 mm
Joule	= 1 Watt/seg
Kilogramo	= 2.2046 lb = 35.274 oz = 15 432.36 granos = 0.0011 ton cortas = 0.00098 ton largas
Kg/m cúbico	= 0.0624 lb/ft cúbico
Kg/cm ²	= 14.225 lb/pulg ²
Kg/m ²	= 0.205 lb/ft ²
Kilómetro	= 1 000 m = 0.621 millas
Kilowatt	= 1.34 HP

	= 44 257 ft-lb/mín
	= 56.87 BTU/mín
Litro	= 1.000027 dm cúbicos
	= 1.057 cuartos
	= 0.264 gal
	= 61.02 pulg cúbicas
	= 0.035 ft cúbicos
	= 33.8147 oz fluidas
	= 270.518 dracmas fluidas
Lt/seg	= 2.12 ft cúbicos/mín
	= 0.474 gal amer/mín
Metro	= 39.37 pulg
	= 3.28 ft
	= 1.09 yardas
Ton métrica	= 2 204.6 lb
	= 1.1023 ton cortas
Micrón	= 0.0001 mm
	= 10 000 unidades Angstrom
	= 39.37 millónesimos de pulgada
Microgramo	= 1/1 000 mg
Mil	= 0.001 pulg
	= 25.4 micrones
	= 0.0254 mm
Milla	= 1 760 yardas
	= 5 280 pies
	= 1.61 km
Milígramo	= 0.0154 granos
Mililitro	= 1.000027 cm cúbicos
	= 0.0610 pulg cúbicas
Miriámetro	= 10 000 m
	= 6.2137 millas
Onza	= 437.5 gramos
	= 0.911 oz troy
	= 28.35 gramos
Onza (fluida)	= 1.805 pulg cúbicas
	= 29.573 ml
Onza (fina)	= onza troy
	= 480 granos
	= 31.104 gramos

Pied	= 12 pulg de París = 0.325 m
Pinta	= 0.4732 lt = 16 oz fluidas
Lb Avoirdupois	= 16 oz = 7 000 granos = 454 g = 0.454 kg = 14.58 oz troy
Lb/pie cúbico	= 16.02 kg/m cúbico
Lb/pulg ²	= 2.31 pies de agua con peso específico de 1.00 = 0.0703 kg/cm ²
Cuarto	= 28 lb = 12.70 kg
Quintal	= 100 kg = 220.46 lb
Estéreo	= 1 metro cúbico
Cm ²	= 0.155 pulg ²
Pie ²	= 0.093 m ²
Pulg ²	= 6.452 cm ²
Km ²	= 0.386 mi ²
M ²	= 10.764 ft ² = 1.196 yd ²
Mil ²	= 0.000001 pulg ² = 0.000645 cm ²
Milla ²	= 640 acres = 3 097 600 yd ² = 2.59 Km ²
MM ²	= 0.00155 pulg ²
Yarda ²	= 0.836m ²
Piedra	= 14 lg = 6035 kg
Tonelada (cor)	= 2 000 lb

$$= 907 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Tonelada (lar)} &= 2\,240 \text{ lb} \\ &= 1\,016 \text{ kg} \\ &= 270 \text{ gal} \end{aligned}$$

$$\text{Ton/hora} = 404 \text{ gal/mín}$$

$$\begin{aligned} \text{Tonelada (met)} &= 1\,000 \text{ kg} \\ &= 2\,204.62 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Yarda} &= 3 \text{ pies} \\ &= 36 \text{ pulgadas} \\ &= 0.9144 \text{ m} \end{aligned}$$

GLOSARIO

ACCIONADOR:

Para fines del presente trabajo, se denomina accionador al equipo que proporciona energía mecánica a un equipo de bombeo, pudiendo ser un motor eléctrico, un motor de combustión interna, una turbina de vapor, etc.

ACHIQUE:

Para fines del presente trabajo, una bomba de achique es aquella que desagua, desinunda o transfiere el líquido de un depósito o un estancamiento.

CARCAMO:

Contenedor (depósito) que puede ser perforado o construido que contiene agua (o líquido a bombear) y alberga una bomba. Bomba de cárcamo seco.- bomba de lata o enlatada. Bomba de cárcamo húmedo.- bomba contenida en un cárcamo, siempre inundado.

