



2 3 2 . 2

7 7 B O

Centro Internacional de Referencia  
para  
Abastecimiento Público de Agua

Julio 1977

La Haya, Países Bajos

# Bombas de Mano



Publicado bajo el patrocinio conjunto del  
**Programa de las Naciones Unidas  
para el Medio Ambiente**

y la



**Organización Mundial de la Salud**

10

Serie Documentos Técnicos

232.2-7780-8940

## COMPENDIO

"Bombas de Mano para Uso en Abastecimientos de Agua Potable en Países en Desarrollo". Documento Técnico No. 10, Centro Internacional de Referencia para Abastecimiento Público de Agua, Voorburg (La Haya), Países Bajos. Paginación diversa (aprox. 210 pp.). Julio 1977.

Informe del estado del conocimiento. Los temas tratados incluyen exposiciones razonadas sobre uso de bombas de mano, historia de las bombas de mano, descripción de los diferentes tipos de bombas de mano (incluyendo recíprocas, de diafragma, rotativas, rotativa helicoidal, noria de cangilones, noria de discos, molinete, y diversos dispositivos tradicionales de carga baja y movimiento lento empleados desde la antigüedad para elevar agua).

Los principios operativos; nomenclatura; análisis hidráulico, estructural y energético; y el diseño de cada componente de las bombas de mano recíprocas son descritos con ejemplos. Igualmente la administración de programas de bombas de mano, con énfasis en prácticas de instalación y mantenimiento. Programa reciente de investigaciones sobre bombas de mano y bombas de fabricación nativa con componentes de plástico, acero, madera, bambú. El capítulo final describe la fabricación de bombas en fundiciones, talleres de máquinas y mediante el empleo de tecnología intermedia.

Palabras clave: Bombas de Mano, abastecimiento de agua en las zonas rurales de los países en desarrollo, bombas recíprocas, tecnología adecuada, diseño de bombas de mano, mantenimiento de bombas de mano, fabricación de bombas de mano, investigación de bombas de mano, y desarrollo.

Establecido en 1968, en el Instituto Nacional Neerlandés para Abastecimiento de Agua en Voorburg (La Haya), el Centro Internacional de Referencia de la OMS para Abastecimiento Público de Agua (C.I.R.) funciona en base a un Convenio entre la Organización Mundial de la Salud y el Gobierno Holandés. En estrecho contacto con la OMS, el C.I.R. opera como nexo de una red mundial de instituciones colaboradoras regionales y nacionales, tanto en países en desarrollo como en los industrializados.

El objetivo general del C.I.R. es promover la cooperación internacional en el campo del abastecimiento público de agua. Operando a manera de catalizador, el C.I.R. trabaja estrechamente en conjunto con sus instituciones colaboradoras así como con oficinas internacionales, entidades nacionales e individuos particulares.

Cualquier solicitud de información sobre el C.I.R. o consulta sobre problemas específicos puede dirigirse al Centro Internacional de Referencia para Abastecimiento Público de Agua, Sector de Información, P.O. Box 140, 2260 AC Leidschendam, Países Bajos.

9.997 232.2  
7780

CENTRO INTERNACIONAL DE REFERENCIA  
PARA  
ABASTECIMIENTO PUBLICO DE AGUA

BOMBAS DE MANO

PARA USO EN ABASTECIMIENTOS DE AGUA POTABLE  
EN PAISES EN DESARROLLO

LIBRARY  
International Reference Centre  
for Community Water Supply

PREPARADO POR F. EUGENE MCJUNKIN

PUBLICADO BAJO EL PATROCINIO CONJUNTO  
DEL  
PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE  
Y LA  
ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD

DOCUMENTO TECNICO NO. 10

JULIO 1977

LIBRARY, INTERNATIONAL REFERENCE  
CENTRE FOR COMMUNITY WATER SUPPLY  
AND SANITATION (I.C.W.S.)  
NW: HAVENSTRAAT 6, VOORBURG (LA HAYA)  
P.O. Box 140, 2260 AC LEIDSCHENDAM, THE NETHERLANDS  
Tel. (070) 814011 PAISES BAJOS  
ISBN 8941  
LO: 232.2 7780  
DIRECCION POSTAL

P.O. BOX 140, 2260 AC LEIDSCHENDAM, PAISES BAJOS

La información consolidada de bombas de mano, tal como se presenta en este manual, ha sido reunida durante varios años. El material fue revisado y evaluado durante 1976 y la primera mitad de 1977. Se ha procurado incluir toda aquella información considerada pertinente.

Aún cuando el tema de las bombas de mano es tratado ampliamente por el manual, no pretende éste ser exhaustivo o definitivo. De la búsqueda de información pueden haber escapado algunas innovaciones, logros de investigación o programas de ensayo. Además es indudable que los programas de bombas de mano en marcha darán lugar a nueva información y datos de validez y pertinencia.

El presente documento, por lo tanto, es probable que requiera ser revisado en el futuro. Se tiene la intención de emprender ese trabajo cuando ello sea oportuno.

Se invita a los lectores a hacer comentarios o sugerencias sobre cambios, correcciones, o ampliaciones que consideren necesarios o útiles. Tales contribuciones serán bien recibidas y utilizadas en la futura revisión del manual donde serán incluidas y debidamente reconocidas.

Las comunicaciones deben dirigirse a: Centro Internacional de Referencia para Abastecimiento Público de Agua, P.O. Box 140, 2260 AC Leidschendam, Países Bajos.

E.H.A. Hofkes  
Coordinador del Proyecto

Este informe es publicado bajo la responsabilidad del Centro Internacional de Referencia de la OMS para Abastecimiento Público de Agua. No representa necesariamente las decisiones o la política oficial de la Organización Mundial de la Salud ni del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

## CONTENIDO

<u>Sección</u>		<u>Página</u>
	PREFACIO .....	9
	RESUMEN PARA EJECUTIVOS .....	11
1	INTRODUCCION .....	19
1.1	Antecedentes .....	19
1.2	Fuentes de Información .....	21
1.3	Limitaciones del Informe .....	22
2	TIPOS DE BOMBAS DE MANO .....	25
2.1	Historia .....	25
2.2	Bomba Aspirante Recíproca para Pozos Superficiales .....	26
2.3	Bomba Aspirante Recíproca para Pozos Profundos .....	28
2.4	Bomba Impelente Recíproca .....	29
2.5	Bomba Impelente de Diafragma .....	31
2.6	Bomba Rotativa .....	31
2.7	Noria de Cangilones .....	33
2.8	Noria de Discos .....	35
2.9	Pozo de Garrucha Higiénicamente Instalado .....	35
2.10	Ariete Hidráulico .....	35
2.11	Dispositivos Tradicionales para Elevar Agua .....	38
3	BOMBAS DE MANO: ESTADO DE LA TECNOLOGIA .....	41
3.1	Generalidades .....	41
3.2	Nomenclatura .....	41
3.3	Fundamentos de Hidráulica .....	44
3.4	Análisis Estructural .....	49
3.5	Análisis de la Energía .....	56
3.6	Armadura del Mango .....	64
3.7	Conexiones, Pasadores y Cojinetes .....	74
3.8	Soporte de la Bomba (Estándar, Barril, Cabezal, Hidrante, Cuerpo de Bomba, Columna) .....	82
3.9	Tapa de la Bomba (Cubierta, Casquete, Cabezal, Anillo, Capote, Casco) .....	84
3.10	Varilla de la Bomba (Varilla de Conexión, Varilla del Embolo, Varilla del Pistón, Varilla Aspiradora, Varilla del Pozo) .....	86
3.11	Tubería de Bajada (Tubería Ascendente, Tubería de Elevación, Conducto Montante, Tubería de Descarga, Tubería de Succión-Elevación) .....	87
3.12	Tubería de Succión (véase también Tubería de Bajada) ....	88
3.13	Armadura del Embolo (Embolo, Pistón, Cubo, Cangilón, Aspirador) .....	89
3.14	Empaquetaduras de la Taza (Tazas, Cubos, Tazas del Embolo, Tazas del Pistón, Zapatillas, Tazas de Empaque, Zapatillas de Empaque) .....	91
3.15	Válvulas (véase el texto para otros nombres) .....	92

SecciónPágina

3.16	Cilindros .....	97
3.17	Costos Comparativos de Bombas de Mano Alternativas .....	100
3.18	Especificaciones para Bombas de Mano .....	103
4	ADMINISTRACION DE UN PROGRAMA DE BOMBAS DE MANO .....	109
4.1	Organización .....	109
4.2	Planeamiento e Ingeniería .....	111
4.3	Instalación .....	111
4.4	Mantenimiento .....	118
5	INVESTIGACION Y DESARROLLO DE LAS BOMBAS DE MANO .....	133
5.1	Historia .....	133
5.2	Desarrollo de la Bomba de Mano AID/Battelle .....	134
5.3	Estudio de Bombas de Mano Usadas en Pozos Tubulares Superficiales en los Alrededores de Calcuta .....	140
5.4	Proyecto 0268 OMS/UNICEF/India para el Estudio y Desarrollo de Bombas de Mano para Pozos Profundos (Bomba Bangalor) .....	141
5.5	Desarrollo del Programa UNICEF/Bangladesh de Bombas de Mano para Pozo Superficial .....	149
5.6	Comité Interamericano de Estudios Hidráulicos (CIEH). Estudios en el Alto Volta Incluyendo la Hidrobomba Vergnet .....	153
5.7	Otras Investigaciones y Avances .....	159
5.8	Tecnología Intermedia .....	170
5.9	Comentarios Generales .....	171
6	FABRICACION LOCAL DE BOMBAS DE MANO .....	173
6.1	Antecedentes .....	173
6.2	Bombas de Mano Convencionales de Fierro Fundido .....	174
6.3	Bombas de Mano Fabricadas con Componentes de Acero, Madera o Tubería Plástica .....	186
6.4	Soldadura y Manufactura en Taller .....	189
6.5	Bombas de Mano Fabricadas por Artesanos Rurales .....	193
6.6	Artificios "Tradicionales" para Elevar Agua .....	197
6.7	Cilindros de las Bombas .....	197
6.8	Empaques de las Bombas (Tazas y Válvulas) .....	199
6.9	Mangos de las Bombas .....	199
Bib.	Bibliografía .....	201
L.	Catálogo de Literatura de los Fabricantes .....	215
Anexo A	Lista de Participantes en el Taller Internacional sobre Bombas de Mano .....	219
Anexo B	Lista de Colaboradores .....	221
Anexo C	Directorio de Fabricantes de Bombas de Mano .....	225
Anexo D	Siglas de Agencias Internacionales .....	231
Anexo E	Cuadro de Conversión de Unidades .....	233

FIGURAS

<u>Sección</u>		<u>Página</u>
Sumario	"Bomba de Granja" .....	13
1	1-1 La Población de la Mayoría de los Países en Desarrollo es Predominantemente Rural .....	19
	1-2 Cómo Trabaja una Bomba de Mano (Sistema) .....	24
2	2-1 Típica Bomba Aspirante para Pozo Superficial .....	27
	2-2 Ilustración de la Operación de una Bomba de Embolo .....	27
	2-3 Bomba Aspirante para Pozo Profundo .....	29
	2-4 Bomba Impelente .....	30
	2-5 Sección de una Bomba de Diafragma .....	31
	2-6 Sección de una Bomba Rotativa .....	31
	2-7 Sección de una Bomba Semiroiativa .....	32
	2-8 Sección de una Bomba de Rotor Helicoidal .....	32
	2-9 Noria de Cangilones .....	34
	2-10 Bomba de Cadena o Noria de Discos .....	34
	2-11 Pozo de Garrucha Higiénicamente Instalado .....	36
	2-12 Ariete Hidráulico Típico .....	37
	2-13 Pozo Excavado Mejorado y Achicador de Contrapeso Usado en Filipinas .....	39
3	3-1 Nomenclatura de las Bombas de Mano .....	42
	3-2 Volumen de Desplazamiento del Cilindro .....	44
	3-3 Nomograma de Descarga para Bombas de Mano .....	45
	3-4 Carga Estática para Bombas de Mano .....	47
	3-5 Tensión Dinamométrica de la Varilla de la Bomba .....	52
	3-6 Ventaja Mecánica del Mango de la Bomba Considerado como Palanca .....	54
	3-7 Geometría del Mango .....	65
	3-8 Mecanismos de Palanca para Operación Vertical de la Varilla de la Bomba sin Desplazamiento Lateral .....	67
	3-9 Ejemplos de Bombas de Mano Recíprocas Operadas por Manivela y Rueda .....	68
	3-10 Mango y Soporte de Bomba de Mano Nativa Desarrollada por Care/Túnez .....	71
	3-11 Diagrama de Fuerza sobre el Fulcro .....	73
	3-12 Bomba de Mano "Uganda" (Tipo Pozo Profundo) .....	73
	3-13 Cálculo de la Presión de Apoyo para Cojinetes Simples ...	75
	3-14 Bomba de Mano con Caja de Estopas y Varilla Guiada que Puede Usarse como Bomba Impelente .....	85
	3-15 Detalle de la Armadura del Embolo .....	90
	3-16 Cilindros de Bomba y sus Válvulas .....	94
	3-17 Uso Recargado de Bombas de Mano en Países en Desarrollo .	104
4	4-1 Instalación de Bombas de Mano en Pozos y Galerías de Infiltración .....	113
	4-2 Una Fuente Alternativa de Agua .....	114
	4-3 Bomba de Mano con Drenaje Inadecuado .....	115
	4-4 Requisitos de Mantenimiento de los Componentes de las Bombas de Mano .....	129
	4-5 Página Tomada de un Manual de Mantenimiento de Bombas de Mano en Laos, para Usarse en el Campo (Original en Idiomas Laosiano e Inglés) .....	130

	4-6a	Cuidado y Mantenimiento de la Bomba de Mano (Cilindro de Tipo Abierto - Descarga por Surtidor) .....	131
	4-6b	Reemplazo de Empaquetaduras en Cilindros cuando se Requiere Extracción de la Varilla de la Bomba .....	132
5	5-1a	Bomba Battelle - Configuración para Pozo Superficial ...	135
	5-1b	Bomba Battelle - Configuración para Pozo Profundo .....	136
	5-2	Alturas de Mangos de Bombas para Operación Cómoda o Incómoda .....	144
	5-3	Ejemplos de Deficiencias Comunes de Montaje en la Articulación del Mango y el Fulcro .....	145
	5-4	Deficiencias de Fabricación y de Diseño de Bombas de Mano para Pozo Profundo Fabricadas en la India .....	147
	5-5	Cilindro de Bomba Bangalor .....	148
	5-6	Nueva Bomba de Mano No. 6 (Bangladesh) .....	151
	5-7	Dos Bombas de Mano Usadas en Africa Occidental .....	154
	5-8	Hidrobomba Vergnet. Descripción Esquemática .....	156
	5-9	Hidrobomba Vergnet .....	157
	5-10	Bomba de Mano Sholapur para Pozo Profundo. Mecanismo de la Parte Superior .....	160
	5-11	Bomba de Mano Tipo U.S.T. (Kumasi) .....	162
	5-12	La Bomba Petro .....	163
	5-13	Bomba de Mano de Tubería Plástica de Cloruro de Polivinilo (PVC) .....	166
	5-14	La Bomba "Canguro" .....	169
6	6-1	Plano Típico de Distribución y Equipamiento, de una Fundición .....	177
	6-2	Plano de Distribución de Fundición y Taller de Máquinas para Fabricación de Bombas de Mano .....	184
	6-3	Bomba de Mano de Shinyanga .....	187
	6-4	Bomba de Componentes Tubulares Fabricada en Korat (Tailandia) .....	190
	6-5a	Bomba de Mano de Bambú o de Tubería de PVC (General) ...	194
	6-5b	Bomba de Mano de Bambú o de Tubería de PVC (Válvulas) ..	195
	6-6	Noria de Tipo Cadena Hecha de Cuerda .....	196
	6-7	Bomba de Diafragma (Bodek) .....	198

CUADROS

<u>Sección</u>		<u>Página</u>
3	3-1	Máxima Carga de Succión de Bombas de Mano Recíprocas a Diferentes Alturas para Agua a 60°F (15.6°C) ..... 50
	3-2	Carga Máxima para Operar con Comodidad una Bomba de Mano para Pozo Profundo ..... 56
	3-3	Potencia Generada por el Esfuerzo Humano ..... 57
	3-4	Caudal de Bombeo de Molinos de Viento. Descarga en Galones U.S. por Minuto (Litros por Minuto) ..... 63
	3-5	Coefficientes de Fricción Deslizante ..... 78
	3-6	Costos de Cojinetes Especiales Adquiridos a Fabricantes de Cojinetes ..... 80
	3-7	Diámetro Mínimo de la Tubería de Bajada ..... 88
	3-8	Categorización Numérica de las Bombas de Mano de Acuerdo al Rendimiento Requerido ..... 105
4	4-1	Problemas Comunes de las Bombas de Mano y sus Soluciones. 124
	4-2	Programa para Mantenimiento de Bombas de Mano Sencillas. 128
5	5-1	Observaciones de Campo de Usuarios de Bombas de Mano para Pozo Profundo en el Estado de Karnataka, India .... 143
	5-2	Ensayos de Bombeo de la Petro Bomba Prototipo ..... No existe
6	6-1	Especificaciones para Fierro Cochino de Fundición ..... 174
	6-2	Especificaciones para Coque de Fundición. Peso Expresado en Porcentaje ..... 175
	6-3	Dotación de Personal de un Taller de Máquinas ..... 185
	6-4	Dotación de Personal de una Fundición ..... 186

Edición original en inglés:

HAND PUMPS

Centro Internacional de Referencia  
para Abastecimiento Público de Agua

Traducción al español:

Ing. Andrés Bello  
Ing. Edmundo Elmore

Coordinación Editorial:

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria  
y Ciencias del Ambiente

CEPIS, Lima 1978

## PREFACIO

Los abastecimientos de agua potable en los países en desarrollo están recibiendo una creciente atención. En muchas circunstancias se puede obtener agua potable de pozos entubados o pozos excavados y por ello se está dando cada vez mayor atención al uso de bombas de mano para extraer el agua.

La demanda de información amplia y confiable sobre bombas de mano es mayor que nunca, pero dicha información no se consigue fácilmente.

A solicitud de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) acordó, en abril de 1975, financiar parcialmente la preparación de un Manual sobre bombas de mano. Después de consultar con la OMS, el Centro Internacional de Referencia para Abastecimiento Público de Agua (C.I.R.) acordó emprender el proyecto.

Bajo un acuerdo con el C.I.R., F.E. McJunkin preparó el presente informe, y por ello, debe dársele crédito en primer lugar. Expresamos nuestro reconocimiento por su dedicada y concienzuda labor de recolectar, evaluar y ordenar la información y redactar este informe.

También se debe agradecer al señor L.A. Orihuela y a sus colaboradores de la Unidad de Abastecimiento Público de Agua y Saneamiento de la OMS, Ginebra. En particular se dan las gracias al Dr. R.C. Ballance por su constante apoyo y colaboración.

El borrador del manual fue revisado a cabalidad en una reunión de expertos que tuvo lugar en Voorburg, La Haya, Países Bajos, del 12 al 16 de julio de 1976. Los múltiples comentarios y sugerencias aprobados por los participantes de la reunión están incluidos en el informe, agradeciéndose su contribución. La lista de nombres de los participantes aparece en el Anexo A.

La colaboración de muchas personas que fueron entrevistadas y que tuvieron acceso al material escrito ha sido de gran ayuda en la preparación del informe. También se aprecia mucho la forma en que respondieron los funcionarios de los gobiernos nacionales, las organizaciones internacionales y los fabricantes de bombas de mano, quienes aportaron sus comentarios sobre un borrador preliminar distribuido para ser revisado.

La intención del presente documento es servir a los funcionarios de salud pública, ingenieros y personal de campo que planifican e implementan programas de abastecimiento de agua en los que se utilizan bombas de mano. Se espera que el manual aporte un mayor acceso a la información existente sobre bombas de mano, contribuyendo así al mejoramiento general del estado del conocimiento y facilitando la selección de bombas de mano en existencia así como el desarrollo de nuevos diseños.

## RESUMEN PARA EJECUTIVOS

### ANTECEDENTES

Varios cientos de millones de personas dependen actualmente de bombas de mano\* para obtener agua potable. En muchos países se han puesto en marcha o planeado implantar importantes programas de bombas de mano. Hay una creciente toma de conciencia del importante papel que realmente desempeñarán las bombas de mano, por un largo tiempo aún, en la provisión de agua potable para muchos millones de personas en las zonas rurales de los países en desarrollo.

Sin embargo, la experiencia demuestra que muchos abastecimientos con bombas de mano son deficientes o han sido del todo abandonados, debido a defectos de diseño, fabricación, instalación, operación y mantenimiento. Una falla de las bombas puede inutilizar por completo un pozo. Se necesitan criterios de diseño que sean prácticos, especialmente en los países en desarrollo, y que cumplan con las condiciones de operación prevalecientes, así como con los requisitos sanitarios. Se necesitan bombas más durables, libres de averías, que sean sanitarias y a la vez baratas; cuya necesidad de mantenimiento pueda ser satisfecha dentro de las limitaciones de capacidad local; que sean fácilmente operables y aceptables por los usuarios, incluyendo mujeres y niños; y que sean adecuadas para fabricación local, usando materiales, equipo y mano de obra locales.

Los objetivos de este documento incluyen:

- (1) Recopilar y revisar información sobre bombas de mano producidas actualmente, tanto en países en desarrollo como en los industrializados.
- (2) Recopilar y revisar información sobre bombas sencillas, susceptibles de ser fabricadas por artesanos rurales usando materiales locales.
- (3) Reunir y revisar información sobre el desarrollo de bombas de mano y sobre ensayos de campo, especialmente aquellos programas que han intentado determinar las causas de fallas o desperfectos en las bombas, incluyendo deficiencias de diseño, fabricación, operación y mantenimiento.

---

\* El término bomba de mano se refiere aquí a cualquier dispositivo sencillo usado para elevar agua, accionado por energía humana y empleado para el abastecimiento de agua potable en aldeas rurales.

(4) Basándose en el análisis y la interpretación de la información obtenida, trazar pautas y recomendaciones referentes al diseño, selección, fabricación y mantenimiento de bombas de mano.

(5) Proveer documentación básica para programas de desarrollo de bombas de mano y para reuniones de trabajo donde se discutan y analicen diversos problemas de las bombas de mano.

### TECNOLOGIA DE LA BOMBA

Dispositivos para elevar agua, o bombas accionadas por la energía humana, han sido usados desde los albores de la historia. La bomba más común y difundida de este tipo es la conocida como "bomba de simple efecto, recíproca, de desplazamiento positivo"\*. O también llamada "bomba de granja", de la que se muestra una fotografía en la página siguiente.

La tecnología de la bomba de mano recíproca puede todavía subdividirse en dos tipos: la bomba de mano para pozo superficial y la bomba de mano para pozo profundo. En ambos casos un émbolo o pistón encerrado dentro de un cilindro eleva el agua hasta el surtidor de la bomba.

En la bomba de pozo superficial, el émbolo y su cilindro se encuentran ubicados por encima del nivel del agua; usualmente dentro del propio soporte de la bomba. Esta bomba depende de la presión atmosférica para elevar el agua hasta el cilindro, por lo tanto está limitada a una altura de elevación de unos 22 pies (6.70 m).

En la bomba de pozo profundo, el cilindro y el émbolo están ubicados en el pozo por debajo del nivel de agua. Esta bomba puede elevar agua de pozos con una profundidad de hasta 600 pies (180 m). Las fuerzas y el desgaste producidos por la carga hidráulica\*\* aumentan con la profundidad de la napa freática. También, los problemas de mantenimiento y reparación que implican llegar hasta el cilindro,

---

\* El artificio de cuerda y cubo es el más empleado, pero es inadecuado para usarse como abastecimiento de agua de una aldea rural.

\*\* Distancia vertical a la que debe elevarse el agua desde su nivel en el pozo hasta el punto de descarga libre, p.ej. el surtidor de la bomba.

## "BOMBA DE GRANJA"



Típica "bomba de mano de palanca de simple efecto (cilindro), recíproca (émbolo), de desplazamiento positivo" del tipo desarrollado primero en Europa y América del Norte y ampliamente usada hoy en día, en los países en desarrollo, para abastecimiento de agua en las zonas rurales. Estas bombas son operadas predominantemente por mujeres y niños.

(Foto: OMS/Perú)

en lo profundo del pozo, son mucho más difíciles que en el caso de las bombas de pozo superficial. Puede verse, así, que el diseño y los costos en las bombas de pozo profundo son más críticos que en las de pozo superficial.

El diseño hidráulico de una bomba debe considerar el caudal de descarga, la altura a que debe elevarse el agua, las cargas estructurales que genera la operación de la bomba, la energía requerida para accionar la bomba, y la amplitud y frecuencia

de la carrera del pistón transmitida por el mango. Estos factores afectan el diseño de la armadura del mango, el soporte de la bomba, los cojinetes en los puntos de giro de la armadura del mango, la varilla de la bomba que une el mango, y la armadura del émbolo, el cilindro y el sello hidráulico ("taza" o "cubo") entre el pistón y las paredes del cilindro.

Hay que considerar cinco restricciones importantes:

- (1) La energía disponible es limitada, menos de 0.1 caballos de fuerza (75 vatios) para adultos de sexo masculino.
- (2) La bomba de mano debe soportar un uso severo, típicamente 250 usuarios por bomba, y, a veces, más de 1000 además del uso necesario para el ganado.
- (3) El capital disponible para bombas de mano es sumamente limitado en los países en desarrollo, estando aún más limitadas las divisas para importación.
- (4) La calidad de fabricación puede ser baja.
- (5) Los recursos para mantenimiento son por lo general limitados.

La tecnología básica es bien conocida. Las bombas recíprocas eran conocidas en la antigüedad y han estado en uso generalizado por lo menos 200 años. Las bombas de fines del siglo XIX son bastante similares a las que se usan hoy. El conocimiento teórico de su operación era bien entendido ya a comienzos del presente siglo.

#### MANTENIMIENTO

Considerando la antigüedad que tiene la tecnología de la bomba de mano, ¿por qué la preocupación que por ella existe hoy en día? Básicamente por tres razones. En primer lugar, las bombas de mano que se usan en la actualidad provienen, en su mayor parte, de las bombas europeas y norteamericanas diseñadas para uso unifamiliar mientras que, en los países en desarrollo, a menudo ocurre que el abastecimiento de agua de centenares de personas depende de una sola bomba. Segundo, la calidad de fabricación de las bombas de mano es frecuentemente pobre. Tercero, la escasez de recursos de los países en desarrollo, que hace necesario el uso de

bombas de mano, también implica que el costo unitario de las bombas de mano debe ser bajo. Existe la tecnología para fabricar bombas de mano durables y que prácticamente no requieran servicio de mantenimiento pero ¿a qué costo?\*

De esta manera, el uso recargado, la baja calidad y el bajo costo combinados exigen un servicio de mantenimiento extraordinario para que la utilización de las bombas de mano sea satisfactoria y efectiva en los países en desarrollo. La falta de mantenimiento y/o de bombas de calidad suficiente ha sido uno de los principales problemas (muchas autoridades en la materia lo consideran el principal problema) que enfrentan los programas de bombas de mano.

#### INVESTIGACION Y DESARROLLO DE LAS BOMBAS DE MANO

El esfuerzo internacional en pro del desarrollo del abastecimiento de agua rural en los países en desarrollo durante la pasada década ha impulsado una serie de importantes actividades tendientes a lograr adelantos en el uso de las bombas. Tales actividades incluyen:

(1) La bomba AID/Battelle. Programa quinquenal cuyo objetivo es desarrollar una bomba robusta y confiable, para pozos superficiales y profundos, de aplicación universal en los países en desarrollo. Aún cuando nunca han sido producidos masivamente, sus hallazgos han servido de acicate e influenciado a la mayoría de los otros programas dedicados al desarrollo de bombas de mano.

(2) La bomba de Bangalor. Desarrollada por el gobierno de la India con la cooperación de la OMS, esta bomba para pozo profundo se encuentra aún en etapa de prototipo experimental. El diseño de la bomba incorpora ciertas novedades, incluyendo algunas desarrolladas en la India por agencias de "Misión" en las bombas llamadas "tipo Jalna".

---

\* Verdad es que algunas bombas se aproximan a estas características pero su costo prohibitivo impide que tengan una acogida general.

(3) Nueva bomba No. 6. Es una bomba para pozo superficial desarrollada en Bangladesh con asistencia de UNICEF y que se encuentra ya en producción en masa. Ha incorporado muchas de las innovaciones de la bomba Battelle y reemplaza las empaquetaduras de cuero por sellos plásticos de PVC.

(4) La hidrobomba Vergnet. Desarrollada por un fabricante francés y que actualmente está siendo ensayada en Africa Occidental, esta bomba de diafragma, accionada a pedal significa un alejamiento radical de la bomba recíproca y puede constituirse en un avance promisorio.

Una serie de otros estudios dedicados a bombas han sido emprendidos y están descritos en este documento. Muchos utilizan materiales de sustitución, plásticos especialmente, en lugar de materiales convencionales como empaquetaduras y válvulas de cuero y cilindros de fierro y bronce. Otros emplean el entubado del pozo como cilindro de bombeo. Algunos diseños nuevos introducen cojinetes de bolas y otros dispositivos antifricción en la armadura del mango.

#### FABRICACION LOCAL DE BOMBAS DE MANO

La conveniencia de la fabricación local de bombas de mano se basa en que posibilita:

- (1) menores costos capitales de producción,
- (2) economías en el transporte,
- (3) reducción de divisas,
- (4) impulso a la industria y mano de obra locales,
- (5) disponibilidad local de repuestos, y
- (6) producción de bombas de mano adecuadas a las condiciones locales.

Existen dos tipos de fabricación local a ser considerados. El primero es la producción en masa en fundiciones, talleres de máquinas y fábricas, de bombas de mano semejantes a (en realidad, a menudo copiadas de) las del mercado internacional de exportación. Tal fabricación es práctica y se realiza en muchos países en desarrollo. El segundo tipo de fabricación local ha sido denominado de diversas formas "tecnología de bajo nivel", "tecnología de nivel intermedio", y "tecnología

adecuada", y se presta para la producción a pequeña escala, por artesanos rurales, y en pequeños talleres. También se encuentran las llamadas "bombas de componentes de aquí y allá", y otras variaciones híbridas. Cuando se necesita gran número de bombas de mano públicas, el primer tipo es generalmente el más importante debido a su capacidad de producción en masa de bombas más durables e intercambiables.

Las bombas de mano están hechas de muchas piezas distintas. Por ello puede ser necesario contar con una variedad de proveedores de piezas de fundición, cueros, varillas, tubos, válvulas, pasadores, tuercas, pernos, y otras partes para armar toda la bomba. Conviene que los fabricantes de soportes para bombas de mano también puedan fabricar arietes hidráulicos, cajas de válvulas y medidores, tapas de registros de inspección y otras piezas de fundición empleadas en abastecimiento de agua y saneamiento.

En esta obra se reseñan pautas para trabajos de fundición y taller, y especificaciones para fierro, coque y otros materiales. También se describen métodos alternativos de fabricación de bombas empleando componentes de acero, plástico y madera. Asimismo, los requisitos técnicos para el establecimiento de operaciones auxiliares tales como talleres de talabartería.

La sección final discute la producción de bombas de mano por artesanos rurales con una serie de ejemplos entre los que se incluyen bombas de bambú, norias de discos, bombas de diafragma, norias de cordel, bombas de manivela. También se describe la producción local de empaquetaduras para bombas y mangos de madera para bombas convencionales.

#### BIBLIOGRAFIA

En el apéndice hay una extensa bibliografía.

#### DIRECTORIO DE FABRICANTES

Se ha incluido en el apéndice un directorio mundial de unos 90 fabricantes de bombas de mano conocidos por el autor hasta junio de 1977. Se solicita y agradece de antemano el envío de información adicional. La inclusión de un fabricante en la lista no constituye recomendación, ni la omisión implica rechazo.



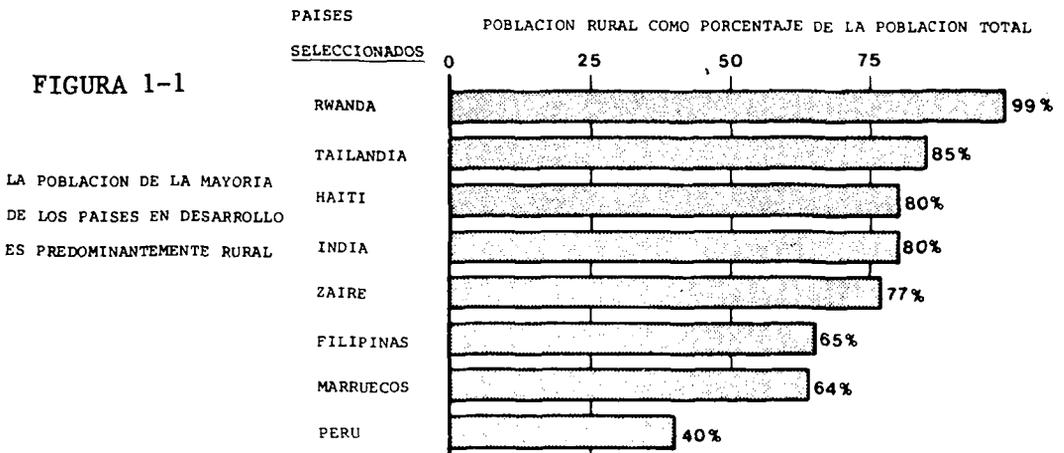
# 1. INTRODUCCION

## 1.1 ANTECEDENTES

Una encuesta reciente de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1973), indica que en el año 1970 más de mil millones de personas, habitantes de áreas rurales de países en desarrollo, no tenían acceso razonable a una fuente de agua potable segura. Numerosos estudios epidemiológicos han señalado al agua contaminada como agente principal en la transmisión de la tifoidea, el cólera, la disentería bacilar y otras enfermedades diarreicas. En muchos países en desarrollo, las enfermedades transportadas por agua, o relacionadas con el agua, se encuentran entre las tres causas principales de morbilidad y mortalidad. Más aún, estas aguas impuras pueden requerir el esfuerzo de muchas horas diarias para su recolección.

Una meta de la Segunda Década de Desarrollo de las Naciones Unidas es elevar la proporción de la población rural con acceso fácil a una fuente de agua segura hasta el 36%. Incluso esta modesta meta requerirá un gasto de capital de 6.5 millones de dólares en áreas donde los ingresos per cápita son generalmente bajos. Se debe hacer todo esfuerzo para mantener bajos los costos per cápita en abastecimientos de agua para que una proporción apreciable de esta creciente población llegue a tener agua adecuada.

FIGURA 1-1



Muchos observadores enterados concuerdan con un reciente análisis del Banco Mundial en que "En áreas donde el agua subterránea se encuentra fácilmente accesible, a profundidades moderadas, la construcción de una serie de pozos equipados con bombas de mano es, con mucho, la forma más económica de proveer un buen abastecimiento de agua" (BIRF, p. 16, 1975). Dependiendo del costo del pozo y la densidad de población, puede proveerse un programa de abastecimiento de agua con bomba de mano hasta por EUA\$0.50 a \$3.00 per cápita. Aunque los sistemas públicos de agua en tuberías a presión que llegan hasta las viviendas y las fuentes públicas son la meta final, muchos de los mil millones de personas que no cuentan con el servicio, tendrán que emplear, con criterio realista, bombas de mano como medida provisional, si no definitiva.

Otro factor es que en muchas áreas no hay electricidad disponible, por lo que el bombeo puede significar el empleo de motores de combustión interna. En este caso, los motores diesel son los indicados por su confiabilidad. Sin embargo, no se construyen de potencia menor a los 4.5 caballos de fuerza. En caso de usarse éstos, consumen petróleo caro e importado y representan, en muchos casos, capacidad excesiva no usada o frecuentes "encendidos" y "apagados" del motor con el consiguiente desgaste y trabajo. Su costo de capital es 4 o más veces mayor que el de las bombas de mano (Allison).

Varios cientos de millones de personas dependen del uso de bombas de mano para obtener su agua potable. Hay importantes programas de bombas de mano en etapa de planeamiento o implementación en muchos países, incluyendo Afganistán, Bangladesh, Birmania, India, Indonesia, Pakistán, Filipinas y Tailandia; Etiopía, Ghana, Kenya, La República de Madagascar, Malawi, Mali, Tanzania, Túnez y Zambia; Bolivia, Costa Rica, Honduras, Ecuador y Nicaragua. Solo Bangladesh planea instalar más de 400000 bombas de mano durante esta década.

Desafortunadamente, la experiencia indica que muchas de las bombas de mano ya instaladas son deficientes o han sido abandonadas por insuficiencias de diseño, construcción e instalación, así como de operación y mantenimiento de las bombas. Se necesitan criterios de diseño que puedan ser aplicados, particularmente por los países en desarrollo, de acuerdo con las condiciones de operación prevalecientes.

La tecnología manual más común muestra diseños de bombas que se desarrollaron hace más de 50 años para uso en granjas unifamiliares de los Estados Unidos y Europa, mientras que en la India, por ejemplo, una sola bomba de mano puede ser usada regularmente por, más o menos, mil personas. (Emmanuel). Se requieren bombas más durables, que no sufran averías y cuyo mantenimiento pueda ser efectuado dentro de las limitaciones locales; que sean sanitarias, de bajo costo, fácil operación y aceptables por los usuarios, incluyendo mujeres y niños, y, adecuadas para su fabricación local, incluidos materiales, equipo y mano de obra.

Durante los últimos diez años se han realizado diversos estudios sobre tipos diferentes de bombas de mano, que han sido patrocinados por agencias internacionales, fabricantes de bombas y otros, bajo diversas condiciones. Igualmente, diversas organizaciones han dirigido su atención a métodos simples de elevar agua usando bombas hechas por artesanos locales. Muchas de ellas ofrecen la posibilidad de uso en otras localidades, con o sin adaptaciones menores de diseño.

## 1.2 FUENTES DE INFORMACION

La información disponible sobre bombas de mano de fuentes convencionales, tales como publicaciones científicas recientes, es inexistente. La información sobre bombas de mano se encuentra en aquello que a veces ha sido calificado como "literatura fugitiva"; por ejemplo, literatura que no aparece nunca en extractos o revistas periódicas dada su publicación informal, limitada, restringida o privada. Gran parte de la información obtenida aparece en comunicaciones mimeografiadas o hechas en xerox, en memoranda, correspondencia, o en documentos distribuidos en un número muy reducido de copias, y preparados por empleados de oficinas internacionales. Aproximadamente una tercera parte de la información básica, la constituyen documentos proporcionados por la OMS y UNICEF. Una segunda fuente, la constituyen estudios de finales del siglo XIX y principios del siglo XX realizados en Estados Unidos en estaciones agrícolas experimentales, escuelas de agricultura y centros de investigación del gobierno. Una tercera fuente está constituida por libros de texto y manuales de la misma época. Las facilidades de la Biblioteca del Congreso (la biblioteca nacional de los Estados Unidos) y la de la Universidad

Estatad de Carolina del Norte resultaron invaluables para las dos últimas fuentes. La cuarta fuente está constituida por la literatura de los fabricantes. Una extensa bibliografía ha sido elaborada y aparece al final de este trabajo.\* Otra fuente productiva de información fueron las entrevistas personales con expertos en bombas de mano de los países en desarrollo.

El grupo de expertos, anteriormente reconocido, que fue convocado para el Taller Internacional de Bombas de Mano que tuvo lugar en el Centro Internacional de Referencia para Abastecimiento Público de Agua (C.I.R.) en julio de 1976 fue también una excelente fuente, tanto el grupo como individualmente.

### 1.3 LIMITACION DEL INFORME

Este trabajo, según su concepción, solamente cubre una parte del sistema de bombas de mano. Como lo sugiere la figura 1-2, un programa de bombas de mano que funcione requiere interrelaciones satisfactorias entre los usuarios, la tecnología y las estructuras institucionales. O, como ha dicho un ingeniero de la OPS, con mucha experiencia en abastecimientos rurales de agua: "Una bomba de mano es un pequeño instrumento tecnológico dentro de un amplio sistema sociológico". Futuros estudios deberán ocuparse de estos tópicos.

Esta obra enfoca la tecnología de la bomba, su manufactura, instalación y mantenimiento, sin pretender negar la importancia de otros aspectos como el administrativo, el de los usuarios y el referente a la tecnología de las fuentes de agua y de los pozos.\*\* Ciertamente, en la figura 1-2 el usuario aparece colocado con toda intención en el centro. Este trabajo, como la bomba de mano misma, es imperfecto. Y, tal como la bomba de mano, es demasiado importante para esperar a que sea perfeccionado.

---

\* Se solicita a los lectores el envío al Centro Internacional de Referencia (C.I.R.) de copias de publicaciones propias o ajenas referentes a bombas de mano que no figuren en la Bibliografía, para ser usadas en futuros programas de bombas de mano, lo que incluye la periódica puesta al día de este documento.

\*\* Una amplia bibliografía da acceso a numerosos temas no incluidos en este trabajo. Por ejemplo, la Guía de Pisharoti sobre Educación Sanitaria.

Más aún, sobre los temas desarrollados hay tantos interrogantes como respuestas. Por supuesto no hay respuestas únicas, solamente alternativas que deben ser escogidas por aquellas personas directamente vinculadas al problema.

# COMO TRABAJA UNA BOMBA DE MANO (SISTEMA)

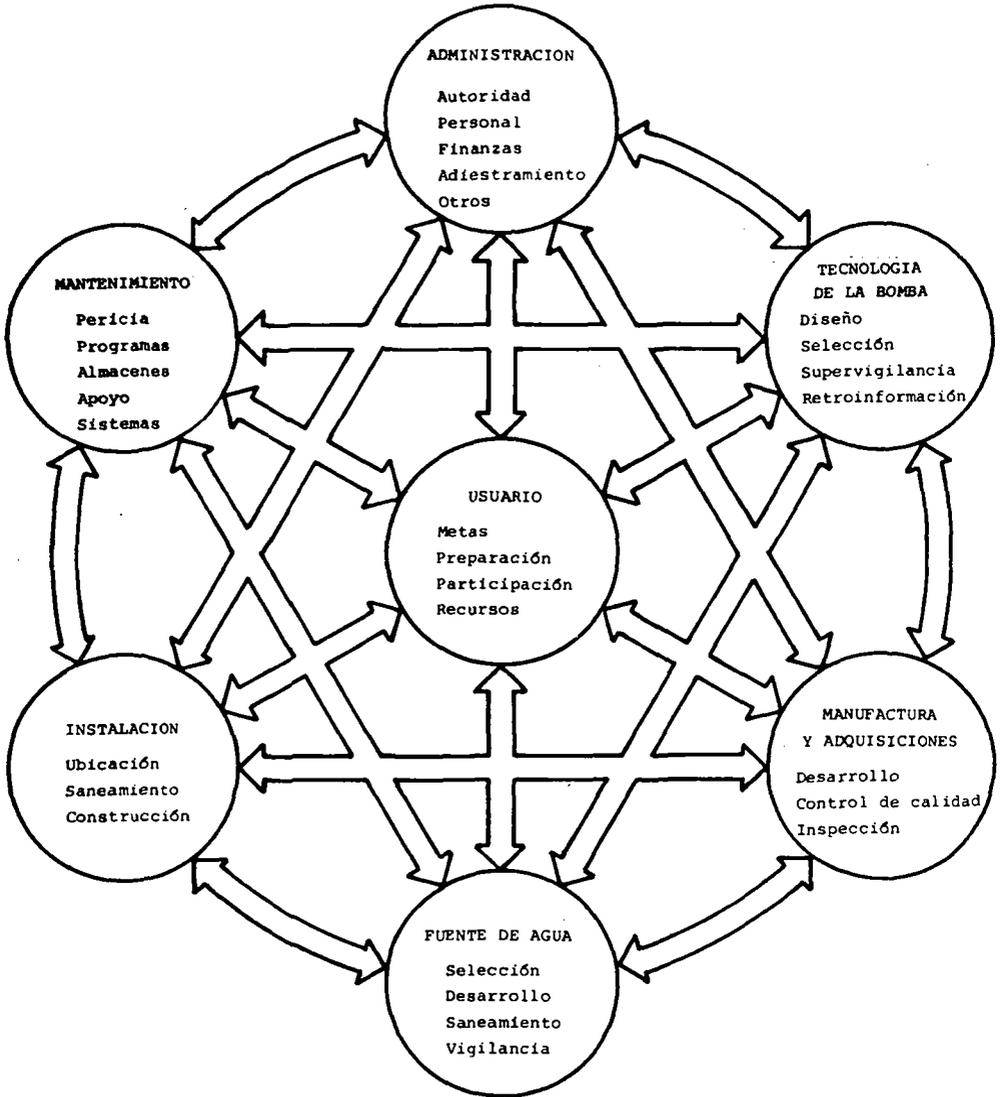


FIGURA 1-2

## 2. TIPOS DE BOMBAS DE MANO

### 2.1 HISTORIA

Si se define una bomba como un dispositivo para elevar agua, puede decirse que el primero de nuestros antepasados que empleó la cavidad de su mano para beber, inventó la bomba de mano. Sin embargo, el tipo de bomba de mano más comúnmente usada para abastecimiento público de agua es el conocido como bomba recíproca, de émbolo de desplazamiento positivo - de aparición más reciente que la mano.

