



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**SELECCIÓN DE EQUIPOS DE
BOMBEO PARA PROYECTOS
CARACTERÍSTICOS DE LA
INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniera Civil

P R E S E N T A N

Inés Negrete Martínez

Claudia Vanessa Ortega Alfaro

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Oscar E. Martínez Jurado



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/037/16

Señoritas
INÉS NEGRETE MARTÍNEZ
CLAUDIA VANESSA ORTEGA ALFARO
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. ÓSCAR ENRIQUE MARTÍNEZ JURADO, que aprobó este Comité, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"SELECCIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO PARA PROYECTOS CARACTERÍSTICOS DE LA INGENIERÍA CIVIL"

- INTRODUCCIÓN
- I. GENERALIDADES
 - II. SISTEMAS DE BOMBEO
 - III. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS
 - IV. SELECCIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO
 - V. APLICACIONES DE EQUIPOS DE BOMBEO EN PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL
 - VI. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 23 de mayo del 2016.
EL PRESIDENTE

M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH*gar.

Agradecimientos

Agradezco en memoria a mis padres, Ma. Isabel por haberme dado la vida; a Ma. Félix y Pablo, por haberme transmitido serenidad, ánimo y enseñarme a valorar, en su justa medida la importancia relativa a todas las cosas y así como la vital importancia para mi vida y desarrollo, “el estudio”.

A mis hijos Indira y Jonathan por apoyarme en este último esfuerzo para concluir esta etapa, quienes han tenido que soportar los excesos de trabajo, así como cambios de humor de su madre y de no contar con ella el tiempo necesario.

A mis tíos Lupe, Octaviano, Alejandro y Alberto por el apoyo recibido en el desarrollo de mi vida, y muy en especial a mi tía Inés por aguantarme y saber guiarme con mucha paciencia siempre dándome los mejores consejos.

A mis hermanas Paty, Mary y Chave, que siempre me han acompañado en todo momento y me han apoyado siempre.

A toda mi familia, amigos y muy en especial en memoria a mis tías, Ma. Concepción Jiménez y Ma. Concepción Serralde que siempre me apoyaron y confiaron en mí.

A mi alma Mater, la UNAM a quien agradeceré siempre el formar parte de ella y a mi Facultad de Ingeniería.

A todos mis profesores mi gratitud por sus conocimientos, paciencia y compromiso para mi formación profesional.

A mi director de tesis Ing. Oscar E. Martínez Jurado el asesoramiento para la elaboración del presente trabajo.

Al Ing. Rafael F. Quintero Rodríguez por brindarme su apoyo y todas las facilidades para poder realizar el presente trabajo.

Inés Negrete Martínez

Agradecimientos

A ti Jehová por darme una vida llena de estrellas, bendecida por ti Señor, por la oportunidad de respirar cada día, por darme esta hermosa familia que me han sido mi apoyo incondicional desde el momento en que nací hasta el día de hoy, por dejarme vivir, y tener el libre albedrío de elegir mi camino, concediéndome la serenidad para aceptar mi vida tal como es, valor para seguir hasta el final, y toda la sabiduría para encontrar la senda de mi vida y darme la inteligencia para llegar hasta este punto en mi vida, gracias por todo Dios mío, te suplico señor que pueda siempre tener la ética profesional de ejercer mi carrera de manera recta con logros futuros.

A ti mi Doc., mi papá, por elegirme a mí como hija, por ser siempre mi ejemplo a seguir, por estar siempre pendiente de mí, por todas esas tardes de tareas infinitas, por enseñarme a creer que siempre puedo si así lo quiero, por jamás dejarme claudicar, y creer fielmente en mí. Por todas las desmañadas, por apoyarme en todo momento, por creer ciegamente en mí, por saber que este día llegaría, y sobre todo porque cuando me caí siempre estabas cerca para levantarme. Gracias por todos y cada uno de tus consejos, por enseñarme el valor de amar la profesión que uno elige para el resto de sus vidas y por ser mucho más que un papá que provee, por ser mi más grande cómplice y apoyo por llevarme y traerme mil veces si era necesario y por siempre todas las mañanas despedirme con un beso y diciendo fuerte y claro para mí “tú puedes, si lo quieres lo vas a lograr”. Por enseñarme que se tiene que acabar lo que se inicia con paso firme y hacia delante.

A mi Loli, mi mamita linda, por darme la vida, gracias por amarme y soportar mi mal genio, por siempre vivir preocupada por nuestro bienestar, porque siempre tuve tu amor y apoyo incondicional, por cuidarme y educarme por hacer de mí una mujer de bien, por mostrarme que las mujeres podemos ser, muchos papeles en la vida, (mujer, mamá, profesionista, etc) por estar orgullosa de mí, por todo lo que hiciste para que siempre tuviera todo listo para asistir en la escuela, y que sólo me dedicara a estudiar, por aguantar todos y cada uno de mis arañques, por saber que lo lograría, por pensar que podría ser ingeniero y por motivarme a terminar hasta el final. Por preocuparte por todo y más, por impulsarme a cerrar este ciclo para conseguir mi título, por decirme siempre que le echara ganas y que diera un poco más de mí para terminar lo ya empezado, por enseñarme siempre que todo lo que uno va sembrando en la vida tarde que temprano se cosecha.

A mi hija, mi ángel que está en el cielo, princesa amada, a ti te debo más que a nadie esto, tú me impulsaste a retomar lo ya olvidado, quise siempre que estuvieras muy orgullosa de tu madre, ser tu ejemplo y que fueses muy feliz, te prometí cuando estabas en mi vientre que terminaría este ciclo, y hoy muñequita te dedico esta tesis, es para ti, para que donde quiera que estés te sientas orgullosa de tu mami, y sé que el día que el destino nos re-encuentre

junto al fuego, donde nos reunirá Dios, podré abrazarte, besarte y decirte ¡lo logre! Esto es tuyo mi amor, más que de nadie en la vida, gracias por traer la mayor alegría en mi vida, mantengo firmemente la esperanza de besarte con todo el amor que mi ser guarda para ti, Te amo Eli y sé que donde estas con mis abuelitos, observan este logro, felices de que después de un camino largo y sinuoso estoy a un paso de la meta, sé que estarás ese día ahí ángel de mi corazón, para celebrar junto a mí, te dedico este logro, con todo mi amor, tu mamá.

A mi hermano, por ser y estar incondicional para mí, por aguantar mis malos ratos, y manías, por guardarme los secretos, por ser cómplice en mi senda, por tus consejos llenos de madurez y por ver más allá de lo que yo podía ver, por molestarme, por tus bromas incansables, por ser un hermano fiel por preocuparte por mí, pero más que todo por tener la certeza de que haría lo necesario para cumplir con mis objetivos. Hermano, compadre, viejito, cuate, amigo, yo no imagino mi vida sin ti, gracias por todo lo que me haces ser.

A ti JC por ponerme de nuevo una sonrisa en mi rostro, por hacerme confiar nuevamente en mi misma, por impulsarme a terminar lo ya empezado, para ser la ingeniero que quiero, por admirarme y sentir que todo lo que me proponga lo lograré, por ser ahora parte de esta nueva vida, por apoyarme y darme tus buenos consejos, por enseñarme nuevamente a darle el valor justo a las cosas, y a priorizar, gracias por creer que lo lograré, y por mostrarme que la vida sigue y que hay que reponerse a cualquier obstáculo, porque la vida esta hecha para triunfadores, gracias por creer que soy parte de ellos.

A todas esas personas, que confiaron y aún lo hacen, en mi (amigos y familia), quienes han formado parte de mi vida y que no dudaron ni por un segundo que sería lo que siempre he querido ser, todos los consejos bien intencionados, para hacerme saber que tengo la tenacidad para caminar firme hacia mis objetivos, gracias por compartir el sendero de la vida conmigo.

Agradezco infinitamente a mi alma Mater, la UNAM por la oportunidad de tener la piel dorada y la sangre azul, por formar parte de una familia de profesionistas, en una de las mejores escuelas de Latinoamérica, teniendo todo a mi alcance para desarrollarme íntegramente como ser humano, estudiante, mujer, y como ingeniera, por darme las herramientas necesarias para enfrentar mi vida laboral, personal, y social. "Por mi raza habla el espíritu"

A mi hermosa facultad de ingeniería, quien me alojo por 5 años, siendo mi segunda casa, donde tuve la dicha de forjarme como estudiante de ingeniería civil, sus aulas compartieron el conocimiento, mis angustias por los exámenes, mis alegrías, y mis logros, ellas me vieron progresar y luchar incansablemente por terminar mis estudios universitarios, donde pase los mejores años de mi vida, porque ser estudiante es lo más hermoso que hay.

A mis profesores, a todos y cada uno de ellos, desde la primaria hasta la universidad, por transmitir no sólo su conocimiento, sino también sus valores y sus experiencias, por siempre estar para forjarme y esculpir mi cerebro para pensar, sentir y oler como ingeniero, para saber que lo primero para llegar a serlo es confiar, trabajar y dar pasos firmes, sin perder de vista el objetivo, ustedes me dieron todas las bases para enfrentar la vida laboral, me enseñaron la ley que rige mi vida, tercera ley de Newton "A toda acción una reacción, misma magnitud, en sentido contrario" Gracias por tanto.

Sin olvidar que fuiste tú quien financió gran parte de esto, y recordando que siempre prometí que en esta tesis te agradecería a ti Carlos por el apoyo, no olvido que compraste libros, laptop, y que pagaste el seminario, y el apoyo fue infinito, tampoco olvido que confiabas en que terminaría, y en la admiración que sentías por mí, gracias a ti también por darme la lección más grande de mi vida, sin eso no sería hoy la mujer que soy, esta que no claudica fácilmente y si lo hace por un momento, se detiene, toma aire y con más fuerza enfrenta al mundo.

A Veolia mi empresa, mi trabajo y a mis jefes, por darme la oportunidad de re-incorporarme a la vida laboral, por darme los permisos para asistir a el seminario y por mostrar interés por que culminara el ciclo, por impulsarme a terminar el trabajo de tesis, y por siempre interesarse por el avance, por el apoyo incondicional para que su personal crezca como ser humano y como profesionalista.

¡Gracias a la vida por esta nueva oportunidad, merezco lo mejor y lo acepto ahora! Los Amo infinitamente...

Claudia Vanessa Ortega Alfaro

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
I. GENERALIDADES	4
I.1. Importancia de los sistemas de bombeo dentro de nuestra sociedad.....	5
I.2. Evolución de los sistemas de bombeo a través del tiempo	11
I.3. Características de un proyecto de bombeo	20
II. SISTEMAS DE BOMBEO	24
II.1 Tipos y características de los equipos de bombeo.....	27
II.1.1. <i>Bombas centrífuga</i>	28
II.1.1.1. <i>Tipos de bombas centrifugas por movimiento del fluido</i>	29
II.1.1.2. <i>Características de una bomba centrífuga</i>	30
II.1.1.3. <i>Bombas centrífugas por aplicación</i>	33
II.1.2. Bombas rotatorias	35
II.1.2.1. <i>Tipos de bombas rotatorias por movimiento del fluido</i>	36
II.1.2.2. <i>Características de las bombas rotatorias</i>	40
II.1.2.3. <i>Bombas rotatorias por aplicación</i>	41
II.1.3. Bombas reciprocantes	42
II.1.3.1. <i>Tipos de bombas reciprocantes</i>	43
II.1.3.2. <i>Características de las bombas reciprocantes</i>	45
II.2. Descripción de los requerimientos en la selección de los equipos de bombeo.....	46
II.2.1. Curvas del sistema de bombeo.....	50
II.2.2. Especificaciones de la columna de un equipo de bombeo y su capacidad.....	52
II.3. Normas técnicas aplicadas a los sistemas de bombeo	53
II.3.1. Normas Internacionales (NI)	54
II.3.2. Normas Oficiales Mexicanas (NOM).....	56
III. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS	60
III.1. Los fluidos	60
III.2. Naturaleza de los fluidos	62
III.3. La importancia del estudio de los fluidos.....	63
III.4. Propiedades de los fluidos	65
III.4.1. Incompresibilidad	66
III.4.2. Viscosidad.....	67
III.4.2.1. <i>Viscosidad dinámica</i>	68
III.4.2.2. <i>Viscosidad cinemática</i>	70
III.4.3. Presión de saturación de vapor o cavitación.....	70
III.4.4. Densidad, absoluta, densidad relativa y peso específico.....	73

III.4.4.1. Densidad absoluta o masa específica.....	73
III.4.4.2. Densidad relativa.....	74
III.4.4.3. Peso específico.....	74
III.4.4. Tensión superficial, cohesión, adhesión y capilaridad.....	75
IV. SELECCIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO	77
IV.1. Principios de hidrostática	77
IV.1.1. Principio de Pascal.....	78
IV.1.2. Perfil de velocidades en flujo en tuberías.....	78
IV.1.3. Flujo laminar, flujo turbulento, número de Reynolds y Teorema de Torricelli..	79
IV.2. Parámetros de diseño	81
IV.2.1. Gasto o caudal, diámetro y velocidades del fluido.	84
IV.2.2. Balance de energía	86
IV.2.3. Cargas y pérdidas en el sistema.	87
IV.2.3.1. Cálculo de pérdidas dinámicas por fricción (H_f).....	91
IV.2.3.2. Pérdidas secundarias o localizadas por accesorios.	94
IV.2.4. NPSH disponible y requerido	95
IV.2.5. Potencia útil, potencia al freno y eficiencia	97
IV.2.6. Velocidad específica	98
IV.2.7. Diámetro de succión y descarga	99
IV.2.8. Consideraciones especiales de diseño	100
IV.2.9. Procedimientos de cálculo y memoria técnica	102
IV.3. Requerimientos del usuario.....	104
IV.3.1. Características del fluido a manejar por el usuario	104
IV.3.2. Condiciones de operación.....	104
IV.3.3. Especificaciones de equipo.....	105
IV.3.4. Curvas de selección.....	105
V. APLICACIONES DE EQUIPOS DE BOMBEO EN PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL	109
V.1. Agua potable	109
V.1.1. Ejemplo: Proyecto Bañuelos para agua potable en la ciudad de Zacatecas, Zacatecas	110
V.1.2. Determinación del costo beneficio para su evaluación económica	121
V.2. Agua residual	125
V.2.1. Ejemplo: Planta de tratamiento de Ciudad Acuña, Coahuila.....	126
V.2.2. Determinación del costo beneficio para su evaluación económica	137
V.3. Concreto.....	140
V.3.1. Ejemplo: Torre de oficinas, Ciudad de México	151
V.3.2. Determinación del costo beneficio para su evaluación económica	152

V.4. Emulsiones asfálticas.	158
V.4.1. Ejemplo: Proyecto de Rehabilitación de zona de rodamiento de la Autopista "La Venta-Chamapa", kilómetro 27+153.41 a 37+780.	169
V.4.2. Determinación del costo beneficio para su evaluación económica	171
CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	176
BIBLIOGRAFÍA.....	181
ANEXOS.....	186

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico ocurrido por el paso del tiempo permite transformar con mayor facilidad la potencia del agua en energía, lo que ha conllevado a que las máquinas de bombeo sean las segundas más utilizadas, solo superada por el motor eléctrico, por lo que se producen una infinidad de variedad de bombas hidráulicas en tamaño y tipos, en cualquier circulación de fluidos y transporte de los mismos, se introduce al tema de los equipos de bombeo.

El funcionamiento de una bomba permite convertir la energía mecánica procedente de un motor eléctrico, neumático, térmico, etc., en energía cinética que el fluido adquiere en forma de presión, posición y velocidad. Las cuales se comportan de acuerdo a las ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos.

La selección más adecuada de un equipo de bombeo se verá repercutida por la presión, velocidad y tipo de fluido a bombear.

Este trabajo pretende guiar de manera fácil y simplificada al ingeniero civil en la selección adecuada en los diferentes equipos de bombeo, dependiendo el proceso para el cual se requerirá la bomba, ya que aprenderá a diferenciar cada tipo y para que están diseñadas, obteniendo así la mejor eficiencia de trabajo. Determinando el costo-beneficio del usuario, a corto y largo plazo.

Aunque en la formación de los ingenieros civiles se imparte la asignatura de máquinas hidráulicas, no es posible visualizar todos los tipos de equipos de bombeo, por lo que solo se estudian las bombas centrífugas y su aplicación en el fluido del agua, sin embargo, en el campo laboral, nos damos cuenta que existen muchos más procesos en los cuales se aplican los equipos de bombeo, que además están designados para cada proceso en específico y que sus características entre ellas son distintas dependiendo la viscosidad, el fluido a desplazar, la carga y el proceso para el cual se va a utilizar la bomba.

Por lo cual nosotros desarrollamos este tema como una guía básica para que el ingeniero civil pueda consultar el procedimiento de selección de equipo de bombeo de una manera fácil y rápida, dado que al observar la vida cotidiana del ser humano nos damos cuenta que la necesidad del uso de los equipos de bombeo es inherente a casi cualquier proceso, en el capítulo uno se hace referencia a una breve historia del por qué el hombre ha tenido desde el inicio de las culturas antiguas la necesidad de transportar un fluido de un lugar a otro, creando diferentes mecanismos para cubrirlas, y como han ido evolucionando con el paso del tiempo hasta llegar a nuestros días donde los equipos de bombeo cubren esas necesidades de transporte de los fluidos a grandes distancias y diferentes cotas. En el

capítulo dos se podrá observar la clasificación principal de los equipos de bombeo por las características del movimiento del fluido, teniendo: centrifugas, rotatorias y reciprocantes; se explicarán cuáles son sus funciones principales y el tipo de fluido que pueden mover, el lector podrá con pasos simples saber cuál es la bomba más adecuada para su proceso, para ello se desarrolla el capítulo tres en donde se explican las diferentes cualidades de los fluidos, como la viscosidad, incompresibilidad, densidad, presión, entre otras, así como sus definiciones y la naturaleza de los mismos, es así como una vez conociendo los fluidos y los equipos de bombeo nos adentramos al capítulo cuatro, donde se describen cada una de las fórmulas y un proceso específico para el cálculo de un proyecto hidráulico, donde el equipo de bombeo se verá involucrado, se muestra como calcular las cargas de presión, velocidad, posición, y pérdidas, que deberá vencer el equipo de bombeo para transportar con éxito el fluido de un punto A hacia un punto B, aplicando la ecuación de Bernoulli, y una vez determinado un gasto y una carga, se podrá calcular la potencia del motor y la eficiencia de la bomba. Los parámetros antes mencionados, dan la oportunidad de poder tener una idea de cómo se comporta nuestro sistema, en donde se le puede hacer mejoras, de cómo utilizar los accesorios para que tengan una menor pérdida hidráulica. Y una vez teniendo todas las bases de conocimiento, en este trabajo se presenta en el capítulo cinco el uso de los equipos de bombeo en cuatro ejemplos de aplicación en proyectos de ingeniería civil.

En este último, se desarrolla la teoría expuesta, presentando cuatro ejemplos, que se seleccionaron por ser los fluidos más comunes con los que se trabaja en proyectos de ingeniería civil, los cuales son; agua potable, agua residual, concreto premezclado y por último emulsiones asfálticas, donde se muestran casos puntuales de equipos aplicados en diferentes regiones del país, con lo que se hace más clara la diferencia de máquinas de bombeo a utilizar, en donde se llega a la deducción de cuál es la mejor propuesta dentro de los proveedores de bombas que se analizan como es el caso del agua potable y aguas residuales, observándose que para el caso de la bomba para concreto y emulsión asfáltica no es el mismo procedimiento en el mercado de trabajo.

Para el caso de agua potable se muestra un ejemplo de abastecimiento del fluido a la población del municipio de Guadalupe en Zacatecas, extraído de los mantos acuíferos de la cuenca hidrológica de Guadalupe-Bañuelos, se realizó un análisis del aumento de la población en los últimos 10 años, y con datos aforados de los diferentes pozos se muestra el consumo y la demanda que se requerirá, una vez obtenidos los datos se calculó para el primer pozo el gasto y la carga total que deberá vencer el equipo de bombeo, dando así un claro ejemplo de esta aplicación en bombas centrifugas.

En agua residual se valuó el ejemplo de Ciudad Acuña en Coahuila, verificando la necesidad de la población de una planta de tratamiento de agua residual, ya que sólo el 49% de la

población cuenta con una red de alcantarillado, se realizó una proyección de aumento de población para el año 2024, y con un arreglo de seis equipos de bombeo, se pretende tratar el agua para después desembocarla, por lo que se propuso dos plantas potabilizadoras, las cuales manejan cada una la mitad del gasto máximo demandado por la población. Cada planta contará con tres equipos de bombeo de las cuales estarán trabajando dos y la tercera servirá cuando falle un equipo o en caso de operaciones de mantenimiento.

En el ejemplo de concreto, se tomó la construcción de una torre de oficinas, en la ciudad de México, en el cual se determina que para bombear el concreto existen dos tipos de equipos de bombeo estacionario o autobomba.

Para emulsión asfáltica, el tendido se realiza por las petrolizadoras quienes tienen ya incluido su equipo de bombeo, nuestro ejemplo muestra la rehabilitación de la zona de rodamiento de la Autopista "La Venta-Chamapa" donde se valuó el rendimiento de la petrolizadora.

Para cada caso se realiza un estudio de costo- beneficio en el cual se analiza como el equipo será pagado por la producción y mejora de la población.

Con dichos ejemplos el lector podrá darse una idea más clara de que equipos de bombeo son calculables para el proyectista y que van dentro del proyecto a ejecutar, de acuerdo a su aplicación.

GENERALIDADES

I. GENERALIDADES

El agua y otros fluidos, han estado vinculados al desarrollo de la humanidad. Históricamente hablando, las grandes civilizaciones del planeta Tierra, tuvieron su origen, desarrollo y esplendor en las orillas de los ríos y mares. De esta forma, el manejo de fluidos, principalmente el transporte, almacenamiento y utilización de agua, ha sido primordial en la evolución de la humanidad.

A pesar de que los fluidos pueden presentar características muy específicas, el comportamiento de los fluidos suele ser esencialmente similar, hecho que nos permite tomar al agua como referencia para el estudio y la generación de tecnología que nos facilite su manejo. A través de la historia el dominio del agua ha sido un reto permanente, por ello se conoce como hidráulica al estudio de la mecánica de fluidos en general.

La ingeniería civil, como término, se establece como una rama del conocimiento diferente a la ingeniería militar a partir del siglo XVIII. Sin embargo como práctica nace en los albores de la civilización, a partir de que el hombre abandona el nomadismo para establecerse en lugares específicos, principalmente donde existía agua, y comienza a implementar sistemas de manejo de dicho líquido. En ese tiempo no existía la ingeniería civil como profesión, pero las técnicas y conocimientos que se desarrollaron en la época permitieron la invención de artefactos diversos con el fin de facilitar el manejo del agua y otros fluidos.

Es a través del tiempo y hasta nuestros días que la diversificación de especialidades y el desarrollo tecnológico permite una gran variedad de posibilidades específicas en el manejo de fluidos.

El ingeniero civil, dentro de la práctica de sus múltiples competencias, requiere, tanto de conocimientos y habilidades, como de la utilización de diversas herramientas para ciertos aspectos prácticos de la hidráulica. El ingeniero civil enfrenta situaciones tales como el suministro de agua potable, la disposición de aguas residuales, el manejo de concreto premezclado, y la aplicación de emulsiones asfálticas, sólo por mencionar algunas. He aquí entonces la importancia de que el ingeniero civil conozca el procedimiento de cálculo de parámetros de un sistema de bombeo, la interpretación de las curvas características y la selección del tipo de equipo de bombeo que conviene para cada caso. Temas que usualmente corresponden a otras especialidades ingenieriles tales como la de ingeniero industrial o químico.

La ingeniería hidráulica, una de las ramas más antiguas de la ingeniería civil presente desde la época del imperio romano, comprende la proyección y ejecución de obras relacionadas

con el agua, ya sea para su uso, obtención de energía eléctrica, irrigación, canalización entre otras; también incluye la construcción de estructuras en mares, ríos, lagos, o entornos similares, tales como diques, represas, canales, puertos, muelles y rompeolas.

En el presente trabajo se pretende crear un puente entre la teoría científica adquirida por el ingeniero civil en su preparación académica y la práctica en el campo cotidiano del diseño de un sistema de bombeo, específicamente en el cálculo de parámetros fundamentales para la selección de un equipo de bombeo, el procedimiento de interrelación con fabricantes o proveedores y la selección final del equipo de bombeo.

La práctica cotidiana implica la intervención de los ingenieros, pero también de los proveedores de los equipos. Parte de estas actividades son complicadas de realizar en el plano académico, debido a la dificultad que se tiene para acceder a la información y datos de equipos de los fabricantes, primordiales en la selección del mismo.

Tanto el ingeniero que inicia como el que ya cuenta con cierta experiencia podrán consultar este trabajo como una guía que facilite y agilice sus trabajos para el cálculo de parámetros de entrada, sistema de bombeo adecuado y análisis idóneo del equipo de bombeo por medio de los ofrecimientos del fabricante y curvas características, así como la selección del equipo de bombeo de acuerdo a requerimientos técnicos y mejores costos de inversión, instalación y mantenimiento.

Por último cabe mencionar que este trabajo se enfoca a la selección de equipos de bombeo para manejo de agua potable, aguas residuales, concreto premezclado para la construcción y emulsión asfáltica, características presentes en el ámbito de los ingenieros civiles.

I.1. Importancia de los sistemas de bombeo dentro de nuestra sociedad

Un sistema de equipo de bombeo es la unidad fundamental que interconecta redes de fluidos vitales como el agua o residuales que se deben purificar para reutilizarlos.

Para hablar de la importancia de los sistemas de bombeo en la sociedad, necesariamente debemos revisar el concepto de sociedad y sus necesidades, así como la relevancia de estas mismas para identificarlas y satisfacerlas en orden de jerarquía, mediante técnicas y tecnologías para el manejo de fluidos.

Desde el punto de vista de agrupación de humanos con propósitos e intereses comunes para realizar actividades de mutua conveniencia, la sociedad ha requerido, a través de la historia,

de artefactos y herramientas auxiliares como apoyo para reunir recursos y satisfacer sus necesidades básicas para generar una calidad de vida.

Las necesidades de una sociedad son múltiples, pero siempre tienen como parámetro de referencia algunos aspectos que son inherentes a la condición humana. Por esa razón, cabe revisar al psicólogo norteamericano Abraham Maslow, teórico de las necesidades humanas, quien realizó una clasificación de las mismas, dada la condición de las personas como entes sociales. Este autor, sostiene que el comportamiento humano se explica por la razón de que una persona se ocupa en satisfacer sus necesidades, infiriéndose que éstas motivan la utilización del ingenio para desarrollar técnicas con herramientas para solventarlas.

Las necesidades humanas son finitas, y comunes a todas las culturas consideradas por periodos históricos y regiones. En tal caso lo que cambia, a través del tiempo, es la manera o los medios utilizados para la satisfacción de las mismas. También son clasificables y su satisfacción obedece a una jerarquía piramidal donde el nivel básico son de supervivencia o biológicas, subiendo hasta las trascendentes, que tienen más que ver con el desarrollo humano como persona. En todos los niveles los sistemas de bombeo están presentes.



Figura1. Adaptación de la pirámide Maslow a las necesidades de los sistemas de bombeo.

Abraham Maslow, clasificó en grupos las necesidades básicas de los seres humanos:

- Fisiológicas y de subsistencia básica, como la alimentación, consumo de agua y

reproducción sexual.

- Protección y seguridad, como la vivienda, prevención, limpieza, disposición de desechos.
- Sociales, autoestima y de pertenencia, como la agrupación para los trabajos, familia, relaciones personales.
- Autorrealización, como la educación, comunicación, derechos, responsabilidades, trabajo, ocio, creatividad. Identidad con grupos de diferente sexo.
- Trascendencia y valores, dónde afirma su condición de persona en evolución.

Como se observa en la pirámide de Maslow (ver figura 1), la importancia de los sistemas de bombeo ha evolucionado de manera simultánea con la sociedad en la satisfacción de necesidades.

En un principio, la sociedad tiene la necesidad de obtener lo primordial para la subsistencia y satisfacción de su fisiología. Por eso tiene que transportar el agua desde sitios lejanos, ya sea un río, un manantial, un pozo profundo o cualquier fuente viable hasta el punto de su utilización que representa la región de las agrupaciones humanas, y a sea comunidades, colonias o ciudades. De esa manera los sistemas de bombeo cobran relevancia, pues es mediante un equipo de bombeo y una red de conducción, que satisface las necesidades fisiológicas transportando el agua hasta los puntos de consumo.



Fuente: Captación y potabilización del agua. Colegio de la misericordia.

Figura 2. Esquema general de sistema de bombeo para abastecer agua potable a la sociedad.

Existen sistemas de bombeo para el abastecimiento de agua potable en comunidades pequeñas, donde normalmente se aprovecha un manantial o un pozo profundo; pero si el número de habitantes es mayor, se deben utilizar sistemas de bombeo múltiples o en otros casos, utilizar grandes cuerpos hídricos como lagunas, presas o ríos y conducirlo en etapas hasta las grandes ciudades previa potabilización y tratamiento (ver figura 2).

En México existen sistemas de gran extensión, los cuales son complejos y de gran capacidad de conducción por ejemplo el Sistema Linares-Monterrey, el Sistema Cutzamala y el Sistema Lerma, entre otros (ver figura 3). La sociedad debe disponer del agua ya que de esa depende la supervivencia, y eso ha sido en el transcurrir histórico, solamente que a medida que avanza el tiempo la tecnología se va renovando y conserva el mismo principio de equipo de bombeo.



Fuente: CONAGUA. Modernización sistema de filtración ETAP Los Berros.

Figura 3. Planta potabilizadora “Los Berros”, del Sistema Cutzamala para surtir de agua potable a la Ciudad de México.

Si se observa la pirámide de Maslow, en el segundo nivel están las necesidades de seguridad y protección, por ejemplo vivienda, prevención, limpieza y disposición de desechos, y nuevamente los sistemas de bombeo se hacen presentes, por un lado, cuando se construye una vivienda o conjunto habitacional, se utiliza un sistema de bombeo para facilitar la maniobra de hacer llegar el concreto al sitio de construcción (ver figura 4). En estos sistemas se debe trasladar el fluido de concreto hidráulico desde el transporte hasta el punto de colado. Estos equipos han evolucionado en los tiempos recientes facilitando las maniobras y resolviendo las necesidades que antes se realizaban con mano de obra de



Fuente: Putzmeister Ibérica-Bombas de hormigón (mayo 2015).

Figura 4. Equipo de bombeo de concreto hidráulico en la construcción de viviendas.

obreros de la construcción.

Por otro lado, la sociedad necesita un sistema para la disposición saludable de los desechos fluídicos biológicos, tanto de su cuerpo, como de los usados en la limpieza, elaboración de sus alimentos y el producto de aguas residuales de todos los procesos para obtenerlos. En este caso, se trata de impulsar y conducir las aguas residuales a puntos de disposición y tratamiento de las mismas. Actualmente existe normatividad que regula ese tipo de procesos para cumplir con las condiciones particulares de conducción y disposición en vasos receptores naturales. Para esto se hacen necesarios equipos de bombeo para diferentes momentos. Por ejemplo, para impulsar aguas residuales de un punto de captación y almacenamiento de los centros de población a otro punto donde se debe tratar. En la planta se utilizan diversos equipos de bombeo para el traslado del fluido residual en las etapas de tratamiento y, finalmente, para impulsarlo hacia vasos receptores naturales o industriales donde se le da uso (ver figura 5).

El manejo de aguas residuales es importante en la sociedad, dado que, además de éstas, se deben sumar los efluentes industriales y pluviales en época de lluvias. Por lo tanto, se debe disponer de sistemas de bombeo emergentes que puedan mover estos fluidos en caso necesario. La falta de una planeación adecuada de estos sistemas de bombeo y sus redes de desalajo, que es la red de alcantarillado, provoca grandes problemas sociales. Ante estas

emergencias existen sistemas itinerantes para desalojar aguas de inundación llamados bombeo de achique (ver figura 6).

Otra necesidad de la sociedad es también la movilidad y conectividad a través del transporte, por lo que es necesaria la construcción de caminos y carreteras.

En la construcción de caminos y carreteras, se requiere de sistemas de bombeo de diversos tipos. En el proceso de construcción se hace necesario desalojar agua encharcada, tender concreto hidráulico o realizar riegos de emulsión asfáltica.

Los sistemas de riego de asfalto han evolucionado debido a la necesidad de construir carreteras y calles en corto tiempo. El crecimiento acelerado de asentamientos humanos en áreas de desarrollo, requiere también, simultáneamente, de la construcción de vías de comunicación para el traslado hacia zonas de trabajo o hacia donde realizan sus actividades sociales o laborales.



Fuente: <http://ecoosfera.com/2013/12/el-tratamiento-de-aguas-residuales-solo-elimina-la-mitad-de-las-medicinas-y-contaminantes-del-agua/>

Figura 5. Planta de tratamiento de aguas residuales.

Los sistemas de bombeo son generadores de corrientes impulsadas para transferir líquidos de cualquier viscosidad de un punto a otro.

El agua es uno de los principales líquidos para los humanos, razón por la cual es el líquido de referencia alrededor del cual se ha desarrollado toda la teoría de los fluidos y estructurado la tecnología de los sistemas de bombeo. Es por esto que la ciencia dedica una rama de la mecánica, con referencia a agua, para el estudio y generación de tecnologías, extensivas a

todos los fluidos: La hidráulica estudia el comportamiento de todos los líquidos, aun cuando son más o menos viscosos.

De acuerdo al uso han evolucionado los equipos de bombeo, de esta manera, los equipos centrífugos son los ideales para manejar grandes volúmenes de agua de baja viscosidad; para líquidos viscosos la mejor opción son los equipos rotativos o de desplazamiento positivo y cuando se requieren extremas presiones de salida, por ejemplo para limpiar metales por proceso de sandblasteado, aplica un equipo de pistones o equipos reciprocantes.

Los equipos de bombeo siempre han estado presentes en las civilizaciones desde tiempos remotos, acompañando al hombre durante su desarrollo. En el trascurso de la historia han evolucionado para satisfacer eficientemente las necesidades de la sociedad. Aquí radica su importancia máxima, ya que no se puede concebir la era actual sin los sistemas de bombeo.



Fuente: Refuerza el Metro sus redes de bombeo contra inundaciones (octubre 2014).

Figura 6. Equipo de bombeo de achique en inundación del metro de la Ciudad de México.

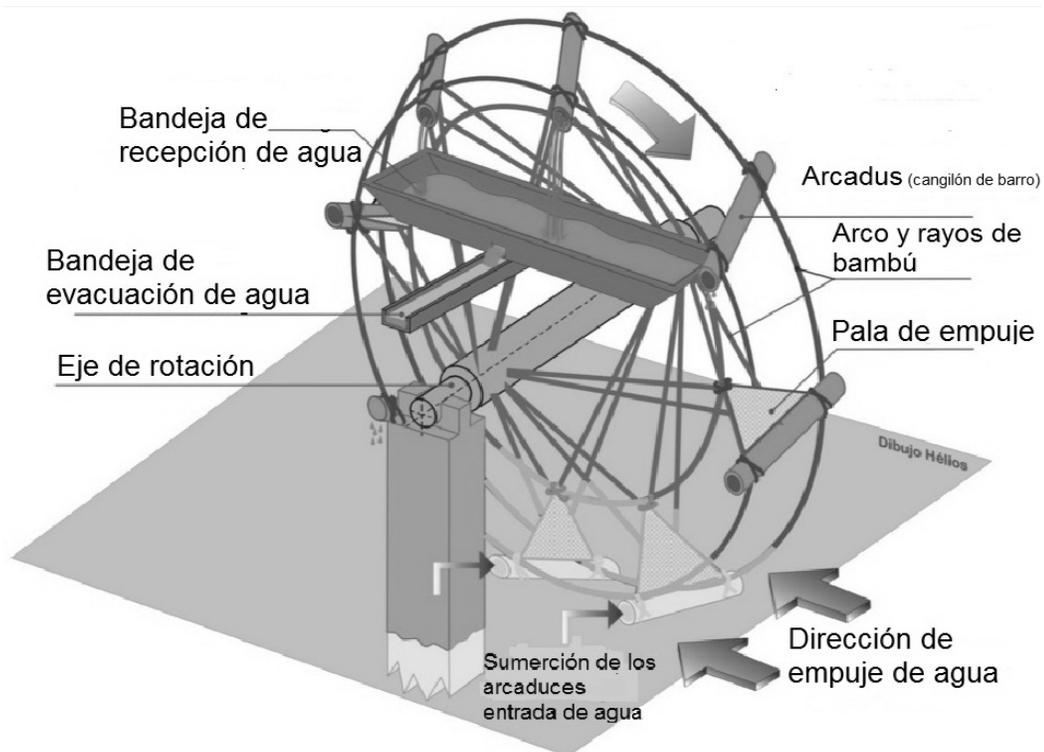
I.2. Evolución de los sistemas de bombeo a través del tiempo

Émbolos, cuerdas, ruedas con cucharones y cilindros con tornillos representan los antecedentes principales de las máquinas hidráulicas a través de la historia. El motor, el equipo

de bombeo de fluidos y la turbina motriz tienen un origen común.

La primera noción de bombeo simple fue la jeringa invento de los antiguos egipcios que la utilizaban en el embalsamiento de cadáveres para efectos de momificación, pero que fue presentada como se conoce hoy por Francis Rynd en 1840. La bomba manual de rocío de agua es también una aplicación antigua que se usaba en las costumbres de estética tanto femenina como masculina, o para aplicación de ciertos remedios.

En China, mil años antes de la era cristiana ya utilizaba una rueda hidráulica movida por paletas periféricas al golpe con el agua (ver figura 7). Durante el imperio romano del Siglo I, Vitrubio desarrolló su “rota aquaria” que consistía en una rueda de eje horizontal con cangilones fijadas por rayos para darle rigidez y un siglo más tarde se empezó a utilizar una rueda con empuje superior mediante unas palas que aprovechaban la energía potencial del agua que caía. Este tipo de rueda fue evolucionando a través de la historia manteniendo el mismo principio de funcionamiento que ahora utilizan los rodetes de diferentes tipos en las turbinas hidráulicas, ya sea de agua o vapor.



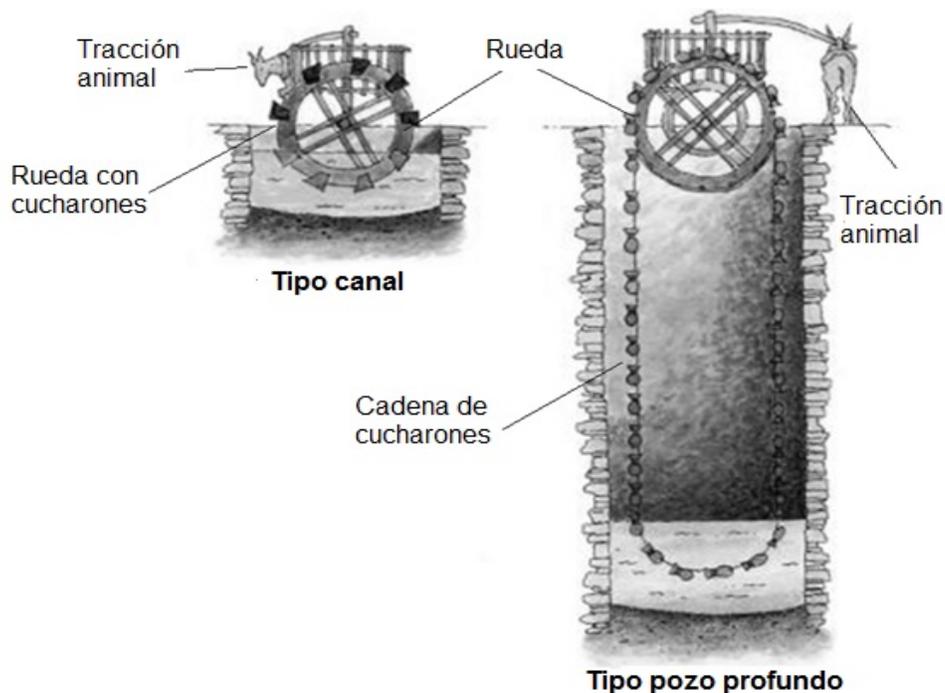
Fuente: Noriachina. Echino (2007). <http://www.echino.wordpress.com/taq/noria-china/>

Figura 7. Esquema de una noria china para extraer agua de ríos.

Para algunos arqueólogos e historiadores, los grecorromanos ya presentaban un desarrollo tecnológico hidráulico en la elevación del agua principalmente para uso agrícola. Estas técnicas fueron trasladadas a los musulmanes que a su vez las heredaron a los españoles.

Al Ra zäs-Al J aziri, célebre matemático e i ngeniero musulmán, realizó una c ompilación de diferentes equipos de bombeo de la Edad Media, como las reversibles, de doble acción, de desplazamiento positivo y de vacío. Es precisamente en esta época que se da el auge en la utilización práctica de los dispositivos de traslado de agua.

Entre los artefactos utilizados están el cubo, la cuerda y polea y la tracción animal, que provienen principalmente de la antigua Grecia, está la rueda persa o sequía. Consiste en una rueda grande, montada en un soporte horizontal con cangilones periféricos para acarrear agua de abajo hacia arriba y que fue denominada por los árabes como noria (ver figura 8).



Fuente: Perelman, Y. (1936). Física Recreativa, libro 2.
Figura 8. Noria de pozo profundo accionada por tracción animal.

También está el artefacto de cadena con cubos y otros similares que los árabes convirtieron en ruedas hidráulicas para los usos de molinos, elevación del agua y los batanes. Esto representa una evolución en el uso de la mecánica en el traslado de agua.

De manera sintética, los griegos aportaron las ruedas de eje vertical y los romanos las de eje horizontal.

El tornillo de Arquímedes consiste en un cilindro montado en plano inclinado con un tornillo sinfín en su interior que acarrea el agua hacia niveles superiores (ver figura 9).

Desde las culturas helénicas y romanas existía el antecedente de bombeo de desplazamiento. Estos mecanismos, con las bielas y manivelas fueron retomados y

mejorados por los ingenieros árabes para aportar una primera etapa en la evolución de los equipos de bombeo actuales.



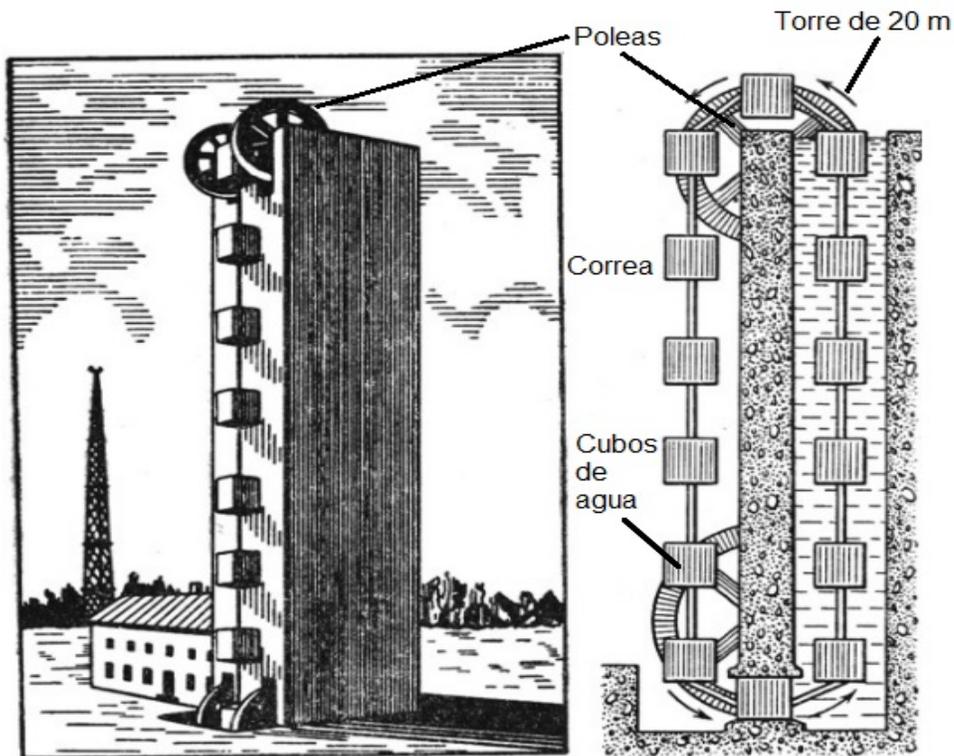
Fuente: Sistemas SAVOIA de energía renovable (enero 2016), <http://www.savoiapower.com/grupos3.html>

Figura 9. Tornillo de Arquímedes.

Las máquinas hidráulicas antiguas aparecieron como artefactos útiles para la vida cotidiana utilizando agua como medio de impulso. Con el tiempo, estas máquinas evolucionaron con ayuda de la tecnología en una diversidad de dispositivos y equipos, encontrando una multitud de aplicaciones en la época actual.

Otros proyectos no se usaban para fines de traslado de agua, sino para efectos de motricidad. Tal es el caso de la torre de agua, un invento para generar movimiento perpetuo (ver figura 10).

El artefacto para “perpetuummobile” consistía en una torre de 20 m de altura llena de agua. En las partes más alta y más baja de esta torre hay dos poleas unidas entre sí por un cable resistente que hace las veces de correa sin fin. A este cable van sujetos 14 cajones cúbicos de un metro de altura. Estos cajones están hechos de chapas de hierro unidas con remaches y son completamente estancos. Por el principio de Arquímedes los cajones que se encuentran dentro del agua tenderán a subir a la superficie. Les obligará a subir una fuerza igual al peso del agua que desalojan, es decir, un metro cúbico de agua multiplicado por el número de cajones que están hundidos en este líquido.



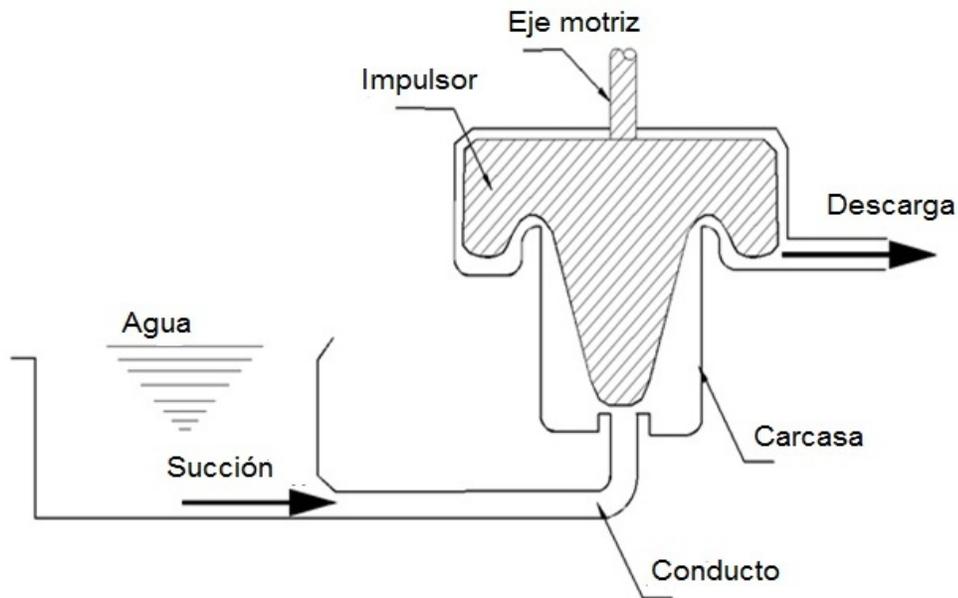
Fuente: Perelman, Y. (1936). Física Recreativa, libro 2.

Figura 10. Torre de agua de movimiento perpetuo.

Como puede verse en la figura 10, dentro del agua habrá siempre seis cajones. Por lo tanto, la fuerza que empuja hacia arriba a los cajones será igual al peso de 6 m^3 de agua. Los cajones de la torre serán arrastrados hacia abajo por su propio peso, pero esta acción está compensada con el peso de los cajones que cuelgan del cable libremente en la parte exterior de la torre. De esta forma, el cable tendido de la forma antes indicada estará sometido continuamente a una tracción de seis toneladas, aplicada a uno de sus lados y dirigida hacia arriba. Está claro que esta fuerza obligará al cable a girar ininterrumpidamente, pasando por las poleas, y a cada vuelta podrá realizar trabajo perpetuo.

El motor a partir de los principios hidráulicos también representó una fuente de inspiración para los inventores y artesanos.

Es a Leonardo Da Vinci a quien se le atribuye la invención del equipo de bombeo centrífugo. Dicho equipo consistía en una máquina en forma de cilindro vertical a la que se hacía llegar líquido al centro de la misma para comunicarle energía suficiente para que empujara el agua hacia arriba (ver figura 11).



Fuente: Sánchez Domínguez U,J, (2005), Máquinas Hidráulicas, San Vicente (Alicante).

Figura 11. Equipo de bombeo centrífugo de Da Vinci.

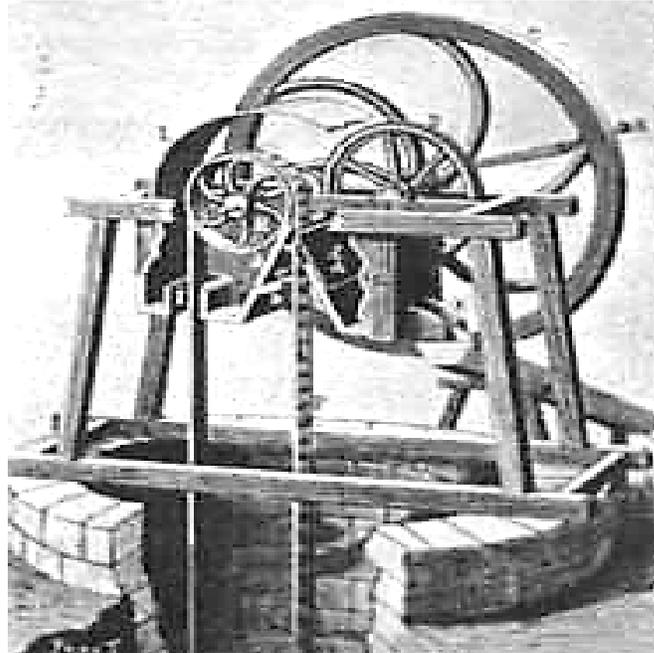
En el siglo XV, Galileo Galilei hizo investigaciones y escribió un tratado sobre flujo de agua donde plasmó los resultados de algunos experimentos realizados en Florencia y Milán, Italia.

En el siglo XVI, los hombres de conocimiento e ideas (filósofos y matemáticos) comenzaron a revolucionar la hidráulica al estudiar los problemas derivados de las obras hidráulicas de sus antecesores. De esa forma, al tratado de Galileo se sumó los estudios de Leonardo Da Vinci y posteriormente el de Stevin que reforzó la parte de observaciones teóricas para el manejo de fluidos. La teoría de fluidos empieza a surgir.

Un siglo después surgieron las aportaciones de Blaise Pascal sobre teoría hidrostática y la presión en un contenedor cerrado, suceso que dio origen a la prensa hidráulica; René Descartes con protocolo de método científico y Daniel Bernoulli sobre la importancia de los parámetros de presión y velocidad de los fluidos, así como la ecuación de energías, le darían carácter de ciencia a la Física y con ello abrieron paso al desarrollo de la mecánica de fluidos que consolidó Isaac Newton como rama de la Física y que representa la base en la evolución de los equipos de bombeo hidráulico.

En México en el siglo XIX, el agua ya se extraía mediante equipos de bombeo centrífugos (ver figura 12). Éste consiste en un conjunto de paletas montadas en un eje largo que llega desde la boca del pozo, en donde está el motor, hasta el acuífero. Una variedad es sumergir el motor sellado que impulsa las paletas. Otra forma de extracción se efectúa mediante la inyección de aire comprimido al fondo del pozo por medio de una tubería llamada eductor, lo que provoca que se forme una mezcla de aire y agua, más ligera que el agua, y que por lo

tanto flota hacia arriba; tiene las ventajas de no requerir partes móviles y de oxigenar el agua. Su principal desventaja es la baja eficiencia.



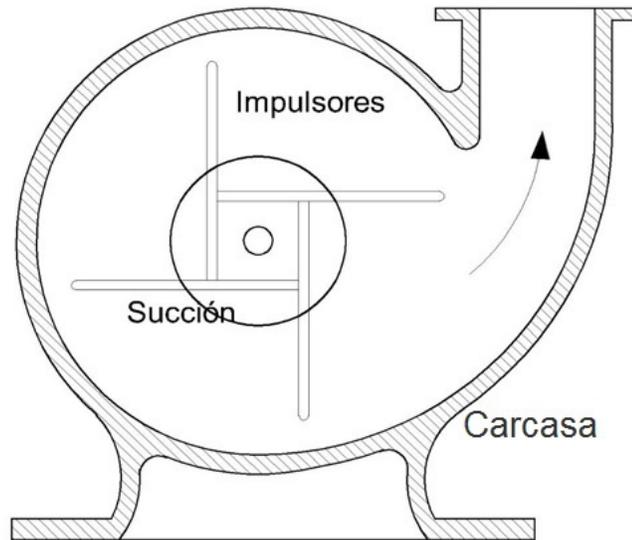
Fuente: Guerrero, M. (1997). El agua. Retrieved abril 25, 2015, de biblioteca digital .ilce.

Figura 12. Equipo de bombeo mecánico manual para pozo profundo.

Con el transcurrir del tiempo, las ruedas hidráulicas se bifurcaron en turbinas para mover los generadores de electricidad y los equipos de bombeo hidráulicos, que utilizaban un elemento motriz para mover sus impulsores. Con la teoría de fluidos y la práctica empírica en máquinas, la ciencia se aplicó a la fabricación tecnológica de los equipos de bombeo. Y si bien Da Vinci dio los primeros pasos firmes en la manufactura de un equipo de bombeo hidráulico, se atribuye a Jordan, Papin y Demour haber desarrollado varios modelos hasta la fabricación de una máquina, que en 1818 se presentó como “El equipo de bombeo de Massachusetts” (ver figura 13). Este equipo de bombeo centrífugo de doble carcasa de admisión y paletas radiales constituye el primer modelo de equipo de bombeo muy similar a los que se fabrican actualmente.

Varios son los inventos que dieron pie a la aceleración en el desarrollo de la ciencia y tecnología de la mecánica de fluidos. Uno de ellos fue la patente que logró en 1795 el inventor británico Joseph Bramah, teniendo como fundamento el principio de Pascal. Este invento demostró que en condiciones adecuadas, el movimiento de fluidos puede manifestar una gran fuerza. Este invento se usa actualmente en multitud de aplicaciones como

elevadores de grandes masas por medio de confinamientos hidráulicos. Lo relevante de este invento, es que utilizaba como accionamiento un equipo de bombeo hidráulico manual que generaba poca presión pero se traducían en fuerzas monumentales en la contraparte por el efecto de relación de áreas (ver figura 14).



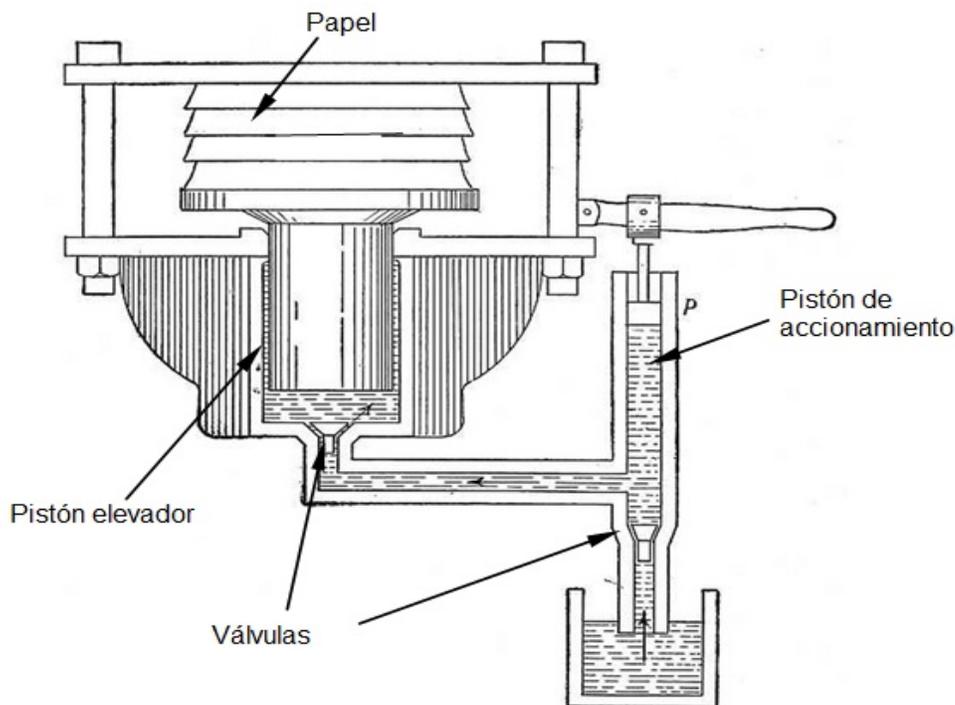
Fuente: Sánchez Domínguez U.J. (2005), Máquinas Hidráulicas, San Vicente (Alicante).

Figura 13. Equipo de bombeo tipo Massachusetts.

El invento de Bramah desató un alud de aplicaciones y el desarrollo acelerado de los equipos de bombeo hidráulico que se introdujeron al mercado en todo el siglo XIX. Combinando las experiencias de las aplicaciones con la teoría científica, se mejoró el principio de Bernoulli y algunas determinaciones que impactaron en la precisión de los parámetros de los fluidos. Así nació el concepto de fluido ideal, y factores de corrección en la aplicación de la ecuación de energía de Bernoulli, trabajando en este desarrollo personalidades tales como Antoine Chezy, Henri Darcy, Jean Poiseuille en Francia; Weisbach y Hagen en Alemania y los teóricos de la mecánica de fluidos LaGrange, Helmholtz y Saint Venant.