CEBADO:

El cebado de una bomba consiste en proporcionar a esta una columna de líquido libre de burbujas de aire en la succión a fin de que pueda empezar a bombear sin problemas. Esto debe hacerse antes de arrancar el equipo (consultar el capítulo VI) ya que de lo contrario la bomba puede dañarse (a excepción de las bombas autocebantes que tienen la característica de cebarse por sí mismas)

CINEMATICA:

Estudio de la geometría del movimiento sin referencia a las causas del mismo. Se ocupa de la posición del desplazamiento o de la velocidad, de la aceleración y del tiempo. Estas cantidades se conocen como unidades cinemáticas.

CINETICA:

Estudio de las relaciones entre las fuerzas y el movimiento que ocurre en los cuerpos en los cuales ellas actúan.

CORRIENTE ALTERNA:

Flujo de corriente eléctrica oscilante a una frecuencia dada (en México para uso doméstico e industrial 60 Hz); es decir, la corriente alterna describe un movimiento senoidal pasando de un ciclo positivo a uno negativo.

CORRIENTE DIRECTA:

Flujo de corriente eléctrica que describe un movimiento continuo, es decir, no presenta cambios ni en amplitud ni en sentido.

DINAMICA:

Estudio del movimiento de los cuerpos considerado, tanto cinemática como cinéticamente.

ENERGIA CINETICA:

Es la energía que posee un cuerpo en virtud de su movimiento.

ENERGIA POTENCIAL:

Es la energía que posee un cuerpo en virtud de su posición o condición.

ESPEJO DE AGUA:

Para fines del presente trabajo, se conoce como espejo de agua en un recipiente (a veces se utiliza también para pozos) al nivel donde comienza el agua referido al punto donde comienza el recipiente (o bien el pozo). El nivel más próximo del agua.

ESTATICA:

Estudio de estado de equilibrio de los cuerpos bajo la acción de fuerzas.

FUERZA CENTRIFUGA:

Fuerza de reacción al movimiento circular de un objeto que tiende a dispararlo fuera de su trayectoria circular.

GOLPE DE ARIETE:

Efecto de reacción que sufre un equipo de bombeo y sus tuberías cuando es interrumpido el impulso del accionador por alguna causa no prevista y provoca que todo el agua contenida en la tubería sufra un retroceso de presión igual a la altura geodésica máxima que alcance el líquido, pudiendo resultar en la destrucción total del equipo.

Este fenómeno es particularmente crítico en las bombas destinadas al suministro de agua para redes municipales.

PAR (TORSIONAL):

Momento de torsión que hace girar un cuerpo.

POTENCIA:

Es la rapidez con la que se realiza un trabajo. Si el trabajo se realiza en forma continua la potencia puede definirse como el producto de la fuerza por la velocidad.

ROTACION:

Sentido de giro que presenta un rotor.

En los equipos de bombeo la rotación de la bomba y del motor van siempre referidos como "vistos por el lado del cople" pudiendo ser: CW [clock wise] que significa en sentido de las manecillas del reloj o CCW [counter clock wise] que significa en sentido contrario al giro de las manecillas del reloj.

TORQUE:

Palabra del idioma Inglés que significa par torsional.

VALVULA DE RETENCION:

También conocida como válvula check, es una válvula que permite el paso de un fluido en un sólo sentido dado y cierra cuando fluye en sentido contrario.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- **KARASSIK J. IGOR Y CARTER ROY**
"Bombas Centrífugas: Selección, Operación y Mantenimiento"
México, Editorial: CECSA
1982, XI edición, 560 pp.

- 2.- **SEVERNS W. H., DEGLER H. E. Y MILES J. C.**
"La Producción de Energía Mediante el Vapor de Agua, el Aire y los Gases"
México, Editorial: REVERTE MEXICANA, S. A.
1984, 503 pp.

- 3.- **TIPPENS E. PAUL**
"Física: Conceptos y Aplicaciones"
México, Editorial: McGRAW-HILL
1984, 612 pp.