El origen de la bomba recíproca es oscuro, pero a veces se atribuye a Ctesibio, alrededor del año 275 antes de la era cristiana. Esta bomba era del tipo aspirante de cilindros gemelos, con válvulas externas y sin sellos entre el émbolo y la pared del cilindro, y era usada para apagar incendios. Hero (siglo II antes de la era cristiana) y Vitrubio (siglo I antes de la era cristiana) conocieron esta bomba. De vez en cuando se encuentran en Europa restos arqueológicos de bombas recíprocas de fines de la época de los Romanos.

Ewbank en su "Historia de la Hidráulica" (1856), informa que las naves de la antigua Grecia y Roma usaban bombas recíprocas de madera para achicar. Se desconoce cómo eran estas bombas pero pueden haber sido similares a las descritas por Agrícola en el siglo XVI.

Agrícola (1556) muestra claramente el dispositivo que se usaba en Sajonia en el siglo XVI. En esa época, además del émbolo o cubo cónico de suela, se usaban comúnmente émbolos en la forma de un disco perforado de madera o fierro, cuyas perforaciones estaban cubiertas por un disco de suela que actuaba a manera de válvula. La válvula del fondo era una aleta articulada fija en un soporte metálico. La bomba estaba compuesta por lo general de tres secciones, actuando la central como cilindro de trabajo, en tanto que la sección corta del fondo contenía la válvula de succión. Estas primitivas bombas de madera eran del tipo aspirante, pero al empezar a usarse el metal, con el objeto de economizar en material y costo de fabricación, el cilindro de trabajo pasó a ubicarse por lo general en la parte alta, agregándose un tubo angosto de aspiración. La válvula de succión fue colocada al fondo del cilindro. La bomba aspirante de plomo así construida fue de empleo común en el siglo XVI.

En la Inglaterra del siglo XVII las bombas recíprocas hechas de madera o plomo y con el émbolo dotado de empaquetadura de cuero, fueron de uso común. No fue hasta mediados del siglo XIX que las mejoras en el transporte y las comunicaciones hicieron económica la fabricación de bombas de mano metálicas forjadas y trabajadas en torno, y permitieron su amplia distribución (Westcott).

A fines del siglo XIX y a comienzos del siglo XX, se produjo un gran número de diferentes modelos de bombas. Tal vez unos 3000 fabricantes construyeron bombas de mano sólo en los Estados Unidos. Todas estas bombas utilizaban los mismos principios básicos de operación y diferían muy poco de las actualmente en uso - con una excepción importante - aquéllas eran principalmente usadas en el campo por una sola familia y su ganado. Con frecuencia se les conectaba a molinos de viento y tanques. Eubanks (1971) posee numerosos grabados de bombas de mano de esa época.

El tiempo actual marca el renacimiento de la bomba de mano. La importancia del papel que desempeña en el abastecimiento de agua en el medio rural, en muchos países en desarrollo, tanto en aldeas como en granjas, es ampliamente reconocida. La sección 5 reseña numerosos esfuerzos recientes dirigidos a mejorar la bomba de mano para este propósito.

## 2.2 BOMBA ASPIRANTE RECÍPROCA PARA POZO SUPERFICIAL

La figura 2-1 muestra una bomba de mano aspirante para pozo superficial. El cuerpo de la bomba (véase B) contiene un émbolo o pistón dotado de una válvula, el cual se desplaza hacia arriba y abajo en forma recíproca, de allí su nombre. El principio de su operación puede seguirse examinando en la figura 2-2.

La operación tiene lugar en la forma siguiente:

- (1) Con la bomba ya cebada, tal como se muestra en A, se eleva el émbolo. Como el aire no puede penetrar dentro del émbolo a causa del sello hidráulico, se origina un vacío parcial que reduce la presión de aire sobre la superficie de agua del tubo de succión. La presión atmosférica que actúa sobre el agua del pozo, al ser entonces mayor que la presión de aire sobre el agua del tubo, empuja el aire y el agua del tubo hacia arriba siguiendo al émbolo en su carrera ascendente. El espacio del cilindro que queda debajo del émbolo se llena con el aire del tubo.
- (2) En el tope superior del cilindro se detiene el émbolo y la válvula de retención se cierra por su propio peso atrapando el aire dentro del cilindro.

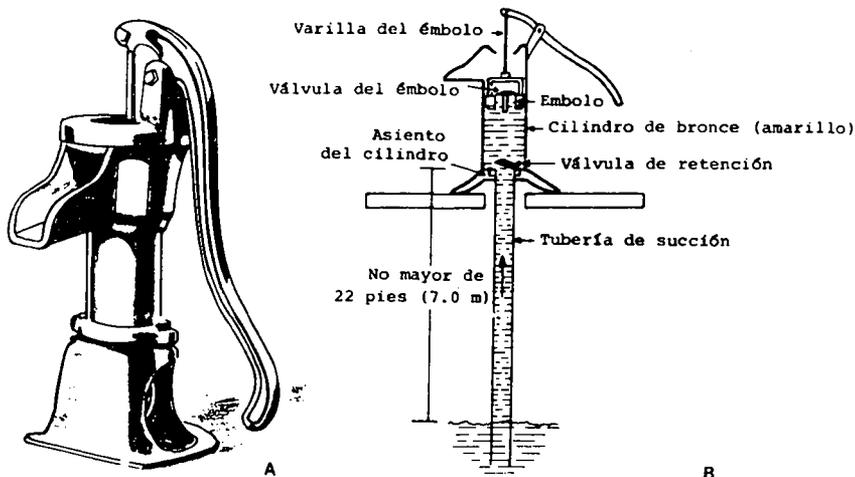


FIGURA 2-1 TIPICA BOMBA ASPIRANTE PARA POZO SUPERFICIAL

- (3) En la siguiente carrera descendente el aire atrapado es comprimido entre el émbolo y el fondo del cilindro. Cuando esta compresión sobrepasa la presión atmosférica sobre el émbolo más el peso de la válvula y el peso del agua de cebado, el aire empuja la válvula del émbolo hacia arriba y escapa a través del agua de cebado, tal como se muestra en B.
- (4) En la carrera ascendente que sigue, una mayor cantidad de aire es forzada a salir del tubo y el agua se elevará más, fluyendo eventualmente dentro del cilindro hasta alcanzar el émbolo, como se muestra en C.
- (5) Con el cilindro y el tubo llenos de agua, como en C, la válvula de retención se cierra por gravedad, atrapando el agua dentro del cilindro.
- (6) En la siguiente carrera descendente el émbolo y su válvula pasan a través del agua como se aprecia en D.
- (7) Cuando el émbolo llega al fondo del cilindro y se detiene, su válvula se cierra, atrapando así el agua que está por encima del émbolo, tal como puede verse en E.
- (8) En la siguiente carrera ascendente el agua que está sobre el émbolo es elevada hacia afuera de la bomba como se ve en F. Al mismo tiempo, más agua es forzada a ingresar al cilindro a través de la válvula de retención.
- (9) En cada carrera descendente subsiguiente se repite el paso E, y en cada carrera ascendente sucesiva se repite el paso F. La bomba suministra agua en cada carrera ascendente.

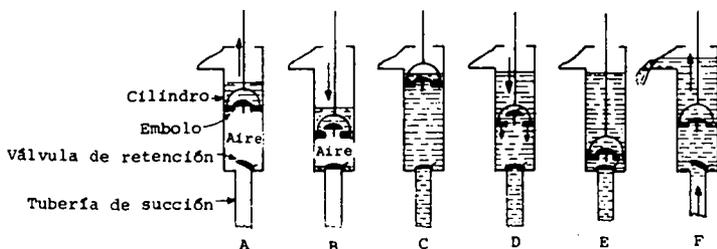


FIGURA 2-2 ILUSTRACION DE LA OPERACION DE UNA BOMBA DE EMBOLO

Contra la opinión popular, las bombas no "elevan" el agua desde la fuente. Más bien, la bomba reduce la presión atmosférica sobre el agua del tubo de aspiración, y la presión atmosférica sobre el agua exterior al tubo la empuja hacia arriba y dentro de la bomba. Este principio es el mismo que se cumple al succionar agua gaseosa a través de un sorbete o al llenar una jeringa.

Como depende de que la presión atmosférica empuje al agua hacia arriba a través del tubo de aspiración, el uso de las bombas para pozos superficiales está limitado a aquellas condiciones donde la napa de agua durante el bombeo esté a no más de 22 pies (6.7 metros) de la válvula de succión no obstante ser la "presión atmosférica estándar" de aproximadamente 34 pies (10.4 metros). (Ver Cuadro 3-1).

### 2.3 BOMBA ASPIRANTE RECIPROCA PARA POZOS PROFUNDOS

Esta bomba se muestra en la figura 2-3.

Las bombas para pozos profundos funcionan en la misma forma que la descrita en la sección anterior. La diferencia principal está en la ubicación del cilindro. Este usualmente está sumergido en el agua, tal como se muestra, a fin de evitar que se descebe. Esta bomba puede elevar agua cuyo nivel se encuentra a mayor profundidad que 22 pies (6.7 metros) por debajo del surtidor de la bomba.

El término pozo profundo o superficial, a efecto de seleccionar una bomba de mano, tiene que ver con la distancia del nivel del agua bajo la superficie y no con la profundidad de la perforación o del entubado del pozo. Por ejemplo, en un pozo perforado hasta 300 pies (91.5 metros) en el que el nivel del agua está a 15 pies (4.6 metros) por debajo de la superficie, se puede emplear una bomba de mano para pozo superficial. O también una bomba de mano para pozo profundo. Por el contrario, un pozo perforado a sólo 40 pies (12.2 metros), pero cuyo nivel freático esté a 35 pies (10.7 metros) bajo la superficie, exigirá una bomba de pozo profundo cuyo cilindro esté instalado por lo menos a 35 pies (10.7 metros) menos 22 pies, es decir, a 13 pies (4.0 metros) bajo la superficie; y de preferencia por debajo del nivel freático, es decir, a más de 35 pies (10.7 metros) bajo la superficie. Una bomba de pozo superficial no funcionará en el segundo pozo.

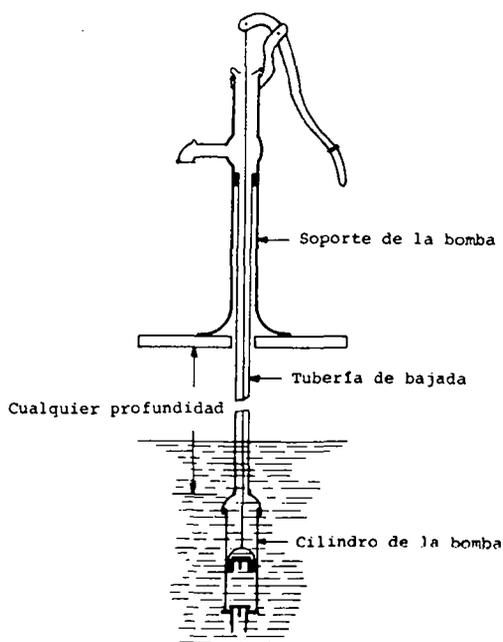


FIGURA 2-3 BOMBA ASPIRANTE PARA POZO PROFUNDO

#### 2.4 BOMBAS IMPELENTES RECIPROCAS

Las bombas impelentes están diseñadas para bombear agua de una fuente y conducirla a un nivel más elevado, o para bombear en contra de una presión. Se usan principalmente para bombear agua a reservorios y tanques de presión. Todos los sistemas de agua a presión emplean bombas impelentes. Estas son cerradas de manera que el agua pueda ser forzada a circular en contra de una presión. Las bombas impelentes recíprocas pueden utilizarse en pozos superficiales o en pozos profundos.

Estas bombas están ilustradas en la figura 2-4.

Una bomba impelente de pozo superficial aparece ilustrada en la figura 2-4a. Sus principios de operación son los mismos que los de la bomba aspirante de tipo de émbolo de simple efecto, excepto que está cerrada en la parte superior y puede

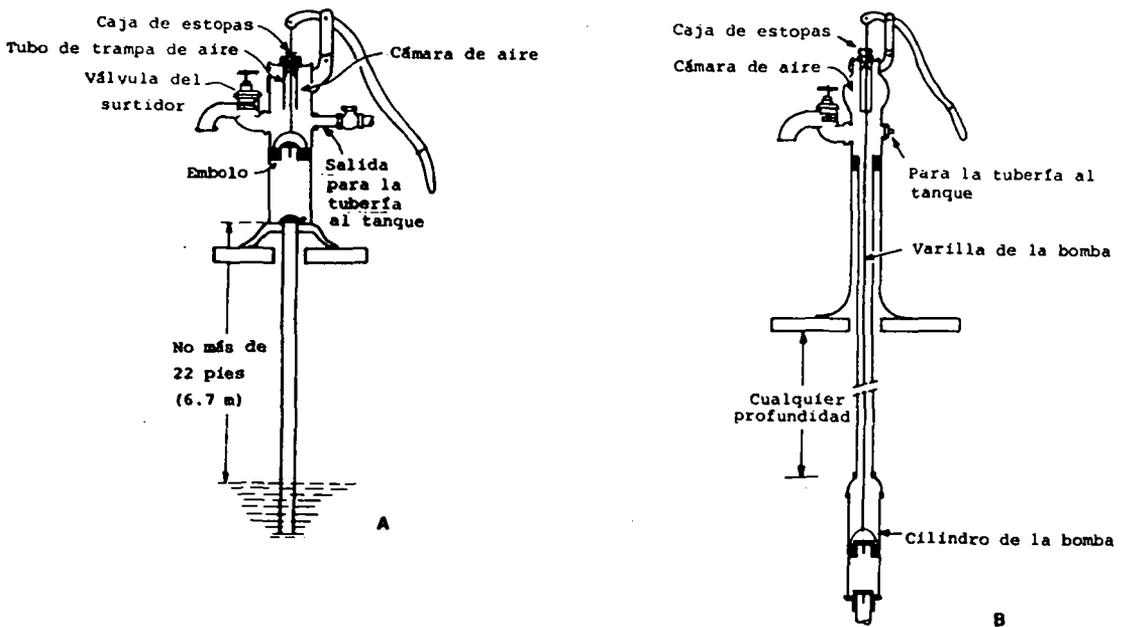


FIGURA 2-4 BOMBAS IMPELENTES

ser utilizada por lo tanto para impulsar el agua a elevaciones mayores que las de la bomba, ya sea por intermedio de una conexión separada o a través de una manguera o tubería fijada al surtidor. Únicamente las bombas impelelentes necesitan surtidor de válvula, ya sea para permitir el uso de una segunda boca de salida o para servir de válvula de retención entre la bomba y un tanque. Además, estas bombas poseen habitualmente una cámara de aire para mantener parejo el flujo de descarga. En la carrera ascendente el émbolo comprime el aire de la cámara de aire, y durante la carrera descendente el aire se expande para mantener el flujo en el punto de descarga mientras el émbolo baja. El tubo de trampa de aire sirve para retener el aire en la cámara de aire, previniendo que se escape alrededor de la varilla del émbolo.

La operación de las bombas impelelentes de pozo profundo es tal como se ve en la figura 2-4a. La principal diferencia está en la ubicación del cilindro. Con el cilindro colocado bien abajo dentro del pozo se puede bombear desde profundidades mayores que la de 22 pies (6.7 metros). Ver la figura 2-4b. Se trata, por lo tanto, de una bomba de pozo profundo.

## 2.5 BOMBA IMPELENTE DE DIAFRAGMA

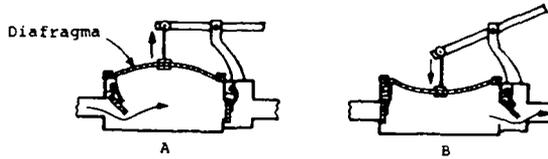


FIGURA 2-5 SECCION DE UNA BOMBA DE DIAFRAGMA

Otro tipo de bomba de desplazamiento positivo que puede usar mango de vaivén es la bomba de diafragma, inventada en 1730, y usada ampliamente como bomba de combustible en los automotores. Al elevarse el diafragma (membrana elástica), el líquido es absorbido a través de la válvula de entrada a la izquierda (figura 2-5). Cuando se deprime el diafragma, el líquido es forzado a salir por la derecha. La bomba Vergnet o la bomba Petro, ambas descritas en la sección 5, son nuevas variantes de este principio que se muestran potencialmente promisorias como bombas de mano para abastecimiento de agua rural.

## 2.6 BOMBA ROTATIVA

Las bombas que emplean uno o varios rotores de alta velocidad que giran dentro de una funda fija se llaman comúnmente bombas rotativas. Un ejemplo consiste en dos engranajes alojados en una cámara hermética tal como se ve en la figura 2-6.

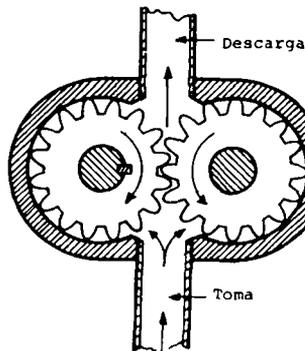


FIGURA 2-6 SECCION DE UNA BOMBA ROTATIVA

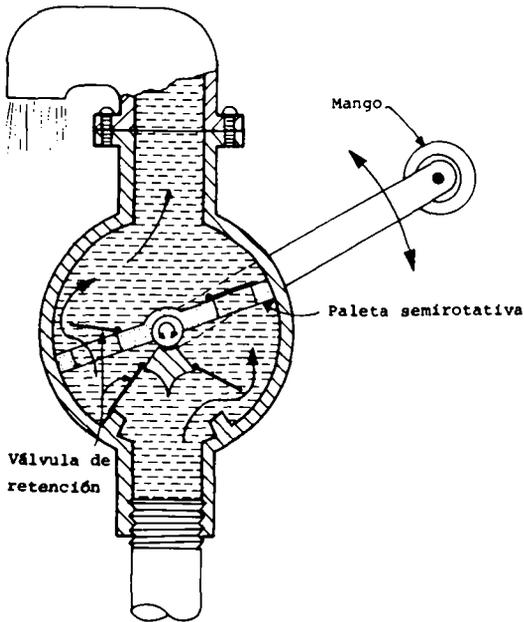


FIGURA 2-7

SECCION DE UNA  
BOMBA SEMIROTATIVA

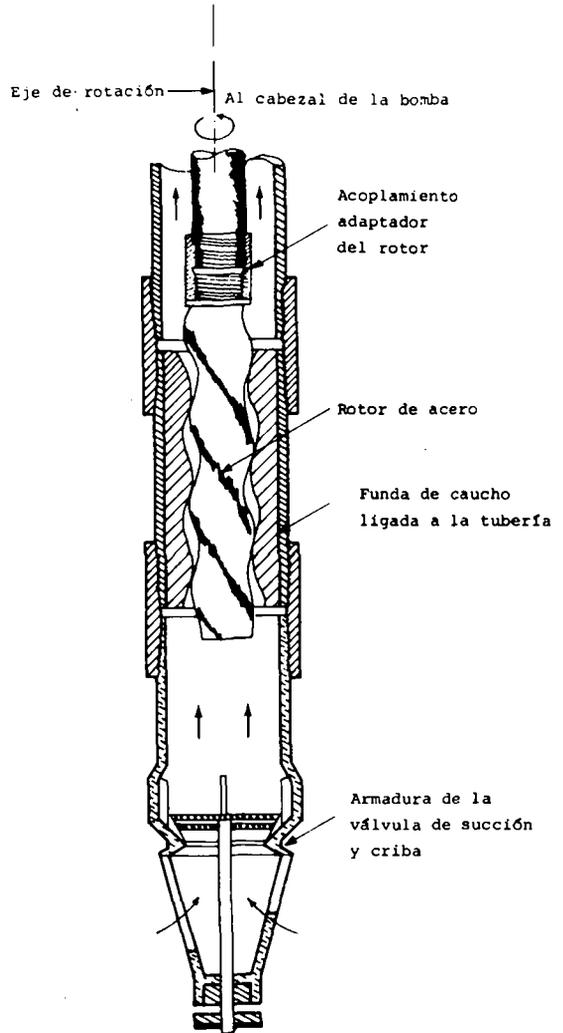


FIGURA 2-8

SECCION DE UNA BOMBA  
DE ROTOR HELICOIDAL

La fuerza se aplica a sólo uno de los engranajes, el cual a su vez la transmite al otro engranaje. Esta bomba funciona en la forma siguiente: al girar en el sentido indicado, cuando los dientes se desengranan, crean un vacío parcial sobre la entrada. Esto permite que la presión atmosférica empuje el líquido hacia el interior de la bomba, llenando los espacios entre los dientes; al continuar la rotación, el líquido circula por el exterior de los dientes hasta el punto de engranaje, donde es forzado a salir, aumentando la presión sobre el orificio de descarga. Como no poseen válvulas, estas bombas son adecuadas para el bombeo de líquidos viscosos, y por esta razón se ha generalizado su empleo como bombas de aceite. A menudo se emplean bombas rotativas de mano para evacuar tambores o tanques de aceite. La figura 2-7 muestra una bomba "semi-rotativa" que se usa ocasionalmente en suministros de agua.

Otra bomba rotativa, la rotativa helicoidal, llamada frecuentemente bomba de cavidad progresiva, consiste en un rotor helicoidal de rosca simple que gira dentro de una funda de rosca doble (ver figura 2-8). Las superficies de engranajes helicoidales impelen el líquido con movimiento uniforme a semejanza de un pistón de movimiento lento que se desplaza dentro de un cilindro de longitud infinita. Como el contacto entre el rotor y la funda produce una condición hermética continua y efectiva, la bomba rotativa helicoidal no requiere válvula. Hay disponibles bombas rotativas helicoidales de operación manual para agujeros de diámetro interior de 3 pulgadas (75 mm) o más. Aunque su costo es relativamente elevado, esta bomba ha tenido buen rendimiento en pozos de partes de Africa y Asia donde es conocida como bomba "Mono" en memoria de su fabricante inglés.

## 2.7 NORIA DE CANGILONES

Otro tipo de bomba de mano de desplazamiento positivo es la noria de cangilones. Véase un ejemplo en la figura 2-9.

Se fijan pequeños recipientes de metal a una cadena sin fin vertical que gira en torno a poleas de modo que los cangilones se llenan en el fondo del pozo y suben para vaciarse en el surtidor después de pasar sobre la polea superior. Hay por lo menos un fabricante que hace una bomba que utiliza una faja esponjosa en reemplazo

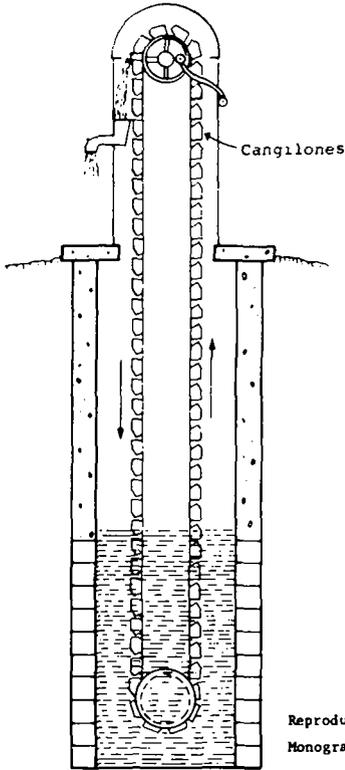


FIGURA 2-9  
NORIA DE CANGILONES

Reproducida de la  
Monografía No. 42 de la OMS

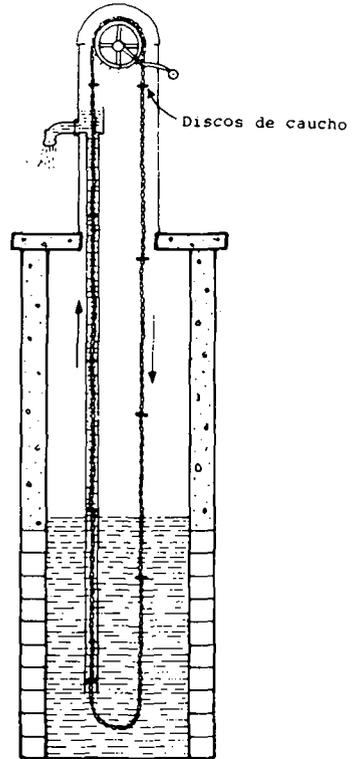


FIGURA 2-10 BOMBA DE CADENA O  
NORIA DE DISCOS

de los cangilones; la faja esponjosa se embebe de agua en la fuente y es exprimida por un rodillo al llegar a la parte superior. Otra variante hecha a mano usa una sogá que es accionada por una rueda de bicicleta y que hace un viraje brusco en la parte superior, descargando el agua por acción de la fuerza centrífuga. Estas bombas se usan principalmente en cisternas y pozos de brocal.

El mismo principio operativo se aplica en las bombas de riego "tradicionales", a tracción animal para elevación pequeña, tales como la rueda persa, la sakia, la noria, y otras en las que los cangilones pueden ser reemplazados por jarros de terracota, o recipientes de madera o metal, y el movimiento en círculo y horizontal de los animales es convertido mediante engranajes cónicos en movimiento rotativo vertical que impulsa la cadena sin fin.

## 2.8 NORIA DE DISCOS

En esta bomba se fijan discos de caucho a una cadena sin fin que corre sobre una polea fija en la parte superior. El tramo ascendente de la cadena pasa por un tubo vertical parcialmente sumergido, por el que mecánicamente se eleva al agua retenida en los discos hasta el surtidor. Lo mismo que la noria de cangilones, ésta se usa por lo general en cisternas y pozos excavados superficiales. Esta clase de bomba puede ser fácilmente fabricada por artesanos rurales. (Ver figura 2-10).

En el tiempo de Agrícola (1556) era común el empleo de norias de cadena hechas de bolas y trapos en vez de discos para el drenaje de minas. Parece que en China se usan extensamente bombas de cadena a tracción animal para fines de riego (Watt, alrededor de 1975).

## 2.9 POZO DE GARRUCHA HIGIENICAMENTE INSTALADO

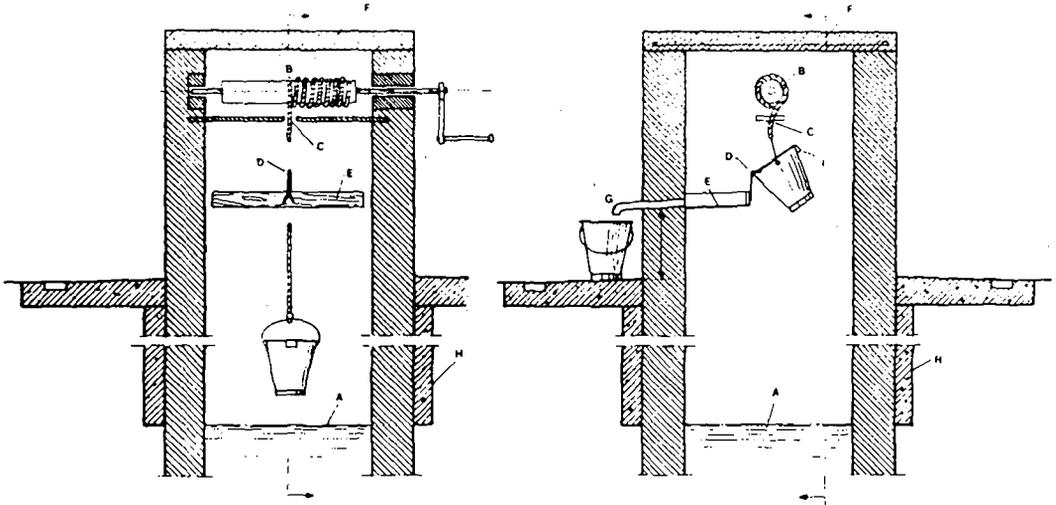
El dispositivo desarrollado por la OMS (Wagner y Lanoix) que se ve en la figura 2-11 no debe ser pasado por alto. Este mecanismo, para uso en pozos excavados o de brocal, es de fácil mantenimiento. Cuando se construye cuidadosamente, este sencillo dispositivo de bombeo da buen servicio y protege el pozo contra la contaminación. Como es relativamente simple, sus partes pueden modificarse con facilidad con el objeto de satisfacer las necesidades locales. Para facilitar su mantenimiento, la cubierta debe ser desmontable. Una losa de concreto armado de 4 pulgadas de espesor y 3 pies de diámetro puede ser movilizada por dos hombres.

La desventaja evidente de este tipo de dispositivo para elevar agua es su reducido flujo de descarga. Pero, como fuente de agua de una aldea rural, su rendimiento será satisfactorio.

## 2.10 ARIETE HIDRAULICO

Cuando se dispone de una cantidad de agua varias veces superior a la que puede necesitarse, además de cierta carga hidráulica, es posible capturar la energía potencial del agua sobrante, usando un ariete hidráulico para conducir

FIGURA 2-11 POZO DE GARRUCHA HIGIENICAMENTE INSTALADO



- |                                   |  |  |
|-----------------------------------|--|--|
| A = Nivel del agua en el pozo     | P = Cubierta hermética desmontable           | I = Peso fijo al borde superior del cubo para que éste bascule al descender a la superficie del agua |
| B = Torno                         | G = Surtidor                                 |  |
| C = Agujeros para guiar la cuerda | H = Arcilla apelmazada o enlucido de cemento |  |
| D = Gancho de retención           |  |  |
| E = Canal                         |  |  |

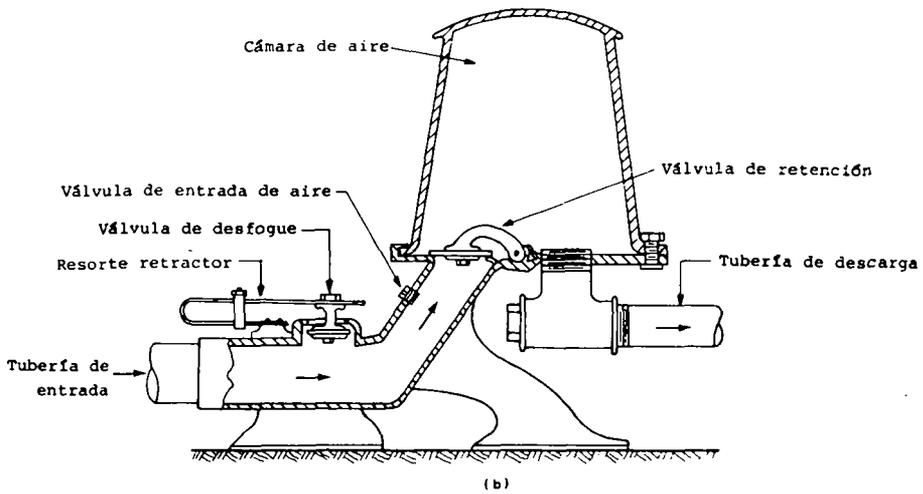
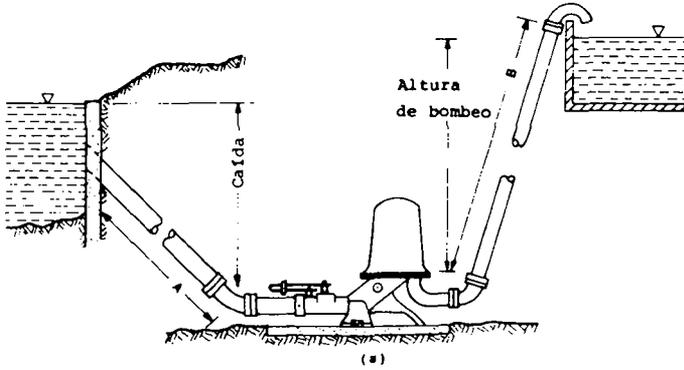
Reproducida de la  
Monografía No. 42 de la OMS

parte del agua a un punto más elevado. (Ver figura 2-12). Aunque no es una bomba de mano, es aconsejable que la mayoría de las fundiciones que puedan hacer bombas de mano puedan también fabricar arietes. Este artificio también puede fabricarse con componentes "de aquí y de allá" (Kindal; Watt, 1974). Financiado el costo inicial que puede oscilar entre los \$200 y \$3000 (EUA), más el costo de la tubería de alimentación y de la tubería de descarga, los arietes pueden funcionar 24 horas al día, año tras año, con relativamente poco mantenimiento.

El ariete se contruye con la válvula de desfogue apuntando hacia arriba y la válvula de retención hacia abajo. Al comienzo del ciclo de trabajo del ariete, la válvula de desfogue acaba de ser abierta, ya sea a mano para iniciar la operación, o automáticamente después. La columna de agua del tubo de alimentación se acelera por acción de la altura de agua, la válvula de descarga permanece cerrada por

FIGURA 2-12 ARIETE HIDRAULICO TIPICO

(a) Instalación, y (b) Corte



Reproducida de  
Wood, A.D. Water Lifters and  
Pump for the Developing World, 1976

acción de la presión de descarga. El agua de alimentación corre directamente al desfogue. A medida que aumenta el caudal a través de la válvula, la presión dinámica sobre la válvula de desfogue alcanza rápidamente un valor suficiente como para cerrarla casi instantáneamente. El efecto de martillo hidráulico de este cierre instantáneo de la válvula de desfogue\* fuerza casi inmediatamente la apertura de la válvula de descarga. El flujo continúa a través de la válvula de descarga hasta agotar la energía cinética inicial de la columna de agua del tubo alimentador. La caída de presión momentánea que se produce en la cámara de la válvula da lugar al cierre de la válvula de descarga, la apertura de la válvula de desfogue y la repetición del ciclo.

## 2.11 DISPOSITIVOS TRADICIONALES PARA ELEVAR AGUA

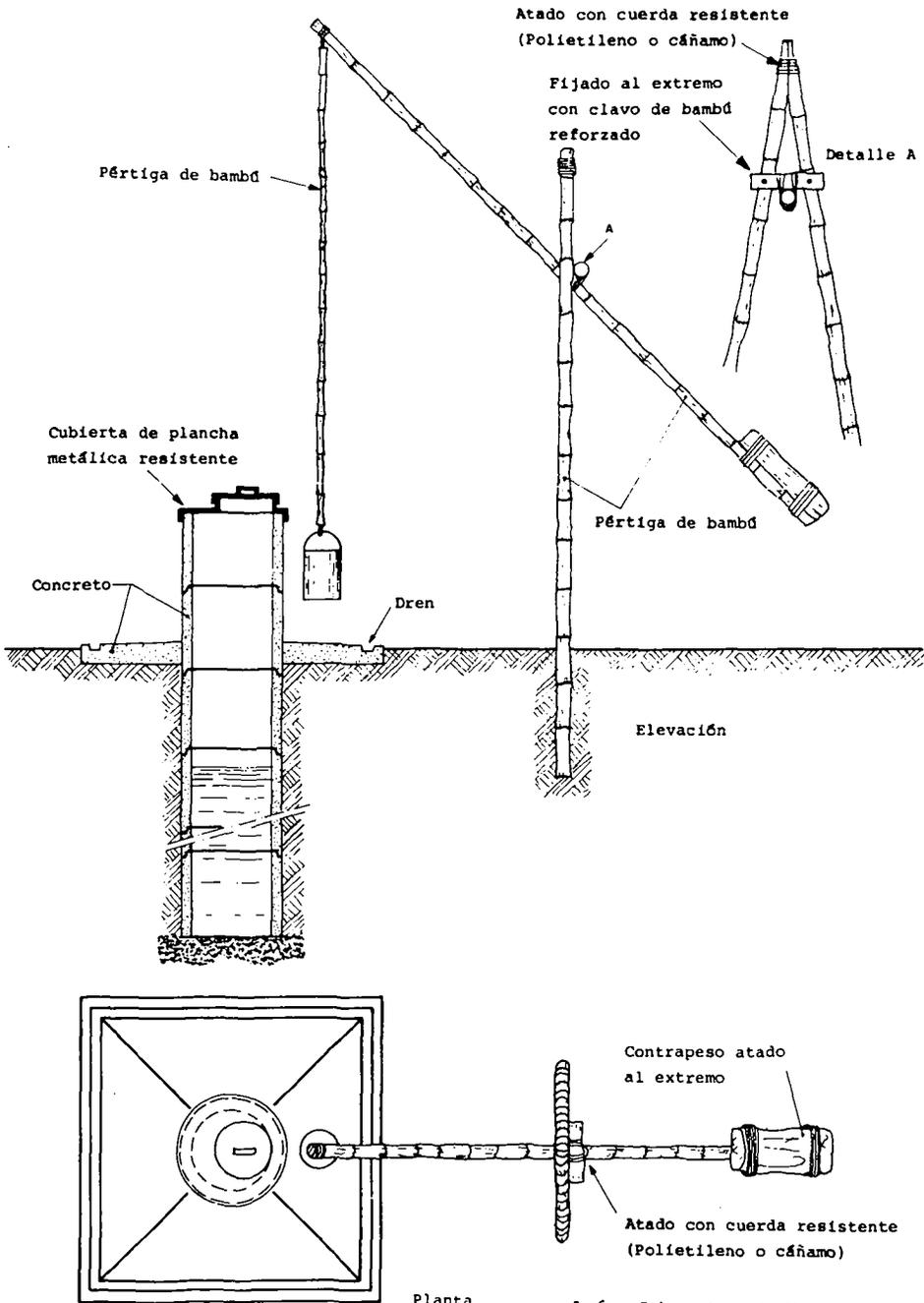
Existen numerosos dispositivos para elevar agua que podrían mencionarse: por ejemplo, el tornillo de Arquímedes, mecanismos de sogas y cubos tales como los llamados mohte, charsa, ramioko, daly, delu, y mota; elevadores contrapesados conocidos indistintamente como shadouf, shaduf, shadoof, chadouf, khetara, kerkaz, kheeraz, guenina, cigoñal, bascule, dhenkali, dhenkli, dhingli, picottah, lat, picotas, guimbalete, swape, sweep, et al.; el canal o canaleta articulada, doon, baldeo balti y jantu; ruedas de paletas; escaleras hidráulicas; y las diversas bombas de cadena y de rueda mencionadas anteriormente.

Todos estos dispositivos son ampliamente usados para el riego con bombas de carga baja; muchos funcionan a tracción animal. Sin embargo, la gran mayoría de las bombas de mano empleadas para abastecimiento de agua potable en el medio rural será de uno de los tipos descritos.

El shadouf, o achicador contrapesado, fue modificado y usado con eficacia en un reciente proyecto de la OMS contra el cólera (Rajagopalan y Shiffman) en la forma que muestra la figura 2-13.

---

\* Una desventaja de los arietes es que son ruidosos, las válvulas se cierran de golpe entre 25 y 100 veces por minuto.



Según: Rajagopalan y Shiffman.  
 Reproducida por fina cortesía de la  
 Organización Mundial de la Salud

FIGURA 2-13 POZO EXCAVADO MEJORADO Y ACHICADOR DE CONTRAPESO USADO EN FILIPINAS



### 3. BOMBAS DE MANO: ESTADO DE LA TECNOLOGIA

#### 3.1 GENERALIDADES

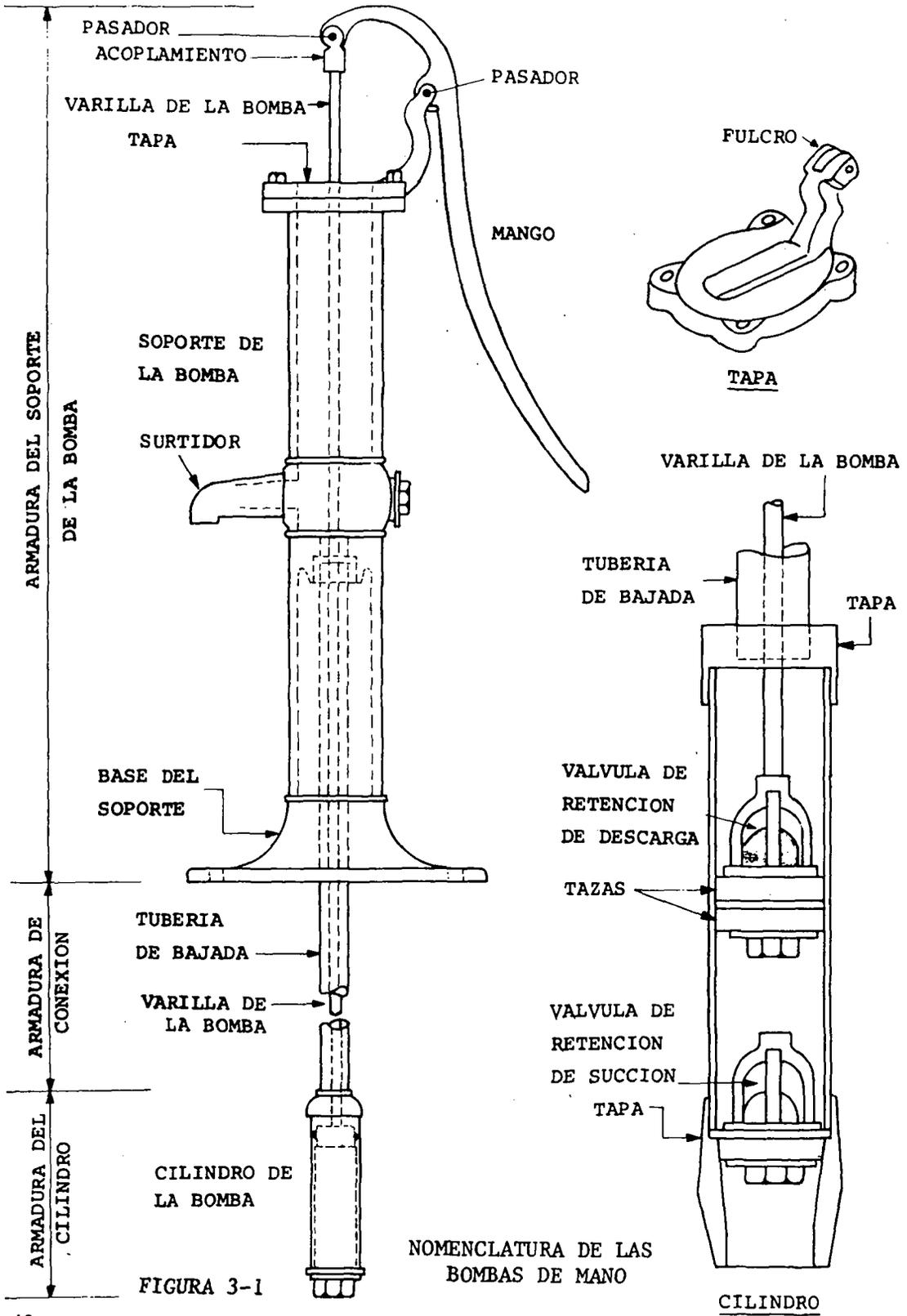
La mayoría de las bombas de mano que se usan en el medio rural son del tipo de émbolo de acción recíproca descrito en la sección anterior. Las bombas recíprocas actualmente en uso representan el producto evolutivo empírico con más de un siglo de modificaciones del diseño. Muchas son copias de bombas con éxito comercial. Salvo que se haga un pedido muy grande, la elección entre modelos listos resulta más económica que una bomba de mano especial de diseño nuevo. Sin embargo, ya sea que se diseñe un nuevo modelo, o que se seleccione uno de los existentes, los mismos principios valen para el análisis y la evaluación de las bombas de mano.