El siguiente impulso en el desarrollo de los equipos de bombeo y dispositivos hidráulicos vino con el arribo de la revolución industrial y la instalación de centrales hidráulicas en Inglaterra y otros países de Europa, teniendo como protagonista a la energía de origen hidráulico y nuevos dispositivos y mejoras en la manufactura de los equipos de bombeo. Llegado el siglo XX y su expansión tecnológica acelerada, el ingeniero y físico irlandés Osborne Reynolds hace importantes aportaciones en la mecánica de fluidos. Actualmente en el diseño de sistemas de bombeo, se utiliza el número de Reynolds, que asocia las propiedades de

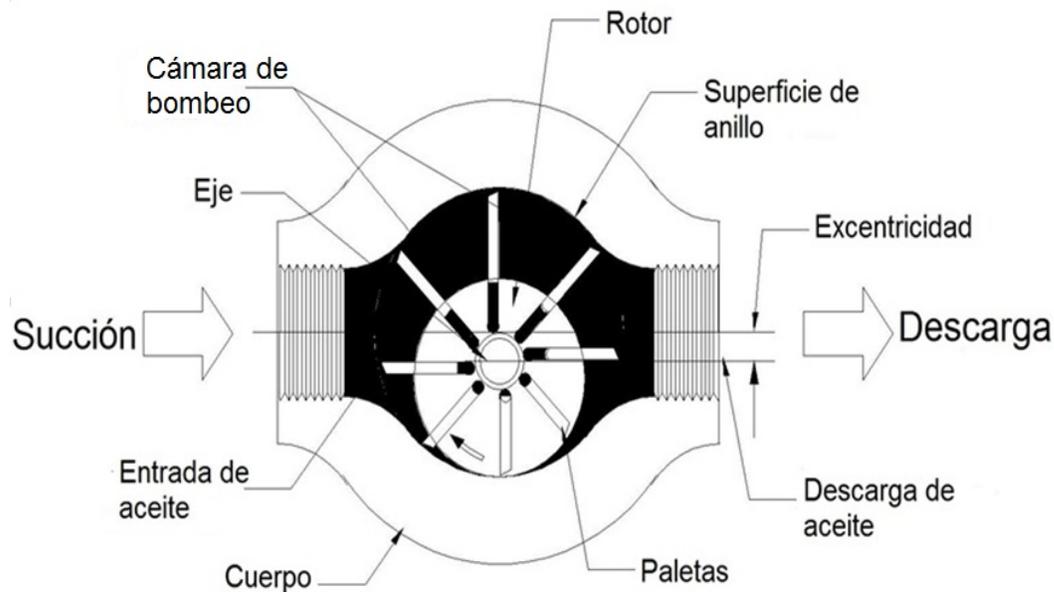
viscosidad, densidad, la velocidad de un flujo en un valor adimensional, considerando el tipo de flujo desde laminar a turbulento y la transición de uno a otro. Este número aparece en 1883 en su artículo titulado "An Experimental Investigation of the Circumstances Which Determine Whether the Motion of Water in Parallel Channels Shall Be Direct or Sinuous and of the Law of Resistance in Parallel Channels" (una investigación experimental de las circunstancias que determinan si el movimiento del agua en canales paralelos será directo o sinuoso y de la ley de resistencia en canales paralelos).



Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas su selección y aplicación.

Figura 14. Principio de Pascal y prensa hidráulica.

El desarrollo del motor eléctrico se vincula con el funcionamiento de los equipos de bombeo y a principios del siglo XX se descubre la forma de utilizar aceites para la lubricación. Por otro lado, los equipos de bombeo se diversifican, tanto los tipos de equipos de bombeo como sus aplicaciones, según el fluido a manejar. Además, se manufacturan dispositivos de control y medición de parámetros hidráulicos. De esa forma, a partir de la segunda década del mismo siglo, se construyen equipos de bombeo de paletas de alta presión y a partir de aplicaciones militares se deriva a las civiles en diferentes campos de manejo de agua, aire, vacío, hidrocarburos y algunos sólidos blandos (ver figura 15).



Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.
 Figura 15. Equipo de bombeo de alta presión de paletas deslizantes.

En las etapas recientes, los equipos de bombeo se mueven con motores eléctricos o de combustión interna. Normalmente se presentan en grupo compacto y existen una gran diversidad de marcas, aplicaciones, capacidades y precios. Las hay para todo tipo de usos en todos los campos de las actividades humanas.

1.3. Características de un proyecto de bombeo

Un proyecto de bombeo comprende una serie de actividades para solucionar un problema o solventar alguna necesidad, donde esté implicado el manejo de fluidos, y a sea para la extracción, traslado, almacenamiento, disposición y uso de cualquier fluido que pueda ser manejado mediante dispositivos de conducción o tuberías y equipos de bombeo para vencer la diferencia de presiones, manejando la energía de presión, cinética y potencial, tal como postula la ecuación de Bernoulli.

A manera de resumen, un proyecto de un sistema de bombeo sirve para realizar todo lo necesario para trasladar un fluido de un punto a otro con la utilización de medios de conducción que pueden ser abiertos, como canales, o cerrados como las tuberías. Es un proceso que debe cumplir varias etapas; es dinámico y cambiante hasta tener precisas y concretas todas las variables. De manera que, desde el comienzo, se requiere tener una actitud abierta para realizar ajustes de proyecto en cualquier momento de su elaboración.

El proceso es sistemático en cada etapa, en grupo de etapas o de forma integral. Esto significa que en cualquier momento pueden cambiar las condiciones, impactando en algunas actividades ya sea por cambio de características, condiciones o parámetros. Por esta razón, en un proyecto se toman ciertos factores de reserva para ser adaptados de manera que repercuta lo menos posible cualquier estado en cualquier etapa.

En un proyecto de bombeo intervienen varias entidades de profesionales de la Ingeniería como son los siguientes:

Ingenieros de proceso e Ingeniería básica: determinan las necesidades y requerimientos de bombeo, además de aportar la caracterización de los fluidos y esquemas de solución básica.

Ingenieros de diseño: realizan cálculos de parámetros para la selección de equipos de bombeo, sistemas de medición y control, elementos de conducción y almacenamiento. Toda esta información se agrupa en una carpeta denominada Proyecto Ejecutivo, que contiene la memoria técnica, planos, dibujos, diagramas y especificaciones de instalación.

Ingenieros de costos: valoran los costos de suministro e instalación de equipo.

Ingenieros de montaje e instalación: encargados de la instalación de los sistemas de bombeo con base en el proyecto ejecutivo.

Ingenieros de mantenimiento: aplican programas de revisión, ajuste y corrección de los sistemas de bombeo en el sitio de operación.

Ingenieros de proveeduría y fabricación: suministran información y especificaciones de fabricante, en forma de catálogos, manuales, software y auxilios a cualquier profesional que intervenga en el proyecto de bombeo, desde su concepción hasta su mantenimiento y recambio de refacciones.

Un proyecto se desarrolla en etapas, desde lo que se denomina Ingeniería básica; que consiste en el análisis de necesidades, problemas y soluciones. La pauta continúa con la recopilación de datos y la elaboración de documentos y dibujos con el primer esbozo de la solución, para posteriormente realizar la Ingeniería de Detalle.

En la etapa de Ingeniería de Detalle intervienen todas las especialidades implicadas para realizar el diseño mediante memorias técnico-descriptivas, memorias de cálculo, planos

constructivos, especificaciones, catálogo de conceptos, análisis de costos, presupuestos y requisiciones de compra, tanto de equipos y materiales, como de mano de obra y servicios profesionales de construcción, montaje e instalación, bajo el siguiente proceso de diseño:

Análisis: se recaban los requerimientos, problemas y necesidades para el manejo de fluidos y la posible solución de problemas y solvencia de necesidades. Es atendida por los ingenieros de proceso, los que habilitan de información a los ingenieros civiles que deberán utilizarla en la etapa de diseño.

Diseño: en éste caso se realizan levantamientos de campo, recopilando información sobre el sitio de proyecto y disponibilidad de servicios auxiliares y periféricos para el sistema de bombeo, tales como energía eléctrica, distancias, niveles, etc. También en esta etapa se realiza lo más importante del proyecto que es el cálculo de parámetros de diseño para la selección del equipo de bombeo, así como la interacción con los fabricantes que proveerán información y especificaciones de los equipos de bombeo. También se realiza el diseño y cálculo de dispositivos de medición y control que deberá medir y controlar el proceso de bombeo. En esta etapa, también se interactúa con ingenieros de diseño de otras disciplinas para asegurar los servicios necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, principalmente energía eléctrica, ya sea de la compañía suministradora o de la planta de combustión interna. Finalmente se integra el Libro de Proyecto Ejecutivo que deberá contener memoria técnica, memoria de cálculo, planos de arreglo, planos de instalación, especificaciones y catálogo de conceptos indicando todas y cada una de las actividades, equipo, dispositivos y materiales que se deben efectuar en la etapa de instalación.

Requisición y adquisición: esta parte corresponde realizarla a los ingenieros de costos que deben elaborar los presupuestos basados en los precios de los diferentes proveedores. Después realiza la evaluación de ofertas mediante tablas comparativas de tipo técnico y económico. Con base a eso, realizar los protocolos de pruebas de equipo en instalaciones del fabricante y la posterior compra y entrega para montaje.

Montaje e instalación: esta etapa corresponde realizarla en el campo de la construcción donde se debe montar el equipo e instalar sus accesorios periféricos para su arranque y funcionamiento. Tales elementos son los equipos de bombeo, tuberías, dispositivos de medición y control, suministro eléctrico, pruebas y entrega del sistema en correcto funcionamiento.

Cabe mencionar que en la etapa final de entrega del sistema de bombeo, se deberá entregar la información As Built que consiste en la corrección de planos, diagramas y dibujos tal como

quedó la instalación en la etapa de montaje. Esto permitirá llevar un control de mejora y mantenimiento en condiciones adecuadas durante la etapa de operación.

CAPÍTULO II

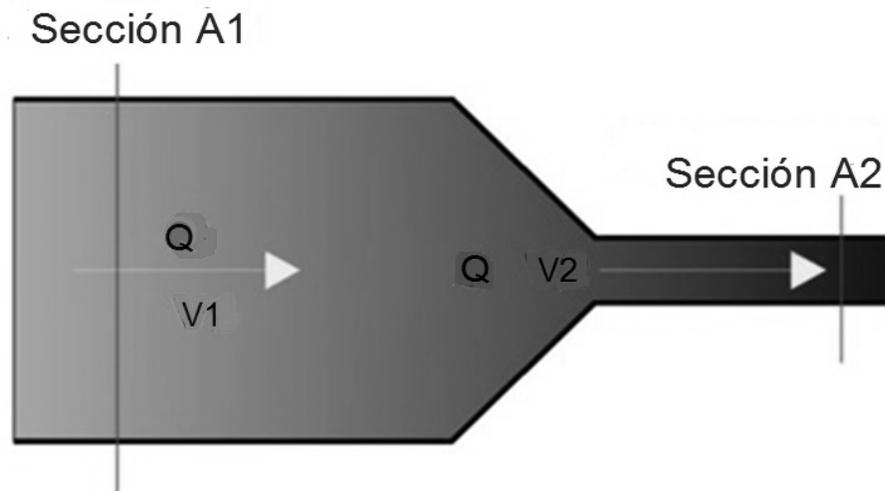
SISTEMAS DE BOMBEO

II. SISTEMAS DE BOMBEO

En este capítulo comentaremos sobre los sistemas de bombeo que sirven para transportar un fluido de un sitio a otro con diferencia de carga de presión, posición y velocidad.

Una bomba es un dispositivo de energía mecánica que puede ser producida por un motor eléctrico, térmico, neumático, etc., y la convierte en energía que el fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad, llamada energía hidráulica. En la mayoría de las aplicaciones la energía conferida por la bomba es una mezcla de estas tres formas de energía, las cuales se comportan de acuerdo a las ecuaciones fundamentales de la Mecánica de Fluidos, que a continuación se enuncian:

Ecuación de la continuidad: dado que el flujo es permanente e incompresible la masa se conserva (ver figura 16).



Fuente: Sotelo Dávila Gilberto (2010). Hidráulica General Vol. 1.

Figura 16. Ecuación de continuidad, el flujo se considera permanente e incompresible.

Por lo tanto:

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

Donde:

$$Q: \text{gasto} = vA$$

$$v: \text{velocidad}$$

$$A: \text{área}$$

Ecuación de la energía: la energía total de la sección 1 es igual a la energía en la sección 2

(ver figura 17), por lo tanto:

$$H = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$

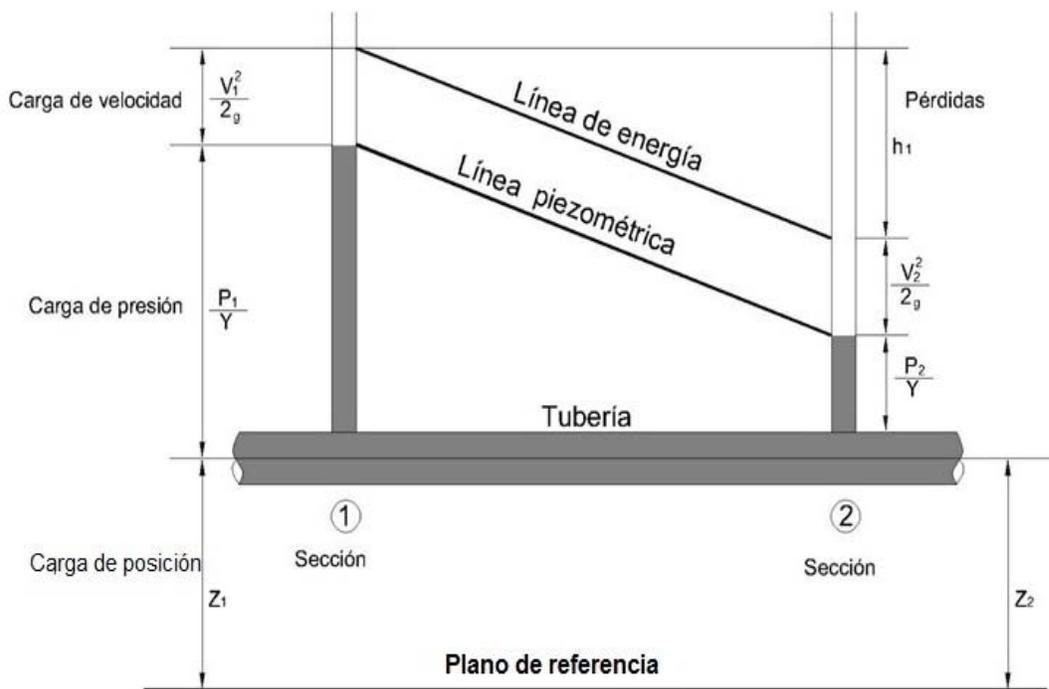
Donde:

H: energía total

z: carga de posición

$\frac{P}{\gamma}$: *carga de presión*

$\frac{v^2}{2g}$: *carga de velocidad*



Fuente: Sotelo Dávila Gilberto (2010). Hidráulica General Vol. 1.

Figura 17. Energía total en la sección 1 es igual a la energía en la sección 2 más las pérdidas.

Ecuación de cantidad de movimiento: a lo largo de un volumen de control, la velocidad del flujo varía, debido a que existen fuerzas en él que lo aceleran, según la segunda ley de Newton (ver figura 18).

$$\sum F = m (v_2 - v_1)$$

Donde:

F: fuerza

m: masa

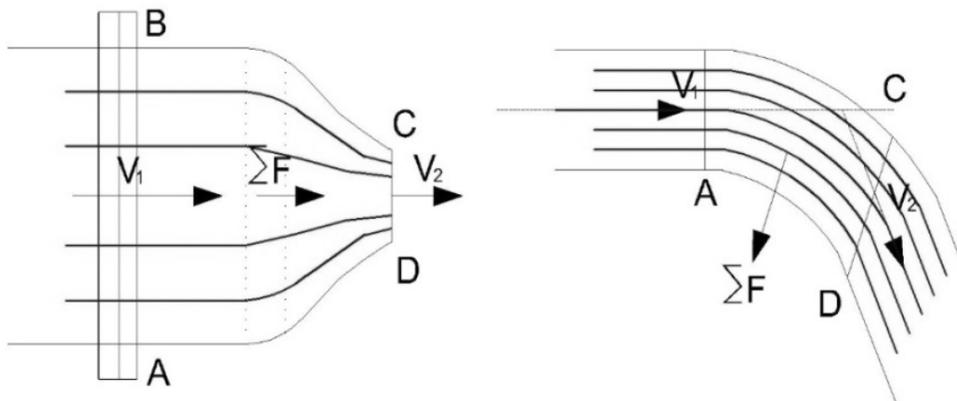
v: velocidad en cada punto

Los equipos de bombeo son equipos que se usan para impulsar líquidos de diferente viscosidad desde un estado de baja presión estática a uno de mayor presión estática; para lograr esto se recurre a:

Acción de fuerzas sobre el líquido: por medio de un émbolo en movimiento alternativo o rotatorio o mediante la acción directa de presión de gases o de vapor a alta tensión que desalojan simultáneamente al líquido.

Transmisión de trabajo mecánico al líquido: mediante un rodete de álabes, la transmisión de energía se manifiesta mediante un aumento de presión por la acción de la fuerza centrífuga y por el aumento de la energía cinética del líquido que se transforma en energía de presión.

Cambio de impulsión: el líquido impulsor que entra a gran velocidad se mezcla con el líquido impulsado más lento y cede una parte de su energía. El aumento de presión del líquido impulsado se debe a que la energía de velocidad se transforma en energía de presión, proporcionando al fluido una corriente constante.



Fuente: Sotelo Dávila Gilberto (2010). Hidráulica General Vol. 1.

Figura 18. El flujo cambia de velocidad impulsado por fuerzas que lo aceleran.

II.1 Tipos y características de los equipos de bombeo

Las bombas se clasifican por dos consideraciones generales, las características de movimiento del líquido y el tipo de aplicación específica para la cual fue diseñada la bomba.

Hay tres tipos de bombas que se utilizan comúnmente: *centrífuga*, *rotatoria* y *recíprocante* (ver figura 19).

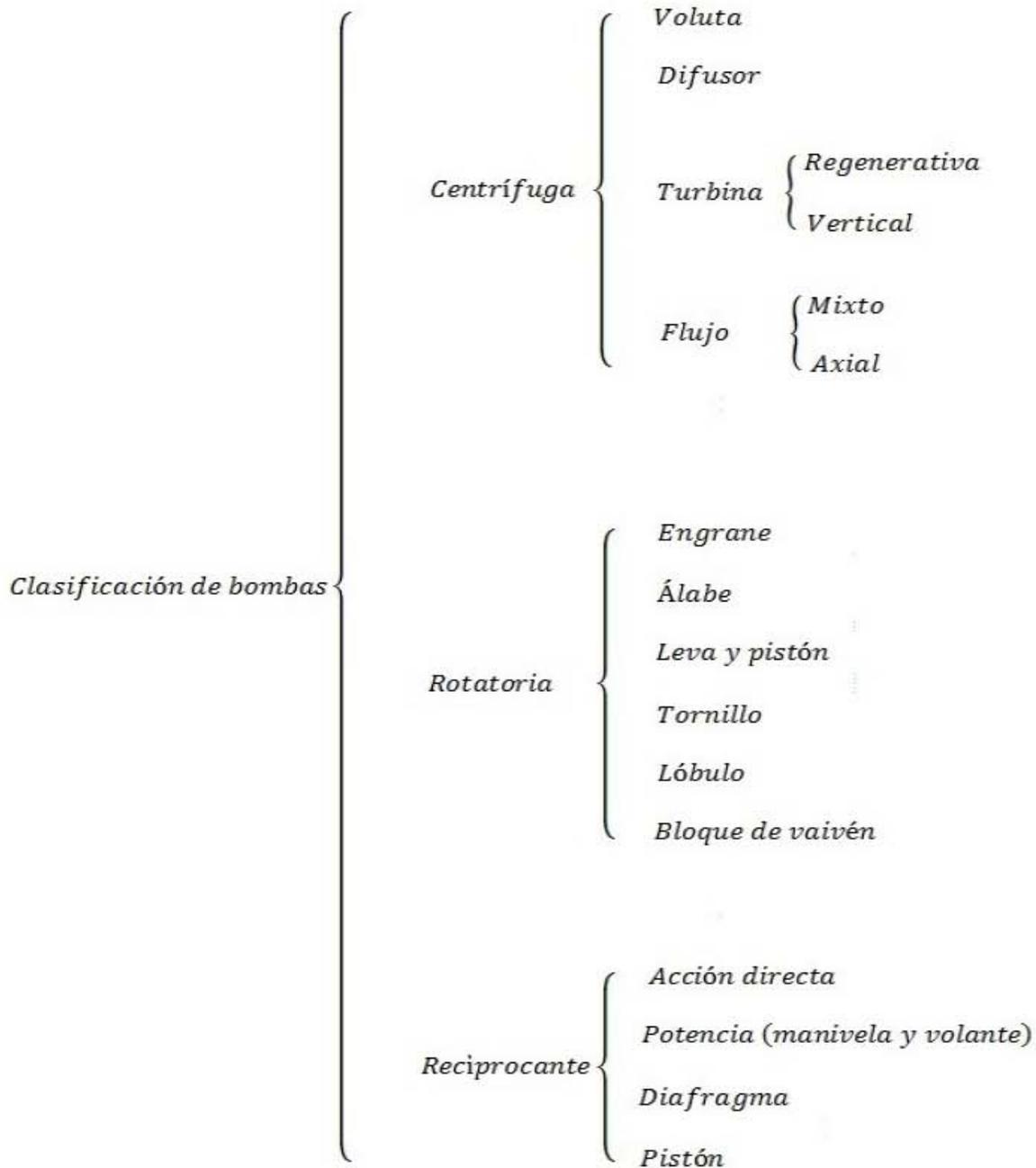


Figura 19. Tipos de bombas.

Para la selección de un equipo de bombeo es necesario conocer las características que tiene el líquido a bombear, caudales y presiones, forma de accionamiento, requerimientos constructivos de la bomba en función del servicio que va a realizar, requisitos de los materiales, los cuales estarán de acuerdo con todas las características fisicoquímicas del fluido.

En la tabla 1 se muestran las generalidades de los equipos de bombeo y el comportamiento del fluido en cada una de ellas.

<i>Características generales de las bombas</i>						
Características	Centrífuga		Rotatoria	Reciprocante		
	Voluta y difusor	Flujo axial	Tornillo y engrane	Vapor de acción directa	Doble acción	Triplex
Tipos de descarga	Continuo	Continuo	Continuo	Pulsante	Pulsante	Pulsante
Máxima elevación de succión (m)	4.5	4.5	6.6	6.6	6.6	6.6
Líquido que maneja	Limpio, claro: sucio abrasivo; líquidos con altos contenido de sólidos		Viscoso no abrasivo	Limpio y claro		
Afectación por columna aumentada						
Capacidad	Disminuye	Disminuye	Nada	Disminuye	Nada	Nada
Potencia de entrada	Depende de la velocidad específica		Aumenta	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Afectación por columna disminuida						
Capacidad	Aumenta	Aumenta	Nada	Pequeño aumento	Nada	Nada
Demanda de potencia	Depende de la velocidad específica		Disminuye	Disminuye	Disminuye	Disminuye

Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

Tabla 1. Muestra las consideraciones generales de las características para cada clase de bomba.

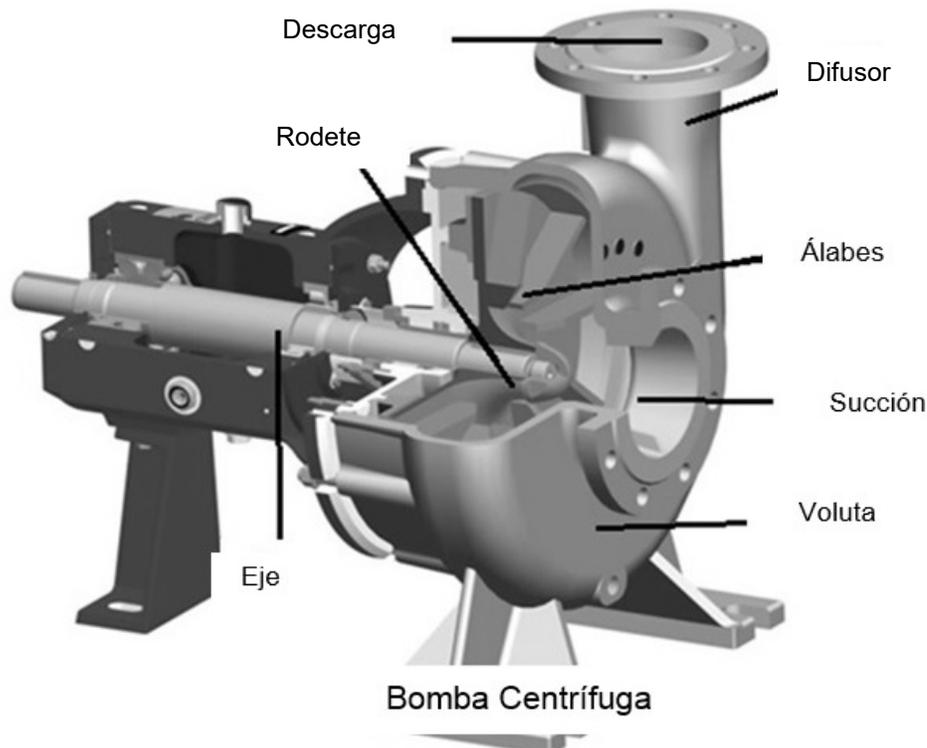
II.1.1. Bombas centrífugas

Son aquellas que trabajan con corrientes de líquidos, la característica de su funcionamiento es un proceso continuo de corrientes utilizado para obtener una presión, en un rodete giratorio provisto de álabes transmitiendo trabajo mecánico al líquido impulsado.

La transmisión de energía termina tan pronto el líquido sale de los canales del rotor, donde

se produce un aumento de presión del fluido y un incremento de velocidad. El aumento de presión en el rotor es consecuencia de la fuerza centrífuga y a veces por la corriente relativa retardada que circula por los canales del mismo. El aumento simultáneo de velocidad absoluta del líquido produce un efecto secundario aumentando también la velocidad del fluido, del cual, el exceso de velocidad se ha de convertir en energía de presión.

El conjunto rodete y difusor constituyen una fase de bomba. Como consecuencia de la aspiración del líquido desalojado por el rodete, el líquido a impulsar entra en la bomba por el tubo de succión, con un volumen de líquido igual al desalojado, de modo que se mantiene una corriente continua de líquido durante el giro del rodete. En la figura 20 se muestran sus componentes.



Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

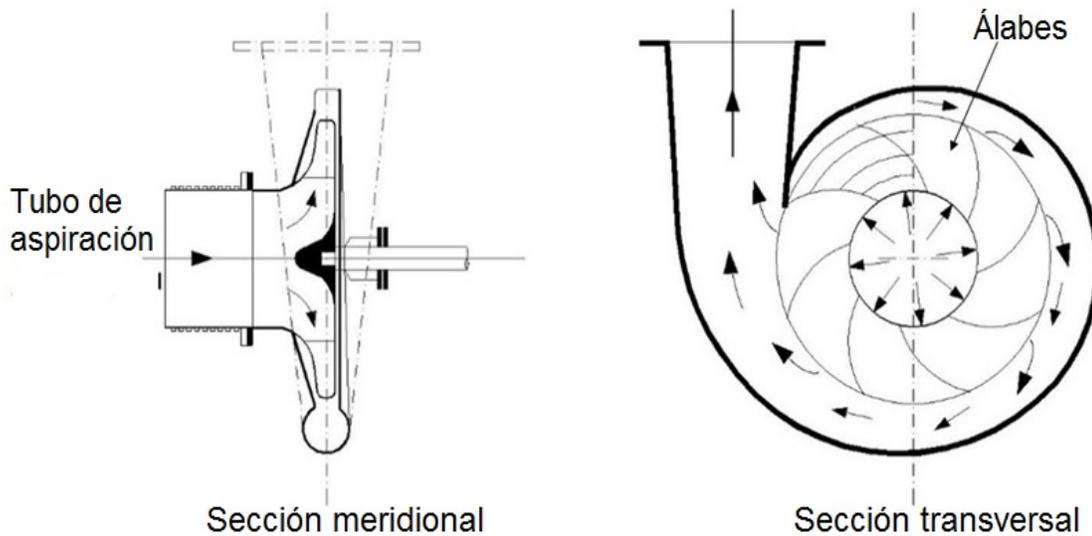
Figura 20. Componentes generales de una bomba centrífuga.

II.1.1.1. Tipos de bombas centrífugas por movimiento del fluido

Bomba de tipo voluta: el impulsor descarga de una caja espiral que se expande progresivamente, proporcionada de tal forma que la velocidad del líquido se reduce de forma gradual (ver figura 13), como se puede observar la voluta se ensancha a la descarga.

Bomba tipo difusor: se caracteriza por tener fijadas a la carcasa, paletas direccionadoras de flujo de agua que sale del impulsor. Los álabes direccionales estacionarios, rodean al rotor o

impulsor. La expansión gradual de los álabes cambia la dirección del flujo del líquido y convierten la energía de velocidad a columna de presión. Los álabes dirigen al fluido (ver figura 21).



Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

Figura 21. El difusor cambia la dirección del flujo convirtiendo la velocidad en presión.

Bomba tipo turbina: son conocidas como de vórtice o regenerativas. Producen remolinos en el líquido por medio de los álabes a velocidades muy altas dentro del canal anular en el que gira el impulsor. Su eje de rotación puede ser horizontal o vertical (rara vez inclinado).

Bomba de flujo mixto: estas desarrollan su columna parcialmente por fuerza centrífuga y parcialmente por el impulsor de los álabes sobre el líquido, el diámetro de descarga de los impulsores es mayor que el de la entrada (ver figura 22).

Bomba de flujo axial: desarrollan su columna por la acción del impulso o elevación de las paletas sobre el líquido. El diámetro del impulsor es el mismo en la succión y descarga (ver figura 23).

II.1.1.2. Características de una bomba centrífuga

Velocidad específica: es la velocidad en revoluciones por minuto a la cual el impulsor deberá girar para valores de gasto y carga unitarios. Índice del tipo de bomba que usa la capacidad

de columna que se obtiene en el punto de eficiencia máxima. De esto podemos deducir que:

En los impulsores para columnas altas la velocidad específica es baja, mientras que en los impulsores para columnas bajas la velocidad específica es alta.

La velocidad específica es un parámetro importante para determinar las características de eficiencia, geometría y operación de la bomba. Y puede ser determinada por:

$$N_s = N \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

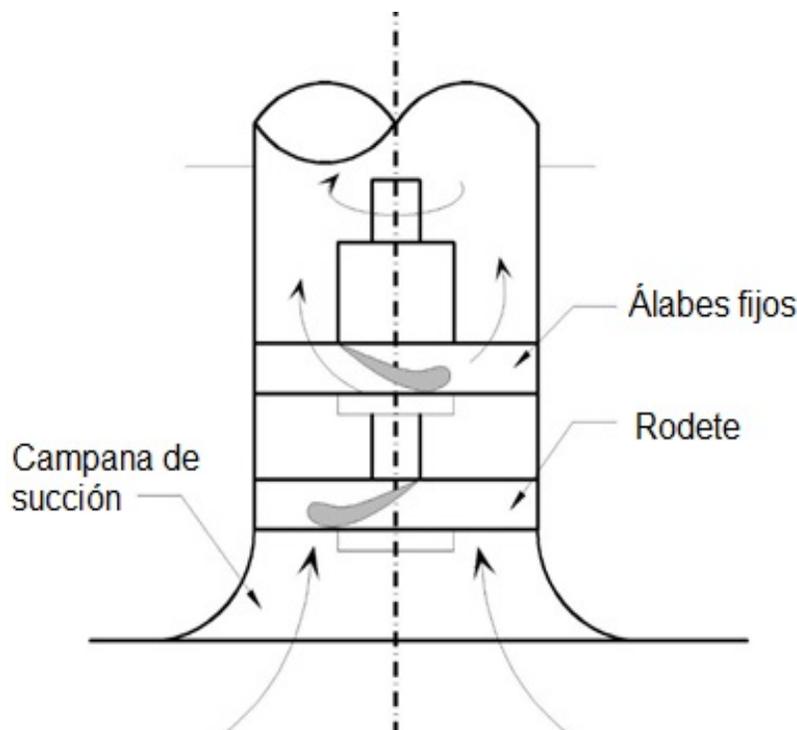
Donde:

N: velocidad rotacional (revoluciones por minuto, rpm)

Q: gasto (m^3/s)

H: carga piezométrica (m)

N_s: velocidad específica



Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

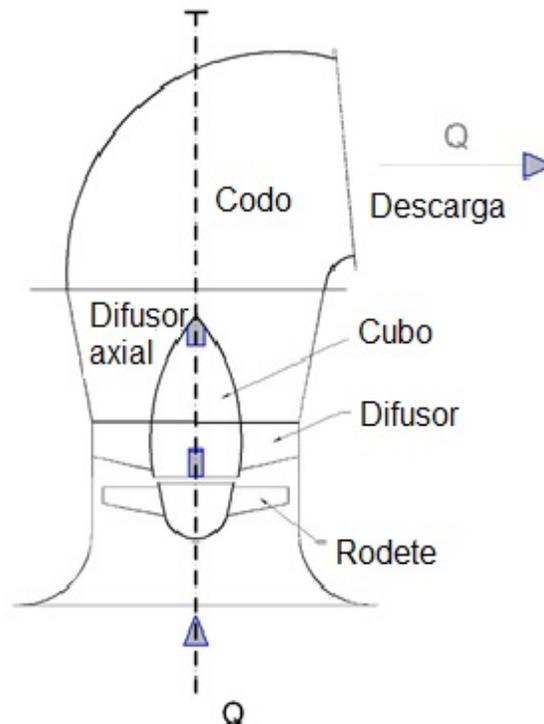
Figura 22. Las bombas de flujo mixto usan tanto la fuerza centrífuga como el impulso de los álabes sobre el líquido.

En cada diseño del impulsor tiene una región de velocidad específica para la cual es mejor adaptarlo. Como se puede observar la relación general entre la velocidad específica, es la

forma del impulsor, eficiencia y capacidad.

Curvas características: muestra la relación que existe entre la columna de la bomba, su capacidad, potencia y eficiencia para un diámetro de impulsor específico y para un tamaño determinado de carcasa. Estas curvas son proporcionadas por el fabricante y muestran el comportamiento real del equipo (ver figura 24).

Una bomba centrífuga que se opera a velocidad constante puede suministrar una capacidad que va de cero a un máximo, dependiendo de la columna diseño y succión.



Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

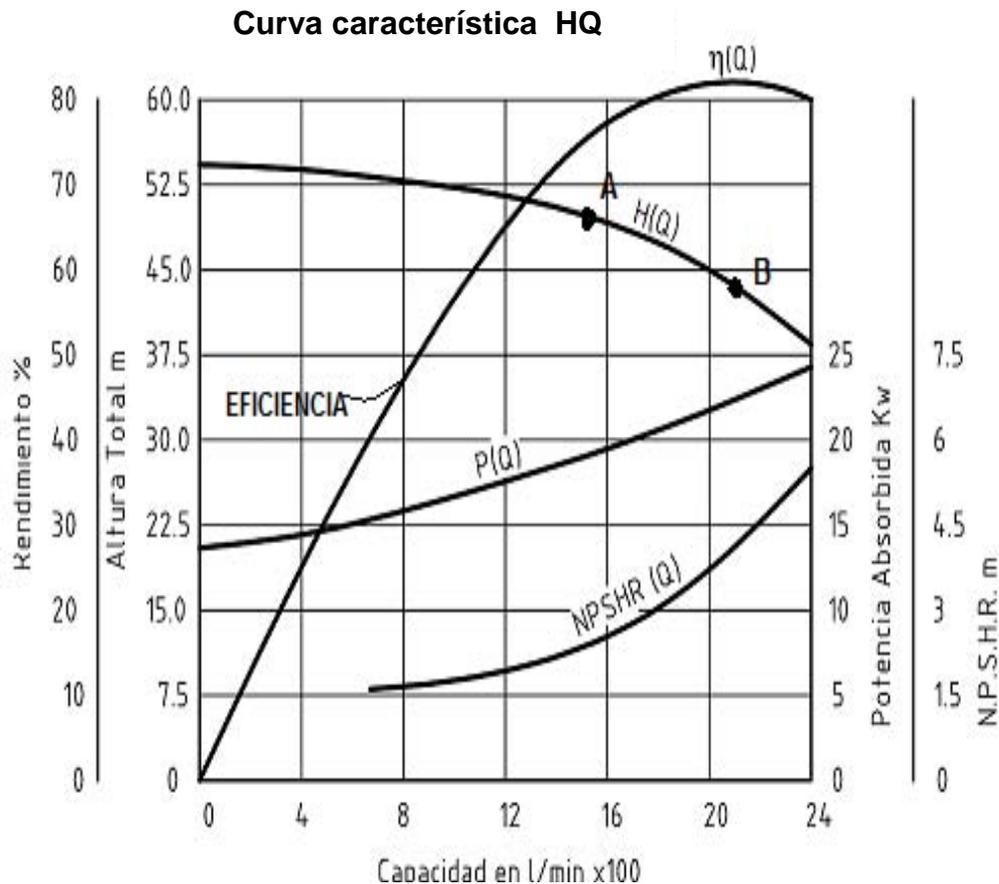
Figura 23. Una bomba de impulsor o flujo axial desarrolla la mayor parte de la columna por acción del álabe sobre el líquido.

Velocidades variables: si una bomba se opera a velocidades variables, puede dibujarse una gráfica con varias curvas que muestren el comportamiento de la bomba a una diferente elevación dada. La curva QH se traza para las diferentes velocidades a las que se va a trabajar.

Curvas de columnas del sistema: se obtienen combinando la curva de columna de fricción del sistema con la estática del sistema y las diferentes presiones. La curva de columna de fricción, es una relación entre el flujo y la fricción en los tubos, válvulas y accesorios de succión y descarga.

II.1.1.3. Bombas centrífugas por aplicación

Al clasificarse por su aplicación, se consideran las especificaciones para las cuales fueron diseñados los sistemas de bombeo, en general cada una de ellas tiene características específicas de diseño, así como materiales de construcción que se recomiendan para un servicio en particular.



Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

Figura 24. Curva característica HQ (carga-gasto) de un equipo de bombeo.

Existe una subdivisión basada en las características estructurales: se determina si son horizontales o verticales, si son diseños de acoplamiento directo, si cuentan con impulsores de succión simple y doble, si tienen carcasas divididas horizontalmente o de barril, etc.

Los diseños para servicios específicos facilitan la selección de una bomba, ya que los problemas generales del usuario han sido solucionados por el fabricante, a continuación se enlistan:

Bombas de propósito general: construidas generalmente para manejar líquidos frescos y

limpios a temperatura ambiente o moderada. Bombas de un solo paso, estas pueden ser de carcasa dividida y aditamentos normales. Algunas son de varios impulsores, mientras que otras manejan líquidos con sólidos en suspensión.

Bombas múltiples: construidas con una carcasa de tipo barril (alta presión de cuatro o más pasos) o tipo carcasa dividida (de presiones bajas a medias con cualquier número de pasos).

Bomba de acotamiento directo: combina la bomba y el motor en una sola unidad, bomba compacta maciza y eficiente, no contiene sellos por lo tanto no requiere lubricante. Excelente para manejar líquidos químicos altamente corrosivos.

Bomba de uso rudo: unidad que maneja líquido con alto contenido de sólidos como agua de drenaje, fábricas de papel, o líquidos viscosos y similares que contengan sólidos.

Bomba para servicio de calefacción de vacío: son de un impulsor de tipo cerrado sobre la flecha de acero inoxidable, para que eviten la corrosión y la erosión producido por el líquido que maneja.

Bomba de circulación de agua caliente: generalmente se utiliza para servicio de calefacción, usualmente se utiliza con acoplamiento directo.

Bomba vertical: frecuentemente utilizada para el servicio de pozos o reactores profundos, en general tienen impulsores cerrados y chumaceras de mango en la línea de la flecha.

Las bombas verticales de flujo mixto se utilizan en aplicaciones de bombeo de gran capacidad con columnas reducidas hasta moderadas. Este tipo de bombas son utilizadas en aplicaciones de suministro de agua, irrigación, drenaje, control de avenidas, servicio de muelles, circulación de condensadores entre otros.

Bombas de turbina regenerativa: tienen limitaciones en cuanto a la columna y capacidad, económicamente hablando son caras. Sin embargo tienen buena succión-elevación, una característica columna-capacidad elevada y buena eficiencia.

Las partes características de una bomba centrífuga se muestran en la figura 20.

Impulsor: se identifica por la forma en que entra el líquido, a los detalles de los álabes y para el cual está destinada la bomba.

Impulsores abiertos: tienen álabes unidos a un maneral central por medio de tabiques relativamente pequeños.

Impulsores semi-abiertos: tienen una pared de un solo lado.

Impulsores cerrados: tienen tapas en ambos lados para cerrar el paso del líquido y pueden ser de simple succión, donde el líquido entra por un solo lado, o doble succión, el líquido entra a la bomba por ambos lados.

Carcasa: cubren al impulsor y pueden estar divididas axialmente (forma horizontal) en la que las boquillas de descarga y succión se encuentran a la mitad inferior de la carcasa, la mitad superior se quita para facilitar la inspección. Las carcasas divididas radialmente (forma vertical), se usan en diseños de acoplamiento directo o de montaje sobre un marco.

Anillos de sellado: evitan el desgaste de la carcasa e impulsor en la junta de operación, no permite la entrada de aire a la bomba cuando esta opera con una elevación en la succión

Chumaceras: (balero) eje que sostiene y sirve de apoyo al giro de la flecha, evitando así el movimiento axial de la misma.

Manga: cubierta que protege a la flecha contra la corrosión, erosión y cualquier desgaste que afecte su resistencia.

Flecha: tiene como función transmitir el torque que recibe del motor impulsor durante la operación de bombeo, a la vez sujeta al impulsor y a las otras partes giratorias.

Los factores que intervienen en su funcionamiento son:

- a) Los torques.
- b) El peso de las partes.
- c) Todas las fuerzas hidráulicas, tanto radiales como axiales.
- d) Desviación máxima permisible.
- e) Distancia entre apoyos o de extremo volante.
- f) Localización de las cargas.
- g) Velocidad crítica del diseño resultante.

Sellos mecánicos: evitan que el líquido bombeado traspase al motor.

II.1.2. Bombas rotatorias

Conocidas como bombas de desplazamiento positivo, consisten en una caja fija que contiene engranes, aspas, pistones, lóbulos, segmentos, tornillos, levas, etc., que operan con un claro

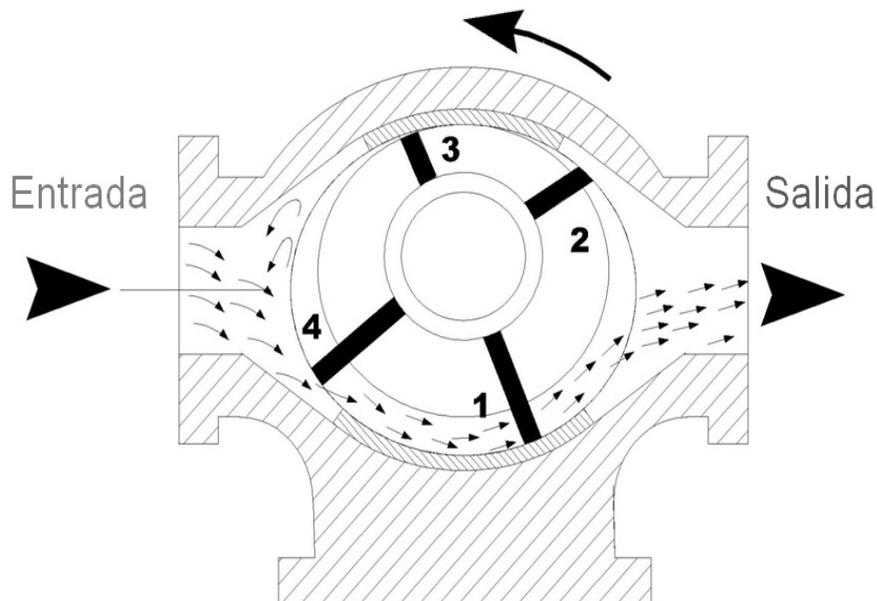
mínimo (ver figura 25).

La diferencia de este tipo de bombas contra la centrífuga que en lugar de aventar el fluido, una bomba rotatoria lo atrapa, lo presuriza y lo empuja contra la caja fija. Estas bombas garantizan un flujo continuo, generalmente utilizadas para líquidos con alta viscosidad y que no contengan sólidos abrasivos.

II.1.2.1. Tipos de bombas rotatorias por movimiento del fluido

Bombas de levas o pistón: tienen un émbolo rotatorio con un brazo excéntrico ranurado en la parte superior (ver figura 26). La rotación de la flecha hace que el excéntrico atrape el líquido contra la caja. Conforme continúa la rotación, el líquido se comprime a través de la ranura a la salida de la bomba.

Bombas de engranes externos: conforme los dientes de los engranes se separan del lado de la succión de la bomba, el líquido llena el espacio entre ellos (ver figura 27). Este se conduce en trayectoria circular hacia afuera y es exprimido al engranar nuevamente los dientes. Los engranes pueden ser simples, dobles.



Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

Figura 25. Bomba rotatoria.

Bombas de engranes internos: cuenta con un rotor dentado internamente que encaja en un engrane externo fijo (ver figura 28).

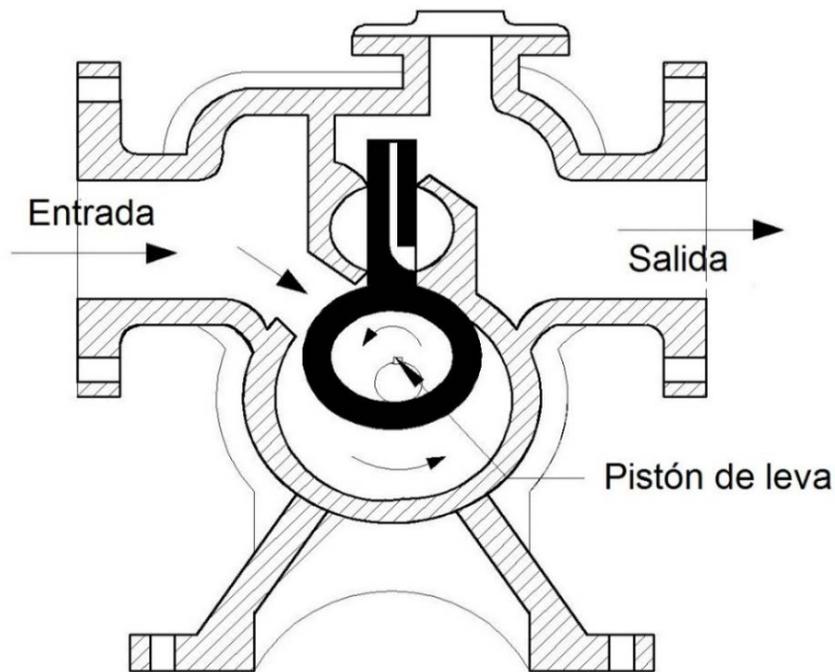
Bombas lobulares: generalmente están formadas por dos rotores cortados con tres o más lóbulos cada uno. Los rotores se sincronizan para tener una rotación positiva por medio de los engranes externos (ver figura 29).

Bombas de tornillo: tienen de uno a tres tornillos roscados que giran en una caja fija presurizando así el fluido (ver figura 30). Las bombas de un tornillo tienen un rotor en forma de espiral que gira excéntricamente a un estator de hélice interna. Las bombas de dos y tres tornillos tienen uno o dos engranes fijos, el flujo se establece entre las roscas de los tornillos y a lo largo de los ejes de los mismos.

Bombas de paletas (oscilantes y deslizantes):

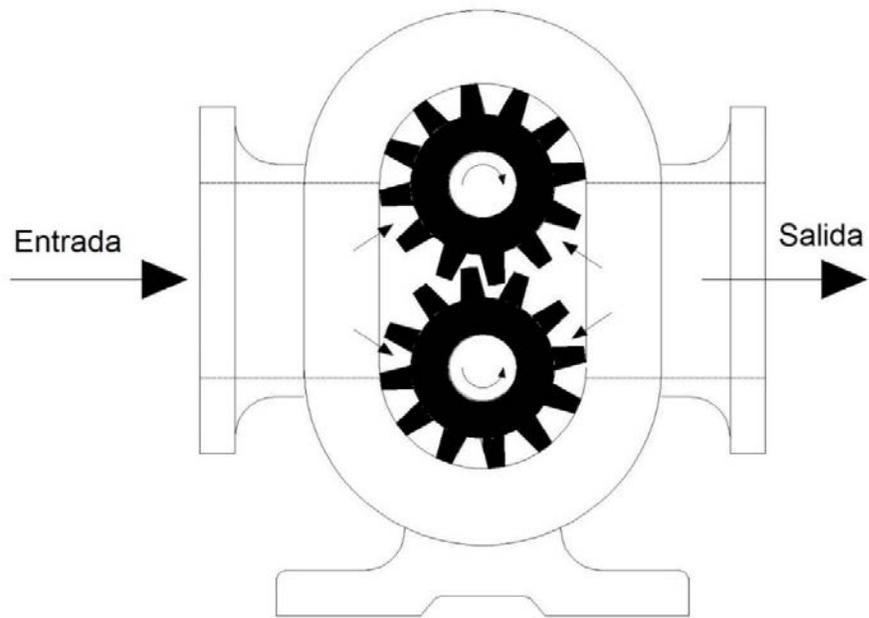
Paletas oscilantes: sus paletas son articuladas y se balancean conforme gira el rotor atrapando al líquido forzándolo en el tubo de descarga de la bomba.

Paletas deslizantes: sus paletas se presionan contra la carcasa por la fuerza centrífuga cuando gira el rotor (ver figura 31). El fluido atrapado entre las dos paletas se presuriza y sale por la descarga de la bomba.



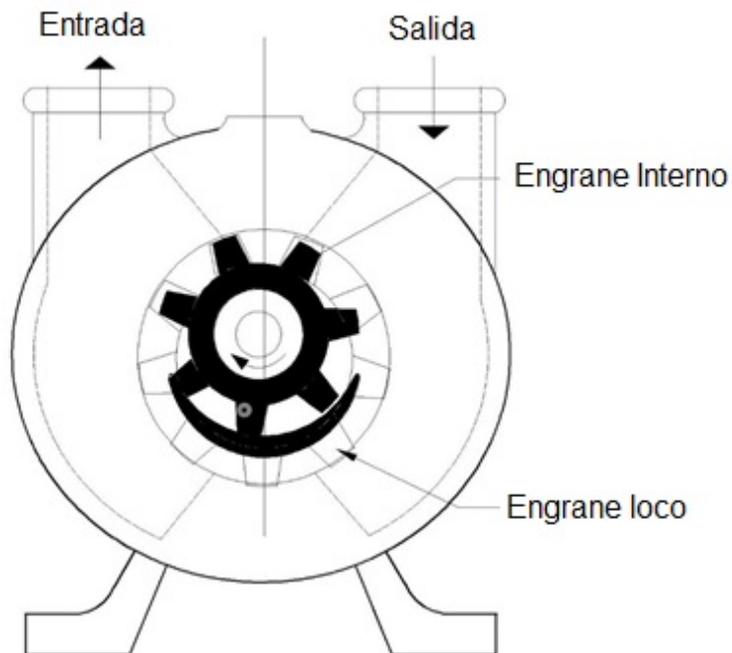
Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

Figura 26. Bomba de tipo pistón, el émbolo atrapa el fluido hasta la descarga.



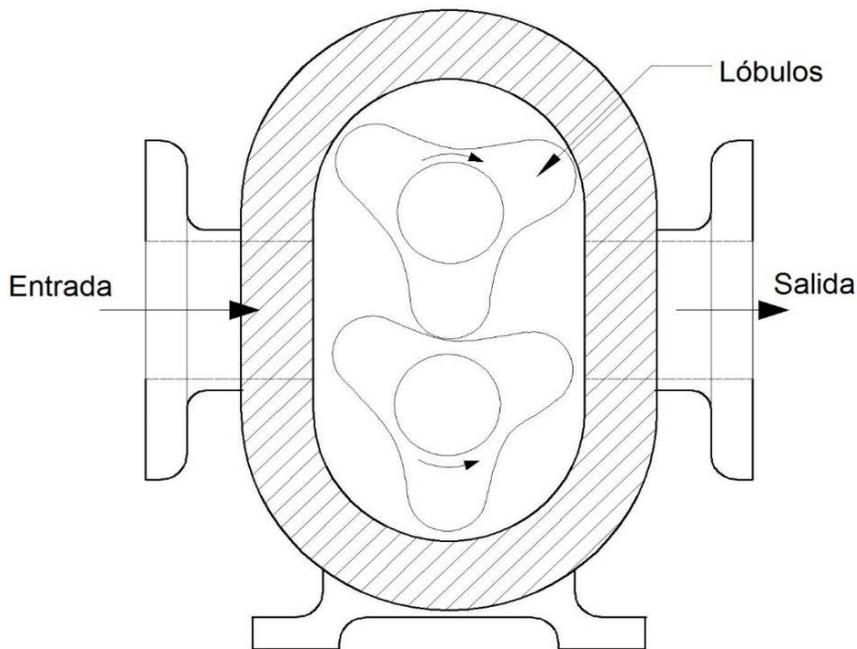
Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

Figura 27. En la bomba de engranes, los engranes atrapan el fluido presurizándolo hasta la descarga.



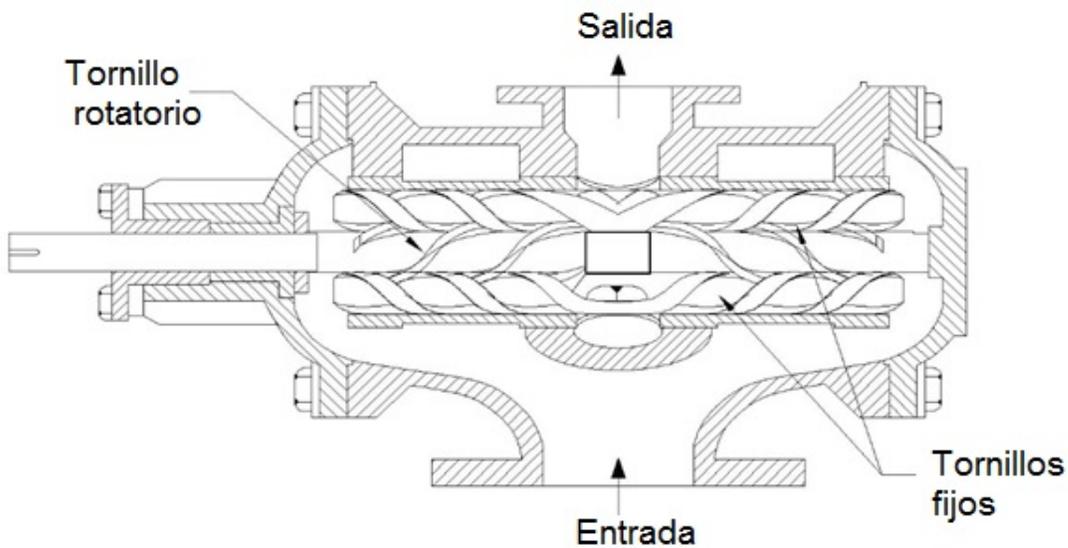
Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

Figura 28. En la bomba de engranes internos embona en un engrane loco cortado externamente.



Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

Figura 29. Bomba de lóbulos, semejante a la de engranes presuriza el fluido.



Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

Figura 30. Bomba rotatoria de tres tornillos.

Bombas rotatorias menos comunes, que son:

Bomba de bloque de vaivén: tienen un motor cilíndrico que gira en una carcasa concéntrica. El rotor se encuentra en un bloque que va cambiando de posición formando un vaivén y un

pistón agarrado por un perno fijo colocado excéntricamente, formando así el movimiento de succión y descarga.

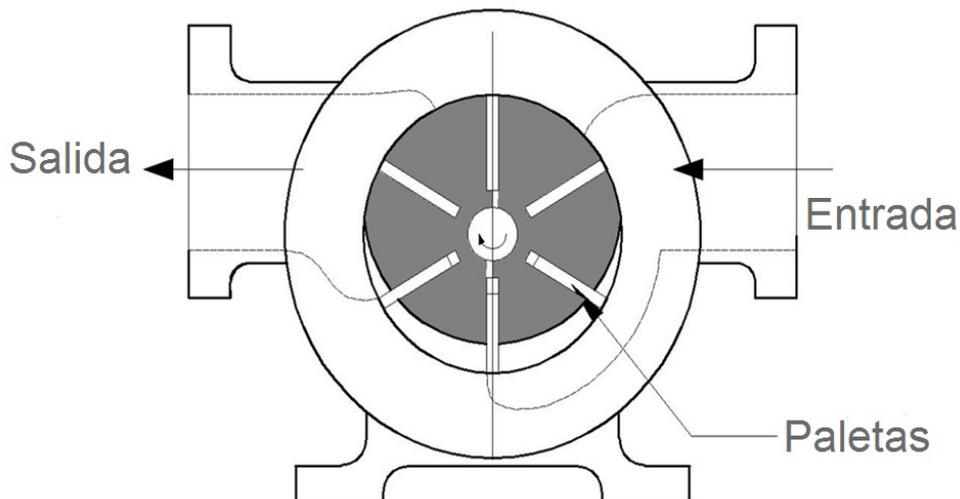
Bomba de junta universal: formada por un tramo de flecha en el extremo libre del rotor, y el otro extremo del mismo está unido al motor. Cuando el rotor gira los cuatro grupos de la superficie plana se abren y cierran produciendo el bombeo, cada una con su respectiva descarga.

Bomba de tubo flexible: tiene un tubo de hule que se exprime por medio de un anillo de compresión sobre un excéntrico ajustable. La flecha de la bomba lo hace girar.

II.1.2.2. Características de las bombas rotatorias

Las bombas rotatorias se utilizan generalmente para aplicaciones con líquidos viscosos, pero realmente pueden bombear cualquier clase de líquido, siempre que no contengan sólidos. En lugar de "aventar" el líquido como en una bomba centrífuga, una bomba rota y a diferencia de una bomba de pistón, la bomba rotatoria descarga un flujo continuo. En seguida se describen algunas de sus características.

Curvas características: se podría decir que la entrega de gasto por cada vuelta es constante e independiente de las presiones variables de descarga. Por lo tanto la curva HQ (carga-gasto) es prácticamente una línea horizontal.



Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

Figura 31. Bomba rotatoria de paletas deslizantes, el flujo es atrapado por las paletas.

Velocidad: desprecia las pérdidas por las diferentes formas de rotor de las bombas rotatorias.

El desplazamiento de una bomba rotatoria varía en forma directamente proporcional con la velocidad a la cual se opera la bomba, dependiendo de la viscosidad del fluido.

Los líquidos viscosos y gruesos pueden afectar la capacidad de la bomba a altas velocidades debido a que el líquido no puede fluir a la carcasa con la rapidez necesaria para llenarla completamente. Por esta razón se sugiere operarlas lentamente para fluidos viscosos.

La pérdida en capacidad por los claros entre la carcasa y el elemento rotatorio, suponiendo viscosidad constante, varía al aumentar la presión de descarga.

La potencia requerida por una bomba rotatoria, curva característica P Q, aumenta con la viscosidad del líquido. La eficiencia disminuye con el aumento de viscosidad. Debido a que las bombas rotatorias son utilizadas con mayor frecuencia para líquidos muy viscosos, ya que su función es empujar al fluido, es importante tomar en cuenta la potencia que debe tener el rotor para el fluido a bombear.

Tablas características: se usan para proporcionar datos generales sobre la capacidad de la bomba, potencia necesaria y columna de presión que puede vencer.

La tabla 2 muestra los datos típicos de comportamiento para una bomba rotatoria de tres tornillos.

II.1.2.3. Bombas rotatorias por aplicación

Las aplicaciones típicas de estas bombas son para el paso de líquido de todas las viscosidades, procesos químicos, alimentos, sistemas de enfriamiento y otros servicios industriales.

Materiales de construcción en la fabricación de bombas.

Todas de fierro: cuerpo y carcasa de fierro, generalmente conocidas como sanitarias y son utilizadas para productos de consumo humano como; purés, miel, chocolate, pasta de dientes, jabón líquido, etc.

Aditamentos de bronce: carcasa y flecha construida de fierro, rotores y álabes o lóbulos hechos en bronce, utilizados para aceites viscosos dependiendo la estructura química del proceso.