- 4.- **HICKS G. TYLER, BME**
"Bombas: Su Selección y Aplicación"
México, Editorial: CECSA
1979, XIV edición, 530 pp.

- 5.- **HUANG T. C.**
"Mecánica para Ingenieros"
Tomo I Estática
México, Editorial: REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.
1982, 587 pp.

- 6.- CUYAS ARTURO
"Appleton's New Cuyás Dictionary"
New Jersey, Editorial: PRENTICE-HALL, INC.
1972, V edición, 589 pp.
- 7.- PELAYO-GARCIA RAMON Y GROSS
"Pequeño Larousse Ilustrado"
México, Editorial: LAROUSSE
1983, 1663 pp.
- 8.- SULZER BROTHERS LIMITED
"Centrifugal Pump Handbook"
Switzerland, Editado por: Sulzer Brothers Ltd.
1986, II edición, 341 pp.
- 9.- GRUNDFOS PUMPS CORPORATION
"Suministro de Agua Doméstica"
Dinamarca, Editado por: Centro Internacional
de Estudios Grundfos
1988, 170 pp.
- 10.- GOULDS PUMPS, INCORPORATED
"GPM Goulds Pump Manual"
New York, Editado por: Goulds Pumps, Inc.
1974, 535 pp.

- 11.- INDUSTRIAS ELECTRICAS S.A. DE C.V.
"El ABC de la Teoría y Aplicación de Motores Eléctricos Polifásicos en la Industria"
México, Editado por: Industrias Eléctricas S.A. de C.V.
1983, 190 pp.
- 12.- FLEXIBOX, S.A.
"Programa de Capacitación"
México, Editado por: Flexibox S.A.
- 13.- WORTHINGTON PUMP INCORPORATED
"PSI Pump Selector for Industry"
U.S.A., Editado por: Worthington Pump Inc.
416 pp.
- 14.- MECANICA FALK S.A. DE C.V.
"Manual de Instalación y Mantenimiento"
Reductores, Motorreductores y Acoplamientos
México, Editado por: Mecánica Falk S.A.
131 pp.
- 15.- SULZER HERMANOS S.A. DE C.V.
"Fundamentos de Hidráulica para la Selección e Instalación de Bombas Centrífugas"
Suiza, Editado por: Sulzer Freres A.G.
70 pp.

16.- HYDRAULIC INSTITUTE

"Hydraulic Institute Standards for Centrifugal, Rotary and Reciprocating Pumps"

U.S.A., Editado por: Hydraulic Institute

1975, XXX edición, 328 pp.

17.- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE

"API Standard 610"

U.S.A., Editado por: American Petroleum Institute

1990, VII edición, 139 pp.

18.- ANIBIAC

"Curso I-Básico"

Nuevos Cursos sobre: Selección y Operación de Bombas Centrífugas

México, Editado por: Asociación Nacional de las Industrias del Bombeo e Ingeniería A.C.

152 pp.

19.- ANIBIAC

"Curso II-Selección"

Nuevos Cursos sobre: Selección y Operación de Bombas Centrífugas

México, Editado por: Asociación Nacional de las Industrias del Bombeo e Ingeniería A.C.

1988, 401 pp.

20.- ANIBIAC

"Curso III-Operación, Instalación y Mantenimiento de las Bombas Centrífugas"

Nuevos Cursos sobre: Selección y Operación de Bombas Centrífugas

México, Editado por: Asociación Nacional de las Industrias del Bombeo e Ingeniería A.C.

1989, 390 pp.

- 21.- SISTEMAS DE BOMBEO S.A. DE C.V.
Catálogo General Bombas Ocelco ITT
- 22.- INDUSTRIAS IEM S.A. DE C.V.
Catálogo General y Lista de Precios
Motores Eléctricos
Lista No. 39, Diciembre 1990
- 23.- GRUNDFOS PUMPS CORPORATION
Catálogo General y Lista de Precios
Bombas y Motores Eléctricos
Diciembre 1990
- 24.- BALDOR
Catálogo General y Lista de Precios
Motores Eléctricos
Lista No. 501, Marzo 1992
- 25.- AFTON PUMPS INCORPORATED
Catálogo General