Aunque esta sección se concentra en las bombas de émbolo, los principios fundamentales delineados también se aplican a otros tipos de bombas, en particular a las de desplazamiento positivo como son la bomba "Petro" y la bomba "Vergnet", así como a las bombas de cadena (norías).

#### 3.2 NOMENCLATURA

Las partes componentes de una bomba recíproca usada para bombear en pozos o perforaciones pueden dividirse arbitrariamente, de acuerdo a su función, en tres categorías: (1) la armadura del soporte de la bomba, encima del pozo; (2) la armadura del cilindro de la bomba, en contacto con el agua; y (3) la armadura de conexión, que une el soporte de la bomba al cilindro. (Ver figura 3-1). En los pozos profundos estas tres armaduras están separadas; en los pozos superficiales la armadura del cilindro y la varilla de conexión pueden estar ubicadas dentro del soporte de la bomba. (Véanse figuras 2-1, 2-2 y 2-4)

Estas tres armaduras componentes pueden ser, y frecuentemente son, adquiridas por separado. Por ejemplo, una armadura de soporte fabricado localmente puede combinarse con una armadura de cilindro importada. Las armaduras de conexión (varilla de la bomba y tubería de bajada) por lo general se compran y almacenan separadamente.



La nomenclatura de la bomba de mano varía considerablemente de país a país y aún dentro de un mismo país. La nomenclatura que se usa en el texto es la que se encuentra con mayor frecuencia. Los nombres de uso alternativo aparecen entre paréntesis en los encabezamientos de los temas tratados en esta sección. Las unidades dimensionales de mayor aplicación en los programas de bombas de mano pertenecen al sistema pie (pulgada)-libra-segundo-galón. Se incluyen entre paréntesis las correspondientes del sistema métrico.

### 3.2.1 Armadura del Soporte de la Bomba (Estándar, Cabeza de la Bomba, Cabeza de Operación, Hidrante, Barril)

La armadura del soporte de la bomba desempeña tres funciones: (1) transmisión de fuerza motriz a la varilla de la bomba; (2) provisión de un punto de descarga (surtidor); y (3) protección sanitaria a la fuente de agua. A excepción de una pequeña porción de la varilla de la bomba, la armadura del soporte constituye el único componente visible. Incluye el mango, la articulación del mango, el soporte, la base del soporte, la tapa anular, la caja de estopas y el collarín, y el surtidor. Estos componentes se describen más adelante.

### 3.2.2 Armadura del Cilindro

La armadura del cilindro es el verdadero elemento de bombeo. (Ver figuras 2-2 y 3-1). La armadura incluye el émbolo, las empaquetaduras de la taza, las válvulas de succión y de descarga y, típicamente, un cilindro separado con sus tapas como se muestra en la figura 3-1 y se describe más adelante. Las paredes interiores del soporte de la bomba pueden servir a este propósito en las bombas de pozo superficial. En algunas bombas de pozo profundo las configuraciones del entubado del pozo o de la tubería de bajada pueden servir también como paredes del cilindro.

### 3.2.3 Armadura de Conexión (Ver Varilla de la Bomba y Tubería de Bajada)

La armadura de conexión está constituida básicamente por la varilla de la bomba y por la tubería de bajada. La varilla de la bomba transmite la fuerza del mango al émbolo y la tubería de bajada conduce el agua desde el émbolo hasta el surtidor.

### 3.3 FUNDAMENTOS DE HIDRAULICA

#### 3.3.1 Caudal de Descarga (Q)

El caudal teórico de descarga de una bomba de mano recíproca de simple efecto es una función del volumen del cilindro (V) que barre el émbolo en su carrera ascendente de bombeo y el número de carreras por unidad de tiempo (N). Es decir:  $Q = VN$ . Como se ve en la figura 3-2, el volumen (V) es el producto del área (A) de la sección recta horizontal y de la longitud de carrera del émbolo (S). Expresando Q en función del diámetro interior del cilindro (D) y la relación entre la circunferencia del cilindro y su diámetro ( $\pi$  o  $\pi$ ):

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 NS \dots\dots\dots (3-1)$$

El nomograma que se muestra en la figura 3-3 es una solución de la ecuación 3-1 tanto en unidades pulgada-galón-minuto como en milímetro-litro-minuto.

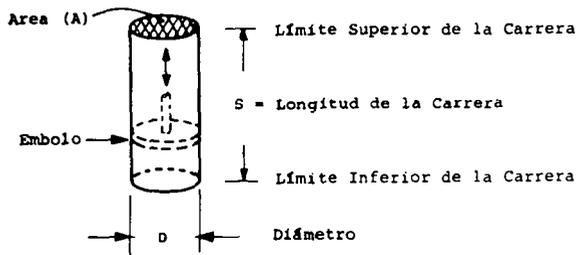
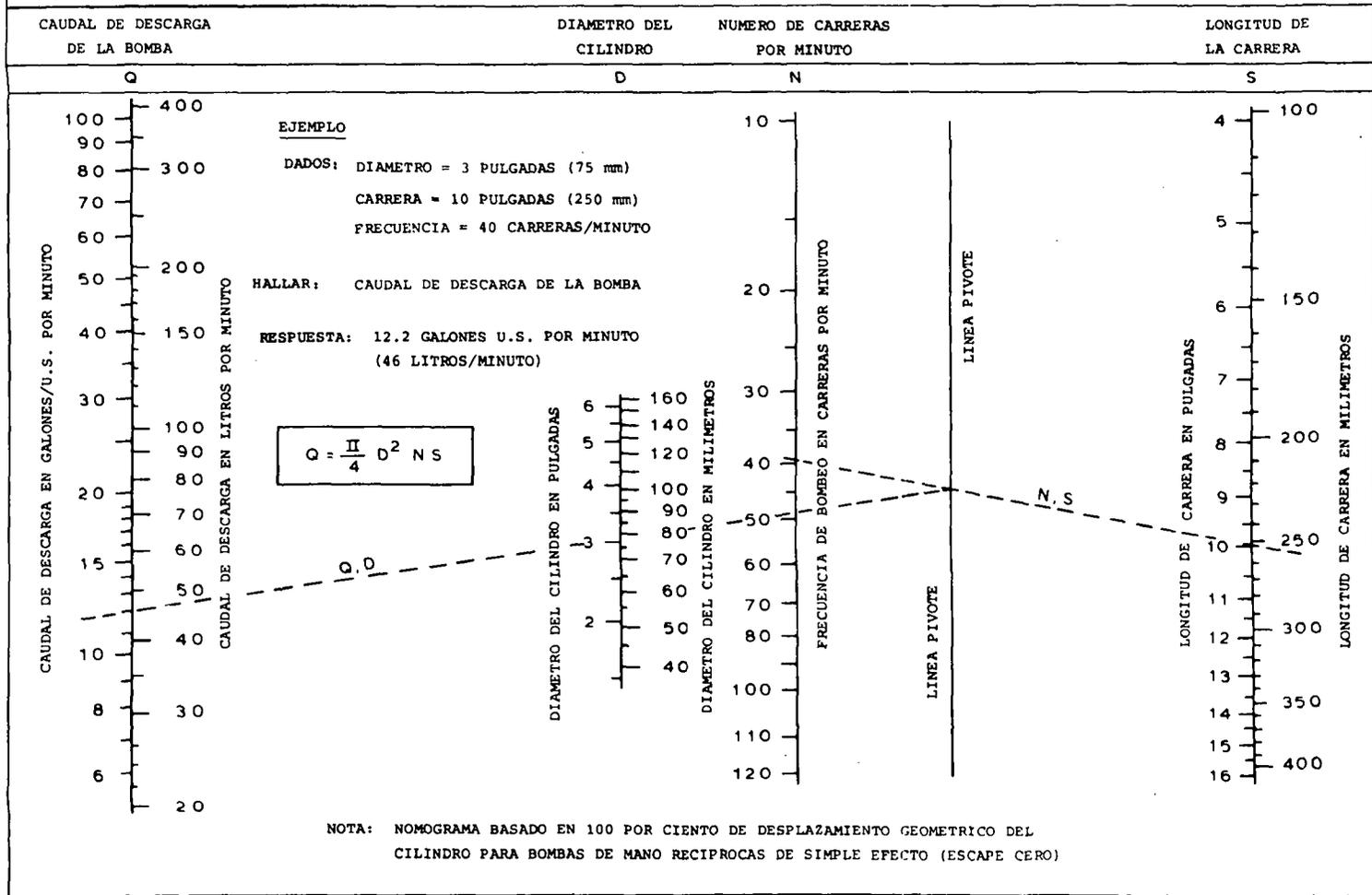


FIGURA 3-2 VOLUMEN DE DESPLAZAMIENTO DEL CILINDRO

El caudal real de descarga normalmente varía ligeramente respecto de la descarga teórica dada por la ecuación 3-1, debido a que las válvulas no cierran instantáneamente cuando cambia el sentido del desplazamiento del émbolo, y a que parte del agua escapa entre el émbolo y las paredes del cilindro durante el bombeo. Esta diferencia es conocida como pérdida y se define como la diferencia entre la descarga teórica ( $Q_t$ ) y la descarga real ( $Q_r$ ) expresada como porcentaje de la descarga teórica, es decir:

$$\text{Pérdida} = \frac{Q_t - Q_r}{Q_t} \times 100 \dots\dots\dots (3-2)$$

FIGURA 3.3 NOMOGRAMA DE DESCARGA PARA BOMBAS DE MANO



La pérdida no debe exceder del 15%, o mejor del 5%, si se trata de una bomba bien diseñada y mantenida. Es factible una pérdida negativa; la descarga verdadera puede sobrepasar a la descarga teórica (en términos de volumen de carrera del cilindro) bajo ciertas condiciones. Por ejemplo, una tubería de succión larga y de diámetro pequeño, colocada por debajo del cilindro, puede producir una velocidad de flujo suficientemente alta como para mantener abierta la válvula de descarga del émbolo durante parte de su carrera ascendente. Aún cuando esta condición puede producir una eficiencia hidráulica que exceda del cien por ciento, puede conducir a un "martilleo" excesivo y aún a una cavitación, si las pérdidas de carga de la aspiración dinámica disminuyen la presión de agua que hay justo debajo del émbolo a valores menores que la presión de vapor (Wilson). La eficiencia hidráulica en términos de volumen de cilindro desalojado no debe confundirse con la eficiencia mecánica que jamás puede exceder del cien por ciento.

El producto del número de carreras de bombeo del émbolo por unidad de tiempo (N) y la longitud de carrera (S) es conocido como la velocidad de carrera del émbolo o de la bomba, así:

$$\text{Velocidad de Carrera del Embolo} = NS \dots\dots\dots (3-3)$$

Virtualmente en todas las bombas de mano recíprocas el émbolo descarga sólo durante su movimiento ascendente. La descarga (en bombas sin cámara de aire) durante la carrera descendente es negligible. Las bombas recíprocas cuyos émbolos descargan en una sola dirección se denominan de simple efecto. Las bombas que descargan durante la carrera del pistón o émbolo en ambos sentidos se denominan de doble efecto. Estas, por lo general, son impulsadas mecánicamente, la armadura del cilindro se encuentra en la parte alta del pozo, y disponen muchas veces de dos o más cilindros, cada uno de los cuales tiene dos juegos de válvulas de aspiración y descarga.

En una bomba de simple efecto, la velocidad de carrera NS que figura en las ecuaciones 3-1 y 3-3 es la velocidad promedio del émbolo durante su ciclo de carrera en un sentido. La velocidad promedio absoluta efectiva (independiente del sentido) es 2 NS. En la ecuación 3-1, N representa el número de ciclos de bombeo y también el número de carreras del émbolo por unidad de tiempo.

Se pueden aplicar métodos empíricos para determinar la velocidad de carrera en el caso de las bombas recíprocas de propulsión mecánica, pero aparentemente dichos métodos no valen para las bombas de mano que están sujetas a las limitaciones del músculo humano. Sin embargo, el concepto de velocidad de carrera es de alguna utilidad para entender la operación de una bomba de mano. Por ejemplo, si todo lo demás permanece invariable ( $Q$  y  $D$ ), si se reduce la longitud de carrera a la mitad, el número de ciclos por minuto debe duplicarse. Nótese también que la descarga  $Q$  es directamente proporcional a  $N$  o a  $S$ .

### 3.3.2 Carga Estática

La carga estática es la distancia vertical a que debe ser elevada el agua desde su más bajo nivel estático, en reposo, hasta el nivel más alto de descarga libre, sea éste por el surtidor o por el nivel superior de un tanque elevado. La figura 3-4 ilustra la forma de determinar la carga estática que se debe superar.

En el caso I (figura 3-4), el cilindro de la bomba se encuentra sumergido. El émbolo debe elevar una columna de agua de altura  $D$  hasta el surtidor. Una columna de agua de carga  $S$  ejerce una fuerza hacia arriba sobre el émbolo. La carga sobre el émbolo es la resultante neta de  $D$  y  $S$ , es decir  $D-S$  o  $W$ .

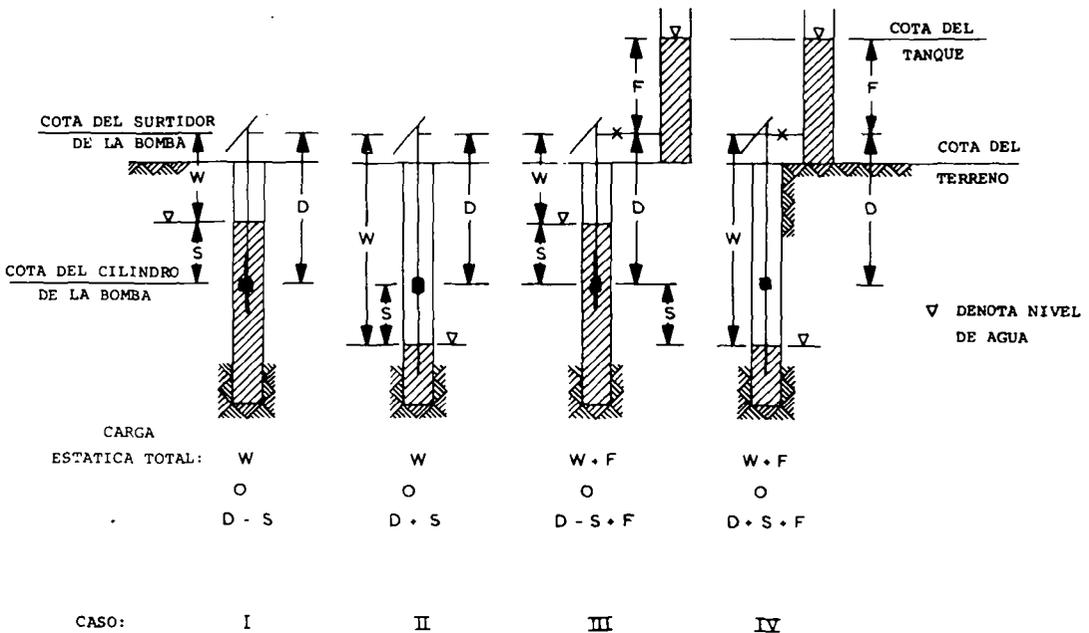


FIGURA 3-4 CARGA ESTÁTICA PARA BOMBAS DE MANO

En el caso II de la misma figura, el cilindro está ubicado en el pozo por encima del nivel freático. La carga estática total es igual a la distancia vertical  $D + S = W$ , entre el nivel estático del agua y el surtidor de la bomba.

Los casos III y IV son de bombas impelentes y muestran el incremento F de la carga estática que debe superar la bomba para alcanzar el nivel del tanque elevado.

Los casos II y IV podrían también representar una instalación de pozo superficial cuando el cilindro se halla incorporado a la armadura del soporte de la bomba.

### 3.3.3 Descenso de Nivel

Cuando empieza el bombeo, el nivel del agua en el pozo descenderá a una rapidez y hasta una profundidad que dependen del caudal bombeado y de la capacidad de recarga del acuífero.

### 3.3.4 Carga de Fricción

Durante el bombeo se requerirá energía adicional para superar (1) la fricción hidráulica entre el flujo de agua y las paredes del tubo de succión y de la tubería de bajada, las paredes del cilindro, del surtidor, et al.; (2) la turbulencia hidráulica asociada a la contracción y expansión del líquido cuando fluye a través de diversas secciones, como válvulas, cribas, cilindro, et al.; y (3) la turbulencia debida a las pérdidas por inercia inherentes a la acción recíproca, incluidas la aceleración y desaceleración constantes del flujo. Las pérdidas por fricción descritas en (1) pueden estimarse en forma aproximada utilizando las fórmulas conocidas para el flujo en tuberías. Las pérdidas ocasionadas por (2) y (3) se pueden estimar, de un modo general, como un porcentaje de la carga de velocidad en cada obstrucción.

En general, en las instalaciones de bombas de mano provistas de tuberías de succión y descarga de diámetros adecuados, de bombas con válvulas bien diseñadas y en las que el cilindro está sumergido, las pérdidas de carga por fricción son negligibles.

### 3.3.5 Carga de Succión

Los cilindros de las bombas de pozo profundo deben instalarse a una profundidad tal que se asegure su submersión durante todo el año, ya sea en estación seca o en estación de lluvias, al amanecer o al atardecer. Esta práctica elimina la necesidad

del cebado de la bomba (y los riesgos a la salud), y prolonga la vida de la armadura del cilindro.

Sin embargo, en las bombas de mano de pozo superficial los criterios de economía y de accesibilidad al cilindro incorporado a la armadura de soporte de la bomba para efectos de mantenimiento, pueden obligar a colocar el cilindro sobre el nivel del agua del pozo. ¿A qué altura sobre el nivel del agua puede colocarse el cilindro y asegurar el bombeo del agua como en la figura 2-2? ¿Cuál es la máxima carga de succión?

La carga de succión o elevación máxima "ideal" depende de la presión barométrica y de la temperatura y presión de vapor del agua. A nivel del mar y a 60°F (15.6°C) la presión barométrica equivale a 14.7 psi (1.03 kg/cm<sup>2</sup>) o su altura de agua equivalente, 34 pies (10.36 metros). Esta presión empuja el agua hacia el interior de la bomba, tal como se describe en la sección 2.2. La máxima carga de aspiración "ideal" es alrededor de 34 pies (10 metros).

La máxima carga de succión disminuye al aumentar la altitud y la temperatura del agua, alrededor del 3% por cada 1000 pies (300 metros) de altura y cerca del 1% por cada 10°F (4°C) de aumento de temperatura en la escala adecuada. En la mayoría de las aguas de pozo usadas para el consumo humano, la temperatura no es un factor crítico. Sin embargo, en altitudes elevadas, como se muestra en el cuadro 3-1, puede bajar ostensiblemente la carga de succión admisible.

En la práctica, las cargas de succión admisibles deben ser reducidas para tomar en cuenta las pérdidas de carga por fricción y las cargas dinámicas de succión. Esto puede ser calculado aproximadamente en cada instalación, o ser medido en un laboratorio de hidráulica. Para efectos prácticos, se toma como máxima carga de succión de diseño dos tercios ( $\frac{2}{3}$ ) del valor de la ideal. Si el descenso del nivel, diario o estacional, es significativo, los valores del cuadro 3-1 deberán ser reducidos consiguientemente.

### 3.4 ANALISIS ESTRUCTURAL

#### 3.4.1 Fuerza Hidráulica

La mayor carga estructural sobre el émbolo de la bomba, la varilla de la bomba, los acoplamientos, la armadura del mango, los cojinetes y el soporte de la bomba,

CUADRO 3-1

MAXIMA CARGA DE SUCCION DE BOMBAS DE MANO RECIPROCAS

A DIFERENTES ALTURAS PARA AGUA A 60°F (16.6°C)

Altura Sobre el Nivel Medio del Mar		Presión Barométrica Aire Carga de Agua Equivalente			Carga Práctica de Succión de la Bomba	
Pies	Metros	Psi*	Pies	Metros	Pies	Metros
0	0	14.7	34.0	10.36	22.6	6.91
1000	305	14.2	32.8	10.00	21.9	6.67
2000	610	13.7	31.5	9.60	21.0	6.40
3000	914	13.2	30.4	9.27	20.3	6.18
4000	1219	12.7	29.2	8.90	19.5	5.93
6000	1829	11.8	27.2	8.29	18.1	5.53
8000	2438	10.9	25.2	7.68	16.8	5.12
10000	3048	10.1	23.4	7.13	15.6	4.75

\* Libras por pulgada cuadrada.

tiene lugar durante la carrera de bombeo (ascendente) del émbolo y es ejercida por la presión del agua sobre el émbolo oponiéndose a su movimiento, por el peso sumergido de la varilla de la bomba y de la armadura del émbolo, y por el rozamiento deslizando en los cojinetes y las empaquetaduras de la taza.

La fuerza hidráulica neta (F) sobre el émbolo es el producto de la presión hidráulica neta (P) y el área de la sección recta (A) en el plano horizontal, es decir,  $F = PA$ . La presión hidráulica neta (P) es el producto de la carga (H) y del peso específico del agua ( $\gamma$ ), es decir  $P = \gamma H$ . Para un émbolo circular, su área (A) expresada en términos del diámetro del émbolo (D) es  $A = \pi D^2/4$ . En resumen:

$$F = PA = \frac{\gamma H \pi D^2}{4} \dots\dots\dots (3-4)$$

A la fuerza hidráulica debe añadirse el peso sumergido de la varilla de la bomba.

El peso de los otros componentes, en general, puede desestimarse.

Ejemplo: Dada una bomba de mano con cilindro de 3 pulgadas (76 mm) colocado a 60 pies (21.3 metros) bajo la bomba. La carga de bombeo es de 50 pies (15.2 metros). (El peso específico del agua no es dato pero se asume un valor de 62.4 lb/pie<sup>3</sup> (998 kg/m<sup>3</sup>) a 60°F (15.6°C) y a una atmósfera de presión). El diámetro de la varilla de acero de bombeo es de 1/2 pulgada (12.7 mm).

$$F = \frac{\gamma H \pi D^2}{4} = \frac{(62.4 \text{ lb/pie}^3) (50 \text{ pies}) (3.14) (3/12 \text{ pies})^2}{4}$$

Fuerza Hidráulica  $F = 153 \text{ lbs. (69.5 kg)}$

El peso de la varilla de bombeo varía ligeramente con el tipo y número de acoplamientos. El peso del agua desplazada por la varilla teóricamente debe ser restado, pero puede ignorarse; puede decirse que se compensa con el peso de la armadura del émbolo. De un catálogo de fabricantes obtenemos que la varilla de bombeo de 1/2 pulgada de acero roscado y acoplado pesa 0.685 lb por pie (1.02 kg por metro).

Peso de la varilla de bombeo = 60 pies x 0.685 lb/pie = 41 lb (18.7 kg)

Fuerza Total Calculada = 153 lb + 41 lb = 194 lb (88.2 kg)

Cabe notarse en el ejemplo anterior que la fuerza es principalmente función de la carga antes que de la profundidad del cilindro. Asimismo, la fuerza calculada es independiente de la descarga.

La fuerza calculada es el valor promedio para el ciclo completo de bombeo. En realidad, ensayos de bombeo empleando dinamómetro (Hood, et al.) indican que los valores máximos de la fuerza pueden alcanzar dos o tres veces el valor calculado. Se entiende que la varilla de bombeo, los empalmes, conectores roscados y pasadores deben ser lo suficientemente resistentes como para soportar los valores máximos; por ello se recomienda usar factores de seguridad holgados.

La figura 3-5 ilustra la forma en que puede variar la tensión en una varilla de bombeo, durante el ciclo, en un caso particular. La línea llena abcd muestra un funcionamiento "ideal" libre de fricción y turbulencia. En la posición "a" el émbolo se encuentra al fondo del cilindro. La tensión en la varilla de bombeo es cero - la varilla de bombeo y el émbolo "ideales" son ingravidos. Se inicia el bombeo, el émbolo inicia su carrera ascendente; instantáneamente la tensión de la varilla aumenta hasta "b", de acuerdo a la ecuación 3-4. Esta tensión es constante durante la carrera ascendente del émbolo hasta que éste llega al tope, "c". Al

detenerse el émbolo en el tope del cilindro, en "c", no se está efectuando ningún trabajo y la tensión regresa al nivel "d", la misma que en "a". El émbolo regresa a "a".

En la práctica, la tensión de la varilla de la bomba al inicio del golpe ascendente del émbolo no se incrementa instantáneamente. Al acelerar el émbolo su ascenso, la varilla de la bomba y su acople son elevados y la tensión en la varilla de la bomba se incrementa rápidamente de "e" a "f". La fuerza de inercia necesaria para acelerar el agua desde el estado de "reposo" produce la tensión máxima "f", que excede el valor calculado "b". Desde "f" hasta "g", como el agua ya está en movimiento, se reduce la fuerza exterior requerida. El "repunte" de "g" a "h" es debido al cierre de la válvula del émbolo. En "i" el émbolo está desce-  
lerrando y al llegar a "j" invierte el sentido. El peso de la varilla del émbolo produce cierta tensión en ésta durante el retorno de "j" a "e".

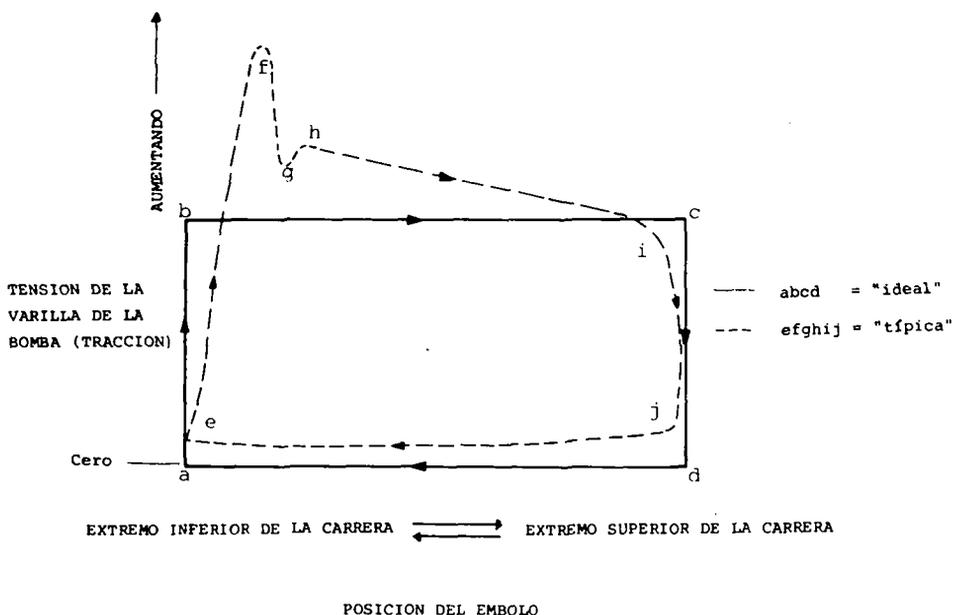


FIGURA 3-5 TENSION DINAMOMETRICA DE LA VARILLA DE LA BOMBA

### 3.4.2 Ventaja Mecánica

Como se ve en el ejemplo de la sección precedente, la fuerza ejercida sobre la varilla de la bomba y, a través de ésta, sobre el mango de la bomba, puede exceder fácilmente las 100 lb (45.4 kg). Pese a que la fuerza muscular disponible para el bombeo continuo, de una sola persona, está generalmente limitada de 20 a 40 lb (9 a 18 kg).\* A través del principio de ventaja mecánica, la fuerza muscular puede ser multiplicada para operar con éxito bombas de mano en pozos que pueden llegar a tener hasta 600 pies (180 metros) de profundidad.

Considérese el mango tipo palanca que se muestra en la figura 3-6. Este gira libremente alrededor del fulcro. En uno de sus extremos y a una distancia  $L_p$  del pasador del fulcro, el mango está conectado por medio de un pasador a la varilla de la bomba. A través de este pasador se transmite sobre el mango la fuerza ejercida sobre la varilla de la bomba  $F_p$ . Al otro extremo del mango, a una distancia  $L_h$  del fulcro, la mano presiona hacia abajo el mango con una fuerza  $F_h$ .

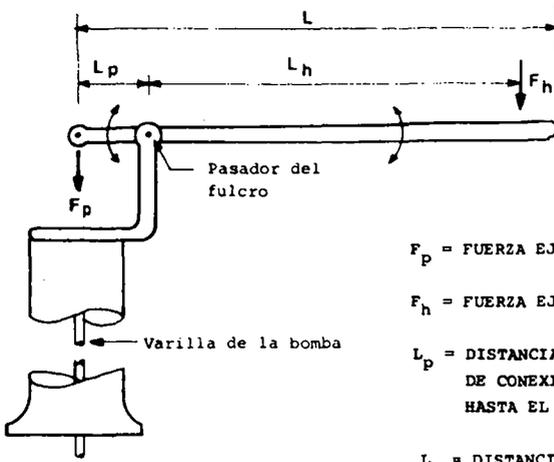
Si las distancias  $L_p$  y  $L_h$  fueran iguales y las fuerzas  $F_p$  y  $F_h$  fueran iguales, el mango estaría balanceado o en "equilibrio" y no se movería. Si la distancia  $L_h$  fuera el doble de la distancia  $L_p$ , pero la fuerza  $F_h$  igual a la mitad de la fuerza  $F_p$ , entonces el mango continuaría estando balanceado.\*\* Ciertamente, cualquier combinación en la que el producto (o "momento" como se denomina en mecánica) de la distancia y la fuerza a un lado del fulcro sea igual al producto de la distancia y la fuerza al otro lado del fulcro será una combinación estable. Es decir que el equilibrio está definido por la condición  $F_h L_h = F_p L_p$ . La relación entre la longitud del mango  $L_h$  y la distancia de la varilla de la bomba al fulcro  $L_p$  se conoce como ventaja mecánica:

$$\text{Ventaja Mecánica} = VM = \frac{L_h}{L_p} \dots\dots\dots (3-5)$$

Nótese que en el punto de equilibrio:  $F_h L_h = F_p L_p$

\* Estos son valores empíricos. Aparentemente no se han efectuado estudios ergométricos satisfactorios sobre el particular.

\*\* Análogo al sube y baja infantil.



$F_p$  = FUERZA EJERCIDA POR LA VARILLA DE LA BOMBA  
 $F_h$  = FUERZA EJERCIDA POR LA MANO  
 $L_p$  = DISTANCIA DESDE EL CENTRO DEL PASADOR DE CONEXION DE LA VARILLA DE LA BOMBA HASTA EL CENTRO DEL PASADOR DEL FULCRO  
 $L_h$  = DISTANCIA DESDE EL "CENTRO" DE LA MANO HASTA EL CENTRO DEL PASADOR DEL FULCRO

$$\text{VENTAJA MECANICA (VM)} = \frac{L_p}{L_h}$$

$$\text{FUERZA DE EQUILIBRIO } F_h = \frac{F_p L_p}{L_h} = \frac{F_p}{VM}$$



FIGURA 3-6 VENTAJA MECANICA DEL MANGO DE LA BOMBA CONSIDERADO COMO PALANCA

Es decir: 
$$F_h = F_p \frac{L_p}{L_h} = \frac{F_p}{VM} \dots\dots\dots (3-6)$$

o sea que: 
$$F_p = F_h VM \dots\dots\dots (3-7)$$

Siguiendo un razonamiento similar, puede demostrarse que la ventaja mecánica VM de un cigüeñal rotativo dotado de rueda o manivela (ver figura 3-9) es igual a:

$$VM = \frac{\text{Radio de Rotación de la Manivela}}{\text{Radio de Rotación del Cigüeñal}} \dots\dots\dots (3-8)$$

Las expresiones anteriores son condiciones de equilibrio. Si  $F_h$  excede el valor  $F_h$  de equilibrio, el mango desciende. Si  $F_p$  excede el valor de  $F_p$  de equilibrio, la varilla desciende.

Ejemplo: Dada una fuerza de 194 lb (88.2 kg) que actúa sobre la varilla de la bomba, ¿qué fuerza se necesitará en el mango si su ventaja mecánica es de 4 a 1?

$$F_h = \frac{P}{VM} = \frac{194 \text{ lb}}{4} = 48.5 \text{ lb (22.0 kg)}$$

El valor obtenido puede resultar excesivo, especialmente si la bomba es operada por mujeres y niños. Una alternativa es extender el mango para aumentar la ventaja mecánica o, si no, disminuir el peso de la varilla de la bomba reduciendo el diámetro del cilindro de la bomba.

Si R representa la máxima fuerza admisible en el extremo del mango que opera el usuario y VM la ventaja mecánica de la armadura del mango, entonces la fuerza admisible sobre la varilla de la bomba F no puede sobrepasar el producto R por VM:

$$F_{pa} \leq R (VM) \dots\dots\dots (3-9)$$

Considerando que la fuerza ejercida sobre la varilla de la bomba es igual a la suma de la fuerza hidráulica actuando sobre el émbolo (ecuación 3-4) y del peso propio de la varilla de la bomba y de la armadura del émbolo, la máxima carga para un cilindro de diámetro dado puede estimarse aproximadamente en la forma siguiente:

$F_{pa} = F + UL$  donde F se obtiene de la ecuación 3-4,  
 U es el peso de la varilla de la bomba por unidad de longitud, y  
 L es la longitud de la varilla de la bomba.

Asumiendo que L es aproximadamente igual a la carga H:

$$F_{pa} = \frac{\gamma H \pi D^2}{4} + UH = H \left[ \frac{\gamma \pi D^2}{4} + U \right] \leq R (VM)$$

$$H \leq \frac{4 R (VM)}{\gamma \pi D^2 + 4U} \dots\dots\dots (3-10)$$

El cuadro 3-2 resuelve la ecuación 3-10 para una fuerza de mango promedio que no exceda 40 lb (18.2 kg), una ventaja mecánica convencional de 4 a 1, una varilla de bombeo de 1/2" de diámetro (12.7 mm), y asume que la longitud de la varilla de la bomba es aproximadamente igual a la carga. Este último supuesto se da cuando el cilindro de la bomba se encuentra justo bajo el nivel del agua del pozo.

CUADRO 3-2

CARGA MAXIMA PARA OPERAR CON COMODIDAD UNA  
BOMBA DE MANO PARA POZO PROFUNDO

DIAMETRO DEL CILINDRO		CARGA	
Pulgadas	Milímetros	Pies	Metros
2	51	hasta 75	hasta 25
2½	63	hasta 60	hasta 20
3	76	hasta 45	hasta 15
4	102	hasta 30	hasta 10

Nota: Véase el texto para advertencias y presupuestos, que incluyen una fuerza de mango máxima de 40 libras (18.2 kg) y una ventaja mecánica de 4 a 1.

3.5 ANALISIS DE LA ENERGIA

3.5.1 Demanda de Energía

En las bombas de mano, el trabajo por unidad de tiempo, o potencia, es el parámetro energético de mayor interés.

$$\text{Potencia} = \frac{Q \cdot H}{e}$$

donde Q es el caudal de descarga por unidad de tiempo, H es la carga hidráulica y e la eficiencia mecánica de la bomba. La potencia se expresa frecuentemente en caballos de fuerza (un caballo de fuerza o H.P. = 33000 lb-pie por minuto), o en kilovatios (1000 vatios, o 1000 joules por segundo). Un caballo de fuerza equivale a 0.746 kilovatios. Para Q expresado en galones EUA por minuto y H en pies, y la eficiencia expresada como decimal, la potencia en H.P. se calcula en la forma siguiente:

$$\text{Potencia (H.P.)} = \frac{Q \cdot H}{3960 \cdot e} \dots\dots\dots (3-11)$$

3.5.2 Energía Humana

Por definición, el hombre (o la mujer, o el niño) aporta la fuerza motriz que impulsa la bomba de mano. Tal como para las bombas centrífugas eléctricas, las

características de la bomba de mano y su motor, en este caso el hombre, deben armonizar.

La potencia que proporciona el músculo humano depende del individuo, el medio, la eficiencia de conversión y la duración de la tarea.

La potencia disponible para realizar un trabajo útil de largo plazo, por ejemplo, ocho horas diarias, 48 horas semanales, por obreros varones jóvenes y saludables, es a menudo estimada entre 0.08 y 0.10 caballos de fuerza (60 a 75 vatios). Este valor debe reducirse cuando se trata de individuos de salud precaria, desnutridos, de baja estatura, o ancianos. También tendrá que reducirse en caso que el ambiente de trabajo presente características de alta temperatura y humedad. Donde el hombre y su tarea no armonizan - por ejemplo si debe bombear en una posición agachada - mucha de la energía gastada se desperdicia. Se puede duplicar la potencia generada, por un lapso corto si se aprovechan los músculos más grandes - como pedaleo versus movimiento de brazos (Krendel, 1960).

La potencia disponible durante períodos de trabajo cortos es mucho mayor. Hay casos de atletas bien entrenados que han llegado a generar hasta dos caballos de fuerza para esfuerzos de 5 a 10 segundos. El cuadro 3-3 está adaptado de Krendel.

CUADRO 3-3  
POTENCIA GENERADA POR EL ESFUERZO HUMANO

EDAD DEL HOMBRE	POTENCIA UTIL EN FUNCION DE LA DURACION DEL ESFUERZO (en H.P.)					
	Años	5 min.	10 min.	15 min.	30 min.	60 min.
20	0.29	0.28	0.27	0.24	0.21	0.12
35	0.28	0.27	0.24	0.21	0.18	0.10
60	0.24	0.21	0.20	0.17	0.15	0.08

Modificada de Krendel (1967).

La mayoría de las bombas de mano que se usan para el suministro doméstico de agua son manejadas por distintos usuarios, durante unos pocos minutos cada vez.\* Muchos de los que las usan son mujeres o niños más bien que hombres. Al no tenerse prácticamente información sobre ensayos de campo de bombas de mano, parece razonable considerar que la potencia generada por el esfuerzo humano es del orden de 0.10 H.P. (75 vatios).

Asumiendo una eficiencia mecánica típica de la bomba de alrededor de 60% y una potencia generada de 0.10 H.P., la ecuación 3-11 puede escribirse ahora:

$$QH = 240 \dots\dots\dots (3-12)$$

para Q en galones U.S. por minuto y H en pies de carga.

La ecuación 3-12 proporciona un método empírico rápido para estimar el caudal de descarga que puede esperarse de una carga dada. Por ejemplo, si la carga fuera de 60 pies, el caudal de descarga sería de 4 galones por minuto.

### 3.5.3 Potencia Animal

Aún cuando los animales de tiro constituyen una fuente de energía común y vital en los países en desarrollo, no son muy utilizados para bombear agua para abastecimiento doméstico. (En Africa y Asia sí se les utiliza mucho para bombear agua de riego de pozos superficiales, abiertos, de amplio diámetro). La tracción animal se adecúa pobremente al movimiento vertical alternado de las bombas recíprocas para pozos. El trabajo del animal es más eficiente cuando es enganchado para tirar de una palanca circular rotativa alrededor de un punto fijo, o se le hace empujar un molino de rueda. Ambos métodos requieren mecanismos de transmisión y bombas lentas, de carrera larga. Un segundo punto a considerar en el bombeo de agua de bebida, tal como se ha descrito en el caso de la bomba que funciona accionada con energía humana, es que, generalmente, cada familia bombea su propia agua. El esfuerzo de enganchar y desenganchar un animal de tiro para unos pocos minutos de bombeo sólo se justifica en general si los pozos son profundos y el bombeo se hace con cuerda y con cubo de varios galones de capacidad.

Un caballo de 1500 a 1900 lb (700 a 850 kg) puede trabajar hasta diez horas diarias con una potencia de un caballo de fuerza (0.746 kv). Durante intervalos

---

\* Las bombas de mano usadas para propósitos de riego son frecuentemente accionadas durante todo el día por una o dos personas solamente.

cortos de 5 a 30 minutos puede realizar un trabajo intenso de unos 4 caballos de fuerza (3 kv). La potencia animal de animales adultos y saludables puede ser estimada según la relación (Brody):

$$\text{potencia animal} = \text{caballos de fuerza} \left[ \frac{\text{masa animal}}{\text{masa de caballo}} \right]^{0.73} \dots\dots\dots (3-13)$$

#### 3.5.4 Energía Natural

Otras fuentes de energía motriz no mecánicas incluyen las fuerzas naturales del viento, del agua, el sol, la acción de la gravedad y la energía geotérmica. Esta última se produce naturalmente en muy pocos lugares y no es ampliamente disponible. La fuerza de gravedad, evidentemente, actúa en todo lugar y se le debe dar preferencia cuando la posibilidad de aprovecharla corre pareja a la de las otras fuentes mencionadas. Sin embargo, la razón de ser de este libro se basa en que, en muchos casos, el agua disponible está por debajo más bien que por encima del nivel del lugar donde se la necesita. Pueden fabricarse bombas que funcionen con energía solar, pero esta solución no es económicamente factible por el momento, y quién sabe si alguna vez lo será. Las caídas de agua pueden aprovecharse para impulsar las bombas pero esta solución también está supeditada a las condiciones de lugares sumamente específicos. Los arietes hidráulicos han sido ya descritos en la sección 2. De las fuentes naturales de energía el viento es la de aprovechamiento más difundido.

#### 3.5.5 Energía Eólica

Según muchos autores (Golding; Wagner y Lanoix; et al.), la fuerza del viento puede ser aprovechada para impulsar una bomba si:

- (1) La ocurrencia de vientos de por lo menos 5 millas por hora (8 km/hr) tiene lugar durante por lo menos el 60 por ciento del tiempo;
- (2) Puede bombearse el pozo en forma continuada sin que se produzca un descenso de nivel excesivo;
- (3) Se cuenta con capacidad de almacenamiento para una demanda típica de 3 días (o más) para satisfacer la necesidad durante períodos de calma sin viento; y
- (4) Se toman las providencias para que el barrido del viento sobre el molino se realice sin interferencias, es decir, el molino debe estar situado a mayor

altura que cualquier obstrucción de los alrededores - ya sean árboles o edificaciones, los que no deberán estar a menos de 400 pies (125 m); el molino de viento puede instalarse en una torre de 15 a 20 pies (4.5 a 6 metros); y

(5) La maquinaria del molino de viento puede trabajar sin necesidad de mantenimiento durante largos períodos de tiempo, seis meses o más. El mecanismo impulsor debe estar cubierto y provisto de un sistema de lubricación automático. Las aspas y velas y sus armaduras deben estar fuertemente galvanizadas o protegidas con pintura a base de "epoxy".

El bombeo directo de agua con molino de viento requiere que hagan juego las características de (1) el régimen local de vientos, (2) el molino de viento y (3) la bomba. Por lo general esta combinación la realiza el fabricante ciñéndose a la información que la proporciona el comprador.

Sin lugar a dudas, el tipo más común de bomba de viento es la rueda de molino de carrera lenta que impulsa una bomba de pistón. Por lo general, la bomba está equipada con una varilla de bomba que se extiende a través de la armadura del soporte de la bomba y su guía superior, y que tiene un agujero para conexión con la varilla de bombeo del molino de viento. Se puede acondicionar la instalación para efectuar el bombeo a mano durante los períodos sin viento.