Todas de bronce: totalmente construida de bronce excepto la flecha que es fierro. Utilizados para el proceso de pintura.

Capacidad a 150 SSU 7.3 kg/cm ² presión de descarga, lps	Bhp a 3.5 kg/cm ²			Bhp a 7.03 kg/cm ²		
	500 USS	5000 USS	Elevación máxima en mm Hg	500 USS	5000 USS	Elevación máxima en mm Hg
0.12	0.2	0.4	432	0.4	0.5	432
0.38	0.5	1.2	432	0.7	1.4	432
0.95	0.9	1.8	432	1.6	2.5	432
1.77	1.6	2.4	432	2.9	3.8	432
2.65	2.2	3.7	432	3.9	5.4	432
4.42	3.7	7.2	203	6.3	9.8	203

Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

Tabla 2. Características típicas de una bomba rotatoria de tres tornillos.

Aplicación de las bombas: la mayoría de las bombas rotatorias son autocebantes, es decir, aunque estén llenas de aire son capaces de llenar de fluido el circuito de aspiración y pueden trabajar con gas o aire. Sin embargo su mayor aplicación radica en fluidos de alta viscosidad, procesos químicos, alimenticios, manejo de aceites, pintura entre otros.

II.1.3. Bombas reciprocantes

Son unidades de desplazamiento positivo que descargan una cantidad definida del fluido durante el movimiento del pistón o émbolo a través de la distancia de la carrera. Despreciando las pérdidas por las válvulas de alivio, el volumen del líquido desplazado en cada carrera del pistón o émbolo es igual al producto del área del pistón por la longitud de la carrera.

Las bombas reciprocantes pueden utilizar línea de vapor o motor de potencia para su funcionamiento (ver figura 32). Estos equipos de bombeo se caracterizan por tener un flujo punzante (es interrumpido por el regreso del empuje o pistón para volver a comenzar la carrera).

II.1.3.1. Tipos de bombas reciprocantes

Bombas de acción directa: en este tipo de bombas un pistón o émbolo está conectado de un lado por la alimentación de aire o vapor y el otro pistón o émbolo contiene el líquido a desplazar (ver figura 33). Las bombas de acción directa pueden ser simplex (un pistón de vapor y uno para el fluido) y las dúplex (dos pistones para el vapor y una para el fluido).

Las bombas horizontales de acción directa son muy solicitadas para los procesos de alimentación de calderas en presiones de bajas a medianas, manejo de lodos, bombeo de aceite y agua entre otros. Se caracterizan por la facilidad de ajuste a la columna, velocidad y capacidad. Las bombas de émbolo se usan para presiones más altas que las de tipo pistón.

Estas bombas se detienen cuando la fuerza total del pistón del fluido iguala al del pistón del aire comprimido o vapor.

Bombas de potencia: contienen un cigüeñal el cual es movido por una fuente externa (motor eléctrico, banda o cadena), y conectados por engranes que reducen la velocidad de salida del motor.

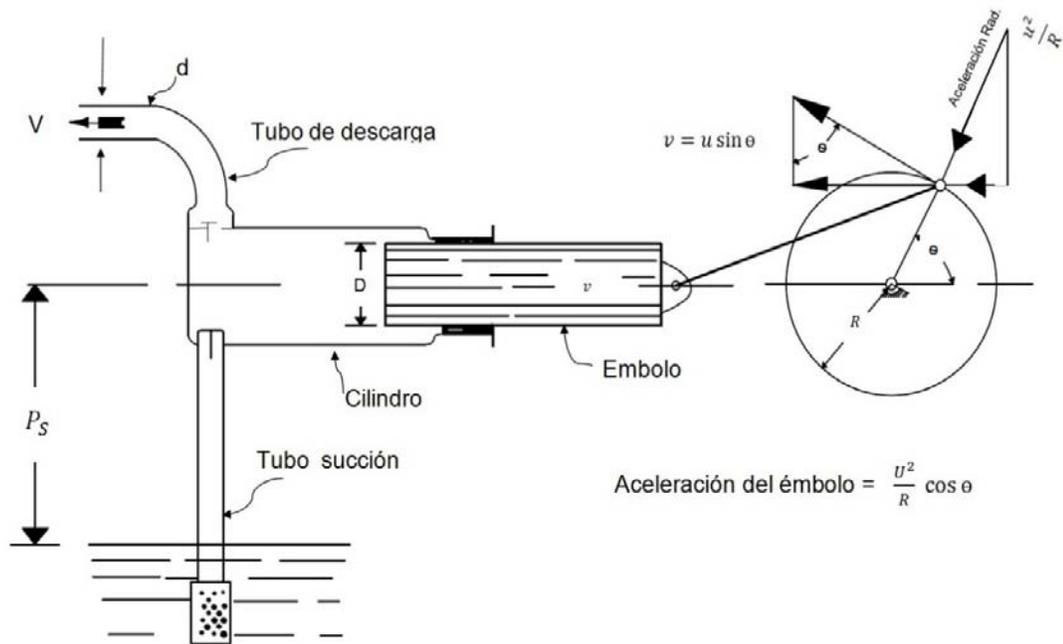
Cuando se mueve el motor a una velocidad constante, las bombas de potencia entregan un gasto casi constante para una amplia variación de la columna, con una buena eficiencia. El extremo líquido desarrolla una presión elevada cuando cierra la válvula de descarga. Por tal motivo se debe colocar una válvula de alivio que libere la presión en la descarga, con el objetivo de proteger la bomba y la tubería.

Las bombas de potencia son utilizadas en procesos en los cuales se requiere soportar alta presión como aplicaciones petroleras o presas hidráulicas.

Bombas de volumen controlado o dosificadoras: tiene como finalidad dosificar el flujo en pequeñas cantidades. La capacidad de estas bombas puede variarse modificando la longitud de la carrera.

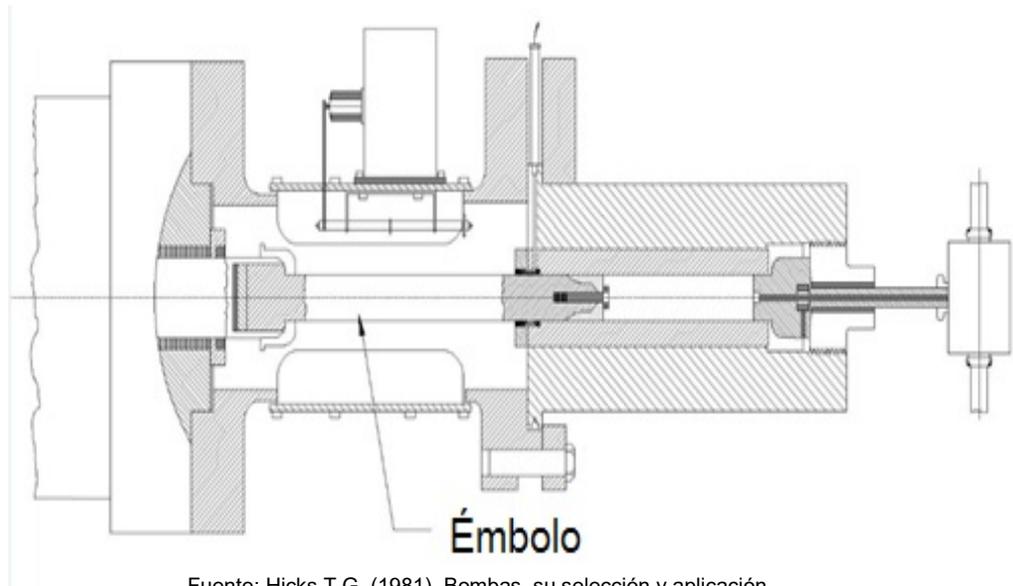
Bombas de diafragma: pueden estar compuestas por diafragmas o pistón, está última para gastos pequeños. Sin embargo las de diafragma son un tipo de bombas se usan generalmente para gastos elevados, con o sin sólidos en suspensión.

Generalmente se usan para procesos químicos como pinturas, pulpas gruesas, soluciones alcalinas o acidadas, drenaje, lodos, o aguas con sólidos que puedan ocasionar erosión (ver figura 34). Un diafragma de material flexible no metálico puede soportar la acción corrosiva o erosiva.



Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

Figura 32. Bomba recíprocante.

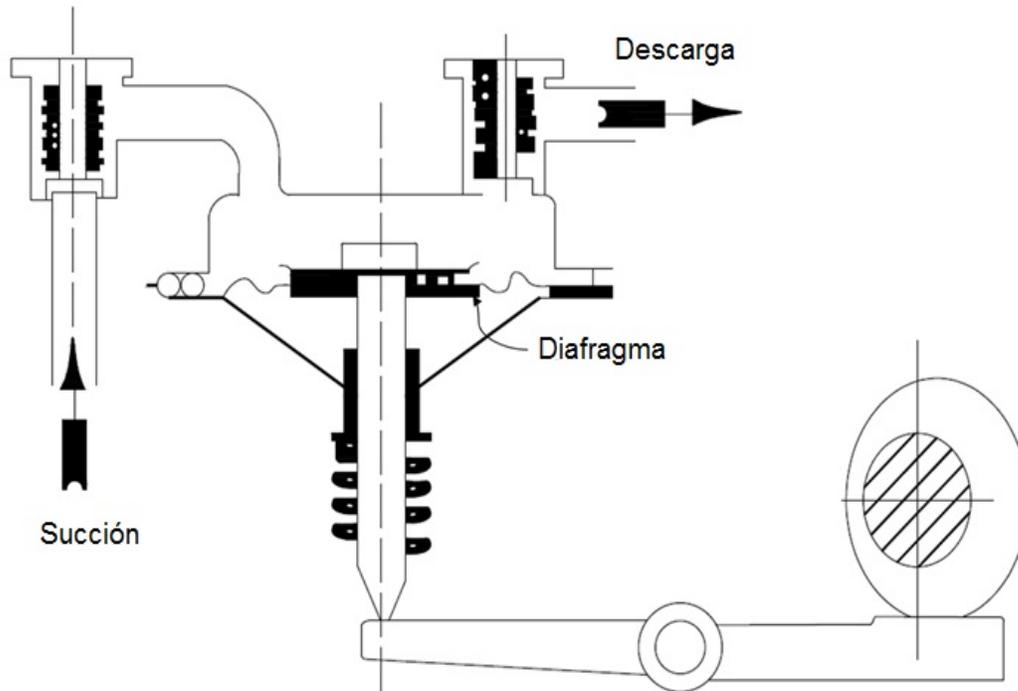


Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

Figura 33. Bomba recíprocante de émbolo.

II.1.3.2. Características de las bombas reciprocantes

En las bombas reciprocantes el flujo es pulsante (discontinuo) dependiendo del carácter de la pulsación del tipo de bomba, y de que ésta tenga o no cámara de contención. A diferencia de las centrífugas y rotatorias que el flujo es continuo.



Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

Figura 34. Bomba rotatoria de diafragma.

Bombas de acción directa simple: el flujo es constante hasta el final de la carrera, en donde el pistón del líquido se detiene y regresa, interrumpiendo el flujo hasta que regresa el pistón.

Bombas de acción directa dúplex: tienen generalmente la descarga de un cilindro que desplaza media carrera con respecto al otro; así los dos se juntan para dar una línea continua.

Bombas de potencia: las curvas de descarga para estas bombas toman la forma de ondas senoidales, debido a que los pistones o émbolos están movidos por una manivela. El flujo de descarga no cambia de forma tan brusca como las de acción directa.

Existen factores de consideración para las bombas reciprocantes.

Capacidad y velocidad: las bombas reciprocantes no succionan el fluido, sino que reducen la presión en la cámara de succión. De forma que es la presión atmosférica quien empuja al

fluido en la bomba. Cuando la velocidad aumenta la capacidad se eleva proporcionalmente.

Viscosidad del líquido y temperatura: ambas variables afectan la velocidad y la capacidad máxima de la bomba. En la tabla 3, se muestra que conforme la viscosidad aumenta de 250 a 5000 SSU, la velocidad de la bomba disminuye un 65% de su valor y por ende su eficiencia también se reduce. Si la temperatura aumenta de 21 a 121 grados centígrados, la velocidad se reduce en un 62% de lo normal.

Viscosidad del líquido SSU	250	500	100	2000	3000	4000	5000
Reducción de velocidad %	0	4	11	20	26	30	35
Temperatura del agua °C	21	27	38	52	66	93	121
Reducción de velocidad %	0	9	18	25	29	34	38

Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación. .

Tabla 3. Factores de corrección de velocidad.

La tabla 3 muestra los factores de corrección de velocidad para la viscosidad y temperatura, recomendados por el Instituto de Hidráulica. Para usarlos basta multiplicar la velocidad normal por el porcentaje de reducción.

Extremos de líquido y vapor: los extremos del líquido en las bombas reciprocantes construyen en diseños diversos dependiendo del fluido a bombear, condiciones de servicio y presiones.

Empaques de pistón y varilla: material suave utilizado para controlar el escape del fluido entre la parte móvil y la estacionaria en una bomba.

Válvulas de extremo líquido: las bombas de baja presión usan válvulas de disco con protuberancias usadas como guías. Para presiones moderadas válvulas con guías del tipo ala (caras planas biseladas) y para las altas presiones, se utilizan ambas. Dependiendo el fluido a bombear.

II.2. Descripción de los requerimientos en la selección de los equipos de bombeo

Columna de una bomba.

Para el diseño de un sistema de bombeo deben considerarse los siguientes elementos:

Presión: fuerza por unidad de área, los efectos que producen las fuerzas dependen de la magnitud de las mismas y del área sobre la cual se aplican.

La presión se puede definir de manera general como el cociente de la fuerza normal aplicada sobre una sección de superficie, matemáticamente la siguiente ecuación define la presión:

$$P = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

Donde:

P: presión

ΔF: incremento de fuerza

ΔA: incremento de área

Para el cálculo de bombas se toma en cuenta las siguientes presiones:

- a) Absoluta: presión que se mide a partir del cero absoluto, y que puede encontrarse por arriba o por debajo de la presión atmosférica.
- b) Barométrica: presión medida a partir de la presión atmosférica de la localidad estudiada que varía según el clima y la altitud a la cual se encuentre dicha región con respecto al nivel del mar.
- c) Manométrica: presión positiva con respecto de la presión atmosférica de la localidad. Los aparatos que miden presiones denominados manómetros, indican la presión tomando como referencia la presión atmosférica, de ahí que la presión manométrica es la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica.

$$P_{man} = P_{abs} - P_{atm}$$

- d) Vacío: presión negativa por debajo de la atmosférica. Se miden con instrumentos de vacío que indican la diferencia entre la presión atmosférica y la absoluta.

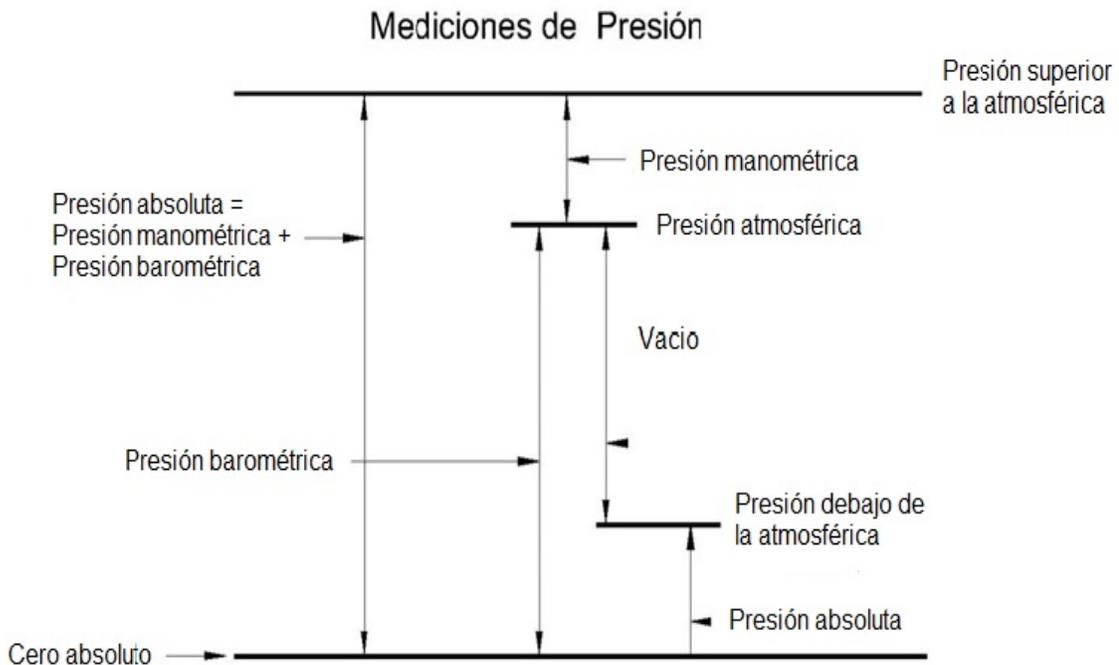
$$P_{vac} = P_{man} - P_{abs}$$

Es muy importante de considerar la presión barométrica en la selección de las bombas, ya que el fabricante siempre proporciona las condiciones a nivel del mar. Por ende, el ingeniero deberá hacer la corrección correspondiente para garantizar el buen funcionamiento de la

máquina, así como que soporte la presión requerida por el proceso (ver figura 35), se indican o representan las diferentes mediciones de presión para un sistema de bombeo.

Columna: es la presión vertical que ejerce el fluido sobre la superficie horizontal en el fondo de un tubo (fuerza por unidad de área). La altura de la columna del líquido que produce la presión se conoce como columna sobre la superficie.

Columna estática: altura de la columna del líquido que actúa sobre la succión o descarga de la bomba. Se trata de la diferencia de elevaciones encontradas en una instalación de bombeo.



Fuente: Hicks, T.G. (1981). Bombas, su selección y aplicación.

Figura 35. Relación entre los diferentes términos de presión, usados en sistemas de bombeo.

Presión de vapor: todo fluido a temperatura a punto de congelación ejerce una presión a la formación de vapor en la superficie libre, por lo tanto la presión de vapor es función de la temperatura del líquido; en términos de la temperatura del fluido, mayor será la presión de vapor (condición importante para bombas de vacío).

Nota: la presión en cualquier punto jamás debe reducirse más allá de la presión de vapor correspondiente a la temperatura del líquido, ya que el fluido formará vapor que puede total o parcialmente cesar el flujo del líquido en la bomba.

Elevación estática de succión: distancia vertical en metros del nivel de suministro del líquido

al eje central de la bomba, encontrándose la misma por arriba del nivel del suministro.

Columna estática de succión: distancia vertical del suministro del fluido al eje central de la bomba, cuando ésta se encuentra más abajo del nivel del suministro del fluido.

Columna estática de descarga: distancia vertical en metros, del eje central de la bomba al punto de entrega libre del líquido.

Columna estática total: distancia vertical en metros, entre el nivel del suministro y el nivel de descarga del líquido bombeado.

Columna de fricción: fuerza necesaria para vencer la resistencia de las tuberías, válvula y accesorios del sistema de bombeo. Esta columna debe considerarse tanto en la succión de la bomba como en la descarga, y varía con respecto a la velocidad y naturaleza del líquido manejado, así como; tamaño, tipo y rugosidad del tubo por el que pasa el fluido.

Columna de velocidad: distancia de caída necesaria para que el fluido adquiriera la velocidad cinética y se calcula de la siguiente manera:

$$h_v = \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h_v : columna de velocidad de líquido (m)

v : velocidad del líquido (m/s)

g : aceleración de la gravedad = 9.8 m/s

Pérdidas de admisión y salida: existe una pérdida de fricción cuando el fluido entra al tubo de una fuente libre o sumergida, lo mismo sucede a la salida, ambas pérdidas reducen la columna de velocidad.

Elevación de succión: suma de la elevación estática, más columna de fricción y las pérdidas de admisión, todo esto en la succión.

Columna de succión: columna de succión estática menos la columna de fricción de succión y las pérdidas de admisión en las tuberías de succión, más cualquier presión en la línea de succión.

Columna de descarga: columna de descarga es tática, más la columna de fricción de descarga más la columna de velocidad de descarga.

Columna total: suma de las columnas de elevación de succión y de descarga.

II.2.1. Curvas del sistema de bombeo

Las gráficas de las condiciones son auxiliares importantes para la selección de un equipo de bombeo, principalmente de bombas centrífugas, pero de igual manera se pueden adaptar a las bombas rotatorias y reciprocantes.

1. *Curva de fricción del sistema:* son una función del tamaño del tubo, longitud, número y tipo de accesorios, velocidad del flujo y su naturaleza. Dicha curva siempre pasa por el origen debido a que no existe una columna desarrollada por la bomba, no hay flujo del sistema.
2. *Curva de columna del sistema:* se obtiene combinando la curva de fricción, con la curva estática y con la de presión contra gasto. La curva HQ sobre la columna de la curva del sistema se obtiene un punto para el cual la bomba en particular, opera en el sistema para el que se ha trazado la curva. En el caso de un cierre parcial de una válvula o cambio en el sistema el punto de operación se verá modificado debido a la resistencia.

Columna neta positiva (NPSH Net Positive Suction Head): es la caída de presión interna que sufre un fluido cuando este entra al interior de una bomba, debido a que dentro de ella aumenta su velocidad y por lo tanto disminuye su presión.

Una mala determinación de la NPSH puede reducir la capacidad y la eficiencia de la bomba provocando daños por cavitación, o problemas de operación que reducen la efectividad de la planta. Para evitar esto debemos tomar en cuenta:

Presión de vapor: los líquidos a cualquier temperatura arriba del punto de congelación, tienen una presión de vapor que debe considerarse en el cálculo del sistema. El método más simple para evitar esta condición es dar suficiente columna de succión de la bomba para que la presión del tubo de succión sea siempre mayor que la presión de vapor del líquido manejado.

NPSH disponible: función de la columna de succión o elevación, columna de presión y presión de vapor del líquido que se maneja. Dependiendo de las condiciones, la NPSH

puede al tenerlas disposiciones físicas del sistema para adaptarlos con el que requiere la bomba para una operación satisfactoria.

NPSH requerida: está en función del diseño de la bomba y varía dependiendo de la marca, modelo o capacidad de cada una. Generalmente esta condición la proporciona el fabricante en las especificaciones de la bomba por medio de una gráfica.

Cuando el nivel del suministro del líquido se encuentra por arriba de la línea del centro de la bomba y la superficie del líquido está expuesta a la atmósfera, la NPSH es la suma de la presión barométrica más la columna de succión estática menos las pérdidas de la columna de fricción en el tubo de succión y la presión de vapor del líquido (todo en metros).

Cuando la alimentación de succión es en un tanque cerrado, debe sustituirse la presión barométrica por la presión de dicho tanque (vacío negativo).

Cuando la alimentación del líquido se encuentra debajo de la bomba en un tanque abierto a la atmósfera, la NPSH es la diferencia entre la presión barométrica y la suma de la elevación de succión estática, más las pérdidas de la columna de fricción en la tubería de succión, más la presión de vapor del líquido (metros del líquido bombeado).

Cuando el suministro del líquido está en un tanque cerrado por debajo de la bomba, se utiliza la presión del tanque en lugar de la barométrica.

Reducción de capacidad: conforme se reduce la NPSH para un equipo de bombeo su capacidad se abate.

Cavitación: cuando un equipo de bombeo opera con una elevación excesiva, se desarrolla una presión de succión baja en la entrada de la bomba y la presión disminuye hasta formar un vacío y el líquido se convierte en vapor, si la presión del tubo es más baja que la presión del vapor del fluido. El flujo del fluido desaparece (punto de corte) ya que se alcanzado el límite de la capacidad de la bomba con esta presión de entrada dañando así el equipo.

Cuando la presión de entrada está a punto de alcanzar el punto de vaporización, las bolsas de vapor forman burbujas en el lado posterior del álabe del impulsor, cerca de la base. Conforme la burbuja se mueve al área de baja presión en la admisión en el área de alta presión, cerca del extremo del álabe, la burbuja desaparece rápidamente y el líquido golpea el álabe con fuerza extrema, causando daños en el impulsor incluso picándolo.

Este efecto se escucha por el colapso de las burbujas de vapor.

Esta condición generalmente aplica en bombas centrífugas, sin embargo también puede

sucedan en rotatorias y reciprocantes.

Por eso se deben evitar las siguientes condiciones:

- a) Columnas mucho más bajas que la columna de máxima eficiencia de la bomba.
- b) Capacidad mucho mayor que la capacidad máxima de eficiencia de la bomba.
- c) Elevación de succión mayor o columna positiva menor que la recomendada por el fabricante.
- d) Temperatura del líquido mayor a las de diseño u originales del sistema.
- e) Velocidades más altas que las recomendadas por el fabricante.

II.2.2. Especificaciones de la columna de un equipo de bombeo y su capacidad

La columna total de una bomba puede calcularse con exactitud, para ello es necesario ejecutar las especificaciones conforme a las condiciones exactas que existen en la instalación para evitar errores costosos en la selección del equipo de bombeo. La causa más común de error es no respetar los factores de seguridad, incluso puede calcularse sobrada y por consecuencia un consumo mayor de potencia, aumentando así el costo de mantenimiento, por esa razón es necesario mediar los factores de seguridad.

Factores de seguridad: el ingeniero aplica un factor de seguridad que va de un 10 a un 50% a los cálculos de una columna líquida total que debe desarrollar un equipo de bombeo y la estimación de la capacidad de la bomba, y con esos resultados se verifican las gráficas características. Estos factores aseguran al ingeniero no exceder los costos tanto de inversión inicial, como gasto futuro excesivo en el mantenimiento.

El requisito principal de una bomba es entregar la cantidad de flujo correcta venciendo la columna existente del sistema.

Temperatura: la densidad del líquido cambia con la temperatura. Al seleccionar un equipo debe tomarse en cuenta la temperatura para las condiciones de bombeo cuando se señala la capacidad requerida. Se sabe que a más de 27 grados, el cambio de densidad se convierte en un factor importante que debe considerarse en los cálculos para la determinación del equipo de bombeo.

Determinación del flujo del líquido: antes de que se especifique la capacidad requerida de la

bomba, deben conocerse los requerimientos del flujo del sistema.

Control de capacidad: la descarga de una bomba centrífuga puede variar dependiendo de si está trabajando a una velocidad constante o variable. Si es constante, puede regularse estrangulando la descarga de la bomba o utilizando más de una bomba para que puedan arrancarse o pararse según se requiera suministrar el gasto.

Las bombas rotatorias y reciprocantes pueden controlarse variando la velocidad de la bomba, en la carrera, cantidad de líquido derivado.

Variaciones de demanda: es necesario saber la capacidad de la bomba, para suministrar el ritmo de producción. Las variaciones de líquido suministrado influyen en la condición de eficiencia de la bomba.

II.3. Normas técnicas aplicadas a los sistemas de bombeo

Debido a que se requiere que los equipos de bombeo cuenten con mejores resultados para el diseño, fabricación, instalación, operación y mantenimiento, se tuvo la necesidad de hacer normas que nos permitan tener mayores precauciones en todos los aspectos de los equipos de bombas para ofrecer un producto confiable y seguro.

En el mundo existe mucha normatividad, pero no toda tiene que aplicarse, existe normatividad duplicada sobre un mismo tema y con el afán de promover que las actividades y procesos se hagan de manera ordenada.

Para cumplir con la normatividad obligatoria, lo primero que se debe hacer es identificar cuál normatividad es la que se debe aplicar.

Por ejemplo, en el diseño se debe basar en las normas y especificaciones de las diferentes especialidades que intervienen en el mismo. Durante la instalación y pruebas también se aplican otras normas, especificaciones, procedimientos e instructivos. De igual modo durante la operación y mantenimiento, se deben aplicar normas e inclusive durante el desmantelamiento y abandono de una instalación. El desconocimiento o incumplimiento de la normatividad provoca incidentes y accidentes.

Se puede definir entonces que las normas son un conjunto de criterios que nos permiten garantizar seguridad en el diseño, fabricación, instalación, operación y mantenimiento.

Las normas para las bombas son necesarias debido a que se pretende que sean mejores en cuanto a la eficiencia para su uso y dado que existen diferentes fabricantes fue necesario

crear un comité de fabricación MCA (Manufacturing Chemists Association), el cual convino con un comité especial del Hydraulic Institute, para las normas de las bombas utilizadas en procesos químicos este documento se llamó American Voluntary Standard (AVS) o norma MCA, años después el American National Standards Institute (ANSI) la publicó, un ejemplo es la Norma ANSI B123.1, con la cual casi todos los fabricantes de bombas en el mundo las construyen de acuerdo con esos criterios dimensionales y de diseño.

Esta norma pretende establecer que las bombas de tamaño similar, de cualquier fabricante, sean intercambiables en cuanto a dimensiones para montaje, tamaño y ubicación de las boquillas de succión y descarga, ejes de entrada y tornillería para placas base y cimentación.

En la figura 36 se puede observar lo mencionado anteriormente. Se muestran dos equipos del mismo tipo (bomba vertical tipo turbina, VTP), pero de diferente marca.

II.3.1. Normas Internacionales (NI)

Las Normas Internacionales (NI) emitidas por Organismos Internacionales de Normalización dedicadas a reglamentar, los cuales han sido reconocidos por el gobierno de México en los términos del Derecho Internacional.

ISO (International Standardization Organization): es la entidad internacional encargada de favorecer normas de fabricación, comercio y comunicación en todo el mundo. Con sede en Ginebra, es una federación de organismos nacionales entre los que se incluyen AENOR en España, DIN en Alemania, AFNOR en Francia.

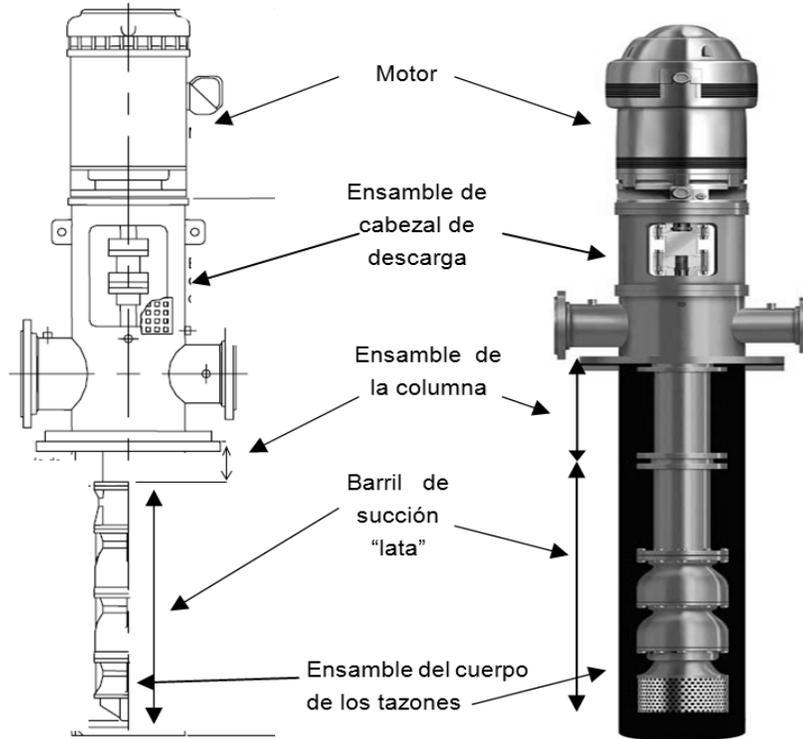
La ISO mantiene un sólido liderazgo en la definición de los materiales y métodos de prueba en casi todas las industrias, con un casi monopolio en las industrias petrolera y petroquímica.

En su norma ISO 2858, en sistema métrico y "SI" abarca normas dimensionales para bombas centrífugas horizontales con succión por el extremo e incluye también bombas de capacidades un poco mayores que las mencionadas en la ISO la norma B123.1.

API (American Petroleum Institute): Instituto Americano del Petróleo, dicta normas técnicas, relacionadas con equipo y materiales con la industria del petróleo, la cual elabora estándares o lineamientos para regular.

Fabricación de equipo, procedimientos operativos y poder llegar finalmente a un sistema de calidad óptimo.

HI (Hydraulic Institute): Instituto de hidráulica ubicado en Estados Unidos, diseña, regula y clasifica las bombas.



Fuente: Elaboración propia con apoyo de Bombas verticales tipo turbina Grundfos.

Figura 36. Relación entre los diferentes términos de presión, usados en sistemas de bombeo.

ANSI (American National Standards Institute): Instituto Americano de Normas, norma los materiales que se utilizan para su fabricación, es una organización sin fines de lucro que fomenta el desarrollo de los estándares de tecnología en los Estados Unidos. Fundada en 1918, supervisa la creación, expedición y uso de normas y directrices que utilizan las empresas en casi todos los sectores. Estableciendo normas para una amplia gama de áreas desde construcción, producción, energía, tecnología y otras más.

ANSI también participa activamente en los programas que evalúa la conformidad de los estándares ISO 9000 (calidad) e ISO 14000 (medio ambiente).

ANSI promueve la adopción de normas internacionales como normas nacionales siempre que éstas satisfagan las necesidades de la comunidad de usuarios. También es miembro de la ISO y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) EE.UU.

ASME (American Society of Mechanical Engineers): Sociedad Americana de Ingenieros

Mecánicos, es una asociación que se dedica al avance de la ciencia de la ingeniería mecánica y las ciencias relacionadas, este código ha sido adoptado casi en su totalidad por autoridades reguladoras en Norteamérica y otras partes del mundo, siendo su objetivo principal el de la seguridad, como lo es la protección mientras la unidad está en servicio o se aprecia un margen de deterioro cuando se encuentra fuera de servicio considerándose puntos de servicio.

Dicha asociación en forma general considera reglas para las bombas, como lo son:

- Presiones de diseño
- Fórmulas de diseño y métodos de cálculos
- Especificaciones de construcción
- Requerimientos de instalación y ajuste
- Válvulas de seguridad y alivio
- Pruebas Hidrostáticas e inspección

NEMA (National Electrical Manufacturers Association): Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos, esta se asocia con los motores utilizados en Norteamérica, en cuanto a la IEC (International Electrotechnical Commission) establece aquellos motores que se utilizan en diversos países del mundo. Su relación es debido a los motores eléctricos que utilizan las bombas que funcionan mediante la energía mecánica que se deben contemplar también en las normas.

II.3.2. Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

NOM (Normas Oficiales Mexicanas): emitidas por las dependencias de la Administración Pública Federal, conforme a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN).

Estas son regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las dependencias competentes, conforme a las finalidades previstas por esta ley, que establecen reglas, especificaciones, atributos, directrices, etc.

NMX (Normas Mexicanas): que emiten los Organismo Nacionales de Normalización que en general son privados, o bien, la Secretaría de Economía, que prevé para un uso común y repetido, reglas, especificaciones, atributos, directrices, etc.

Son de aplicación voluntaria, salvo que los particulares manifiesten que sus productos, procesos o servicios son conforme a las mismas, también son obligatorias cuando se exigen

en las bases de licitación o en los contratos.

Las NMX también pueden ser emitidas por la Secretaría de Economía (art. 51B de la LFMN) por cuenta propia o por conducto de otra dependencia o entidad de la Administración Pública Federal.

En cuanto al orden jerárquico en la normatividad en México sería el siguiente:

- Normas Oficiales Mexicanas

- Normas Internacionales

Las normas establecen los parámetros dentro de los cuales se fabricarán los equipos de bombeo, así como las pruebas de calidad a las que se deben ajustar todos sus componentes con el fin de ofrecer al usuario final un producto confiable y seguro.

En la tabla 4 se presenta un resumen de algunas normas para los equipos de bombeo.

Norma	Descripción	Alcance	Aplicación
NOM-001-ENER-2000	Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina, con motor eléctrico vertical, límites y métodos de prueba.	Aplica para el manejo de agua limpia.	Fabricación Instalación Operación Mantenimiento
NMX-O-140-1972	Método de prueba hidrodinámica e hidrostática para bombas centrífugas.	En esta norma se establece el método de prueba hidrodinámica que debe aplicarse a bombas centrífugas, para la determinación de la carga dinámica total, la potencia, la eficiencia y la carga neta positiva de succión, en función de la capacidad. También, se establece la prueba hidrostática a una presión mínima de 1.5 veces la presión máxima de trabajo.	Fabricación Instalación Operación Mantenimiento
NMX-O-141-1971	Trata del funcionamiento de las bombas centrífugas para el manejo de fluidos y cuyas características de usos específico.	En esta norma las especificaciones establecidas son las requeridas para el buen funcionamiento de las bombas centrífugas en general y, en particular, para las bombas centrífugas autocebantes, sanitarias, para sólidos en suspensión, de proceso, para líquidos volátiles, para sustancias químicas, para aceite caliente, para condensados, de alimentación a calderas y para minas.	Fabricación Instalación Operación Mantenimiento
ISO-286 2:2011	Sistema ISO de límites. Parte 2 trata de tolerancias estándar y límites de desviaciones para agujeros y flechas.	En esta norma se establecen los valores de las desviaciones límite habituales utilizadas de las clases de tolerancia para agujeros y ejes, a partir de las tablas de la norma ISO286-1.	Diseño Fabricación Instalación Operación Mantenimiento
ISO-2858-1975	Bombas centrífugas succión descarga (relación 16 bar). Diseño, punto nominal libre y dimensiones.	Este estándar internacional especifica las principales dimensiones y puntos nominales libres de succión-descarga de bombas centrífugas teniendo una máxima relación de 16 bar.	Diseño Fabricación Instalación Operación
ISO 9905: 1998+A1:2011	Especificaciones técnicas para bombas centrífugas clase 1.	Especifica las características para el diseño, instalación, mantenimiento y seguridad de las bombas.	Diseño Fabricación Instalación Operación Mantenimiento
ISO 21049: 4	Sistemas de sellos de flecha para bombas centrífugas y rotatorias.	Especifica los requisitos y da recomendaciones para los sistemas de sellado para bombas centrífugas y rotativas, utilizadas en los sectores del petróleo, gas natural y las industrias químicas. Se aplica principalmente para servicios peligrosos, inflamables y/o tóxicos donde se requiere un mayor grado de fiabilidad para la mejora de la disponibilidad del equipo y la reducción de las emisiones a los gastos de sellado ambiente y ciclo de vida. Cubre los sellos de la bomba de diámetros de eje de 20 mm (0.75 pulgadas) a 110 mm (4.3 pulgadas).	Diseño Fabricación Instalación Operación Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia, apoyado en <https://es.scribd.com/doc/19511233/Normas-Bombas>.

Tabla 4. Normas para equipos de bombeo.

Norma	Descripción	Alcance	Aplicación
ANSI /HI-2002	Serie de normas estándares de bombas, publicadas en 2002.	Define la terminología en general, establece especificaciones técnicas mínimas de las bombas rotatorias aplicables a la industria petrolera, las dimensiones principales de las bombas centrífugas horizontales. Especifica métodos para determinar la presión derivada en condición estable, de las bombas de desplazamiento. Aplica para bombas de servicios generales y de algunos procesos químicos que requieran la confiabilidad y define los métodos de prueba hidrodinámica e hidrostática de bombas centrífugas.	Diseño Fabricación Instalación Operación Mantenimiento
API 682-2a ED 2002	Sistema de sellado de eje en bombas centrífugas y rotatorias. Segunda edición.	Define cavidades de sellos en bombas centrífugas. Para sellos mecánicos y empaquetadura.	Diseño Fabricación Instalación Mantenimiento
API 610	Serie de requisitos para bombas centrífugas que se utilizan en los servicios de procesos de la industria del petróleo, petroquímica y gas. Onceava edición (2010).	Esta norma describe los requerimientos mínimos para bombas centrífugas para uso en servicio de la refinería de petróleo. Esta norma es también aplicable para turbinas multi-etapa, de doble succión y verticales.	Diseño Fabricación Instalación Operación Mantenimiento
ISO 13709:2009-12 E	Especifica los requisitos para las bombas centrífugas, para su uso en el petróleo, petroquímica y servicios en procesos de la industria del gas.	Establece los requisitos para bombas centrífugas en voladizo, entre cojinetes y montadas verticalmente que se utilizan en los servicios de proceso de la industria del petróleo, petroquímica y del gas.	Diseño Fabricación Instalación Operación Mantenimiento
ASME B73 1 ed. 2001	Especificación para succión horizontal de bombas centrífugas de procesos químicos.	Establece las dimensiones principales de las bombas centrífugas horizontales.	Diseño Fabricación Operación Mantenimiento
NACE MR0176- 2012	Especifica propiedades mecánicas de los materiales del cilindro, para la construcción de las bombas lechón – rod para el servicio en ambientes corrosivos en campos petroleros	Especifica los requisitos de materiales metálicos para la construcción de bombas lechón-rod para el servicio en ambientes corrosivos de campos petroleros. Da tablas de materiales recomendados para entornos de corrosión de pérdida de metal leve, moderada y grave, así como tablas de propiedades mecánicas típicas de los materiales de cilindro de la bomba y los materiales de émbolo. Incluye apéndices sobre el caso de los procesos de barriles de bomba de acero reforzada para un entorno de H2S y selección de tipo óptimo de la bomba.	Diseño Fabricación Instalación Operación Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia, apoyado en <https://es.scribd.com/doc/19511233/Normas-Bombas>.

Tabla 4. Normas para equipos de bombeo (continuación).

CAPÍTULO III

DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS

III. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS

Fluido viene de la raíz etimológica latín fluidus, que significa deslizarse. Es aquella sustancia que tiene la capacidad de moverse en ciertos ambientes modificando su forma original, adaptándose a su contenedor o conducto. Es un estado de agregación molecular de la materia con un volumen indefinido, debido a la mínima cohesión que existe entre sus moléculas y una fácil adhesión a superficies sólidas.

En términos coloquiales, se aplica el mismo adjetivo a todo lo que se desliza como fluido vehicular o fluido eléctrico, pero desde el punto de vista de la mecánica existe una acotación, ya que el término solo corresponde a las sustancias líquidas y gaseosas. En ocasiones, se aplica solamente a los líquidos.

Dado que el consumo de los fluidos es vital desde el origen de la organización humana, también es importante su manejo para hacerlo llegar a donde se requiera, y para trasladarlo de un lugar a otro, siendo necesario utilizar sistemas como los equipos de bombeo, por lo que es de gran importancia el conocimiento de las propiedades y el comportamiento de los fluidos. Por eso durante el desarrollo científico y tecnológico, muchos pensadores han aportado su trabajo para la caracterización de los fluidos, y el marco teórico de su estudio es el pilar fundamental para la aplicación de tecnologías para su manejo.

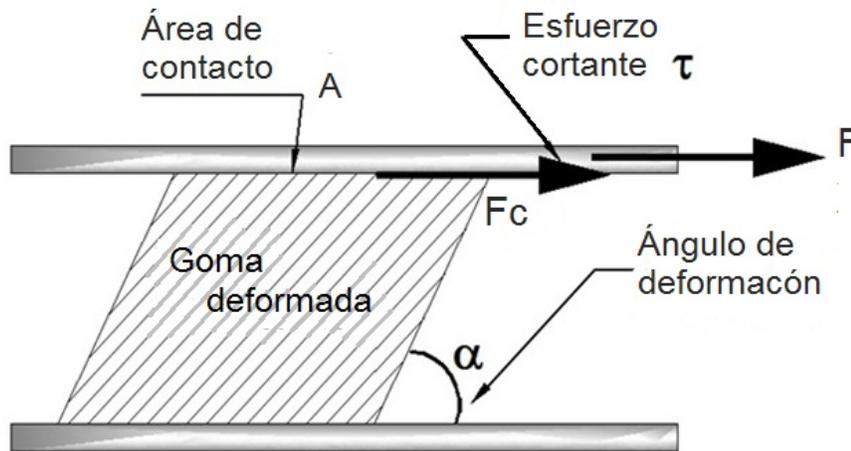
III.1. Los fluidos

Los fluidos son sustancias con cierto estado de agregación y debido a su escasa cohesión molecular carece de forma propia y en tal caso adopta la forma del contenedor o conducto en el cual se transporta. Los fluidos pueden ser líquidos o gases. Ambos se deforman continuamente cuando se les aplica una fuerza tangencial.

Una sustancia existe en tres estados de agregación: sólido, líquido y gas, e inclusive a temperaturas muy elevadas también existe como plasma, en la fase líquida o en la gaseosa se conoce como fluido. La diferencia entre un sólido y un fluido se hace con base en la capacidad de la sustancia para oponer resistencia a un esfuerzo cortante o tangencial aplicado que tiende a cambiar su forma. Un sólido puede oponer resistencia a un esfuerzo cortante aplicado por medio de la deformación, en tanto que un fluido se deforma de manera continua bajo la influencia del esfuerzo cortante.

En los sólidos, el esfuerzo es proporcional a la deformación, pero en los fluidos el esfuerzo

es proporcional a la razón de deformación. Cuando se aplica un esfuerzo cortante constante, llega un momento en que un sólido, a un cierto ángulo fijo, deja de deformarse, en tanto que un fluido nunca deja de deformarse y tiende a cierta razón de deformación. Por ejemplo, si se considera un bloque rectangular de goma colocado de manera apretada entre dos placas, conforme se tira de la placa superior con una fuerza F mientras se mantiene fija la placa inferior, el bloque de goma se deforma (ver figura 37). El ángulo de deformación llamado deformación por esfuerzo cortante o desplazamiento angular, aumenta en proporción a la fuerza aplicada F .



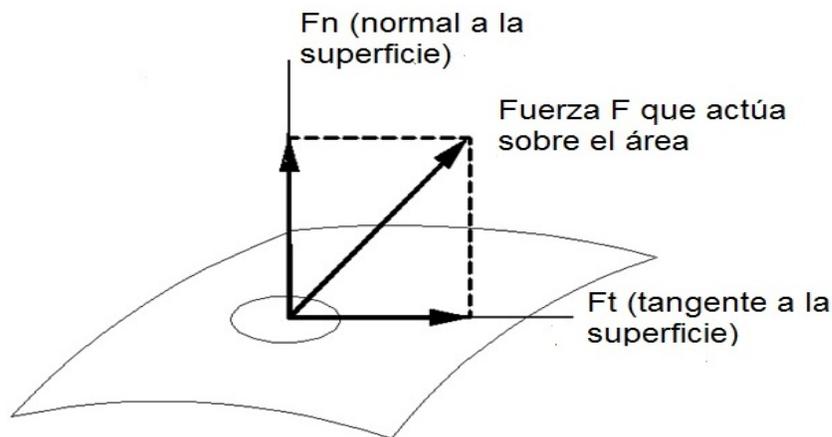
Fuente: Yunus, C. A. & Cimbala, J. M. (2006). Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones.

Figura 37. Comportamiento de los sólidos ante esfuerzos cortantes.

Siguiendo el razonamiento anterior, se supone que no existe deslizamiento entre la goma y las placas, la superficie superior de la goma se desplaza en una cantidad igual al desplazamiento de la placa superior, en tanto que la superficie inferior permanece fija. En el equilibrio, la fuerza neta que actúa sobre la placa en la dirección horizontal debe ser cero y, por consiguiente, una fuerza igual y opuesta a F debe estar actuando sobre esa placa. Cuando se elimina la fuerza, la goma regresa a su posición original. También se observaría este fenómeno con otros sólidos, como un bloque de acero, siempre que la fuerza aplicada no sobrepase el rango elástico.

Si se repitiera el experimento anterior pero con un fluido, la capa de fluido en contacto con la placa superior se movería con ésta en forma continua, a la velocidad de ella, sin importar lo pequeña que sea la fuerza F . La velocidad del fluido disminuye con la profundidad debido a la fricción entre las capas del mismo, llegando a cero en la placa inferior. El esfuerzo se define como fuerza por unidad de área y se determina cuando se divide la fuerza entre el área sobre la cual actúa. La componente normal de una fuerza que actúa sobre una superficie, por unidad de área, se llama esfuerzo normal, y la componente tangencial de una fuerza que actúa sobre una superficie, por unidad de área, se llama esfuerzo cortante (ver

figura 38). En un fluido en reposo, el esfuerzo normal se llama presión. Las paredes del recipiente no ejercen el esfuerzo cortante al fluido en reposo y, de este modo, un fluido en reposo se encuentra en un estado de cero esfuerzo cortante. Cuando se quitan las paredes o se inclina un recipiente con líquido, se desarrolla una fuerza cortante y el líquido salpica o se mueve hasta formar una superficie libre horizontal.



Fuente: Yunus, C. A., & Cimbala, J. M. (2006). Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones.

Figura 38. Diagrama de composición de fuerzas en un fluido.

III.2. Naturaleza de los fluidos

Los fluidos pueden ser líquidos y gases. Desde este punto de vista y para efectos de su estudio, se asume que los líquidos a una presión y temperatura determinada ocupan cierto volumen, y dentro de un conducto o recipiente adoptan la forma del mismo ocupando el volumen que les corresponde. En el caso de los gases confinados en recipiente o conducto muestran un comportamiento similar a los líquidos, pero, cuando se liberan de su recipiente o conducto se expanden sin presentar superficie definida.

En un líquido se pueden mover cantidades grandes de moléculas en relación con las otras, pero el volumen permanece relativamente constante debido a las intensas fuerzas de cohesión entre ellas. Como resultado, un líquido toma la forma del recipiente que lo contiene y forma una superficie libre en un recipiente más grande que esté en un campo gravitacional. Por otra parte, un gas se expande hasta que encuentra las paredes del recipiente y llena el espacio completo del que dispone. Esto se debe a que las moléculas de un gas están espaciadas con amplitud puesto que las fuerzas de cohesión entre ellas son débiles. A diferencia de los líquidos, los gases no pueden formar una superficie libre. Los enlaces intermoleculares son los más fuertes en los sólidos y los más débiles en los gases. Una razón es que las moléculas en los sólidos están muy próximas entre sí, en tanto que en los

gases están separadas por distancias relativamente grandes. En un sólido las moléculas están dispuestas en un patrón que se repite en toda su extensión. En virtud de las distancias pequeñas entre las moléculas en un sólido, las fuerzas de atracción que ejercen éstas sobre cada una de las demás son grandes y las mantienen en posiciones fijas. El espaciado molecular en la fase líquida no es muy diferente al de la fase sólida, excepto que las moléculas ya no se encuentran en posiciones fijas con relación a cada una de las demás pueden girar y trasladarse con libertad. En un líquido, las fuerzas intermoleculares son más débiles respecto a las de los sólidos, pero fuertes en comparación con las de los gases. En general, las distancias entre las moléculas aumentan ligeramente cuando un sólido se vuelve líquido, siendo el agua una excepción notable. En la fase gaseosa las moléculas están demasiado alejadas entre sí y no existen orden molecular. Las moléculas se mueven en todas direcciones al azar, chocan continuamente con cada una de las demás y contra las paredes del recipiente en el cual están contenidas. En particular a bajas densidades, las fuerzas intermoleculares son muy débiles y las colisiones constituyen el único modo de interacción entre las moléculas. Éstas, en la fase gaseosa, están en un nivel de energía considerablemente más alto que en el de la fase líquida o sólida. Por lo tanto, el gas debe liberar una cantidad grande de su energía antes de que pueda condensarse o congelarse.

A manera de síntesis, se concreta que las sustancias en estado de agregación sólida presentan una resistencia al cambio de forma y volumen; los líquidos presentan una resistencia al cambio de volumen pero no de forma y los gases ofrecen poca resistencia al cambio de ambas características. Con esto se puede decir que los sólidos y líquidos son poco compresibles. Por el contrario los gases son muy compresibles. Sin embargo, ningún estado de agregación molecular, ni sólido, ni líquido es estrictamente incompresible. Otra consideración que comparten los líquidos y gases, que en conductos cerrados como tuberías, ambos comparten las mismas características, pero en conductos o contenedores abiertos son distintas, solo los líquidos son capaces de generar una superficie libre.

En realidad los fluidos incompresibles no existen, pero para el efecto de su estudio en ingeniería, se estudian bajo la perspectiva de su incompresibilidad ideal en mecánica de fluidos y de su compresibilidad de termodinámica.

III.3. La importancia del estudio de los fluidos

La incompresibilidad de los líquidos es una propiedad que los caracteriza, para distinguirla de los fluidos gases. No obstante los fluidos tienen ciertos comportamientos cuyo análisis es importante para los proyectos en los sistemas de bombeo. Dependiendo del fluido y de las

condiciones de su manejo se deberán aplicar parámetros de diseño y realizar la selección idónea de la máquina de bombeo que lo impulsará, de los conductos a través de los cuales se trasladará y de los instrumentos de medición y control.

En el tema de los fluidos es de vital importancia conocer sus propiedades y su comportamiento. Ante todo, es fundamental aclarar el concepto de fluido; es aquella sustancia que tiene la capacidad de moverse en ciertos ambientes modificando su forma original, adaptándose a su contenedor o conducto. Es un estado de agregación molecular de la materia con un volumen indefinido, debido a la mínima cohesión que existe entre sus moléculas y una fácil adhesión a superficies sólidas. De manera esquemática, la información necesaria para el diseño de un sistema de bombeo es la siguiente:

- La función o propósito básico del sistema.
- La clase de fluido o fluidos que están en el sistema.
- Las clases de contenedores del fluido o conductos a través de los que fluye.
- Si el fluido circula, qué es lo que ocasiona que ocurra esto.
- Descripción de la trayectoria del flujo.
- Las componentes del sistema que oponen resistencia a la circulación del fluido.
- Las características del fluido que son importantes para el rendimiento adecuado del sistema.

Los fluidos tienen características físicas generales propias de otras sustancias como presión, masa, volumen, gasto, etc., y por otro lado poseen propiedades específicas inherentes a su propia composición que las diferencian unas de otras. De esta manera se pueden caracterizar y cuantificar, además de comparar con otros y predecir su comportamiento mediante leyes. Entre otras propiedades de los fluidos son la cohesión, adhesión, tensión superficial, densidad, peso específico, viscosidad, las cuales son diferentes entre fluidos de acuerdo a la sustancia.

Desde el punto de vista de su comportamiento, los fluidos se pueden dividir en dos categorías: newtonianos y no newtonianos.

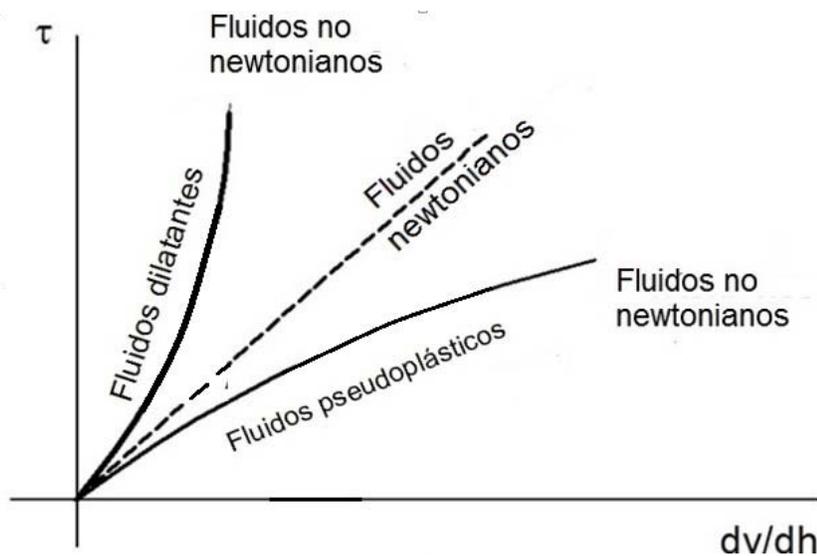
Un fluido newtoniano es un fluido cuya viscosidad puede considerarse constante en el tiempo. La curva que muestra la relación entre el esfuerzo contra su índice de deformación es lineal y pasa por el origen. Un buen número de fluidos comunes se comportan como fluidos newtonianos bajo condiciones normales de presión y temperatura; como lo es el aire, el agua, la gasolina, el vino y algunos aceites minerales.

Un fluido no newtoniano es aquel cuya viscosidad varía con la temperatura y presión, pero no

con la variación de la velocidad. Estos fluidos se pueden caracterizar mejor mediante otras propiedades que tienen que ver con la relación entre el esfuerzo y los tensores de esfuerzos bajo diferentes condiciones de flujo, tales como condiciones de esfuerzo cortante oscilatorio. El aceite, derivados asfálticos, los adhesivos, la miel y los geles que son ejemplos de fluidos no newtonianos.

El estudio de la deformación y las características del flujo de las sustancias se denomina Reología (campo que estudia la viscosidad de los fluidos). La importancia de esta disciplina radica en saber si un fluido es newtoniano o no newtoniano. A cualquier fluido que se reaccione ante un esfuerzo constante con viscosidad constante se le llama fluido newtoniano. La viscosidad es una propiedad que es función específica de su temperatura. El cambio de velocidad no tiene efectos sobre la magnitud.

Por otro lado, los fluidos que no se comportan con la característica del fluido newtoniano son considerados fluidos no newtonianos. En la figura 39 se muestra gráficamente la diferencia entre ambos. La viscosidad (τ) en un fluido no newtoniano depende del gradiente de velocidad (dv/dh), además de la condición del fluido.



Fuente: Mott, R. L. (2006). Mecánica de fluidos. México, D.F.: Pearson Prentice Hall Educación

Figura 39. Gráfica de fluidos newtonianos y no newtonianos.

III.4. Propiedades de los fluidos

Las propiedades que se contemplan en el análisis del flujo de fluidos, son las propiedades intensivas y extensivas, además de las definiciones de densidad y gravedad específica. A

estos temas se incluyen las propiedades de presión de saturación de vapor. En las sustancias incompresibles, se analiza el coeficiente de compresibilidad. También se incluye la propiedad de viscosidad, la cual tiene un papel dominante en la mayor parte de los aspectos del flujo de fluidos. Por último, se presenta la propiedad de tensión superficial y se determina el ascenso por capilaridad a partir de las condiciones de equilibrio estático. La propiedad de presión se analiza desde el punto de vista de la dinámica de fluidos.

Son propiedades físicas de los fluidos líquidos, aquellas que son parte inherente ante un fenómeno mecánico y que se pueden cuantificar directa o indirectamente, y que ante fenómenos similares, cada sustancia presenta valores diferentes.

III.4.1. Incompresibilidad

La Incompresibilidad es una propiedad de los fluidos que está relacionada con las fuerzas aplicadas en la superficie del fluido, dado que están sujetos a tensiones o cargas es lógico asumir que la tarea de soportar la carga la realiza la superficie total del fluido.

Cuando el fluido, al aplicarle una fuerza no sufre deformación en el volumen que ocupa, se dice que no se puede comprimir, por lo que presenta el fenómeno de incompresibilidad. Esta es una propiedad propia de los fluidos líquidos, a diferencia de los gases como por ejemplo el aire, el cual sí está sujeto a la deformación por compresión. Basta una jeringa de uso médico para comprobar la diferencia de comportamiento entre estos dos fenómenos.

De acuerdo a lo anterior, la compresibilidad se refiere al cambio de volumen que sufre una sustancia cuando se afecta por un cambio de presión. La cantidad usual que se emplea para medir este fenómeno es el módulo volumétrico de elasticidad ó módulo volumétrico (E):

$$E = - \frac{\Delta P}{\frac{\Delta V}{V}}$$

Donde:

ΔP : incremento de presión

ΔV : incremento de volumen

V: volumen

III.4.2. Viscosidad

La viscosidad se define como la resistencia que un fluido opone a su deformación en situación de movimiento. Un indicador de la misma es la facilidad con que fluye sobre una superficie. Por ejemplo, si en un plano inclinado se deja resbalar agua, aceite y pintura, los tres experimentarán diferentes velocidades al fluir. El agua resbalará más rápido, después el aceite y por último la pintura.

El calor tiene efectos sobre los fluidos, la viscosidad disminuye con la reducción de densidad que tiene lugar al aumentar la temperatura. En un fluido menos denso hay menos moléculas por unidad de volumen que puedan transferir impulso desde la capa en movimiento hasta la capa estacionaria. Esto, a su vez, afecta a la velocidad de las distintas capas. El momento se transfiere con más dificultad entre las capas y la viscosidad disminuye. En algunos líquidos, el aumento de la velocidad molecular compensa la reducción de la densidad. Los aceites de silicona, por ejemplo, cambian muy poco su tendencia a fluir cuando cambia la temperatura, por lo que son muy útiles como lubricantes cuando una máquina está sometida a grandes cambios de temperatura.

El fluido se mueve por capas de flujo. Las moléculas de la primera capa sufren la adhesión al material del conducto por el que es transportado y las capas más alejadas fluyen hasta que rompen con la cohesión molecular también en capas. En palabras técnicas, cuando un fluido empieza a desplazarse bajo la influencia de una fuerza, las moléculas de las capas estacionarias del fluido deben vencer la frontera de moléculas cohesionadas para entrar en la región de flujo. Una vez cruzada la frontera de resistencia, estas moléculas reciben energía de las que están en movimiento y comienzan a fluir. Debido a la energía transferida, las moléculas que ya estaban en movimiento reducen su velocidad. Al mismo tiempo, las moléculas de la capa de fluido en movimiento cruzan el límite en sentido opuesto y entran en las capas estacionarias, transmitiendo un impulso a las moléculas estacionarias. El resultado final de este movimiento en dos direcciones opuestas es que el fluido en movimiento reduce su velocidad, el fluido estacionario se pone en movimiento, y las capas en movimiento adquieren una velocidad media.

Para lograr que una capa se mantenga en movimiento es necesario aplicar una fuerza continua. De ahí que es necesaria la intervención de la energía potencial o de una máquina que aporte esa fuerza.

III.4.2.1. Viscosidad dinámica

En la viscosidad dinámica conforme un fluido se mueve, se desarrolla dentro del mismo un esfuerzo cortante cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido. Se define al esfuerzo cortante que finalmente resulta como una presión la cual se expresa:

$$\tau = \frac{F_c}{A}$$

Donde:

τ : *esfuerzo cortante (N/m² ó Pa)*

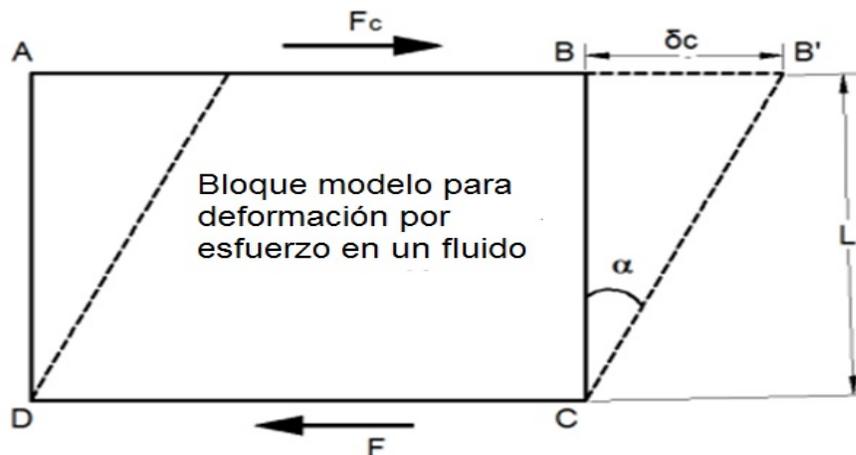
F_c : *fuerza cortante (N)*

A : *área (m²)*

En los fluidos, la deformación aumenta constantemente bajo la acción del esfuerzo cortante, por pequeño que este sea. Para ilustrar esto supóngase un elemento de forma rectangular (ver figura 40) en un cuerpo sólido sujeto a un esfuerzo cortante. Si ese elemento estuviera sujeto a tracción experimentaría un aumento de longitud, pero el elemento sujeto a un esfuerzo cortante, sufre un cambio de forma llamado deformación unitaria por esfuerzo cortante, denotado por:

$$\varepsilon_c = \frac{\delta_c}{L}$$

En cambio, un fluido no ofrece resistencia a la deformación por esfuerzo cortante. Esa es la diferencia principal entre fluidos y sólidos.



Fuente: Mataix, C. (1986). Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. Madrid, España.

Figura 40. Sólido sometido a cortante.

La figura 41, ilustra el concepto de cambio de velocidad en un fluido con el esquema de una capa delgada de fluido entre dos superficies, una de las cuales es estacionaria, en tanto que la otra está en movimiento. Una condición fundamental, cuando un fluido real está en contacto con una superficie de frontera, es que el fluido tenga la misma velocidad que ésta. Según la figura, parte del fluido en contacto con la superficie inferior tiene una velocidad igual a cero, y aquella en contacto con la superficie superior tiene una velocidad v . Si la distancia entre las dos superficies es pequeña, entonces la tasa de cambio de la velocidad con posición v es lineal. Es decir, varía en forma lineal. El gradiente de velocidad es una medida del cambio de velocidad, y se define como:

$$\tau = \eta \frac{\Delta v}{\Delta y} \quad \text{Ecuación de Newton para la viscosidad}$$

Donde:

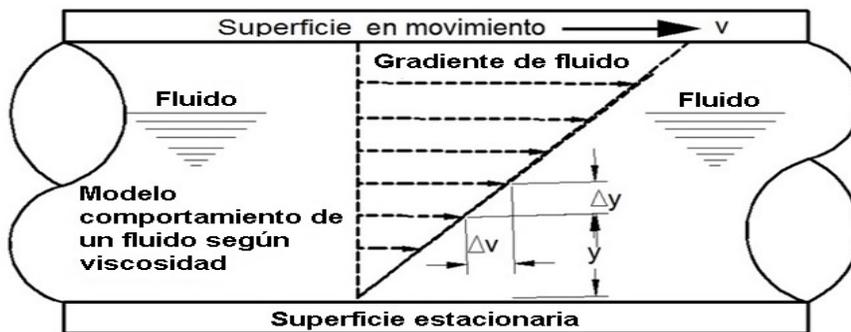
τ : *esfuerzo cortante (N)*

η : *viscosidad dinámica en (Pa · s)*

Δv : *incremento de velocidad (m/s)*

Δy : *incremento de distancia entre superficies (m)*

Es probable que se esté familiarizado con algunos ejemplos de la variación de la viscosidad de un fluido con la temperatura. Por lo general, es muy difícil hacer que el aceite para motores escurra si está frío, lo que indica que tiene viscosidad elevada. Conforme aumenta la temperatura del aceite, su viscosidad disminuye en forma notable.



Fuente: Mott, R. L. (2006). Mecánica de fluidos. México, D.F.: Pearson Prentice Hall Educación.

Figura 41. Viscosidad dinámica de los fluidos.

Todos los fluidos muestran un comportamiento similar, reaccionando frente al calor modificando su viscosidad hasta cierto grado. Existen gráficas que presentan los cambios de

Fluido	Temperatura (°C)	Viscosidad dinámica (N-s/m ² o Pa-s)
Agua	20	1.0x10 ⁻³
Gasolina	20	3.1x10 ⁻⁴
Aceite SAE 30	20	3.5x10 ⁻¹
Aceite SAE 30	80	1.9x10 ⁻²

Fuente: Mott, R. L. (2006). Mecánica de fluidos. México, D.F.: Pearson Prentice Hall Educación.

Tabla 5. Valores de viscosidad de fluidos.

la viscosidad dinámica en función de la temperatura para muchos líquidos comunes. En estas gráficas la viscosidad se grafica en escala logarítmica, debido al rango amplio de valores numéricos. También existen tablas sintetizadas con valores de viscosidad dinámica (ver tabla 5).

III.4.2.2. Viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática no toma en cuenta a las fuerzas que intervienen en el movimiento. Por lo tanto, este tipo de viscosidad depende de la viscosidad dinámica del fluido por la razón de su densidad recíproca.

Se calcula con el apoyo de la figura 42.

$$\nu = \eta \left(\frac{1}{\rho} \right)$$

Donde:

ν : viscosidad cinemática (m²/s ó Miriastroke)

η : viscosidad dinámica en (Pa · s)

ρ : densidad del fluido (kg/m³)

III.4.3. Presión de saturación de vapor o cavitación

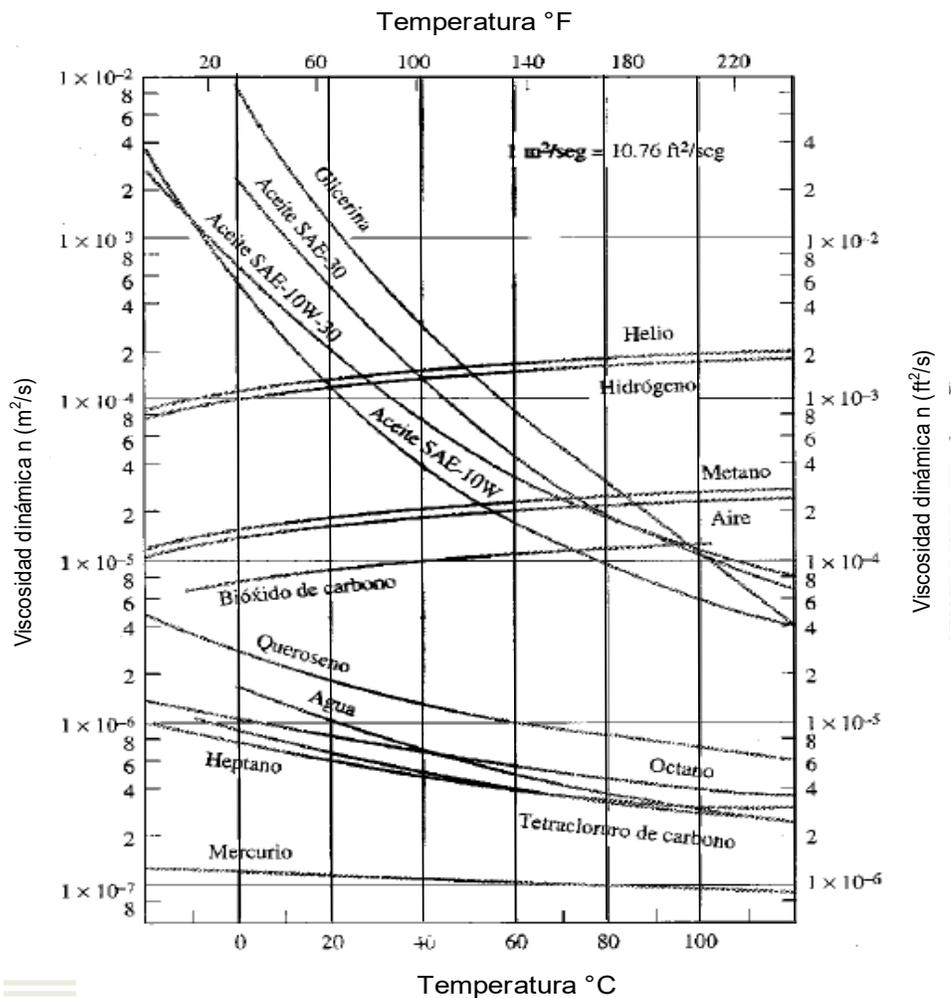
Una de las aplicaciones de los fluidos es el impulso por medio de bombas y una red de tuberías. Por un lado el análisis de presiones es importante para el diseño de un sistema de bombeo y selección de la bomba. Por otro lado, es conveniente evitar ciertas condiciones de

operación que repercutan en daño a los materiales del equipo y sistema de conducción. Por eso es importante conocer la presión y los efectos del manejo inadecuado de la misma.

Presión: como se menciona en el capítulo dos los efectos que producen las fuerzas dependen de la magnitud de las mismas y del área sobre la cual se aplican.

Aunque la presión es un fenómeno general, es particularmente importante en los fluidos ya que es un parámetro determinante en el movimiento de fluidos.

Los fluidos están sujetos a enormes variaciones de presión en función del sistema en el que se utilizan. Si en un contenedor existe un líquido en reposo, sobre el mismo existe una presión del aire llamada presión atmosférica producto del peso del aire. Si en el fondo del mismo contenedor existe un objeto, este estará sujeto a la presión atmosférica y a la presión por efecto del peso del fluido, denominada presión hidrostática. Dichas presiones se cuantifican como altura en columnas de aire y de fluido.



Fuente: Mott, R. L. (2006). Mecánica de fluidos. México, D.F.: Pearson.

Figura 42. Viscosidad cinemática-temperatura.

Cuando una sustancia fluye por un conducto, por ejemplo una tubería, la presión interior resulta más grande que la atmosférica por lo que el fluido escapa con rapidez del conducto. Si el contenedor y conducto están confinados, es común que el fluido de potencia, aceite normalmente, se mantenga a una presión elevada que permita ejercer una enorme fuerza. Este sistema se usa en equipos de construcción o dispositivos automáticos para levantar grandes cargas.

Desde el punto de vista de su medición, se pueden obtener presiones atmosféricas, manométricas y de vacío. Y para calcular la suma de las presiones que actúan sobre un fluido, sea en reposo o movimiento, se emplea el concepto de presión absoluta, que es la suma de las presiones manométrica y atmosférica.

Presión de saturación de vapor o cavitación.

La presión de saturación de vapor o cavitación, usada principalmente en la selección de bombas y tuberías.

La presión de saturación de vapor se presenta cuando se crea una presión como resultado del vapor que se forma debido a las moléculas de líquido que se escapan.

Existen tres condiciones en el manejo de los fluidos:

- Cuando se crea una presión como resultado del vapor que se forma debido a las moléculas de líquido que se escapan.
- Cuando un número determinado de moléculas que abandonan la superficie del líquido es igual al número de moléculas que entran en la superficie, se alcanza lo que se llama la condición de equilibrio.



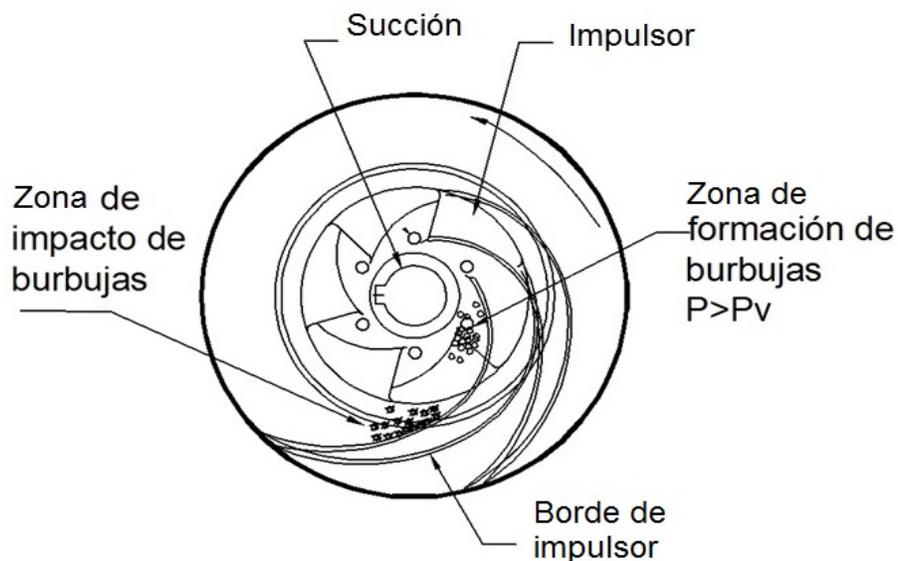
Fuente: Cavitación en las bombas de agua-Peligro de su inmersión.

Figura 43. Efectos de la cavitación en el impulsor.

- Cuando el número de moléculas que escapan de la superficie del líquido es mayor al que entran, se dice que el vapor está saturado y cuando la presión de vapor saturado es mayor que la presión del líquido se presenta el fenómeno de la cavitación.

En el estado de cavitación, los fluidos presentan las siguientes condiciones:

Las burbujas de vapor se rompen con la intensidad suficiente para provocar importantes daños estructurales en los impulsores, carcasas y cualquiera de los componentes metálicos (ver figura 43). Además se presentan pérdidas de presión que impiden la conducción del líquido de forma homogénea. En el caso de los impulsores de equipos de bombeo, las burbujas se forman a la entrada de su borde y se rompen a mitad de trayecto de impulso (ver figura 44).



Fuente: Hicks.T.G. (1981). Bombas. su selección v aplicación.

Figura 44. Fenómeno de cavitación en impulsores de equipos de bombeo.

III.4.4. Densidad absoluta, densidad relativa y peso específico

La densidad, una propiedad de todos los fluidos, consiste en conocer la cantidad de materia de acuerdo a su estado de agregación molecular. Se define matemáticamente como una magnitud que relaciona la cantidad de masa por unidad de volumen.

Existen dos tipos de magnitudes de la densidad, una llamada absoluta que relaciona la masa con el volumen en donde está contenido el fluido y otra denominada densidad relativa, que relaciona la densidad del fluido con el parámetro de referencia que es la densidad del agua.

III.4.4.1. Densidad absoluta o masa específica

La ecuación que la define es la siguiente:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

ρ : densidad (kg/m^3)

m : masa (kg)

V : volumen (m^3)

III.4.4.2. Densidad relativa

La densidad relativa de cualquier fluido es un número adimensional, puesto que es una razón con respecto a una densidad de referencia. Matemáticamente se define por la ecuación siguiente:

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_s}$$

Donde:

ρ_r : densidad relativa del fluido

ρ : densidad del fluido (kg/m^3)

ρ_s : densidad de la sustancia de referencia (kg/m^3)

Normalmente la densidad de referencia es la del agua.

III.4.4.3. Peso específico

El peso específico es la relación que existe entre el peso del fluido por unidad de volumen. Se expresa de la siguiente manera:

$$\gamma = \frac{W}{V} = \rho g$$

Donde:

γ : peso específico (N/m^3)

W : peso (N)

V : volumen (m^3)

ρ : densidad del fluido (kg/m^3)

g : aceleración de la gravedad = $9.81 m/s^2$

III.4.4. Tensión superficial, cohesión, adhesión y capilaridad

En muchos proyectos es necesario introducir la propiedad de tensión superficial de los fluidos. Se podría experimentar la tensión superficial del agua, se trata de hacer que un objeto se sostenga en la superficie en vez de que se hunda, como quizá se hubiera pensado. Por ejemplo, es muy fácil colocar una aguja pequeña sobre una superficie de agua tranquila, de modo que la tensión superficial la sostenga. Observe que no hay un sostén significativo que se deba a la flotación. Si la aguja se sumergiera, se hundiría rápido hasta el fondo.

Entonces, si se coloca en el agua una cantidad pequeña de detergente para lavar trastos mientras la aguja es té sostenida, se hundirá casi de inmediato. Esto se debe a que el detergente disminuye mucho la tensión superficial.

En realidad la tensión superficial es el resultado de la propiedad de cohesión propia de las moléculas que actúan como una película en la frontera entre la superficie del líquido y el aire sobre ella. Las moléculas de agua por debajo de la superficie se ven atraídas una por la otra y por aquellas que están en la superficie. En forma cuantitativa, la tensión superficial se mide como el trabajo por unidad de área que se requiere para llevar las moléculas de la parte inferior hacia la superficie del líquido. Las unidades resultantes son la fuerza por unidad de longitud, como N/m . De la misma forma, en el caso del agua, la tensión superficial es la consecuencia de que las gotas de agua adopten un arreglo casi esférico.

Existen tablas que indican la propiedad de la tensión superficial y que se pueden consultar en varias fuentes, además son fáciles de obtener.

Por otra parte, la capilaridad depende de la tensión superficial y de la propiedad de adhesión

de los líquidos para desplazarse adherido a las superficies sólidas. La capilaridad es el fenómeno por el cual un líquido asciende por tubos muy estrechos. El líquido asciende debido a las fuerzas atractivas entre sus moléculas y la superficie interior del tubo. Estas fuerzas son las llamadas fuerzas de adhesión, rompiendo el efecto de las fuerzas intermoleculares llamadas cohesión. En la tabla 6 se muestran diferentes valores de algunas propiedades del agua.

Temperatura (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Módulo de elasticidad (N/m ²)	Viscosidad cinemática (m ² /s)	Tensión superficial (N/m)	Presión de vapor (kPa)
0	999.8	1.90×10^{-9}	1.785×10^{-6}	0.0756	0.61
5	1000.0	2.05×10^{-9}	1.519×10^{-6}	0.0749	0.87
10	999.7	2.10×10^{-9}	1.306×10^{-6}	0.0742	1.23
15	999.1	2.15×10^{-9}	1.140×10^{-6}	0.0735	1.70
20	998.2	2.17×10^{-9}	1.003×10^{-6}	0.0728	2.34
25	997.0	2.22×10^{-9}	0.893×10^{-6}	0.0720	3.17

Fuente: Yunus, C. A., & Cimbala, J. M. (2006). Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones.

Tabla 6. Propiedades del agua a diferentes temperaturas.

CAPÍTULO IV

SELECCIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO

IV. SELECCIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO

La selección de un sistema de bombeo, más que un procedimiento de cálculo es una estrategia en la cual se combinan una serie de procedimientos de obtención de datos básicos, aplicación de la teoría de los fluidos, cálculos de parámetros de diseño y decisiones en cuanto al equipo de bombeo con base al abanico de posibilidades que ofrece el mercado.

La información bibliográfica, tanto de libros como de proveedores o fabricantes, se pueden encontrar muchos procedimientos de cálculo, sin embargo, en cualquier proyecto, se deben adaptar teorías, procedimientos de cálculo y elección de equipo tomando las condiciones y requerimientos especiales del proyecto.

El estudiante o profesional de la ingeniería civil, debe tener nociones de la estrategia de selección de equipos de bombeo con procedimientos que faciliten el trabajo al momento de su aplicación. Dado que los proyectos son trabajos multidisciplinarios, debe concentrar sus esfuerzos en algunas tareas que deben realizar, tal como saber dónde encontrar información y a quién recurrir para obtenerla. Cabe destacar que en la etapa de selección, el calculista debe interactuar con los representantes del fabricante para realizar una selección correcta con base a las ofertas de mercado.

En este trabajo se presenta primero la teoría de los fluidos que dan soporte científico al procedimiento, después un procedimiento de cálculo como guía para obtener los parámetros de diseño y en la parte final un procedimiento para la selección donde se incluyen la elaboración de especificaciones y los requerimientos de usuario como soporte para la requisición.

IV.1. Principios de hidrostática

La hidrostática aporta para el procedimiento de cálculo las nociones de presión. Dado que un equipo de bombeo es un punto donde se toma un fluido y se le aporta impulso para hacerlo llegar a otro punto, se tendrán ciertas condiciones de succión y de descarga. Reduciéndose a presiones, llamadas cargas.

En un sistema de bombeo existen presiones que favorecen y por otro lado presiones que se deben vencer. Las presiones que gobiernan el comportamiento de un fluido son:

La presión atmosférica o barométrica: la que ejerce el aire sobre el punto en análisis y depende de la altitud.

La presión hidrostática: la presión que ejerce el agua sobre un punto en análisis. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P_h = \rho gh$$

IV.1.1.Principio de Pascal

Postula que la consecuencia de que la presión en un fluido permanezca constante en la dirección horizontal consiste en que la fuerza aplicada a un fluido confinado aumenta la fuerza en toda la extensión y todos los puntos de éste en la misma proporción.

De acuerdo al principio de Pascal, cuando se tiene fluido confinado, la relación entre presiones de un punto de entrada y otro de salida en condiciones de confinación total (sin interacción de la presión atmosférica) es la siguiente:

$$P_1 = P_2$$

Sabiendo que:

$$P = \frac{F}{A},$$

Por lo tanto:

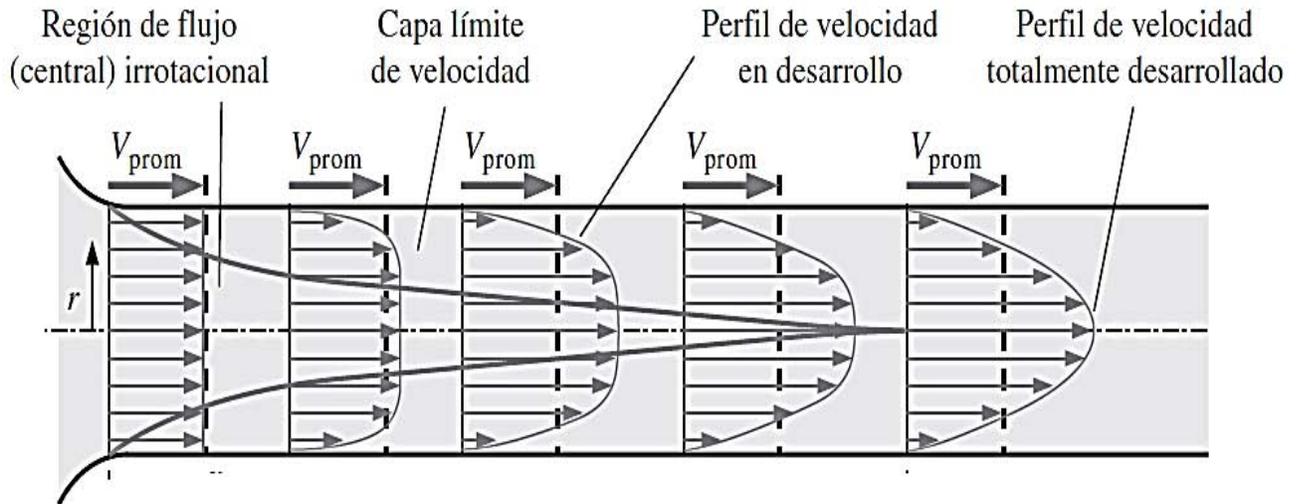
$$F_1 = F_2 \frac{A_1}{A_2}$$

IV.1.2.Perfil de velocidades en flujo en tuberías

En la gran mayoría de los casos el flujo de líquidos se realiza por medio de tuberías circulares. La razón es porque las tuberías con una sección transversal circular pueden resistir grandes diferencias de presión entre el interior y el exterior sin distorsión considerable.

La velocidad del fluido en una tubería, por efectos de su viscosidad, obedece a un gradiente desde cero en la superficie interior debido a la condición de no-deslizamiento hasta un máximo en el centro de la tubería (ver figura 45). En esta situación, es conveniente trabajar con una velocidad promedio, que permanece constante en un flujo incompresible. Cuando el área de la sección transversal de la tubería es constante, aunque la densidad sufre cierta variación con el calor producto del rozamiento, en la práctica, se evalúan las propiedades del

fluido a cierta temperatura promedio y se le trata como una constante. En cuanto a transferencia de energía, para efectos prácticos, se consideran ciertas condiciones del flujo como constantes debido a que no es sensiblemente detectable y no se traducen en pérdidas de presión.

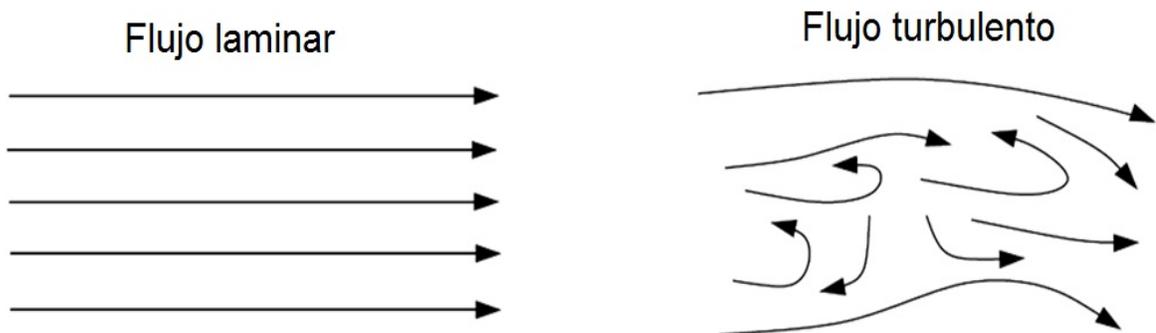


Fuente: Yunus, C. A., & Cimbala, J. M. (2006). Mecánica de fluidos, fundamentos v aplicaciones.

Figura 45. Perfil de velocidades en un fluido circulando por tubería.

IV.1.3. Flujo laminar, flujo turbulento, número de Reynolds y Teorema de Torricelli

Flujo laminar: es aquel que se mueve ordenado en láminas paralelas sin interponerse. Las capas de moléculas adyacentes se deslizan suavemente entre sí, y debido a la geometría de flujo que forman se llama “aerodinámico”. Este tipo de fluido transita a velocidades relativamente bajas o viscosidades altas (ver figura 46).



Fuente: Yunus, C. A., & Cimbala, J. M. (2006). Mecánica de fluidos, fundamentos v aplicaciones.

Figura 46. Comportamiento de los fluidos.

Flujo turbulento: cuando su desplazamiento es irregular, caótico y además impredecible. Sus moléculas se mueven sin orden formando pequeños remolinos sin período ni geometría definida y cuando parecen obstáculos en su trayectoria sus velocidades son altas (ver figura 46).

Cuando los fluidos transitan por las tuberías, se presenta el fenómeno de la transición que va de flujo laminar a turbulento, fenómeno que estudió Osborne Reynolds y relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo quien descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido como resultado del esfuerzo cortante. Para un fluido que circula por el interior de una tubería circular recta, el número de Reynolds viene dado por:

$$R_e = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$

O equivalentemente por:

$$R_e = \frac{v_s D}{\nu}$$

Donde:

ρ : densidad del fluido

v_s : velocidad característica del fluido

D : diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema

μ : viscosidad dinámica del fluido (ver figura 47)

ν : viscosidad cinemática del fluido (m^2/s)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

En las aplicaciones prácticas, los flujos se encuentran dentro del rango laminar o dentro del turbulento. Dada esta circunstancia esta zona de incertidumbre no representa gran problema. En caso que el flujo sea crítico, la práctica usual es cambiar la tasa de flujo o el diámetro del tubo para hacer que el flujo sea en definitiva laminar o turbulento.

El cálculo del Número de Reynolds es importante debido a que junto con el valor de la velocidad del fluido, se puede correlacionar en las tablas de Moody para determinar el factor

de fricción a considerar en las pérdidas de carga por este parámetro (ver figura 48) y así mismo el NPSH (Net Positive Suction Head) o Carga Neta Positiva de Succión en un equipo de bombeo.

En ocasiones se deben realizar cálculos más cuidadosos, por lo que se recomienda realizar el cálculo del factor de fricción con algunos ajustes según el tipo de régimen del fluido de acuerdo a la correlación de Colebrook-White (ver tabla 7).

Teorema de Torricelli

En algunos casos, el flujo de un líquido partirá de un depósito o tanque que se encuentre en un nivel superior al del equipo de bombeo. En tal caso se debe considerar la velocidad de partida del flujo que circula por tuberías, la cual retomará un equipo de bombeo para favorecer su impulso. Además se utilizará la ecuación derivada de la de Bernoulli, que se simplifica como:

$$v = \sqrt{2gh}$$

Donde:

v: velocidad

h: altura hidrostática

g: gravedad

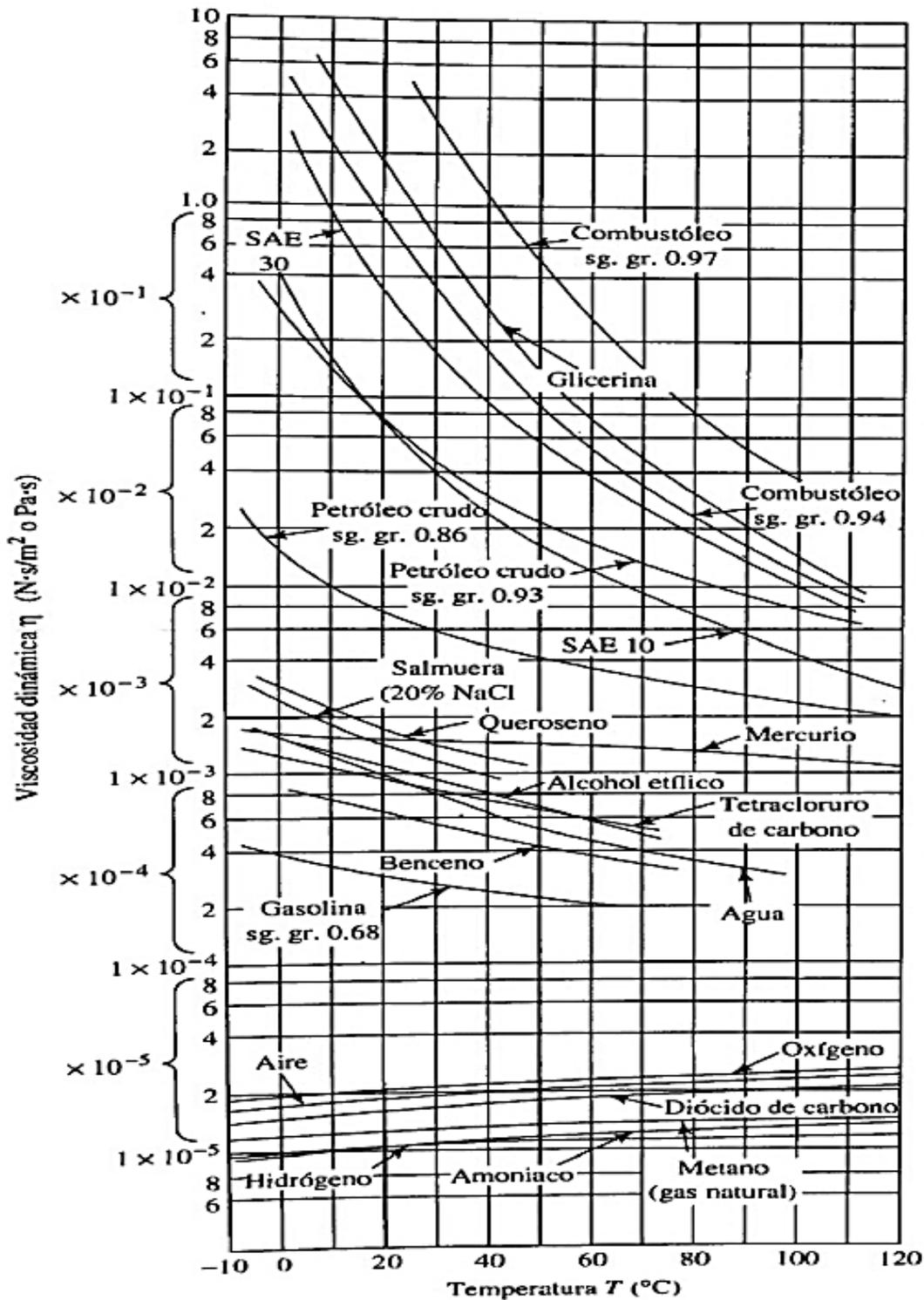
IV.2. Parámetros de diseño

La selección del equipo de bombeo puede llegar a complicarse si no se tienen datos precisos para el cálculo de parámetros de diseño.

Para la selección correcta, se requiere conocer las condiciones en que trabajará el equipo de bombeo. Si no se atiende de forma puntual a los requisitos del sistema ni a la eficiencia, se puede hacer una selección equivocada del equipo. Las consecuencias serán un manejo irregular del gasto y la eficiencia del equipo de bombeo. Así mismo, una mala operación crea varios problemas; por ejemplo se puede incurrir en bajo factor de potencia por trabajar fuera de su potencia nominal.

Los equipos de bombeo se diseñan para operar eficientemente a una carga, un gasto y una velocidad específica. A este punto de operación, se le conoce como “el punto de mejor eficiencia”. La eficiencia del equipo de bombeo debe garantizar estar acorde con el punto de

operación denominado “punto de intersección de la curva gasto-carga” y la línea recta que va desde el origen y pasa a través del punto de operación garantizado.



Fuente: Yunus, C. A., & Cimbala, J. M. (2006). Mecánica de fluidos, fundamentos v aplicaciones.

Figura 47. Diagrama para determinar la viscosidad dinámica de varios tipos de líquido con base en la temperatura en unidades del SI.

Nombre Comportamiento	Número de Reynolds	Rugosidad adimensional	Correlación Colebrook-White
Laminar	$Re < 2,500$	No afecta	$f = 64/Re$
Intermedio	$2,500 < Re < 10,000$		$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}}$
Turbulento liso	$10,000 < Re$	$\epsilon < 5$	$f = 0.0032 \frac{0.221}{Re^{0.237}}$
Turbulento parcialmente rugoso		$5 < \epsilon < 70$	$f = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.72 D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$
Turbulento rugoso		$70 < \epsilon$	$f = \left(\frac{\epsilon}{1.1 + \log_{10}(\epsilon/D)} \right)^2$

Fuente: Yunus, C. A., & Cimbala, J. M. (2006). Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones.

Tabla 7. Ecuaciones de ajuste al factor de fricción según comportamiento de fluido.

Un sistema de bombeo no es un problema típico, pues existen múltiples casos y circunstancias que tienen que ver con el tipo de fluido y su caracterización, el volumen de fluido por unidad de tiempo que se debe proveer o desalojar, las circunstancias de la localización del proyecto, su ubicación geográfica del lugar, la disponibilidad de energía eléctrica que accionará el equipo de bombeo y su ubicación, las trayectorias de tuberías de conducción.

Con referencia de lo anterior, se puede decir que para el manejo de agua potable hay muchas posibilidades, por ejemplo:

Fuentes de suministro: ríos, lagos, lagunas, manantiales, pozos profundos, cisternas, tanques, etc.

Líneas de conducción: descarga directa a canales, tuberías de acero, tuberías de PVC y otros materiales.

Tipos de descarga: directa a cielo abierto, cisternas, tanques, redes municipales, etc.

Tipos de bombas: de superficie, sumergibles en fluido, de pozo profundo, horizontal o vertical en puntos específicos.

Se puede concluir que intervienen como variables la localización geográfica, condiciones ambientales, normatividad local y nacional, se puede mencionar que los proyectos de los sistemas de bombeo tienen múltiples variables pero en la obtención de sus parámetros se debe condensar en el análisis y cálculo de variables fijas que se deben adaptar a las circunstancias del proyecto.

IV.2.1. Gasto o caudal, diámetro y velocidades del fluido.

El gasto o caudal, es la razón del volumen de fluido por unidad de tiempo. Es necesario conocer las relaciones que guarda el gasto con otras variables:

$$Q = \frac{V}{t} \text{ Donde:}$$

Q: gasto o caudal

V: volumen

t: tiempo

Por otro lado, los medios de conducción del fluido tienen una sección y una distancia que transitar, entonces se genera un volumen:

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{A d}{t}$$

Notando que la velocidad se define como:

$$v = \frac{d}{t}$$

Finalmente se puede expresar al gasto:

$$Q = Av$$

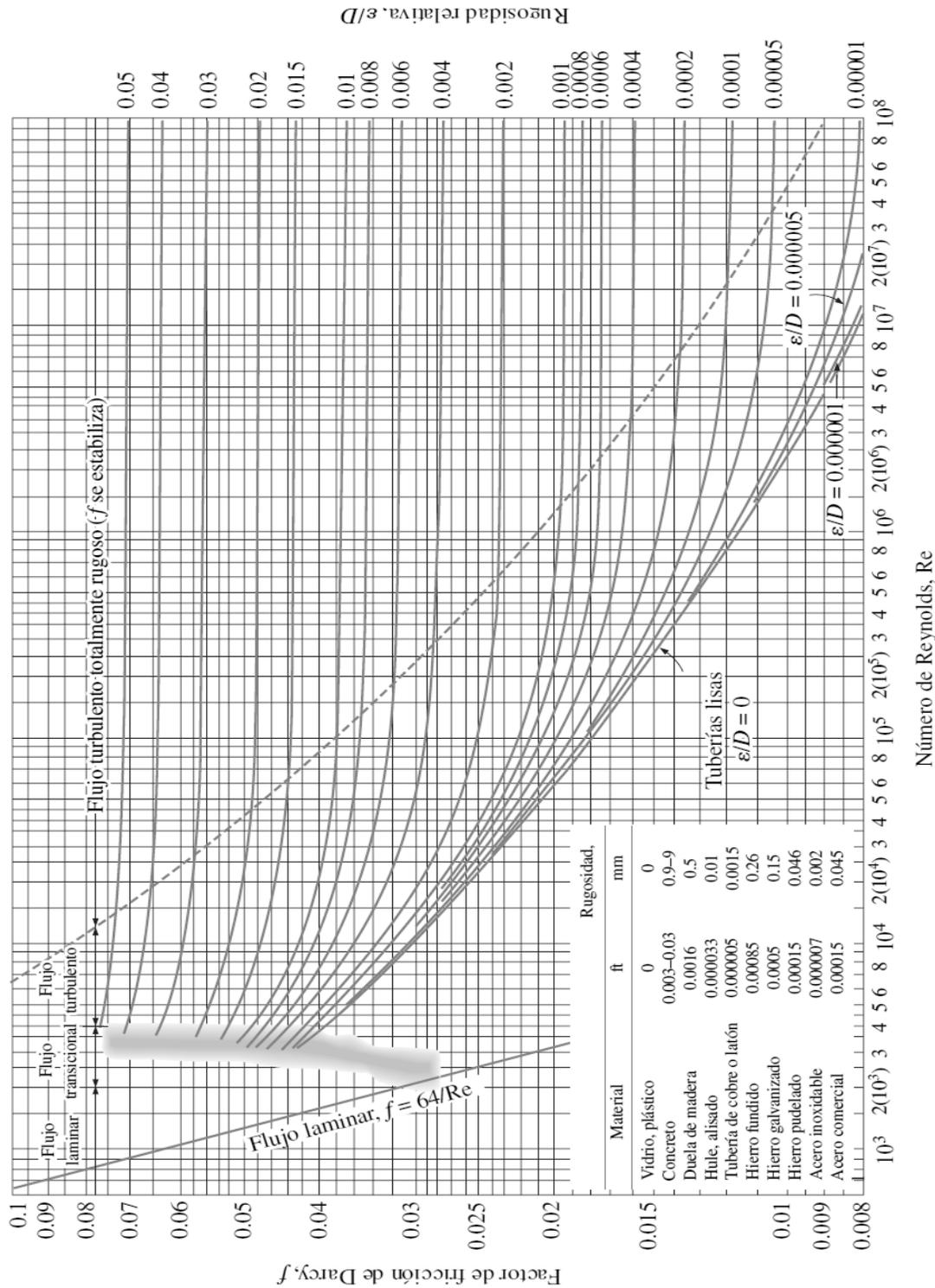
Donde:

A: área de la sección correspondiente

v: velocidad de fluido en el punto correspondiente

Algunos casos donde está implicado el gasto para determinados usos son:

- Volumen de agua que requiere cierta población en determinado tiempo.
- Volumen de efluentes pluviales que se deben desalojar en cierto tiempo.
- Volumen de agua que requiere un proceso industrial por determinado tiempo.
- Volumen de gasolina que debe conducir un ducto en determinado tiempo.
- Volumen de concreto hidráulico que debe suministrarse a una obra en cierto tiempo o volumen que debe circular por la tubería de suministro.



Fuente: Fuente: Sotelo Dávila Gilberto (2010). Hidráulica General Vol. 1

FIGURA A-12

El diagrama de Moody para el factor fricción para flujo totalmente desarrollado en tuberías circulares para usar en la relación de pérdida de carga $h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$. Los factores de fricción en el flujo turbulento se evalúan a partir de la ecuación de Colebrook $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$.

Figura 48. Diagrama de Moody para la obtención del factor fricción.

- Cantidad de efluentes industriales que desecha una industria y debe pasar a tratamiento.

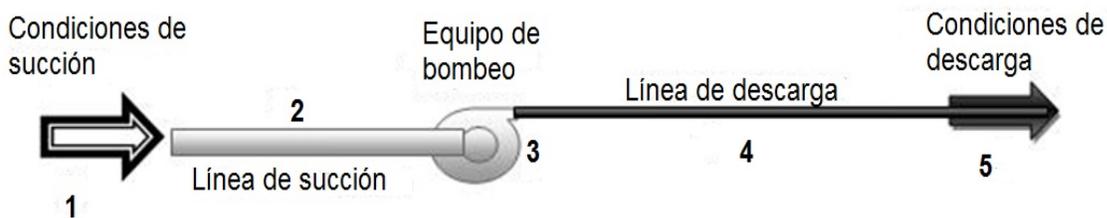
Hay dos parámetros que están asociados directamente al gasto, el diámetro de la tubería y la velocidad en las líneas de succión y descarga.

IV.2.2. Balance de energía

En un equipo de bombeo se cumple la igualdad del Principio de Bernoulli. Se considera un sistema cerrado desde la succión del equipo de bombeo hasta la descarga del mismo (ver figura 49).

El equipo de bombeo (3) se coloca en un punto determinado para impulsar el fluido desde el punto de succión (1) hasta el punto de descarga (5). Para esa tarea, debe vencer una serie de oposiciones al movimiento de flujo, que son las siguientes:

Energía potencial inversa debido a los efectos de la gravedad y altura, la cual se denomina carga estática total (Head), la cual va desde el punto de succión (1) hasta el punto de descarga (5).



Fuente: L. Mott, 2006. Mecánica de fluidos aplicada.

Figura 49. Esquema básico de un sistema de bombeo.

Las diferencias de altura entre puntos 1 y 5, denominada carga estática, además de las fuerzas de fricción al moverse el fluido, llamadas cargas dinámicas o de pérdidas por velocidad, y, además, la diferencia de presión entre el punto de descarga y succión, asignado como carga de presión.

1. La disposición de la fuente de suministro pueden ser tanques abiertos o cerrados a la atmósfera; fuentes naturales como ríos, lagos; pozos profundos o cisternas; líneas directas. Pueden estar abajo o sobre el nivel de la bomba. Dependiendo de las condiciones de succión será el tipo de bomba a utilizar.
2. En la línea de succión el material debe soportar el traslado y la presión de succión. También debe vencer pérdidas de energía por longitud y accesorios traducidas en

- pérdidas de presión, este dato será necesario en el cálculo de la carga dinámica total.
3. El equipo de bombeo es la unidad de impulso que vence tanto la energía potencial traducida en carga estática, mediante la energía mecánica de su impulsor, que a su vez es accionado por energía eléctrica.
 4. La línea de descarga normalmente consiste en tubería de algún material metálico o polímeros. En esta línea se deberán considerar la carga estática de descarga y las pérdidas por longitud y accesorios.
 5. La descarga se refiere a la línea donde se deposita el fluido, ya que pueden ser tanques confinados, tanques abiertos o a cielo abierto como canales o embalses.

La ecuación de Bernoulli, permite el balance de energías en su forma de cargas de forma particular, ya que el parámetro de diseño es la presión de descarga de la línea.

Considerando que la ecuación de continuidad nos permite conocer que el líquido en transición es el mismo tanto en la entrada como en la salida, dado por:

$$TDH = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{(v_2 - v_1)^2}{2g} + (h_d - h_s) + Hf$$

Cada uno de los términos se relaciona con el concepto de cargas totales de resistencia:

$$\frac{P_2 - P_1}{\gamma} : \text{carga de presión (absoluta)}$$

$$\frac{(v_2 - v_1)^2}{2g} : \text{carga de velocidad (pérdidas dinámicas por fricción)}$$

$$(h_d - h_s) : \text{carga estática de altura o elevación}$$

IV.2.3. Cargas y pérdidas en el sistema.

De acuerdo a la ecuación de la carga dinámica total TDH, derivada de la ecuación de Bernoulli, las presiones y energías involucradas se transforman en los diferentes tipos de carga. De esta manera, la selección de una bomba se fundamenta principalmente por:

- Carga por columna a succionar (energía potencial de succión que puede ser a favor o en contra).
- Carga por columna a vencer (energía potencial de impulso).

- Carga por pérdidas de presión por rozamiento en tuberías y accesorios.
- Pérdidas por gradientes de velocidad (carga de velocidad).

Cabe delimitar los diferentes tipos de cargas involucradas en un sistema de bombeo. Tomando como referencia la figura 50, tenemos que la TDH es la suma de la carga estática total, más la sumatoria de pérdidas o carga dinámica:

$$TDH = H_{et} + H_{pt}$$

Donde:

H_{et}: carga estática total (de espejo a espejo)

H_{pt}: carga de pérdidas totales

Como la carga de succión tiene una determinada posición, el equipo de bombeo estará sobre la succión o en otras estará por debajo de la misma, es conveniente desglosarlo en carga de succión (H_d) y descarga (H_s), esta última adicionada o diferenciada según sea el caso si la succión es positiva (sobre equipo de bombeo) o negativa (por debajo de equipo de bombeo).

$$H_{et} = (H_d \pm H_s)$$

Entonces la carga dinámica total sería la suma de esa carga estática total más la carga de pérdidas totales.

$$TDH = (H_d \pm H_s) + H_{pt}$$

Donde:

H_d: carga de succión

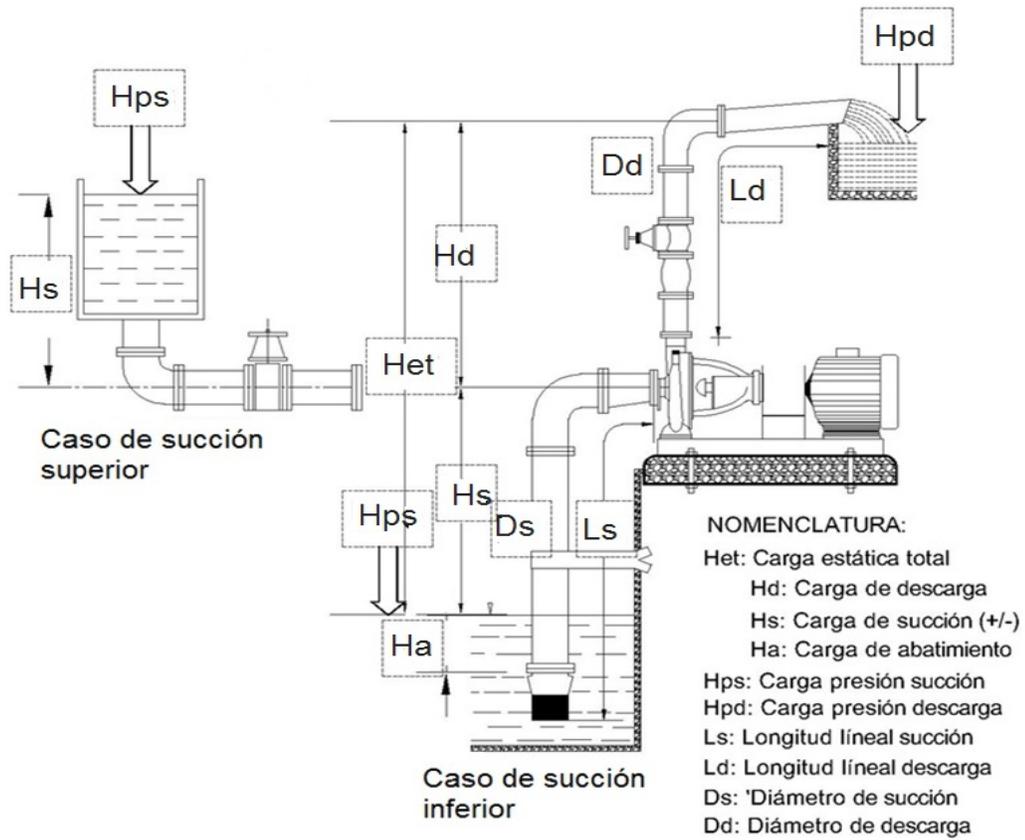
H_s: carga de descarga

H_{pt}: carga por pérdidas totales

En cuanto a las pérdidas se consideran tanto las de fricción por longitud de la línea y accesorios, como las de abatimiento. Esta última se refiere a la que en determinado momento se pierde por el abatimiento de nivel de líquido disponible en la succión.

Las pérdidas totales se calculan como:

$$H_{pt} = (H_f + H_a)$$



Fuente: L. Mott, 2006. Mecánica de fluidos aplicada.

Figura 50. Esquema para ilustrar los diferentes tipos de carga.

Por todo lo anterior, se puede establecer a TDH como una función de cargas de la siguiente manera:

$$TDH = (H_d \pm H_s) + (H_f + H_a) + H_p$$

Donde:

H_f: carga de fricción o dinámica

H_a: carga de pérdidas por abatimiento

H_p: carga por presión absoluta

Altura sobre el nivel del mar		Presión atmosférica	
m	ft	kg/cm ²	Pa
0	0	1.033	14.69
250	820	1.003	14.26
500	1640	0.973	13.83
750	2640	0.943	13.41
1000	3280	0.913	12.98
1250	4101	0.883	12.55
1500	4291	0.853	12.13
1750	5741	0.825	11.73
2000	6561	0.800	11.38
2250	7381	0.775	11.02
2500	8202	0.757	10.68
2750	9022	0.728	10.35
3000	9842	0.705	10.02
3250	10662	0.683	9.71
3500	11483	0.662	9.42
3750	12303	0.641	9.12
4000	13123	0.620	8.82
4250	13943	0.598	8.52
4500	14764	0.578	8.22

Fuente: Sotelo Dávila Gilberto (2010). Hidráulica General Vol. 1.

Tabla 8. Valores de presión atmosférica para diferentes altitudes.

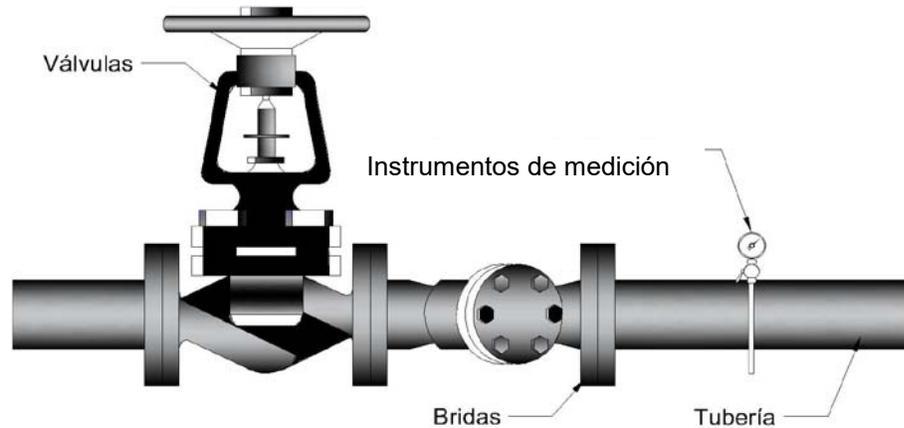
Se debe tener en cuenta la diferencia de cargas de presión entre la descarga y la succión, cuando estas condiciones no son similares en los dos puntos, se considera la ecuación de carga por presión:

$$\frac{P_2 - P_1}{\gamma} : \text{carga de presión}$$

Para el cálculo de la presión absoluta, se suma la presión atmosférica, más la presión manométrica, integrando la presión absoluta (ver tabla 8).

IV.2.3.1. Cálculo de pérdidas dinámicas por fricción (H_f)

El flujo que circula a través de un medio de conducción, debe vencer las fuerzas de fricción que se oponen al paso del fluido. Además de la carga estática por altura y la carga diferencial de presión entre succión y descarga, la potencia del equipo de bombeo debe contemplar, además las pérdidas que se presentan por los efectos de la fricción.



Fuente: L. Mott, 2006. Mecánica de fluidos aplicada.

Figura 51. Puntos de pérdidas por fricción.

Las pérdidas por fricción, son las que en la ecuación de Bernoulli se consideran como la carga de velocidad. Las líneas de conducción cerradas son construidas de materiales metálicos o plásticos que tienen cierta rugosidad que presentan contraposición al flujo, tanto en su longitud recta como en los accesorios que se colocan para cambios de dirección, derivaciones y montaje de instrumentos de corte, medición o control (ver figura 51).

Las pérdidas por fricción son de dos tipos:

- Pérdidas primarias o de velocidad a lo largo de la línea.
- Pérdidas de velocidad en los accesorios de conductos.

Esos dos tipos de pérdidas forman parte de la carga por fricción o dinámica.

$$H_f = H_{fl} + \sum H_{fa}$$

Donde:

H_{fl} : pérdidas por longitud en la tubería

$\sum H_{fa}$: sumatoria pérdidas por fricción en accesorios

En el cálculo de las pérdidas por velocidad se recurre, primero a estimar en el diagrama de Moody (figura 48) el coeficiente de fricción. Para esto es necesario contar con los datos de rugosidad absoluta (tabla 9), de ahí calcular la rugosidad relativa, el diámetro interno de la tubería y calcular el número de Reynolds. Con los datos de rugosidad relativa y número de Reynolds entrar al diagrama de Moody y extraer el coeficiente de fricción, el cual se utilizará para el cálculo de pérdidas primarias o por longitud de la línea de conducción.

De la tabla 9, la rugosidad absoluta, se puede calcular la rugosidad relativa de la siguiente manera:

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\varepsilon}{D}$$

Donde:

ε : *rugosidad absoluta (mm)*

D : *diámetro interior de la tubería (mm)*

Para el cálculo de pérdidas dinámicas primarias por efectos del desplazamiento y la resistencia de las moléculas por efectos de las fuerzas de fricción se puede calcular con la ecuación de Darcy Weisbach:

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

Donde:

H_f : *pérdida de carga en tramos rectos de tubo*

f : *coeficiente de fricción (diagrama de Moody)*

L : *longitud total de tubería de mismo diámetro*

v : *velocidad promedio del fluido*

D : *diámetro interno de la tubería*

g : *aceleración de la gravedad*

Para calcular las pérdidas en función del gasto, es necesario apoyarse en la ecuación de Hazen-Williams, condición que se utiliza para tuberías rugosas la cual se indica a continuación:

$$h_f = \frac{10.679}{C_H^{1.852}} \left(\frac{L}{D^{4.87}} \right) (Q^{1.852})$$

Material de construcción	Rugosidad
Tuberías de plástico	
Poliétileno (PE)	0.002
Cloruro de polivinilo	0.02
Tuberías metálicas	
Tuberías estriadas, sin soldaduras de latón, cobre, plomo	0.0015 – 0.01
Aluminio	0.015 – 1.06
Acero estriado sin soldaduras	
Nuevas	0.02 – 0.10
Después de muchos años de servicio	1.2 – 1.5
Acero galvanizado	
Nuevas, buena galvanización	0.07 – 0.10
Galvanización ordinaria	0.10 – 0.15
Fundición	
Nuevas	0.25 – 1.00
Nuevas con revestimiento bituminoso	0.10 – 0.15
Asfaltadas	0.12 – 0.30
Después de varios años de servicio	1.00 – 4.00
Concreto	
Superficie muy lisa	0.3 – 0.8
Condiciones medias	2.5
Superficie rugosa	3 – 9
Hormigón armado	2.5
Fibrocemento (FC)	
Nuevas	0.05 – 0.10
Después de varios años de uso	0.60

Fuente: Sotelo Dávila Gilberto (2010). Hidráulica General Vol. 1.

Tabla 9. Valores de rugosidad absoluta en tuberías para diferentes materiales.