Los modelos modernos de molinos de viento están diseñados de modo que para bombear se vuelven hacia el viento en forma automática. Asimismo, están equipados con un sistema que desconecta automáticamente la rueda si el viento se torna excesivo (30 a 35 millas/hora, 48/56 km/hr) y puede dañar el molino de viento. Las velas o aspas también se pliegan en forma automática para evitar que la rueda gire a demasiada velocidad cuando el viento es muy fuerte. El molino de viento no empieza a bombear hasta que la velocidad del viento alcanza 5 a 6 millas por hora (8-9.5 km/hr). La rapidez de bombeo va creciendo conforme aumenta la velocidad del viento hasta llegar a unas 15 millas/hora (24 km/hr), pasados los cuales la rueda comienza a zafar del viento en forma automática, manteniendo una rapidez de bombeo tope equivalente a la que produce un viento de 15 millas por hora.

Las ruedas de molino pueden tener un diámetro de 6 a 20 pies (2 a 6 metros). En 1975, los precios aproximados de los molinos de viento en los Estados Unidos

(sin incluir transporte) eran: de 6 pies, EUA\$500; de 8 pies, EUA\$700; de 10 pies, EUA\$1200; de 12 pies, EUA\$2000 y de 14 pies, EUA\$3000. Una torre de acero de 22 pies (7 metros) cuesta entre EUA\$600 y 700, comprada a los proveedores de molinos de viento. Aún cuando los molinos de viento pueden ser importados, se pueden construir fácilmente torres sólidas y resistentes usando materiales locales.

Si P representa el área barrida por el rotor de diámetro D del molino de viento, V la velocidad del viento y  $\gamma_a$  el peso específico del aire, entonces el peso W de aire disponible por unidad de tiempo para impulsar la rueda del molino es  $W = AV \gamma_a$  y su energía igual a  $\frac{W V^2}{2g}$ , siendo "g" una constante que representa la aceleración de gravedad. La potencia P que lleva a la rueda del molino la acción del viento es, por lo tanto:

$$P = \frac{W V^2}{2g} = \frac{A \gamma_a V^3}{2g} = \frac{\pi D^2 \gamma_a V^3}{8g}$$

La potencia empleada para elevar agua será menor, en proporción, a la eficiencia mecánica viento-agua de la unidad integrada molino de viento-bomba de agua.

Golding estima que esta eficiencia raramente excederá el 20%.

Combinando las constantes, incluso los valores promedios de g y  $\gamma_a$ , la verdadera potencia al freno de bombeo, en caballos de fuerza, puede expresarse así:

$$\text{Potencia Neta de Bombeo H.P.} = 0.0000052 D^2 V^3 e \dots\dots (3-14)$$

donde D es el diámetro del rotor del molino de viento en pies, V es la velocidad del viento en millas por hora, y e es la eficiencia mecánica viento-agua.

En forma similar:

$$\text{Potencia Neta de Bombeo K.V.} = 0.0000020 D^2 V^3 e \dots\dots (3-15)$$

donde D es el diámetro del rotor del molino de viento en metros, V es la velocidad del viento en kilómetros por hora, y e es la eficiencia mecánica viento-agua.

El caudal de descarga Q para un diámetro de rueda de molino y una velocidad de viento dados sería inversamente proporcional a la carga de bombeo. Combinando las ecuaciones 3-14 y 3-11 (el término de eficiencia que figura en la ecuación 3-11 aparece ya en la ecuación 3-14), se obtiene:

$$\text{H.P.} = \frac{Q H}{3960} = 0.0000052 D^2 V^3 e$$

y, despejando Q,

$$Q = 0.020 \frac{D^2 V^3 e}{H} \dots\dots\dots (3-16)$$

donde Q es la descarga en galones EUA por minuto

D es el diámetro del rotor del molino de viento en pies

V es la velocidad del viento en millas por hora

H es la carga de bombeo en pies, y

e es la eficiencia mecánica viento-agua.

En forma similar:

$$Q = 0.060 \frac{D^2 V^3 e}{H} \dots\dots\dots (3-17)$$

donde Q es la descarga en litros por minuto

D es el diámetro del rotor del molino de viento en metros

V es la velocidad del viento en kilómetros por hora

H es la carga de bombeo en metros, y

e es la eficiencia mecánica viento-agua.

El cuadro 3-4 da algunos valores ilustrativos que se han obtenido utilizando el valor de e estimado por Golding - igual a 20 por ciento.

El cuadro 3-4 demuestra la sensibilidad de la descarga - en relación a la velocidad de viento:  $Q \sim V^3$ . Aunque la descarga a corto plazo puede estimarse con facilidad, la descarga a largo plazo, y la capacidad de almacenamiento de reserva requerida durante períodos sin viento, sólo puede calcularse si es posible predecir el régimen de vientos del lugar. En éste no se incluye únicamente la frecuencia y velocidad de los distintos vientos sino además la duración de éstos a lo largo de todo el año.

### 3.5.6 Dispositivos Mecánicos Especiales (Gatos)

Son dispositivos que permiten convertir fácilmente una bomba de mano recíproca en una de motor eléctrico o a gasolina. Pueden adquirirse por EUA\$150 ó 200, mecanismos de buena calidad y muy durables para utilizarlos con motores de  $\frac{1}{2}$  caballo de fuerza. Estos dispositivos son particularmente útiles para programas experimentales con bombas.

CUADRO 3-4

CAUDAL DE BOMBEO DE MOLINOS DE VIENTO DESCARGA EN GALONES EUA POR MINUTO (LITROS POR MINUTO)

VELOCIDAD DEL VIENTO	CARGA = 50 Pies (15 Metros)			CARGA = 100 Pies (30.5 Metros)		
	DIAMETRO DEL MOLINO DE VIENTO					
Mph (km/hr)	6 pies (2M)	8 pies (2.5M)	10 pies (3M)	6 pies (2M)	8 pies (2.5M)	10 pies (3M)
5 ( 8.1)	0.4 ( 1.4)	0.7 ( 2.7)	1.0 ( 3.9)	0.2 ( 0.7)	0.3 ( 1.3)	0.5 ( 2.5)
7 (11.3)	1.0 ( 3.8)	1.8 ( 6.8)	2.8 ( 11 )	0.5 ( 1.9)	0.9 ( 3.4)	1.4 ( 5.5)
10 (16.1)	3.0 (11 )	5.2 (20 )	8.2 ( 31 )	1.5 ( 5.6)	2.6 ( 9.9)	4.1 (15 )
12 (19.3)	5.0 (20 )	8.8 (24 )	14 ( 53 )	2.5 ( 9.7)	4.4 (12 )	7.0 (26 )
14 (22.6)	7.9 (31 )	14 (53 )	22 ( 85 )	4.0 (15 )	7.2 (26 )	11 (42 )
16 (25.8)	12 (46 )	21 (80 )	33 (125 )	5.9 (23 )	11 (40 )	16 (62 )

Nota: La eficiencia viento-agua (asumida): 20 por ciento.  
Las unidades métricas aparecen entre paréntesis.

### 3.6 ARMADURA DEL MANGO

El mango sirve para transmitir a la bomba el movimiento y la energía del operador de la bomba de mano. Aunque el mango de tipo palanca, mostrado en la figura 3-1, es el más común, pueden utilizarse otros medios, incluidos ruedas y cigüeñales, transmisión a pedales y guimbaletes.

#### 3.6.1 Ventaja Mecánica

La fuerza que se necesita en la varilla de la bomba para elevar el émbolo en una bomba de mano recíproca, puede fácilmente exceder la fortaleza muscular del operador de la bomba. Sin embargo, como se muestra en la sección 3.4.2 y la figura 3-6, la fuerza vertical descendente que se necesita aplicar sobre el mango para elevar la varilla de la bomba puede reducirse por medio de la ventaja mecánica (VM) del mango de acuerdo a la ecuación 3-6.

$$F_h = F_p \frac{L_p}{L_h} = \frac{F_p}{VM} \dots\dots\dots (3-6)$$

- donde  $F_h$  = fuerza ejercida sobre el mango por la mano del operador
- $F_p$  = fuerza ejercida sobre el mango por la varilla de la bomba
- $L_p$  = distancia desde el centro del pasador de la varilla de la bomba hasta el centro del pasador del fulcro
- $L_h$  = distancia desde el centro del pasador del fulcro al "centro" de la mano del operador

y

VM = ventaja mecánica del mango.

Es típico que la ventaja mecánica para una bomba de pozo superficial sea alrededor de 4 a 1. Esto significa que la fuerza de la varilla de la bomba puede equilibrarse con una fuerza de mango de magnitud más o menos igual a la cuarta parte de aquélla. En pozos profundos la ventaja mecánica puede ser mayor, hasta 10 a 1.

La ventaja mecánica no puede ser incrementada indefinidamente. Como ilustra la figura 3-7, conforme aumenta la distancia  $L_h$  desde el pasador del fulcro hasta la mano, es mayor el arco ab recorrido por el extremo del mango. Un arco demasiado amplio hace dificultosa la operación. Si se acorta la distancia  $L_p$  desde la varilla de la bomba hasta el fulcro, aumenta la ventaja mecánica pero simultáneamente disminuye la carrera  $S$  de la varilla de la bomba y del émbolo a ésta conectado.

### 3.6.2 Articulaciones

La figura 3-7 presenta el tipo más simple de mecanismo de mango: un mango de una pieza con dos pasadores, uno en su articulación con la varilla de la bomba, el otro en el eje del fulcro. Esta es una disposición corriente para bombas de pozo superficial.

Interesa notar que el arco  $cd$  recorrido por el pasador de la varilla de la bomba define la distancia vertical,  $S$ , equivalente a la longitud de carrera del émbolo, y una distancia horizontal,  $Z$ . Es decir, el extremo superior de la varilla de la bomba se desplaza en la dirección horizontal además de su movimiento vertical. Como la tubería de bajada (ver figura 3-1) y el cilindro de la bomba permanecen fijos, el extremo inferior de la varilla de la bomba (conectado al émbolo) puede desplazarse libremente en dirección vertical, pero no puede hacerlo en dirección horizontal. Quiere decir que si  $Z$  es muy grande, la varilla de la bomba golpeará contra la tubería de bajada (o las paredes del soporte de la bomba, dependiendo de las dimensiones relativas). Un segundo problema consiste en que el movimiento horizontal de la varilla de la bomba dificulta el sellado de la parte superior de la armadura del soporte de la bomba contra la contaminación. Un tercer problema es que la inclinación angular del émbolo puede ocasionar el desgaste excesivo de las empaquetaduras de la taza del émbolo. Un cuarto problema vinculado al segundo antes mencionado, es que en las bombas impelentes la parte superior de la bomba debe ser hermética.

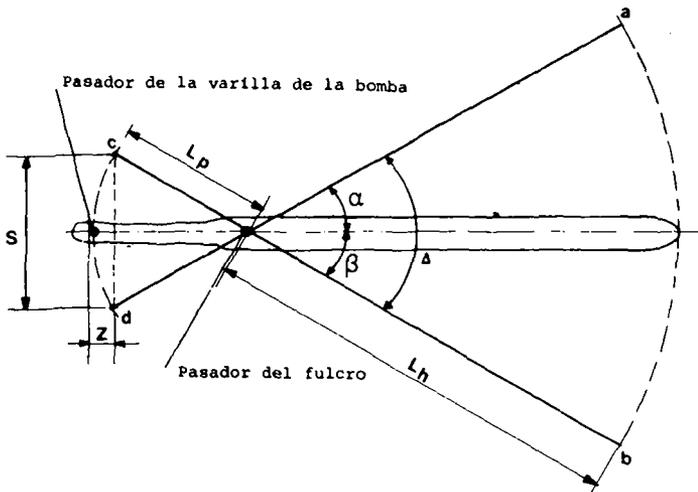


FIGURA 3-7 GEOMETRIA DEL MANGO

La figura 3-8 presenta una serie de mangos de bombas de mano y sus respectivos mecanismos de articulación - que aseguran el movimiento exclusivamente vertical de la varilla de la bomba.

La bomba A emplea dos pasadores (ejes) móviles y uno fijo, una articulación rotativa en el fulcro y una caja de estopas que actúa como guía de la varilla de la bomba. Este sistema es aplicado en bombas tales como la Dempster 23 EX, y la Godwin, modelos HLS y HLD. Esta solución es económica pero en los pozos profundos pueden ocurrir desgastes excesivos de la caja de estopas y tensiones por flexión en la varilla de la bomba.

La bomba B también emplea dos pasadores móviles, y uno fijo, y una articulación rotativa en el fulcro. Aún cuando se usa caja de estopas, la varilla de la bomba es guiada por una cruceta sobre dos columnas guías. Ejemplos de esta armadura de mango pueden verse en la bomba Wasp y la bomba Beatty. El alineamiento de los componentes es decisivo para evitar que se traben.

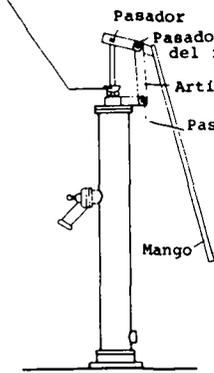
La bomba C es una versión de la bomba B, pero con una sola columna. La columna única puede también aparecer al lado del mango de la varilla de la bomba. La bomba Baker modelo "Monitor" constituye un ejemplo de este tipo.

La bomba D también emplea dos pasadores móviles y uno fijo pero con un fulcro fijo. La caja de estopas funciona como guía de la varilla de la bomba. Como ejemplos pueden mencionarse las bombas EDECO y NWSA.

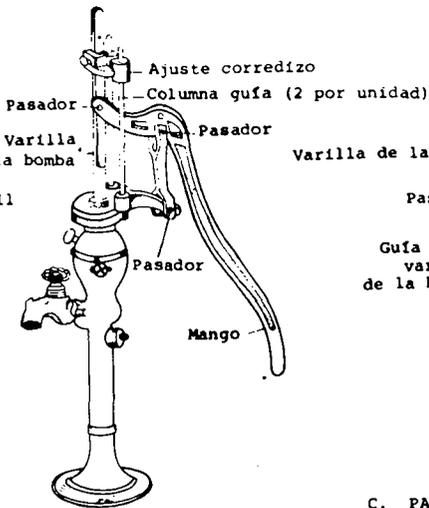
La bomba E usa un solo pasador como fulcro. El mango se fija a la varilla de la bomba mediante un trozo corto de cadena flexible de motocicleta. La acción de la gravedad en combinación con un cuadrante circular soldado al extremo del mango asegura un verdadero movimiento vertical. Esta bomba funciona bien sólo en pozos relativamente profundos y/o a velocidad lo suficientemente lenta como para que la carrera descendente se haga por gravedad ("No puede empujarse un cordel"). Entre estas bombas pueden mencionarse la de tipo Sholapur y la tipo Jalna halladas en India.

La bomba F usa una palanca de dos pasadores móviles y uno fijo con dos brazos que conectan a un tubo que tira de la varilla de la bomba y está ubicado concéntricamente sobre ella. Son ejemplos la bomba Uganda y la bomba Shinyanga. (Ver figuras 3-11 y 6-3).

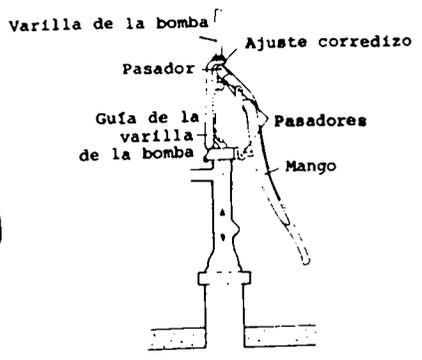
Caja de estopas gufa de la varilla de la bomba



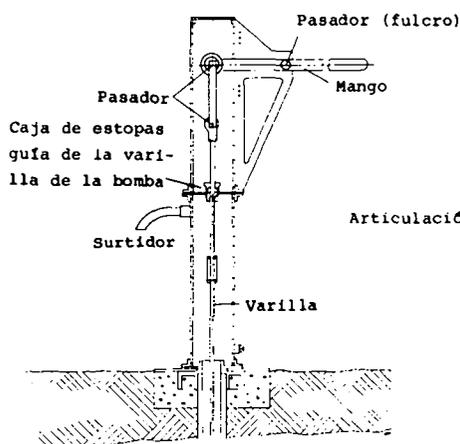
A. PALANCA DE TRES PASADORES Y CAJA DE ESTOPAS GUIA



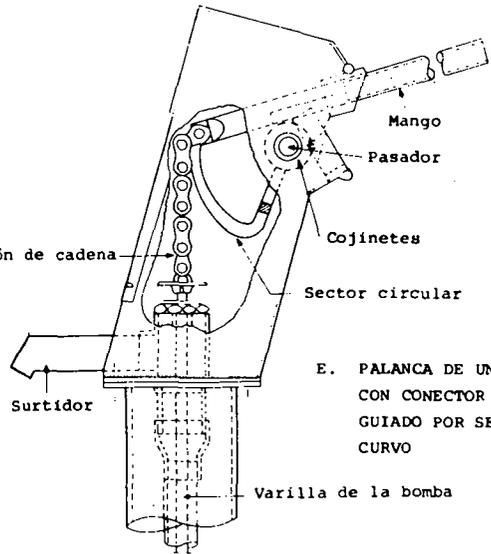
B. PALANCA DE TRES PASADORES Y CRUCETA CORREDIZA



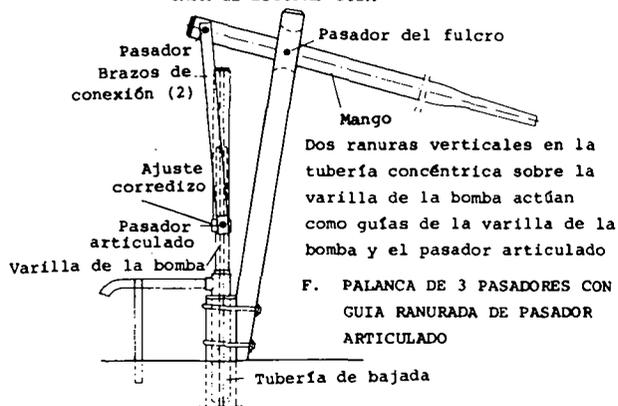
C. PALANCA DE TRES PASADORES CON GUIAS SUPERIOR E INFERIOR



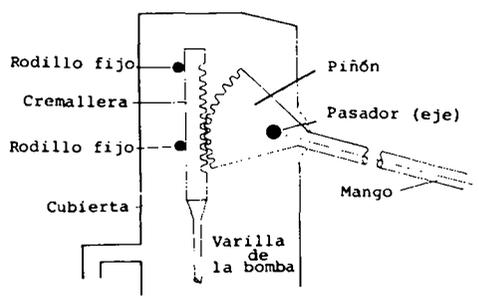
D. PALANCA DE DOS PASADORES, VARILLA DE UN PASADOR Y CAJA DE ESTOPAS GUIA



E. PALANCA DE UN PASADOR CON CONECTOR FLEXIBLE GUIADO POR SECTOR CURVO

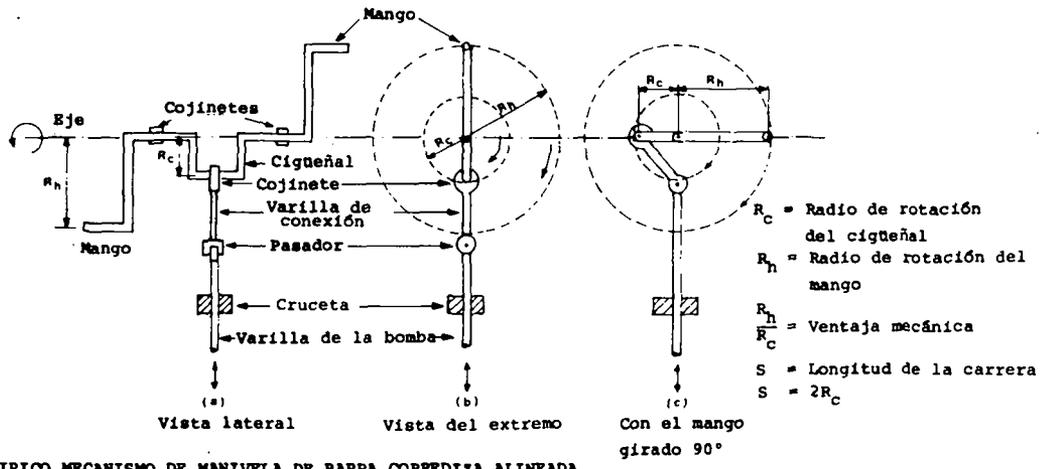


F. PALANCA DE 3 PASADORES CON GUIA RANURADA DE PASADOR ARTICULADO



G. CREMALLERA Y PIÑON

FIGURA 3-8 MECANISMOS DE LA PALANCA PARA OPERACION VERTICAL DE LA VARILLA DE LA BOMBA SIN DESPLAZAMIENTO LATERAL



TÍPICO MECANISMO DE MANIVELA DE BARRA CORREDIZA ALINEADA

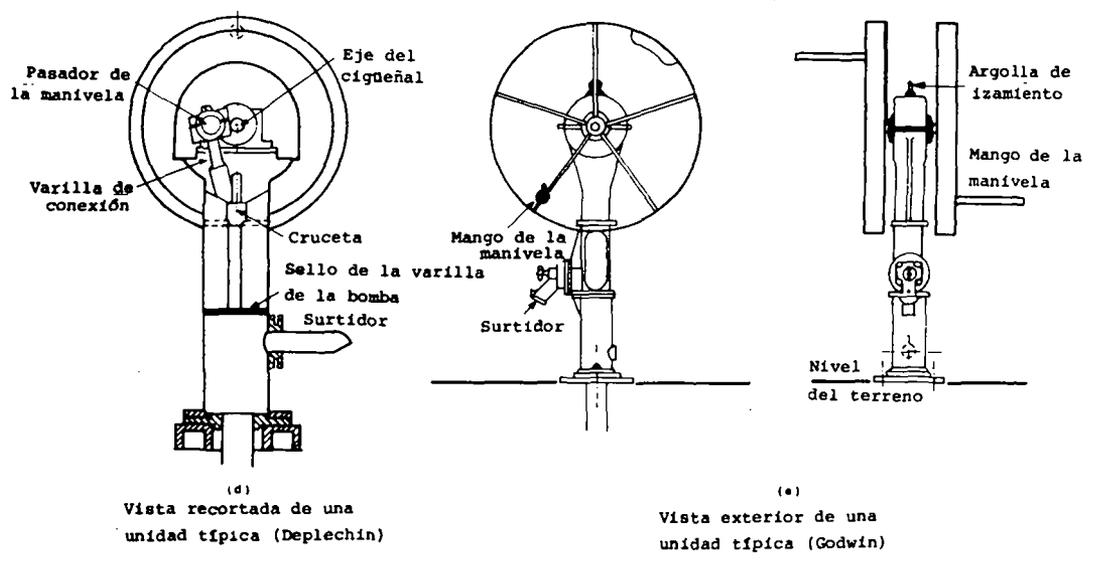


FIGURA 3-9 EJEMPLOS DE BOMBAS DE MANO RECIPROCAS OPERADAS POR MANIVELA Y RUEDA

La bomba G usa un dispositivo de cremallera y piñón. El sector del piñón rota sobre el fulcro o pasador del eje causando el movimiento hacia arriba y abajo de la cremallera contra dos rodillos fijos. Como ejemplos pueden mencionarse la Korat 608 y la Stewart y Lloyd 103D. Los mecanismos de piñón y cremallera pueden encontrarse en el mercado con dos versiones de mango, en las que la cremallera es dentada en bordes opuestos.

La figura 3-9 ilustra cómo en el caso de una bomba de mano operada con manivela o con rueda giratoria el movimiento de la varilla de la bomba puede ocurrir únicamente en el plano vertical. Para estas bombas, el extremo inferior de la varilla o articulación que conecta el cigüeñal a la varilla de la bomba se limita al plano vertical por medio de la cruceta, mientras que el extremo superior de la varilla de conexión puede seguir libremente la rotación del cigüeñal. Se emplean rodamientos en todos los puntos donde se producen movimientos de fricción relativos entre los componentes. El mecanismo mostrado, de rotación por manivela de barra corrediza alineada, es tal vez el de uso más común para mangos que son rotativos y no de vaivén.

Los mecanismos mostrados tienen como propósito eliminar el movimiento lateral de la varilla de la bomba. Al hacerlo, muchos de ellos introducen esfuerzos laterales en el extremo superior de la varilla de la bomba. Estos esfuerzos aumentan cuando el alineamiento es defectuoso, la lubricación escasa y el mantenimiento deja mucho que desear. Los mangos rotativos, por lo general más costosos, distribuyen usualmente las fuerzas laterales de manera más uniforme, evitándose las tensiones máximas. La energía cinética almacenada en la rueda contribuye generalmente a facilitar la operación.

### 3.6.3 Ingeniería Humana

La altura, longitud y arco del movimiento del mango son importantes para la comodidad, conveniencia y eficiencia del manejo de la bomba. Un mango largo puede tener una gran ventaja mecánica pero el operador puede no ser capaz de elevarlo y bajarlo lo suficiente como para usar la longitud total de la carrera del émbolo. También puede ser incómodo para trabajar.

Para un mango de 3 pies (0.914 metros) con ventaja mecánica de 5 a 1 y que se mueve haciendo un arco de 90 grados ( $\frac{1}{4}$  de círculo), la mano tendría que desplazarse 4 pies (1.22 metros) y la carrera del émbolo de la bomba sería de unas 8 pulgadas (20.3 cm). (En la figura 3-7, la longitud del arco  $ab = 2\pi L_h \frac{[\alpha + \beta]}{360^\circ}$ ).

Lo adecuadas que puedan ser estas dimensiones depende en gran medida de los factores humanos - antropométricos, ergonómicos y psicológicos. Las mediciones experimentales o de campo, bajo condiciones variadas, son escasas. Los conceptos modernos de tiempo y movimiento (por ejemplo véase Barnes; Brouha; Kerger y Bayha; Maynard; et al.) permiten hacer algunas generalizaciones:

- (1) Las dimensiones de la armadura del mango de una bomba de mano deben basarse en el tamaño de los usuarios de la bomba; no en el valor medio de la talla, sino en la de los más pequeños, v.g. mujeres y niños. Donde se instala más de una bomba en un solo lugar los mangos deben tener alturas distintas.
- (2) Las dimensiones deben evitar perturbaciones severas de la postura del cuerpo durante el bombeo. El rendimiento físico en posición agachada es menos de la mitad que el de la posición normal.
- (3) Dentro de ciertos límites, el ritmo cardíaco y respiratorio muestran una relación lineal con el gasto de energía o el trabajo realizado. El ritmo cardíaco puede medirse fácilmente tomando el pulso. Al evaluar la eficiencia de dos bombas (o de la misma bomba con diferentes alturas o longitudes de mango), y siendo iguales sus descargas Q y sus cargas H, aquélla en la cual el pulso del operador durante el bombeo aumente menos será la más eficiente. Un aumento de 30 pulsaciones por minuto por encima del pulso en reposo es aproximadamente el límite óptimo de rendimiento para bombeo prolongado.
- (4) La eficiencia muscular óptima tiene lugar cuando la fuerza ejercida es aproximadamente la mitad de su valor máximo y la velocidad del movimiento más o menos la cuarta parte de su valor máximo (Wilkie).
- (5) Para pozos muy profundos, debe hacerse lo necesario para que el bombeo pueda realizarse con ambas manos y/o entre dos o más personas. El trabajo producido durante períodos cortos puede ser incrementado en una tercera parte o en la mitad usando ambas manos en vez de una sola. Los mangos rotativos, tipo rueda, pueden ser operados fácilmente en esta forma.

La importancia que tienen las dimensiones del mango y la distribución de las cargas de una bomba de mano es disimulada con frecuencia por la maravillosa habilidad de adaptación de los seres humanos que las operan. ¿Es la carga muy pesada? El operador bombea más lentamente. ¿Es demasiado largo el mango? El operador acorta la carrera. Ello no obstante, la selección juiciosa de las dimensiones del mango puede constituirse en factor importante de la aceptabilidad de la bomba de mano por parte de los usuarios. Lo tradicional y la apariencia estética pueden ser también importantes.

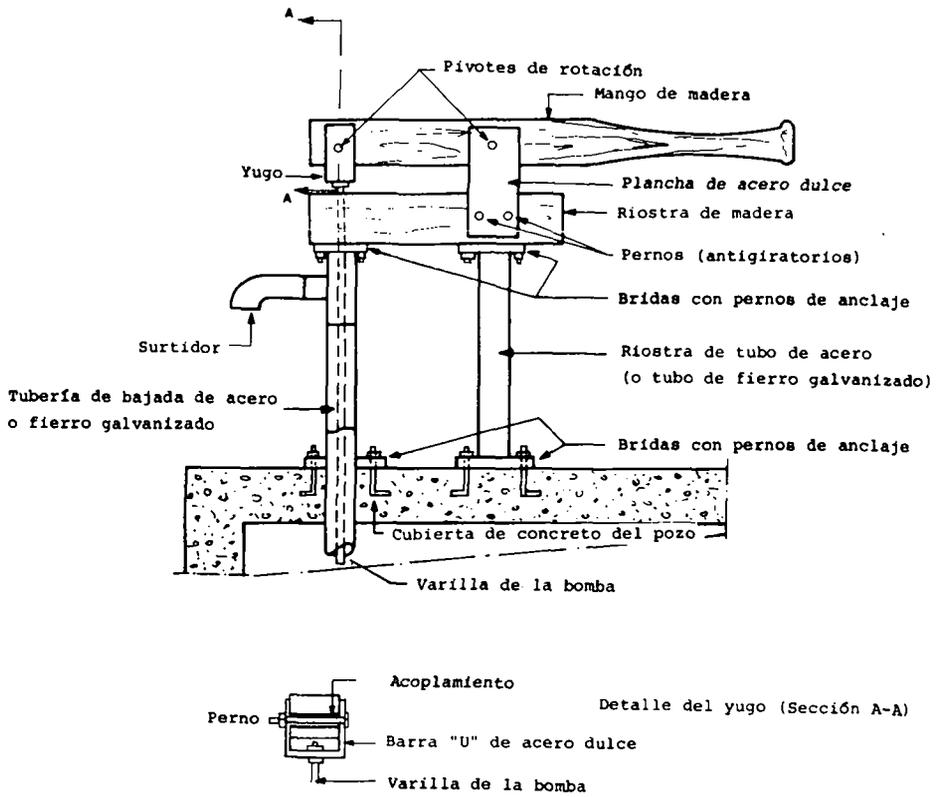


FIGURA 3-10 MANGO Y SOPORTE DE BOMBA DE MANO NATIVA  
DESARROLLADOS POR CARE/TUNEZ

#### 3.6.4 Cargas Estructurales sobre el Mango

La carga estructural que ejerce sobre el mango la varilla de la bomba,  $F_p$ , es causada por las fuerzas hidráulicas y gravitacionales descritas anteriormente en la sección 3.4. A esto debe añadirse la fuerza ejercida por el operador,  $F_h$ . Estas dos fuerzas actúan hacia abajo, como se muestra en la figura 3-11, y tienen su reacción en el fulcro. La ecuación de fuerzas del mango sobre el fulcro en  $F_f = F_p + F_h$ . Estructuralmente hablando, el mango es una viga apoyada sobre el fulcro, al que se fija por medio de un pasador, y cargada en ambos extremos. Una viga así puede fallar por esfuerzos a la tracción, a la compresión o al corte. La falla más frecuente que se observa en el campo es debida, generalmente, a que el mango se dobla sobre el fulcro.

Este es un problema corriente de diseño estructural para el que hay fórmulas y tablas que se encuentran con facilidad en los textos (v.g. ver Baumeister). Por lo general, el diseño más resistente para una sección recta de área dada corresponderá a la sección en forma de I, con el alma reforzada alrededor de todos los huecos para pasadores. El diseño debe ser conservador; muchas fallas que ocurren en el campo se deben a choques o golpes sufridos en el tránsito, a fabricación de baja calidad que incluye grietas y roturas, y a fallas debidas a la fragilidad del material usado, especialmente fierro fundido.

Muchas bombas con componentes metálicos emplean mango de madera - por ejemplo bomba Uganda de Africa Oriental, mostrada en la figura 3-12. CARE y el Ministerio de Salud Pública de Túnez han desarrollado en conjunto una armadura de soporte de bomba con mango de madera que se ensambla localmente a un costo de EUA\$62 (con fecha de 1976). (Ver figura 3-10). Estas dos bombas tienen buena hoja de servicios para pozos de profundidad moderada. Los mangos de madera tienen una serie de ventajas potenciales: posible economía en los costos, especialmente en las bombas de mango largo para pozos profundos; facilidad de reparación o reemplazo local; el desgaste en los puntos de basculación (pivot) tiende a ocurrir en el material más blando del mango, más bien que en los pasadores metálicos más costosos y difíciles de reemplazar.

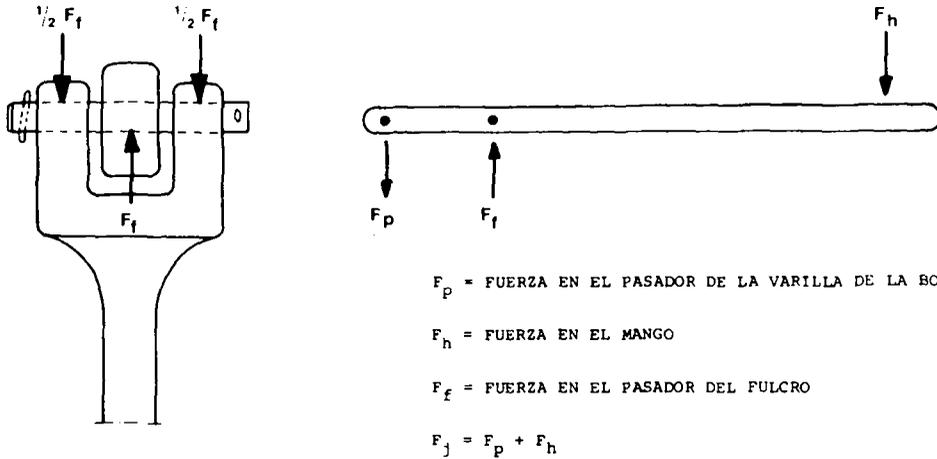


FIGURA 3-11 DIAGRAMA DE FUERZAS SOBRE EL FULCRO

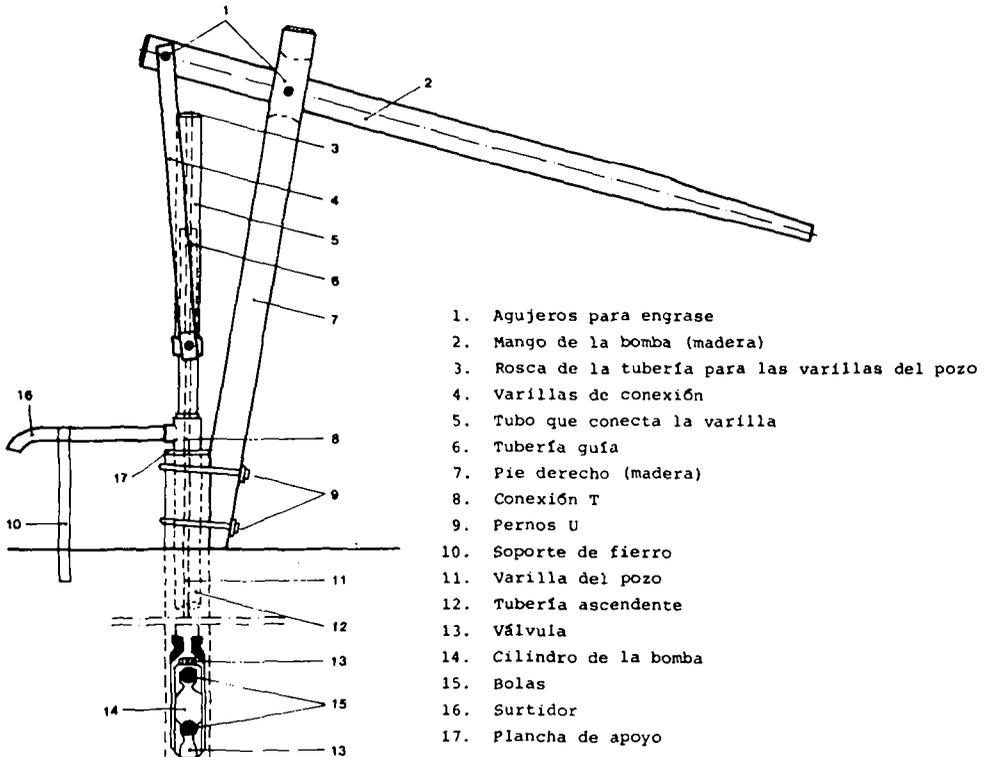


FIGURA 3-12 BOMBA DE MANO "KENYA" (TIPO POZO PROFUNDO)  
(Antes Bomba de Mano "Uganda")

### 3.7 CONEXIONES, PASADORES Y COJINETES

Algunas fallas que se producen en las bombas tienen su origen en las uniones conectadas en pasadores, y se deben a: (1) mal diseño, (2) fabricación de baja calidad, (3) mantenimiento deficiente, en especial mala lubricación, y (4) vandalismo y pillaje. Las bombas de mano tienen de una a cinco o más de tales conexiones (ver figuras 3-8 y 3-9).

#### 3.7.1 Cojinetes

Las fallas en los empalmes debidas al mal diseño son casi siempre el resultado de sobrecargar los cojinetes del pasador o las chumaceras, es decir que los cojinetes son demasiado pequeños para las cargas impuestas. El tipo de cojinete más corrientemente usado (y el más barato) en las bombas de mano es la chumacera simple o cojinete de camiseta ilustrado en la figura 3-13. El diámetro D y la longitud L del cojinete dependen de la magnitud de la fuerza radial F y de la presión de apoyo admisible P, para la combinación de materiales usados en la chumacera y el cojinete. O, resumiendo, para cualquier sistema de elementos apropiados, la presión de apoyo para un cojinete simple es:

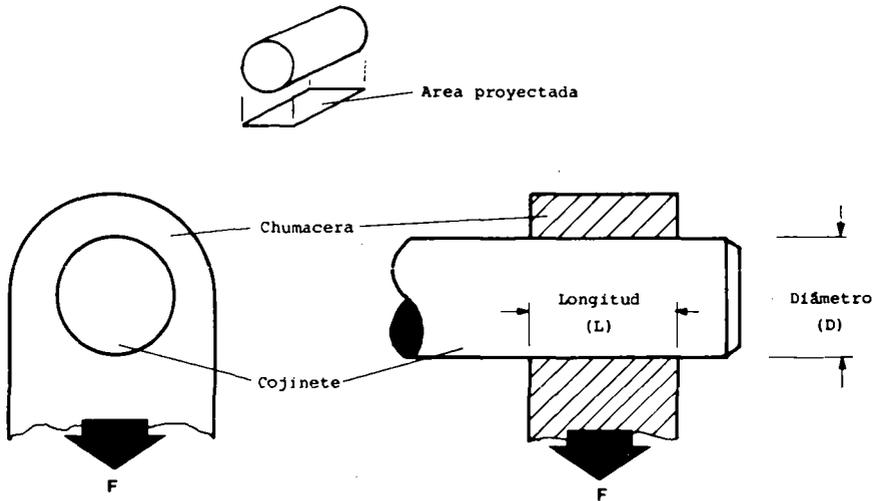
$$P = \frac{F}{LD} \dots\dots\dots (3-18)$$

- donde P es la presión de apoyo
- F es la fuerza radial
- L es la longitud del cojinete
- y D es el diámetro del cojinete

Para cojinetes de acero o fierro fundido, en chumaceras de fierro fundido, la presión de apoyo no debe exceder las 100 libras por pulgada cuadrada, psi (70 kg/cm<sup>2</sup>). Para acero o madera dura esa presión no deberá sobrepasar las 30 psi (20 kg/cm<sup>2</sup>).\*  
Ejemplo: Dada una bomba de mano, de fierro fundido, con mango simple, de dos pasadores, de una sola pieza (similar a la figura 3-6). La fuerza F en el pasador de la varilla de la bomba es 150 lb (68 kg) y la ventaja mecánica del mango de fierro fundido de 1 pulgada x 3 pulgadas (25 mm x 76 mm) es de 4 a 1. La presión de apoyo admisible es 100 psi (70 kg/cm<sup>2</sup>).

\* N. del T.  
Esta equivalencia no corresponde al factor de conversión respectivo dado en el Anexo E.

## CARGA SOBRE EL COJINETE



F = FUERZA RADIAL

P = PRESION DE APOYO

AREA PROYECTADA = L D

PRESION DE APOYO = CARGA POR UNIDAD DE AREA PROYECTADA

O SEA

$$P = \frac{F}{L \cdot D}$$

FIGURA 3-13 CALCULO DE LA PRESION DE APOYO PARA  
COJINETES SIMPLES

Dimensionar los dos cojinetes de acero del fulcro y los dos cojinetes (el del pasador de la varilla de la bomba y el del pasador del fulcro) del mango de la bomba. (Ver figura 3-10).

Solución: Fuerza en la varilla de la bomba (dada)  $F_p = 150 \text{ lb}$

$$\text{Fuerza en el mango } F_h = \frac{F_p}{VM} = \frac{150}{4} = 37.5 \text{ lb}$$

$$\text{Fuerza sobre el fulcro (mango) } F_f = F_p + F_h = 150 + 37.5 = 187.5 \text{ lb}$$

$$\text{Fuerza sobre el fulcro (a cada lado del mango) } \frac{1}{2} F_f = \frac{187.5}{2} = 93.8 \text{ lb}$$

$$P = \frac{F}{LD}, \text{ ó, } LD = \frac{F}{P}, P \leq 100 \text{ psi para acero sobre hierro fundido}$$

y  $L_p D_p = \frac{F_p}{P} = \frac{150 \text{ lb}}{100 \text{ psi}} = 1.5 \text{ pulg}^2$

$$L_f D_f = \frac{F_f}{P} = \frac{187.5 \text{ lb}}{100 \text{ psi}} = 1.88 \text{ pulg}^2$$

$$L_{\frac{1}{2}f} D_{\frac{1}{2}f} = \frac{\frac{1}{2} F_f}{P} = \frac{93.8}{100} = 0.94 \text{ pulg}^2$$

El espesor del mango es dado = 1.00 pulgada (25 mm)

Por lo tanto  $L_p = L_f = 1.00 \text{ pulgada}$

$$y D_p = \frac{L_p D_p}{L_p} = \frac{1.5 \text{ pulg}^2}{1.00 \text{ pulg}} = 1.5 \text{ pulg}$$

$$y D_f = \frac{L_f D_f}{L_f} = \frac{1.88 \text{ pulg}^2}{1.00 \text{ pulg}} = 1.88 \text{ pulg}$$

Redondeando a tamaño estándar de pasador  $D_f = 2.0 \text{ pulgadas}$

Con el fin de minimizar la variedad de tamaños de pasadores de reserva

$D_p$  también = 2.0 pulgadas

$$L_{\frac{1}{2}f} = \frac{L_{\frac{1}{2}f} D_{\frac{1}{2}f}}{D_f} = \frac{0.94 \text{ pulg}^2}{2 \text{ pulg}} = 0.47 \text{ pulg, digamos } \frac{1}{2} \text{ pulg}$$

Ejemplo: Dada la misma bomba de mano, pero con todos los pasadores de 1" (25 mm) de diámetro, ¿cuál es la máxima presión de apoyo?

Solución: Del ejemplo anterior obtenemos que la máxima presión de apoyo en el pasador del fulcro será:

$$P = \frac{F_f}{L_f D_f} = \frac{187.5 \text{ lb}}{(1.00 \text{ pulg})(1.00 \text{ pulg})} = 187.5 \text{ psi}$$

Nota: (1) Si los agujeros hechos en el mango para las chumaceras son demasiado grandes, se puede originar una sobrecarga en el mango. Pueden reducirse dichos esfuerzos aumentando el ancho o el espesor del mango (es típico achaflanarlo en la zona de la chumacera).