Donde:

h_f : Carga de succión (m)

D : diámetro ideal de tubería (m)

Q : gasto o caudal (m³/s)

L: longitud de tubería (m)

C_H: coeficiente de Hazen – Williams (tabla 10)

Material	Coficiente de Hazen-Williams
Asbesto-cemento (nuevo)	135
Cobre y latón	130
Ladrillo de saneamiento	100
Hierro fundido, nuevo	130
Hierro fundido, 10 años de edad	107 – 113
Hierro fundido, 20 años de edad	89 – 100
Hierro fundido, 30 años de edad	75 – 90
Concreto, acabado liso	130
Concreto, acabado común	120
Acero galvanizado (nuevo y usado)	125
Acero remachado nuevo	110
Acero remachado usado	85
PVC	10
PE	150
Plomo	130 – 140
Aluminio	130

Fuente: Sotelo Dávila Gilberto (2010). Hidráulica General Vol. 1.

Tabla 10. Coeficiente de Hazen-Williams para diferentes materiales de tubería.

IV.2.3.2. Pérdidas secundarias o localizadas por accesorios.

Las pérdidas secundarias, son las que se presentan como la resistencia al paso del fluido en los accesorios y conexiones de tuberías, tales como bridas, tees, codos, válvulas, reducciones, instrumentos de medición, instrumentos de control y todo aquello que se encuentra a lo largo de la línea de succión y descarga.

Las pérdidas secundarias son directamente proporcionales a la velocidad e inversamente proporcionales a la gravedad. Para establecer la igualdad se considera una constante de fricción en los accesorios.

$$H_{fa} = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

k: constante de resistencia por fricción

v: velocidad del fluido en la línea

g: aceleración de la gravedad

Para la constante de resistencia en accesorios k, depende del tipo, forma y material de los mismos. Normalmente, los fabricantes de tuberías proporcionan las constantes en función del tipo de accesorio, dado que son ellos los que realizan las pruebas de sus productos.

Para determinar la carga dinámica total TDH de un sistema de bombeo, tanto la carga de fricción como la carga estática debe ser calculada para condiciones de operación máximas o extremas, es decir, la carga estática será la máxima a esperar a que ocurra y la carga por fricción determinada para la capacidad máxima de flujo.

IV.2.4. NPSH disponible y requerido

Para evitar el fenómeno de cavitación, es necesario calcular de manera correcta la carga neta positiva de succión o NPSH (Net Positive Suction Head),

NPSH disponible: es la carga de succión total, determinada en la succión de la bomba, menos la presión de vapor del líquido a la temperatura que circula, ambas expresadas en metros utilizando el Sistema Internacional:

$$NPSH_d = H_p + H_s - H_f - H_v$$

Donde:

NPSH_d: carga neta positiva de succión disponible

H_p: carga de presión absoluta

H_s: carga de succión (+ para succiones elevadas)

H_f: pérdidas de fricción o dinámicas

H_v: pérdidas de vapor

Para el cálculo del NPSH, se asume como nivel origen de energías potenciales la cota geográfica donde se encuentre la entrada al equipo de bombeo ($z=0$), es denominado disponible ($NPSH_d$), en un punto es una característica del sistema e independiente de la bomba utilizada, que se puede calcular a partir de la ecuación anterior.

Cuando el origen de energías potenciales es el nivel del equipo de bombeo, el $NPSH_d$ deberá ser siempre positivo o $NPSH_d > 0$, para que no se presente la cavitación.

Para realizar un cálculo efectivo, el $NPSH_d$ se debe considerar a la entrada en el punto de succión no en el punto físico donde el equipo impulsa al fluido, dado que el fluido por el interior puede pasar por estrechamientos y accesorios que produzcan más pérdidas de carga antes de llegar a las partes móviles que comunican la energía.

En cuanto al $NPSH_r$ requerido, es una característica de diseño del equipo de bombeo y es proporcionado por el fabricante. Es el valor en que la presión absoluta, en el punto de succión, debe exceder a la presión de vapor del líquido. Por tanto para que un equipo de bombeo funcione correctamente sin riesgos de cavitación, el $NPSH$ disponible del sistema habrá de ser mayor que el $NPSH$ requerido de la bomba, es decir:

$$NPSH_d > NPSH_r$$

Si no se dispone del dato concreto del $NPSH_r$, el equipo de bombeo deberá colocarse en un punto tal que la presión estática sea superior a la presión de vapor del líquido a la temperatura que este circula.

Para corregir la cavitación, se puede utilizar algún método de los siguientes:

- Incrementando la $NPSH_d$, subiendo el nivel del líquido en el lado de succión de la bomba, o disminuir la $NPSH_r$ bajando el gasto de bombeo.
- Cambiando la posición el equipo de bombeo, o bien disminuyendo el caudal, bajando así la pérdida de carga en la tubería de succión.
- Bajando H_v mediante una disminución de la temperatura de circulación del fluido.

Para la determinación de la carga por presión absoluta, se deberá considerar la presión atmosférica en función de la altura.

Los datos en los catálogos de bombas sobre la NPSH son para el agua y se aplican solo a la velocidad de operación que se menciona. Si la bomba opera a velocidad diferente, la NPSH

que se requiere a la velocidad nueva se debe realizar un ajuste aplicando el siguiente algoritmo:

$$(NPSH_r)_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 (NPSH_r)_1$$

Donde:

N₂: velocidad recalculada

N₁: velocidad de catálogo

(NPSH_r)₁: NPSH requerido de catálogo

(NPSH_r)₂: NPSH requerido recalculado

IV.2.5. Potencia útil, potencia al freno y eficiencia

En los sistemas de bombeo, la carga hidrostática total TDH es proporcional a la potencia útil entregada al fluido.

En el aspecto de las dimensiones, se debe multiplicar la carga hidrostática neta de la ecuación la masa y la aceleración de la gravedad para obtener las dimensiones de potencia. Aunque la masa se puede sustituir por el producto de la densidad del fluido y el gasto.

Todos los equipos de bombeo sufren pérdidas irreversibles a causa de la fricción, fugas internas, separación del flujo en la superficie de los impulsores, dispersión turbulenta y cambios en la disponibilidad del flujo entre otras. En consecuencia, la energía mecánica que se suministra al equipo y que proviene de un equipo de accionamiento como el motor debe ser mayor que la potencia hidráulica. A esta potencia se le denomina potencia al freno o potencia de accionamiento o potencia absorbida, la cual se abrevia como BHP (por sus siglas en inglés, brake horse power).

En el caso representativo de una flecha rotatoria que suministra la potencia al freno:

$$Ph = mg(TDH) = \rho gQ(TDH)$$

Donde:

ρ: densidad del fluido, obtenido en tablas

g: aceleración de la gravedad

Q: gasto o caudal

TDH: carga de pérdidas totales

Y para la potencia del sistema de accionamiento (motor):

$$BHP = \frac{Ph}{\eta} = \frac{\rho g Q (TDH)}{\eta}$$

Donde:

η : eficiencia del equipo de bombeo (fabricante)

Nota: En el momento de los cálculos, se debe manejar la congruencia de unidades de tal manera que sean compatibles con las unidades que se manejan en las curvas características de fabricante, ya sea en el sistema internacional (SI) o el sistema inglés. Para el sistema internacional, normalmente la carga dinámica total se maneja en metros y el gasto en litros por segundo (l/s). En el sistema inglés, las curvas se presentan con la carga en pies y el gasto en galones por minutos (gal/min).

IV.2.6. Velocidad específica

En algunas ocasiones es de gran utilidad realizar el cálculo de velocidad específica de un equipo de bombeo para el análisis del rendimiento y estudio de cavitación. El rendimiento se define como la razón de un equipo de bombeo contra uno de referencia y es un número adimensional. Se utiliza en el proyecto de un sistema de bombeo para predecir la bomba deseada o las características de los impulsores.

En la succión neta se utiliza principalmente para analizar problemas de cavitación durante el funcionamiento en el lado de succión. Se define por características físicas inherentes de equipos de bombeo centrífugos y axiales. También define el rango de operación que el equipo va a experimentar en un funcionamiento estable. Cuanto mayor sea la velocidad neta de succión específica, entonces el más pequeño de la gama de funcionamiento estable.

La velocidad específica de succión neta se define como:

$$N_s = \frac{\omega Q^{1/2}}{g(TDH)^{3/4}}$$

Donde:

ω : velocidad del motor accionador en radianes (Hz)

g : aceleración de la gravedad en (m/s^2)

Q : gasto o caudal (m^3/s)

TDH : carga de pérdidas totales (m)

N_s = velocidad específica, en revoluciones por minuto (RPM)

Para convertir RPM a rad/s:

$$N_s(\text{rad/s}) = \text{RPM} \frac{(2\pi)}{60}$$

IV.2.7. Diámetro de succión y descarga

Con el fin de minimizar las pérdidas en conductos cerrados, es importante realizar el cálculo de pérdida por fricción, debido rozamiento del fluido con las paredes interiores de la tubería, lo cual genera pérdidas dinámicas. El cálculo debe aportar un diámetro ideal, pero la elección debe ser el resultado de un análisis técnico y económico para que la instalación sea más eficiente y de menor costo ya que a mayor diámetro el precio aumenta proporcionalmente.

En el caso de que el fluido sea agua, se recomienda que el diámetro final de los diámetros de las tuberías de base tal que las velocidades alcanzadas por el agua en el interior de las tuberías sean como máximo:

Tubería de succión: 1.8 m/s.

Tubería de descarga: 2.5 m/s.

Si existieran velocidades por el interior de los conductos inferiores a 0.5 m/s podrían originar problemas de sedimentación, mientras que velocidades superiores a los 5 m/s podría originar fenómenos abrasivos en las paredes interiores de las tuberías que afectarían su durabilidad.

La expresión que relaciona la velocidad del fluido (v) con el gasto o caudal (Q) es la siguiente:

$$v_t = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \frac{D^2}{4}}$$

Despejando el diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_t}}$$

Donde:

D: diámetro ideal de tubería

v_t: velocidad propuesta de flujo en tubería

Q: gasto o caudal

Al tener el diámetro calculado se compara con los catálogos de fabricante para elegir el inmediato superior. En caso necesario se deben hacer iteraciones sucesivas para un análisis de costo y beneficio.

IV.2.8. Consideraciones especiales de diseño

En los diseños de sistemas de bombeo existen ciertas recomendaciones para que la operación del equipo de bombeo sea conveniente.

En la línea de succión debe tenerse mucho cuidado al diseñarla con el fin de garantizar una carga de succión neta positiva adecuada, además, las condiciones especiales prevalecientes tal vez requieran dispositivos auxiliares. Por ejemplo se puede crear una carga positiva, colocando el equipo de bombeo abajo del depósito de abastecimiento que suministra, ésta ayuda para que se garantice una NPSH satisfactoria. Además, el equipo de bombeo siempre iniciará con una columna de líquido positiva al arrancar.

Existen situaciones donde la condición de succión está por debajo del equipo de bombeo, ya que el líquido está por debajo del mismo. Los equipos de desplazamiento pueden elevar fluidos cerca de 8 metros (26 pies). Sin embargo, como la mayoría de las centrífugas, debe iniciarse de forma artificial, llenando la línea de su fluido, el cual se debe realizar con un suministro auxiliar de líquido durante el arranque o creación de un vacío sobre la carcasa del equipo lo que ocasiona que el fluido sea succionado desde la fuente. De esta forma se mantendría en funcionamiento continuo.

A menos que se sepa que el fluido es muy limpio, debe incluirse en el diseño un filtro en la entrada o en cualquier lugar del tubo de succión, con objeto de mantener las partículas extrañas fuera del equipo y del proceso en el que se distribuirá el fluido. En caso de

requerirse una válvula cerca del equipo de bombeo, es preferible que sea una válvula de compuerta, pues ofrece muy poca resistencia al flujo si está abierta por completo. El vástago de la válvula debe estar en posición horizontal para evitar la formación de bolsas de aire. Aunque el tamaño del tubo para la línea de succión nunca debe ser más pequeño que la conexión de entrada sobre equipo de bombeo, puede ser algo mayor para reducir la velocidad de flujo y las pérdidas por fricción.

La alineación de la tubería debe eliminar la posibilidad de que se formen burbujas o bolsas de aire en la línea de succión, porque esto haría que el equipo de bombeo perdiera capacidad y tal vez el arranque. Las tuberías largas deben tener pendiente hacia arriba, en dirección de equipo de bombeo. Deben evitarse los codos en un plano horizontal. Si se requiriera un reductor, debe ser del tipo excéntrico. Los reductores concéntricos sitúan parte de la línea de suministro sobre la entrada de equipo de bombeo, donde podría formarse una bolsa de aire.

En general, se recomiendan tamaños grandes y velocidades bajas, con base en el ideal de minimizar las pérdidas de energía en las líneas que conducen a las bombas. Sin embargo, consideraciones sobre lo práctico de las instalaciones y su costo, podrían llevar a la selección de tuberías más pequeñas con las velocidades mayores que resultan.

Algunas de estas consideraciones prácticas incluyen el costo de la tubería, válvulas y acoplamientos; y el espacio físico disponible para colocar estos elementos y la conexión de la tubería de succión a la conexión del equipo de bombeo.

En cuanto a la línea de descarga la recomendación es que debe ser tan corta y directa como sea posible, para minimizar la carga sobre el equipo de bombeo. Los codos deben ser del tipo estándar o de radio largo, si fuera posible. Debe seleccionarse el tamaño de la tubería de acuerdo con la velocidad o las pérdidas por fricción permisibles.

La línea de descarga debe contener una válvula cerca del equipo de bombeo para permitir el mantenimiento o reemplazo. La válvula actúa conjunta con la que está en la succión para aislar el equipo de bombeo. Por razones de resistencia baja, es preferible colocar válvula de mariposa para permitir el estrangulamiento suave. Si el flujo debe regularse durante el servicio, es mejor emplear una válvula de globo porque permite un estrangulamiento suave de la descarga. También se hacen necesarios varios elementos en la descarga como válvulas de alivio para atenuar la presión en caso de falla o bloqueo del flujo, o una válvula check para impedir el del flujo al equipo de bombeo. Si es necesaria una junta de expansión para la descarga debe colocarse entre la válvula de check y el equipo de bombeo. También podría ser necesario instalar una salida para un medidor con su respectiva válvula de corte y una llave de muestreo que permita extraer una cantidad pequeña de fluido para realizar pruebas sin interrumpir la operación.

IV.2.9. Procedimientos de cálculo y memoria técnica

El ingeniero civil, debe crear un protocolo de diseño del sistema de bombeo. Algunos autores y fabricantes ofrecen algunas recomendaciones para fines del diseño que puede servir como guía que conduzca los pasos en la obtención de datos, diseño y cálculo, el cual se puede resumir de la siguiente manera.

1. Obtener un diagrama de tuberías e instrumentación del sistema con todos los elementos que lo integran (recipientes, tuberías, válvulas, filtros, intercambios, manómetros, instrumentos de control, etc.). Normalmente esta información la genera el ingeniero de proceso o pertenece a la ingeniería básica. Además obtener las especificaciones del sistema, inclusive del fluido por bombear, el valor de gasto que se requiere, la ubicación del depósito donde proviene el fluido, la ubicación del punto de destino, las elevaciones y presiones prescritas, en particular en la fuente y el destino.
2. Determinar las propiedades del fluido, temperatura, peso específico, viscosidad cinemática y presión de vapor.
3. Realizar una ingeniería básica de distribución propuesta para la tubería, que incluya el lugar donde el fluido se tomará del depósito fuente, la ubicación de la bomba y los detalles de las líneas de succión y descarga con las válvulas, accesorios y accesorios especiales apropiados, tal como se recomienda en la sección anterior.
4. Determinar las longitudes de las líneas de succión y descarga.
5. Determinar o calcular los diámetros de tubería para la succión y la descarga.
6. Realizar el análisis de cargas de acuerdo a las pautas descritas en la sección IV.2.
7. Calcular la carga dinámica total TDH la cual servirá como base para la selección de bombas por vía de curvas características o cálculo de potencia hidráulica.
8. Con base a las curvas características del fabricante y cálculos seleccionar una bomba que cumpla con las condiciones de gasto y carga estática total. Para este proceso se puede considerar lo siguiente:
 - a) Utilizar recursos de internet, libros técnicos, catálogos de fabricante con las curvas características de sus equipos, software especializados, para hallar una aproximación del equipo de bombeo.
 - b) Elegir un equipo de bombeo con eficiencia alta en el punto de diseño, para la que el punto de operación se encuentre cerca del punto de eficiencia óptima (BEP) del equipo de bombeo.
 - c) Consultar Normas nacionales e internacionales para ajustarse ellos en cuanto al BEP, por ejemplo el American National Standards Institute (ANSI) y el Hydraulic Institute (HI), es tipular para las bombas centrífugas una

región de operación preferida (POR) que esté entre 70 y 120% del BEP. Consultar el ANSI/HI 9.6.3-1997, Standard for Centrifugal Pumps for Allowable Operating Region.

- d) Especificar marca, modelo, velocidad, tamaños del impulsor y de los puertos de succión y descarga, y cualquier dato importante para el estricto cumplimiento en la fabricación o entrega.
9. Determinar algunos puntos de la curva del sistema con del análisis de la carga total H que corresponda a un rango de flujos volumétricos (gasto).
10. Graficar la curva del sistema sobre la gráfica de rendimiento del equipo de bombeo y determinar el punto de operación real esperado, en la intersección de la carga de la bomba versus la curva del flujo y la curva del sistema.
11. En el punto real de operación, determine la potencia requerida, el gasto real entregado, la eficiencia y la NPSH que se requiere. También compruebe el tipo de bomba, los requerimientos de montaje y los tipos y tamaños de los puertos de succión y descarga.
12. Calcular la NPSH disponible, y asegurarse que $NPSH_d > NPSH_r$.
13. Verificar si existe o currencia de fenómenos transitorios hidráulicos nocivos. En ese caso ver posibles soluciones como instalar válvula de alivio.
14. Definir normativa a cumplir por la bomba, sello mecánico, accionamiento, entre otros.
15. Consultar con fabricantes de equipos de bombeo o sus representantes, el tipo de bomba más adecuada para las condiciones de servicio establecidas. Tener en cuenta de maximizar la eficiencia del equipo.
16. Realizar detalles de instalación y montajes del equipo de bombeo, succión y descarga, contemplando sus accesorios y elementos de control.

Para respaldar el diseño y selección del equipo de bombeo, se debe realizar una memoria técnica y memoria de cálculo donde se asiente toda la información disponible y generada que describa técnicamente la forma de proceder para la selección del equipo de bombeo y los cálculos de los parámetros de diseño. De la misma forma la memoria técnica deberá incluir otros datos como características del lugar de proyecto, antecedentes del problema a solucionar, instalaciones disponibles, las normas que respaldan el diseño y el marco teórico que respaldan los cálculos, así como los procedimientos.

Una aproximación de contenido sería la siguiente: objetivo del proyecto, situación actual y antecedente, servicios disponibles, solución adoptada, gasto, descripción del lugar, normas aplicables, específicas de proyecto, caracterización del fluido, bases de cálculo y procedimientos de cálculo, revisión de precios, descripción de sistema diseñado.

Eventualmente se pueden consultar formatos de cálculo que simplifican los cálculos. Dichos

formatos son parte del acervo técnico de las empresas de ingeniería y diseño.

IV.3. Requerimientos del usuario

Para la correcta selección de un equipo de bombeo el ingeniero debe tener un conocimiento exhaustivo de algunos aspectos del procedimiento, así como del sistema donde deberá instalarse. La selección del equipo debe ser un acto colaborativo entre ingeniero de diseño y proveedor.

Es por lo anterior que se hace necesaria la revisión de algunos aspectos finales en el proceso de selección que forman parte de los requerimientos de usuario.

IV.3.1. Características del fluido a manejar por el usuario

En esta parte se indicará lo correspondiente al servicio, especificando que fluido se manejará, características del líquido bombeado, gastos y presiones, forma de accionamiento, requerimientos constructivos de la bomba en función del servicio que va a realizar, requisitos de los materiales, los cuales estarán de acuerdo con todas las características fisicoquímicas del fluido.

De acuerdo con el capítulo 3 algunas características son:

1. Temperatura: se debe indicar la temperatura de trabajo, así como posibles rangos de variación de la misma.
2. Gravedad específica: debe ser indicada para la temperatura de bombeo y es vital para una correcta determinación de la potencia.
3. PH: en su caso, se debe indicar la acidez o alcalinidad del fluido, porque permite elegir el material adecuado del equipo de bombeo. Si existe análisis químico es preferible suministrarlo.
4. Viscosidad: de preferencia se debe obtener de la caracterización para utilizar su valor real en los cálculos.

IV.3.2. Condiciones de operación

Determinadas por aquellas condiciones geográficas y atmosféricas, así como el servicio que debe proporcionar el equipo de bombeo:

1. Caudal: debe ser especificado en litros por segundo o galones por minuto, según sea el caso, para que sea congruente con las curvas características del fabricante. Es muy importante indicarlo en el punto exacto de operación ya que permitirá seleccionar el equipo más eficiente.
2. Altura manométrica total: se debe especificar en metros de acuerdo a lo calculado, o dar al fabricante todos los datos en un croquis de la instalación, para su cálculo.
3. Condiciones de succión para bombas de eje horizontal se debe indicar la altura manométrica total y el NPSH disponible. En los demás tipos de bomba, especificar todos los datos en un croquis de la instalación.
4. Tipo de accionamiento indicando claramente si es motor a gasolina, petróleo, eléctrico. En caso de contar con el motor, indicar todas las especificaciones del mismo para seleccionar una bomba que pueda trabajar con él. Indicar la velocidad de operación, en caso contrario dejar que el fabricante lo indique. En caso de contar con motor indicar la potencia a determinada velocidad. Si el motor seleccionado es eléctrico, se debe indicar las características de la energía eléctrica disponible: voltaje, ciclos y número de fases. De manera estandarizada, actualmente casi la mayoría de los motores trabaja a 440/220 volts, 60 Hz.

IV.3.3. Especificaciones de equipo

En el ámbito de la ingeniería existen formatos para solicitar las especificaciones de equipo, entre las que se encuentran las siguientes:

1. Forma de montaje del equipo de bombeo: horizontal o vertical.
2. Si se requiere base común.
3. Dimensiones de la bomba.
4. Tipo de acoplamiento: flexible o cardán.

En la figura 52 se muestra con más detalle una hoja de especificaciones real con todos los datos necesarios mencionados en esta sección que puede servir de ejemplo y referencia.

IV.3.4. Curvas de selección

Con la información obtenida en la etapa de levantamiento de datos se elaborará la curva característica del sistema, la cual representará la altura de la carga total que debe vencer el equipo de bombeo funcionando a los diversos gastos del proyecto. La curva del sistema es la representación gráfica de la suma de la altura estática, las pérdidas por fricción y las pérdidas singulares del sistema con respecto al caudal.

Las características del funcionamiento de un equipo de bombeo se representa mediante una serie de curvas en un gráfico de coordenada caudal - carga (Q-H); caudal presión (Q-P) y caudal - eficiencia (Q- η). A cualquier punto Qx le corresponde un valor en las coordenadas Hx, Px y η_x . En todos estos casos, H se refiere a la carga dinámica total TDH (ver figura 53).

Cada curva corresponde a una determinada velocidad de rotación y un diámetro de impulsor. La curva característica representa el comportamiento bajo diferentes condiciones de operación, las cuales son definidas por la altura total del sistema contra el cual opera, es decir, por el punto de intersección de las curvas del equipo y del sistema.

Algunos expertos recomiendan que las curvas de selección de fabricante no se tomen como única alternativa para seleccionar de forma directa el equipo de bombeo, sino que se haga como referencia contrastando con las condiciones de diseño. Para este fin se debe trazar la curva del sistema.

La curva característica del equipo de bombeo, nos ofrece el punto de máxima eficiencia, pero no significa que el equipo entregue el gasto y carga indicados, pues esos valores pueden estar desplazados de ese punto de eficiencia. La curva del sistema se obtiene analizando la carga dinámica total a partir de caudal o gasto cero o a válvula cerrada. A partir de esa condición se empieza a construir la curva del sistema simulando las condiciones para diferentes valores de gasto en forma ascendente y observar el comportamiento de la carga dinámica total para cada uno de esos valores. Esta curva se debe construir empalmado el comportamiento de la misma sobre la curva característica del equipo de bombeo ofrecida por el fabricante.

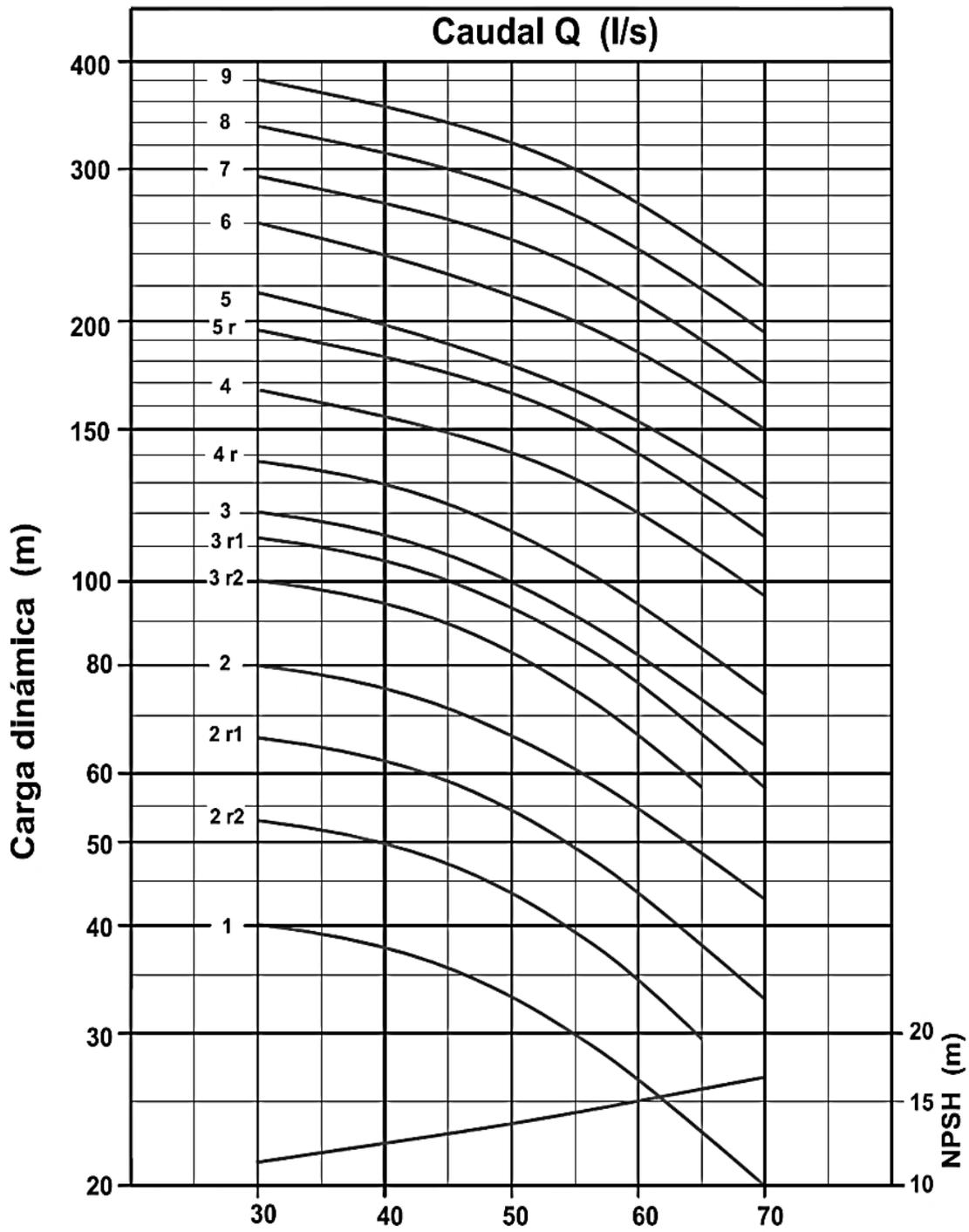


Figura 53. Curva Q vs H de fabricante para la selección de bomba.

CAPÍTULO V

APLICACIONES DE EQUIPOS DE BOMBEO EN PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL

V. APLICACIONES DE EQUIPOS DE BOMBEO EN PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL

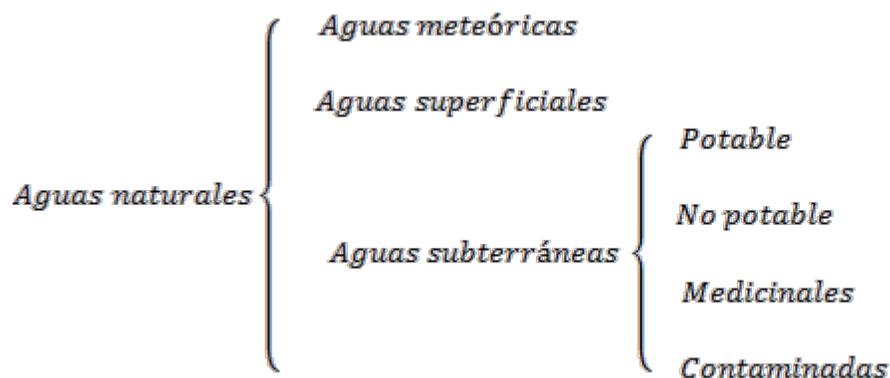
En este capítulo se presentan cuatro ejemplos, de proyectos ingenieriles en diferentes regiones de la República Mexicana, de los usos de equipos de bombeo en la ingeniería civil, como son; agua potable, agua residual, concreto y emulsiones asfálticas, donde se determinarán mediante cálculos, investigación y pasos a seguir mencionados anteriormente en el desarrollo de esta tesis, la carga neta total que el equipo de bombeo deberá vencer para cumplir con el servicio requerido de dicho proyecto, y con los datos de gasto, presión, viscosidad, etc., el tipo de bomba que cubrirá las necesidades para cada caso, solicitando a diferentes proveedores propuestas de equipos de bombeo así como sus especificaciones, y una vez contando con las cotizaciones se calculará el costo-beneficio de cada uno de los equipos de bombeo, lo cual nos permitirá reconocer y diferenciar los equipos de acuerdo a las necesidades de cada ejemplo, y así determinar las diferencias entre ellos.

V.1 Agua potable

Es indispensable para la vida cotidiana del ser humano la captación, obtención y conducción del agua potable para consumo diario.

Es así que el ingeniero civil se enfrenta continuamente a problemas con las redes de distribución del vital líquido, planteándose soluciones de cómo transportarlo de un estanque de agua a una población, ocupando así los equipos de bombeo.

El agua que se puede obtener de la naturaleza y de ellas tener un aprovechamiento para la vida cotidiana de acuerdo con sus características son:



Aguas naturales: se encuentran en la naturaleza y pueden ser de cantidad y calidad variables.

Aguas meteóricas: provienen directa o indirectamente de la lluvia, granizo, nieve, etc.

Aguas superficiales: expuestas naturalmente a la atmósfera ya sea formada por el escurrimiento y deshielo, como ríos y arroyos, o bien, las almacenadas en grandes depósitos naturales como lagos mares océanos.

Aguas Subterráneas: alojada en acuíferos subterráneos formados por la infiltración del agua de lluvia al subsuelo hasta una capa impermeable sobre la cual se almacena, estas pueden extraerse por medio de pozos o aflorar naturalmente en forma de manantiales:

- *Agua subterránea potable:* pueden ser ingeridas por personas y animales, daño fisiológico del organismo.
- *Agua subterránea no potable:* tienen alto contenido de sal y magnesio, también conocida como agua dura.
- *Agua subterránea medicinal:* contienen un alto contenido de minerales, como sulfurosas o termales.
- *Agua subterránea contaminada:* cuando las aguas naturales han entrado en contacto con aguas negras, defecaciones, desechos industriales, etc., se contaminan de especies patógenas dañinas para el ser humano.

V.1.1 Ejemplo: Proyecto Bañuelos para agua potable en la ciudad de Zacatecas, Zacatecas

Cuenca hidrológica localizada en el municipio de Guadalupe-Bañuelos en el estado de Zacatecas. Este manto acuífero es muy importante para la región ya que es una fuente de suministro de agua potable para las ciudades de Guadalupe y Zacatecas, entre otras poblaciones más pequeñas dentro de la cuenca.

El proyecto Bañuelos aprovecha el manto acuífero mediante la perforación de pozos profundos, y la instalación de equipos de bombeo adecuados para la extracción del agua, con una energía adecuada para ser conducida por una tubería subterránea de asbesto y cemento, aproximadamente de 23 kilómetros, hasta la ciudad de Zacatecas.

En los últimos 10 años la población de las ciudades de Guadalupe y Zacatecas ha aumentado en un 28%, lo que representa un incremento de 65,200 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI, 2000 y 2010), lo que conlleva a un aumento en la demanda de abastecimiento de agua potable.

La cuenca hidrológica está ubicada en la parte central del estado de Zacatecas (figuras 54 y 55), limita al norte con la cuenca Chupaderos, al sur con la cuenca Ojo-caliente, al este con la sierra de Tolosa y al oeste con la sierra de Zacatecas.

Constitución del proyecto Bañuelos: consta de 5 pozos profundos provistos de equipo de bombeo y explotados según los estudios de aforo realizados para determinar el costo económico.

El agua extraída de los 5 pozos es conducida a un mismo estanque recolector (cárcamo 1), en donde se almacena, y de ahí es bombeada a un segundo estanque (cárcamo 2) a una cota más alta de una loma y de ahí es conducida por gravedad hasta la ciudad de Zacatecas (ver figura 56).

La tabla 11 muestra los aforos de cada pozo con el aumento del 28% de demanda al consumo de agua potable, así como sus elevaciones de succión y descarga, diámetro y longitud de las tuberías.

Selección del equipo de bombeo

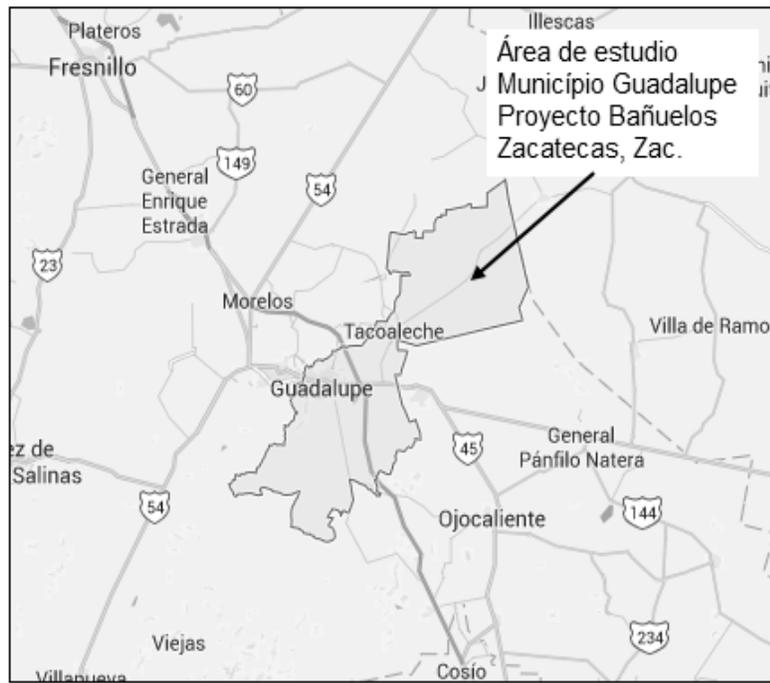
Para determinar el material de construcción del equipo de bombeo se menciona que es agua subterránea potable.

En este estudio de caso se analizará específicamente el Pozo No. 1 (ver figura 57). Para la selección del equipo en este caso, nos auxiliaremos de las curvas de operación de los diferentes modelos y posibles combinaciones de impulsores, proporcionadas por el fabricante.

Pozo	Q (m ³ /s)	h _{es} (m)	h _e (m)	D (cm)	L (m)
1	0.09	39.85	71.95	40.64	300
2	0.182	28.7	63.13	40.64	300
3	0.182	27.4	84	40.64	240
4	0.045	27.4	84	40.64	240
5	0.051	20.64	131	40.64	300

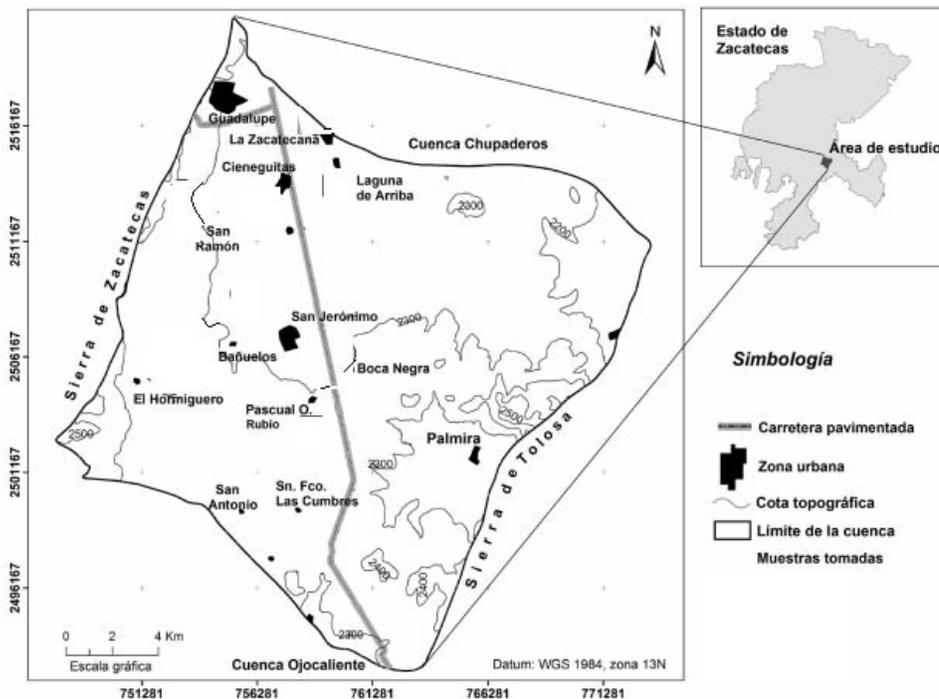
Fuente: Elaboración propia, mayo 2015.

Tabla 11. Aforo en cada uno de los pozos.



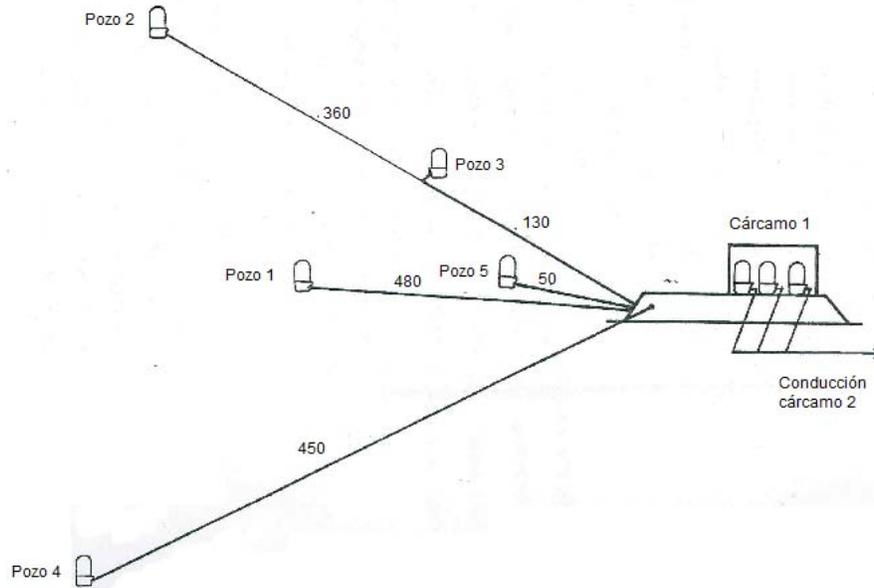
Fuente: Google Maps, 2015.

Figura 54. Área de estudio Cuenca Hidrológica Guadalupe-Bañuelos.



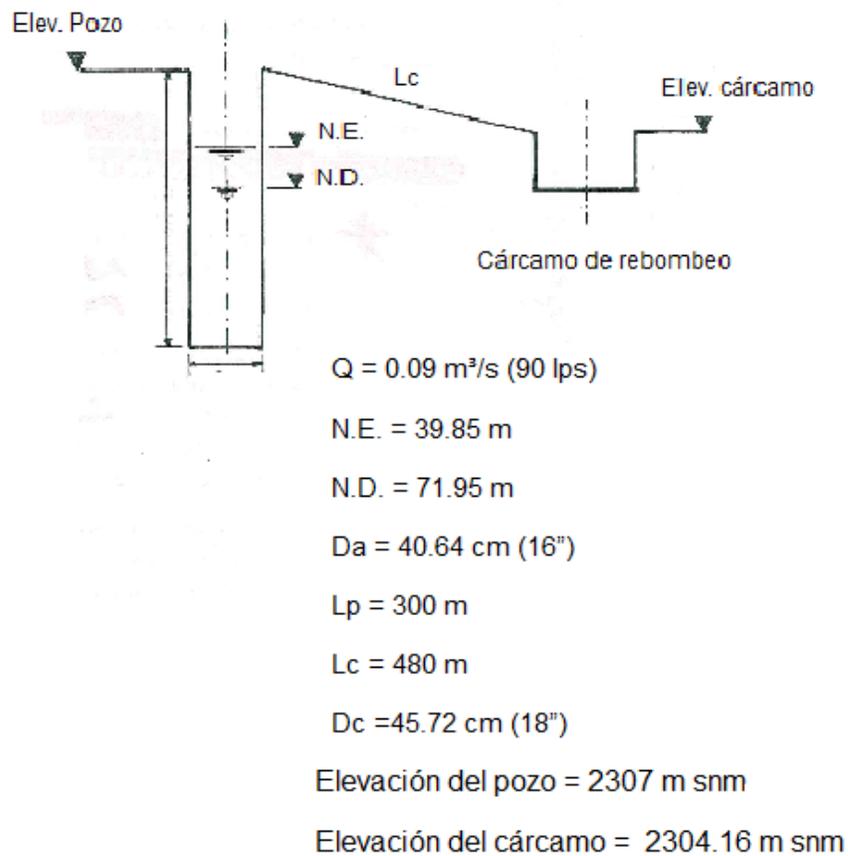
Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI, 2000 y 2010.

Figura 55. Localización de la cuenca Guadalupe Bañuelos.



Fuente: Calidad del agua del acuífero Guadalupe Bañuelos, 2012.

Figura 56. Diagrama de pozos de proyecto Bañuelos.



Fuente: Calidad del agua del acuífero Guadalupe Bañuelos, 2012.

Figura 57. Diagrama Pozo No. 1.

Datos de estudio de caso pozo 1

$Q = 0.09 \text{ m}^3/\text{s}$ (90 lps)

N.E. = 39.85 m

N.D. = 71.95 m

$V = 2.5 \text{ m/s}$

$T = 25^\circ \text{ C}$

Elevación brocal del pozo = 2307 msnm

Elevación brocal del cárcamo = 2304.16 msnm

$D_a = 40.64 \text{ cm}$ (16")

$L_p = 300 \text{ m}$

$L_c = 480 \text{ m}$

$D_c = 45.72 \text{ cm}$ (18")

Material de construcción= Asbesto-cemento

Donde:

Q: gasto

N. E: nivel estático

N. D: nivel dinámico

V: velocidad

T: temperatura

D_a: diámetro del ademe

L_p: profundidad del pozo

L_c: longitud de la tubería

D_c: diámetro de conducción

1. *Cálculo del gasto:* Como se menciona en el capítulo 4 existen muchas formas para determinar el gasto, para este caso se realizaron aforos en el Pozo no.1, obteniendo como dato un gasto $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$.
2. *Carga dinámica total:* Se utilizará la ecuación de continuidad, para determinar la carga total a vencer por el equipo de bombeo;

$$H = h_s + hf_s + h_d + hf_d - hv_s$$

Donde:

H: carga dinámica total

h_s: elevación de succión

h_d: elevación de descarga

hf_s: pérdidas por fricción en la succión

hf_d: pérdidas por fricción en la descarga

h_{v_s}: carga de velocidad en la succión

De dicha ecuación conocemos;

Elevación de succión

$$h_s = 71.95 \text{ m}$$

Elevación de descarga

$$h_d = \text{elev. carcamo} - \text{elev. pozo} = 2304.16 \text{ m} - 2307 \text{ m} = -2.84 \text{ m}$$

Y desconocemos las pérdidas por fricción en la succión (hf_s) y en la descarga (hf_d) y la carga de velocidad en la succión (h_{v_s}).

Cálculo de pérdidas por fricción en la succión:

$$hf_s = f * \frac{L_{col}}{D_{suc}} * \frac{v^2}{2g}$$

Para este caso, a la longitud actual dinámica conocida le agregaremos una cantidad adicional de 9 m (30 ft) como factor de seguridad, para cubrir los posibles abastecimientos de nivel en la longitud de la columna, por lo que:

$$L_{col} = ND + 9 \text{ m}$$

$$L_{col} = 71.95 \text{ m} + 9 \text{ m}$$

$$L_{col} = 80.95 \text{ m} = 265.5 \text{ ft}$$

Por lo tanto la nueva elevación de succión será:

$$h_s = 80.95 \text{ m} = 265.5 \text{ ft}$$

Cálculo del diámetro de la columna de succión (D_{suc}), utilizando la ecuación de continuidad dada por:

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2$$

$$Q = v A = v * \frac{\pi}{4} * D^2$$

Despejando el diámetro:

$$D_{suc} = \sqrt{\frac{Q}{\frac{\pi}{4} * v}}$$

$$D_{suc} = \sqrt{\frac{0.09 \frac{m^3}{s}}{0.785 * 2.5 \frac{m}{s}}} = 0.2141 \text{ m}$$

$$D_{suc} = 21.41 \text{ cm} = 8.43 \text{ in}$$

Debido a que no existe diámetro comercial de 8.43 in, utilizaremos el inmediato superior, por lo que seleccionaremos un diámetro de succión de 25.4 cm (10 in). Por lo tanto calcularemos la velocidad para ese diámetro.

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} * D^2}$$

$$v = \frac{Q}{0.785 * D^2}$$

$$v = \frac{0.09 \frac{m^3}{s}}{0.785 * (0.254m)^2}$$

$$v = 1.78 \frac{m}{s}$$

Para conocer la pérdida de carga (f) nos auxiliaremos del diagrama de Moody (ver figura 48), por lo tanto debemos calcular el número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa.

$$Re = \frac{vD}{\vartheta}$$

De la tabla 12 se obtiene la viscosidad cinemática del agua (ϑ) a una temperatura de 25°C que es de $\vartheta = 0.897 \times 10^{-6}$.

$$Re = \frac{1.78 * 0.254}{0.897 \times 10^{-6}} \approx 504036 \approx 5 \times 10^5$$

La rugosidad relativa es igual a:

$$Rugosidad\ relativa = \frac{\varepsilon}{D}$$

El coeficiente de rugosidad (ε) se obtiene de la tabla 13, que es igual a $\varepsilon = 0.0025$

$$Rugosidad\ relativa = \frac{0.0025}{0.254} \approx 0.01$$

Con los valores encontrados de Re y ε , se entra al diagrama de Moody (ver figura 58) para obtener el coeficiente de pérdida de carga $f = 0.037$, sustituyendo en la ecuación de pérdidas por fricción en la succión:

$$hf_s = f * \frac{L_{col}}{D_{suc}} * \frac{v^2}{2g}$$

$$hf_s = 0.037 * \frac{80.95\ m}{0.254\ m} * \frac{\left(1.78 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s}\right)}$$

$$hf_s \approx 1.9\ m$$

Cálculo de pérdidas por fricción en la descarga:

$$hf_d = f * \frac{L_c}{D_c} * \frac{v^2}{2g}$$

Viscosidad cinemática = Valor de la tabla * 10 ⁻⁶								
Temperatura (°C)	Agua		Disolvente comercial		Tetracloruro de carbono		Aceite lubricante medio	
	Densidad relativa	Viscosidad cinemática (m³/s)	Densidad relativa	Viscosidad cinemática (m³/s)	Densidad relativa	Viscosidad cinemática (m³/s)	Densidad relativa	Viscosidad cinemática (m³/s)
5	1.000	1.520	0.728	1.476	1.620	0.763	0.905	471
10	1.000	1.308	0.725	1.376	1.608	0.696	0.900	260
15	0.999	1.142	0.721	1.301	1.595	0.655	0.896	186
20	0.998	1.007	0.718	1.189	1.584	0.612	0.893	122
25	0.997	0.897	0.714	1.101	1.572	0.572	0.890	92
30	0.995	0.804	0.710	1.049	1.558	0.531	0.886	71
35	0.993	0.727	0.706	0.984	1.544	0.504	0.883	54.9
40	0.991	0.661	0.703	0.932	1.522	0.482	0.875	39.4
50	0.990	0.556					0.866	25.7
65	0.980	0.442					0.865	15.4

Viscosidad cinemática = Valor de la tabla * 10 ⁻⁶								
Temperatura (°C)	Aceite a prueba de polvo		Fuel-oil medio		Fuel-oil pesado		Gasolina	
	Densidad relativa	Viscosidad cinemática (m³/s)	Densidad relativa	Viscosidad cinemática (m³/s)	Densidad relativa	Viscosidad cinemática (m³/s)	Densidad relativa	Viscosidad cinemática (m³/s)
5	0.917	72.9	0.865	6.01	0.918	400.0	0.737	0.749
10	0.913	52.4	0.861	5.16	0.915	290.0	0.733	0.710
15	0.910	39.0	0.857	4.47	0.912	201.0	0.729	0.683
20	0.906	29.7	0.855	3.94	0.909	156.0	0.725	0.648
25	0.903	23.1	0.852	3.44	0.906	118.0	0.721	0.625
30	0.900	18.5	0.849	3.11	0.904	89.0	0.717	0.595
35	0.897	15.2	0.846	2.77	0.901	67.9	0.713	0.570
40	0.893	2.9	0.842	2.39	0.898	52.8	0.709	0.545

Fuente: Calidad del agua del acuífero Guadalupe Bañuelos, 2012.

Tabla 12. Densidad relativa y viscosidad cinemática de algunos fluidos.

Calculo de velocidad, con un diámetro de conducción $D_c = 0.4572 \text{ m}$:

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} * D_c^2}$$

$$v = \frac{Q}{0.785 * D_c^2}$$

$$v = \frac{0.09 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.785 * (0.4572\text{m})^2}$$

$$v = 0.55 \frac{m}{s}$$

Con una viscosidad $\vartheta = 0.897 \times 10^{-6}$, el número de Reynolds será:

$$Re = \frac{vD}{\vartheta}$$

$$Re = \frac{0.55 * 0.4572}{0.897 \times 10^{-6}} \approx 907264 \approx 2.8 \times 10^5$$

Con $\varepsilon = 0.0025$, obtenemos la rugosidad relativa:

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\varepsilon}{D}$$

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{0.0025}{0.4572} \approx 0.005$$

Algunos otros líquidos			
Líquido	Temperatura °C	Densidad relativa	Viscosidad cinemática (m ² /s)
Turpentina	20	0.862	1.73
Aceite de linaza	30	0.925	35.9
Alcohol etílico	20	0.789	1.54
Benceno	20	0.879	0.745
Glicerina	20	1.262	0.661
Aceite de castor	20	0.960	1.031
Aceite ligero de máquina	16.5	0.907	137

Fuente: Calidad del agua del acuífero Guadalupe Bañuelos, 2012.

Tabla 12. Densidad relativa y viscosidad cinemática de algunos fluidos (continuación).

Material	γ (cm)
Vidrio, cobre plástico, hule	0.00015
Fierro fundido nuevo	0.0005 - 0.001
Fierro fundido semi-oxidado	0.001 - 0.0015
Fierro fundido oxidado	0.0015 - 0.003
Cemento liso	0.0003 - 0.0008
Acero	0.004 - 0.01
Asbesto - cemento	0.0025
Concreto	0.016 - 0.2

Fuente: Calidad del agua del acuífero Guadalupe Bañuelos, 2012.

Tabla 13. Coeficiente de rugosidad (ϵ).

Entrando al diagrama de Moody (ver figura 48), se obtiene un coeficiente de pérdida $f = 0.03$, sustituyendo en la ecuación de pérdidas en la descarga:

$$h_{fd} = f * \frac{L_c}{D_c} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{fd} = 0.03 * \frac{480 \text{ m}}{0.4572 \text{ m}} * \frac{(0.55 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}})}$$

$$h_{fd} \approx 0.486 \text{ m} \approx 0.5 \text{ m}$$

Considerando accesorios y cambios de dirección como son el codo de cabezal de descarga, válvula de compuerta, ampliación de campana, así como los codos de adaptación al cárcamo de r e-bombeo, se cubrirá aumentando el 10% como factor de seguridad a las pérdidas determinadas en la descarga, tal y como se menciona en el capítulo 4, por lo tanto:

$$h_{fd} = 0.5 + 10\%$$

$$h_{fd} = 0.55 \text{ m}$$

Carga de velocidad en la succión:

$$h_{vs} = \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{vs} = \frac{(1.78 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}})}$$

$$h_{v_s} \approx 0.16 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación de carga dinámica total que deberá vencer el equipo de bombeo:

$$H = h_s + hf_s + h_d + hf_d - hv_s$$

$$H = 80.95 \text{ m} + 1.9 \text{ m} + (-2.84 \text{ m}) + 0.55 \text{ m} - 0.16 \text{ m}$$

$$H = 80.4 \text{ m} \approx 263 \text{ ft}$$

Nota: Con lo mencionado en el capítulo 4, podemos observar que para agua potable para pozo profundo tenemos 2 tipos de equipo de bombeo que se pueden utilizar:

- a) Bombas centrífugas sumergibles multi-etapa: Estos equipos manejan un flujo máximo de $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que se descarta ya que para nuestro caso se requiere un flujo de $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$.
- b) Bombas centrífugas sumergibles para pozo profundo: Este equipo de bombeo tiene una capacidad mayor de flujo, por lo que se decide para este caso utilizar este tipo de sistema de bombeo (ver figura 58).



Fuente: Bomba Grundfos 2015

Figura 58. Bomba sumergible para pozo profundo.

V.1.2 Determinación del costo beneficio para su evaluación económica.

1. Con los datos de flujo $Q = 0.09 \text{ m}^3/\text{s}$ y carga dinámica a vencer $H = 80.4 \text{ m}$, se procede al requerimiento y cotización a proveedores de equipos de bombeo centrífuga sumergible para pozo profundo, así como las especificaciones de cada uno de los equipos para determinar la mejor opción.

Para este caso se solicitó cotización a dos empresas:

- a) Bombas Suárez, S.A. de C.V. <http://www.bombassuarez.com.mx>
- b) Bombas Delphy y equipos S.A. de C.V. <http://www.delphy.com.mx/>

Al ponernos en contacto con cada uno de los proveedores, ellos solicitan datos como para qué proyecto se está realizando la cotización, que empresa lo solicita y cuál es el giro de la misma. Y una vez proporcionados los datos de operación ambas empresas nos enviaron sus cotizaciones, curvas de operación y especificaciones de los equipos de bombeo.

Con la información obtenida de las cotizaciones, se procede a solicitar y recabar la mayor información del equipo y motor.

En el Anexo 1 se muestran las especificaciones de operación de cada uno de los equipos de bombeo, curva de operación, así como la descripción física de la bomba (material y dimensiones), proporcionadas por cada uno de los proveedores.

- 2. Cálculo de la potencia requerida por el equipo de bombeo, con una eficiencia considerada del $\eta=75\%$ y densidad del agua $\gamma=1000$, se utilizará la siguiente expresión:

$$P = \frac{QH\gamma}{75\eta}$$

$$P = \frac{0.09 \frac{m^3}{s} * 80.4 m * 1000 \frac{kg}{m^3}}{75 * 0.75}$$

$$P = 128.64 \text{ cv} \approx 127 \text{ hp}$$

Nota: 1cv = 0.986 hp

Debido a que 1 hp= 0.7457 kw por hora el equipo consumirá una potencia igual a:

$$P \approx 95 \frac{kw}{h}$$

Cada uno de los proveedores nos envió su propuesta que son las siguientes:

- a) Bomba sumergible modelo 11 ASL-2 nema 8 marca As Pump.
- b) Bomba sumergible modelo VHL-279-15 marca Goulds.

3. Cálculo de la eficiencia de cada uno de los equipos de bombeo, con los datos de las cotizaciones de cada uno de los proveedores, gasto = 0.09 m³/s, carga = 80.40 m, densidad del agua γ=1000, se utilizará la siguiente expresión:

$$P = \frac{QH\gamma}{75\eta}$$

Despejando la eficiencia

$$\eta = \frac{QH\gamma}{75P} * 100$$

De acuerdo a cada una de las cotizaciones de los proveedores ambos equipos de bombeo trabajarían con un motor de P = 125 hp, por lo que:

$$\eta = \frac{0.09 \frac{m^3}{s} * 80.4 m * 1000 \frac{kg}{m^3}}{75 * 125} * 100$$

$$\eta = 77.18 \% \approx 77\%$$

Debido a que 1hp= 0.7457 kw por hora el equipo consumirá una potencia igual a:

$$P \approx 93.2 \frac{kw}{h}$$

Cálculo de costo de operación.

Consumo de energía, tomando en cuenta un horario de 8 horas de operación:

$$\text{Consumo de energía} = P * \text{horas de operación.}$$

$$\text{Consumo de energía} = 93.2 \frac{kw}{h} * 8 h$$

$$\text{Consumo de energía} = 745.6 kw$$

El kilowatt/hora en la zona de Zacatecas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) es de \$1.7527 kw/h. (tomado de CFE, enero 2016).

$$\text{Costo por demanda} = \text{Consumo de energía} \frac{\text{kw}}{\text{h}} * \$ \text{Costo}$$

$$\text{Costo por demanda} = 93.2 \frac{\text{kw}}{\text{h}} * \$1.7527$$

$$\text{Costo por demanda} = \$ 163.35 \frac{\text{kw}}{\text{h}} \approx \$ 164.50 \frac{\text{kw}}{\text{h}}$$

$$\text{Costo por operación anual} \approx \$ 164.50 \frac{\text{kw}}{\text{h}} * 8 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 30 \frac{\text{días}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}}$$

$$\text{Costo por operación anual} \approx \$ 473,760.00 \text{ kw/año}$$

Valuando el costo de cada uno de los equipos de bombeo (Anexo 1), más el costo de operación anual, obtendremos el costo total por el primer año. Considerando que el tipo de cambio del dólar a enero de 2016 es de \$18.26 MN.

a) Bomba modelo 11ASL = \$ 170,538.73 MN (cotización bombas Suarez, Anexo 1)

$$\text{Bomba modelo 11ASL} = \$ 170,538.73 \text{ MN} + \$ 473,760.00 \text{ MN}$$

$$\text{Bomba modelo 11ASL} = \$ 644,298.73 \text{ MN}$$

b) Bomba modelo VHL-279-15 = \$ 23,882.63 USD (cotización bombas Delphi y equipos, Anexo 1)

$$\text{Bomba modelo VHL} - 279 - 15$$

$$= (\$ 23,882.63 \text{ USD} * \$ 18.26 \text{ MN}) + \$ 473,760.00 \text{ MN}$$

$$\text{Bomba modelo VHL} - 279 - 15 = \$ 436,096.82 \text{ MN} + \$ 473,760.00 \text{ MN}$$

$$\text{Bomba modelo VHL} - 279 - 15 = \$ 909,856.82 \text{ MN}$$

Por lo tanto, ambos equipos cumplen con las características que se necesitan para abastecer a la población de agua potable, sin embargo, el equipo de bombeo modelo 11ASL es más económico en su costo de inversión y ambas utilizarán el mismo gasto de energía, con una eficiencia del 77% se opta por la opción a, ya que es un ahorro de \$ 265,558.09 MN de inversión inicial.