- (2) Para cojinetes que se lubrican con grasa se prefieren generalmente cojinetes largos (aquéllos donde la relación L/D es mayor que 1), por su mejor retención del lubricante. El rediseño del mango de la bomba siguiendo la sugerencia de la nota (1) también haría esto posible.

El diseño de cojinetes de chumacera para maquinaria moderna de alta velocidad tiene un sólido fundamento científico que se basa en la lubricación hidrodinámica con una película de aceite interpuesta entre piezas que se mueven ajustadas pero sin hacer contacto. El cojinete se sustenta sobre una película de aceite y no sobre la chumacera, y la resistencia al movimiento la oponen la viscosidad del lubricante interpuesto, la velocidad y la carga.

Los cojinetes de chumacera utilizados en la gran mayoría de las bombas de mano hoy en día no tienen lubricación hidrodinámica; en cambio operan haciendo contacto continuo entre el cojinete y la chumacera bajo condiciones de lubricación marginal o de intercaras. La lubricación marginal en los cojinetes de las bombas de mano se debe a:

- (1) Ajuste relativamente suelto entre el eje del cojinete y el hueco de la chumacera. Para bombas de mano se permite un juego de  $\frac{1}{32}$  pulg (0.8 mm) en los cojinetes, que es diez o más veces mayor al necesario para la lubricación de intercaras. Esto tiene en cuenta los mayores costos que significan ajustes y tolerancias más severos y la inhabilidad de muchos fabricantes de bombas de mano para satisfacer normas de fabricación más rígidas.

- (2) Se relaciona al punto anterior la necesidad de poder armar e intercambiar partes y componentes en planta y en el campo. Un examen de la figura 3-10 demuestra que el eje central de tres chumaceras debe alinearse en ángulo recto al eje de la bomba para que el pasador encaje a través del fulcro. En algunos diseños (que deben desalentarse) el pasador del fulcro debe atravesar dos agujeros adicionales en la tapa superior de la bomba - haciendo un total de 5 agujeros.

- (3) Las paredes relativamente rugosas de la chumacera y/o del cojinete, que pueden tener irregularidades más altas que el espesor de la película de aceite. Las asperezas rompen la continuidad de la película de aceite y rozan entre ellas, separadas por películas de aceite de una o dos moléculas de espesor. Aumenta la fricción y con ella el calor y el desgaste.

- (4) La velocidad lenta de la acción recíproca de las bombas de mano es contraproducente para que la película de aceite se forme en la mejor condición.

- (5) Un inadecuado servicio de lubricación, que puede incluir no sólo una frecuencia inconveniente sino el empleo de lubricantes mal escogidos o de baja calidad.

Bajo condición de lubricación de intercaras, el cojinete y la chumacera están en contacto parcial y la selección de ambos materiales puede ser decisiva. El cuadro 3-5 presenta una lista de coeficientes de fricción de diversos materiales usados en las bombas de mano. Se ve inmediatamente la importancia que tiene la lubricación.

CUADRO 3-5

COEFICIENTES DE FRICCIÓN DESLIZANTE

MATERIALES	COEFICIENTE DE FRICCIÓN DESLIZANTE	
	Seco	Grasoso
Acero duro sobre acero duro	0.42	0.029
Acero duro sobre babbitt (ASTM No. 1)	0.33	0.16
Acero dulce sobre acero dulce	0.57	0.09
Acero dulce sobre fierro fundido	0.23	0.133
Bronce amarillo sobre fierro fundido	0.30	--
Bronce sobre fierro fundido	0.22	0.077
Fierro fundido sobre fierro fundido	0.15	0.070
Fierro fundido sobre roble	0.49	0.075
Cuero sobre fierro fundido	0.56	0.36 (agua)
	--	0.13 (aceite)
Plástico laminado sobre acero	0.35	0.05
Caucho ranurado apoyando sobre acero	--	0.05
Empaquetadura de la caja de estopas de cáñamo o algodón	--	0.06 a 0.11

Según Fuller.

Con lubricación marginal, la elección de materiales debe basarse en su resistencia al desgaste y su capacidad de proveer un bajo coeficiente de fricción. Normalmente, el uso de materiales similares que rozan entre sí da por resultado un desgaste excesivo. El fierro fundido y el acero, sin embargo, constituyen excepciones, particularmente si son de diferente dureza.\* Cuando hay libertad de elección, se prefieren materiales de mayor dureza. Otras propiedades deseables incluyen habilidad para absorber aceite; plasticidad suficiente como para acomodarse a pequeñas irregularidades y para resistir rayaduras; resistencia estructural; resistencia a la corrosión; resistencia a la fatiga; alta conductividad térmica; propiedades antiadhesivas; y, demás está decirlo, bajo costo. Ningún cojinete de chumacera tendrá jamás todas estas características; por lo tanto, el proyectista debe elegir

\* La dureza de Brinell, ya sea para la chumacera o el cojinete, deberá ser por lo menos 150.

los materiales que mejor satisfagan las exigencias más importantes: durabilidad; resistencia; y costo favorable.

Aparte del acero y el fierro fundido, hay otros materiales para cojinetes entre los que se incluyen metales babbitt, bronce y otras aleaciones metálicas, y diversos no metálicos tales como madera, plásticos, incluidos nilón, fluorocarbonos (teflón) y epoxis y tejidos rellenos de epoxy, caucho y piedra. Las aleaciones metálicas se usan como forro de la chumacera y generalmente exigen ajustes estrechos, requieren herramientas especiales para su reemplazo en el campo, y son más caras que sus contrapartes de acero y fierro fundido (ver cuadro 3-6). Con la posible excepción de la madera, las aleaciones no metálicas no son muy usadas en las bombas de mano. Hay fundas de nilón en uso en una bomba ampliamente comercializada, pero la información sobre su rendimiento indica que éste es variable. Muchas bombas de mano utilizan mangos de madera, pero en la mayoría de los casos, las "chumaceras" tienen un recubrimiento tubular metálico. Varios de estos materiales son auto-lubricantes, o susceptibles de lubricarse con compuestos sólidos de larga duración.

Los cojinetes de chumacera deben vencer la fricción deslizante. Otra categoría de cojinetes denominados antifricción ruedan contra la fricción de rodadura. Un ejemplo corriente es el caso del cojinete de bolas empleado en los ejes de los vehículos. Estos cojinetes, generalmente de acero, son fabricados por firmas especializadas. Tienen relativamente poca fricción, poco desgaste y larga vida. Son relativamente más costosos (ver cuadro 3-6), requieren ajustes precisos y tolerancias estrechas, requieren de herramientas especiales para su instalación y reemplazo y su lubricación es obligatoria, aunque, si están adecuadamente sellados, pueden funcionar meses sin necesidad de relubricación. Las bombas caras, como la que se muestra en la figura 3-9(e), emplean invariablemente cojinetes de bolas o de rodillos.

Con la posible excepción del desgaste de las empaquetaduras de la taza del cilindro, las causas más frecuentes de paralización de servicio de las bombas de mano se deben a fallas en los cojinetes de la armadura del mango y del soporte de la bomba. Aún así, son poco costosos en relación a otros componentes de la bomba. El perfeccionamiento de los cojinetes en los modelos de bombas existentes, aunque

CUADRO 3-6

COSTOS DE COJINETES ESPECIALES ADQUIRIDOS A FABRICANTES (DE COJINETES)

TIPO DE COJINETE	DIMENSIONES (Pulgadas)	COSTO UNITARIO (Dólares EUA)
COJINETE DE CHUMACERA CON ACOPLAMIENTO		
Impregnado en aceite	0.627 DI 0.878 DE 3/4 largo	EUA\$0.33
Bronce	5/8 DI 7/8 DE 3/4 largo	EUA\$0.60
Compuesto de teflón	0.630 DI 0.876 DE 3/4 largo	EUA\$1.14
Nilón negro	5/8 DI 3/4 DE 3/4 largo	EUA\$0.14
COJINETES ANTIFRICCION		
Cojinete de bolas (Precisión)	5/8 DI 1 1/4 DE 1/2 ancho	EUA\$3.31
Cojinete de bolas (Sin pulir)	5/8 DI 1 5/8 DE 1/2 ancho	EUA\$0.86
Cojinete de agujas	5/8 DI 1 3/16 DE 3/4 ancho	EUA\$0.92
<p>Nota: Los precios están referidos a lotes de 500 comprados en fábricas de Estados Unidos con fecha julio de 1976.</p> <p>Fuente: R.D. Fannon, Jr. (Comunicación personal)</p>		

sea solamente para hacerlos más grandes, constituye frecuentemente la mejora individual más efectiva que se pueda hacer en relación a su costo. Ajustes más precisos, mejor lubricación (incluyendo posiblemente retenes de aceite, graseras, mechas y baños de aceite, cojinetes estriados y otras características raramente encontradas en las bombas de mano) y chumaceras de fierro fundido templadas en fuego (calentándolas al rojo cereza y enfriándolas en agua) son medidas prometedoras.

### 3.7.2 Pasadores

La práctica muy común de usar como pasadores pequeños trozos de barras de acero de refuerzo es, obviamente, autodestructiva. Los pasadores deben ser lisos y duros, preferiblemente de aceros al carbono austeníticos o perlíticos. Pueden obtenerse pasadores de tamaño estándar con tratamiento en su superficie para reducir el desgaste. Sin embargo, es mejor, por lo general, que se gasten los pasadores antes que sus chumaceras. Es más fácil reemplazar los pasadores que los mangos, fulcros, articulaciones y empalmes de la varilla de la bomba.

### 3.7.3 Fijadores

Hay dos tendencias respecto a los fijadores de las bombas de mano - fijadores roscados y fijadores de pasador.

Por lo general, en el mercado se encuentran pernos y tuercas roscadas en tamaños estándar, que frecuentemente son más baratos y su recambio y reposición son más fáciles de efectuar que si se trata de pasadores. Sin embargo, la calidad de la rosca a menudo deja que desear y como los fijadores roscados pueden usarse para otros propósitos, aumenta el riesgo de robos.

Los pasadores sin rosca mantenidos en su lugar por una sólida chaveta hendida son menos susceptibles de ser robados y evitan el problema de las roscas de mala calidad. Los pasadores de grampa elástica, que se sacan únicamente con herramientas especiales, pueden eliminar por completo el pillaje o robo de los pasadores. Los pasadores que se fijan mediante tornillo de presión, por lo general no son seguros.

Los fijadores, en particular aquéllos acoplados a la varilla de la bomba, no deben aflojarse mientras se encuentran en uso. Puede usarse ventajosamente una contratuerca como factor de seguridad. Diversos tipos de contratuercas incluyen:

(1) Tuerca de presión - tuerca delgada que se usa en el perno o varilla roscadas debajo de la tuerca.

(2) Tuerca encastillada - es una tuerca con una ranura radial que recibe una chaveta hendida que pasa a través de un orificio diametral perforado en el perno o varilla.

(3) Contratuerca de giro libre - es una tuerca que gira libremente sobre un perno o varilla macho hasta que se asienta contra la base; si se continúa apretando se produce una acción de seguro mediante un efecto de resorte en la tuerca que hace que la sección roscada distal de la tuerca se combe hacia dentro atrapando el perno a presión.

(4) Contratuerca de torque predominante - es una tuerca que funciona por uno de varios efectos: por deformación de un encastre elástico, o por desbarajuste de los hilos de la rosca de la tuerca, etc.

Las contratuercas también pueden usarse para evitar la rotación de los pasadores del mango, dispositivo que puede dar como resultado el desgaste del pasador más bien que el de la armadura del mango de más difícil reposición. La rotación de los pasadores puede ser evitada mediante resaltes ("orejas") moldeados en la cara exterior de un muñón.

### 3.8 SOPORTE DE LA BOMBA (Estándar, Baril, Cabezal, Hidrante, Cuerpo de Bomba, Columna)

#### 3.8.1 Funciones

El soporte de la bomba tiene diversas funciones que condicionan su diseño:

(1) A través de su base, alinea y fija la bomba al pozo. La base del soporte de la bomba, que puede ser o no componente integrante del soporte, se fija al pozo mediante una conexión roscada al entubado del pozo, o por medio de pernos de anclaje al cimiento de la losa mandil. Las roscas y los pernos de anclaje deben tener dimensiones compatibles. La fijación roscada debe tener por lo menos 2 pulgadas (5 cm). En cualquiera de los dos sistemas, el entubado del pozo debe sobresalir por lo menos 2 pulgadas (5 cm) por encima del cimiento para evitar que aguas contaminantes ingresen al pozo.

(2) Proporciona una plataforma de altura conveniente para la armadura del mango de la bomba, y, en particular, para el fulcro, el cual, por lo general, es forjado de una pieza con el soporte de la bomba, o soldado o empernado a ésta. Si se presentan esquinas interiores agudas, ranuras, estrías o grietas en el punto de encuentro del fulcro con el soporte de la bomba o con la tapa de la bomba, ello puede dar lugar a concentraciones de esfuerzos y a propiciar la falla estructural del fulcro. En las bombas de mango muy largo o en aquéllas con soporte de material plástico, el fulcro puede estar anclado en forma separada y no fijado al soporte de la bomba.

(3) Proporciona una plataforma de suspensión para la tubería de bajada y para las armaduras de la varilla/cilindro/émbolo/válvulas de la bomba. La tubería de bajada usualmente se fija al soporte de la bomba por medio de tubos roscados. La varilla de la bomba y sus accesorios cuelgan del pasador del mango/varilla de la bomba. (Pasador de articulación en caso de mangos rotativos). Todas las fuerzas previamente descritas tienden a comprimir y/o a inclinar el soporte de la bomba.

(4) Provee protección sanitaria para el pozo y el agua, protegiendo físicamente a ambos de la contaminación externa en la parte superior del pozo - si su diseño, instalación y equipamiento apropiados incluyen una tapa cerrada. (Las bombas abiertas arriba, tipo "cántaro", no ofrecen adecuada protección). El soporte y su surtidor ("grifo") proporcionan una vía de agua que va desde el tubo de bajada hasta el recipiente del consumidor.

(5) Para muchas bombas de pozo superficial, el soporte de la bomba también sirve como cilindro de la bomba. Usualmente es esencial pulir o revestir la superficie interior, para prevenir un desgaste excesivo. Es posible usar el mismo soporte para bombas de pozo superficial y bombas de pozo profundo. (Un ejemplo de esto es la bomba AID/Battelle).

### 3.8.2 Surtidor de la Bomba (Espita, Espiche, Cañilla Grifo, Caño, Orificio de Salida, Hidrante)

El surtidor debe estar diseñado en forma tal que prevenga la contaminación, voluntaria o accidental, del pozo, y con dimensiones compatibles con las de los recipientes de los consumidores. La protección contra la contaminación usualmente aprovecha la gravedad - la abertura mira hacia abajo, y el surtidor sale del soporte hacia afuera en dirección inclinada u horizontal. Ocasionalmente se inserta una criba en el surtidor.

La descarga del surtidor debe efectuarse a suficiente altura sobre la plataforma del pozo y a suficiente distancia del soporte de la bomba para que haya espacio para los recipientes de agua de uso común en el lugar. Un surtidor demasiado alto puede dificultar el llenado de los recipientes cuando hace mucho viento. Algunas localidades pueden llegar a requerir la erección de paredes cortaviento alrededor del surtidor. Donde sea necesario deberán tenerse en cuenta el uso y las dimensiones de los recipientes transportados por animales. El surtidor debe ser estructuralmente lo bastante resistente como para soportar el peso del mayor recipiente lleno que se le pueda apoyar o suspender.

Los surtidores que trabajan con bombas impelentes deben estar dotados de válvula y ser roscados. Algunos soportes de bombas impelentes están equipados con conexiones para dos surtidores.

### 3.8.3 Otras Consideraciones

El soporte de la bomba debe tener una estructura resistente y durable capaz de soportar el uso y abuso continuos de la vida de la comunidad por espacio de muchos años. La mayoría de las bombas de mano también están totalmente expuestas

a la intemperie.\* Su diseño por lo general se basa más en limitaciones de fabricación que en un análisis estructural detallado. Las fallas más frecuentes de los soportes de bomba se deben al empleo de materiales de baja calidad o a malos procedimientos de fabricación o fundición.

### 3.9 TAPA DE LA BOMBA (Cubierta, Casquete, Cabezal, Anillo, Capote, Casco)

#### 3.9.1 Funciones

La tapa de la bomba, cuando se usa (ver figura 3-14), puede cumplir alguna de las siguientes funciones:

(1) Cuando tiene caja de estopas, la tapa de la bomba puede sellar la parte superior de la bomba contra una posible contaminación. Aún sin caja de estopas o sin guía vertical para la varilla de la bomba, el uso de una tapa ranurada reduce el área descubierta en la parte superior de la bomba. La ranura permite el movimiento lateral de la varilla de la bomba durante el bombeo.

(2) El mismo sellado que proporciona la caja de estopas permite que la bomba (mediante una extensión del surtidor) trabaje como bomba impelente, es decir, que eleva el agua por encima del nivel del soporte de la bomba.

(3) La tapa de la bomba y su caja de estopas o casquillo de guía son usados a menudo como guía de la varilla de la bomba. En la figura 3-14 este arreglo se utiliza para restringir el movimiento lateral de la varilla de la bomba.

(4) La tapa sirve generalmente como soporte del fulcro y de las columnas guías de la varilla de la bomba.

La tapa de la bomba puede fijarse al soporte mediante pasadores, pernos o soldaduras, y debe ser tan resistente y estable como el soporte. Es posible que las superficies de contacto requieran torneado y/o una arandela para evitar el agrietamiento de la tapa, al ajustarse los pernos, y para asegurar un cierre hermético.

#### 3.9.2 Caja de Estopas, Tuerca, Collarín de la Caja de Estopas y Empaque

La caja de estopas sirve como un sello para controlar cualquier fuga de la parte superior del soporte de la bomba, en el caso de las bombas impelentes, y también sirve como cojinete y guía para la varilla de la bomba. (Ver figura 3-14, también figuras 3-8, 2-4; las figuras 4-5 y 4-6 muestran la forma de reemplazar el empaque de la caja de estopas).

La parte visible de la caja de estopas es usualmente una tuerca, concéntrica con la varilla de la bomba, y que se ajusta hacia abajo comprimiendo una empaquetadura

---

\* Debe proveerse lo necesario para desaguar el pedestal de la bomba y el tubo de bajada en los climas helados.

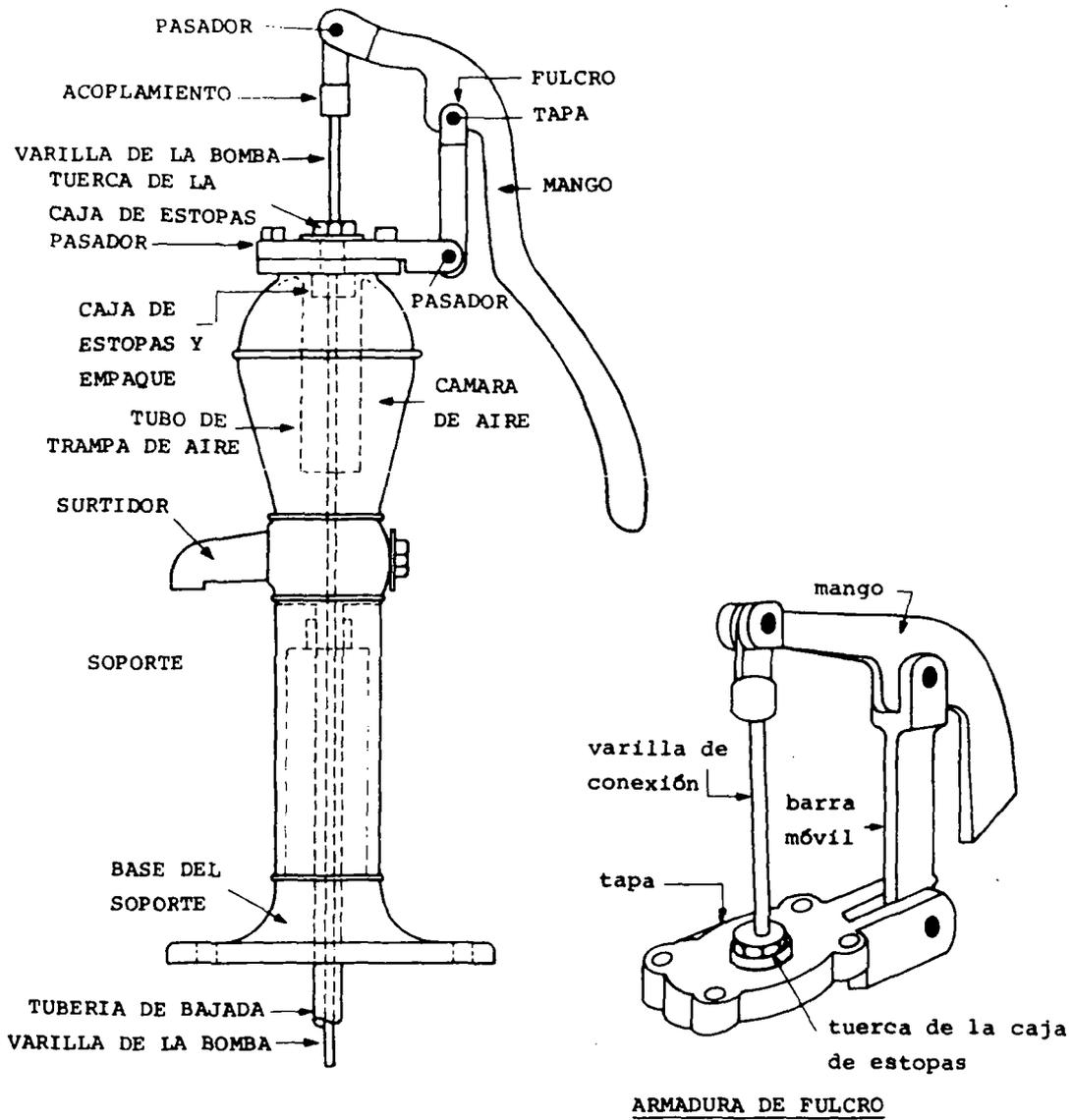


FIGURA 3-14 BOMBA DE MANO CON CAJA DE ESTOPAS Y VARILLA GUIADA QUE PUEDE USARSE COMO BOMBA IMPELENTE

flexible alrededor de la varilla de la bomba. La empaquetadura ajustada, fabricada por lo general de cáñamo trenzado o lona, produce un sello hidráulico entre la varilla de la bomba y el soporte de la bomba. Puede proveerse un anillo cilíndrico o roldana, llamado collarín prensaestopas, entre la tuerca y la empaquetadura.

La empaquetadura es lubricada y enfriada por el agua (la fricción con la varilla de la bomba en movimiento produce calor y acorta la vida de la empaquetadura). Por lo tanto, la tuerca debe ajustarse sólo hasta el punto en que el escape de agua por la varilla de la bomba sea casi pero no totalmente contenido. Pueden usarse también grafito y grasa, pero es esencial que se produzca una fuga lenta de agua. Cuando la bomba se encuentra depositada en almacén se le debe quitar el grafito; de otro modo se pueden producir picaduras en la varilla de la bomba. Cuando la varilla de la bomba está picada o rayada, se acelera el desgaste del empaque.

En la figura 2-4 se ve que se ha colocado un tubo de trampa de aire alrededor de la caja de estopas. Esto origina una cámara de aire en la parte alta del soporte de la bomba. Según algunos fabricantes, la compresión del aire del tubo de trampa durante el bombeo da por resultado un funcionamiento más suave de la bomba. Con frecuencia las bombas impelentes de propulsión mecánica están provistas de cámaras de aire externas.

### 3.10 VARILLA DE LA BOMBA (Varilla de Conexión, Varilla del Embolo, Varilla del Pistón, Varilla Aspiradora, Varilla del Pozo)

La varilla de la bomba conecta el mango (o cigüeñal) a la armadura del émbolo. La varilla y sus conectores (usualmente roscados) deben tener resistencia suficiente para soportar las cargas descritas en la sección 3.4. Durante el ascenso del émbolo, la varilla está sometida a tracción. Durante el descenso del émbolo, la varilla de la bomba estará trabajando a compresión, si la operación del mango imprime a la varilla y al émbolo mayor velocidad que la de caída libre. Sin embargo, son los esfuerzos de tracción los que generalmente determinan el diámetro de la varilla.

Los diámetros de las varillas de las bombas usualmente se redondean al valor estándar inmediato superior. Por lo general, las varillas de las bombas de mano de pozo superficial son de acero pulido o de bronce cuando se adquieren del

fabricante; si se compran en el mercado local es probable que sean de acero dúctil corriente. En las bombas de mano de pozo profundo se emplean habitualmente varillas de acero galvanizado, roscadas en sus extremos. Las varillas para bombas que se encuentran por lo común en el mercado tienen longitudes de 10 ó 20 pies (3 ó 6 metros) y diámetros de  $\frac{7}{16}$  y  $\frac{1}{2}$  pulgadas (11 y 13 mm). Una varilla de acero de  $\frac{1}{2}$  pulgada (13 mm), bien roscada, debe poder soportar una fuerza de 400 lb (180 kg).

La madera se emplea con frecuencia en varillas de bombas que funcionan con molino de viento y con el cilindro destapado. El uso de madera más bien que de acero tiene la ventaja de reducir el peso de la varilla por efecto de su flotabilidad. Además, la madera no se cristaliza, por lo tanto no se quiebra en los empalmes como ocurre con las varillas de acero. La mayor sección recta que requiere la varilla de madera, típicamente  $1\frac{1}{2}$  pulgada (38 mm) de diámetro octogonal, le da mayor rigidez a la compresión y crea un bombeo de doble efecto parcial (bombeando tanto en la carrera ascendente como en la descendente). El costo de las grandes piezas de empalme de acero y los tornillos, necesarios para unir las varillas de madera, reduce las economías que pudieran esperarse. Asimismo, se requiere usar una tubería de bajada más grande.

Los principales problemas operativos que presentan las varillas de las bombas son que pueden desconectarse del mango, o del émbolo, o entre los empalmes, y la corrosión. El problema de las desconexiones puede aminorarse usando contratuercas en los acoplamientos (ver sección 3.7.3), o mediante un roscado y empalme de rosca apropiados. Se mejora la resistencia a la corrosión empleando acero galvanizado o aleaciones anticorrosivas, las que pueden ser de uso forzoso cuando el agua es altamente ácida o alcalina.

### 3.11 TUBERÍA DE BAJADA (Tubería Ascendente, Tubería de Elevación, Conducto Montante, Tubería de Descarga, Tubería de Succión-Elevación)

La tubería de bajada sostiene el cilindro en el pozo y sirve además como tubería de descarga del cilindro (ver figura 3-1). Los cilindros de tipo cerrado se extraen del pozo izando la tubería de bajada. En los cilindros de tipo abierto, la armadura del émbolo (y en algunas bombas la válvula de entrada o succión) se extrae a través de la tubería de bajada utilizando la varilla de la bomba para subirla.

Mientras mayor sea el diámetro de la tubería de bajada, menor será la pérdida de carga por fricción, pero mayor el costo. Para tuberías de bajada de longitud corta o media, se elige, de manera usual, un diámetro aproximadamente igual a la mitad del diámetro interior nominal del cilindro, tal como se muestra en el cuadro 3-7, pero nunca inferior a  $1\frac{1}{4}$  pulgada (32 mm). Para tuberías de bajada muy largas, en particular aquéllas en las que la varilla de la bomba tiene un diámetro muy grande, el diámetro deberá ser mayor al indicado en el cuadro 3-7.

CUADRO 3-7

DIAMETRO MINIMO DE LA TUBERIA DE BAJADA

DIAMETRO NOMINAL DEL CILINDRO		DIAMETRO NOMINAL DE LA TUBERIA DE BAJADA	
Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros
Menor de $3\frac{1}{2}$	Menor de 90	$1\frac{1}{4}$	30
$3\frac{1}{2}$	90	$1\frac{1}{2}$	40
4	100	2	50

Nota: (1) Debe coordinarse el tipo y diámetro de rosca en el cilindro con el enrosque de la tubería de bajada.

(2) Los diámetros de la tubería de bajada deben aumentarse cuando se usan bombas con varilla de madera o varilla de acero de diámetro mayor de  $\frac{1}{2}$  pulgada (13 mm), o cuando la longitud de la tubería de bajada exceda los 75 pies (25 metros).

Para bombas de mano de determinada configuración las funciones de la tubería de bajada, del cilindro y del entubado del pozo están combinadas en un solo tubo. La figura 6-5 es un ejemplo.

3.12 TUBERIA DE SUCCION (Véase también Tubería de Bajada)

Cualquier tubo ubicado debajo del cilindro es un tubo de succión. Como quiera que en un pozo profundo es preferible que el cilindro de la bomba esté por debajo del nivel de mayor depresión del agua, no debería ser necesario el tubo de succión

en las bombas para pozo profundo. Sin embargo, en algunos cilindros o válvulas de succión, puede ser necesario colocar un tubo de succión corto para instalar una criba en el orificio de entrada.

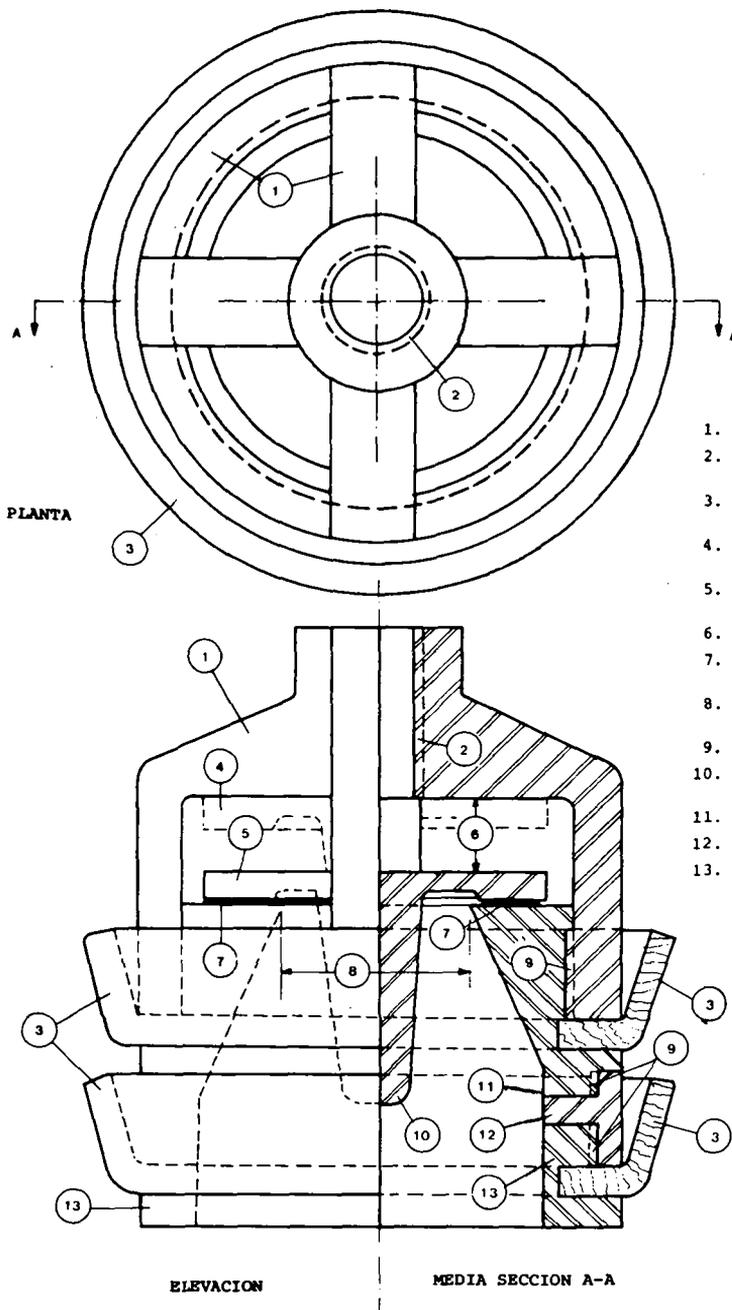
Cuando se trata de pozos superficiales, la tubería de succión con criba se dimensiona como si fuera tubería de bajada. Cuando el tubo de succión es largo, el funcionamiento de la bomba con frecuencia se hace difícil. Esto puede deberse a que el diámetro de la tubería de succión sea muy reducido o a que alguna obstrucción u otra restricción estrangule parcialmente la tubería. En este caso, la acción del émbolo (y del mango) puede semejarse a la de un resorte en tensión. Si el caudal de agua que entra al cilindro es menor que el volumen desplazado, se crea un vacío parcial y el émbolo caerá de golpe para restaurar el equilibrio si el mango es soltado bruscamente al llegar a su punto más bajo. El rechazo del mango al quedar en libertad puede ser peligroso.

Tanto el tubo de succión como la tubería de bajada deben ser herméticos para mayor eficiencia. La capacidad de la bomba se reduce seriamente cuando existen escapes. A veces, en los climas muy fríos, se usan agujeros de derrame en la tubería de bajada para protegerla durante los períodos de inactividad.

### 3.13 ARMADURA DEL EMBOLO (Embolo, Pistón, Cubo, Cangilón, Aspirador)

La armadura del émbolo eleva el agua hacia el surtidor de la bomba durante su carrera ascendente y sustenta la válvula de retención de descarga (ver figura 3-15). Debe diseñarse sólida y de manera que guíe a la válvula en su abertura y en su cierre, que el reemplazo de las empaquetaduras de la taza sea fácil, y que su sección recta proporcione por lo menos tanta área de flujo hidráulico como la de tubería de bajada. Consta, por lo regular, de una cajuela o yugo de conexión con la varilla de la bomba, la válvula de retención de descarga, y la(s) empaquetadura(s) de la taza, su(s) contrabrida(s) y separador(es). Las empaquetaduras de la taza y las válvulas son consideradas en las secciones 3.14 y 3.15.

En las bombas de mano los términos "émbolo" y "pistón" se usan indistintamente. El término pistón puede ser el más estrictamente apropiado; sin embargo, émbolo es más usado para las bombas de mano.



LEYENDA

1. Cajuela o yugo de la válvula
2. Conexión de rosca para la varilla de la bomba
3. Empaquetadura de la taza del émbolo
4. Disco de la válvula en posición abierta
5. Disco de la válvula en posición cerrada
6. Carrera de la válvula
7. Asiento y roldana de la válvula
8. Diámetro del asiento de la válvula ( $D_v$ )
9. Roscas torneadas
10. Vástago y lastre del disco de la válvula
11. Contrabrida del émbolo
12. Separador
13. Contrabridas de la empaquetadura de la taza

FIGURA 3-15 DETALLE DE LA ARMADURA DEL EMBOLO

### 3.14 EMPAQUETADURAS DE LA TAZA (Taza, Cubos, Tazas del Embolo, Tazas del Pistón, Zapatillas, Tazas de Empaque, Zapatillas de Empaque)

Las empaquetaduras de la taza tienen una función principal - prevenir el escape entre el émbolo y las paredes del cilindro durante el bombeo (la carrera ascendente en la bomba de simple efecto). Se aplica cuero u otro material flexible sobre la cara del émbolo. (Ver la figura 3-15). Conforme el émbolo asciende el reborde de la taza presiona contra la pared del cilindro, sellándolo. El movimiento centrípeto del reborde de la taza durante el descenso disminuye la fricción y el desgaste. La fricción deslizante reiterada entre las tazas y el cilindro eventualmente desgastará del todo las tazas por lo que éstas deben reemplazarse periódicamente.

Las empaquetaduras de la taza deben ser no tóxicas; de larga duración; tener bajo coeficiente de fricción; ser resistentes a mohos, hongos y otros ataques biológicos; ser fácil y rápidamente disponibles; ser suficientemente flexibles para rellenar las irregularidades de las paredes del cilindro, incluso sus deformaciones, pero suficientemente rígidas para evitar que se reviertan al invertirse la dirección de los esfuerzos cuando el émbolo inicia su ascenso; ser resistentes al humedecimiento y secado cíclicos; tener bajo costo.

No hay empaquetadura de la taza que reúna completamente todos los requisitos. El cuero ha sido el material elegido a lo largo de los siglos y continúa siendo el que marca la pauta. El cuero es relativamente barato y se encuentra disponible por todo el orbe. Su duración como empaquetadura de la taza aumenta mucho si se elige adecuadamente el tipo del cuero (de preferencia del anca o lomo, la piel hacia afuera); si es bien afeitado, estregado, curtido y moldeado; y si se aplican aditivos (impregnación con cera derretida).

En algunos programas de pozos superficiales se están usando en la actualidad tazas de cloruro de polivinilo (PVC). Su principal ventaja parece ser su mayor durabilidad. No se pueden usar con cilindros de PVC. Otros materiales posibles son caucho, neoprene, y paño relleno de epoxy o elastomer.

El procedimiento más importante para reducir la fricción, y con ello el desgaste, es el uso de cilindros o revestimientos de cilindro de paredes lisas, de los que se trata con más detalle en la sección 3.16. La fricción también se puede aminorar mediante el control riguroso del diámetro de la empaquetadura de la taza.

En el caso de las tazas de cuero, el máximo diámetro exterior de la empaquetadura de la taza, antes de su instalación debe ser alrededor de  $\frac{1}{16}$  pulgada (1.6 mm) menor que el diámetro interior nominal del cilindro; las tazas de PVC deben ajustar con una luz ligeramente menor. La(s) contrabrida(s) de la(s) taza(s) y el(los) espaciador(es) deben ajustarse contra las tazas, pero no tanto como para que se produzca deformación. La presión de agua sobre la taza, durante la carrera del bombeo, despliega el reborde hacia afuera asegurando el contacto perimetral con la pared del cilindro.

El desgaste acelerado de la empaquetadura de la taza es una de las razones para poner guías a la varilla de las bombas de mano de pozo profundo. Frink y Fannon (1967), basados en amplia experimentación, informan que "... hubo más del doble de desgaste en las tazas de bombas (de pozo profundo) cuyas varillas no tenían guías, que en las tazas de bombas con varillas con guías" (p. 10).

Es práctica común usar tazas múltiples en pozos cuya profundidad es mayor de 100 pies (30 metros) añadiéndose una taza por cada 50 a 100 pies (15 a 30 metros). El aumento de carga incrementa el escape, lo que puede contrarrestarse con un sistema de tazas múltiples al crearse un sellado de tipo laberinto.

### 3.15 \*VALVULAS (Para los diferentes nombres, ver el texto)

#### 3.15.1 Función y Nomenclatura

Las bombas recíprocas de mano poseen por lo general dos válvulas dentro del cilindro; una válvula en la armadura del émbolo, la otra en la base o extremo de succión del cilindro. La válvula del émbolo es conocida también como válvula de descarga, válvula de salida, válvula elevadora. La válvula de succión es conocida frecuentemente como válvula de pie, y menos frecuentemente como válvula de la toma o válvula de entrada. Tanto la válvula del émbolo como la válvula de succión son válvulas de retención, es decir válvulas que limitan el flujo a un solo sentido; en el caso de los pozos, el vertical ascendente.

La válvula de retención del émbolo se cierra durante la carrera ascendente elevándose así el agua hasta el punto de descarga, y se abre durante la carrera

---

\* Las bombas de impulsión deben tener válvulas de retención de compuerta, de globo, u otras en el surtidor o en cualquier otra tubería de descarga. Esta sección no se ocupa de estas válvulas.

descendente para permitir el relleno que reemplaza el agua descargada durante el ciclo de bombeo anterior. La válvula de retención de succión se abre durante la carrera ascendente del émbolo y se cierra durante su carrera descendente (ver figura 2-2, que explica el principio básico de esta operación). La válvula de retención de succión también contribuye a mantener la bomba cebada, eliminando con ello el trabajo de tener que recebar para reiniciar el bombeo; los riesgos potenciales de recebar con agua contaminada; y los riesgos de que se sequen las empaquetaduras de la taza de cuero, las chapaletas y asientos de la válvula y las empaquetaduras del cilindro. (El humedecimiento y secado alternados del cuero acortan su vida útil).

Las válvulas también son llamadas de apertura y cierre según sea su mecanismo o discado. Las siguientes válvulas pueden ser usadas ya sea como válvulas de retención del émbolo o como válvulas de retención de succión (se ilustran varias de ellas en las figuras 3-15 y 3-16):

(1) La chapaleta (válvula de gozne o de charnela): es una válvula en la cual un disco horizontal flexible articulado, por lo general de cuero, abre y cierra sobre la abertura de la válvula. Esta es la más antigua y la menos cara de las válvulas para bombas y aún se usa ampliamente como válvula de retención de succión en las bombas de pozo superficial. La mayor desventaja es la necesidad de cambiar las chapaletas de cuero con mucha frecuencia. El neoprene reforzado es un material para chapaleta que promete mayor duración.

(2) La chapaleta mariposa: es una chapaleta articulada diametralmente que cubre dos o más aberturas de la válvula, o articulada concéntricamente en cuatro partes, cubriendo cuatro o más aberturas de la válvula. Sus ventajas son: mayor rapidez de apertura y cierre y una mayor área de flujo para el mismo esfuerzo.

(3) Válvula de charnela es otro nombre con el que se conoce la chapaleta.

(4) Válvula de vástago (de disco con movimiento vertical) ("T"): la abertura de la válvula es cubierta por un disco metálico horizontal que se eleva y desciende guiado por un vástago vertical o eje cuyo centro coincide con el centro de la abertura de la válvula. Si se hace un corte a través del disco y el vástago - que por lo general son de una sola pieza - se forma una "T". Esta válvula y la válvula de vástago alada, descrita a continuación, son las válvulas metálicas más usadas.

(5) Válvula de vástago (alada): en este caso el corte del vástago tiene forma de "x"; el máximo diámetro de la x puede aproximarse al diámetro de la abertura de la válvula. Las cuatro "alas" formadas por el vástago son en algunas ocasiones curvadas para fomentar la rotación del disco con el flujo ascendente del agua. Esta rotación puede contribuir a que sea más parejo el desgaste del disco y su ajuste en el asiento.

(6) Válvula alanceada: es una válvula de vástago alada en la que la dimensión vertical del vástago está aumentada desproporcionadamente. Las aletas se angostan gradualmente hasta convertirse, bajo el disco, en un punto redondeado. El asiento de la válvula es en declive para que coincida con la inclinación de las alas.

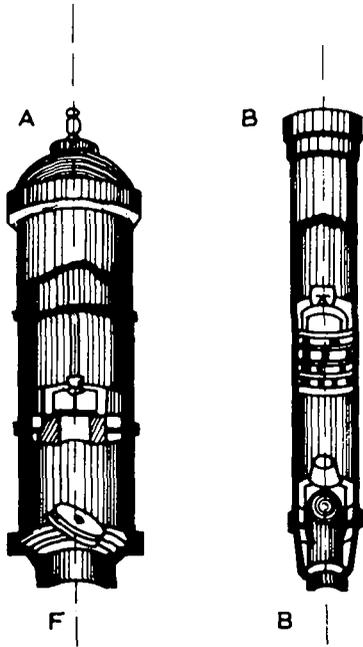


FIGURA 3-16 CILINDROS DE BOMBA Y SUS VALVULAS

Según: Henderson y Roberts

- A = Cilindro de tipo cerrado
- B = Cilindro de tipo abierto con válvula de bolas. Puede extraerse el émbolo sin sacar el cilindro del pozo.
- C = Válvula de vástago
- D = Válvula de carrete
- E = Válvula de resorte
- F = Válvula de charnela

Las zapatillas y las válvulas se desgastan en todos los tipos de cilindros y necesitan reponerse periódicamente.

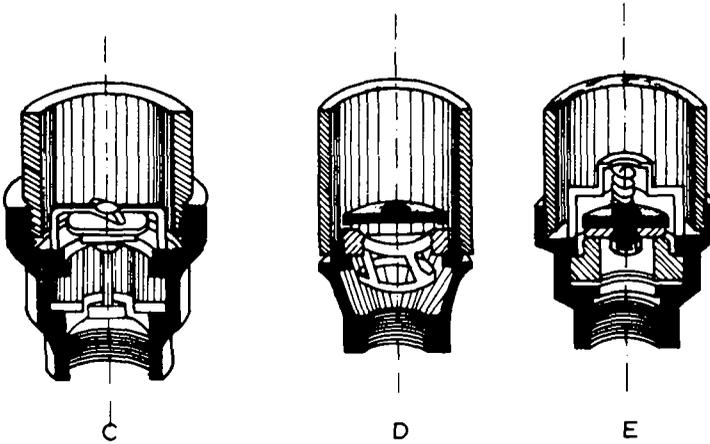


FIGURA 3-16 CILINDROS DE BOMBA Y SUS VALVULAS

Según: Henderson y Roberts

(7) Válvula de carrete: es una válvula de disco horizontal en la que el vástago central guiador es reemplazado por una pared vertical concéntrica próxima al perímetro del disco. Esta válvula puede estar diseñada para rotar. (Ver figura 3-16).

(8) Válvula de bola: en esta válvula la abertura no es cubierta por un disco, sino por una bola de metal u otro material de peso específico apropiado. Es usual que la bola sea guiada por una cajuela de nervaduras. Estas válvulas se recomiendan a veces para uso en pozos más profundos.

### 3.15.2 Asientos de la Válvula

El área perimétrica de la abertura de la válvula que hace contacto con la chapaleta, el disco o la bola, se denomina asiento de la válvula. El contacto debe ser hermético, especialmente en el caso de la válvula de retención de succión que debe soportar peso de agua durante toda la noche, para que la bomba se mantenga cebada.

Se pueden tomar varias medidas para asegurar un buen sellado: torneado cuidadoso del asiento de la válvula; torneado cuidadoso del disco o de la bola - las chapaletas de cuero no se tornean pero son auto-herméticas; y/o colocación de empaquetaduras flexibles en una o las dos partes que forman el sello. Asimismo, el uso de bordes biselados en vez de asiento plano y de válvulas pesadas puede mejorar el contacto en el asiento. También se podría accionar el cierre con un resorte, como en las bombas mecánicas rápidas, pero esto no ha encontrado acogida para su uso en las bombas de mano.

### 3.15.3 Aberturas de las Válvulas

Las aberturas de las válvulas deben ser amplias para minimizar las pérdidas de carga por fricción. Las válvulas deben cerrar rápidamente para reducir al mínimo el escape de agua. La velocidad de cierre es tanto más rápida cuanto más pequeñas sean las válvulas. Por lo tanto, en el diseño de la válvula se trata de encontrar el diámetro más conveniente para el cual la suma de la pérdida de carga, más la pérdida por escape de agua sea mínima. Además la abertura de la válvula está limitada por el diámetro del cilindro y por las necesidades de espacio para las empaquetaduras de la taza, las contrabridas, los separadores, las horquillas, cajuelas, vástagos, ejes y la varilla del émbolo. La predicción del rendimiento de una válvula presenta muchas incertidumbres.

A despecho de, o, debido a estas incertidumbres, hay algunos procedimientos empíricos útiles para el diseño. El área de la sección recta horizontal de la abertura del asiento de la válvula, de diámetro  $D_v$ , debe ser equivalente a 40-50 por ciento del área de la sección recta horizontal del cilindro, de diámetro  $D$ . Es decir:

$$\frac{\pi D_v^2}{4} = (1/2) \left( \frac{\pi D^2}{4} \right)$$

o sea  $D_v = 0.7 D$  ..... (3-19)

donde  $D_v$  es el diámetro de la abertura del asiento de la válvula  
y  $D$  es el diámetro del cilindro.

El flujo vertical a través de la abertura del asiento de la válvula será desviado a flujo horizontal por el disco, la bola o la chapaleta, una vez levantados de su asiento por el flujo de agua. Este flujo debe pasar a través de un cilindro vertical imaginario de diámetro  $D_v$  y altura  $L$  equivalente a la elevación total del disco. El área horizontal que atraviesa el flujo es equivalente al área de las paredes del cilindro imaginario. Como regla práctica, esta área debe ser igual al área del asiento de válvula atravesado por el flujo, es decir:

$$L \pi D_v = \frac{\pi D_v^2}{4}$$

o sea  $L = 1/2 D_v$  ..... (3-20)

donde  $D_v$  es el diámetro de la abertura del asiento de la válvula  
y  $L$  es la altura de la elevación del disco.

La chapaleta abierta está articulada en un extremo. Por lo tanto, su cilindro imaginario es truncado. Si  $L$  es la elevación máxima del extremo no articulado, entonces, siguiendo la misma regla:

$$\frac{L}{2} \pi D_v = \frac{\pi D_v^2}{4}$$

o sea  $L = 1/2 D_v$  ..... (3-21)

donde  $D_v$  es el diámetro de la abertura del asiento de la válvula  
y  $L$  es la máxima altura de elevación de chapaleta.

Puede colocarse un dispositivo de freno sobre la articulación de la chapaleta para limitar su elevación hasta el valor calculado minimizando así la flexión y el desgaste innecesarios (ver ejemplo ilustrativo en la "New N. 6 Pump" - "Nueva Bomba No. 6").

#### 3.15.4 Criba

Cuando es necesario, se coloca una criba debajo de la válvula de retención de succión. Protege la bomba contra el material en suspensión que puede haber en el agua y que puede causar desgaste excesivo u obstrucción. El área del flujo que atraviesa la criba debe ser por lo menos tres veces mayor que el de la tubería de bajada.

#### 3.15.5 Materiales

El cuerpo de la válvula es, en la mayoría de los casos, fabricado de fierro fundido o de bronce. La madera se usó a lo largo de muchos siglos. Diversos plásticos se muestran prometedores, pero su uso es mayormente experimental (con fecha de 1976). Los compuestos ferrosos no se deben usar con aguas altamente ácidas o alcalinas.

El material más usado para las chapaletas es el cuero. Este debe ser de una calidad igual a la descrita para la empaquetadura de la taza y las empaquetaduras de la tapa del cilindro. Las chapaletas, las empaquetaduras de la taza y las empaquetaduras de la tapa del cilindro también se conocen en conjunto como las "zapatillas" de la bomba. Hay materiales de origen sintético que se muestran prometedores para estos tres usos (ver sección 6).

### 3.16 CILINDROS

#### 3.16.1 Función

El cilindro es un tubo o tubería que aloja la armadura del émbolo y la válvula de retención de succión. El sello hidráulico, formado por el contacto móvil entre la pared del cilindro y las empaquetaduras de la taza del émbolo, crea un vacío parcial que hace posible la elevación del agua por aspiración (ver sección 2.2).

#### 3.16.2 Dimensiones

La longitud del cilindro es función de la longitud de la carrera del émbolo, la que, típicamente, es de 5 a 10 pulgadas (125 a 250 mm) para bombas de mano, hasta

muchas veces más larga para bombas de molino de viento. Se requiere longitud adicional para las tapas y para las armaduras del émbolo y de las válvulas de succión, para las tolerancias permitidas a las longitudes de la tubería de bajada y de la varilla de la bomba, y para prevenir los abusos del operador, tales como impulsar el émbolo contra la válvula de succión por elevación excesiva del mango. Los cilindros, que se desgastan muy rápidamente, se construyen a veces de doble longitud, lo que permite reajustar la profundidad del émbolo y continuar el bombeo sin necesidad de extraer y reemplazar el cilindro. Las longitudes de cilindro que más fácilmente se encuentran en el mercado van de 10 a 42 pulgadas (0.25 a 1.10 metros).

El diámetro del cilindro generalmente decrece conforme aumenta la altura total de bombeo, como se describe en la sección 3.4 y en el cuadro 3-2. Los diámetros estándar típicos van de unas 3 a 4 pulgadas (70 a 100 mm) para pozos superficiales hasta 2 pulgadas (50 mm), o menos, para los pozos más profundos. Los cilindros estándar se encuentran en diámetros hasta de  $1\frac{1}{16}$  pulgadas (40 mm) que pueden caber en pozos de 2 pulgadas (50 mm) de diámetro.

### 3.16.3 Ubicación del Cilindro y Tipos de Cilindros

El cilindro puede estar ubicado en tres posibles posiciones que dependen de la altura de succión y del tipo de construcción de la bomba o del pozo:

(1) Ubicación en el soporte de la bomba: para pozos superficiales cuyas alturas de succión no excedan las indicadas en el cuadro 3-1, el cilindro puede ser parte integrante del soporte de la bomba o ser un forro tubular que forma parte de dicho soporte. (La Nueva Bomba No. 6 mostrada en la figura 5-6 es un ejemplo). Las bombas cuyos cilindros están ubicados en el soporte frecuentemente tienen dificultad para retener su agua de cebado. Asimismo, los reiterados humedecimientos y resecados de las zapatillas de la bomba acortan su vida útil e incrementan las necesidades de mantenimiento. Sin embargo, esta configuración de soporte de bomba y cilindro es la de costo inicial menor y sus componentes son de más fácil acceso para los trabajos de mantenimiento.

(2) Ubicación en la tubería de bajada: en los pozos profundos el cilindro debe estar ubicado dentro del pozo y de preferencia por debajo de la napa freática. Lo convencional es que el cilindro esté suspendido de la tubería de bajada como se ve en la figura 3-1. Se encuentran disponibles en el mercado dos tipos básicos de cilindro que operan con tubería de bajada (ver figura 3-16).

Cilindro de tipo cerrado: este tipo de cilindro está provisto de una tapa o casquete con rosca que recibe la tubería de bajada normal. Debe notarse que para reemplazar o reparar las válvulas o las empaquetaduras de la taza del émbolo, es necesario extraer del pozo la varilla de la bomba y la tubería de bajada.

Cilindro de tipo abierto: este cilindro está dotado de un anillo roscado para recibir una tubería de bajada de diámetro suficientemente amplio que permita extraer la varilla de la bomba y la armadura del émbolo

a través de la tubería de bajada. No es necesario desarmar la tubería de bajada. Este cilindro y su tubería de bajada son más costosos que la instalación equivalente de cilindros de tipo cerrado. La ventaja del cilindro de tipo abierto es la mayor facilidad para retirar y reemplazar las zapatillas de la bomba.

(3) Ubicación en el entubado del pozo: en los pozos con entubado liso (ver sección 3.16.4) de diámetro apropiado, el mismo entubado puede servir como cilindro. (Ver la figura 6-4 como ilustración). En algunos casos puede insertarse en el entubado del pozo un corto tubo de bronce o de acero revestido con bronce para que actúe como cilindro. En este tipo de instalación el entubado del pozo sirve también como tubería de bajada. Esta técnica era común durante la época de las bombas de madera (v.g. véase Agrícola) y se muestra promisorio hoy con la introducción de nuevos materiales para entubado de pozos, especialmente el cloruro de polivinilo (PVC).

La tubería de bajada puede, de modo similar, ser usada en forma simultánea como cilindro. Las tuberías de bajada son usualmente de uso obligatorio en las bombas de mano para pozos excavados o de brocal debido al gran diámetro de éstos.

### 3.16.4 Pulido de la Pared del Cilindro

El pulido del acabado de la pared del cilindro es factor clave para las expectativas de vida de las empaquetaduras de la taza del émbolo.\* Esta es una razón fundamental para usar cilindros de bronce o recubiertos con bronce, más bien que cilindros de fierro fundido, a pesar del más bajo costo de estos últimos.\*\* Los cilindros de bronce de buena calidad poseen una suavidad promedio de 4 a 8 micropulgadas (0.1 a 0.2 micrometros) comparada a la de los cilindros torneados de fierro fundido que es de 50 a 200 micropulgadas (1.3 a 5.1  $\mu\text{m}$ ). Las perforaciones cilíndricas mohosas pueden tener una "suavidad" o "tersura" de 1000 micropulgadas (25  $\mu\text{m}$ ) o más.

La tubería de acero corriente tiene una tersura de acabado en su superficie interior de 140 a 180 micropulgadas (3.5 a 4.5  $\mu\text{m}$ ); comparable a la de los cilindros de fierro, pero no alcanza a rendir como el fierro. Una hipótesis sostiene que aunque la tersura promedio es más o menos la misma, los tubos de acero presentan mayor desviación rugosa "saliente" mientras que los de fierro fundido la tienen de tipo "entrante"; y las salientes más duras y afiladas de los tubos de acero tienden a raspar y desgastar las tazas más rápidamente. Las tazas también alisan con mayor facilidad las asperezas de los cilindros de hierro que las de acero.

\* Esta frecuente observación de campo ha sido comprobada fehacientemente por la investigación en los laboratorios Battelle de Columbus (ver Frink y Fannon; Fannon; y Fannon y Varga).

\*\* El bronce es también más resistente a la corrosión producida por aguas ácidas.

Los cilindros plásticos de PVC tienen una tersura de 4 a 10 micropulgadas (0.1 a 0.3  $\mu\text{m}$ ). Los ensayos indican que el desgaste de las empaquetaduras de la taza de cuero en cilindros de PVC es comparable al que se produce en cilindros de bronce. Siendo relativamente suave, el PVC es más susceptible de rayarse con el limo y otras impurezas sólidas contenidas en el agua, y por la acción del émbolo cuando las tazas están gastadas o son defectuosas. Los cilindros de PVC no deben ser usados con empaquetaduras de la taza de PVC. El desgaste de las paredes de los cilindros de PVC está en la actualidad (1976) siendo sometido a un intensivo programa de ensayos. Con pocas excepciones, el funcionamiento en la práctica de los cilindros de PVC ha sido satisfactorio, y ya hay disponibles en el mercado por lo menos los de un fabricante.\*

Otros revestimientos posibles para el cilindro son acero recubierto de porcelana, acero recubierto de epoxy y acero recubierto de uretano.

En resumen, el bronce es el patrón industrial, el fierro fundido se usa cuando es primordial bajar los costos al mínimo y el uso del PVC aún no se ha extendido mucho pero ofrece grandes perspectivas.

### 3.17 COMPARACION DE COSTOS DE BOMBAS DE MANO ALTERNATIVAS

Sólo los más grandes programas de bombas de mano pueden tener los medios para proyectar y desarrollar una nueva bomba de mano. Otros programas deben necesariamente hacer su selección entre las bombas de mano disponibles en el mercado; si el pedido es grande, es posible que se incluyan algunas modificaciones de diseño original. Sea cual fuere el caso, las bombas de mano se comparan y eligen en base a su costo total relativo, costo de capital para su adquisición e instalación, más los costos de operación y mantenimiento.

Como quiera que todas las bombas no tienen la misma expectativa de servicio útil, los costos de capital deben ponerse sobre una base común - usualmente descontando el equivalente del costo anual uniforme, haciendo posible de esta manera sumarle los

---

\* Equipados con válvulas de retención y émbolo íntegramente de bronce, y dos empaquetaduras de la taza de cuero, los precios de catálogo para cilindros de PVC de tipo cerrado de este fabricante (1976) son de 13 a 19 por ciento menores que los de bronce a ellos equivalentes.

costos anuales de operación y mantenimiento, para obtener costos totales comparativos para un año.

El siguiente es un ejemplo ilustrativo, muy simplificado sobre dos bombas, que puede extenderse a un mayor número de bombas alternativas. Se asume una tasa de descuento del 10%.

Dadas: Dos bombas A y B que satisfagan los requerimientos de descarga, carga hidráulica, potencia, fuerza en el mango, aceptabilidad del usuario, saneamiento, etc.

	<u>Bomba A</u>	<u>Bomba B</u>
Costo de Capital, P	EUA\$300	EUA\$600
Duración, n	5 años	10 años
Costo de Operación y Mantenimiento	EUA\$120	EUA\$100
Costo Anual, M		

Problema: ¿Cuál es la bomba "más barata"?

Solución: El costo anual de capital R de cada cuota de pago de los P dólares sobre n años a un interés compuesto anual i:

$$R = P \times \text{Factor de Recuperación de Capital} = P \times \frac{i(1+i)^n}{1(1+i)^n - 1} \dots (3-22)$$

Para la Bomba A

$$P_a = \$300, i = 0.10, y n = 5$$

y  $R_a = \$300 \times \text{FRC} = \$300 \times 0.26380$

$$R_a = \$79$$

Para la Bomba B

$$P_b = \$600, i = 0.10 y n = 10$$

y  $R_b = \$600 \times \text{RFC} = \$600 \times 0.16275$

$$R_b = \$98$$

Costos Anuales Totales C = Costo Anual de Capital R + Costo Anual de Operación y Mantenimiento M

Para la Bomba A

$$C_a = R_a + M_a$$

$$C_a = \$79 + \$120 = \$199, \text{redondeando}$$

$$C_a = \$200$$

Para la Bomba B

$$C_b = R_b + M_b$$

$$C_b = \$98 + \$100 = \$198, \text{redondeando}$$

$$C_b = \$200$$

Respuesta: En una base anual las bombas tienen igual costo.

Puede presentarse una objeción alegándose que la Bomba B dará servicios durante 10 años mientras que la Bomba A solamente durará 5 años. Los diferentes tiempos de servicio útil están reflejados en el factor de recuperación de capital en 5 años,

0.26380 para la Bomba A y el factor de recuperación de capital en 10 años, 0.16275 para la Bomba B. El estimado de durabilidad de 10 años para la Bomba B implica que iba a ser necesario un servicio de mantenimiento durante por lo menos ese mismo tiempo. Aunque las anualidades para la Bomba A se consideran sólo por 5 años, el servicio de mantenimiento debe continuar pasado ese plazo. Es de presumir, aunque no necesariamente, que las anualidades para la continuación del servicio después de 5 años, si se elige la Bomba A, serán aproximadamente las mismas.\*

Supongamos que haya disponible una Bomba C a un costo de adquisición e instalación de \$600 pero con un tiempo de vida de servicio de 15 años. Amortizada al 10%, su costo anual será aproximadamente de EUA\$79, anualidad igual a la de la Bomba A - aún cuando el costo del capital inicial fue de \$600/\$300, es decir el doble del de la Bomba A. La expectativa de vida útil de los distintos modelos de bombas de mano es difícil de predecir con mucha precisión y varía con las condiciones del servicio que prestan y con la calidad del mantenimiento.\*\* Sin embargo, como lo demuestra el ejemplo, los precios unitarios de catálogo o los precios unitarios de licitación o de oferta no deberían ser el único criterio de comparación de las bombas de mano. Además, precio y costo no son necesariamente idénticos.

Los datos sobre los costos de mantenimiento de las bombas de mano son dispersos. Estos costos son difíciles de predecir a priori y dependen principalmente de las circunstancias locales. Invariablemente son subestimados; los estimados basados en información acumulada no toman en cuenta algunas veces el hecho de que esa información representa los costos de programas de mantenimiento inadecuados. Cualquier programa que tenga un costo anual de mantenimiento estimado, de menos de \$50 por bomba de mano, es susceptible a duda en la calidad de su rendimiento. Algunos programas con pozos profundos pueden requerir \$150 o más por bomba.

---

\* Una reinversión de \$300 en una Bomba A 5 años después, tiene un valor presente, al 10% de descuento, de  $(\$300)$  (Factor de Valor Actual) =  $(\$300) (1 + i)^{-n} = (\$300) (0.6209) = \$186$ . Sumado al actual pago de \$300 (año 0) y multiplicado por el Factor de Recuperación de Capital de 10 años,  $P_a = (\$300 + \$186) (0.16275) = \$79$ , como antes.

\*\* Podría alegarse que con un mantenimiento perfecto que incluye reposición de los diversos componentes a largo plazo, las bombas de mano duran para siempre. No obstante, los costos de instalar una nueva bomba de mano, pieza por pieza, aparecerían en la partida de operación y mantenimiento, y, es el costo de capital más el costo de operación y mantenimiento, el criterio que impera.

Otras consideraciones de costo incluyen:

(1) Costo del desarrollo del pozo: el costo de la bomba de mano debe relacionarse al costo, rendimiento y confiabilidad del pozo.

(2) Condiciones del servicio: los esfuerzos y desgaste que sufre una bomba de mano son directamente proporcionales al número de personas que sirve y a la profundidad desde la que debe elevarse el agua. Mucha gente, (ver figura 3-17), y un nivel freático profundo, significan mayores esfuerzos y justifican mayores costos por bomba de mano; por ejemplo empleo de cilindros de bronce más bien que de fierro fundido.

(3) Confiabilidad: allí donde la población depende exclusivamente de bombas de mano para el suministro de agua, se justifica hacer una mayor inversión en bombas de mano, ya sea en cada instalación o en instalaciones por duplicado (v.g. dos o más bombas de mano en cada pozo). Una bomba de mano barata no es ninguna ganga cuando no trabaja bien.

(4) Bombas de mano locales versus importadas; puede ser necesario sopesar los costos de divisas al comparar costos.

(5) Redistribución de la renta: los objetivos sociales pueden inclinar la elección hacia las bombas de mano de elevado costo de mantenimiento y bajo costo de capital con el fin de distribuir la renta dentro del área servida más bien que transferirla a la capital o al exterior.

### 3.18 ESPECIFICACIONES PARA BOMBAS DE MANO

Las siguientes líneas proporcionan una lista de verificación para la elaboración de especificaciones generales para bombas de mano. Para el caso de instalaciones particulares, los datos requeridos son necesariamente más específicos, por ejemplo la profundidad exacta a la que debe instalarse el cilindro.

#### 3.18.1 Generalidades

Las especificaciones deben estar orientadas hacia un número limitado de modelos de bombas de mano basados en precalificaciones, de preferencia a través de ensayos de campo o de experiencias comprobadas bajo condiciones locales, reforzadas por una revisión paso a paso del diseño. La proliferación de modelos de bombas de mano dentro de un mismo programa puede conducir a dificultades en el mantenimiento - inventarios, repuestos, compras, lubricantes, adiestramiento, et al.

El uso de un modelo único de bomba de mano sería lo último en cuanto a estandarización, pero debe evitarse, puesto que muy pocas bombas son enteramente adecuadas para todo tipo de instalación, y la dependencia de un solo proveedor ofrece riesgos a efectos de competencia de precios y servicios de taller y reparaciones.



Fotografía: Cortesía de R.D. Fannon, Jr.

### FIGURA 3-17 USO RECARGADO DE BOMBAS DE MANO EN PAISES EN DESARROLLO

En algunas partes del mundo puede ocurrir que más de 1,000 personas se abastezcan de agua de bebida en una misma bomba. Muchos de los modelos de bombas de mano en uso fueron diseñados originalmente para uso de una sola familia en el medio rural, y son inapropiados para soportar el desgaste resultante de las condiciones de uso en los países en desarrollo.

### 3.18.2 Especificaciones de Rendimiento

Los requisitos de funcionamiento de las bombas de mano que integran el programa deben ser identificados, tabulados y categorizados. En el cuadro 3-8 se muestra un ejemplo ilustrativo.

CUADRO 3-8

CATEGORIZACION NUMERICA DE LAS BOMBAS DE MANO DE ACUERDO AL RENDIMIENTO REQUERIDO (EJEMPLO)

CARGA DE BOMBEO	POBLACION SERVIDA POR CADA BOMBA					TOTAL	
	50	100	300	500	1000		
	V	W	X	Y	Z		
15 ( 5)	A	5	20	250	6	1	282
50 (15)	B	8	160	27	2	1	198
100 (30)	C	40	23	3	2	4	72
150 (45)	D	0	12	6	4	0	22
200 (60)	E	0	5	2	0	0	7
TOTAL		53	220	288	14	6	581

El análisis del cuadro 3-8 indica una necesidad de unas 282 bombas de mano para pozo superficial durables y de buena calidad (fila A) con servicio especial de mantenimiento para 7 de ellas (fila A; columnas Y y Z, es decir, los bloques AY y AZ).

Una bomba de mano para pozo profundo de precio moderado probablemente puede manejar los bloques BV, BW, BX, CV y CW, unas 258 bombas. Los bloques CV y CW probablemente requerirán bombas con cilindros de menor diámetro.

Las 41 bombas restantes requerirán una bomba para pozo profundo de uso recargado, posiblemente con mango rotativo de rueda y cojinetes antifricción.

Quiere decir que solamente tres modelos de bombas de mano pueden servir con eficiencia y economía las varias necesidades mostradas en el ejemplo del cuadro 3-8.

Una vez establecido el inventario necesario, pueden ahora considerarse los requisitos ergonómicos (resistencia, potencia, etc.) y antropométricos (altura,

alcance, etc.) para adecuar a ellos los diferentes diámetros de cilindro, ventajas mecánicas, dimensiones del mango, longitudes de carrera y velocidad de bombeo en la forma que se describe en la sección 3. Esta información debe resumirse y especificarse para cada bomba como un caudal de descarga aceptable (Q) para una altura de bombeo (H), velocidad de bombeo (N) y longitud de carrera (S) establecidos. Pueden especificarse el máximo escape y la mínima eficiencia mecánica si se dispone de un medio de verificación. El escape y la eficiencia son indicadores de la calidad de las bombas.

### 3.18.3 Especificaciones Dimensionales

Las dimensiones y roscados de las varillas de la bomba, tuberías de bajada, cilindros y tapa de cilindros deben ser estandarizados e intercambiables entre los modelos de bombas. (También interesa que puedan ser adquiridos por separado de la armadura del soporte de la bomba que se coloca encima del pozo). Estas dimensiones deben ser compatibles con los pozos que van a ser usados.

Para cada bomba se puede calcular el tamaño máximo de los cojinetes. El número de las diferentes medidas de pasadores deberá ser limitado y se deberá usar un sistema unificado de roscado. Se deberán adoptar chavetas hendidas de tipo estándar. Para pedidos reducidos se tendrán que aceptar las medidas de cojinetes y pasadores de los fabricantes.

Se deberán establecer los ajustes, tolerancias y variaciones. Puede obtenerse orientación de la literatura universalmente reconocida (Baumeister; Camm y Collins; LeGrand; Obeng, et al.; y Rothbart); no obstante, los fabricantes locales pueden eximirse temporalmente del cumplimiento exacto de esas recomendaciones.

### 3.18.4 Especificaciones de Materiales

Los materiales de fabricación de cada componente deberán ser especificados. Si se permite usar materiales alternativos, éstos deberán ser especificados. Cualquier tratamiento especial, tal como el endurecimiento o galvanizado deberá ser descrito. Estos deben tener referencia cruzada con normas y prácticas comerciales de amplia aceptación.

### 3.18.5 Especificaciones Especiales

Otras especificaciones incluyen:

- (1) Tipo de cilindro - abierto o cerrado, forrado o insertado.
- (2) Tipos de válvulas.
- (3) Especificaciones para la rosca y válvula del surtidor, de haberla.
- (4) Especificaciones para la caja de estopas.
- (5) Especificaciones de repuestos.
- (6) Especificaciones de lubricantes.

### 3.18.6 Especificaciones Internacionales

No existe ninguna especificación internacional de bomba de mano estándar.

No existe a la fecha (1976) ninguna norma estándar o "protocolo" de evaluación o comparación de bombas de mano. Actualmente, se halla en preparación un protocolo de este tipo. Las normas de bombas de propulsión mecánicas, ampliamente aceptadas, pueden ofrecer algunas pautas. (Ver por ejemplo Hydraulic Institute, 1975).



#### 4. ADMINISTRACION DE UN PROGRAMA DE BOMBAS DE MANO

Administrar un programa de bombas de mano es como administrar cualquier programa de abastecimiento de agua en zonas rurales, comprendiendo muchos elementos comunes:

Desarrollo institucional

Autoridad legal

Relaciones con el consumidor, incluyendo motivación y apoyo de comunidad

Educación para la salud

Manejo y desarrollo del personal, incluyendo adiestramiento

Planeamiento financiero y control fiscal, incluyendo presupuesto, facturación, cobranza y contabilidad

Administración de suministros, incluyendo compras, control de inventario, y control de vehículos y equipo

Ingeniería, incluyendo planeamiento, diseño, supervisión de construcciones y de perforación de pozos, topografía, ubicación de fuentes, etc.

Vigilancia de la calidad del agua

Organización y manejo de servicios de mantenimiento

Registros

Planeamiento para emergencias

Muchas de estas materias se cubren con algún detalle en obras tales como las Monografías Nos. 42, 49 y 63 de la Serie de Monografías de la Organización Mundial de la Salud y la Serie Técnica publicada por el Departamento de Ingeniería y Ciencias del Ambiente (ahora División de Salud Ambiental) de la Organización Panamericana de la Salud. Más abajo se delinear algunos aspectos administrativos de relevancia particular en los programas de bombas de mano. El mantenimiento de las bombas de mano en el campo, quizás el factor crítico en su uso satisfactorio, se desarrolla con algún detalle.

#### 4.1 ORGANIZACION

##### 4.1.1 Organización Local

Un programa efectivo de sistemas de bombeo no es simplemente un asunto tecnológico sino un conglomerado que agrupa tecnología, instituciones y gente - individuos que tienen que planear, diseñar, manufacturar, financiar, comprar, instalar,

operar, mantener, supervisar y usar las bombas. En adición a una agencia centralizada, deben desarrollarse a nivel de villa o aldea, organizaciones locales bajo la forma de un comité u otro tipo de entidad que sea usual en la región del país. La importancia de un comité local es que representa a la aldea, hace partícipes directos a los líderes y a la gente más importante en las operaciones y administración diarias del sistema y, se espera que eduque y motive a los usuarios de las bombas de mano. Deben utilizarse para este propósito educadores para la salud, medios de comunicación pública, y escuelas y colegios.

El concepto de cobrar por el agua que se usa, cuando se practica, es importante, aún cuando sea prácticamente simbólico, en cuanto que hace sentir a los pobladores que ellos participan personalmente en el sistema, y también provee algunos fondos para reparaciones y mantenimiento. Este concepto de pago por el servicio debe contrastarse con el costo y las dificultades inherentes del sistema de cobranza que el pago trae aparejados y requiere normalmente un operador de bomba a tiempo completo. No todas las aldeas rurales tienen economía monetaria, es decir, capacidad en numerario para efectuar los pagos. La expedición de reglamentos públicos al respecto ayuda a establecer las condiciones y límites del uso del agua y, asimismo, las responsabilidades del usuario.

#### 4.1.2 Organización Central

El mayor número de los sistemas pequeños de bombas de mano requiere una organización central para los efectos de planeamiento, dotación de fondos, ingeniería, adquisiciones, construcción, adiestramiento, supervisión y control. Tal organización puede obtener los beneficios de economía de gran escala, como compras en bloque, uniformización de operaciones y equipo y personal calificado.

La organización central es también responsable del establecimiento de la política y la administración del programa; establece los patrones técnicos y controla la ejecución del mismo; es responsable por la consecución de la participación de la comunidad y por llevar adelante actividades de educación para la salud en el seno de los comités y en las aldeas rurales, enfatizando los beneficios del agua potable y los de una buena operación y mantenimiento del sistema. La organización central ayuda a los comités locales a establecer sistemas de cargos (donde esto

se practica) y procedimientos de operación. Debe tener almacenes centrales y regionales para repuestos, herramientas, materiales y equipo pesado de uso común para reparaciones especiales.

El apoyo técnico podría incluir ayuda para la solución de problemas y adiestramiento a nivel comunitario. El apoyo financiero a nivel local podría incluir provisión de fondos, repuestos, herramientas, transporte e iniciación de un fondo comunal para abastecimiento de agua. Este fondo podría incrementarse por entradas provenientes de los cargos por el uso de la bomba de mano.

#### 4.2 PLANEAMIENTO E INGENIERIA

En un programa de bombas de mano desarrollado para un organismo central, una actividad que tiene que llevarse a cabo en forma continua es la de apreciación y planeamiento. Incluye elementos tales como:

- (1) Inventario, identificación y topografía de las áreas y poblaciones servidas y por servirse, incluyendo status económico y de salud.
- (2) Establecimiento de criterios para prioridades y niveles de servicio; cuándo deben usarse, y si es que deben usarse, pozos abiertos o manantiales, bombas de mano, fuentes públicas, hidrantes en patio, o sistemas de tuberías.
- (3) Evaluación de recursos necesitados y disponibles - dinero, recursos humanos, pericia, equipos, materiales, transporte, comunicaciones, apoyo comunitario, capacidad manufacturera local, organización política, etc.
- (4) Apreciación de las aspiraciones y necesidades públicas.
- (5) Inventario, identificación y evaluación de recursos de agua disponibles - agua subterránea y agua superficial, cantidad y calidad.
- (6) Coordinación con otras agencias, v.g. autoridades de programas de perforación de pozos, vivienda, agricultura y salud.
- (7) Estimación y evaluación continua del personal y de necesidades de adiestramiento.
- (8) Establecimiento y revisión continua de patrones y especificaciones de diseño, manuales, costos unitarios y del funcionamiento del sistema, incluyendo los de las bombas de mano locales o importadas.

#### 4.3 INSTALACION

##### 4.3.1 Selección del Sitio

Las consideraciones que deben tomarse en cuenta al seleccionarse el sitio donde se va a instalar la bomba de mano comprenden:

- (1) La cantidad y calidad de agua disponible. La fuente debe evaluarse sobre la base de que ofrezca una provisión continua a lo largo de todo el año, incluyendo la estación "seca", y bajo condiciones de uso que puedan afectar la confianza que siempre debe tenerse en la fuente. Por ejemplo, el abatimiento que se produzca en la mesa de agua del pozo, ocasionado no sólo por el uso del pozo mismo, sino por la influencia de pozos vecinos.

La preocupación principal con respecto a la calidad del agua es la de seguridad bacteriológica de la misma, principalmente el que esté libre de contaminación por excreta humana. A causa de que las plantas de tratamiento de agua y la cloración son de existencia problemática en un abastecimiento de agua en zona rural, las fuentes de agua subterránea, donde ésta es asequible, ofrecen mayores seguridades de agua más pura (y menos costosa). O sea que las aguas que, por naturaleza, sean más puras o "inocentes" deben preferirse a aquéllas que son tratadas o "arrepentidas". Además de pozos, las fuentes pueden incluir galerías de infiltración, cisternas, canales y reservorios de agua tratada. La figura 4-1 es ilustrativa.

Si bien es cierto que la calidad bacteriológica es de suprema importancia, otros parámetros de calidad pueden ser asimismo importantes, por ejemplo: algunas aguas subterráneas tienen concentraciones excesivas de cloruros, arsénico o fluoruros. El sabor, el olor o la turbiedad pueden influenciar la aceptación de la nueva fuente entre los consumidores cuya previa fuente existente se ha contaminado. Ver figura 4-2.

- (2) Protección de la bomba y del agua de peligros contra la salud. El sitio escogido debe estar libre de contaminación, ya sea existente o potencial, por excreta humana o animal; debe hallarse por encima del nivel de inundación y alejada de drenes, colectores de desagüe, aguas corrompidas, silos sanitarios y tanques sépticos. La selección del sitio debe incluir una encuesta sanitaria de la fuente y el ambiente que la rodea. En otra obra se han señalado procedimientos al respecto (McJunkin, OMS, 1976).
- (3) Conveniencia para la población usuaria. El éxito final de las instalaciones dependerá de su aceptación por parte del usuario. Así, la selección del sitio debe considerar también factores tales como el que la comunidad se encuentre preparada o lista para aceptar la bomba, la proximidad a los usuarios, las diferencias étnicas o de casta entre los usuarios e inclusive la exposición al vandalismo o ratería. Cuando existe un gran número de usuarios por bomba, con la consiguiente larga línea de espera, o cuando se tienen que caminar grandes distancias para llegar a la fuente, el resultado es que los potenciales consumidores pueden desalentarse de su uso, especialmente, si otras fuentes alternativas, quizás canales de riego, aún con agua no potable, se hallan más cerca de los usuarios. (La figura 4-2 es ilustrativa). Cuando hay importante uso de agua, debe considerarse la provisión de dos o más bombas (y pozos). Este arreglo también provee una bomba que está en "para", lista para entrar en acción en caso de que otra bomba se malogre.
- (4) Acceso a los usuarios y al servicio de mantenimiento. Las bombas públicas deben estar instaladas en vías de acceso públicas\* y ser así accesibles al servicio de mantenimiento y, donde esto sea aplicable, a las cuadrillas de perforación y al equipo motorizado. El espacio vertical libre por encima del pozo debe permitir "sacar" la bomba y retirarla.

#### 4.3.2 Protección de la Salud

En adición a la apropiada selección del sitio, los pozos y los tanques deben sellarse contra la contaminación por aguas superficiales. La figura 4-1 ilustra

---

\* Pero protegidas de los vehículos. Debe también desalentarse el uso del sitio de la bomba de mano como abrevadero.

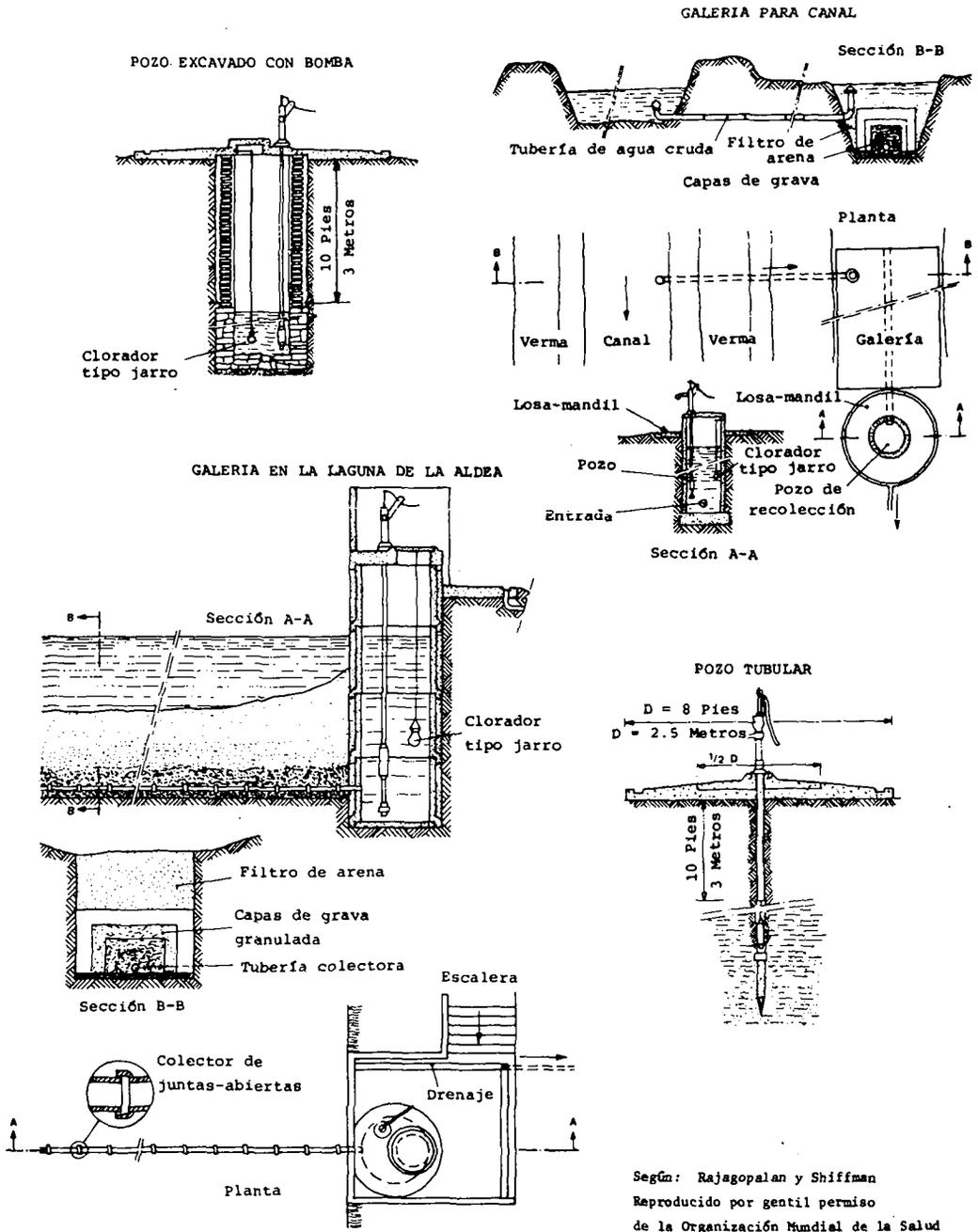


FIGURA 4-1 INSTALACION DE BOMBAS DE MANO EN POZOS Y GALERIAS DE INFILTRACION



Foto: Cortesía de CROP

#### FIGURA 4-2 UNA FUENTE ALTERNATIVA DE AGUA

el uso de sellos y losas-mandil. Cuando esto sea posible, los pozos y las bombas deben desinfectarse, antes del inicio de su utilización, cuando se sospeche posible contaminación. También se recomienda la desinfección durante el uso, si resulta factible, que se convierte en mandatoria durante epidemias de enfermedades transmitidas por el agua, como el cólera.

Debe proveerse drenaje para el agua derramada o de desecho, incluyendo zanjas y otros medios de prevención de formación de charcos o pozos, los cuales pueden ser criaderos de mosquitos y otros vectores. La figura 4-3 muestra prácticas muy pobres en el uso de la bomba de mano.



FIGURA 4-3 BOMBA DE MANO CON DRENAJE INADECUADO

El mantenimiento en las válvulas de succión (válvulas de pie) es esencial para la protección de la salud. Estas válvulas, cuando trabajan apropiadamente, eliminan la necesidad de cebar la bomba desde la parte superior, operación que constituye una fuente de contaminación.

#### 4.3.3 Pautas para la Instalación Sanitaria

El equipo de bombeo, para sistemas manuales o a motor, debe construirse e instalarse de modo que se prevenga la entrada de contaminación o de materias objetables ya sea al pozo o al agua que se bombea. Deben tenerse en consideración los siguientes factores:

- (1) El cabezal de la bomba debe diseñarse para prevenir la polución del agua por lubricantes u otros materiales de mantenimiento usados durante la operación del equipo. Debe prevenirse que la polución proveniente de las manos, el polvo, lluvia, pájaros, moscas, roedores, o animales, pueda penetrar a la cámara de agua de la bomba o de la fuente de abastecimiento. El surtidor de la bomba debe estar completamente cubierto, abrirse hacia abajo y prevenir que objetos sólidos entren fácilmente al pozo.
- (2) La base de la bomba debe construirse de tal modo que un sello sanitario para pozo pueda instalarse dentro de la cobertura del pozo o de su entubado.
- (3) Cuando esto sea posible, el cilindro debe colocarse cerca o debajo del nivel estático de agua dentro del pozo de tal modo que no sea necesario cebar la bomba. Este arreglo permite también que las empaquetaduras de la bomba no se mojen o sequen intermitentemente, incrementando así su vida útil y eficiencia. La válvula de pie está menos propensa a permitir fugas, con la ventaja resultante de eliminar la necesidad del cebado. Aún más, cuanto más baja la altura de succión menor la posibilidad de que ocurra el efecto conocido como "golpeteo" o "zapateo". El zapateo (que resulta en cavitación) acorta la vida de la bomba.
- (4) En climas en que se llegue a temperaturas de congelación la instalación debe hacer factible un drenaje de la bomba dentro del pozo como medida de protección contra el congelamiento.
- (5) Los costados del pozo deben ser sellados e impermeabilizados hasta 10 pies (3 metros) por debajo del nivel de tierra.
- (6) Las tapas de los buzones de inspección en la cobertura del pozo deben elevarse por encima de la losa, ser más grandes que la boca del buzón y drenar de manera que alejen el agua de la vecindad del pozo.
- (7) Los abrevaderos del ganado deben situarse alejados del pozo, preferentemente a 30 pies (10 metros) o más.
- (8) El sitio del pozo debe diseñarse para que resulten simples las tareas de mantenimiento y reparación, incluyendo altura libre para remover la tubería de bajada y otros accesorios.