V.2. Agua Residual

En la vida cotidiana los seres humanos empleamos agua prácticamente para todas nuestras actividades. La lamentablemente una consecuencia directa de esta interacción es la contaminación del vital líquido. El agua ya no regresa a los ríos y lagos en forma pura y usable, lo que puede originar problemas diversos que van desde el simple hecho de generar incomodidad, hasta verdaderos focos de contaminación y origen de epidemias.

Las aguas residuales se pueden dividir inicialmente en domésticas, industriales y agrícolas.

- Las labores domésticas contaminan el agua principalmente con residuos fecales y detergentes.
- La industria vierte aguas residuales cargadas de materia orgánica, metales, aceites e inclusive materiales radioactivos.
- La actividad agrícola vierte materia orgánica y residuos de fertilizantes e insecticidas.

En una planta de tratamiento de aguas residuales se busca retirar la mayor cantidad de productos sólidos (tratamiento primario) e iniciar los procesos bioquímicos que naturalmente transformarán los elementos contaminantes activos en productos manejables por el medio ambiente (tratamientos secundario y terciario). Estos procesos de tratamiento se llevan a cabo en plantas de tratamiento hasta las que se requiere acarrear el líquido.

Las plantas para tratamiento de aguas residuales para una ciudad representan los retos más grandes dentro de lo que compete a tratamiento de aguas de bido a su tamaño, proporcionalmente mucho mayor que las plantas que se ocupan de ellas en las industrias. Las aguas residuales de uso doméstico acarrear desperdicios alimenticios, grasas diversas, desechos humanos, jabones y detergentes, entre otros. De forma que es fácil percibir que un gran porcentaje de la composición del agua residual no es propiamente líquida.

Para el manejo de aguas residuales generalmente se emplean bombas centrífugas con impulsores de flujo axial (Viejo Zubicaray, 2000); puesto que se busca manejar gastos cuantiosos bajo presiones moderadas. El impulsor en una bomba centrífuga requiere tener pocos álabes con el fin de facilitar el paso de las partículas suspendidas en el líquido; tales como madera, hule, tela, materia fecal, etc. Se manejan dos tipos de equipo de bombeo: cárcamo húmedo y cárcamo seco. Los de cárcamo húmedo trabajan en condiciones de succión mejores que los de cárcamo seco (Viejo Zubicaray, 2000). Permiten ser instalados en plantas más sencillas y por ende económicas.

Aunque el transporte de aguas residuales puede efectuarse por gravedad, lo ideal por ser

ésta la alternativa más económica, no siempre puede ser así. De manera que en ocasiones se requiere recurrir al bombeo. Basta mencionar que el caso de la Ciudad de México, ubicada en una cuenca cerrada a una altura de 2,240 m sobre el nivel del mar, el empleo de sistemas de bombeo ha sido inevitable. Aquí la red de drenaje encargada de colectar el agua se encuentra ubicada a un nivel inferior al del canal de descarga. El Zócalo, por ejemplo, está siete metros por debajo del Gran Canal de Desagüe, uno de los principales desagües del Valle de México. Se requiere entonces de un sistema de bombeo para elevar el agua residual y pluvial de las tuberías de la ciudad hasta los puntos de desagüe.

V.2.1. Ejemplo: Planta de tratamiento de Ciudad Acuña, Coahuila

La planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Acuña se ubica en el municipio de Acuña al norte del estado de Coahuila (ver figura 59). Este municipio se localiza en las coordenadas 102°54'00" longitud oeste y 28°58'00" de latitud norte, a una altura de 280 metros sobre el nivel del mar, cubriendo una superficie de 11,487.70 metros cuadrados. La planta descarga sus aguas al Río Bravo, línea fronteriza entre la República Mexicana y los Estados Unidos de América.

Esta planta de tratamiento se proyectó como respuesta al creciente rezago en alcantarillado y saneamiento en Ciudad Acuña, ya que solamente 49% de la población contaba en ese entonces con alcantarillado sanitario. Entre otros factores, 13 de las enfermedades que habían sido detectadas por la Secretaría de Salud en Ciudad Acuña podían haber tenido relación directa con la falta de servicio sanitario adecuado. Además la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) entre México y Estados Unidos determinó en 1994 que el tratamiento de aguas residuales en ambos lados de la frontera resultaba deficiente.

El estudio realizado en el 2000 por Domínguez Muñoz resume el contenido de las descargas residuales generadas por la población en la tabla 15.

La planta de tratamiento contara con dos desarenadores que controlaran el total de aguas residuales proyectadas, para el caso de estudio sólo se verificará un desarenador que maneje la mitad de aguas residuales del total de la población.

Para elevar el agua que se recibe cada desarenador al sedimentador primario se emplea un sistema de bombeo (ver figura 60). El sistema de bombeo consistirá en una batería de tres bombas cada una manejando la mitad del gasto máximo, con el fin de prevenir la falla de un equipo o permitir operaciones de mantenimiento (ver figura 61).



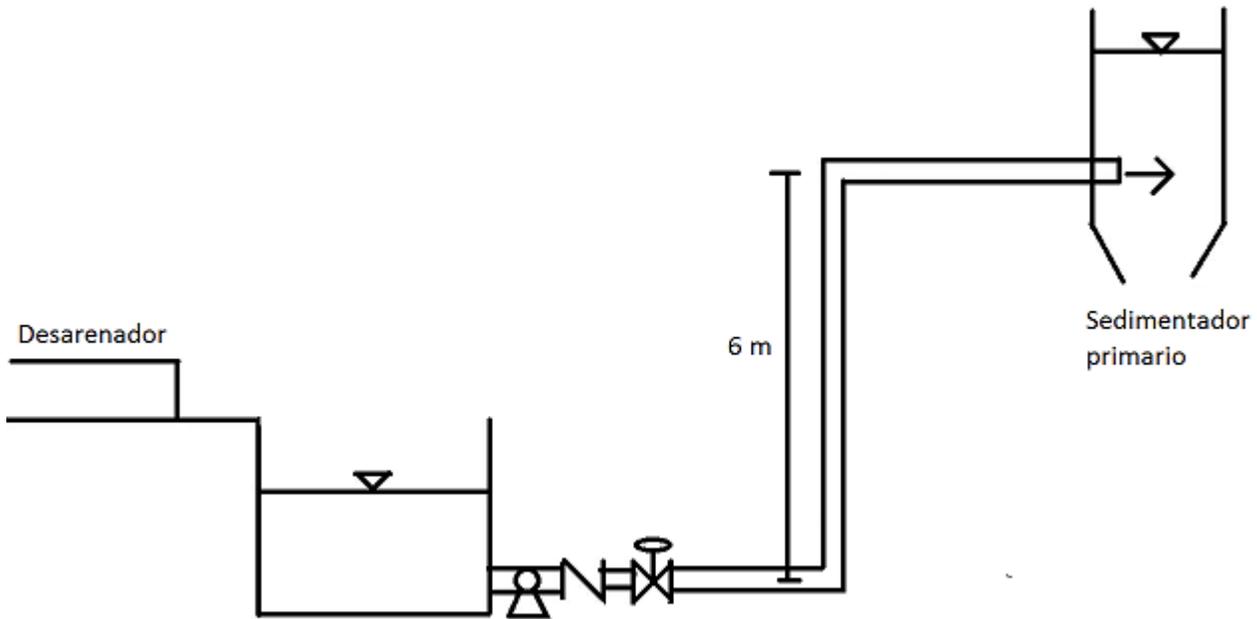
Fuente: Domínguez Muñoz, 2000.

Figura 59. Localización del municipio de Acuña en el estado de Coahuila.

Parámetro	Unidad	Agua Cruda
Sólidos totales (ST)	mg/l	750
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/l	500
Sólidos suspendidos totales SST)	mg/l	250
BBO5, 20	mg/l	250
DQO	mg/l	500
Nitrógeno total	mg/l	40
Nitrógeno orgánico	mg/l	15
Nitrógeno amoniacal	mg/l	25
Fósforo total	mg/l	8
Temperatura	°C	11.2 a 20

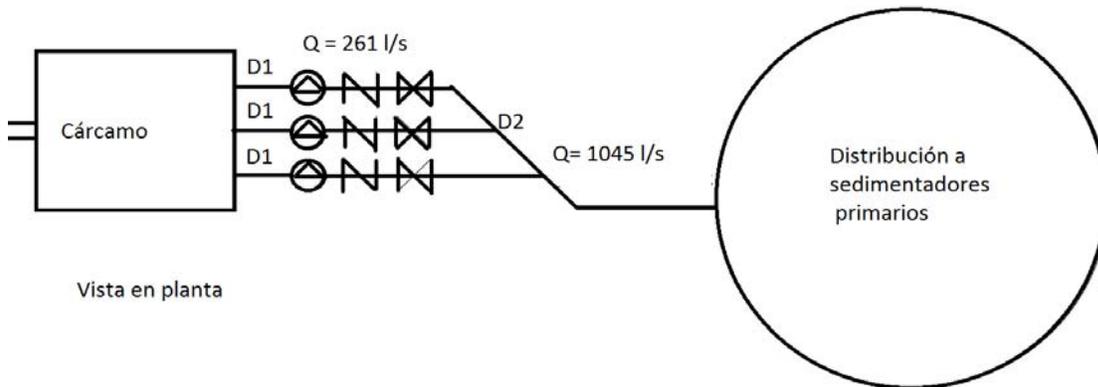
Fuente: Domínguez Muñoz, 2000.

Tabla 15. Características de las aguas residuales que se generan en la población de Ciudad Acuña.



Fuente: Elaboración propia

Figura 60. Vista de perfil que muestra la ubicación del equipo de bombeo con referencia al cárcamo y al sedimentador primario.



Vista en planta

Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Vista en planta que muestra el arreglo de los equipos de bombeo en batería.

1. *Cálculo del gasto*: En este caso la planta se planeó con un período de diseño de 15 años basándose en la población proyectada para el año 2024.

El gasto medio se puede calcular mediante la fórmula:

$$Q_{med} = \frac{A_p P}{T}$$

Donde:

Q_{med} : *gasto medio de aguas negras (l/s)*

A_p : *aportación de aguas negras (l/hab/día)*

P : *población, en número de habitantes*

$$T: \text{tiempo} = \frac{3600 \text{ s}}{h} * \frac{24 \text{ h}}{\text{día}} = 86,400 \text{ s/día}$$

La proyección de población para el año 2024 arroja 235,089 habitantes (Domínguez Muñoz, 2000), en tanto que la aportación de aguas negras es un aproximado de 333 l/hab/día, se considera el 60% de la aportación total por habitante, siendo:

$$\frac{333 \text{ l/hab}}{\text{día}} \times 0.60 = 199.8 \approx 200 \text{ l/hab/día}$$

Sustituyendo los datos obtenidos en la fórmula, se tiene:

$$Q_{med} = \frac{(235,089 \text{ hab})(200 \text{ l/hab/día})}{86,400 \text{ s/día}} = 544.2 \text{ l/s}$$

La población actual de Ciudad Acaña es tá conformada por 62, 545 hombres y 61, 687 mujeres, dando un total de 124,232 habitantes.

Para calcular el gasto máximo utilizaremos la siguiente fórmula:

$$Q_{max} = M Q_{med}$$

Donde:

M : *coeficiente de Harmon, o de variación máxima instantánea*

(Coeficiente que se utiliza en poblaciones mayores a 1,000 habitantes)

Calculando el coeficiente de Harmon (M).

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{\text{Población}}{1,000}}}$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{124,232 \text{ hab}}{1,000}}}$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + 11.15}$$

$$M = 1 + \frac{14}{15.15}$$

$$M = 1 + 0.92$$

$$M = 1.92$$

Para una población de 124,232 hab, M se considera con valor constante de 1.92.

Sustituyendo en la fórmula, se tiene:

$$Q_{max} = 1.92 (544.2 \text{ l/s}) = 1,044.9 \text{ l/s} \approx 1,045 \text{ l/s}$$

Para el gasto mínimo, éste se considera la mitad del gasto medio:

$$Q_{min} = 0.5 Q_{med}$$

De esta forma se tiene:

$$Q_{min} = 0.5 (544.2 \text{ l/s}) \approx 272 \text{ l/s}$$

Para cubrir la mitad del gasto máximo obtenido de 1,045 l/s para la mitad de la población será igual a 522.5 l/s, por lo que se empleará una conexión en paralelo de tres bombas que deberá cumplir con la suma de la mitad del gasto máximo igual a 261 l/s, cada una de ellas manejando un gasto máximo de 130.5 l/s. De manera que dos de ellas puedan manejar la mitad del gasto máximo total, permitiendo que en la tercera se puedan efectuar trabajos de mantenimiento y, de ser necesario, reparación. El arreglo se puede visualizar en la figura 61,

donde aparecen tres líneas de conducción, una por bomba, desembocando en una línea común.

Para calcular la línea que va del desarenador al sedimentador primario se toma en cuenta lo siguiente:

- Velocidad mínima de flujo recomendada mayor a 0.5 m/s
- Velocidad máxima de flujo recomendada de 2.5 m/s

Nota:

Exceso de velocidad puede:

- Originar golpes de ariete, cuyo valor de sobrepresión puede provocar rupturas.
- Producir excesivas pérdidas de carga.
- Favorecer las corrosiones por erosión.
- Producir ruidos, que pueden ser muy molestos.

Velocidad demasiado baja:

- Propicia la formación de depósitos de las sustancias en suspensión que pudiera llevar el agua, provocando obstrucciones.
- Implica un diámetro de tubería excesivo, sobredimensionado, con lo que la instalación se encarece de forma innecesaria

Por lo tanto los valores adecuados de la velocidad son los comprendidos entre 0.5 y 2.5 m/s, para nuestro caso utilizaremos una velocidad de 2.0 m/s.

Para efectos de estudio usaremos los datos de uno de los equipos de bombeo.

Datos de estudio de caso equipo de bombeo 1

$Q = 0.1305 \text{ m}^3/\text{s}$ (130.5 lps)

N.D. = 2 m

$V = 2.0 \text{ m/s}$ (propuesta)

$T = 25^\circ \text{ C}$

$D_c = 76.2 \text{ cm}$ (30")

$L_c = 1200 \text{ m}$

Sedimentador primario= 6 m

Desarenador= 0 m

Material de construcción= Asbesto-cemento

Donde:

Q: gasto

N. D: nivel dinámico

V: velocidad

T: temperatura

2. *Carga dinámica total*: se utilizará la ecuación de continuidad, con el fin de determinar la carga total a vencer por el equipo de bombeo:

$$H = h_s + hf_s + h_d + hf_d - hv_s$$

Donde:

H: carga dinámica total

h_s: elevación de succión

h_d: elevación de descarga

hf_s: pérdidas por fricción en la succión

hf_d: pérdidas por fricción en la descarga

hv_s: carga de velocidad en la succión

De dicha ecuación conocemos;

Elevación de succión

$$h_s = 2 \text{ m}$$

Elevación de descarga

$$h_d = \text{elev. sedimentador primario} - \text{elev. desarenador}$$

$$h_d = 6 \text{ m} - 0 \text{ m} = 6 \text{ m}$$

Y desconocemos las pérdidas por fricción en la succión (hf_s) y en la descarga (hf_d) y la carga de velocidad en la succión (hv_s).

Cálculo de pérdidas por fricción en la succión:

$$hf_s = f * \frac{L_{col}}{D_{suc}} * \frac{v^2}{2g}$$

Para este caso a la longitud al nivel dinámico conocido le agregaremos un factor de seguridad del 12.5% igual a 0.25 m, para cubrir los posibles abastecimientos de nivel en la longitud de la columna, por lo que:

$$L_{col} = ND + 0.25 m$$

$$L_{col} = 2 m + 0.25 m$$

$$L_{col} = 2.25 m = 7.4 ft$$

Por lo tanto la nueva elevación de succión será:

$$h_s = 80.95 m = 7.4 ft$$

Cálculo del diámetro de la columna de succión (D_{suc}), utilizando la ecuación de continuidad dada por:

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2$$

$$Q = v A = v * \frac{\pi}{4} * D^2$$

Despejando el diámetro:

$$D_{suc} = \sqrt{\frac{Q}{\frac{\pi}{4} * v}}$$

$$D_{suc} = \sqrt{\frac{0.1305 \frac{m^3}{s}}{0.785 * 1.5 \frac{m}{s}}} = 0.333 m$$

$$D_{suc} = 33.3 cm \approx 13.1 in$$

Debido a que no existe diámetro comercial de 13.1 in, utilizaremos el inmediato superior, por lo que seleccionaremos un diámetro de succión de 35.6 cm (14 in). Por lo tanto calcularemos el diámetro de velocidad para ese diámetro.

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} * D^2}$$

$$v = \frac{Q}{0.785 * D^2}$$

$$v = \frac{0.1305 \frac{m^3}{s}}{0.785 * (0.356 m)^2}$$

$$v = 1.31 \frac{m}{s}$$

Para conocer la pérdida de carga (f) nos auxiliaremos del diagrama de Moody (ver figura 48), por lo tanto debemos calcular el número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa.

$$Re = \frac{vD}{\vartheta}$$

De la tabla 12 se obtiene la viscosidad cinemática del agua (ϑ) a una temperatura de 25°C que es de $\vartheta = 0.897 \times 10^{-6}$.

$$Re = \frac{1.31 * 0.356}{0.897 \times 10^{-6}} \approx 519911 \approx 5 \times 10^5$$

La rugosidad relativa es igual a:

$$Rugosidad\ relativa = \frac{\varepsilon}{D}$$

El coeficiente de rugosidad (ε) se obtiene de la tabla 13, que es igual a $\varepsilon = 0.0025$

$$Rugosidad\ relativa = \frac{0.0025}{0.356} \approx 0.007$$

Con los valores encontrados de Re y ε , se entra al diagrama de Moody (ver figura 58) para obtener el coeficiente de pérdida de carga $f = 0.034$, sustituyendo en la ecuación de pérdidas por fricción en la succión:

$$hf_s = f * \frac{L_{col}}{D_{suc}} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{f_s} = 0.034 * \frac{2.25 \text{ m}}{0.356 \text{ m}} * \frac{\left(1.31 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}$$

$$h_{f_s} \approx 0.02 \text{ m}$$

Cálculo de pérdidas por fricción en la descarga:

$$h_{fd} = f * \frac{L_c}{D_c} * \frac{v^2}{2g}$$

Calculo de velocidad, con un diámetro de conducción

$$D_c = 0.762 \text{ m}$$

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} * D_c^2}$$

$$v = \frac{Q}{0.785 * D_c^2}$$

$$v = \frac{0.1305 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.785 * (0.762\text{m})^2}$$

$$v = 0.29 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Con una viscosidad $\vartheta = 0.897 \times 10^{-6}$, el número de Reynolds será:

$$Re = \frac{vD}{\vartheta}$$

$$Re = \frac{0.29 * 0.762}{0.897 \times 10^{-6}} \approx 246355 \approx 2.4 \times 10^5$$

Con $\varepsilon = 0.0025$, obtenemos la rugosidad relativa:

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{0.0025}{0.762} \approx 0.003$$

Entrando al diagrama de Moody (ver figura 48), se obtiene un coeficiente de pérdida $f = 0.025$, sustituyendo en la ecuación de pérdidas en la descarga:

$$h_{fd} = f * \frac{L_c}{D_c} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{fd} = 0.025 * \frac{1200 \text{ m}}{0.762 \text{ m}} * \frac{(0.29 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$h_{fd} \approx 0.17 \text{ m}$$

Considerando accesorios y cambios de dirección como son el codo de cabezal de descarga, válvula de compuerta, ampliación de campana, así como los codos de adaptación al sedimentador primario, se cubrirá aumentando el 10% como factor de seguridad a las pérdidas determinadas en la descarga, tal y como lo menciona el capítulo 4, por lo tanto:

$$h_{fd} \approx 0.17 \text{ m}$$

$$h_{fd} = 0.17 + 10\%$$

$$h_{fd} = 0.17 + 0.017$$

$$h_{fd} = 0.187 \text{ m} \approx 0.19 \text{ m}$$

Carga de velocidad en la succión:

$$h_{vs} = \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{vs} = \frac{(0.29 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$$

$$h_{vs} \approx 0.004 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación de carga dinámica total que deberá vencer el equipo de bombeo:

$$H = h_s + hf_s + h_d + hf_d - hv_s$$

$$H = 0 \text{ m} + 0.02 \text{ m} + 6 \text{ m} + 0.19 \text{ m} - 0.004 \text{ m}$$

$$H = 6.214 \text{ m} \approx 20.39 \text{ ft}$$

V.2.2 Determinación del costo beneficio para su evaluación económica.

1. Con los datos de gasto $Q = 0.1305 \text{ m}^3/\text{s}$ y carga dinámica a vencer $H = 6.214 \text{ m}$, se procede al requerimiento de cotización a proveedores de equipos de bombeo centrífuga para aguas residuales, así como las especificaciones de cada uno de los equipos para determinar la mejor opción.

Para este caso se requirió una cotización de la siguiente empresa:

- a) Proveedoras de bombas S.A. de C.V. <http://pbombas.com.mx/>

Una vez que nos pusimos en contacto con el proveedor para solicitar la cotización de un equipo de bombeo para agua residual se le proporcionaron los datos obtenidos en los cálculos, y en respuesta ellos nos cotizaron un equipo de bombeo centrífugo, (Ver Anexo 2), en donde se podrán observar las especificaciones de dicho equipo.

El fabricante propone un equipo de bombeo para flujo mixto de una etapa modelo 10 LS.

2. La potencia se calcula considerando una eficiencia del 75% y una densidad de 1000 kg/m^3 . Sustituyendo los valores obtenidos en la fórmula de potencia:

$$P = \frac{QH\gamma}{75\eta}$$
$$P = \frac{(0.1305 \text{ m}^3/\text{s})(6.214 \text{ m})(1000 \text{ kg/m}^3)}{75(0.75)}$$
$$P \approx 14.42 \text{ cv} \approx 14.22 \text{ hp}$$

Debido a que $1 \text{ hp} = 0.7457 \text{ kw}$ por hora el equipo consumirá una potencia igual a:

$$P \approx 11 \frac{\text{kw}}{\text{h}}$$

3. Cálculo de la eficiencia de acuerdo con el equipo de bombeo propuesto por el proveedor y con los datos de la cotización, gasto = $0.1305 \text{ m}^3/\text{s}$, carga = 6.214 m , densidad del agua $\gamma = 1000$, se utilizará la siguiente expresión:

$$P = \frac{QH\gamma}{75\eta}$$

Donde: (cotización Anexo 2)

$$P = 20 \text{ HP}$$

Despejando la eficiencia

$$\eta = \frac{QH\gamma}{75P} * 100$$

$$\eta = \frac{0.1305 \frac{m^3}{s} * 6.214 m * 1000 \frac{kg}{m^3}}{75 * 20} * 100$$

$$\eta = 55.92\% \approx 56\%$$

De acuerdo con la cotización del proveedor el equipo de bombeo trabajaría con un motor de P = 20 hp, por lo que:

Debido a que 1 hp= 0.7457 kw por hora el equipo consumirá una potencia igual a:

$$P \approx 15 \frac{kw}{h}$$

Cálculo de costo de operación.

Consumo de energía, tomando en cuenta un horario de 8 horas de operación:

$$\text{Consumo de energía} = P * \text{horas de operación.}$$

$$\text{Consumo de energía} = 15 \frac{kw}{h} * 8 h$$

$$\text{Consumo de energía} = 120 kw$$

El kilowatt/hora en la zona de Coahuila por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) es de \$1.6284 kw/h.

$$\text{Costo por demanda} = \text{Consumo de energía} \frac{kw}{h} * \$ \text{Costo}$$

$$\text{Costo por demanda} = 15 \frac{kw}{h} * \$1.6284$$

$$\text{Costo por demanda} = \$ 24.42 \frac{kw}{h} \approx \$ 24.50 \frac{kw}{h}$$

$$\text{Costo por operación Anual} \approx \$ 24.50 * 8 \frac{h}{\text{día}} * 30 \frac{\text{día}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}}$$

$$\text{Costo por operación Anual} \approx \$ 70,560.00 \text{ kw/año}$$

Valuando el costo total del equipo de bombeo (Anexo 2), más el costo de operación anual, obtendremos el costo total por el primer año.

Sumando el costo del equipo de bombeo más el motor, más el IVA tenemos un total:

$$\text{Costo bomba modelo 10 LS} = \$111,000.00 \text{ MN}$$

$$\text{Costo motor} = \$ 41,750.00 \text{ MN}$$

$$\text{Costo total del equipo de bombeo} = \text{Costo bomba modelo 10 LS} + \text{Costo motor} + \text{IVA}$$

$$\text{Costo total del equipo de bombeo} = \$ 111,000.00 \text{ MN} + \$ 41,750.00 \text{ MN}$$

$$\text{Costo total del equipo de bombeo} = \$ 152,750.00 \text{ MN} + \text{IVA}$$

$$\text{Costo total del equipo de bombeo} = \$ 152,750.00 \text{ MN} + \$ 24,440.00 \text{ MN}$$

$$\text{Costo total del equipo de bombeo} = \$ 177,190.00 \text{ MN}$$

a) Bomba modelo 10 LS

$$\text{Bomba modelo 10 LS}$$

$$= \text{Costo total del equipo de bombeo} + \text{Costo por operación anual}$$

$$\text{Bomba modelo 10 LS} = \$ 177,190 \text{ MN} + \$ 70,560.00 \text{ MN}$$

$$\text{Bomba modelo 10 LS} = \$ 247,750.00 \text{ MN}$$

Dado que no existen en México muchos proveedores de equipos de bombeo para agua residual con dichas dimensiones, nos quedaremos con esta opción para la nueva planta de tratamiento del municipio de Ciudad Acuña en Coahuila.

V.3. Concreto

En las edificaciones se utiliza el bombeo de concreto debido a condiciones de obra existentes en donde el acceso es limitado y a que usualmente las áreas de trabajo se encuentran saturadas de materiales y equipo. Casi todos los equipos de bombeo, grandes y pequeños, pueden bombear verticalmente hasta cierta altura, de modo que se presta también para la construcción de edificios de varios pisos. Estos equipos ocupan poco espacio y se pueden colocar en cualquier lugar donde puedan llegar los camiones de concreto premezclado.

Para estos casos, existen diferentes equipos de bombeo:

Bomba Estacionaria: son las que se utilizan para bombear elementos en donde no es posible el acceso con camiones de concreto al área de forma directa. Hay varios tipos de equipos y marcas entre los cuales la diferencia corresponde a la presión de bombeo, y al guna ubicación de accesorios principales. En este sistema se requiere del armado de una serie de tubos (metálicos) aproximadamente de 3 y 10 m de longitud, unidos entre sí por medio de accesorios que permiten llegar al sitio de descarga.

La longitud típica para bombeo en este tipo de vaciados oscila entre los 40 y 300 m de longitud, aunque se han realizado bombeos record en Le Refrain (Francia), estableciendo un nuevo record internacional alcanzando una longitud ininterrumpida de 2,015 m a través de una galería.

En altura se realizan bombeos hasta 100 m en condiciones normales. Se puede llegar a bombear a mayores alturas en casos específicos, donde se involucran estaciones fijas de bombeo, y accesorios especiales que permiten llegar al punto requerido, como fue el caso del bombeo record en altura de 606 m en las torres del Burj Dubai en los Emiratos Árabes Unidos. Con rendimientos normales de 30 a 80 m³/h dependiendo el tipo de equipo. Para este tipo de bombeo se debe tener en cuenta el tiempo de armado de la tubería y se debe tener coordinación previa para lograr descargar el concreto tan pronto llegue a obra.

Autobomba: es un sistema automático de bombeo de concreto, el cual consta de una bomba montada sobre el chasis de un vehículo, que funciona bajo el mismo principio de hidráulica de la bomba estacionaria. Cuenta con un brazo con su propia tubería, operada normalmente con control remoto, el cual se ubica hasta el sitio de descarga (bombas plumas). Este sistema es muy práctico ya que, a diferencia de las bombas estacionarias, no dependen del armado de la tubería. Simplemente se ancla el equipo y por control remoto se ubica el brazo "boom" del equipo en el sitio requerido. Cada camión bomba varía de tamaño con longitudes de brazo que se extienden de 17 a 63 m.

Para los dos casos, bombas estacionarias o autobombas, es indispensable una lubricación previa al bombeo. Otra técnica empleada es adicionar mezclas con polímeros que permiten la lubricación de la tubería.

También para ambos casos (ver figuras 62 y 63), se deben conocer los equipos y a que dependiendo de la presión, uso y marca del equipo, podemos obtener los diferentes rendimientos del bombeo.

En cuanto a sus accesorios, las mangueras y los tubos transportadores se colocan con facilidad a un lado del paso ocupando poco espacio. En lugares difíciles de alcanzar con los camiones de concreto premezclado, una bomba puede mover con facilidad el concreto sobre las obstrucciones que serían excesivamente difíciles de vencer por los camiones. En la mayoría de los casos, el costo de bombear el concreto es mucho menor que el de otros métodos de transportación. Para cuando se van a colocar cantidades relativamente grandes de concreto, se usan bombas mecánicas pesadas con una capacidad nominal de hasta 105 metros cúbicos por hora. Estas máquinas pueden bombear concreto con 7.6 cm (3 in) de revenimiento por una tubería de 12,7 cm (5 in) o más, hasta de 1,200 m de largo, elevándolo verticalmente hasta 112 metros aproximadamente, con frecuencia, con agregado de hasta 6.35 cm (2.5 in).

Lo importante en la identificación de los componentes en estos equipos de bombeo, es conocer el funcionamiento básico del sistema y comprender cuales son los orígenes de las fallas más comunes permitiendo proporcionar ventajas para mejorar la disponibilidad y los costos.



Fuente: Putzmeister Serie BSA. Bombas de remolque de alta presión y alto rendimiento.

Figura 62. Bomba del tipo estacionaria serie BSA 14000 hp.

Una de las partes más importantes es el sistema hidráulico, del cual existen diferentes tipos:

Sistema hidráulico abierto: en un circuito abierto, las bombas succionan el aceite del depósito

y lo bombean por el mando y el sistema. En seguida, el aceite volverá al depósito (o filtro y depósito) y allí permanecerá (intervalo de descanso) hasta que de nuevo sea succionado al circuito. El intervalo de descanso en el depósito permite reducir las tensiones del aceite, precipitar las partículas en suspensión y optimizar el enfriamiento.



Figura 63. Equipo de bombeo móvil montado en camión, autobomba.

Sistema hidráulico cerrado: en este circuito cerrado, las bombas aspiran el aceite del depósito y lo bombean por el mando y el sistema. A continuación, se presiona de nuevo el aceite en la bomba. Aquí el aceite no tiene un intervalo de descanso en el depósito. Solamente una cantidad parcial (aproximadamente el 10%) saldrá del sistema y volverá al depósito. Típicamente los sistemas cerrados trabajan a temperaturas más elevadas por lo que las partículas en suspensión no tienen oportunidad de depositarse.

Referente a las dimensiones de las bombas, hay una gran variedad de equipo de bombeo adecuado para casi toda obra de concreto.

Estos equipos de bombeo deben su nombre al hecho de que el concreto se bombea por un conducto de 10 cm (4 in) o menos diámetro, bastante pequeño cuando se compara con las líneas de 13 cm (5 in) y más de las bombas pesadas.

Existen varias manufacturas de bombas de pistón, sean accionadas hidráulica o mecánicamente, la mayor parte de ellas con dos pistones, alternándose en la carrera de potencia. Los pistones grandes de 15 a 20 cm (6 a 8 in) de diámetro de baja velocidad fuerzan al concreto a través de reducciones hacia el tubo o manguera, que pueden tener de 5 a 10 cm (2 a 4 in) de diámetro (ver figura 64). El tipo de bomba utilizada (bomba de émbolo

o bomba peristáltica) y el tipo de tubo (tubo oscilante "C" o "S") cuando se utiliza una bomba de émbolo influye sobremanera en el comportamiento del concreto premezclado en la bomba.

El concreto premezclado será depositado en la tolva que conduce directamente hacia la cámara de carga, pasando a través de válvulas hacia la cámara de descarga, en donde el pistón lo fuerza hacia el tubo o manguera para su entrega.

Por reducción volumétrica de la cámara de transporte, el concreto es forzado a entrar en la tubería de transporte a la vez que se desplaza toda la columna de concreto contenida en la misma. Si se observa detenidamente, la aspiración es también una forma de empuje: el aumento de volumen de la cámara de transporte (es decir, el émbolo de transporte se aleja del orificio de aspiración del cilindro) genera un vacío respecto a la presión atmosférica, que empuja al concreto de la tolva a la cámara de transporte con una presión máxima de 1 bar, suponiendo que no existan bolsas de aire entre la cámara y la atmósfera.

El reducido nivel de presión de aspiración y llenado requiere que el concreto oponga la mínima resistencia posible al flujo y a la deformación. El agitador de la tolva y su diseño contribuyen significativamente a conseguirlo. El agitador sirve no solamente para conservar la fluidez del concreto durante las pausas de transporte y evitar que se sedimente, sino que además mueve y empuja el concreto durante la aspiración de forma que fluya "por sí solo", sin atascos, al orificio de aspiración, que debe ser lo más grande posible. El grado de llenado de la cámara es un criterio decisivo para determinar la capacidad de rendimiento de una bomba.

En las bombas de concreto de émbolo, el comportamiento de aspiración del concreto no está determinado solamente por el tamaño del orificio de aspiración y la eficacia de la tolva del agitador, sino también por la "obstaculización" de la aspiración derivada del sistema de tubo oscilante utilizado.

Cuando el concreto es empujado de los cilindros de una bomba de émbolo a la tubería de transporte, la sección de la columna de concreto se reduce al diámetro de la tubería (100 o 125 mm) desde que pasa por el tubo oscilante ("C" o "S") el tipo S se caracteriza por mínimas fuerzas dinámicas y un funcionamiento muy silencioso con una conmutación más rápida, un tubo oscilante ideal para bombas de concreto sobre remolque.

Un requisito necesario para conservar la bombeabilidad del concreto en la bomba, es la absoluta estanqueidad del sistema de tubo durante la fase de presión. Un sistema no estanco significa pérdidas de agua o lechada en la zona periférica, con el consiguiente peligro de un concreto no homogéneo cuyo rozamiento con la pared dependa de la presión,

cosa que desembocará forzosamente en la formación de tapones.

En las bombas de concreto de émbolo es especialmente importante que la cámara de transporte se vacíe completamente en cada carrera de bombeo porque, en caso contrario, puede quedar un resto denominado volumen muerto de concreto hasta la siguiente limpieza de la bomba, adherido preferentemente al émbolo de transporte, donde endurece/fragua y puede provocar, en su caso, la destrucción de juntas, del émbolo y de la pared interior del cilindro.

Generalmente, una bomba de concreto cuenta con los siguientes parámetros técnicos principales:

Las exposiciones del transporte, la presión de salida, la potencia del motor y el formulario de la distribución de la válvula. Los principales parámetros se pueden seleccionar según el tamaño de la bomba de concreto.

Por lo tanto se puede decir que la misión de la bomba es impulsar el concreto premezclado como corriente de transporte continuo a través de una tubería de transporte hasta el punto de vertido, sin que disminuya la composición y las propiedades específicas del concreto.

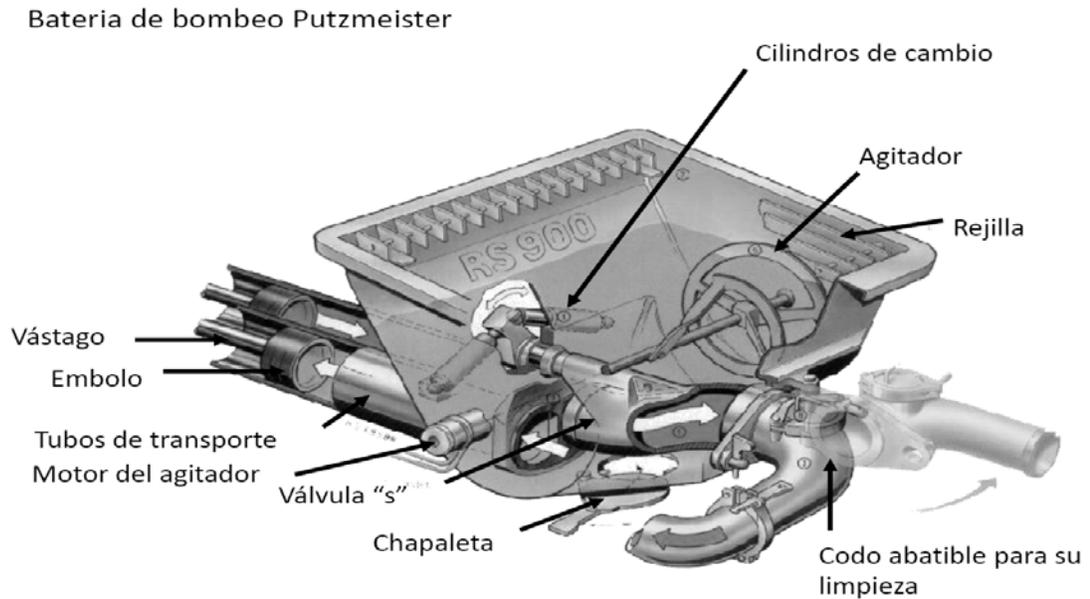
De acuerdo con el nivel de presión de salida marcada, se pueden dividir en bombas en baja presión (hasta 5 MPa), bombas de media presión (de 6 a 10 MPa) y bombas de alta presión (mayores de 10 MPa). De acuerdo con el mayor se determina por hora, se diferencia de 20 a 100 m³. La mayoría de las bombas de concreto pueden alcanzar dos velocidades de desplazamiento variable, o variable continua.

Los usuarios deben elegir la presión de salida de acuerdo a las necesidades reales de altura y distancia requerida para la ejecución de la obra de ingeniería y de la transmisión, elegir el alcance según la cantidad de rendimiento y de acuerdo a los materiales de la mezcla, la capacidad de alimentación.

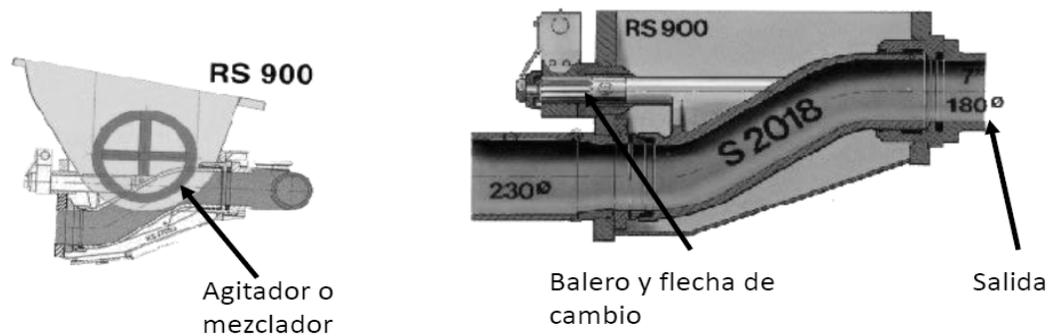
Un concreto es bombeable cuando es y permanece denso durante todo el bombeo, para esto todos los componentes sólidos están rodeados por líquido (agua) y se desplazan unos respecto a otros durante todo el trayecto, por lo que la presión se transmite en el concreto solo a través del líquido.

De aquí la importancia especial de la composición del concreto en cuanto a los agregados superfinos, es decir que esto favorece no solamente la lubricación del concreto respecto a la pared del tubo durante el bombeo y, por consiguiente, una reducción de la resistencia por rozamiento con la pared.

La bombeabilidad y densidad estructural de un concreto no sólo depende de su composición, sino también del diámetro de la tubería y de la “película periférica”.



Válvulas de transferencia Putzmeister: Tubo S



Fuente: Putzmeister Serie BSA. Bombas de remolque de alta presión y alto rendimiento.

Figura 64. Batería de bombeo con válvula de transferencia Putzmeister.

En la selección de una bomba de concreto, se consideran varios elementos; los principales son los siguientes:

- El volumen que se bombea por día
- Tamaño de los agregados
- Asentamiento del concreto
- La altura y la distancia vertical a ser superadas por la bomba

- Tipo de bomba, la pluma, autobomba o estacionaria

Tubos: el tubo de diámetro grande para las máquinas de servicio pesado puede tener alrededor de 20 cm (8 in) de diámetro. En una línea larga cabe una gran cantidad de concreto.

Al calcular la tubería para una obra, es necesario hacer un ajuste por las elevaciones verticales y codos, convirtiéndose en bombeo horizontal equivalente. Se recomiendan los equivalentes siguientes:

1 ft (0.3048 m) de tubo vertical = 2,44 m (8 ft) horizontales

1 codo de 90 grados = 12.19 m (40 ft) horizontales

1 codo de 45 grados = 6.10 m (20 ft) horizontales

1 codo de 30 grados = 3,96 m (13 ft) horizontales

Por ejemplo, supóngase que una línea tiene una longitud real de 109.73 m (360 ft) y está formada por las secciones siguientes:

97,54 m (320 ft) de tubo recto

2 codos de 90 grados

4 codos de 45 grados

Una elevación vertical de 12.19 m (40 ft) al final de la tubería.

La longitud equivalente de tubo recto horizontal se determina como sigue:

97.54 m (320 ft) de tubo recto es igual a:

2 codos de 90 grados x 12.19 m (40 ft) de tubo recto = 24.38 m (80 ft)

4 codos de 45 grados x 6.10 m (20 ft) de tubo recto = 24.38 m (80 ft)

12.19 m (40 ft) elevación vertical x 2.44 m (8 ft) horizontales = 97,54 m (320 ft)

Por lo tanto es un total de 243.84 m (800 ft)

La disposición de la tubería (llamada la “línea de resbalamiento”) para cualquier tamaño de bomba es importante, teniendo presente el hecho de que los codos introducen resistencia adicional por fricción.

Agregados: tanto el tamaño, como la forma, graduación y su proporción son importantes en la obtención de un concreto que pueda bombearse. Con los agregados redondos y semiredondos se producen mejores mezclas para bombeo que con los agregados que contienen una gran proporción de material triturado, aun cuando este último se puede usar en forma satisfactoria. La graduación de los agregados debe conformarse a los requisitos del

código o de las especificaciones con los cuales se está realizando el trabajo. La arena debe contener finos adecuados, como un 15 a un 30 % que pasa por la malla # 50 y por lo menos de un 5 a un 10 % que pase por la malla # 100. En mezclas de 1 ó 1 ½ pulgadas, el agregado total debe contener alrededor de 10 a 15% de grava.

En relación a la bombeabilidad, la experiencia ha demostrado que:

En un contenido de cemento de por lo menos 240 kg/m^3 para un concreto, debe ser con un agregado máximo de 32 mm.

En un contenido de mortero de por lo menos de $450 \text{ dm}^3/\text{m}^3$, debe ser con agregado máximo de 32 mm.

Cemento: se puede utilizar cualquiera de los tipos más comunes de cemento Portland en el concreto que se va a bombear.

Aditivos: en la construcción rigen el uso de aditivos y no es necesario aplicar limitaciones ni tolerancias especiales por lo que se refiere al bombeo.

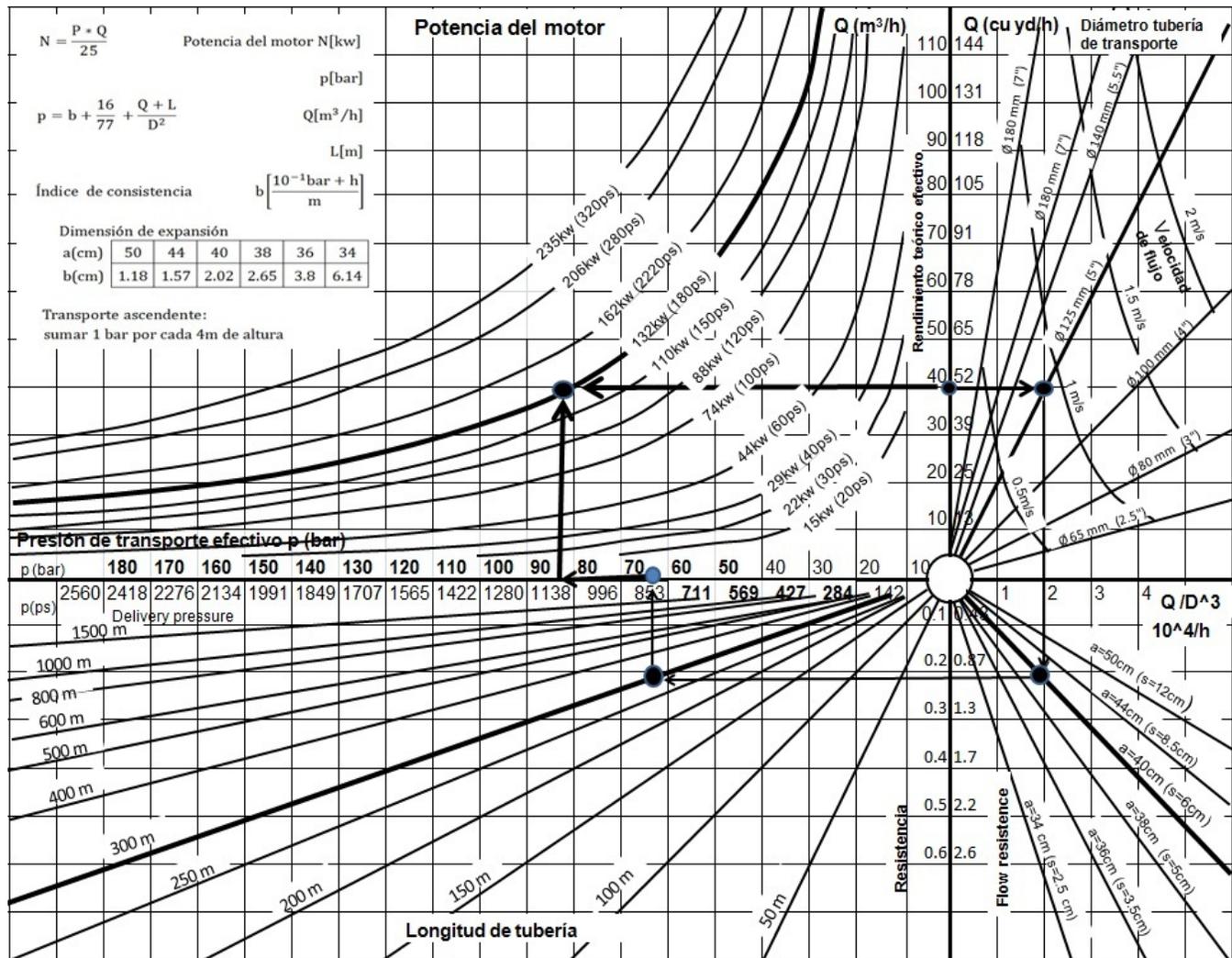
Concreto: para el bombeo debe ser plástico y trabajable. La mezcla debe ser densa y cohesiva, así como contener el suficiente porcentaje en volumen de una fracción de pasta de cemento dosificada correctamente. Debido a esto, muchas personas han pensado que es necesario un porcentaje muy alto de arena, tanto como el 65% del agregado total para un concreto de agregado máximo de 2.5 cm (1 in).

Lo mejor es una mezcla plástica y trabajable con un revenimiento de más o menos 14 a 20 cm. Revenimientos menores no son bombeables debido a que la tubería se tapa. Si las mezclas contienen un elevado porcentaje de finos, la resistencia a la fricción es elevada y se dificultará el proceso de bombeo.

Bombeo: antes de iniciar el bombeo del concreto, el conducto debe cebarse mediante el bombeo de una carga de mortero a través de la línea con el fin de lubricarla. Una regla empírica es bombear aproximadamente 19 litros (5 galones) de mortero por cada 15 m (50 ft) de manguera de 1 m (40 in), usando cantidades menores para los tamaños más pequeños de manguera o tubo.

Al bombear, el tamaño máximo del agregado grueso está limitado a un tercio del diámetro interno más pequeño de la bomba o de la línea de distribución. Por ejemplo, el agregado de una pulgada y media requeriría un diámetro mínimo de línea de distribución de 11.43 cm (4.5 in). Las propiedades de los agregados finos o de la arena son más importantes al determinar las proporciones de las mezclas para bombear que de los agregados gruesos.

El caudal del concreto a través de una tubería de transporte se obtiene del equilibrio entre la capacidad de la bomba de concreto (potencia motriz (kw), rendimiento efectivo (m³/h), presión de transporte efectiva (bar), geometría de la tubería (diámetro (mm), longitud (m), altura de transporte (m) y consistencia del concreto (coeficiente de viscosidad).



Fuente: Putzmeister Ibérica-Bombas de hormigón.

Figura 65. Nomograma de presión / rendimiento de concreto.

El nomograma de presión de concreto/rendimiento representado en la figura 65, que es independiente de la bomba, ilustra la interdependencia de estos parámetros.

Ejemplo:

Se requieren de bombear 40 m³/h de concreto con un cono de 40 cm (6 cm slump), deberán ser bombeados a través de una tubería de 125 mm de diámetro a una distancia horizontal de 300 m y vertical de 80 m, en donde al apoyarnos en el nomograma de presión (figura 65), se realiza lo siguiente:

En la vertical donde se indica el volumen de concreto se marcan los 40 m³/h (eje vertical) se traza una línea horizontal hacia la derecha en donde se encuentra el diámetro de tubería de 125 mm (cuadrante superior derecho). De ahí una línea vertical hacia abajo (cuadrante inferior derecho) en donde podemos observar que se indican las diferentes medidas de slump y por lo tanto se llega a la línea en donde se encuentra el de 40 cm.

A continuación, desde ese punto se marca una línea horizontal hacia la izquierda hasta la distancia de transporte de 300 m (cuadrante inferior izquierdo).

Y perpendicularmente sobre el eje horizontal se puede leer la presión necesaria indicándonos una presión de 64 bar.

Para el transporte vertical se deberá agregar un bar por cada 4 m de altura, y para nuestro ejemplo es el siguiente:

Bar adicionales: 80 m / 4 bar = 20 bar

Para la altura de transporte de 80 m se deberá agregar 20 bar a los 64 bar de la distancia horizontal. Esto da una presión total de transporte de 84 bares y se marca en el nomograma.

En el cuadrante izquierdo superior se encuentran las diferentes curvas de potencia, y por lo tanto se subirá la línea vertical del punto de los 84 bar y donde se intersecta con la horizontal en 40 m³/h, se nos proporciona el accionamiento necesario para la bomba que requerimos y es de 132 kw.

En las tablas 19, 20 y 21 se indican algunos modelos de bombas de presión BSA Putzmeister y Sching S tetter, donde se muestran algunas de las características de estas bombas, como es su rendimiento, alcance vertical, capacidad, tamaño del agregado que manejan, etc.

Modelo (Bombas de concreto de carrera larga gran rendimiento)	BSA 2109 HD	BSA 2110 HP D	BSA 2107 HPE
Rendimiento hasta	95 m ³ /h	102 m ³ /h	71 m ³ /h
Presión concreto hasta	152 bar	220 bar	220 bar
Accionamiento	200 kw (diésel) 160 kw (eléctrico)	330 kw (diésel)	200 kw (eléctrico)
Cilindro transporte ϕ	200 mm	200 mm	200 mm
Tamaño del agregado	63 mm	63 mm	63 mm
Carrera	2100 mm	2100 mm	2100 mm

Fuente: Elaboración propia apoyado con información de Putzmeister Serie BSA. Bombas de remolque de alta presión. y alto rendimiento.

Tabla 19. Bombas estacionarias Putzmeister de gran rendimiento.

Modelo (Bombas de concreto de alto rendimiento)	BSA 14000 HP D	BSA 14000 HP E	BSA 14000 SHP DE
Rendimiento hasta	200 m ³ /h	95 m ³ /h	71 m ³ /h
Presión concreto hasta	260 bar	220 bar	220 bar
Accionamiento	470 kw (opción 571 kw)	320 kw (eléctrico)	470 kw (opción 571 kw)
Cilindro transporte ϕ	180/200/280 mm	200 mm	200 mm
Carrera	2100 mm	2100 mm	2100 mm

Fuente: Elaboración propia apoyado con información de Putzmeister Serie BSA. Bombas de remolque de alta presión. y alto rendimiento.

Tabla 20. Bombas estacionarias Putzmeister de alto rendimiento.

Utilizando otros métodos de colado sería difícil o casi imposible hacerlo. El uso de concreto bombeado permite obtener frecuentemente ahorros en la mano de obra, costos de material y tiempos de construcción. No obstante, el bombeo de concreto a grandes alturas plantea requisitos específicos al diseño de la mezcla. Éstos pueden cumplirse gracias a los avances de la tecnología de los aditivos para concreto. Una de las ventajas más notables de estas bombas estacionarias es el incremento rápido de la productividad. Esto se logra en gran parte por el caudal de material que manejan, el cual fluctúa entre 23 hasta 100 metros cúbicos por cada hora. Con este rasgo, también la actividad adquiere mayor agilidad, por lo que las acciones relacionadas se verán beneficiadas en tiempo.

Modelo (Schwing Stetter)	Alcance vertical (m)	Capacidad de bombeo (m ³ /h)	TMA (in)	Presión sobre concreto (psi)
SP 1000	100	54	1 1/2	1100
SP 2000	122	90	2 1/2	1566
SP 305	60	23	1	624
SP 500	100	35	1 1/2	1100
SP 700-180	100	54	1 1/2	1100
SP 88	46	19	1/2	500

Fuente: Elaboración propia, apoyado con información de Swching Steter.

Tabla 21. Bombas estacionarias Swching Stetter.

Lo más común en zonas urbanas y suburbanas, para el colado de elementos de concreto premezclado, el cual se va a elevar o ensotanos, es solicitar una bomba para estas condiciones de trabajo, por lo que a continuación se indica una guía para solicitar servicios de bombeo:

1. Introducción servicios de bombeo
2. Identificación del cliente con el proveedor
3. Identificación de la obra
4. Horario del servicio y fecha
5. Volumen de concreto a colocar y ritmo de colocación
6. Elementos a colar y su ubicación en la obra
7. Tipo de equipo de bombeo solicitado
8. Características del concreto a manejar
9. Empresa que surtirá el concreto y planta de origen del concreto
10. Persona responsable de la obra
11. Persona responsable que hace el pedido
12. Otros aspectos: seguridad
13. Confirmación de datos

En México la disponibilidad de equipo varía de acuerdo a las necesidades de la obra como son la altura a la cual va a bombear el equipo, también si se requiere bombear hacia sotanos o en su defecto si se divide en dos estaciones para bombear a un nivel y de ahí nuevamente rebombearlo a donde se requiera.

V.3.1 Ejemplo: Torre de oficinas, Ciudad de México

Para nuestro caso, que es una Torre de oficinas y que se localiza en Insurgentes Sur 1425 en la Ciudad de México, delegación Benito Juárez (ver figura 66), en donde se va a colar una losa de un área de $1,440 \text{ m}^2$ de 25 cm de espesor con un concreto premezclado $f'c= 300 \text{ kg/cm}^2$ R.R. a 7 días, con un revenimiento de ± 18 , T.M.A. de $\frac{3}{4}$ in, a una altura de 30 m, esto es, en un quinto nivel.

Para los trabajos de colado de losas a esta altura y poder determinar la bomba que se va a utilizar para elevar el concreto no es el mismo criterio o método para determinar la bomba para agua potable y agua residual, ya que en este caso no se hace uso de una memoria de cálculo, en donde se toman en consideración el gasto, carga, temperatura, viscosidad. Para nuestro ejemplo estas consideraciones no son las mismas.

Selección del equipo de bombeo

Para determinar la bomba de concreto a utilizar se considera la altura a la que se va a bombear, el tamaño del agregado, el revenimiento del concreto, así como el área en donde se instalará el equipo debido a que el espacio del que se dispone es muy limitado y por lo tanto se debe considerar también la capacidad de bombeo. En comparación de los equipos de bombeo para agua potable y agua residual en donde se debe considerar el gasto, eficiencia del equipo, carga y una velocidad específica y considerar el tipo de fluido a bombear.



Fuente: Mapa de Delegación Benito Juárez. <https://www.google.com.mx/maps/place/>

Figura 66. Localización de obra.

En este caso se puede observar que las condiciones que presenta la obra en donde se colocará la bomba es limitado, por lo que esta se instala fuera de la obra (ver figura 67) debido a que el espacio es mínimo, la longitud de tubería en horizontal requerida es de 90 m hasta llegar al ducto del elevador con una vertical de 30 m.

Para estas condiciones de la obra, se determinó utilizar una bomba Putzmeister VS2112 (ver figura 68), y con un rendimiento hasta 108 m³/h, y una presión del concreto de 220 bar.

V.3.2 Determinación del costo beneficio para su evaluación económica.

Para nuestro ejemplo, los datos de la volumetría del concreto y sus características del mismo, se procede a requerir la cotización a proveedores de concreto premezclado y

bombeado, y de acuerdo al costo del concreto que nos convenga se determinará la empresa a contratar.

Con las condiciones del colado de la losa se solicita la cotización del concreto premezclado bombeado a una concretera (Anexo 3).

a) Concretos Cemex



Fuente: Elaboración propia

Figura 67. Torre de oficinas Insurgentes Sur 1425.

Al igual que en las bombas de agua potable como la residual, los proveedores solicitan datos como lo es la identificación de la obra, horario del servicio y fecha, volumen de concreto a colocar y ritmo de colocación, los elementos a colar y su ubicación en la obra, el equipo de bombeo, las características del concreto a manejar, entre otros datos y mencionados anteriormente.

Y con estos datos podemos conocer el costo del suministro del concreto requerido así como el costo del bombeo, también se consideran tramos adicionales de la tubería del concreto debido a su recorrido desde el camión hasta el colado de la losa que es aproximadamente de 120 m (ver figuras 67, 68 y 69).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 68. Suministro de concreto premezclado al autobomba.

Suministro de concreto premezclado estructural clase I $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, TMA de $\frac{3}{4}$ " (19 mm), RR a 7 días, revenimiento ± 18 , bombeable.

A continuación se procede a calcular el costo del concreto:

Datos:

Concreto premezclado estructural clase 1 $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, RR a 7 días, TMA $\frac{3}{4}$ ", revenimiento 18.

Área de concreto a colar : $1,440 \text{ m}^2$ con espesor de 25 cm

Volumen de concreto = $1,440 \text{ m}^2 \times 0.25 \text{ m} = 360 \text{ m}^3$

Longitud total de la tubería = 120 m

De acuerdo a los datos de la cotización solicitada del concreto (Anexo 3) se tiene que:

Costo de concreto premezclado de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2 = \$ 2,118.62 \text{ MN}$

Costo de bomba estacionaria = $\$ 235.17 \text{ MN/m}^3$

Costo de tramo de tubo (10 m) = $\$ 20.00 \text{ MN/m}^3$

Longitud extra de tubería $120 \text{ m} - 50 \text{ m} = 70 \text{ m}$



Fuente: Elaboración propia.

Figura 69. Tolva de autobomba.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 70. Conexión de tubería en el suministro del concreto.

Por lo tanto a continuación se calcula el costo total del concreto suministrado con una bomba estacionaria.

Costo de concreto premezclado $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ será de:

$$360 \text{ m}^3 \times \$ 2,118.62 \text{ MN} = \$ 762,703.20 \text{ MN}$$

Costo de bomba estacionaria será de: $360 \text{ m}^3 \times \$ 235.17 / \text{m}^3 = \$ 84,661.20 \text{ MN}$

Tubería adicional (tramo de 10 m), por lo tanto los tramos son $70 \text{ m} / 10 \text{ m} = 7$ tramos el costo será de : $7 \text{ tramos} \times \$ 20.00 \text{ MN} / \text{m}^3 \times 360 \text{ m}^3 = \$ 50,400.00 \text{ MN}$

Por lo tanto el costo total del concreto premezclado y bombeado será de $\$ 897,764.40 \text{ MN}$

El costo de la bomba está en dólares de acuerdo a la cotización solicitada (Anexo 3) por lo tanto considerando que el tipo de cambio del dólar al día 26 enero de 2016 es de \$ 18.26 MN, el costo del equipo será de:

$$\text{Costo de bomba estacionaria: } \$ 190,095.00 \text{ USD} \times \$ 18.26 \text{ MN} = \$ 3,471,134.70 \text{ MN}$$

Sustituyendo el costo del valor del equipo, se calcula el costo horario de la bomba (ver figura 71) siendo este de \$ 961.21 MN.

Como el tiempo para la instalación de la bomba en el sitio es aproximadamente de una hora, y el tiempo que debe esperar para que empiece a llegar el concreto de la planta a la obra es de 1.5 hr, y en el bombeo y tendido del concreto es aproximadamente de 1.5 hr, se puede concluir que el tiempo total en la utilización de la bomba es de 4 hr, por lo tanto el costo por m^3 de la bomba es de:

$$\text{Costo del } \text{m}^3 \text{ por la bomba estacionaria es de: } \frac{\$ 961.21 / \text{hr}}{4 \text{ hr}} = \$ 240.30 \text{ MN}$$

Se concluye que el costo que cotiza la concretera de \$ 235.17 MN, con respecto al costo horario del equipo y el tiempo que se requiere en su utilización está dentro de un margen aceptable de costo.

Finalmente se hace énfasis que las consideraciones en los equipos de la bomba de agua potable y residual son diferentes para seleccionar el tipo de bomba, pues se consideran la presión de salida y la potencia del motor. En nuestro caso los equipos de bombeo los niveles de presión de salida para baja presión es de 5 MPa, la bomba de media presión 6-10 Mpa y la bomba de alta presión > 10MPa.

Dependencia:
 Concurso No.
 Obra: Torre de oficinas
 Lugar: Ciudad de México

ANÁLISIS DEL COSTO DIRECTO: HORA-MÁQUINA

DATOS GENERALES

CODIGO:	EQBOMEST		
MAQUINA:	BOMBA ESTACIONARIA SOBRE CAMIÓN		
MODELO:			
CAPACIDAD:			
PRECIO DE ADQUISICION:	\$3,471,134.70	VIDA ECONOMICA EN AÑOS:	5.00
PRECIO JUEGO LLANTAS:	\$10,047.89	HORAS POR AÑO (Hea):	2,000 HR.
EQUIPO ADICIONAL:		VIDA ECONOMICA (Ve):	10,000 HR.
VIDA ECONOMICA DE LLANTAS:	2,000 HR.	POTENCIA NOMINAL 160 HP	
PRECIO PZAS ESPECIALES. (Pe):	\$00.00	COSTO COMBUSTIBLE(Pc): GASOLINA	\$11.34 / LTS.
VIDA ECONOMICA PZAS ESPEC.(Va):	HR.		
VALOR DE LA MAQUINA (Vm):	\$3,461,086.81	COSTO LUBRICANTE(Pa): ACEITE	\$30.00 / LTS.
VALOR DE RESCATE (Vr):	10% \$346,108.68	FACTOR DE OPERACION (Fo):	80.00%
TASA DE INTERES (i):	12%	POTENCIA DE OPERACION (Po):	128.00
PRIMA DE SEGUROS (s):	4%	FACTOR DE MANTENIMIENTO (Ko):	0.8
SALARIO REAL DEL OPERADOR(Sr):	\$0.00	COEFICIENTE COMBUSTIBLE(Fc):	0.1514
SALARIO POR OPERACION(So):	\$0.00	COEFICIENTE LUBRICANTE(Fa):	0.0035
HORAS EFECTIVAS DE TRABAJO POR TURNO (Ht):		CAPACIDAD DEL CARTER (CC):	50
TIEMPO ENTRE CAMBIO DE LUBRICANTE(Ca):	150	FACTOR DE RENDIMIENTO (Fr):	1.0

ACTIVA % ESPERA % RESERVA

CARGOS FIJOS

a).- DEPRECIACION..... $D = (Vm-Vr)/Ve = 3,461,086.81 - 346,108.68 / 10,000.00 =$	\$311.50	10.00%	\$31.15	5.00%	\$15.58
b).- INVERSION..... $Im = (Vm+Vr) * i/2Hea = (3,461,086.81 + 346,108.68) * 0.12 / 2 * 2,000.00 =$	\$114.22	8.00%	\$9.14	100.00%	\$114.22
c).- SEGUROS..... $Sm = (Vm+Vr) * S/2Hea = (3,461,086.81 + 346,108.68) * 0.04 / 2 * 2,000.00 =$	\$38.07	10.00%	\$3.81	10.00%	\$3.81
d).- MANTENIMIENTO..... $M = Ko * D = 0.80 * 311.50 =$	\$249.20	15.00%	\$37.38	6.00%	\$14.95
SUMA CARGOS FIJOS	\$712.99		\$81.48		\$148.56

CONSUMOS

a).- COMBUSTIBLE..... $GASOLINA Co = Fc * Po * Pc = 0.1514 * 128.00 * 11.34 =$	\$219.76	0.00%	\$0.00	0.00%	\$0.00
b).- OTRAS FUENTES DE ENERGIA:..... $= 0 * 0 = \$0$	\$0.00	0.00%	\$0.00	0.00%	\$0.00
c).- LUBRICANTE:..... $Lb = [(Fa * Po) + CC/Ca] * Pa = [(0.0035 * 128.00) + 50 / 150] * \$30/Lt. =$	\$23.44	0.00%	\$0.00	0.00%	\$0.00
d).- LLANTAS:..... $N = Pn/Vn = \$10,047.89 / 2,000.00 =$	\$5.02	0.00%	\$0.00	0.00%	\$0.00
e).- PIEZAS ESPECIALES:..... $Ae = Pe/Va = \$0.00 / 0 =$	\$0.00	0.00%	\$0.00	0.00%	\$0.00
SUMA DE CONSUMOS:	\$248.22		\$0.00		\$0.00

COSTO DIRECTO HORA-MÁQUINA **\$961.21** **\$81.48** **\$148.56**

Figura 71. Costo horario bomba estacionaria.

V.4 Emulsión asfáltica

En la urbanización vial el conjunto de obras relacionadas a la construcción, reparación, mantenimiento y conservación de caminos, carreteras y calles, tanto a nivel urbano como rural, es el mejoramiento de la capacidad instalada de la infraestructura vial de una ciudad o municipio, para esta tarea de rehabilitar y dar mantenimiento a los caminos y calles del municipio es necesario tomar en cuenta todos los aspectos tanto de materiales como de equipo a utilizar.

En la actualidad se requiere de responder a la demanda en la producción de volúmenes de mezclas asfálticas, para la construcción de pavimentos urbanos y viales, cumpliendo las exigencias de las especificaciones técnicas que rigen estas obras.

En la construcción de pavimentos viales, el concreto asfáltico está constituido por un ligante asfáltico y un agregado mineral. Al incluirse ambos su comportamiento se afecta por las propiedades individuales de cada componente y por su interrelación.

Para el riego de liga es importante tomar en cuenta las características del ligante asfáltico, como es su susceptibilidad térmica, y el tiempo de su aplicación, con estas condiciones es importante para su colocación el considerar un equipo que cumpla con ellas y en este caso es una petrolizadora.

En nuestro ejemplo, se consideran los camiones distribuidores de asfalto, equipo que es utilizado en la aplicación de tratamientos superficiales en las capas base antes de colocar la carpeta asfáltica, conocido como riegos de liga.

El objetivo de este equipo es el de regar el producto asfáltico sobre el camino en cantidades exactas y durante todo el tiempo que dure la carga de la petrolizadora, debe conservar la misma cantidad de riego, sin que varíe ésta por cambios de pendiente o dirección del camino

El equipo es el siguiente:

- Chasis de camión común y corriente con su motor

- Tanque termo con rompeolas y motor para accionar la bomba para líquidos pesados

- Sistema de tubos llamado barras de riego y boquillas

- Dos quemadores ubicados en la parte posterior del tanque, para calentar el asfalto

- Bomba tipo engrane con la función de succionar y esparcir uniformemente el producto asfáltico

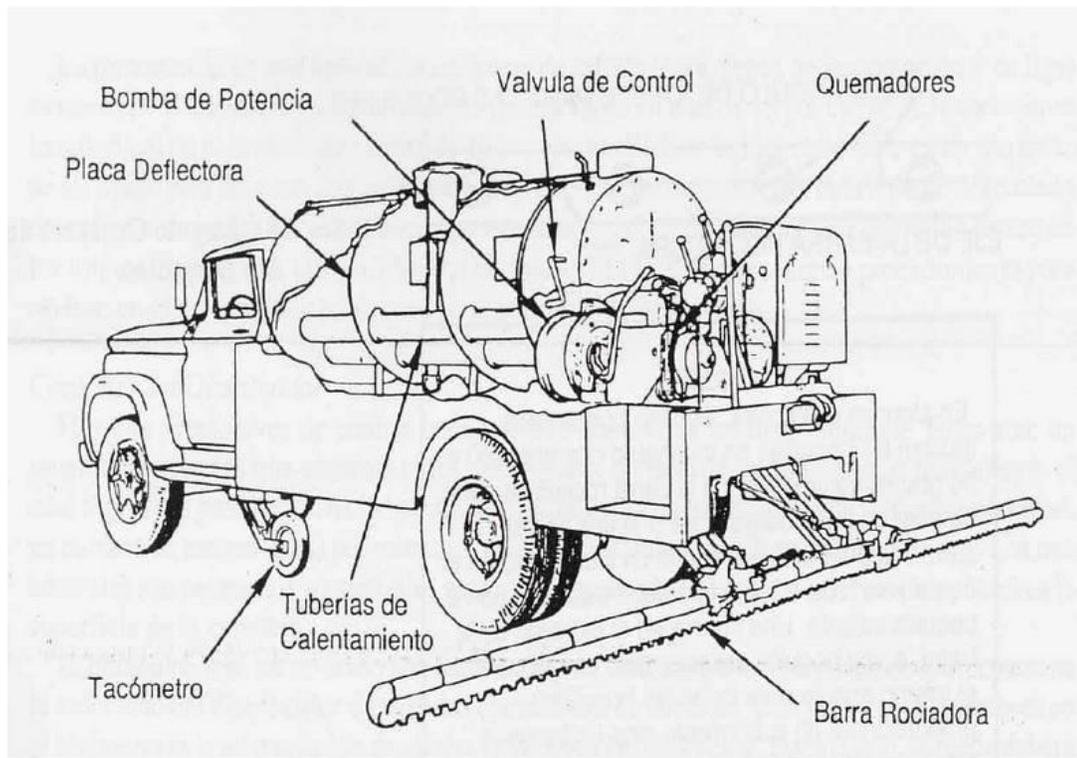


Figura 72. Conexión de tubería en el suministro del ligante asfáltico.

Termómetro adecuado para medir la temperatura del contenido

Este equipo es una petrolizadora (ver figura 72) y es un camión en donde está montado un termo tanque provisto de un sistema de calentamiento, formado por un quemador de fuel-oil que calienta el tanque haciendo pasar los gases a través de tuberías o serpentín situadas en su interior que a su vez calienta el asfalto. Cuenta con la motobomba (ver figura 73) que permite expulsar el material ligante a la presión especificada. En el extremo del tanque está ubicada la barra de riego provista de boquillas, a través de las cuales se riega el asfalto sobre la superficie del terreno, están articuladas con el fin de poder subir, bajar o deslizarse hacia los costados del camión. La barra debe estar conectada al tanque de tal manera que el asfalto circule a través de ella cuando no se esté regando. La longitud de esta barra varía entre 3 a 8 metros en los modelos más grandes. En el tanque debe existir un termómetro adecuado para medir la temperatura del asfalto. También existe una conexión para una manguera con barra de riego y boquilla sencilla o doble para regar zonas del camino que no puedan alcanzarse con la barra riegadora. Se fabrican camiones imprimadores con capacidades de 3,200 a 16,000 litros, existen modelos pequeños para mantenimiento de 1,600 litros.

La bomba para el asfalto es de engranes de desplazamiento positivo con puertos de 10 1.6 mm (4 in) y gasto de 1,514 lpm (400 gpm) a una velocidad máxima de 400 rpm. El conjunto de motobomba está montado al frente del tanque, cerca del operador, alejado del humo y polvo contaminante para protección del operario y del sistema de conducción de asfalto.



Figura 73. Motobomba sobre camión.

En la operación el riego depende de la cantidad de asfalto bombeado por minuto y del desplazamiento del vehículo en m/s, así como la barra de distribución.

Para una correcta distribución se debe adaptar un tacómetro que mida la velocidad de desplazamiento en m/s ó ft/s.

Respecto a la bomba cuya función principal es succionar y dispersar uniformemente el producto asfáltico, éstas además deben de recircular el producto succionando por un lado y descargando por el otro.

Este tipo de bomba de desplazamiento positivo de engranes son de tamaño pequeño, pueden ser operadas a motor y envía flujo suave y no pulsante, permitiendo que este tipo de bomba sea la adecuada para el manejo de aceites pesados a una presión constante y flujo uniforme.

Al poner a funcionar el motor el eje de levas mueve el eje de mando de la bomba, con el engrane conductor este acciona el engrane conducido produciendo una de presión que succiona el aceite a través del colador.

El rendimiento o cantidad de asfalto bombeado varía en proporción directa al número de revoluciones por minuto de su flecha

La función del imprimador es aplicar asfalto sobre una superficie previamente conformada a una tasa especificada (por ejemplo 1.5 l/m^2), formando una capa ligante uniforme y homogénea.

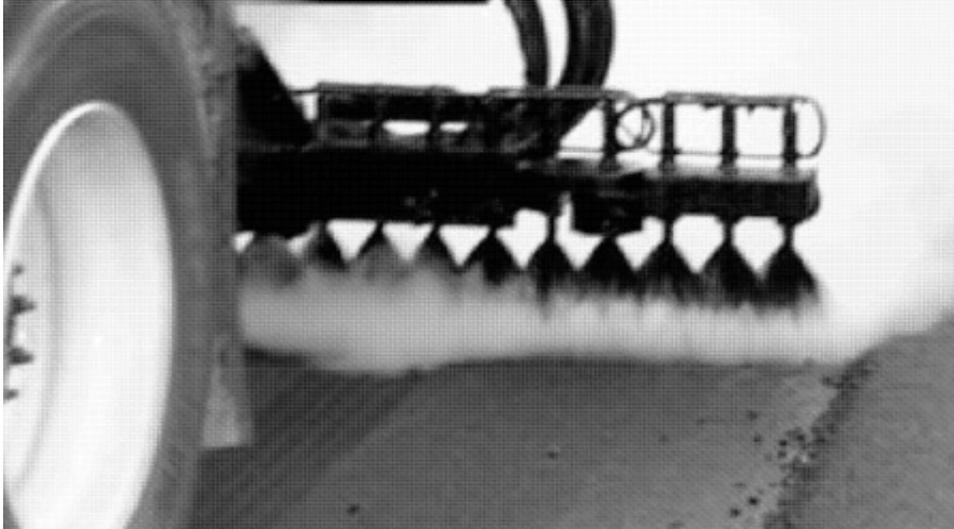


Figura 74. Barra regadora y boquillas.

En la aplicación uniforme de asfalto es necesario que:

La viscosidad y la temperatura del asfalto sean las adecuadas. La presión ejercida por la bomba sea uniforme en toda la longitud de la barra regadora.

Se debe calentar la barra regadora y las boquillas (ver figura 74) antes de comenzar a regar, para eliminar los residuos de asfalto de la jornada anterior.

Las boquillas estén fijadas sobre la barra regadora con un ángulo adecuado, usualmente 15 a 30 grados, para evitar que los chorros se mezclen o interfieran unos con otros.

Las boquillas deben fijarse a una altura conveniente de la superficie del camión, para asegurar el adecuado solape de los abanicos de distribución. Algunos modelos están provistos de soportes regulables que permiten graduar la altura de la barra de acuerdo a las exigencias de la obra.

Para evitar desperdicios, al cortar el riego la bomba debe succionar el asfalto de las barras para que no continúe derramándose por gravedad.

La velocidad de trabajo del camión debe ser constante.

Cuando se trabaja con asfalto, estos procedimientos demandan un tiempo mayor, porque el

asfalto necesita alcanzar una temperatura cercana a los 140°C, y la circulación de este material por la barra de distribución suele ocasionar la obstrucción de las boquillas de los esparcidores, por lo cual necesitan estar constantemente calentados con un soplete auxiliar.

Posteriormente el camión imprimador descarga el asfalto en la superficie de la plataforma, a una tasa previamente establecida. El tiempo que demanda el trabajo preliminar de carga, el tiempo de descarga y el correspondiente a las maniobras se considera en un tiempo fijo (ciclo), que tendrá un rango amplio de variación, de acuerdo a las características de cada obra.

La producción del camión imprimador, en m² de superficie imprimada, estará en función de la capacidad del tanque, de la tasa de aplicación por unidad de área, de la distancia a la que se encuentra el depósito y la planta de calentamiento de asfalto.

Para el cálculo de producción, es conveniente utilizar un factor de eficiencia de 0,60, debido a que el trabajo del camión se realiza sobre las áreas liberadas para su aplicación con riego de asfalto, las que generalmente son menores que la capacidad de su tanque.

El tiempo total de un ciclo de trabajo será la sumatoria de los tiempos utilizados en las operaciones de carga del asfalto, en la descarga del asfalto por riego, en los recorridos de ida y vuelta y en las maniobras de viraje. La duración del ciclo depende de la distancia de la planta a la obra (d) en metros y de la velocidad promedio del camión.

Por lo tanto en la producción de una petrolizadora se debe tener en cuenta, la velocidad de la máquina, el largo de la barra esparcidora, así como la eficiencia de la máquina.

También se debe considerar que en el rendimiento de las petrolizadoras en las obras, son los requerimientos de los riegos de emulsión en las obras, o a la gran distancia a la que se pueda encontrar la base de almacenamiento, por lo que se necesitaría un equipo de gran capacidad para estos trabajos.

Dentro del mercado en México, existen diferentes tipos de Petrolizadoras, entre las cuales se encuentran "Seaman-Gunnison" (ver figuras 75 y 76), y en sus equipos su sistema motriz se encuentra ubicado entre la cabina y el tanque, ofreciendo seguridad al operador evitando que respire polvos y humos dañinos de la combustión de los quemadores y chimeneas, su sistema de monitoreo permite controlar el gasto de la bomba de asfalto en función del riego especificado, ancho de banda utilizado y la velocidad del camión. Si el vehículo varía su velocidad mientras está trabajando, la computadora "CRC" ajusta la velocidad de la bomba de asfalto automáticamente para tener el riego deseado.

En tanto las Petrolizadoras "Escudero" cuentan con un modelo, el PE-8000, que no lleva un

motor auxiliar, lo que las hace únicas en su género, ya que todo el equipo es accionado por el mismo camión ahorrando costos de operación, logrando una mayor eficiencia eliminando totalmente las dificultades mecánicas que presentan los motores auxiliares. La transmisión del equipo, operación de válvulas de riego, los movimientos verticales y laterales de la barra son totalmente hidráulicos haciendo a este equipo el más completo para trabajos de riegos superficiales (ver figura 77) y Petrolizadoras “Jabri” (ver figuras 78 y 79).

Existen otros equipos con capacidad de hasta 18,000 l, este tipo de equipos es totalmente adecuado para las grandes obras que requieren los riegos de emulsión o para obras que se encuentran a gran distancia de la base de almacenamiento. En México se tienen equipos con capacidad de 5,000 a 18,000 l, a continuación se indican algunos equipos con su capacidad y características de diferentes proveedores (tablas 22 y 23).

Equipamiento/ Modelo	Sistema de control de riego	Bomba	Sistema de calentamiento	Barra	Sistema de limpieza	Control de funciones
CRME (4,500 l)	Computarizado, Seaman Plus 1	De engranes, de desplazamiento positivo. 1,514 lpm (400 gpm) de gasto.	Quemadores Beckett Turboalimentados, a diesel, de encendido electrónico.	De espaciado Duo-Flo, de accionamiento hidráulico, doble circulación continua, descenso y levante manual de extensiones, variación de ancho de riego manual.	Sistema Ecoseaman, ecológico, de circuito cerrado.	Combinación de válvulas mecánicas y electroválvulas. Operable por una sola persona.
Strata (8,000 l)	Semicomputarizado Seaman Duplex	De engranes, de desplazamiento positivo, de 757 lpm (200 gpm) de gasto.	Quemadores Beckett Turboalimentados, a diesel, de encendido electrónico.	De accionamiento hidráulico, doble circulación continua, descenso y levante manual de extensiones, variación de ancho de riego manual.	Sistema Ecoseaman, ecológico, de circuito cerrado.	Por medio de válvulas mecánicas en plataforma de operación. Se requiere de segundo operador.
CRCH (versión CRME, CRCN) (8,000 l)	Computarizado, Seaman Plus 1	De engranes, de desplazamiento positivo, de 1,514 lpm (400 gpm) de gasto.	Quemadores Beckett Turboalimentados, a diesel, de encendido electrónico.	De accionamiento hidráulico, doble circulación continua, descenso y levante electrónico y remoto de extensiones, variación de ancho de riego manual.	Sistema Ecoseaman, ecológico, de circuito cerrado.	Por medio de electroválvulas. Operable por una sola persona.
CRCN (12,000 l)	Computarizado, Seaman Plus 1	De engranes, de desplazamiento positivo, de 1,514 lpm (400 gpm) de gasto.	Quemadores Beckett Turboalimentados, a diesel, de encendido electrónico.	De accionamiento neumático, doble circulación continua, descenso y levante electrónico y remoto de extensiones, variación de ancho de riego electrónico y remoto.	Sistema Ecoseaman, ecológico, de circuito cerrado, sistema de aire comprimido para barra.	Por medio de electroválvulas. Operable por una sola persona.
CRME (17,000 l)	Computarizado, Seaman Plus 1	De engranes, de desplazamiento positivo. 1,514 lpm (400 gpm) de gasto.	Quemadores Beckett Turboalimentados, a diesel, de encendido electrónico.	De accionamiento hidráulico, doble circulación continua, descenso y levante manual de extensiones, variación de ancho de riego manual.	Sistema Ecoseaman, ecológico, de circuito cerrado.	Combinación de válvulas mecánicas y electroválvulas. Operable por una sola persona.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Petrolizadoras Seaman-Gunnison.

Equipamiento/ Modelo	Sistema de control de riego	Bomba	Sistema de calentamiento	Barra	Sistema de limpieza	Control de funciones
Jabrí (6,000 l)	Semicomputarizado	De engranes, salida de 3" de desplazamiento positivo.	Cuenta con dos flux de 8" de diámetro los cuales atraviesan a todo lo largo del tanque, dos quemadores a gas, depósito de combustible, caja de calentamiento en la bomba	De de accionamiento hidráulico, circulación continua, descenso y levante manual de extensiones, variación de ancho de riego manual	Se realiza con ACPM para lavar las barras.	Combinación de válvulas mecánicas y electroválvulas. Y se opera por una sola persona.
Jabrí (8,000 l)	Semicomputarizado,	De engranes, salida de 3" de desplazamiento positivo.	Cuenta con dos flux de 8" de diámetro los cuales atraviesan a todo lo largo del tanque, dos quemadores a gas, depósito de combustible, caja de calentamiento en la bomba	De de accionamiento hidráulico, circulación continua, descenso y levante manual de extensiones, variación de ancho de riego manual	Se realiza con ACPM para lavar las barras.	Combinación de válvulas mecánicas y electroválvulas. Y se opera por una sola persona.
Jabrí (18,000 l)	Semicomputarizado.	De engranes salida de desplazamiento positivo.	Cuenta con dos flux de 8" de diámetro los cuales atraviesan a todo lo largo del tanque, dos quemadores a gas, depósito de combustible, caja de calentamiento en la bomba	De de accionamiento hidráulico, circulación continua, descenso y levante manual de extensiones, variación de ancho de riego manual	Se realiza con ACPM para lavar las barras.	Combinación de válvulas mecánicas y electroválvulas. Y se opera por una sola persona.
Escudero (6,000 l)	Mecánica	De paletas de succión y descarga de 3" de un gasto de	Dos quemadores de gas butano de 3" de acero inoxidable, control manual.	De accionamiento hidráulico, circulación continua, descenso y levante manual de extensiones, variación de ancho de riego, manual.	Mediante un soplete que se pasa por la barra.	Combinación de válvulas mecánicas y electroválvulas. Y se opera por una sola persona.
Escudero PE- 8000 (8,000 l)	Mecánica	De paletas de succión y descarga de 3"	Dos quemadores de gas butano de 3" de acero inoxidable, control manual.	De accionamiento hidráulico, circulación continua, descenso y levante manual de extensiones, variación de ancho de riego, manual.	Mediante un soplete que se pasa por la barra	Combinación de válvulas mecánicas y electroválvulas. Y se opera por una sola persona.

Fuente: Elaboración propia.

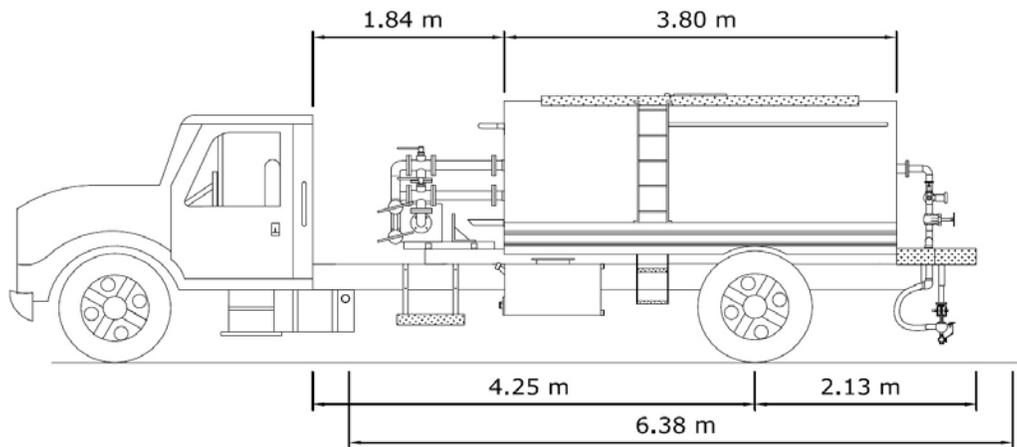
Tabla 23. Petrolizadoras "Jabrí" y "Escudero".



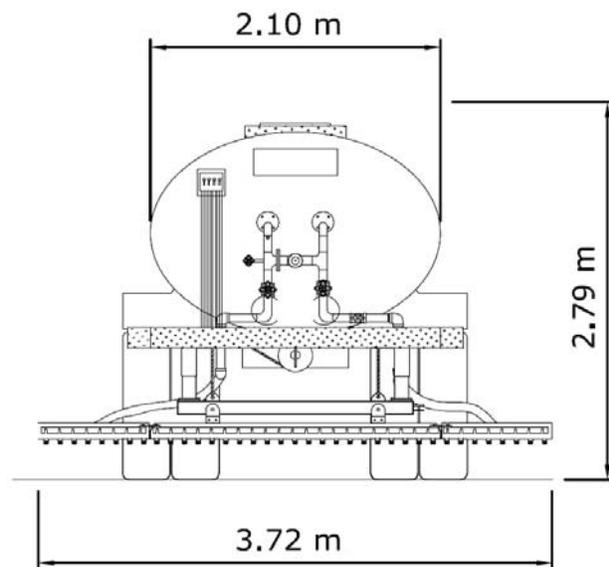
Figura 75. Petrolizadora Seaman de 6,000 l.



Figura 76. Petrolizadora Strata–Seaman de 8,000 l.



Vista lateral



Vista posterior

Fuente: Ficha técnica "PE-8000" Escudero
 Figura 77. Petrolizadora PE-8000 Escudero.



Figura 78. Petrolizadora Jabrí de 6000 l.



Figura 79. Petrolizadora Jabrí de 18,000 l.

V 4.1 Ejemplo: Proyecto de Rehabilitación de zona de rodamiento de la Autopista “La Venta – Chamapa” kilómetro 27+153.41 a 37+780.

La obra se encuentra ubicada en el Estado de México y la ciudad de México en los municipios de Huixquilucan, Naucalpan y la delegación Cuajimalpa (ver figura 80).



Fuente: <https://www.google.com.mx/maps/place/Autopista+La+Venta-Chamapa/@19.5069644,-99.2998>

Figura 80. Localización de la obra.

La zona de rodamiento tiene una estructura de pavimento flexible (asfalto ver figura 81) la cual presenta pérdida del agregado debido al aforo, lo cual ocasiona baches.

Con la finalidad de mantener en óptimas condiciones de seguridad la superficie de rodamiento de la autopista se sustituirá la carpeta asfáltica por otra nueva en tre los kilómetros 27+153.41 a 37+780, lo que redundará en la seguridad de los usuarios de ese camino de cuota, por el que circulan en promedio 34,779 mil vehículos al día. La autopista Chamapa- La Venta tiene una longitud de 14.2 kilómetros, y es una importante vía que comunica a los municipios conurbados del poniente de la ciudad de México, Naucalpan así como Toluca.

Para la rehabilitación de este tramo carretero es necesaria la sustitución de la superficie de rodamiento, para así nuevamente proporcionar la resistencia al desgaste y los efectos abrasivos de los vehículos en movimiento y poseer suficiente estabilidad para evitar daños por el impulso y las rodadas bajo la carga de tránsito.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 81. Zona de rodamiento.

Para estos trabajos únicamente puntualizaremos el riego de liga que es donde se utiliza el equipo que es una petrolizadora, donde ubicamos una bomba.

Para este caso no se cuenta con el mismo procedimiento para seleccionar el equipo de bombeo que para agua potable y residual, ya que únicamente se consideran los costos de producción.

Para calcular la producción de los trabajos, se utilizará un factor de eficiencia de 0,60 a 0.70, debido a que el trabajo del camión se realizará sobre las áreas liberadas para su aplicación con riego de asfalto, las que generalmente son menores que la capacidad de su tanque.

De acuerdo a las consideraciones anteriores para calcular la productividad de los camiones imprimadores es la siguiente:

$$Q = \frac{60 \times C \times r \times E}{i \times T \times (1 + h)} \quad \left[\frac{m^2}{h} \right]$$

Donde:

Q = productividad del camión imprimador en (m^2/h)

C = capacidad del tanque del camión imprimador (l)

$i = \text{tasa de aplicación del asfalto (l/m}^2\text{)}$

$T = \text{tiempo de duración del ciclo de trabajo (min)}$

$V = \text{velocidad promedio de trabajo (m/min)}$

$r = \text{resistencia a la rodadura}$

$E = \text{factor de eficiencia del trabajo}$

$h = \text{factor de corrección por altura snm}$

Para terminar el ciclo de trabajo de la petrolizadora, será la sumatoria de los tiempos utilizados en las operaciones de carga del asfalto, en la descarga del asfalto por riego, en los recorridos de ida y vuelta y en las maniobras de viraje. La duración del ciclo depende de la distancia de la planta a la obra (d) en metros y de la velocidad promedio del camión.

$$T = \frac{d}{v_a} + \frac{d}{v_r} + t_f$$

Donde:

$d = \text{distancia de recorrido (m)}$

$v_a = \text{velocidad de ida (m/min)}$

$v_r = \text{velocidad de retorno (m/min)}$

$t_f = \text{tiempo fijo} = \text{tiempo de carga} + \text{tiempo de descarga} + \text{maniobras}$

$t_f = 60 \text{ a } 120 \text{ minutos}$

V.4.2 Determinación del costo beneficio para su evaluación económica

Para nuestra zona en estudio calcularemos el rendimiento de la petrolizadora que se mueve a 15,000 m/hora y tiene una barra de 3.50 m, con una eficiencia del 70%, y en cuanto tiempo regará una carpeta de 15 m de ancho y 30 km de longitud.

El rendimiento será:

$$R = V \times L \times E$$

Donde:

$V =$ velocidad de máquina (m/h)

$L =$ largo de la barra espaciadora de asfalto(m)

$E =$ Eficiencia de la máquina

Sustituyendo los valores

$$R = 15,000 \text{ m/h} \times 3.50 \text{ m} \times 0.70 = 36,750 \text{ m}^2/\text{h}$$

Área por regar

$$A = 30,000 \text{ m} \times 15 \text{ m} = 450,000.00 \text{ m}^2$$

El tiempo que requiere la petrolizadora será de:

$$T = \frac{A}{R} = \frac{450,000 \text{ m}^2}{36,750 \text{ m}^2/\text{h}} = 12.25 \text{ h}$$



Fuente: Elaboración propia.

Figura 82. Riego del material con equipo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 83. Riego de material con apoyo manual.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 84. Riego del material con otro modelo de petrolizadora.

Nuevamente para nuestro ejemplo y realizar el costo horario del equipo, se requirió la cotización a proveedores de la petrolizadora.

En este se cotizó a:

a) Seaman-Gunnison

Al igual que en las bombas de agua potable como la residual, los proveedores solicitan datos como lo es la identificación de la obra y la capacidad que se requiere para el tendido del riego de liga.

El costo del equipo está en dólares de acuerdo a la cotización solicitada (Anexo 3), por lo tanto, considerando que el tipo de cambio del dólar al día 26 enero de 2016 es de \$ 18.26 MN, el costo del equipo será de:

Costo de petrolizadora: \$ 55,950.00 USD x \$ 18.26 MN = \$ 1,021, 647.00 MN

Por lo que, sustituyendo el costo del valor del equipo, el costo horario (ver figura 85) de la bomba será de \$ 516.02 MN.

Nuevamente se puede concluir que las consideraciones para los equipos de bomba de agua potable y residual son diferentes para seleccionar ambos tipos de bombas, pues consideran la presión de salida y la potencia del motor. En nuestro caso para la petrolizadora se considera el área que se va a trabajar y el tiempo de ejecución de la obra.

Dependencia:
 Concurso No.
 Obra: Rehabilitación de zona de rodamiento de la Autopista "La Venta-Chamapa" kilómetro 27+153.41 a 37+780
 Lugar: Estado de México- D.F.

ANÁLISIS DEL COSTO DIRECTO: HORA-MÁQUINA

DATOS GENERALES

CODIGO:	EQPETRO		
MAQUINA:	CAMIÓN PETROLIZADORA DE 1105 GALONES		
MODELO:			
CAPACIDAD:			
PRECIO DE ADQUISICION:	\$1,021,647.00	VIDA ECONOMICA EN AÑOS:	5.00
PRECIO JUEGO LLANTAS:	\$7,564.32	HORAS POR AÑO (Hea):	2,000 HRS.
EQUIPO ADICIONAL:		VIDA ECONOMICA (Ve):	10,000 HRS.
VIDA ECONOMICA DE LLANTAS:	2,000 HRS.	POTENCIA NOMINAL	160 HP
PRECIO PZAS ESPECIALES. (Pe):	\$00.00	COSTO COMBUSTIBLE(Pc):	GASOLINA \$11.10 / LTS.
VIDA ECONOMICA PZAS ESPEC.(Va):	HRS.	COSTO LUBRICANTE(Pa):	ACEITE \$28.00 / LTS.
VALOR DE LA MAQUINA (Vm):	\$1,014,082.68	FACTOR DE OPERACION (Fo):	80.00%
VALOR DE RESCATE (Vr):	10% \$101,408.27	POTENCIA DE OPERACION (Po):	128.00
TASA DE INTERES (i):	12%	FACTOR DE MANTENIMIENTO (Ko):	0.8
PRIMA DE SEGUROS (s):	4%	COEFICIENTE COMBUSTIBLE(Fc):	0.1514
SALARIO REAL DEL OPERADOR(Sr):	\$75.99	COEFICIENTE LUBRICANTE(Fa):	0.003
SALARIO POR OPERACION(So):	\$607.93	CAPACIDAD DEL CARTER (CC):	8
HORAS EFECTIVAS DE TRABAJO POR TURNO (Ht):	8	FACTOR DE RENDIMIENTO (Fr):	1.0
TIEMPO ENTRE CAMBIO DE LUBRICANTE(Ca):	150		

ACTIVA

CARGOS FIJOS

a).- DEPRECIACION.....D = (Vm-Vr)/Ve = 1,014,082.68 - 101,408.27 / 10,000.00 =	\$91.27
b).- INVERSION.....Im = (Vm+Vr) * i/2Hea = (1,014,082.68 + 101,408.27) * 0.12 / 2 * 2,000.00 =	\$33.46
c).- SEGUROS.....Sm = (Vm+Vr) * S/2Hea = (1,014,082.68 + 101,408.27) * 0.04 / 2 * 2,000.00 =	\$11.15
d).- MANTENIMIENTO....M = Ko * D = 0.80 * 91.27 =	\$73.02

SUMA CARGOS FIJOS

\$208.90

CONSUMOS

a).- COMBUSTIBLE.....GASOLINA Co = Fc * Po * Pc = 0.1514 * 128.00 * 11.1 =	\$215.11
b).- OTRAS FUENTES DE ENERGIA.....: = 0 * 0 =	\$0.00
c).- LUBRICANTE:.....Lb = [(Fa * Po) + CC/Ca] * Pa = [(0.0030 * 128.00) + 8 / 150] * \$28/Lt. =	\$12.24
d).- LLANTAS:.....N = Pn/Vn = \$7,564.32 / 2,000.00 =	\$3.78
e).- PIEZAS ESPECIALES:.....Ae = Pe/Va = \$0.00 / 0 =	\$0.00

SUMA DE CONSUMOS:

\$231.13

OPERACION

OPERADOR DE MAQUINARIA	Po = Sr / (Ht) = \$607.93/8	
PESADA JOR OPERACION		\$75.99
		\$75.99

SUMA DE OPERACION POR HORA

\$75.99

COSTO DIRECTO HORA-MÁQUINA

\$516.02

Fuente: Propia

Figura 80. Costo horario de Petrolizadora.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

En el presente trabajo se plantea una guía de como seleccionar un equipo de bombeo para los diferentes procesos para los ingenieros civiles, ya que en la práctica laboral, muchas veces nos enfrentamos a procesos de selección, y muchas veces no sabemos cómo hacerlo, sin embargo durante la realización de esta tesis, se observó que cada proceso es diferente y no se pueden seguir pasos iguales y específicos para todos los casos, si no que cada uno requiere su atención especial para dar resolución a dicho requerimiento.

En esta tesis se podrá consultar el proceso de cálculo para la obtención de gasto y carga dinámica total, que son las principales variables que se deben obtener para que se pueda cotizar con el proveedor un equipo de bombeo. Así se pueden leer los monogramas y dar interpretación a los mismos.

Al realizar los cuatro estudios de caso se pudo observar que el proceso de selección no es el mismo para todos, ya que los casos de agua potable y agua residual si pueden llevar un proceso de cálculo para determinar el gasto y carga total, en tanto los otros dos casos, de concreto y emulsión asfáltica no llevan ese procedimiento, con los datos obtenidos se solicita una cotización a los proveedores y así poder determinar la mejor opción, ya que al hacer un requerimiento las empresas determinan la bomba, no el cliente.

A lo largo de la historia, el ser humano ha tenido la necesidad de transportar, almacenar y recaudar los fluidos, primordialmente agua, y a que en el desarrollo de las grandes civilizaciones fueron fundadas a la orilla de ríos y lagos, que ayudaban al buen aprovechamiento de la agricultura y ganadería. Es así como los equipos de bombeo han evolucionado a través del tiempo, convirtiéndose en una herramienta primordial de transporte de los fluidos, hasta nuestros tiempos.

En la actualidad existen en el mercado una gran variedad de sistemas de bombeo utilizados para los diferentes procesos industriales que manejan fluidos de diferentes características (temperatura, viscosidad, densidad, tensión superficial, presión, et c.), de los cuales de manera general podemos clasificar en; bombas centrífugas; aquellas que “avientan” el flujo constante por medio de un impulsor, generalmente utilizadas para fluidos con poca viscosidad como el agua, bombas rotatorias, caracterizadas por manejar fluidos con mayor viscosidad y que su característica primordial es que este tipo de equipos de bombeo, empuja el fluido presurizándolo, y por último las bombas reciprocantes, este tipo de equipos son utilizados para procesos con mayor eficiencia y precisión, pueden mover fluidos con o sin sólidos en suspensión, su diferencia con los otros dos equipos de bombeo es que las bombas reciprocantes otorgan un flujo punzante, y a sea por la carrera del embolo o

diferencia del vaivén de los diafragmas; estos equipos pueden ser neumáticos o mecánicos.

Los equipos de bombeo están estandarizados en medidas, materiales y formas debido a las leyes internacionales que justifican e indican los valores promedios para que puedan ser intercambiables de una marca a otra.

Es importante destacar que para el estudio de la mecánica de los fluidos se determina que los flujos líquidos son incompresibles. Cada fluido presenta diferentes características físicas que determinan de cual se trata, clasificados en newtonianos y no newtonianos dependiendo su viscosidad, si se alteran o no en cuanto a su temperatura, la densidad varía de acuerdo a la cantidad de materia respecto a su estado de agregación molecular, presión que depende si el fluido se encuentra a la intemperie donde le afecta la presión atmosférica, o si se encuentra en un ducto o tubería.

La presión nunca debe reducirse más que el punto de congelación del fluido (presión de vapor), y a que esta condición puede hacer que entren burbujas de vapor al sistema de bombeo provocando así la cavitación dañando el impulsor y cesando su funcionamiento.

Con el presente trabajo se pretendió dar una guía que indicara como seleccionar un equipo de bombeo para cuatro diferentes procesos que involucran equipos de bombeo para los ingenieros civiles, como son; agua potable, agua residual, concreto y emulsiones asfálticas, ya que en la práctica laboral, muchas veces nos enfrentamos a la necesidad de adquirir un equipo de bombeo para satisfacer dichos procesos, y muchas veces no tenemos clara la idea de cómo hacerlo, y a que cada caso es específico y tiene su dificultad de selección. Sin embargo durante la realización de esta tesis, se observó que cada proceso es diferente y no se pueden seguir pasos iguales y específicos para todos los casos, si no que cada uno requiere su atención especial para dar resolución ha dicho requerimiento.

La tesis ejemplifica cuatro posibles casos de los fluidos más utilizados en la ingeniería civil, y a medida que se avanzó en el tema se pudo observar que el proceso de selección no es el mismo para todos, ya que los casos de agua potable y agua residual si pueden llevar un proceso de cálculo para determinar el gasto y carga total y con esos datos solicitar cotización a los proveedores y así determinar la mejor opción, porque el sistema de bombeo va a ser utilizado de manera permanente. Y los dos casos de concreto y emulsión asfáltica no llevan ese procedimiento, ya que al hacer un requerimiento las empresas determinan la bomba, no la empresa constructora, porque su uso es momentáneo.

Para el ejemplo de agua potable para abastecer del vital líquido a la población de Zacatecas y Guadalupe, se utilizó un proceso de selección convencional, en el cual con los datos obtenidos de campo, por los aforos de los pozos se pudo determinar un gasto, velocidad,

temperatura, nivel dinámico y estático, así mismo se hizo un levantamiento topográfico para obtener dimensiones como, profundidad del pozo, longitud de la tubería, diámetro del ademe, diámetro de la conducción.

Una vez obteniendo datos en campo, se procedió a realizar el cálculo para determinar la carga dinámica total a vencer por el equipo de bombeo, utilizan formulas de la hidráulica básica para obtener todos los datos posibles.

Finalmente una vez obtenido el gasto y la carga total, se procedió a solicitar una cotización al proveedor de equipos especiales para este tipo de fluido.

Como la guía muestra que los equipos de bombeo ideales para el agua potable son las centrifugas, multi-etapas, cuando nosotros pedimos dicha cotización y así como lo que necesitábamos sólo fue solicitar que nos enviaran las especificaciones de cada equipo así como el costo y condiciones de trabajo.

Para este caso obtuvimos dos cotizaciones de dos diferentes empresas, así se puso realizar un análisis de costo-beneficio de cada equipo y con eso determinar, vida útil, inversión inicial, costo anual y verificar cual era la opción más viable en cuanto pero que cumpliera con las especificaciones dando una holgura de operación sin dañar al equipo.

Para este caso se concluye que en efecto el ingeniero civil puede determinar el tipo de equipo a utilizar y con ello solicitar cotizaciones a los diferentes proveedores para que el haga su propio análisis de costo-beneficio y con ello determinar el equipo más adecuado a utilizar.

Para el ejemplo de agua residual se llevó a cabo un proceso similar al anterior, en este ejemplo utilizamos la planta potabilizadora de Ciudad Acahualtán, Coahuila, en campo se obtuvieron datos, primero determinando una población proyectada para el año 2024, obteniendo a base de cálculos un gasto medio de agua residual que la población estará desechando por día.

Debido a la cantidad de flujo excesivo que se proyecta, se toma la decisión de dividir en dos plantas potabilizadoras, las cuales utilizaran tres equipos cada una conectadas en paralelo, por lo que nosotros hicimos el cálculo de una de ellas, para que dos trabajen y una descansen y así sucesivamente y el desgaste debido a los sólidos en suspensión sea mínimo.

Con esos datos obtenemos el gasto que el equipo deberá bombear desde el cárcamo hasta el sedimentador primario, con este dato empezamos el cálculo de la carga dinámica total a vencer por el equipo de bombeo.

Y al igual que en el caso anterior, ya con los datos obtenidos, podemos decidir el tipo de equipo que vamos a solicitar a las respectivas proveedoras de bombas para aguas residuales, para hacer el respectivo análisis de costo-beneficio.

Para este caso nos encontramos con varios contratiempos ya que el gasto a bombear era muy elevado aunque la carga a vencer fue poca el gasto por segundo era excesivo, nos encontramos con el problema que aquí en México ese tipo de equipos es difícil encontrarlo, por lo que al solicitar la cotización los proveedores nos comentaban que tenían que pedir el equipo a USA o bien a Brasil, así que para recibir la cotización paso un largo tiempo hasta que sólo una empresa nos dio respuesta.

Debido a esto no se pudo hacer una comparativa entre un equipo y otro como en el caso anterior, sin embargo se hizo un análisis de costo beneficio, y cuanto sería la inversión por primer año y gasto de operación.

Para los siguientes dos casos, concreto y emulsiones asfálticas nos encontramos con ciertas dificultades, ya que nos dimos cuenta que realmente el ingeniero del proyecto, no calcula el gasto o carga dinámica total a vencer ya que los equipos están pre-determinados por las concertistas y ellos determinan el tipo de equipo, ya sea estacionario o autobomba, y esto más bien depende del espacio de accesibilidad a la obra, más que a los datos propios de caudal y carga.

Para la selección del equipo de bombeo para el caso de concreto es importante saber a que altura se requiere el fluido, cuales son los agregados, el revenimiento del concreto, que para nuestro ejemplo de la Torre de oficinas, en la ciudad de México fue de 30 m.

Y sólo teniendo esos datos, y a sin ningún cálculo se llama al proveedor para pedir una cotización del equipo de bombeo que ellos seleccionaran, que por la información que se recabo se determina que prácticamente ya las tienen pre-definidas, y envían el equipo más adecuado.

Por lo que para este caso solo se puede hacer un cálculo de costo-horario de equipo de bombeo en operación.

Y por último, para el caso de emulsión asfáltica, nos encontramos con una problemática similar a la del concreto, las petrolizadoras son herramienta de trabajo que al alquilarlas es el proveedor quien hace el cálculo para determinar la dimensión y potencia que se requiere para realizar un tendido en un determinado tramo.

Por lo tanto nosotros sólo analizamos el costo-beneficio en el rendimiento del equipo. Se concluye que existen dos tipos de cálculos para los equipos de bombeo, porque a diferencia

de los dos ejemplos anteriores el equipo de bombeo es parte del proyecto, esto es que se van a quedar en operación durante toda la vida útil de esa obra. En diferencia a los casos de concreto y asfalto que el uso del equipo es sólo momentáneo con el fin de llevar acabo la obra pero no es parte de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Ahorro de energía en sistemas de bombas centrífugas (2013). *Universidad Autónoma de Occidente*.

Calidad del agua del acuífero Guadalupe Bañuelos, Estado de Zacatecas, México. Unidad Académica de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas: Departamento de Geología, CICESE (2012)

Carrasco Nestoso, G. (2009). *Ingeniería básica del proyecto de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cd Acuña, Coahuila*. México: UNAM.

Conagua (2011). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y tratamiento de aguas residuales en operación*. México: Semarnat.

Díaz-Martha, M., & García-Diego, J. A. (1990). Las obras hidráulicas españolas y su relación con las Américas. *LLULL*, 57-89.

Directrices para operación de bombas (2011). (Versión 1 1): A asociación americana de bombeo del concreto.

García Merino, C. (2010). *Las cisternas y la elevación de agua del acueducto de Uxama*. Córdoba, España: Fundación de la ingeniería técnica de obras públicas.

González, F. (2004). *Manual de supervisión de obras de concreto* (2a ed.). México: Limusa.

Guzmán, D. S. (s.f.). *Tecnología del concreto y del mortero*.

Hicks, T . G. (1981). *Bombas, su selección y aplicación*. México: Compañía Editorial Continental.

Manual de bombeo. (grundfos.com). Grundfos Industrial Solutions. (2015)

Martínez Mejía, J. G., Frola Jaime, R., & Martínez Ramírez, D. (1983). *Selección e instalación del equipo de bombeo para suministro de agua potable" Proyecto Bañuelos" de Zacatecas Zacatecas*. México DF: Tesis.

Mataix, C. (1986). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Madrid, España.: Ediciones del Castillo, S.A.

McNaughton, K. J. (1987). *Bombas, selección, usos y mantenimiento*. México: Mc Graw-Hill.

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. México, D.F.: Pearson Prentice Hall Educación.

- Perelman, Y. (1936). *Física Recreativa Libro 2*. Moscú: MIR.
- Poluco A Icarraz, M. (2015). <http://civilgeeks.com>. Recuperado el 2015 de abril de 25, de Artificios Hidráulicos: <http://civilgeeks.com/2015/01/13/artificios-hidraulicos/>
- Quijada Ortiz, L. (2010). *Proyecto ejecutivo de una planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad de Zumpango, Guerrero. Tesis de licenciatura no publicada*. México D.F.: UNAM.
- Sánchez Domínguez, U. J. (2005). *Máquinas hidráulicas*. San Vicente Alicant: Club Universitario.
- Subdirección general de agua potable, d. y (Ed). (2009). *Eficiencia en sistemas d bombeo*. (2 edic.). México D.F., Comisión Nacional del Agua.
- Toledo Villaseñor, A. (2000). *El agua y su historia: México y sus desafíos hacia el siglo XXI*. México D.F.: Siglo XXI.
- Ugalde, T. (2010). *Máquinas de elevación de agua en la minería romana*. Córdoba, España: Fundación de la Ingeniería Técnica de las obras públicas.
- Viejo Zubizaray, M. (2000). *Bombas, teoría, diseño y aplicaciones* (2 e d.). México D.F.: Limusa.
- Yunus, C. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones*. México, D.F.: McGraw-Hill.

MESOGRAFÍA

- Agüera Soriano José (2011). *Bombas hidráulicas*.
<http://www.uco.es/termodinamica/ppt/pdf/fluidos%2012.pd> (abril 2015)
- Autobomba de hormigonar SCHWING.
<http://www.schwing.es/paginas/Autobombas/Autobombas.html> (mayo 2015)
- Bombas de hormigón estacionarias de Putzmeister.
http://www.putzmeister.es/pm_spain/data/BP_4614_DE.pdf (s.f.). Putmeizer(mayo 2015)

Bomba de pluma para hormigón montada sobre camión Putzmeister.

http://www.putzmeister.es/pm_spain/data/BP_4614_DE.pdf (s.f.). Putmeizer (mayo 2015)

Bombas estacionarias BSA. Alto rendimiento. Alta presión Putzmeister.

http://www.putzmeister.es/pm_spain/data/BP_4614_DE.pdf (s.f.) Putmeizer (mayo 2015)

Bombas Putzmeister Ibérica-Bombas de hormigón.

http://www.putzmeister.es/cps/rde/xchg/SID-6F699B07-4C74AB0C/pm_spain/hs.xsl/24_ESN_HTML.htm (mayo 2015)

Bombas sumergibles verticales tipo turbina.bombassumergibles.mx/bombas-sumergibles-tipoturbina.php (mayo 2015)

Bombas verticales tipo turbina mx.grundfos.com/products/find-product/vt.html (mayo 2015)

Cavitación en las bombas de agua-Peligro de su inmersión.

<http://www.ahorroenenergia.com/cavitacion-en-las-bombas-de-agua-peligro-de-su-inversion/> (enero 2016)

Concreto bombeado en la construcción.

<http://www.imcyc.com/revistacyt/oct09/tecnología.htm> (mayo 2015)

Conagua. Modernización sistema de filtración ETAP Los Berros.

<http://www.aqualia-infraestructuras.es/media/docs/PRESENTACION FILTROS WEB> (enero 2016)

Dalley, T., & Oleson, J. P. (2010).

<http://www.syriacstudies.com>. Obtenido de http://www.syriacstudies.com/AFSS/Syriac_Articles_in_English/Entries/2010/6/13_Sennacherib,_Archimedes,_and_the_Water_Screw_The_Context_of_Invention_in_the_Ancient_World_S_T_E_P_H_A_N_I_E_D_A_L_L_E_Y_a_n_d_J_O_H_N_P_E_T_T_E_R_O_L_E_S_O_N.html (abril 2015)

González-Adalid Cabezas, Isidoro ;. (s.f.). servicios.laverdad.es. Recuperado el 25 de Abril de 2015, de Murcia y el agua: Historia de una pasión:

http://servicios.laverdad.es/murcia_agua/

Guerrero, M. (1997). *El agua*. Recuperado el 25 de abril de 2015, de bibliotecadigital.ilce:
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/102/html/sec_7.html

González-Adalid Cabezas, Isidoro ;. (s.f.). *servicios.laverdad.es*. Recuperado el 25 de abril de 2015, de Murcia y el agua: Historia de una pasión:
http://servicios.laverdad.es/murcia_agua/

Guerrero, M. (1997). *El agua*. Recuperado el 25 de Abril de 2015, de bibliotecadigital.ilce:
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/102/html/sec_7.html

John , P., & Dalley , S. (2010). <http://www.syriacstudies.com>. Retrieved from
http://www.syriacstudies.com/AFSS/Syriac_Articles_in_English/Entries/2010/6/13_Sen_nacherib,_Archimedes,_and_the_Water_Screw_The_Context_of_Invention_in_the_Ancient_World_S_T_E_P_H_A_N_I_E_D_A_L_L_E_Y_a_n_d_J_O_H_N_P_E_T_E_R_O_L_E_S_O_N.html

Manual de bombeo de aguas residuales.

http://net.grundfos.com/doc/webnet/waterutility/_assets/downloads/bge (diciembre 2015)

Noria china

<http://www.echino.wordpress.com/tag/noria-china/>

Normas API y ASME aplicables a Equipos Rotativos.pptx.

<http://es.scribd.com/doc/131669980> (mayo 2015)

Normas Bombas.

<http://www.nace.org/cstm/Store/Product.aspx?id=f77ab53f-8124-47ec-82ae-6fba9ee42867>

http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=35625 (marzo 2016)

http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=7862 (marzo 2016)

<http://es.scribd.com/doc/19511233-> (mayo 2015)

Normas Mexicanas para Máquinas Hidráulicas y Térmicas.

<https://prezi.com/x0hr0p5pnmdw/normas-mexicanas-para-maquinas-hidraulicas-y->

termicas/ (mayo 2015)

Poluco Alcarraz, M. (2015).

<http://civilgeeks.com>. Recuperado el 25 de abril de 2015, de Artificios Hidráulicos:
<http://civilgeeks.com/2015/01/13/artificios-hidraulicos/>

Putzmeister. El universo de productos Putzmeister

http://putzmeister.es/cps/rde/xchg/sid-3c6e00fc-66f15d72/pm_spain/hs.xsl/32_531_esn_html.htm (enero 2016)

Putzmeister Ibérica-Bombas de hormigón.

http://www.putzmeister.es/cps/rde/xchg/SID-6F699B07C74AB0C/pm_spain/hs.xsl/24_ESN_HTML.htm (mayo 2015)

Sistemas SAVOIA de energía renovable (enero 2016).

<http://www.savoiapower.com/grupos3.html>

ULMA, Planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco.

<http://www.ulmaconstruction.com.mx/es-mx/proyectos/obras-hidraulicas-depuradoras/planta-tratamiento-aguas-residuales-atotonilco-tula-estado-hidalgo-mexico> (enero 2016)

Refuerza el Metro sus redes de bombeo contra inundaciones (mayo 2015)

[http://www.agu.df.gob.mx/sintesis/index.php/refuerza-el-metro-sus-redes-de-bombeo-contrainundaciones/\(2014\)](http://www.agu.df.gob.mx/sintesis/index.php/refuerza-el-metro-sus-redes-de-bombeo-contrainundaciones/(2014)) (mayo 2015).

ANEXOS

ANEXO 1

**COTIZACIÓN DE BOMBAS PARA
AGUA POTABLE, CURVAS DE
RENDIMIENTO Y ESPECIFICACIONES**

Anexo 1. Cotización del equipo de bombeo sumergible para agua potable.



**BOMBAS
SUAREZ**

Bombas Suárez, S.A. de C.V.

OFICINA: CORPORATIVO-VENTAS

COTIZACION No. 67071

COTIZACION

Cliente: ORTEGA VANESA	Cotizó: DIAZ SANCHEZ ALEJANDRO	Fecha: 01/06/2015
Dirección: AV. JUAREZ	DATOS DE OPERACION:	Tipo de cambio: 1.0000
Ciudad: PUE	GASTO: VOLTAJE:	
Teléfonos: 01 222 22 59 122	CARGA:	
C.P.: 72160	FASES:	
e-mail: darmier@bombassuarez.com.mx		

No. Parte	Descripción	Tiempo de entrega	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe
11ASLN8D10-2	BOMBA SUMERGIBLE MOD 11ASL-2 NEMA 8 DESCARGA EN 10" MCA AS PUMPS	3 DIAS	pz	1.000	1,884.88 USD	34,427.91 MXP
D8-1250TB4L	MOTOR SUMERGIBLE 125HP 3F 440V 60HZ 8" REBOBINABLE MCA TORMAK	INMEDIATO	pz	1.000	5,736.96 USD	104,756.89 MXP
CAS08	VALVULA CHECK VERTICAL 8" NPT MCA AS PUMPS	INMEDIATO	pz	1.000	426.88 USD	7,831.35 MXP

Sub-total:	147,016.15 MXP
Descuento:	
IVA:	23,522.58 MXP
Total:	170,538.73 MXP

Los precios unitarios no incluyen IVA.
 Precios sujetos a cambio sin previo aviso. LAB en nuestros almacenes.
 El tiempo de entrega comienza a partir de su pago y el envío de su orden de compra.
 Los tiempos de entrega pueden variar, estar sujetos a confirmación.
 El tipo de cambio se considera el vigente a la fecha de pago.
 Nuestra responsabilidad termina al momento de entrega del producto al transportista, tomando en cuenta para posibles daños o extravíos

Realice su pago en:
 BBVA Bancomer cta. 0150374423 (M.N)
 BBVA Bancomer cta. 00452734710 (U.S.D)
 Banamex cta. 1417731705 (M.N)
 Banamex cta. 5707284619
 Banorte cta. 0171961854 (M.N)
 Santander Serfin cta. 6550167849-3 (M.N)

Depósito electrónico (CLABE) :
 BBVA Bancomer cta. 012215001503744234 (M.N)
 BBVA Bancomer cta. 012 180 00452734710 5 (U.S.D)
 Banamex cta. 0021 8001 4177317051 (M.N)
 Banamex cta. 002215057072846193
 Banorte cta. 072 180 00171 9618546 (M.N)
 Santander Serfin cta. 0141806550167849-30 (M.N)

Comentarios.