Una vez terminada la instalación del pozo, la bomba debe colocarse en una base de concreto impermeable y elevada sobre el nivel del terreno. La base debe tener no menos de 8 pies (2.5 metros) de diámetro y 4 pulgadas (10 cm) de espesor.

La cara superior de la base debe tener una pendiente del centro hacia afuera para drenar el agua que caiga sobre ella.

En la mayoría de las bombas impelentes se diseñan los cabezales con una caja de estopas que rodea la varilla de la bomba. Este diseño provee protección razonable contra la contaminación. Las bombas aspirantes comunes que tienen cabezales ranurados están abiertas a la contaminación y deben evitarse en lo posible. El surtidor de la bomba debe ser cerrado y dirigido hacia abajo.

La base de la bomba debe diseñarse para (1) proveer el soporte de la bomba en la cobertura del pozo o en el tope del entubado del mismo; y (2) para proteger la boca del pozo o el entubado del mismo de la entrada de agua contaminada u otro material objetable o dañino. La base debe ser sólida; de una pieza, forjada íntegramente con el soporte de la bomba, o atornillada a él. Debe ser de suficiente diámetro y altura para permitir que un entubado de 6 pulgadas (152 mm) sobresalga por lo menos 1 pulgada (25 mm) por encima de la superficie sobre la cual la base de la bomba va a descansar. Se recomienda el uso de una camiseta (un segmento de tubería) con brida empotrada en la losa-tapa, o enroscada o empernada en la parte superior del entubado, para formar un soporte para la base de la bomba. Deben usarse empaquetaduras apropiadas para asegurar un cierre hermético.

El cerrado protector del cabezal de la bomba conjugado con el peligro de contaminación inherente al proceso de cebado, hace esencial que el cilindro de la bomba sea instalado de manera tal que el cebado quede eliminado.

#### 4.3.4 Registros y Evaluación

Los registros referentes a los pozos, tales como diámetro y profundidad; tamaño de las ranuras de la criba; longitud y montaje de la criba; registro acuífero, calidad y rendimiento del agua; año de la perforación o excavación, etc. deben ser registrados para cada pozo para propósitos de evaluación, mantenimiento y planeamiento. Lo mismo con respecto a la marca y modelo de la bomba; diámetro y montaje del cilindro, fecha de instalación; número de usuarios; etc. Todos estos registros deben ser archivados y guardados, de modo que sean accesibles para consulta.

#### 4.4 MANTENIMIENTO

##### 4.4.1 Antecedentes

La elevada tasa de bombas defectuosas o abandonadas\* no refleja simplemente una pobre calidad de las bombas, sino también un servicio de mantenimiento y reparación inadecuado. Muchas autoridades en la materia sostienen que el mantenimiento es el elemento crítico de los programas de bombas de mano. Las causas posibles de un mantenimiento pobre pueden ofrecer alguna comprensión del problema que lleve a su mejoramiento.

- (1) Pobre calidad del diseño y manufactura de la bomba de mano. Esta condición, documentada extensamente en otras secciones del presente libro, es también el resultado de los esfuerzos de muchos años para disminuir el peso de la bomba, disminuir sus dimensiones, etc., con el objeto de lograr menores costos y presentar bajas propuestas en las licitaciones, sobre todo en ausencia de especificaciones definidas. Mucho del proceso de compra de bombas de mano tiene una inherente inclinación hacia bajos costos de capital e ignora los costos que se suceden en el ciclo vital de la bomba.
- (2) La tecnología en uso hace mandatoria la lubricación frecuente. La misma tecnología hace que se usen o se produzcan chumaceras y cojinetes de hierro y acero, ensamblajes pobres, falta de reservorios de lubricante, exposición al clima, etc.
- (3) Baja estimación o falta de apreciación de las cargas estructurales y las que soportan los cojinetes en las bombas de pozo profundo.
- (4) Gran variedad de bombas de mano en uso con la consiguiente necesidad de muchos repuestos diferentes. Escasa intercambiabilidad de partes, algunas veces entre bombas del mismo modelo del mismo fabricante. Y aún entre tuercas, pernos y pasadores.
- (5) Falta de retroinformación del servicio de mantenimiento hacia los servicios de ingeniería y adquisiciones. Poco análisis, por ejemplo, de las fallas más comunes. Sistema de registros inadecuado.
- (6) Poca habilidad o destreza en las operaciones de mantenimiento, falta de adiestramiento, herramientas inadecuadas (por ejemplo, pocos son los hombres de las aldeas que tienen el equipo para subir o levantar la varilla de la bomba, la tubería de bajada y el cilindro), falta de transporte, y falta de supervisión. Todas estas fallas o situaciones son características de muchos programas.
- (7) Invisibilidad del mantenimiento y falta de servicio de emergencia. Usuarios que retornan a sus fuentes antiguas de abastecimiento. Supervisores de mantenimiento muy alejados de la escena donde existe la necesidad.
- (8) Falta de atractivo y de status. En una crisis de presupuesto es clásica la acción inmediata de "diferir los gastos de mantenimiento". El mantenimiento rara vez es el mejor camino para ascensos de categoría o recompensas financieras.
- (9) Falta de apreciación del mantenimiento preventivo. El mantenimiento es considerado a menudo sólo como una función de reparación.

---

\* No es cosa poco común que de 30 a 80% de las bombas se encuentren fuera de operación en un programa de bombas de mano.

#### 4.4.2 Niveles de Responsabilidad

La mayoría de los programas de mantenimiento de bombas de mano pueden caracterizarse como un sistema de un nivel o de dos niveles. El sistema de un nivel es aquél donde todo el mantenimiento es responsabilidad de la organización central. En el sistema de dos niveles, la responsabilidad del mantenimiento se comparte con las aldeas o comunidades locales.

##### Sistemas de mantenimiento central:

En ambos sistemas de mantenimiento es la organización central la que usualmente instala la bomba. Puede ser que el pozo esté también dentro de sus responsabilidades o que sea la de otra organización central. Cuando se trata de pozos excavados, la aldea puede proporcionar mano de obra, la que tendrá supervisión de la organización central. Esta también corre usualmente con las reparaciones o con el reemplazo de las bombas en ambos sistemas. Mantiene almacenes de repuestos lubricantes y provee transporte, almacenaje y adiestramiento. Cuando la agencia central provee mantenimiento de rutina, a menudo usa un hombre o equipo de mantenimiento que hace rondas, que puede o no tener vehículos, y que sirve de 20 a 200 bombas (el número varía con las circunstancias) en forma repetitiva.

##### Sistemas de mantenimiento conjunto local y central:

En este sistema la comunidad local, o un residente de la comunidad empleado por la organización central, asume la responsabilidad de todas las tareas de lubricación y reparaciones menores, por ejemplo, reemplazo de los sellos o empaquetaduras de la taza ("zapatillas") de una bomba de pozo superficial.

Cuando los pobladores se ciñen sólo a las tareas de mantenimiento básico que requieran atención permanente, el servicio de apoyo de la organización central puede visitar la bomba a intervalos regulares (v.g. cada tres meses) para dar servicio de revisión integral. Este sistema se usa en partes de la India.

En algunos programas se puede dar a ciertos pobladores adiestramiento en mantenimiento de bombas y dejar virtualmente toda la responsabilidad en sus manos. Esos enfoques están siendo probados en Kenia y Tanzania. A cada aldea se le pide que nombre una persona antes de que se haga el pozo, quien irá a la oficina de distrito por dos semanas a aprender construcción de pozos superficiales y técnicas

de mantenimiento, especialmente de la bomba. Será entonces responsable del pozo, una vez que éste se excave o perfore, y mantendrá en su casa una pequeña reserva de empaquetaduras y otros repuestos. Si una falla grande ocurriera, él se presentará a la oficina de agua del distrito y entonces, logrará que le den las partes y repuestos necesarios para hacer el trabajo por sí mismo, o que la oficina del distrito le proporcione la mano de obra especializada para que haga el trabajo. (Pacey).

#### Sistemas de "autosuficiencia" local:

Se alega por algunos que si una bomba fuera diseñada para que pudiera construirse un artesano rural de la aldea usando herramientas simples y materiales locales corrientes, entonces el hombre que "fabricara" la bomba siempre estaría a mano para repararla cuando fuera necesario. Esta aldea sería, entonces, autosuficiente en todo lo que se refiere a su bomba.

Este argumento es respaldado por la observación de que muchas bombas de riego de diseño tradicional para bombeos de poca altura son construidas y mantenidas por artesanos rurales. Estas bombas no se utilizan mucho para abastecimientos de agua potable aún en su mismo medio circundante. Se han propuesto otros diseños más ajustados a las necesidades de abastecimientos de agua potable, que se han construido y se han usado con resultados variables. La mayoría no han resultado satisfactorios cuando la comunidad ha hecho uso de ellos intensivamente, y han demostrado ser funcional y estructuralmente inadecuados, especialmente en su aplicación a pozos profundos; careciendo de durabilidad y siendo muy costosos\*, o, de cualquier otra forma, inaceptables a los usuarios locales y rechazados por los mercados de absorción de este tipo de productos.\*

#### Sistemas libres de mantenimiento:

Quando se instalan bombas de agua sujetas a condiciones de extrema dificultad de acceso o de uso particularmente severo, y su falla puede tener un impacto capital en sus usuarios, pueden usarse bombas de mano que sean muy costosas y que prácticamente no requieran mantenimiento alguno. Estas bombas usan volantes,

---

\* Cuando se producen en cantidades pequeñas. Aparentemente, la producción y el mantenimiento necesitan ambos de una "masa crítica", la cual para ser alcanzada podría necesitar un pequeño subsidio. Sin necesidad de que se diga, el artesano rural invariablemente se halla desfinanciado.

cigüeñas, cojinetes antifricción, lubricación a presión, etc., y han funcionado satisfactoriamente por largos períodos requiriendo sólo operaciones de mantenimiento anual. Su elevado costo, sin embargo, limita severamente su uso.

#### 4.4.3 Desarrollo, Bienestar y Economía

Los abastecimientos de agua para la comunidad son fomentados por mucha gente como vehículo o medio de educación social y desarrollo comunitario. La aceptación por parte de la comunidad de la responsabilidad del mantenimiento puede ser una piedra miliar en esta perspectiva. Sin embargo, si el mantenimiento local es inadecuado, este hecho puede convertirse en una rueda de molino que muele las esperanzas de la población y de sus patrocinados para llegar a tener un servicio de abastecimiento de agua adecuado y seguro, esto es, que eleve su nivel de bienestar. Esta tensión se aumenta por la necesidad de proceder con eficiencia económica al tratar de proveer agua potable con recursos disponibles severamente limitados. Pacey (1976) desarrolla este punto en detalle en un excelente estudio de revisión de las premisas fundamentales de los programas de bombas de mano.

#### 4.4.4 Fallas Comunes

Tanto el diseño de las bombas como su selección y mantenimiento deberían orientarse hacia reducir el riesgo de que se malogre la bomba, y otra clase de problemas. La experiencia vivida en una variedad de países apunta a algunos componentes en las bombas como los puntos más susceptibles de falla, a los que debería darse énfasis en el mantenimiento. En el cabezal de la bomba, éstas son los pasadores sobre los que bascula el mango; y el desgaste, pérdida o rotura de tuercas y pernos y otras partes similares. La falta de lubricación y el manejo descuidado (golpeando el mango contra sus topes) son causa de frecuentes problemas.

Otra causa común de que se malogren las bombas es el desgaste de la empaquetadura de la taza en el cilindro, siendo éste en muchos países el problema más común. Este problema se reduce usando cilindros de paredes más lisas de bronce amarillo o plástico, en vez de los de fierro forjado, o usando empaquetaduras de alta calidad. Algunos materiales sintéticos muestran gran promesa como posibles reemplazos de las empaquetaduras de cuero. Las empaquetaduras o sellos de cloruro de polivinilo (PVC) pueden inclusive alisar la pared del cilindro.

Otra causa importante de fallas en las bombas la constituyen las válvulas dentro del cilindro. Las válvulas de bola son normalmente simples y sin problemas, pero el golpeteo de la bola de acero puede deformar el asiento de metal. Las válvulas de vástago, con acolchado de jebe han sido algunas veces más efectivas a largo término por esta razón, pero pueden erosionarse con el tiempo. Las válvulas de charnela son probablemente las que más fácilmente se reparan pero requieren atención más permanente.

Otro problema común con las bombas de mano es la rotura de las varillas de la bomba o de las uniones de las varillas y, asimismo, problemas con las acopladuras de las varillas, bridas y cajas de estopas.

Los problemas operativos más comunes, y sus causas y su reparación se resumen en el cuadro 4-1.

Durante la primera y última etapa de un programa de bombas de mano que opera con gran número de instalaciones, se han de producir fallas en una proporción mayor al promedio; muchas bombas sufrirán de "mortalidad infantil", entrarán a una etapa relativamente libre de problemas y luego "morirán de vejez". (Morrow).

#### 4.4.5 Inspección Periódica, Lubricación y Reparación

Aunque el juicioso diseño o selección evita muchas dificultades, es el mantenimiento regular la clave de la operación satisfactoria de las bombas de mano. El cuadro 4-2 y la figura 4-4 describen el mantenimiento que necesitarán las bombas de mano más sencillas. Ambos se refieren específicamente a la bomba Dempster, modelo 23F, a la bomba Craelius, y a las bombas comparables fabricadas en la India (WASP, Kirti, y Kaveri) y en Inglaterra (Godwin y Lee, Howl). El cuadro 4-2 se basa en información obtenida de fabricantes y en el programa de mantenimiento recomendado por SATA en Camerún. En sitios donde se usen otras bombas, el cuadro 4-2 debe enmendarse a la luz de las instrucciones de los fabricantes y de la experiencia local.

Las bombas de una aldea tienen a veces un uso muy intenso. El cuadro 4-2 recomienda un correspondiente alto nivel de mantenimiento. La frecuencia del mantenimiento puede ajustarse para bombas que tienen poco uso. Las bombas que son mantenidas sobre estas bases raramente han de malograrse.

Algunos proyectos han provisto a pobladores seleccionados con tarjetas postales estampilladas y con la dirección escrita, las cuales se usarán para recabar la ayuda, cuando sea necesario, de un equipo de reparación de emergencia. Este, u otros tipos de arreglos, serán siempre necesarios para lidiar rápidamente con roturas, o daños, o paralizaciones del sistema. Estas postales pueden exhibir un gráfico de la bomba en el cual el remitente puede indicar la parte o componente defectuoso. Este procedimiento no solamente alerta al equipo de reparación sobre el o los repuestos apropiados requeridos y las herramientas que han de usarse, sino que el archivo acumulativo de tarjetas da un registro completo de fallas por componente y apunta a posibles cambios que pueden realizarse en el diseño de la bomba o en las prácticas de mantenimiento.

#### 4.4.6 Instrucciones del Fabricante

Las instrucciones del fabricante para el ensamblaje, instalación, y lubricación y mantenimiento deben seguirse exactamente. La bomba debe examinarse cuidadosamente antes de que se instale y debe hacerse todos los ajustes que sean necesarios.

#### 4.4.7 Adiestramiento

Los programas de adiestramiento que se relacionen con el mantenimiento de las bombas deben enfatizar los procesos de instalación, operación y mantenimiento. El último es de vital importancia. Los folletos y literatura ilustrativa proporcionados por los fabricantes y por el organismo central sobre la instalación, operación y mantenimiento de la bomba específica en uso deben ser continuados y expandidos por un activo adiestramiento in-situ. La figura 4-5 muestra una página de un folleto de Laos sobre mantenimiento de bombas de mano. Las figuras 4-6a y 4-6b constituyen otro ejemplo.

Al personal que adiestra debe instruírsele en cómo trabaja la bomba, las causas más comunes de las fallas, y su corrección. El adiestramiento no debe limitarse sólo a charlas o lecciones; el personal en adiestramiento debe estar físicamente involucrado durante el aprendizaje. El adiestramiento en trabajo durante la instalación original de la bomba es un excelente medio.

Debe contarse, para propósitos de adiestramiento, con muestras de bombas usadas en la localidad y con herramientas que permitan armarlas y desarmarlas. Una colección de partes rotas o usadas sirve mucho para fines de demostración.

PROBLEMAS COMUNES DE LAS BOMBAS DE MANO Y SUS SOLUCIONES

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCION
<p>1. El mango de la bomba trabaja con facilidad pero no sale agua.</p>	<p>A. No hay agua en la fuente. Pozo seco.</p>	<p>Rehabilitar el pozo, o desarrollar una nueva fuente de agua.</p>
	o	
	<p>B. El nivel de agua ha caído por debajo de la altura de succión de la bomba.</p>	<p>Puede medirse con un medidor de vacío o con una cuerda con peso. Reducir la taza de bombeo o bajar el cilindro de la bomba.</p>
	o	
	<p>C. La bomba se ha de- cebado.</p>	<p>Ceban la bomba. Si la bomba pierde repetidamente su cebado, ello puede deberse a que está bombeando a pozo seco, o que la tubería de succión tiene una fuga, o a que la válvula de succión o la válvula de retención de descarga pueden haber desarrollado una fuga. Reparar la tubería o la válvula. Verificar también 1-A y 1-B.</p>
	o	
<p>D. Las empaquetaduras de la taza ("zapatillas") del cilindro se han gastado.</p>	<p>Renovar las empaquetaduras de la taza ("zapatillas") del cilindro.</p>	
o		
<p>E. Las válvulas, o los asientos de las válvulas, pueden estar gastadas o corroídas.</p>	<p>Renovar las válvulas y reparar o renovar los asientos.</p>	
o		
<p>F. Con una bomba impelente de pozo profundo, la varilla del émbolo puede estar rota.</p>	<p>Este problema puede ser señalado por la bomba misma al correr más libre y probablemente con mayor silencio. Correr la mano por la bomba y notar si hay resistencia en la carrera hacia arriba del émbolo. Las varillas rotas deben reemplazarse y esto usualmente significa sacar la tubería de bajada y el cilindro fuera del pozo.</p>	
o		

PROBLEMA

CAUSA PROBABLE

SOLUCION

<p>1. El mango de la bomba trabaja con facilidad pero no sale agua.</p>	<p>G. La válvula de cierre puede estar cerrada (bomba impelente).</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>H. Hueco en la tubería de succión.</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>I. La tubería de succión puede estar taponada con escamas o con excrecencias producidas por la bacteria del hierro, o puede estar con sedimento.</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>J. El cilindro de la bomba puede estar rajado.</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>K. Fuga en la base del cilindro.</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>L. Una o más de las válvulas de retención quedan abiertas por suciedad o escamas.</p>	<p>Abrir la válvula.</p> <p>Renovar la tubería de succión. El cilindro debe bajarse por debajo del nivel de agua en el pozo.</p> <p>Puede verificarse con un medidor de vacío. Renovar la tubería de succión y limpiar o renovar.</p> <p>Renovar el cilindro.</p> <p>Renovar la empaquetadura del cilindro.</p> <p>Renovar las válvulas e inspeccionar para detectar el problema. Con bombas impelentes para pozo profundo esto puede significar levantar el cilindro de la bomba o el émbolo y las válvulas y extraerlas fuera del pozo.</p>
<p>2. La bomba funciona pero entrega sólo una pequeña cantidad de agua.</p>	<p>A. Las zapatillas del émbolo muy gastadas (bombas de émbolo y de pistón).</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>B. El pozo no rinde suficiente agua.</p> <p style="text-align: center;">o</p>	<p>Renovar las zapatillas.</p> <p>Disminuir la demanda o establecer nuevas fuentes de agua.</p>

Continúa

PROBLEMA

CAUSA PROBABLE

SOLUCION

<p>2. La bomba funciona pero entrega sólo una pequeña cantidad de agua.</p>	<p>C. Cilindro rajado (bombas de émbolo o de pistón).</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>D. Fugas en las válvulas de retención.</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>E. La criba o la válvula de succión puede estar obstruída.</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>F. Las tuberías de succión son muy pequeñas.</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>G. La(s) válvula(s) de succión malogradas.</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>H. Tubería de bajada o acopladura rajada.</p>	<p>Renovar el cilindro.</p> <p>Reparar la(s) válvula(s).</p> <p>Extraer y limpiar.</p> <p>Puede verificarse con medidor de succión. Instalar tuberías con mayor diámetro o, para bomba de pozo profundo, bajar el cilindro de la bomba por debajo del nivel de agua en el pozo.</p> <p>Reparar la(s) válvula(s).</p> <p>Renovar tubería de bajada o acopladura.</p>
<p>3. La bomba requiere muchas brazadas para arrancar.</p>	<p>A. La bomba ha perdido su cebado.</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>B. Las empaquetaduras de la taza del cilindro pueden estar gastadas.</p>	<p>Cebiar la bomba. Si la bomba repetidamente pierde su cebado, puede ser que esté bombeando periódicamente en pozo seco, o que la tubería de succión o la válvula de succión tengan fugas. Reparar o renovar la tubería o la válvula.</p> <p>Renovar las empaquetaduras de la taza del cilindro.</p>
<p>4. El mango salta hacia arriba al terminar su bajada.</p>	<p>A. La tubería de succión taponada por debajo del cilindro de la bomba.</p> <p style="text-align: center;">o</p>	<p>Remover la bomba y limpiar la tubería de succión. Si el pozo se ha rellenado de tierra y succiedad hasta la tubería de succión, el pozo debería ser limpiado o la tubería debería ser cortada.</p>

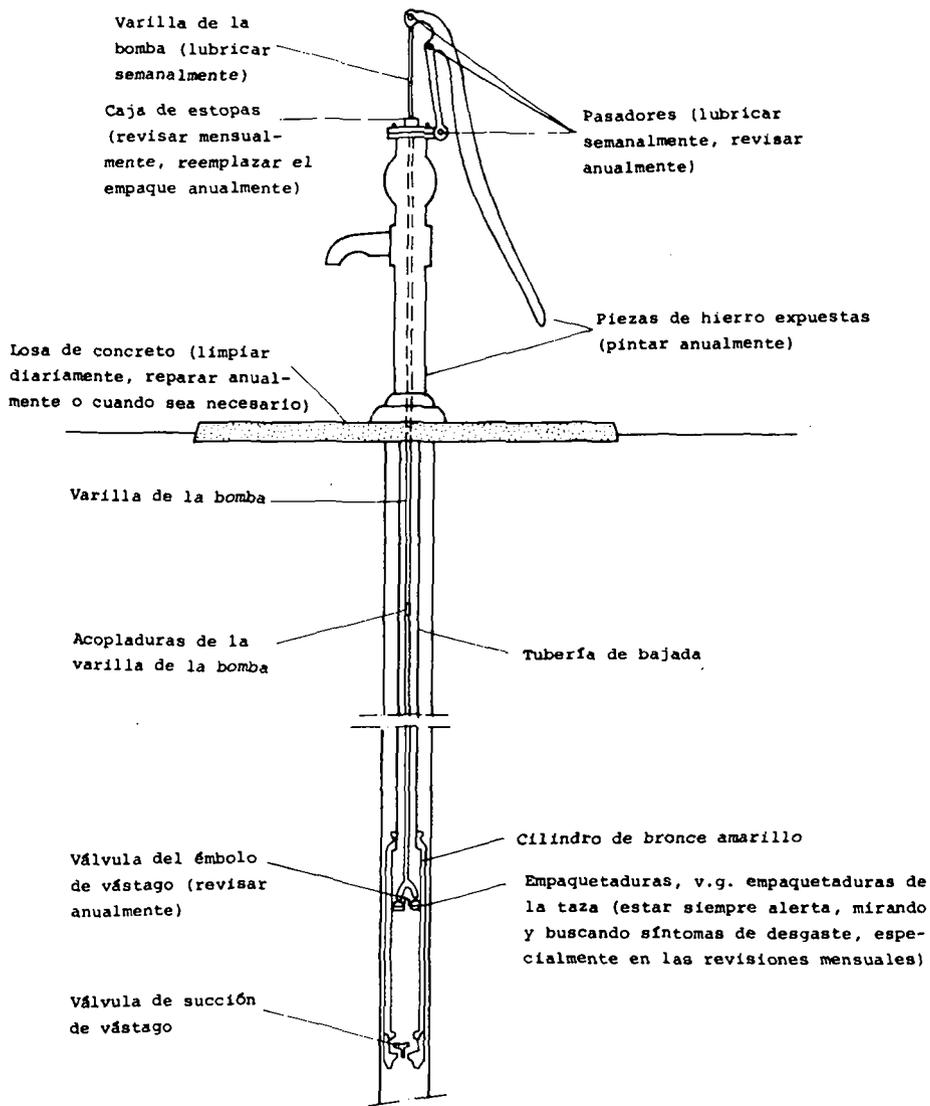
PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCION
<p>4. El mango salta hacia arriba al terminar su bajada.</p>	<p>B. La válvula de retención del émbolo falla en abrirse o cerrarse.</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>C. La tubería de succión muy pequeña.</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>D. El agua muy por debajo de la bomba (la tubería de succión muy larga).</p>	<p>Reparar la válvula de retención.</p> <p>Reemplazar con tubería de succión más grande.</p> <p>Colocar el cilindro más cerca del agua.</p>
<p>5. Fugas en la caja de estopas.</p>	<p>A. Las empaquetaduras gastadas o flojas.</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>B. La varilla del émbolo muy dañada.</p>	<p>Renovar o apretar las empaquetaduras. Dejar la tuerca del empaque lo suficientemente floja como para permitir un goteo lento de agua. El agua sirve como lubricante.</p> <p>Renovar la varilla del émbolo.</p>
<p>6. La bomba produce mucho ruido.</p>	<p>A. Los cojinetes u otras partes de la bomba están flojas.</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>B. La bomba está suelta en su montaje.</p> <p style="text-align: center;">o</p> <p>C. Con bombas de émbolo para pozo profundo que tengan la varilla del émbolo de acero, la varilla puede estar golpeando contra la tubería de bajada.</p>	<p>Apretar o renovar las partes flojas.</p> <p>Enderezar y arreglar el montaje.</p> <p>Usar una varilla de madera o instalar guías para la varilla o enderezar la varilla si está torcida.</p>

CUADRO 4-2 PROGRAMA PARA MANTENIMIENTO DE BOMBAS DE MANO SENCILLAS

- diariamente
1. Cerrar y abrir la bomba a las horas acordadas por la aldea.
  2. Limpiar la parte superior del pozo.
- semanalmente
1. Limpieza cuidadosa de la bomba, de la parte superior del pozo y de los alrededores.
  2. Aceitar o engrasar todos los pasadores, cojinetes y partes deslizantes después de verificar que no se haya formado óxido.
  3. Registrar cualquier comentario de los usuarios acerca de irregularidades en el trabajo de la bomba (partes apretadas, fugas por la caja de estopas, caída del agua bombeada). Corregirlo cuando sea posible.
- mensualmente
1. Ajustar la caja de estopas si es necesario (esto no se aplica a la bomba Craelius). Usualmente se hace esto apretando la tuerca del empaque. Sin embargo, ésta no debe quedar apretada. Cuando el ajuste es correcto debe haber un escape de agua muy ligero.
  2. Verificar que todas las tuercas y los pernos estén apretados y verificar que no haya evidencia de conexiones flojas o sueltas en la varilla de la bomba.
  3. Verificar si las empaquetaduras muestran síntomas de desgaste, anotando si hay comentarios de los usuarios acerca de caída del agua elevada. Si la bomba falla en elevar agua cuando se la opera despacio (v.g. a 10 "brazadas" por minuto), hay que reemplazar las zapatillas.
  4. Llevar a cabo todas las tareas de mantenimiento semanales.
- anualmente
1. Pintar las partes expuestas para prevenir el desarrollo de herrumbre u óxido.
  2. Reparar cualquier rajadura en el concreto de la parte superior del pozo y alrededores.
  3. Verificar el desgaste de los cojinetes del mango y reemplazar las partes que fueran necesarias. En la bomba Craelius se pueden reemplazar las acopladuras gastadas por ciertos segmentos de tubería de diámetro apropiado.
  4. Verificar la válvula del émbolo y la válvula de pie; reemplazarlas si se encuentran fugas.
  5. Revisar la varilla de la bomba y reemplazar cualquier longitud defectuosa o los elementos de conexión.
  6. Reemplazar el empaque de la caja de estopas (no se aplica a la bomba Craelius).
  7. Llevar a cabo todas las tareas de mantenimiento mensuales.

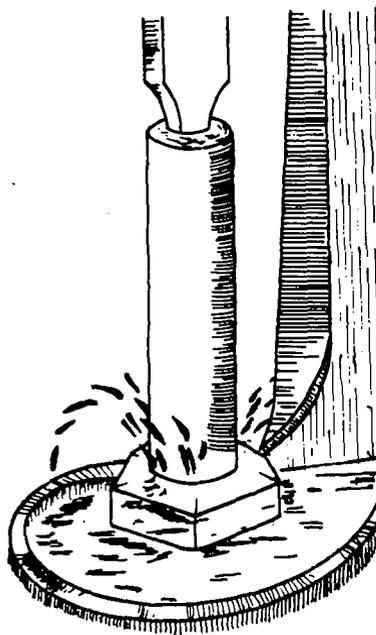
---

Según Pacey (1976)

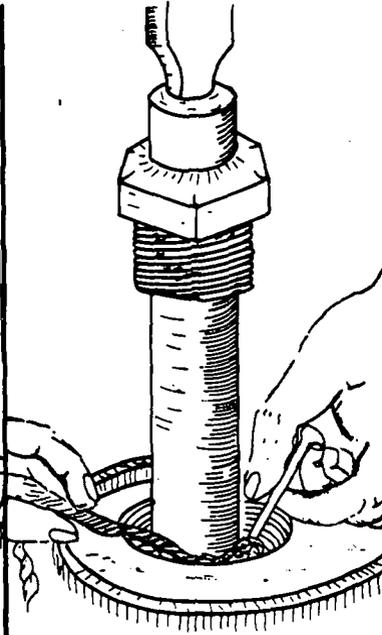


**FIGURA 4-4 REQUISITOS DE MANTENIMIENTO DE LOS COMPONENTES DE BOMBAS DE MANO (Según Pacey, 1976)**

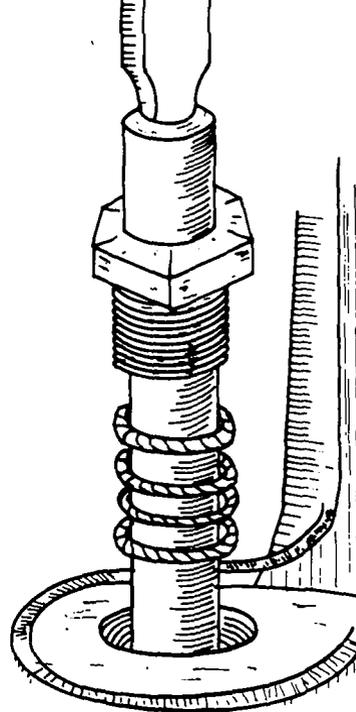
## COMO REEMPLAZAR UN EMPAQUE GASTADO



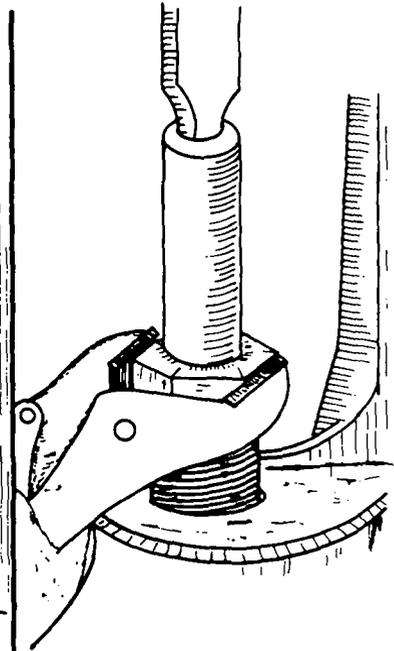
EL EMPAQUE ESTA GASTADO  
POR CONSIGUIENTE EL AGUA ESCAPA



QUITAR EL EMPAQUE GASTADO



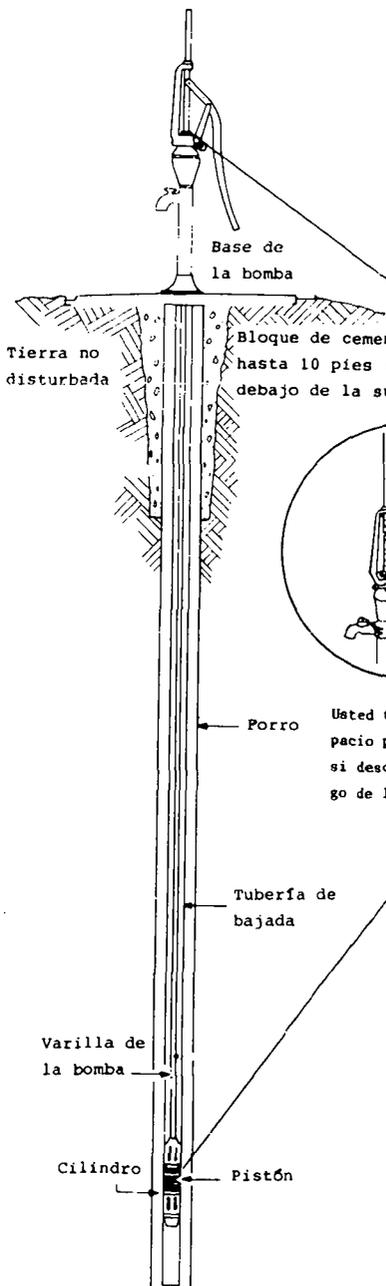
REEMPLAZAR CON EL NUEVO EMPAQUE



MANTENER LA TUERCA LO SUFICIENTE-  
MENTE APRETADA PARA PREVENIR LAS  
FUGAS DE AGUA Y ENGRASAR LA TUERCA

FIGURA 4-5 PAGINA DE UN MANUAL DE MANTENIMIENTO DE BOMBAS DE AGUA EN LAOS PARA USARSE EN EL CAMPO  
(original en idioma Laosiano e Inglés)

FIGURA 4-6a CUIDADO Y MANTENIMIENTO DE LA BOMBA DE MANO  
(CILINDRO DE TIPO ABIERTO - DESCARGA POR SURTIDOR)



Mantenga el terreno inclinado alrededor de la losa de la bomba de manera que el agua de lluvia se aleje del pozo. Es una buena idea tener una pantalla rompeviento alrededor de la bomba, especialmente en tiempo frío.

Asegúrese que nada suceda que pueda romper la bomba. Por ejemplo, no ate caballos a la bomba o deje niños jugar con la bomba.

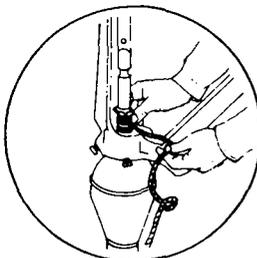
Dos cosas que usted debe hacer de vez en cuando para mantener la bomba trabajando son:

① ARREGLAR LA CAJA DE ESTOPAS

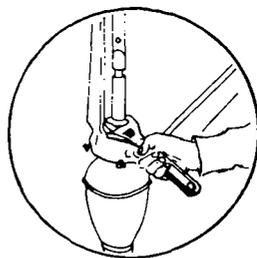
Si el agua se escapa por el tope de la bomba, usted debe apretar la tuerca encima de la caja o ponga un nuevo empaque.



Usted tendrá más espacio para trabajar si desconecta el mango de la bomba.



Destornille y deslice la tuerca de empaque hacia arriba. Envuelva el empaque alrededor de la vara, luego apriete la tuerca.



② REEMPLAZAR LAS EMPAQUETADURAS DE LA TAZA EN EL CILINDRO

Si la bomba no eleva agua del pozo como debería, se puede necesitar reemplazar las empaquetaduras de la taza en el cilindro. A la vuelta de esta página encontrará usted cómo hacerlo.

**CARACTERÍSTICAS DE SU BOMBA Y SU POZO**

Su bomba es una \_\_\_\_\_ MODELO \_\_\_\_\_.

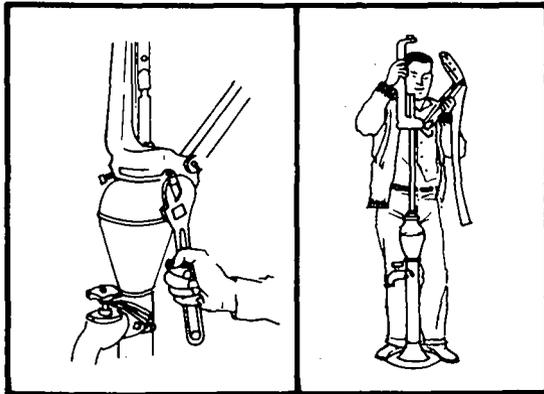
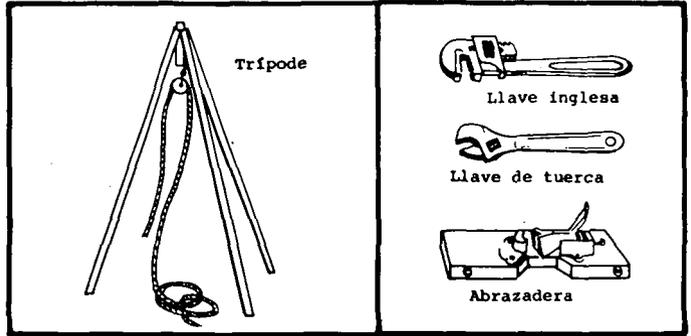
SU POZO TIENE \_\_\_\_\_ pies de profundidad. Para reemplazar las empaquetaduras de la taza del cilindro usted debe remover \_\_\_\_\_ pies de varilla de la bomba y \_\_\_\_\_ pies de tubería de bajada. El cilindro tiene \_\_\_\_\_ empaquetaduras que tienen \_\_\_\_\_ pulgadas de diámetro. Hay \_\_\_\_\_ válvulas de cuero que tienen \_\_\_\_\_ pulgadas de diámetro.

\* Adaptado de un panfleto del U.S. Public Health Service

# FIGURA 4-6b REEMPLAZO DE EMPAQUETADURAS EN CILINDROS CUANDO SE REQUIERE EXTRACCION DE LA VARILLA DE LA BOMBA

Reemplazar las empaquetaduras de la taza del émbolo significa que se tiene que extraer del pozo la varilla de la bomba. Las herramientas que se necesitan para este trabajo se muestran a la derecha.

Estas herramientas están localizadas en



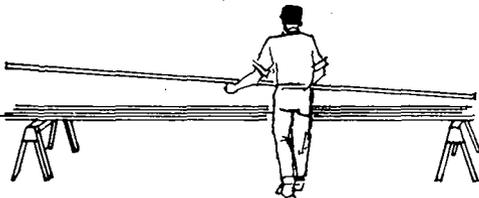
Remover la parte superior del soporte de la bomba soltando los tres pernos de la brida y levantarla como se muestra en el grabado de la izquierda.

Gufa de la tubería

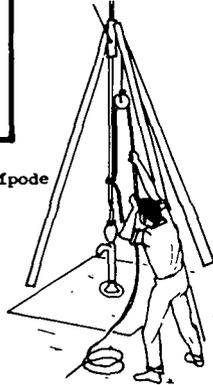
Levantar la varilla de la bomba con la polea del trípode.

Sea cuidadoso. No deje que la varilla de la bomba se resbale y caiga otra vez al pozo.

El amarre de "clavada" es un buen nudo que puede usarse en esta clase de trabajo.



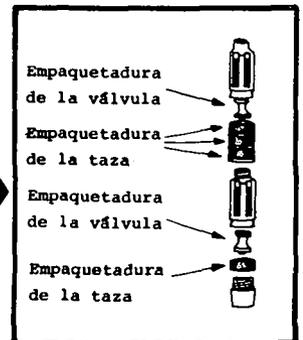
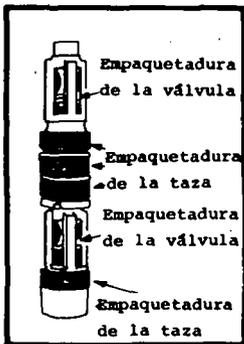
Trípode



A medida que los tramos de tubería se extraen, colóquelos sobre caballetes o en cajas de modo que no se ensucien.

Este es el aspecto que presenta el émbolo de la bomba cuando sale del cilindro. Tenga en cuenta que su bomba puede tener más o menos empaquetaduras.

Asegúrese y mire bien como está constituido el pistón antes de desarmarlo, porque una vez que haya reemplazado las empaquetaduras el pistón tiene que armarse exactamente como estaba antes. Este grabado muestra las diferentes partes del pistón. Tome nota que el filo o borde de las empaquetaduras está hacia arriba, mirando a la boca del pozo.



## 5. INVESTIGACION Y DESARROLLO DE LAS BOMBAS DE MANO

### 5.1 HISTORIA

El origen de las bombas de mano se pierde en la antigüedad.\* La bomba recíproca operada a mano, de cuerpo de fierro y producida en masa, apareció a mediados del siglo XIX. Esta fue una era de empirismo más que de lógica derivación de principios fundamentales. Las nuevas ideas nacieron en el campo o en el taller, no en el tablero de dibujo. Aquéllas que tenían mérito intrínseco sobrevivieron, miles en cambio (incluyendo muchas que quedaron en las oficinas de patentes) perecieron. Los diseños actuales han evolucionado a través de generaciones con cientos de modificaciones hechas por los usuarios o por pequeños industriales, pero raramente como parte de un programa organizado por una agencia principal y raramente, también, informados y comentados en la literatura técnica.

Al final del siglo XIX el desarrollo de la agricultura en las planicies de Norteamérica estaba en plena floración. Ciertos historiadores creen que este desarrollo fue posible por el extenso uso de "el alambre de púas y de las bombas de mano accionadas por molinos de viento". El desarrollo simultáneo de escuelas y colegios de agricultura y de estaciones de investigación condujo a las primeras pruebas y evaluaciones de la bomba de mano, trabajos de calidad comparable con los de hoy en día. (El trabajo de Hood, publicado en 1898, es un excelente ejemplo). Al mismo tiempo y al otro lado del Atlántico, un profesor alemán, el Dr. Julius Weisbach,\*\* estaba derivando las ecuaciones fundamentales para apreciar el rendimiento de las bombas de mano recíprocas.

Con la creciente sincronización y electrificación, el mercado para las bombas de mano (y para investigación) en los países industrializados decayó mucho y permaneció dormido por más de 50 años hasta que fue reavivado por los programas de asistencia técnica internacional para desarrollo de abastecimientos de agua en áreas rurales. Sin embargo, los fondos asignados para investigación sobre bombas

---

\* Vitrubio (1er. siglo A.C.) atribuye la invención de la bomba recíproca a Cetesibio (cerca 275 A.C.). Aún si así fuera, algunos otros tipos antedatan la bomba recíproca.

\*\* Mejor conocido por la ecuación de flujo Darcy-Weisbach.

de mano, comparados con las inversiones hechas en esos programas, han sido muy pequeños.

## 5.2 DESARROLLO DE LA BOMBA DE MANO AID/BATTELLE

En 1966 la Agencia para el Desarrollo Internacional, A.I.D., contrató con el Battelle Memorial Institute-Columbus Laboratories, el desarrollo de una bomba de mano confiable y apropiada para su uso en los abastecimientos de agua potable rural de los países en desarrollo. Se establecieron especificaciones básicas para tal bomba:

- (1) Bajo costo de producción.
- (2) Larga vida bajo condiciones severas de trabajo.
- (3) Mantenimiento fácil con herramientas simples y mano de obra inexperta.
- (4) Fácil conversión para instalarse en pozos superficiales o profundos con sólo transformaciones menores.
- (5) Fácil fabricación por firmas establecidas en países en desarrollo con un mínimo de inversión de capital.
- (6) Fácil operación por gente de baja estatura, incluyendo mujeres y niños.
- (7) Diseño de características tales que desalientan raterías y vandalismo.