BOMBA COTIZADA CON CDT DE /6M Y GASTO DE 1,426GPM

Anexo 1. Cotización del equipo de bombeo sumergible para agua potable.

Delphy[®]



Fluye a tu favor

Cotización

FR-053-00 v. 04

Por medio de este mail, me dirijo a usted para solicitarle la cotización de un equipo de bombeo para agua potable de pozo profundo.

Datos:

H=76m Q= 0.09 m3/s, D= 16"

Elevacion del pozo= 2307 msnm

> Agradezco de antemano su fina atención y pronta respuesta Ing. Vanessa Ortega

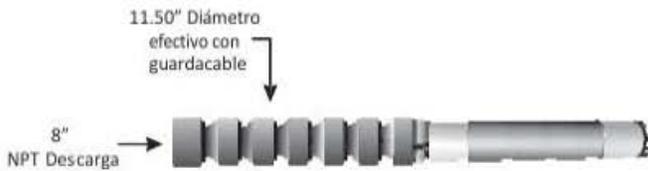
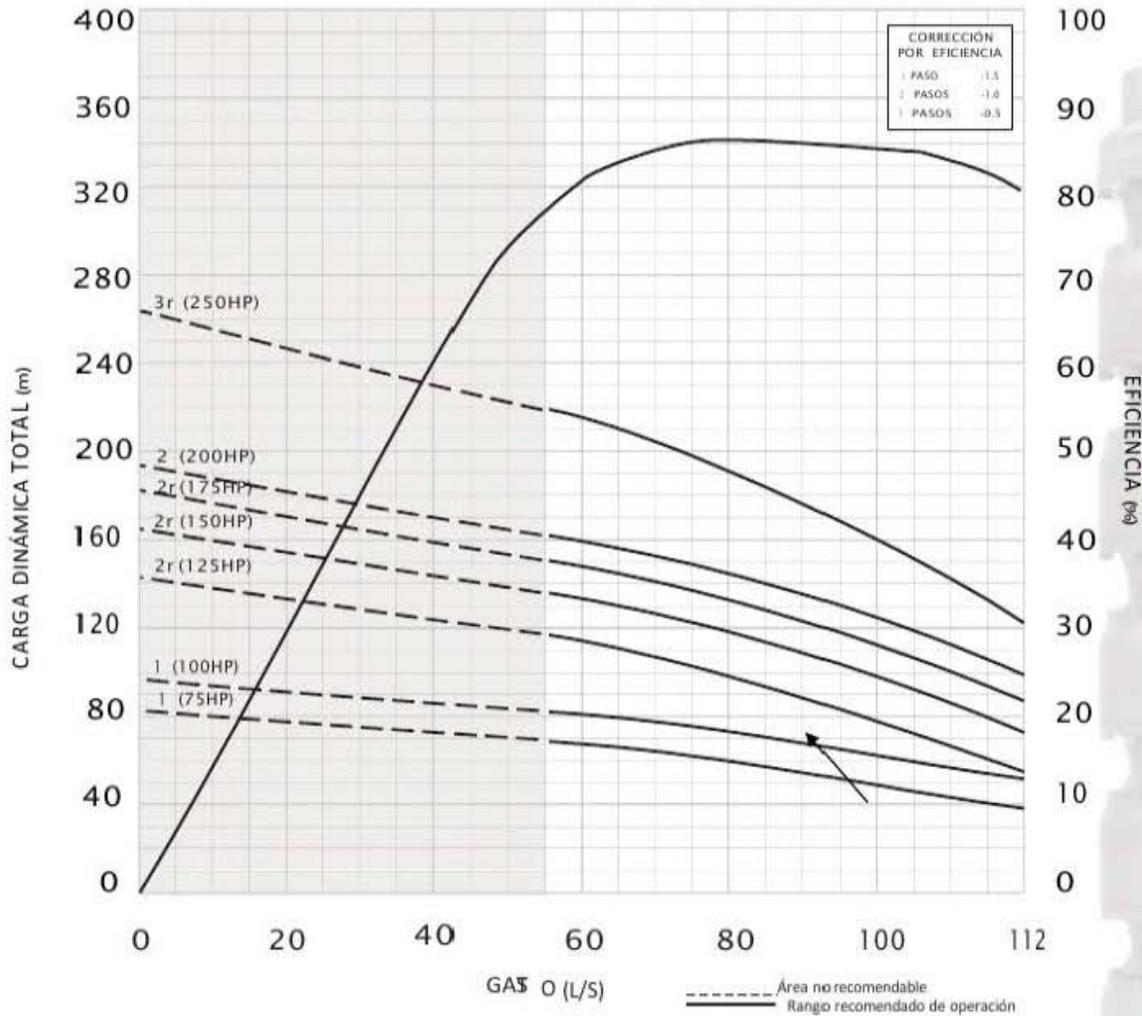
Qty	Descripción	Precio Unitario	Importe
PARTIDA 1			
01	Bomba centrífuga sumergible para pozo profundo marca Goulds, la carcasa construida en fundicion de hierro e impulsores de acero inoxidable,descarga 8". Cuenta con motor eléctrico sumergible de 125 hp de potencia, 3 Fases, 460 VCA, 8" (diámetro), 3600 RPM y valvula check. No incluye columna. Fluido: Agua potable. Caudal: 0.09428 m3/seg. Altura dinámica: 76.9 m.c.a Eficiencia: 81.9%	\$23,396.00	\$23,396.00
	DESC.	12%	\$2,807.52
	SUB TOTAL		\$20,588.48
	IVA		\$ 3,294.15
	TOTAL		\$23,882.63



Anexo 1. Curvas de rendimiento para la bomba modelo 11ASL.



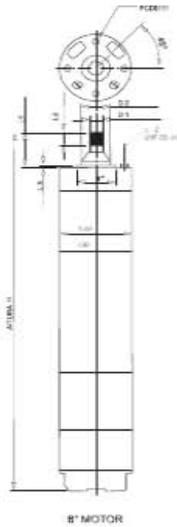
CURVAS DE RENDIMIENTO



Nota:
 -Los recortes de impulsor y los BHP se pueden calcular con las curvas por paso incluidas en la siguiente página.
 -Motores estándar de 8", 10" 75-250 HP/3510 RPM
 -Para potencias intermedias o mayores no especificadas consultar a nuestro Centro de Distribución.
 -Ordenar los motores sumergibles por separado.



Motores sumergibles de 6 y 8

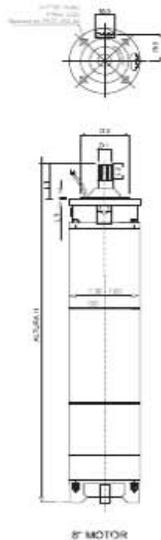


MOTORES DE 6"

Modelo	HP	Diametro		Peso Lbs	Cable conector	
		Pulg.	Pulg.		cal. (mm2)	long. (m)
D6-75TB	7.5	5.66	30.79	116.5	4x6	3
D6-100TB	10	5.66	32.17	126	4x6	3
D6-150TB	15	5.66	34.92	142	4x10	3.5
D6-200TB	20	5.66	39.25	167	4x10	3.5
D6-250TB	25	5.66	41.22	194	4x16	3.5
D6-300TB	30	5.66	45.35	208	4x16	3.5
D6-400TB	40	5.66	48	224	4x16	3.5
D6-500TB	50	5.66	51	247	4x16	4
D6-600TB	60	5.66	60	265	4x16	4

DIMENSIONES EN PULGADAS

	L1	L2	L3	OD	D1	D2
6"	2.87	1.45	0.19	5.66	0.99	3.0



MOTORES DE 8"

Modelo	HP	Diametro		Peso Lbs	Cable conector	
		Pulg.	Pulg.		cal. (mm2)	long. (m)
D8-600TB	60	7.3	60	383	4x16	5
D8-750TB	75	7.3	71	465	4x16	5
D8-1000TB	100	7.6	70	757	4x16	5
D8-1250TB	125	7.6	75	836	4x16	5
D8-1500TB	150	7.6	79	905	4x16	5

DIMENSIONES EN PULGADAS

	L1	L2	L3	OD	D1	D2
6"	4.0	2.36	0.25	7.36/7.63	1.5	5.0

Anexo 1. Especificaciones del equipo VIS-WF.

 <p>GOULDS WATER TECHNOLOGY a xylem brand</p>	<p>TURBINE SUBMITTAL Quote Number: 9001-150602-075 Model: VIS-WF Size: 11CLC 2 Stage(s)</p>												
OPERATING CONDITIONS													
Temp / SG:	(70.00 deg F) SP.GR 0.9999												
Fluid type:	WATER												
Vapor pressure	0.3633 psi												
Viscosity	0.9695 cP												
Specified flow:	0.09 M3PerSecond												
Total dynamic head:	76.90 m												
Pumping level:	0.00 m												
PERFORMANCE AT RPM													
Bowl efficiency:	81.90 @design, 84.10 Best Efficiency												
Run out capacity:	0.00 USGPM												
Power:	@design, 111.30 NOL (Hp)												
NPSHr:	9.81 m @design												
Design thrust:	2560.10 @design (lb)												
Shut off pressure:	1311.73 kPa												
MATERIALS AND DIMENSIONS													
Bowl:	Cast Iron CL30 Enamel												
Bowl Wear Ring Material:	Not Included												
Impeller:	316SS												
Impeller Wear Ring													
Material:	Not Included												
Impeller Lock Method:	Taper lock												
Impeller diameter:	170.002 mm												
Bowl shaft:	416SS, 1.688 inch diam.												
Suction adapter bearings	Bronze C90300 "G" Modified												
Bowl bearings:	BRONZE												
Suction adapter:	Ductile Iron 65-45-12												
Bowl features	NONE												
TPL:	0.00 ft												
Sump/Pit Depth:	0.00 ft												
Documentation:	Standard pump installation and operation manual and order data												
DRIVER													
Type:	STD												
Manufacturer:	CentriPro												
Rating:	125 Hp												
Motor Diameter / Frame /													
Enclosure:	8 inch / 8 inch / SUBM												
Phase / Frequency / Volts	3 / 60 Hz / 460												
Speed:	3600 RPM												
Construction:	STD												
Coupling material:	SST 416												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">DO NOT USE FOR CONSTRUCTION UNLESS CERTIFIED</th> </tr> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">Certified by:</td> <td style="padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Date</td> <td style="padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Quotation number:</td> <td style="padding: 5px;">9001-150602-075</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Project:</td> <td style="padding: 5px;">Proyecto Bañuelos Zacatecas Zac.</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Tag:</td> <td style="padding: 5px;"></td> </tr> </table>		DO NOT USE FOR CONSTRUCTION UNLESS CERTIFIED		Certified by:		Date		Quotation number:	9001-150602-075	Project:	Proyecto Bañuelos Zacatecas Zac.	Tag:	
DO NOT USE FOR CONSTRUCTION UNLESS CERTIFIED													
Certified by:													
Date													
Quotation number:	9001-150602-075												
Project:	Proyecto Bañuelos Zacatecas Zac.												
Tag:													

Anexo 1. Especificaciones del equipo VIS-WF (continuación).

 <p>GOULDS WATER TECHNOLOGY a xylem brand</p>	<p>TURBINE SUBMITTAL Quote Number: 9001-150602-075 Model: VIS-WF Size: 11CLC 2 Stage(s)</p>																																
<p>TESTING</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Hydrostatic:</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>Performance:</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>Final Inspection:</td> <td>None</td> </tr> <tr> <td>Other:</td> <td>None</td> </tr> </table> <p>COATING</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Coating information:</td> <td>Goulds Water Technology Standard Blue Enamel; Bowl Assembly - STD; Riser Assembly - STD; Head Assembly - STD</td> </tr> </table> <p>ADDITIONAL FEATURES</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Check valve:</td> <td>Ductile Iron; Fem X Fem NPT Threaded</td> </tr> <tr> <td>Additional bowl features:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Additional riser features:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Additional driver features:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Additional head features:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Additional misc. features:</td> <td></td> </tr> </table> <p>WEIGHTS</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Total bowl weight:</td> <td>382 lbs</td> </tr> <tr> <td>Column weight:</td> <td>0 lbs</td> </tr> <tr> <td>Head weight:</td> <td>0 lbs</td> </tr> <tr> <td>Driver weight:</td> <td>595 lbs</td> </tr> <tr> <td>Total unit weight:</td> <td>977 lbs</td> </tr> </table> <p>Our offer does not include specific review and incorporation of any Statutory or Regulatory Requirements and the offer is limited to the requirements of the design specifications. Should any Statutory or Regulatory requirements need to be reviewed and incorporated then the Customer is responsible to identify those and provide copies for review and revision of our offer.</p> <p>Our quotation is offered in accordance with our comments and exceptions identified in our proposal and governed by our standard terms and conditions of sale – Xylem Americas attached hereafter.</p> <p>For units requiring performance test, all performance tests will be conducted per ANSI/HI 14.6 standards unless otherwise noted in the selection software submittal documents. Test results meeting with grade 2B tolerances for pumps with a rated shaft power of 134HP or less and grade 1B for greater than 134HP will be considered passing.</p> <p>Customer is responsible for verifying that the recommendations made and the materials selected are satisfactory for the Customer's intended environment and Customer's use of the selected pump. Customer is responsible for determining the suitability of Xylem recommendations for all operating conditions within Customer's and/or End User's control. Xylem disclaims all warranties, express or implied warranties, including, but not limited to, warranties of merchantability and fitness for a particular purpose and all express warranties other than the limited express warranty set forth in the attached standard terms and conditions of sale – Xylem Americas attached hereafter.</p> <p>Xylem does not guarantee any pump intake configuration. The hydraulic and structural adequacies of these structures are the sole responsibility of the Customer or his representatives. Further, Xylem accepts no liability arising out of unsatisfactory pump intake field operating conditions.</p> <p>The Customer or his representatives are referred to the Hydraulic Institute Standards for recommendations on pump intake design. To optimize the hydraulic design of a field pump intake configuration, the Customer should strongly consider performing a detailed scale model pump intake study. However, the adequacies of these recommendations are the sole responsibility of the Customer.</p>		Hydrostatic:	None	Performance:	None	Final Inspection:	None	Other:	None	Coating information:	Goulds Water Technology Standard Blue Enamel; Bowl Assembly - STD; Riser Assembly - STD; Head Assembly - STD	Check valve:	Ductile Iron; Fem X Fem NPT Threaded	Additional bowl features:		Additional riser features:		Additional driver features:		Additional head features:		Additional misc. features:		Total bowl weight:	382 lbs	Column weight:	0 lbs	Head weight:	0 lbs	Driver weight:	595 lbs	Total unit weight:	977 lbs
Hydrostatic:	None																																
Performance:	None																																
Final Inspection:	None																																
Other:	None																																
Coating information:	Goulds Water Technology Standard Blue Enamel; Bowl Assembly - STD; Riser Assembly - STD; Head Assembly - STD																																
Check valve:	Ductile Iron; Fem X Fem NPT Threaded																																
Additional bowl features:																																	
Additional riser features:																																	
Additional driver features:																																	
Additional head features:																																	
Additional misc. features:																																	
Total bowl weight:	382 lbs																																
Column weight:	0 lbs																																
Head weight:	0 lbs																																
Driver weight:	595 lbs																																
Total unit weight:	977 lbs																																
<p>DO NOT USE FOR CONSTRUCTION UNLESS CERTIFIED</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Certified by:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Date:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Quotation number:</td> <td>9001-150602-075</td> </tr> <tr> <td>Project:</td> <td>Proyecto Bañuelos Zacatecas Zac.</td> </tr> <tr> <td>Tag:</td> <td></td> </tr> </table>		Certified by:		Date:		Quotation number:	9001-150602-075	Project:	Proyecto Bañuelos Zacatecas Zac.	Tag:																							
Certified by:																																	
Date:																																	
Quotation number:	9001-150602-075																																
Project:	Proyecto Bañuelos Zacatecas Zac.																																
Tag:																																	

Anexo 1. Especificaciones del equipo VIS-WF (continuación).

OUTLINE DRAWING

Quote Number: 9001-150602-075
 Model: VIS-WF
 Size: 11CLC 2 Stage(s)

PUMP DATA		
No. of Units	1.00	each
Model:	VIS-WF 11CLC	
Stages:	2	
Riser Size:	8	
Flow:	0.09	M3PerSec ond
Head:	76.90	m
Driver Mfq:	CentriPro	
Size:	125	Hp
Speed:	3500	RPM
PH:	3	
Frequency:	60	Hz
Voltage:	460	

DIMENSIONS		
AD	0.00	inch
BL	33.01	inch
COL	8.00	inch
DD	0.00	inch
MIN SUB	27.17	inch
DH	0.00	inch
	G	
	H	
HH	0.00	inch
J	0.00	inch
MD	8	inch
ML	66.14	inch
E (R)	0.00	inch
TPL	0.00	inch
CV Dia.		
Head		
Flanged	125#	
Rating		

Weights	
Total bowl	382.00 lb
Total column	0.00 lb
Discharge head	0.00 lb
Driver	595.00 lb
Approx weight	977.00 lb

No.	NOTES
1	T.P.L. (Total Pump Length) is the distance to lowest projection on pump ± 1.0 inch.
2	Tolerance on all dimensions is .12 or ± .12 inch per 5 ft, whichever is greater.
3	All dimensions shown are in inches unless otherwise specified.
4	Drawing not to scale.

DO NOT USE FOR CONSTRUCTION UNLESS CERTIFIED	
Certified by	
Date of certification	
Pump serial number	
Project Name	Proyecto Bañuelos Zacatecas Zac.
Tag	

Anexo 1. Especificaciones del equipo VIS-WF (continuación).

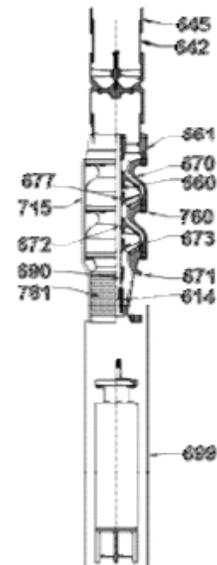


CROSS SECTIONAL

Quote Number: 9001-150602-075
 Model: VIS-WF
 Size: 11CLC 2 Stage(s)

BILL OF MATERIAL

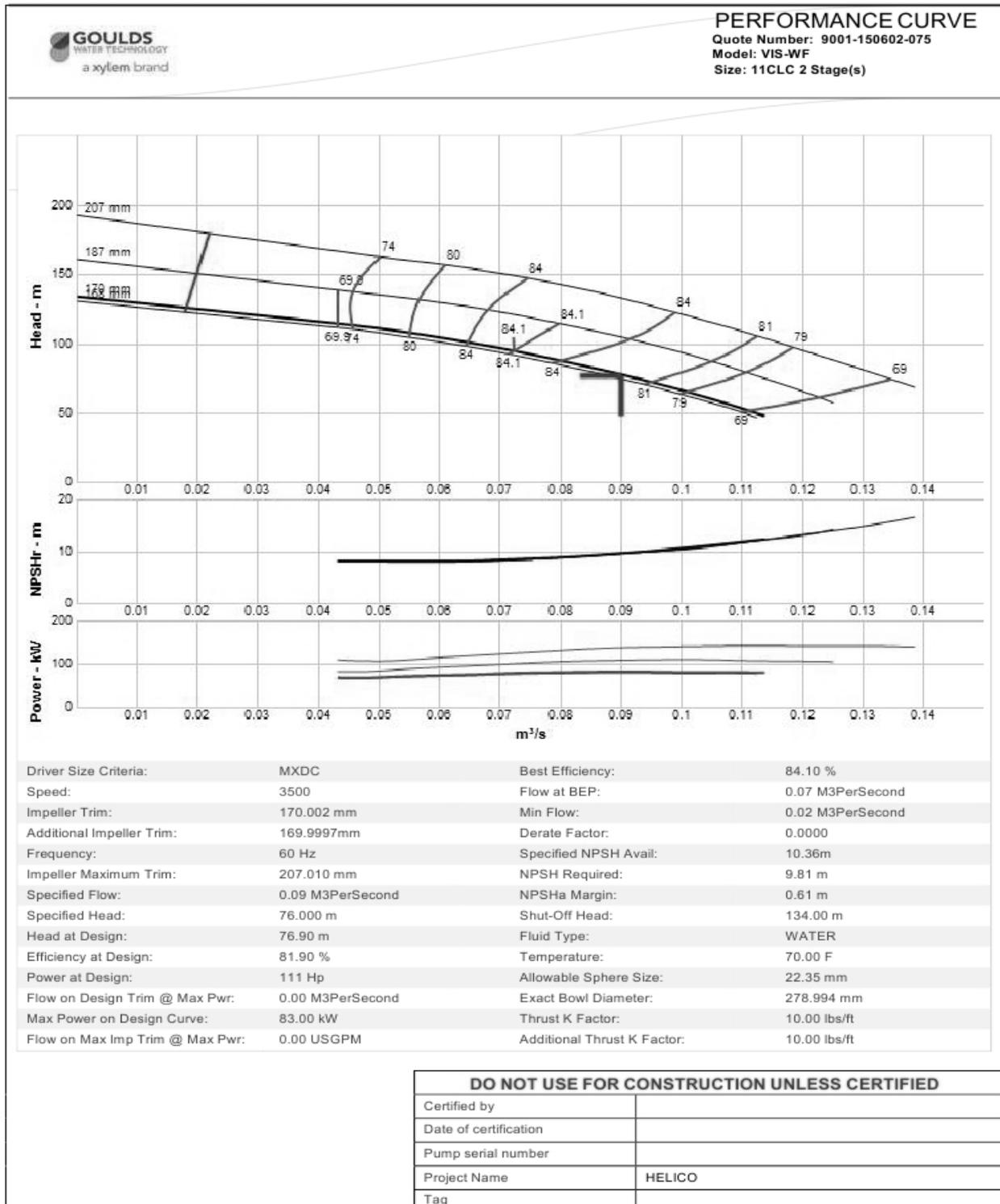
ITEM	Part Name	CODE	MATERIAL	ASTM#
Bowl Assembly				
614	Coupling Sub/Motor	2218	416SS	A582M-95b
660	Bowl-Shaft	2227	416SS	A582M-95b
661	Bowl - Discharge	1109	Bronze C90300 "G" Modified	B584-00
670	Bowl - Intermediate	6911	Cast Iron CL30 Enamel	A48-94e1
671	Sub Adapter	1018	Ductile Iron 65-45-12	B148-97e1
672	Bearing - Int Bowl	1109	Bronze C90300 "G" Modified	B584-00
673	Impeller	1203	316SS	A744M-00
677	Collet - Impeller	2242	Carbon steel	A108-99
680	Wear Ring - Bowl	N/A	Not Included	N/A
681	Wear Ring - Impeller	NANot Included	NANot Included	NANot Included
690	Bearing-Suction	1109	Bronze C90300 "G" Modified	B584-00
699	Shroud - Motor	6560	PVC pipe	D1785
715	Guard-Cable	3215	304SS	A240M-00
758	Capscrew-Hex (Mot)	2228	304SS	A276
760	Capscrew-Hex	2298	Steel Bolting Gr8	J429-99
781	Screen-Suction	3211	316SS	A240M-00
789	Washer - Upthrust	6266	TIVAR 1000	N/A



DO NOT USE FOR CONSTRUCTION UNLESS CERTIFIED

Certified by	
Date of certification	
Pump serial number	
Project Name	HELICO
Tag	

Anexo 1. Especificaciones del equipo VIS-WF (continuación).



ANEXO 2

COTIZACIÓN DE BOMBAS PARA AGUA RESIDUAL, CURVAS DE RENDIMIENTO Y ESPECIFICACIONES

Anexo 2. Cotización de bomba para aguas residuales.

México, D.F., a 27 de Abril del 2016.

JBC150-16

ATN.ING .VANESSA ORTEGA

Por medio de este conducto presento a usted nuestra siguiente cotización:

PARTIDA No. 1

DATOS

LUGAR DE OPERACIÓN: MUNICIPIO DE ACUÑA COAHUILA

TEMPERATURA: AMBIENTE

GRAVEDAD ESPECIFICA: 1.03

CONDICIONES DE OPERACIÓN

GASTO POR BOMBA: 130.5 LPS (2069 GPM) POT. REQ : 14.5 (HP)

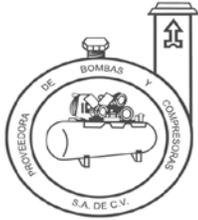
C.D.T. DISEÑO: 6.0 MCA (19.7 FT) NPSHr : 18 (FT)

VELOCIDAD: 1760 (R.P.M.) SUM. MIN. 23 (PLG .)

EFICIENCIA: 81.0 (%) LIQ A MANEJAR: AGUAS NEGRAS

PROF. DEL CARCAMO: (MTS .) DIAM. CAMPANA: 14 (PLG.)

Anexo 2. Cotización de bomba para aguas residuales (continuación).



PROVEEDORA DE BOMBAS Y COMPRESORAS, S.A. DE C.V.

FABRICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN:

MOTOBOMBAS, TURBINAS, ENGRANES, CENTRIFUGAS, ROTATORIAS SUMERGIBLES,
MOTORES ELÉCTRICOS Y COMBUSTIÓN INTERNA, COMPRESORAS, SOLDADORAS,
TABLEROS DE CONTROL ELECTRONIVELES, GENERADORES DE CORRIENTE, REFACCIONES.

EQUIPO SELECCIONADO



BOMBA VERTICAL TIPO FLUJO MIXTO, MARCA BNJ, REG. MODELO 10 LS DE 1 ETAPAS LUBRICACION ACEITE, , COMPUESTA POR :



CANTIDAD DESCRIPCION



01 BASE SOPORTE (PEDESTAL) ADECUADO PARA SOPORTAR EL ELEMENTO MOTRIZ, FABRICADO EN PLACA DE ACERO ASTM A-36., CON PLACA BASE, INCLUYE CODO DE DESCARGA A 90° FORMADOPOR TRES SECCIONES TIPO SOBRE SUPERFICIE DE 35.56 CMS.,(14 PULG .) DE DIAMETRO Y EXTREMO LISO PARA ACOPLAR A JUNTA DRESSER, MODELO 12 " X 14 " X 14 ". INCLUYE FLECHA DE AJUSTE Y RECUBRIMIENTO EPOXICO DE ALQUITRAN DE HULLA.



6.10 MTS COLUMNA BRIDADA LUBRICACION ACEITE DE 35.56 CMS (14 PULG.)(20.0 Ft) FABRICADA EN ACERO AL CARBON ASTM A-53, GR. B, CON COSTURA, FLECHA DE TRANSMISION DE 3.016 CMS. (1 3/16 PLG.) DE DIAMETRO FABRICADA EN ACERO AL CARBON SAE-1045, TUBO CUBREFLECHA DE 6.35 CMS. (2 1/2 PLG.) DE DIÁMETRO FABRICADA EN ACERO AL CARBON ASTM A_53, GR. B, CÉDULA 80, LOS TRAMOS DE COLUMNA SON EN LARGOS DE 3.05 MTS. (10 FT.) DE LONGITUD. INCLUYE RECUBRIMIENTO EPOXICO A BASE DE ALQUITRAN DE HULLA.



01 CUERPO DE TAZONES TIPO FLUJO MIXTO MODELO 10 LS DE 1 ETAPAS FABRICADO EN FIERRO ASTM A-48 CL-30, IMPULSOR EN BRONCE SAE-40, LA FLECHA DE BOMBA ES EN ACERO INOXIDABLE AISI 416. ZONA HUMEDA DE TAZONES PORCELANIZADOS. INCLUYE RECUBRIMIENTO EPOXICO A BASE DE ALQUITRAN DE HULLA.



01 COLADOR TIPO CEBOLLA ADECUADO A LA CAMPANA DE SUCCION DE LA BOMBA.



PRECIO DE LO ANTERIOR..... \$ 111,000.00 MN



01 MOTOR ELECTRICO VERTICAL MARCA US DE INDUCCION TIPO JAULA DE ARDILLA ABIERTO A PRUEBA DE GOTE0 WP-1, DE 20 HP., TRIFASICO, 60 Hz, 230/460 VOLTS, 4 POLOS (1800 RPM), ALTO EMPUJE AXIAL DE 3,300 KGS., FLECHA HUECA, CON BASE DE 12 PULG., EFICIENCIA PREMIUM, FACTOR DE SERVICIO DE 1.15, PARA OPERAR A 40°C DE TEMPERATURA AMBIENTE MAXIMA, TIPO AUS. CON TRINQUETE DE NO RETROCESO, ARMAZON 256TPH.



PRECIO DE LO ANTERIOR..... \$ 41,750.00 MN

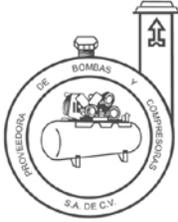


NOTA: **Checkar que profundidad tiene el cárcamo para ajustar el largo de la bomba.** Mexico, D.F.
Tel / Fax: 55 37 80 94, 57 59 52 95 y 55 42 26 71 facturas_proveedora@terra.com

jbrito105@hotmail.com

proveedora_bombasycompresoras@yahoo.com

Anexo 2. Cotización de bomba para aguas residuales (continuación).



PROVEEDORA DE BOMBAS Y COMPRESORAS, S.A. DE C.V.

FABRICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN:

MOTOBOMBAS, TURBINAS, ENGRANES, CENTRIFUGAS, ROTATORIAS SUMERGIBLES,
MOTORES ELÉCTRICOS Y COMBUSTIÓN INTERNA, COMPRESORAS, SOLDADORAS,
TABLEROS DE CONTROL ELECTRONIVELES, GENERADORES DE CORRIENTE, REFACCIONES.



Condiciones Comerciales



Condiciones de Pago: 50% ANTICIPO 50% CONTRA AVISO DE ENTREGA



Tiempo de Entrega: 5 A 6 SEMANAS

Lugar de Entrega: L A B MEXICO DF

Transporte: PROPIO

Garantía: 12 MESES



Nota: Nuestros precios **no incluyen el 16% de I.V.A.**, mismo que será cargado al momento de la facturación.



Vigencia de la cotización 15 días.

En caso de vernos favorecidos con su orden de compra, favor de realizar pago vía transferencia a las siguientes cuentas



BANAMEX MN SUC	208	CTA	4157301	CLABE	002180020841573018
BANAMEX DLS SUC	208	CTA	9156567	CLABE	002180020891565678



Una vez fincado su pedido no se aceptan cancelaciones ni devoluciones de lo contrario se cobrará el 20% sobre el importe total.



Sin más por el momento y en espera de vernos favorecidos con su apreciable orden de compra, quedo de usted.



Atentamente

Lic. José Brito Cortés
Gerente General

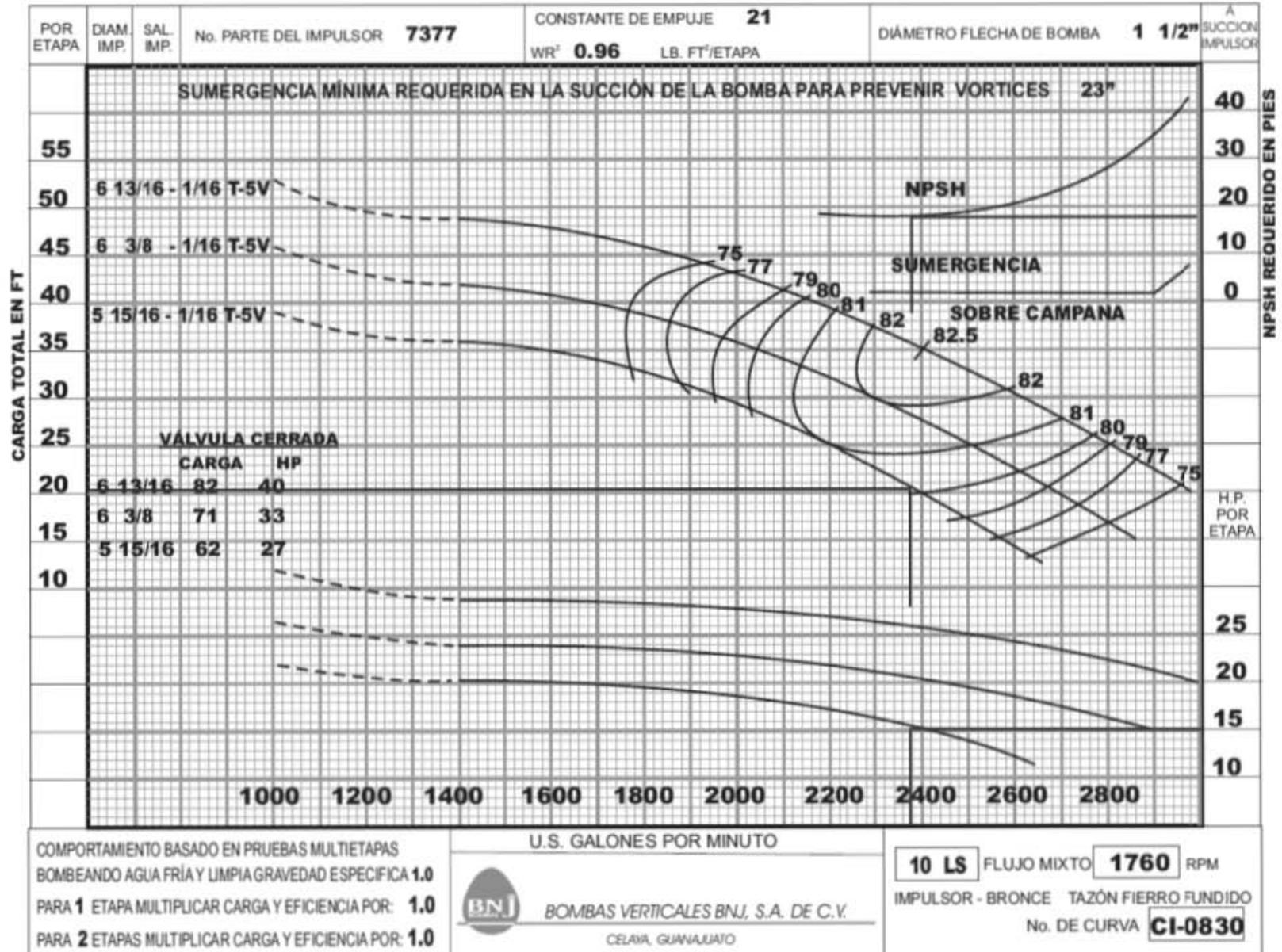


Curva de operación

Disco 12, Manzana 18, Lote 20, Col. Santa María Aztahuacan, Del. Iztapalapa, C.P. 09570, México, D.F.
Tel / Fax: 55 37 80 94, 57 59 52 95 y 55 42 26 71 facturas_proveedora@terra.com

jbrito105@hotmail.com

proveedora_bombasycompresoras@yahoo.com



ANEXO 3

COTIZACIÓN DE CONCRETO PREMEZCLADO Y BOMBEADO, COTIZACIÓN DE BOMBA ESTACIONARIA Y SUS ESPECIFICACIONES

Anexo 3. Cotización de concreto premezclado por metro cúbico.



México D.F. a jueves, 18 de febrero de 2016

México D.F.

Atención: Inés Negrete

Nos es grato confirmar a Usted nuestro interés en atender el suministro de concreto para la construcción de sus obras.

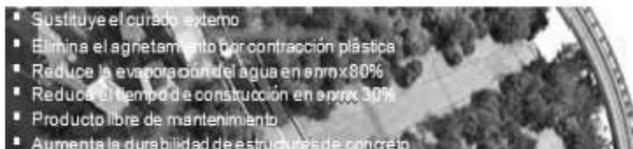
CEMEX S.A.B. de C.V. ofrece las mejores condiciones técnicas y de servicio en el mercado, garantizando la calidad del cemento y del concreto suministrado.

Además, ponemos a su disposición un eficiente sistema de dosificación y los mejores equipos para satisfacer las necesidades de su obra, así como productos innovadores y otras ofertas de valor que contribuyen al ahorro y eficiencia en sus procesos constructivos.

COTIZACIÓN POR M ³ DEL CONCRETO PREMEZCLADO PROFESIONAL	
Elaborado según la Norma Mexicana NMX C-155	
CONCRETOS CONVENCIONALES	PRECIO*
Concreto Clase I Estructural $f'_{c}=350$ Kg/cm ² TMA ¼ Rápido a 7 días al 100% Rev. 18 Bombable y/o Tiro Directo	\$ 2,118.62
Concreto Clase I Estructural $f'_{c}=350$ Kg/cm ² TMA ¼ Rápido a 14 días al 100% Rev. 18 Bombable y/o Tiro Directo	\$ 2,052.63
CONCRETOS ESPECIALES	PRECIO
OTROS CONCEPTOS	PRECIO
Bomba Estacionaria 5 Nivel, 15mts	\$ 235.17

*Precios más por m³ más IVA

I



Av. Prolongación San Antonio N° 461
Col. Carola Del. Álvaro Obregón

C.P.01180 México D.F.

Anexo 3. Cotización de concreto premezclado por metro cúbico.

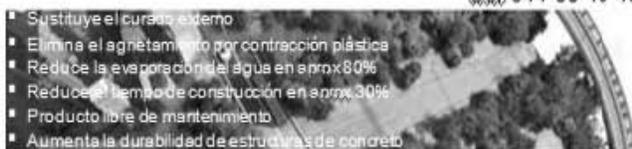


México D.F. a jueves, 18 de febrero de 2016

COTIZACIÓN DE SERVICIOS ADICIONALES		
CONCRETO		
CONCEPTO	CONDICIÓN	PRECIO
Servicio de Mezclado	Ya no tendrás que preocuparte por proyectos que se encuentren fuera de la Ciudad o la Zona Metropolitana, podremos llegar a casi todo el país con nuestro servicio foráneo de mezclado	\$ / m ³ asignar dependiendo la obra
Carga mínima	El volumen mínimo que transportamos por camión es de 5 m ³ , no obstante, podemos transportar un volumen menor, recuperando únicamente la subutilización del camión por cada m ³ faltante (Ej. Vol. pedido 3m ³ , vol. faltante son 2m ³ a \$120/m ³ = Total \$240)	\$ 120 / m ³ faltante
Colado en Domingo o Día Festivo	Podemos ofrecerte a solicitud expresa de tu parte, colados en domingos o días festivos	\$ 8,200 / Día Domingo \$ 7,800 / Día Festivo \$ 11,800 Domingo Festivo (importe por 8 hr. operación)
Colado Nocturno Concreto	De igual forma, si lo requieres, te ofrecemos colados fuera del horario establecido que es de Lunes a Viernes de 6:00 – 20:00 hrs y Sábado de 6:00 – 14:00 hrs	\$ 800.00 / Hr.
Colado Nocturno Bombeo	De igual forma, si lo requieres, te ofrecemos colados fuera del horario establecido que es de Lunes a Viernes de 6:00 – 20:00 hrs y Sábado de 6:00 – 14:00 hrs	\$ 3,500 / Servicio
BOMBEO		
CONCEPTO	CONDICIÓN	PRECIO
Mínimo de Bombeo	Contamos con un mínimo de 25 m ³ de bombeo, para que puedas realizar colados de menor volumen con nuestros equipos de bombeo y toda la asesoría técnica y operativa que ya conoces.	Precio de bombeo por m ³ para el cliente en cuestión
Pieza extra de tubería	Te ofrecemos tubería adicional instalada en tu obra, con el personal más calificado de la industria, para que el vaciado del concreto se realice exactamente donde tú lo requieres.	\$ 20.00 Tramo/m ³ (Tramo de 10 Mts)
OTROS		
OTROS	CONDICIÓN	PRECIO
Intereses Moratorios	Se genera sobre el monto facturado, a partir del primer día del vencimiento del plazo de crédito, computado sobre la fecha de la factura.	1 % mensual

- Precios por m³
- Precios más IVA
- Esta cotización tiene validez de un mes a partir de la fecha de expedición

Luz Monserrat León Bravo
 Promotor Comercial CEMEX Concretos
 Oficina: 57 23 44 00 Ext. 4688
 Cel: 044-55-49-49-60-93



C.P.01180 México D.F.

Anexo 3. Cotización de bomba estacionaria.



PEDIDO No. COT-09571-W3V7C4

Fecha: 26-02-2016

Del. Benito Juárez DISTRITOFEDERAL
03920 MEXICO

AT'N: NEGRETE MARTINEZ, INES

Estimados señores:

Atendiendo a su amable solicitud, les presentamos :

BOMBA DE CONCRETO PARA MONTAR SOBRE CAMION MARCA PUTZMEISTER MODELO CP 2112L
FABRICADA EN ESTADOS UNIDOS

"Bomba de concreto Marca PUTZMEISTER Modelo celda 12L, equipada con bomba hidrostática de caudal variable con sistema FREE FLOW. Cilindros de concreto con cromo duro de rectificación fina, válvula de tubo oscilante S2018 con reducción parabólica de 200 a 180 mm. Émbolos de transporte multi pieza. Tolva con agitador y reja. Sistema de lubricación central manual, control remoto para la bomba.

Caudal máximo teórico lado embolo 109 m3/hr
Caudal máximo teórico lado pistón 65 m3/hr
Presión máxima teórica sobre el concreto lado embolo 70 bar
Presión máxima teórica sobre el concreto lado pistón 112 bar
Diámetro cilindros de transporte 230 mm
Carrera de pistón 2100 mm
Capacidad tolva RS905A 550 l
Depósito de agua 660 l
Bomba de agua 50 l/min

1 Engrane intermedio G 61"

Precio LAB nuestras instalaciones en Teotihuacán, Edo. De México USD \$175,465.00

CONSTRUMAC SAPI ES CV
San José de los Leones No. 11
Col. San Feo. Cuautitlán,
CP 53569 Naucalpan, Edo. de Mex.
Tel.: (55) 5328 1700
WWW.CONSTRUMAC.COM

Chihuahua Tel.: (614) 410 6173
Durango Tel.: (618) 824 7907
Guadalajara Tel.: (33) 3836 9260
Hermosillo Tel.: (562) 250 6078
Mérida Tel.: (999) 912 2095

Monterrey Tel.: (81) 8327 3897
Teotihuacán Tel.: (594) 956 8415
Tijuana Tel.: (664) 657 8194
Villahermosa Tel.: (993) 314 2101

Anexo 3. Cotización de bomba estacionaria (continuación).



PEDIDO No. COT-09571-W3V7C4

Fecha: 26-02-2016

Opciones Incluidas:

CONTROL REMOTO PUTZMEISTER-Control remoto inalámbrico.	USD	\$4,570.00
SISTEMA DE LUBRICACION PUTZMEISTER- Sistema de lubricación automática en tolva.	USD	\$2,400.00
SBU PUTZMEISTER- Sistema SBU de conversión a alta presión.	USD	\$3,160.00
VIBRADOR ELECTRICO PUTZMEISTER- Vibrador eléctrico para tolva.	USD	\$1,050.00
RACKS LATERALES PUTZMEISTER- Racks laterales para guardar tubos y mangueras con paredes abatibles.	USD	\$3,450.00
Precio LAB nuestras instalaciones en Teotihuacán, Edo. De México	USD	\$190,095.00
Gran Total Precio LAB nuestras instalaciones en Teotihuacán, Edo. De México	USD	\$190,095.00

IVA

Debe adicionarse a los valores cotizados.

VIGENCIA

Los precios anteriores tienen una vigencia de 45 días.

IMPORTACIÓN

Incluidos hasta el lugar que se señala esta cotización.

TIEMPOS DE ENTREGA

por definir, salvo previa venta

FORMA DE PAGO

Contado

FLETES Y SEGUROS

Incluidos hasta el lugar que se señala esta cotización. En caso de solicitar un flete adicional

CONSTRUMAC SAPI DE CV
San José de los Ramos No. 11
Cali, San Feo, Coahuila de Zaragoza,
C.P. 53568 Naucalpan, Edo. de Méx.
Tel.: (55) 5328 1300
www.construmac.com

Chihuahua Tel.: (614) 410 8173
Durango Tel.: (618) 824 7907
Guadalupe Tel.: (33) 8836 9260
Hermosillo Tel.: (662) 250 4078
Mérida Tel.: (999) 912 2095

Monterrey Tel.: (81) 8327 3897
Teotihuacán Tel.: (594) 958 8410
Tijuana Tel.: (664) 647 8106
Villahermosa Tel.: (993) 314 2101

Anexo 3. Cotización de bomba estacionaria (continuación).



PEDIDO No. COT-09571-W3V7C4

Fecha: 26-02-2016

podemos proponer a alguna compañía fletera pero la negociación final deberá ser entre ustedes. Las compañías transportistas tienen seguros que en algunos casos son insuficientes y en otros duplican las pólizas abiertas de nuestros clientes; por esta razón no participamos en la contratación de los seguros adicionales.

INFORMACIÓN TÉCNICA

Proporcionaremos la siguiente información:

1 Juego de manuales de partes y operación.

ASISTENCIA TÉCNICA DE BOMBAS DE CONCRETO TIPO TRAILER

Los técnicos de Construmac visitarán en 2 ocasiones al sitio de operación por cada equipo en la fecha que ustedes determinen CON UN VALOR DE 38,910.00 PESOS SIN NINGÚN COSTO ADICIONAL. El comprador debe asignar una persona responsable que analizará los requerimientos enviados por el departamento de servicio.

La primera visita es un servicio de entrega técnica y puesta en marcha del equipo, que será de 2 días, durante la visita se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- Dar instrucciones a mecánicos, operadores e ingenieros sobre operación y mantenimiento del equipo.
- Arrancar el equipo, participando en la definición de las condiciones de operación y constatando su correcto funcionamiento.

La segunda visita se llevará a cabo el primer servicio de mantenimiento a las 250 horas, que será de 1 día por cada visita en la fecha que ustedes dispongan. El comprador debe asignar una persona para acompañar al técnico en el proceso de instalación, puesta en marcha y capacitación.

ASISTENCIA TÉCNICA DE BOMBAS DE CONCRETO DE PLUMA SOBRE CAMIÓN

Los técnicos de Construmac visitarán en 2 ocasiones al sitio de operación por cada equipo en la fecha que ustedes determinen CON UN VALOR DE 38,910.00 PESOS SIN NINGÚN COSTO ADICIONAL. El comprador debe asignar una persona responsable que analizará los requerimientos enviados por el departamento de servicio.

La primera visita es un servicio de entrega técnica y puesta en marcha del equipo, que será de 2 días, durante la visita se llevarán a cabo las siguientes actividades:]

- Dar instrucciones a mecánicos, operadores e ingenieros sobre operación y mantenimiento del equipo.
- Arrancar el equipo, participando en la definición de las condiciones de operación y constatando su correcto funcionamiento.

El comprador debe asignar una persona para acompañar al técnico en el proceso de instalación, puesta en marcha y capacitación. La segunda visita se llevará a cabo el primer servicio de

CONSTRUMAC SAPI DE CV
San José de los Leones No. 11
Cof. San Pío, Cuautlilpan,
C.P. 53569 Naucalpan, Edo. de Méx.
Tel.: (55) 5428 1700
WWW.CONSTRUMAC.COM

Chihuahua Tel.: (618) 410 6173
Durango Tel.: (618) 824 7907
Guadalajara Tel.: (33) 3636 9260
Hermosillo Tel.: (662) 250 4078
Mérida Tel.: (999) 937 2095

Monterrey Tel.: (81) 8327 3897
Toluca Tel.: (594) 956 8414
Tijuana Tel.: (664) 647 8196
Villahermosa Tel.: (993) 314 2103

Anexo 3. Cotización de bomba estacionaria (continuación).



PEDIDO No. COT-09571-W3V7C4

Fecha: 26-02-2016

mantenimiento a las 250 horas, que será de 1 día por cada visita en la fecha que ustedes dispongan. Para servicios adicionales o posteriores a nuestro compromiso, podemos ofrecer a ustedes pólizas de mantenimiento siguiendo las recomendaciones de los fabricantes, de inspección periódica o de inspección y mantenimiento

RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS

Los gastos máximos (m³/hr ó yd³/hr) mencionados en la presente propuesta, son teóricos a la salida de la máquina, suponen un 100% de eficiencia de llenado de los cilindros y concreto a bombear plástico, sin tendencia a segregarse a la presión máxima disponible del equipo (concretos bombeables). El gasto que se obtendrá al final de la tubería que se instale (o de la tubería de la pluma en caso de equipos con la misma) así como la máxima distancia a la que se puede bombear, dependerán de la granulometría, revenimiento y relación agua cemento del concreto que se bombeé, cuya responsabilidad será del cliente. Construmac puede asesorarlos sobre los rendimientos estimados esperados de acuerdo a la información técnica que nos proporcionen de su concreto y proyecto.

GARANTÍA

El fabricante garantiza su equipo por defecto en materiales o mano de obra por 12 meses o 2,000 hrs. Los componentes no fabricados por ellos podrán tener una garantía distinta según estipule cada fabricante. El mal uso, abuso, instalación inadecuada, uso de partes no originales o adeudos pendientes, automáticamente invalidan la garantía, Construmac en su carácter de distribuidor no está autorizado a otorgar o negar las garantías de los equipos, limitando su responsabilidad a reparar e instalar los componentes afectados sin cargo por mano de obra o viáticos.

Sin más por el momento, nos despedimos quedando como siempre a sus órdenes.

CONSTRUMAC SAPI DE CV

Acepto esta cotización como pedido

Sicre, Alejandro

NEGRETE MARTINEZ, INES

EJECUTIVO DE VENTAS

CONSTRUMAC SAPI DE CV
San José de los Leones No. 11
Col. San Fco. Cuautlalpan,
C.P. 53509 Naucalpan, Edo. de Méx.
Tel.: (55) 6328-1700
WWW.CONSTRUMAC.COM

Chihuahua	Tel.: (614) 410 6173	Monterrey	Tel.: (81) 8327 8897
Durango	Tel.: (618) 824 7907	Tuxtlaucán	Tel.: (304) 356 8416
Guadalajara	Tel.: (33) 3836 9260	Tijuana	Tel.: (664) 647 8196
Hermosillo	Tel.: (662) 250 4078	Villahermosa	Tel.: (993) 314 2103
Mérida	Tel.: (999) 912 2095		

ANEXO 4

COTIZACIÓN DE PETROLIZADORA

Anexo 4. Cotización de Petrolizadora.



EQUIPOS, ASESORÍA, SERVICIO Y REFACCIONES PARA
CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE CAMINOS Y VIALIDADES

26 de enero de 2016

Cot: 012616-AGR1

México, D.F.

At'n: Ing. Inés Negrete Martínez
Tel – (55) 5482 2040
Email – inesnegrete@hotmail.com

Estimada Ing. Negrete:

Sometemos a su consideración, nuestra propuesta por el equipo descrito a continuación:

**(1) UNA PETROLIZADORA PARA APLICACIÓN DE ASFALTOS Y/O EMULSIONES, NUEVA, DE
FABRICACION MEXICANA,
MARCA**



REQUERIMIENTOS GENERALES

La intención de estas especificaciones es describir una petrolizadora (bituminadora, camión imprimador, tanque imprimador, esparcidor o regador de asfalto, distribuidor de asfalto, bituminous distributor, asphalt distributor, tar sprayer) para riego de asfaltos líquidos en diversas aplicaciones, mediante el uso de una barra de riego de fabricación especial y con toberas maquinadas y espaciadas de tal forma que se obtengan riegos uniformes.

Esta versión es montada sobre un chasis cabina (ver diagrama de montaje). **Chasis-cabina no incluido en esta cotización.**

01 800 715 1863
www.sgmmaquinaria.com
info@sgmmaquinaria.com

Anexo 4. Cotización de Petrolizadora (continuación).



EQUIPOS, ASESORÍA, SERVICIO Y REFACCIONES PARA
CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE CAMINOS Y VIALIDADES

VERSION CRM-E

- Computadora de Control de Riego SEAMAN PLUS 1.
- Tanque fabricado en Placa de Acero, soldado por dentro y por fuera, con aislamiento térmico de fibra de vidrio. Capacidad de 1,200 Gal.
- Bomba para Asfalto de engranes, de desplazamiento positivo, con gasto de 1,514 LPM.
- Sistema de Potencia Hidrostático.
- Barra de Esparcido Seaman DUO-FLO, de accionamiento hidráulico, de doble circulación continua, de 3,660 mm (12') de ancho.
- Válvulas de Operación Mecánicas, de accionamiento manual con protección térmica.
- Sistema de Calentamiento con quemador diesel de encendido electrónico.
- Sistema de Limpieza de circuito cerrado **ECO-SEAMAN**.
- Manguera de Succión de alma de acero cubierta de hule flexible.
- **PAQUETE CRM-E**. Control de barra de esparcido (riego) desde la cabina. Válvulas electro hidráulicas operadas desde el monitor monocromático para efectuar las operaciones de la barra de esparcido (riego): elevación, descenso, deslizamiento lateral a ambos lados y apertura/cierre de las espreas. Los controles en cabina se conectan en paralelo con el conjunto de válvulas direccionales instalado en la parte frontal del tanque, para operar la barra desde ambas estaciones indistintamente.

El equipo incluye las siguientes opciones en el precio:

- Bacheador manual de 25.4 mm (1") de diámetro x 3800.0 mm (9.8') de longitud.
- Caja para Herramienta
- Guardafangos
- Loderas
- Filtro para combustible diesel
- Filtros para aceite hidráulico
- Alarma de reversa audible
- Llave especial para abrir/cerrar trasiego
- Pintura amarillo óptico en tapas e infraestructura.
- Libros de operación, servicio, mantenimiento y repuestos.
- Montaje sobre el chasis-cabina que el cliente nos debe proporcionar EXW (ver diagrama adjunto para selección del chasis adecuado).
- Curso de capacitación con certificado de acreditación para operadores y mecánicos del cliente, impartido en nuestras instalaciones de San Luis Potosí, SLP.

01 800 715 1863
www.sgmmaquinaria.com
info@sgmmaquinaria.com

Anexo 4. Cotización de Petrolizadora (continuación).



EQUIPOS, ASESORÍA, SERVICIO Y REFACCIONES PARA
CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE CAMINOS Y VIALIDADES

TERMINOS COMERCIALES:

Precio:	\$55,950.00 más I.V.A.
Tiempo de Entrega:	3-4 semanas a partir de recibido su anticipo en firme en nuestras cuentas y su chasis en planta para montaje (salvo previa venta)
Lugar de Entrega:	EXW San Luis Potosí, S.L.P., México.
Términos de Pago:	50% de anticipo, y saldo previo al embarcar EXW
Moneda:	Dólares de los E.U.A.
Garantía:	12 meses.
Vigencia de la Cotización:	Sujeta a cambio sin previo aviso.

Para conocer las especificaciones completas y opciones para adecuar el equipo a sus necesidades, consulte el anexo de especificaciones al final de este documento.

Agradeciendo su amable solicitud, aprovechamos la presente para saludarle cordialmente.

Atentamente,

Arturo García Rochín
Empresas y Equipos Industriales SA de CV
Oficina/Fax: (444) 824 0017, 824 0018
Cel: (55) 3901 0120
Email: arturo@sgmmaquinaria.com

01 800 715 1863
www.sgmmaquinaria.com
info@sgmmaquinaria.com

Anexo 4. Especificaciones de Petrolizadora

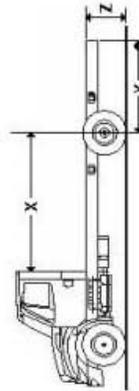
Requisitos Para Montaje Petrolizadoras SEAMAN GUNNISON

Modelo (model)	Capacidad (capacity)	Medidas (measurements)						Capacidad Mínima Ejes (axle minimum capacity)		Peso del equipo Sin el chasis (carga útil) (weight payload)	Peso del equipo Sin el chasis (vacío) (weight empty)
		x	y	z	Equipo sin camión			Delantero (front)	Trasero (rear)		
					Ancho (W)	Largo (L)	Alto (H)				
1140	4,300 L	2.90 m (114")	1.14 m (45")	1.02 m (40")	2.53 m (99.5")	4.09 m (161")	1.80 m (71")	4,545 kg (10,000 lb)	5,230 kg (11,500 lb)	2,890 kg (6,371 lb)	
1580	6,000 L	3.51 m (138")	1.07 m (42")	1.02 m (40")	2.53 m (99.5")	4.90 m (193")	1.80 m (71")	4,545 kg (10,000 lb)	6,820 kg (15,000 lb)	3,600 kg (7,936 lb)	
2100	8,000 L	4.27 m (168")	1.19 m (47")	1.02 m (40")	2.53 m (99.5")	5.79 m (228")	1.80 m (71")	4,545 kg (10,000 lb)	10,000 kg (22,000 lb)	11,850 kg (26,125 lb)	

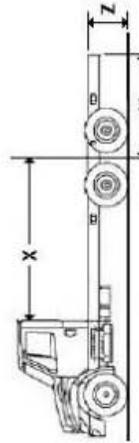
Camiones con dos ejes traseros (tandem)

2550	10,000 L	3.85 m (151.9")	2.64 m (104")	1.02 m (40")	2.53 m (99.5")	6.63 m (261")	1.80 m (71")	5,443 kg (12,000 lb)	16,329 kg (36,000 lb)	14,550 kg (32,077 lb)	4,250 kg (9,361 lb)
3200	12,000 L	3.85 m (151.9")	2.64 m (104")	1.02 m (40")	2.53 m (99.5")	6.63 m (261")	2.06 m (81")	5,443 kg (12,000 lb)	16,329 kg (36,000 lb)	16,710 kg (36,839 lb)	4,350 kg (9,590 lb)
4000	15,000 L	4.44 m (174.9")	2.64 m (104")	1.02 m (40")	2.53 m (99.5")	6.956 m (274")	2.13 m (84")	6,350 kg (14,000 lb)	20,865 kg (46,000 lb)	20,345 kg (44,759 lb)	4,895 kg (10,791 lb)
4490	17,000 L	4.44 m (174.9")	2.64 m (104")	1.02 m (40")				9,072 kg (20,000 lb)	20,865 kg (46,000 lb)		

UN EJE TRASERO (single axle)



DOS EJES (tandem)



X ■ cabina a eje trasero (cab to axle)
 Y ■ eje trasero a final de chasis (rear axle to chassis end)
 Z ■ altura de chasis (chassis height)
 P.B.V. ■ carga útil + peso chasis del camión
 (GVW: payload + chassis weight)