El programa para desarrollar una bomba de mano doméstica mejorada fue conducido por Battelle para AID en tres etapas:

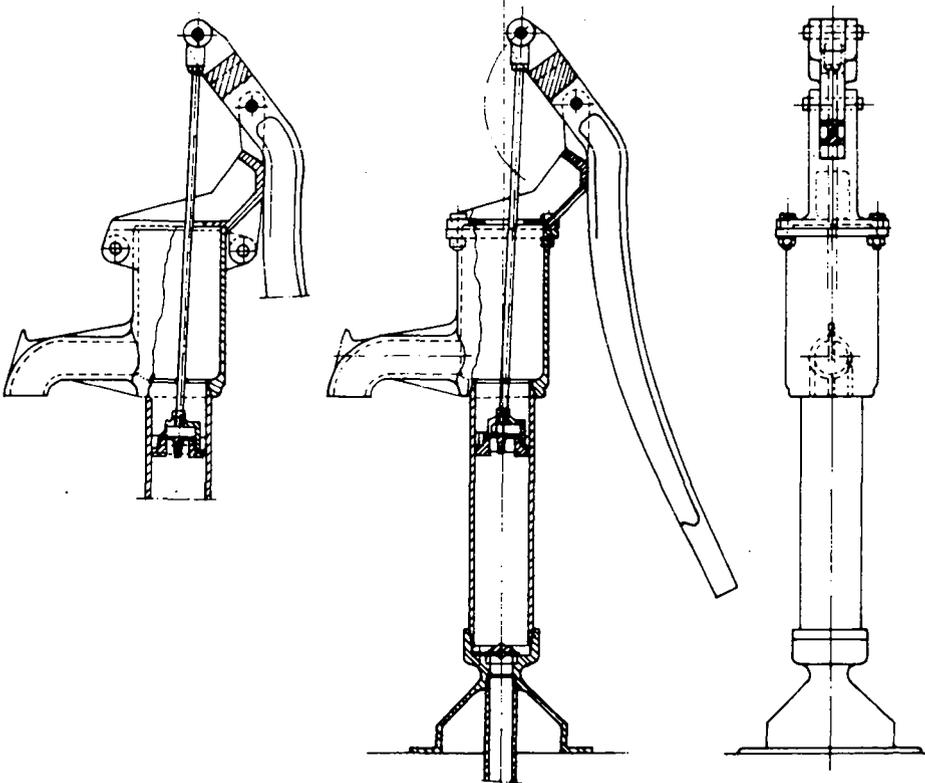
- (1) Examen de las condiciones existentes.
- (2) Desarrollo de la bomba y evaluación de laboratorio.
- (3) Programas de evaluación de campo.

### 5.2.1 Examen de las Condiciones Existentes

Battelle encontró, en su encuesta entre los países en desarrollo, las siguientes condiciones y prácticas:

- (1) Carencia de bombas y de facilidades adecuadas para fabricarlas.
- (2) Algunas regiones tenían bombas que en épocas anteriores se habían instalado, pero eran de diferentes clases con ningún o muy pobre mantenimiento.
- (3) Falta en la comunidad de un espíritu positivo hacia sistemas de abastecimiento de agua comunitario, llegándose en algunos casos al extremo de vandalismo.
- (4) Renuencia de las autoridades de gobierno a actuar positivamente, o tan efectivamente como pudieran hacerlo.
- (5) Diseño inadecuado de la bomba, sea que la bomba fuera hecha en el país o importada:
  - (a) cilindros muy burdos,
  - (b) dimensiones inadecuadas de la taza del émbolo (generalmente muy grandes),
  - (c) fulcro y mango sometidos a esfuerzos muy grandes, frecuentemente agravados por alineamiento y tolerancia pobres,
  - (d) superficie muy reducida de los cojinetes,
  - (e) asientos de las válvulas pobremente fundidos y acabados, y
  - (f) pernos, tuercas y pasadores de manufactura inferior.
- (6) Facilidades de almacenamiento inadecuadas. Muchas de las partes y repuestos, por razón de mal almacenaje, se deterioran tanto que quedan inservibles.
- (7) Bombas de mano incapaces de soportar uso riguroso sin mantenimiento adecuado.

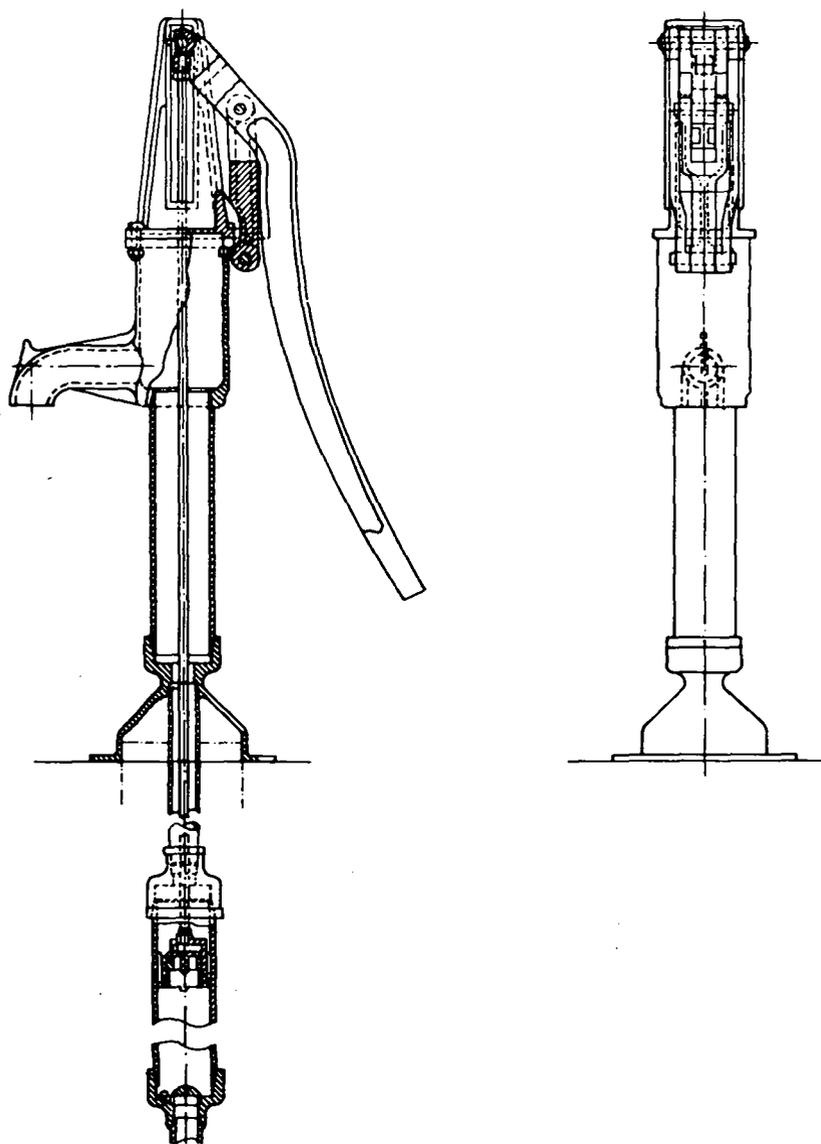
FIGURA 5-1a BOMBA BATTELLE - CONFIGURACION PARA POZO SUPERFICIAL



Modelo con Pasadores

Modelo con Pernos

FIGURA 5-1b BOMBA BATTELLE - CONFIGURACION PARA POZO PROFUNDO



## 5.2.2 Desarrollo y Evaluación de la Bomba

Las configuraciones para pozo profundo y para pozo superficial fueron desarrolladas incorporando mejoras de diseño para corregir muchas de las deficiencias anotadas. Se fabricaron bombas prototipo y se sometieron a pruebas de laboratorio rigurosas. Los hallazgos de Battelle y las conclusiones relevantes al diseño de la bomba incluían lo siguiente:

- (1) Las superficies mínimas para los cojinetes son  $\frac{5}{8}$  pulgada (15.8 mm) de diámetro x  $1\frac{1}{2}$  pulgada (36.8 mm) y, en condiciones extremas, deberían considerarse medidas más grandes. Si fuera posible, las chumaceras de fierro fundido para los cojinetes, o "huecos" deberían ser más duros. Si los materiales y la habilidad estuvieran disponibles localmente podría considerarse el uso de paquetes de cojinetes (como "cassettes") para insertarse en la parte correspondiente.
- (2) Ensamblajes a base de pasadores antigiratorios pueden ser satisfactorios si el uso no es muy recargado y si no hay disponibles pernos y tuercas. Sin embargo, se prefieren ensamblajes empernados porque la fabricación se hace más fácil mecánicamente y ofrece como resultado una unidad más aceptable para uso continuo.
- (3) Una extensión de la varilla de la bomba con un solo cojinete en el tope de la misma no ofrece una vida satisfactoria si trabaja bajo un vigoroso bombeo de pozo profundo. (En su diseño de pozo profundo, Battelle creó un diseño a base de bloque resbalante, que no requiere extensión de la varilla de la bomba).
- (4) A causa del alza del costo de los materiales, de la escasez de los mismos, y de dificultades en el transporte, las bombas de mano deberían ser tan livianas como fuera posible sin perjudicar su funcionamiento o su vida útil.
- (5) Ninguna válvula en particular ha demostrado ser mejor que otra; sin embargo, cualquiera que sea la válvula que se prefiera, la fabricación debe hacerse con cuidado para que rinda una operación satisfactoria.
- (6) La química del fierro y del carbón usados en fundición deben tener un espectro de trabajo que facilite el proceso de fundición y resulte en un producto aceptable. El contenido de fósforo es particularmente crítico.
- (7) La instalación de la bomba completa debe efectuarse cuidadosamente, usando los componentes prescritos para dar una operación satisfactoria.
- (8) El secreto para una larga vida de la taza estriba en lo lisas que deben ser las paredes del cilindro dentro del cual opera el émbolo; un promedio de tersura al centro de la línea (PTC)\* de 8 a 12 micropulgadas (aproximadamente la tersura de las paredes del cilindro de bronce sin pulir) o menos.
- (9) El uso de cilindros de fierro pintado o revestido con epoxy y de tubería de cloruro de polivinilo (PVC) para los cilindros, o para forrar los cilindros, son posibilidades prometedoras.
- (10) Se recomienda cuero de buena calidad, sin teñir e impregnado de grasa, para usarse en las tazas del émbolo.
- (11) Otras opciones que se pueden considerar para "zapatillas de bomba" son "Corfam" para las tazas del émbolo, tela de nilón recubierta con neoprene para las válvulas de charnela, y uso de tubería plástica para los tubos de los pozos, para las cribas de los pozos o para las tuberías de succión.
- (12) Los asientos de las válvulas deben ser tersamente acabados y sin fallas para asegurar que las bombas conserven su cebado, el cual es una fuente constante de irritación.
- (13) Todas las superficies sin protección de fábrica (sin baño o revestimiento), tales como cilindros, asientos de válvulas, cojinetes, y roscas, deben recibir una mano de aceite o grasa antes de proceder a almacenarlas.

\* Cuanto más pequeño el PTC de tersura, más lisa la superficie. Una micropulgada es equivalente a una millonésima parte ( $10^{-6}$ ) de pulgada, o sea 0.35 micrones.

- (14) Las superficies de los cojinetes deben hacerse con el mayor ajuste de tolerancia que sea posible para asegurar una vida operativa más larga.
- (15) No deben usarse dimensiones de cilindro por encima de 3 pulgadas (aproximadamente 75 milímetros) de diámetro, basado esto en la observación de Battelle que las tazas tienden a fallar estructuralmente más bien que a desgastarse en bombas de 3½ pulgadas (8.7 mm) para pozos superficiales.

### 5.2.3 Evaluación de Campo

Aunque los modelos prototipo de la bomba Battelle fueron sujetos a pruebas de laboratorio rigurosamente controladas, desafortunadamente no se han llevado a cabo pruebas de campo en gran escala de la bomba Battelle, a pesar de los esfuerzos hechos por Battelle y por AID para organizar proyectos de evaluación "in situ", en cooperación con programas locales de abastecimiento de agua.

El Programa de Desarrollo Acelerado del Medio Rural de Tailandia instaló cuatro bombas Battelle para pozo profundo. Basada en informes más bien limitados, Battelle llegó a las siguientes conclusiones:

- (1) que los cilindros de PVC para pozos profundos son económicos y efectivos, y
- (2) que es posible fundir partes de la bomba, siguiendo el diseño, en pequeñas fundiciones "rurales" y, también, que pueden trabajarse con máquinas de un modo aceptable.

Battelle concluyó también que su diseño inicial de la extensión de la varilla de la bomba y la guía de la varilla de la bomba resultó en excesivo desgaste de esas piezas. Battelle ha rediseñado este conjunto, reemplazándolo con un bloque deslizante único pero que aún no ha sido sometido a ensayos.

En una fundición de Nigeria se fundieron 100 bombas Battelle para pozo profundo, pero aparentemente pocas están en servicio, debido en parte a precios altos y en parte a "dificultad en bombear el agua". La última razón se debe probablemente al uso local de tubería de bajada inadecuada (muy angosta) y de varilla de la bomba y acopladuras de la varilla inadecuadas (sobredimensionadas) y el uso de cilindros de 3 pulgadas (76 mm) de diámetro a profundidades de 180 pies (55 metros). UNICEF está tratando de enviar varias de estas bombas a Ouagadougou para que sean probadas por el Comité Interafricano de Estudios Hidráulicos (CIEH).

Algunas bombas Battelle para pozo superficial fueron también probadas en el programa de desarrollo de bombas que Bangladesh lleva a cabo con asistencia de la UNICEF. La escasez local de fierro y carbón de coque hacían necesaria una bomba más liviana. El programa de bombas de Bangladesh se halla ahora (1976) en pleno

desarrollo y, aunque la bomba actualmente en producción se parece a la vieja bomba, se le han incorporado algunas características de la bomba Battelle en el diseño Bangladesh.\* El nuevo diseño de la bomba Battelle para pozo profundo ha sido enviado a Bangladesh para evaluación, pero aún no hay información disponible.

#### 5.2.4 Fabricación de Bombas de Mano

Battelle también analizó y evaluó la calidad metalúrgica, las prácticas de fundición y de taller, los procedimientos de inspección y los posibles materiales alternativos. Asimismo, Battelle desarrolló especificaciones para fierro y carbón de coque. Su informe de 1972 es la obra más completa hasta ahora publicada sobre esta materia.

#### 5.2.5 Documentación

Los estudios de Battelle están bien documentados. Véase Frink y Fannon (1967), Fannon y Frink (1970), Fannon y Varga (1972) y Fannon (1975). El último informe, que se puede obtener de la Oficina de Salud, Oficina de Asistencia Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional, Washington D.C. 25203, E.U.A., resume el trabajo previo efectuado; y contiene dibujos completos de trabajo de bombas para pozo profundo, y pozo superficial, con conexiones entre sus partes a base de pasadores o de pernos. La figura 5-1 muestra vistas del ensamblaje general.

#### 5.2.6 Apreciación del Programa AID/Battelle de Investigación de Pozos

Aunque las bombas AIS/Battelle no han sido utilizadas ampliamente o en gran número, el programa de investigación tuvo gran valor al definir claramente la relación entre la tersura de las parades del cilindro y el desgaste de las empaquetaduras de la taza del émbolo; al establecer especificaciones metalúrgicas y de fabricación para bombas de fierro fundido; en sus observaciones sobre diseño de cojinetes y desarrollo de válvulas; y en sus pruebas y evaluación de materiales alternativos para el cilindro y para el revestimiento o pintura de las paredes del cilindro; y de materiales alternativos para reemplazar las empaquetaduras de la taza y para los discos de la válvula de charnela. El programa de investigación de Battelle ha ejercido influencia sobre todos los grandes programas de bombas de mano subsiguientes.

---

\* Ver Discusión de la "Nueva Bomba de Mano No. 6" UNICEF/BANGLADESH en las páginas siguientes.

AID ha efectuado recientemente un contrato (1976) con el Instituto Tecnológico de Georgia para continuar las pruebas y evaluaciones de campo de la bomba AID/Battelle.

### 5.3 ESTUDIO DE BOMBAS DE MANO USADAS EN POZOS TUBULARES SUPERFICIALES EN LOS ALREDEDORES DE CALCUTA

Básicamente, este programa fue un estudio de requerimientos de mantenimiento de bombas aspirantes de manufactura local (5 compañías) para pozos superficiales en las áreas rurales de los alrededores de Calcuta. El estudio fue llevado a cabo por el Instituto de Higiene y Salud Pública para toda la India con el apoyo de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y del Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). (Ver Majumder y Sen Gupta).

Las bombas estudiadas fueron recíprocas de diseño convencional, con mango de tipo palanca, descarga intermitente y válvulas de succión de charnela, y de cilindros de 3½ pulgadas (aprox. 90 mm) integrales con el cuerpo de la bomba. Cada bomba servía a cerca de 125 personas y tenía una capacidad de elevación de 10 a 15 pies (3 a 5 metros).

#### 5.3.1 Hallazgos

Dos grupos de bombas - uno de 14 bombas y el otro de 15 - fueron instalados y observados durante dos años y nueve meses, respectivamente. El primer grupo, instalado tal como vino de fábrica requirió de "atención de servicio", en promedio, alrededor de 1.5 veces por año por cada bomba. Las partes que necesitaron de más frecuente recambio entre las piezas mayores fueron las válvulas y las tazas de cuero. Hubo también muchos reemplazos que hacer provocados por roscado pobre de la varilla del pistón, tornillos para piezas batientes, pernos y tuercas. Se notó gran diferencia en la frecuencia de reparación entre diferentes bombas, incluso entre aquéllas producidas por un mismo fabricante.

Antes de la instalación del segundo grupo de 15, las bombas se mejoraron puliendo algunas partes con maquinarias, cortando roscas, perforando huecos, ajustando tolerancias y se las equipó con tazas y válvulas de polietileno, y con tuercas y roldanas "de la mejor calidad del mercado". Durante un período de nueve meses, estas bombas necesitaron sólo 2 "atenciones de servicio" en total.

La revisión de los registros de un año de mantenimiento de 412 bombas similares, con acabado sólo de fábrica, ya colocadas en su sitio de trabajo, arrojó las siguientes cantidades para los reemplazos que se detallan: cuerpos de bomba, 10; tazas de cuero, 390; válvulas de cuero, 348; varillas de pistón, 82; mangos, 50; y pernos y tuercas, 1101. Hubo 2296 reemplazos de diferentes componentes en total, y se necesitaron 724 días de "atenciones y cuidados".

### 5.3.2 Recomendaciones

Las recomendaciones incluyeron:

- (1) El contenido de fósforo del fierro fundido debería ser menor que 0.15 a 0.20 por ciento, para prevenir que los cuerpos de bomba resulten duros y quebradizos, sujetos por ello a roturas y difíciles de trabajar resultando en paredes de cilindros más rugosos y con tolerancias más pobres.
- (2) Las varillas del émbolo deben hacerse de barras de acero dulce redondo. Las varillas hechas de flejes chatos de acero tenían roscas pobres. Cuando se las calentaba para redondearlas, la rosca se rompía y desprendía rápidamente. El hilo de la rosca puede cortarse en toda su profundidad en acero redondo pero sólo hasta el 40% de profundidad en flejes chatos de acero.
- (3) Los pernos y las tuercas que fijan las empaquetaduras de las válvulas deben ser galvanizados.
- (4) Deben usarse pasadores de acero brillante con dos roldanas y chavetas en ambos extremos, en lugar de pernos y tuercas en la armadura del mango. La práctica de lubricación ocasional alargará la vida de los huecos y de los pasadores.
- (5) Las tolerancias deben minimizarse en todas las conexiones con pasadores, no sólo para prevenir excesivo desgaste en esos puntos, sino para reducir el desgaste y daño de otras partes que puedan ser producidos por pobre alineamiento y "bailoteo".
- (6) El cuero es el mejor material para válvulas de charnela o de "cubo" para cilindros de la calidad disponible en Calcuta. La vida promedio de las empaquetaduras de la taza es de alrededor de 200 días. La causa principal de falla de las válvulas de charnela es el humedecimiento y secado cíclico dando como resultado la pérdida de elasticidad; la falla ocurre en el punto de contacto con el lastre.
- (7) El almacenamiento apropiado de la bomba y de sus componentes es un problema importante. La pintura apropiada, la protección de las piezas contra la herrumbre y la protección de las "zapatillas" contra el moho son muy necesarias.
- (8) Se precisa normalización.
- (9) La clave de una operación satisfactoria es un buen mantenimiento.

### 5.4 PROYECTO 0268 OMS/UNICEF/INDIA PARA EL ESTUDIO Y DESARROLLO DE BOMBAS DE MANO PARA POZO PROFUNDO (BOMBA BANGALOR)

Los objetivos de este proyecto fueron desarrollar una bomba de mano para pozo profundo mejorada, adecuada al uso de la comunidad y encontrar modos y medios de reducir el costo de la bomba. Se incluía un estudio de las bombas de mano recíprocas para pozo profundo fabricadas en la India. El gobierno de Karnataka (a través de su Departamento de Pequeño Regadío e Ingeniería de Salud Pública), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la

Infancia (UNICEF) colaboraron en el proyecto. Este empezó en marzo de 1973 y terminó en diciembre de 1974. (Ver WHO/SEARO, 1976).

Los elementos del proyecto incluyeron:

- (1) Una encuesta de campo sobre las características del usuario para determinar los criterios básicos de diseño.
- (2) Un estudio de taller sobre bombas nativas e importadas disponibles para este estudio con el objeto de identificar puntos fuertes y débiles en su diseño y fabricación.
- (3) Búsqueda de materiales de sustitución adecuados para la construcción de bombas.
- (4) Diseño, manufactura y pruebas de un cilindro prototipo.
- (5) Diseño, manufactura y prueba de un cabezal de bomba prototipo.

#### 5.4.1 Estudio de los Usuarios

Este programa fue el único que incluyó medidas antropométricas y ergométricas del tamaño, movimiento y trabajo de la población de 20 usuarios por bomba en 100 bombas de mano. Este trabajo se resume brevemente en el Cuadro 5-1. Debe notarse la composición heterogénea de la población.

Las fotografías que se muestran en la figura 5-2 ilustran la importancia de que los mangos de la bomba de mano se coloquen en la posición apropiada. (Foto cortesía de V.J. Emmanuel).

#### 5.4.2 Criterios de Diseño Derivados del Estudio

Basada en la encuesta de campo, la altura de la bomba seleccionada era de 1.00 metro (3.28 pies), exclusive de la altura del pedestal, el cual debe limitarse a 100 milímetros (4 pulgadas) encima del nivel de la plataforma. El diámetro escogido del cilindro fue de 2½ pulgada (68 mm). Se seleccionó una longitud de carrera de 144 mm (4.5 pulgadas). La frecuencia de la carrera usada en los cálculos fue de 50 carreras (presumiblemente carreras dobles) por minuto.

#### 5.4.3 Estudio de Taller

Esta parte del estudio fue un análisis de los defectos de diseño y fabricación de las bombas comerciales disponibles, incluyendo "Patel", "Mahasagar", "Economy", "Senco", "Wasp", "Cauvery", "Jalvad" (todas éstas fabricadas en la India), Dempster (E.U.A.) y "Mono" (R.U.). Todas las bombas, menos la "Jalvad", y la "Mono" tienen ensamble de cabezal convencional.

En bombas con cabezal convencional, se encontró que las partes móviles "casaban" pobremente. Las tolerancias y encajes eran "excesivos", permitiendo que los mangos y fulcros se "mecieran" lateralmente. La figura 5-3 es ilustrativa. Las columnas

CUADRO 5-1

OBSERVACIONES DE CAMPO DE USUARIOS DE BOMBAS DE MANO  
PARA POZO PROFUNDO EN EL ESTADO DE KARNATAKA, INDIA

Descripción o Parámetro	Características o Estadísticas	Medidas o Cálculos	Unidades	
Clasificación de Usuarios	Mujeres	57.4	Por ciento	
	Niños (edad indefinida)	34.8	Por ciento	
	Hombres	7.8	Por ciento	
Usuarios por Bomba por Día	Promedio	No calculado	Usuario/bomba/día	
	Mediana	665	Usuario/bomba/día	
	Modo	665	Usuario/bomba/día	
	Amplitud	240-1340	Usuario/bomba/día	
Estatura de los Usuarios	Promedio	151.2	Centímetros	
	Mediana	152.6	Centímetros	
	Modo	152.7	Centímetros	
	Amplitud	92.6-187.5	Centímetros	
Frecuencia de las "Brazadas"				
	Bomba de 2½ pulg.	Promedio	64	Brazada/Minuto
	Bomba de 3 pulg.	Promedio	58	Brazada/Minuto
	Bomba de 4 pulg.	Promedio	48	Brazada/Minuto
Longitud de las "Brazadas"				
	Bomba de 2½ pulg.	Modo	11.8	Centímetros
	Bomba de 3 pulg.	Modo	11.8	Centímetros
	Bomba de 4 pulg.	Modo	8.2	Centímetros
Descarga de la Bomba				
	Bomba de 2½ pulg.	Promedio	26.9	Litros/Minuto
	Bomba de 3 pulg.	Promedio	30.0	Litros/Minuto
	Bomba de 4 pulg.	Promedio	34.8	Litros/Minuto

1 Centímetro : 0.4 pulg. (aproximadamente)

1 Litro/Minuto: 0.26 galones por minuto

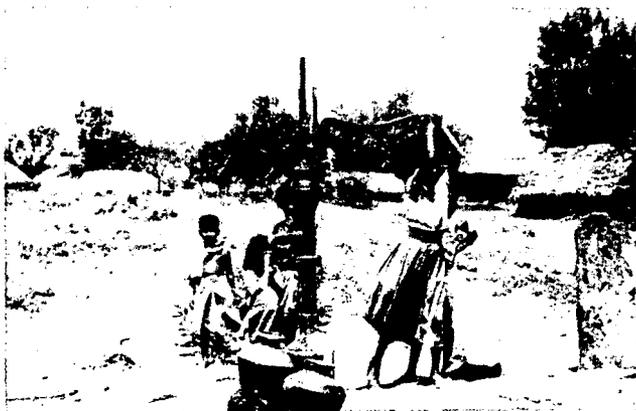
FIGURA 5-2 ALTURAS DE MANGO DE BOMBAS PARA OPERACION COMODA O INCOMODA



Este mango de bomba es muy bajo para una operación cómoda



Esta bomba está muy baja para este usuario. El se tiene que agachar para compensar



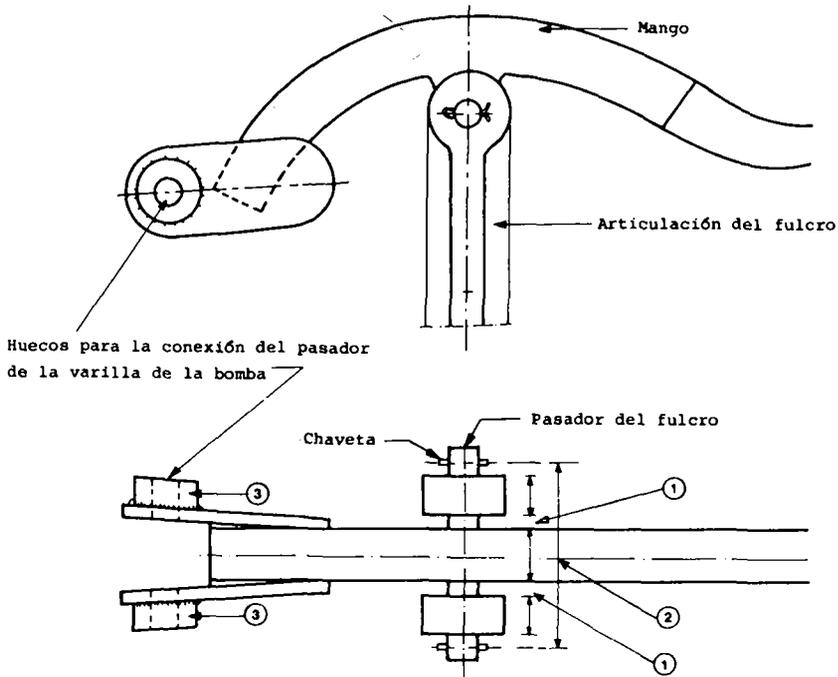
La baja posición del mango permite una operación con el brazo extendido

La muchacha opera la bomba confortablemente, usando casi todo el peso de su cuerpo. La posición de descanso del mango, sin embargo, es muy alta



(Fotografía cortesía de V.J. Emanuel)

FIGURA 5-3 EJEMPLOS DE DEFICIENCIAS COMUNES DE MONTAJE EN LA ARTICULACION DEL MANGO Y EL FULCRO



**DEFECTOS:**

- 1 Excesiva tolerancia entre el mango y el conjunto del fulcro
- 2 Chavetas demasiado separadas
- 3 Acopladuras desalineadas

de guía no eran verdaderamente verticales, los pasadores pivote y las bases no eran verdaderamente horizontales, los tornillos colocados trabajaban frecuentemente flojos o sueltos. Los pernos de las bases eran muy pequeños y ambas bombas tenían conexiones roscadas defectuosas con el entubado del pozo o con la tubería de bajada. El cabezal de la bomba "Jalvad" (discutido más adelante) estaba sometido a corrosión y la articulación de cadena que conecta la varilla de la bomba y el pivote estaba a menudo desalineado.

Se juzgó que el control de tolerancia dimensional de los componentes del cilindro era pobre. Las empaquetaduras de la taza eran de pobre calidad, se

hinchaban al mojarse, se ponían tiesas cuando estaban secas y, en general no conservaban su forma. Los huecos eran a menudo excéntricos.

Algunos defectos encontrados se muestran en la figura 5-4. (Fotografías cortesía de V.J. Emmanuel).

#### 5.4.4 Diseño de la Bomba Bangalor

El diseño de la bomba de mano para pozo profundo desarrollado en este programa, difiere del de las bombas convencionales en algunos aspectos:

- (1) La articulación mango-varilla de la bomba usa sólo un pivote (como en las bombas "Mission", Jalna y Sholapur), hecha posible por una articulación de cadena de rodillos. en la que la cadena monta sobre un cuadrante colocado tangencialmente a la varilla de la bomba, en el terminal del mango que lleva la carga. (El principio de operación se deriva de aquél mostrado en la figura 5-10, "La Bomba Sholapur").
- (2) El cabezal de la bomba planeado actualmente (1976) utilizará un cuerpo de acero soldado.
- (3) El pivote planeado actualmente (1976) utilizará cojinetes de bolas.
- (4) Se usan bolas de nilón importadas en el émbolo y en las válvulas de pie.
- (5) Las empaquetaduras de las tazas se hacen de caucho acrylo-nitrilo (Neoprene) con 0.2 mm de luz en su ajuste con la pared del cilindro.
- (6) Todos los otros componentes de la válvula y del émbolo son hechos de caucho, nilón, neoprene, o vidrio o tela de fibra de algodón impregnada con resina de epoxy.
- (7) El cilindro consiste de un cuerpo de tubería de fierro galvanizado estándar con un tubo forro, o manga, hecho de tela de algodón impregnado con una resina de epoxy. Los forros se fabrican en la India por Hylam Bakelite de Bombay para otros usos comerciales en diferentes longitudes, diámetros y espesor de paredes bajo el nombre comercial "Hylam TF 2211". Una especificación para una rugosidad de forro de 250 micropulgadas se propone para el acabado interior del forro. La figura 5-5 ilustra el cilindro.

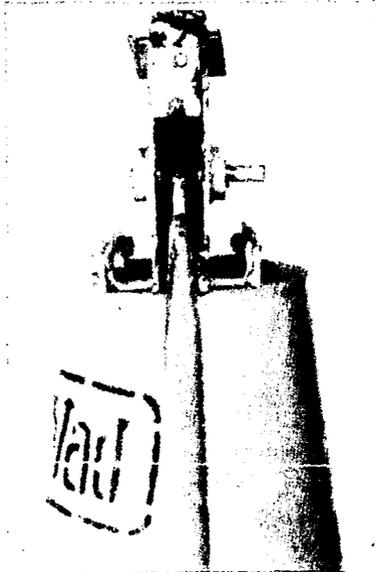
#### 5.4.5 Prueba de la bomba Bangalor

Se fabricaron y probaron un cilindro prototipo y un cabezal de bomba. El cilindro prototipo se conectó a un cabezal de bomba convencional movido por un motor eléctrico que trabajó por 1000 horas a razón de 40 a 48 "carreras" por minuto contra una carga no establecida. La longitud de la "carrera" era de 4.5 pulgadas (11.2 mm aprox.). La descarga varió entre 21 a 25 litros por minuto. La prueba representó el equivalente de "cuatro meses de uso actual en el campo". Se observó que el desgaste del cilindro era menor que 0.001 de pulgada (0.025 mm). Los dos sellos de la válvula, luego de un desgaste inicial, no dieron señales de desgastarse por lo menos durante las últimas 534 horas de prueba.

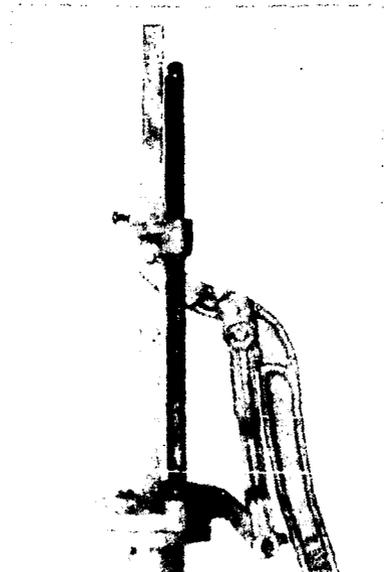
El cabezal de la bomba prototipo probada difiere radicalmente de aquél que ahora (1976) se planea. La prototipo empleaba un cable de alambre como "vara" que conectaba el mango con el émbolo. Los cojinetes del pivote del prototipo original eran de bronce sinterizado, del tipo de retención de aceite.

FIGURA 5-4 DEFICIENCIAS DE FABRICACION Y DE DISEÑO DE BOMBAS DE MANO PARA POZO PROFUNDO FABRICADAS EN LA INDIA

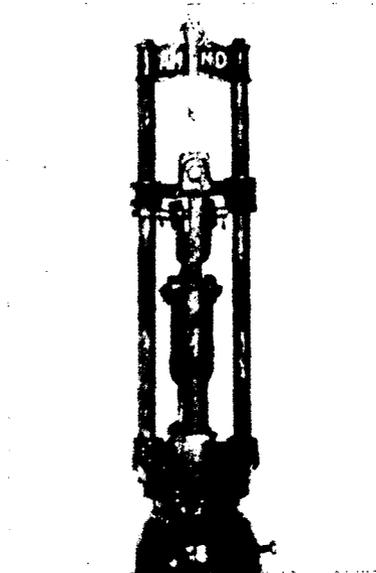
(Fotografías cortesía de V.J. Emmanuel)



(a) Pasador del pivote desnivelado  
(Alineamiento defectuoso de los cojinetes).



(a) Varilla del pistón desaplomada.  
(b) Fricción alta de la guía en su posición superior.



(a) Columnas-guía desaplomadas.  
(b) Demasiada tolerancia entre la horqueta del mango y la varilla del pistón.  
(c) Bujes del pasador de la horqueta del mango pobremente alineados.  
(d) Pasador de la horqueta del mango - varilla del pistón no horizontal.



(a) Demasiada tolerancia entre las horquetas y los puntos pivote.  
(b) Puntos pivote desnivelados.  
(c) Corredera que no se mueve horizontalmente.

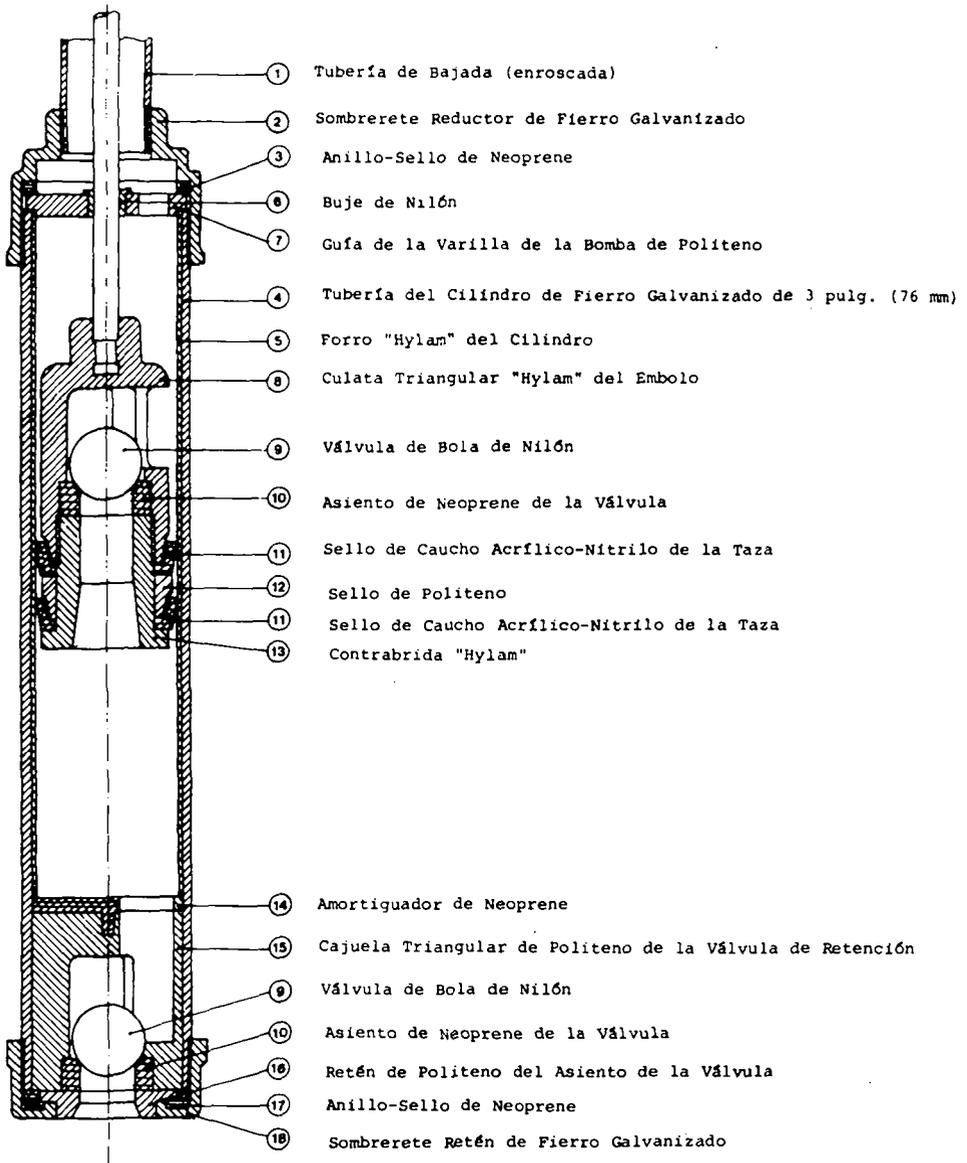


FIGURA 5-5 CILINDRO DE LA BOMBA BANGALOR

Reproducida de  
 WHO Report SEA/Env. San./168  
 SEARO, 1976

El cabezal de fierro fundido de la bomba ha sido diseñado de nuevo usando una construcción de acero fabricado. Este modelo se conoce como la "Bomba de Mano para Pozo Profundo, India-Mark II".

#### 5.4.6 Costo de la Bomba Bangalor

Los costos estimados para la producción en gran escala de la bomba Bangalor de cilindros de 3 pulgadas varían de 80 rupias (EUA\$0) a 250 rupias (EUA\$28).\* La bomba "Sholapur" mencionada usa un cilindro de bronce de 3 pulgadas que se vende por alrededor de 250 rupias (EUA\$28).\*

El diseño del cabezal de la bomba actualmente en desarrollo difiere tanto de los prototipos probados que sus costos ya no son relevantes. Un cabezal de bomba "Sholapur", semejante a la bomba Bangalor, se vende actualmente (1976) por 500 a 600 rupias (EUA\$50).

#### 5.5 DESARROLLO DEL PROGRAMA UNICEF/BANGLADESH DE BOMBAS DE MANO PARA POZO SUPERFICIAL

UNICEF ha venido cooperando durante algunos años con el Departamento de Ingeniería de Salud Pública (DPHE) de Bangladesh en lo que es quizás el mayor programa del mundo de bombas de mano. Dentro de un espacio relativamente corto de tiempo más de 400000 bombas de mano nuevas serán manufacturadas e instaladas. El programa ha estimulado considerablemente la experimentación, las pruebas de los prototipos, y muchas modificaciones de diseño de bomba de mano para pozo profundo, por lo menos por dos razones: (1) el gran volumen del programa presentó una oportunidad excelente para mejoras y economías en gran escala en el diseño de bombas, y (2) los problemas de mantenimiento que presenta la tecnología actual, (si ésta se continuara en semejante programa) tomarían tal cantidad de recursos del programa que amenazarían su viabilidad. Las mejoras hechas han evolucionado a lo largo de varios años a través de varias generaciones de modificaciones basadas en observaciones de campo.

---

\* A razón de EUA\$11.30 por 100 Rs el 12 de julio de 1976 en la bolsa de Amsterdam.

### 5.5.1 La "Nueva Bomba No. 6"

El nuevo modelo desarrollado, con más de 300000 unidades a instalarse para 1979, se conoce como la "Nueva Bomba de Mano No. 6". Ver figura 5-6. La nueva bomba representa un cruce entre la bomba Battelle y la vieja bomba Maya No. 6. El nuevo nombre es parte del esfuerzo para asegurar la aceptación local. (El No. 6 designa un cilindro de  $3\frac{1}{2}$  pulgadas, aprox. 90 mm).

Las mejoras más notables logradas sobre la bomba tradicional No. 6 son:

- (1) Aumento de la superficie de los cojinetes en las partes móviles de fierro fundido y pasadores del pivote.
- (2) Uso de pasadores redondos de acero dulce, sujetos por chavetillas, en lugar de tuercas y pernos, en los puntos pivote.
- (3) Una varilla de pistón con áreas de soporte reforzadas y contratuerca al extremo del émbolo.
- (4) Sello de la taza, o "cubo", de cloruro de polivinilo (PVC) en lugar de cuero.
- (5) Configuración más estable de cuatro tuercas y pernos localizados en el "talón" y en la "punta" de la tapa del cabezal. Las tuercas y pernos están colocados a las 2, 4, 8 y 10 del reloj, relativos a la posición del fulcro a las 6 del reloj, en lugar de los tres puntos del antiguo diseño.
- (6) Tamaño uniforme ( $2\frac{1}{2}$  pulgada x  $\frac{1}{2}$  pulgada) para todos los pernos y tuercas en lugar de los tres o cuatro tamaños usados en las bombas anteriores. Se han agregado roldanas de seguridad a las tuercas y pernos (aproximadamente de 65 mm x 13 mm).
- (7) Mango más fuerte con mayor ventaja mecánica y una longitud de brazada de 8 pulgadas (20 cm). La sección transversal del mango se cambió de una "I" a una "T".

El diseño de la bomba se vio fuertemente influenciado por la severa escasez de fierro cochino, y por el estado de la tecnología de fundición existente en Bangladesh. Por ejemplo, la "Nueva No. 6" pesa cerca de 20 lbs (9 kg) o sea que es 15% más liviana que la bomba Battelle para pozo superficial. Esta economía fue lograda, por una parte debido a un rediseño de la placa base del cuerpo de la bomba para ceñirse a la instalación uniforme de la Bangladesh (conexiones enroscadas al entubado del pozo) y, por otra parte, a la intercambiabilidad del soporte de la bomba precedente con las bombas de pozo profundo.

### 5.5.2 Sellos de Cloruro de Polivinilo (PVC) de la Taza

Los sellos de cloruro de polivinilo (PVC) de la taza usados en Bangladesh han demostrado tener una vida 2 a 3 veces más larga y de mayor uniformidad que los tradicionales "cubos" de cuero disponibles. En Bangladesh, son menos

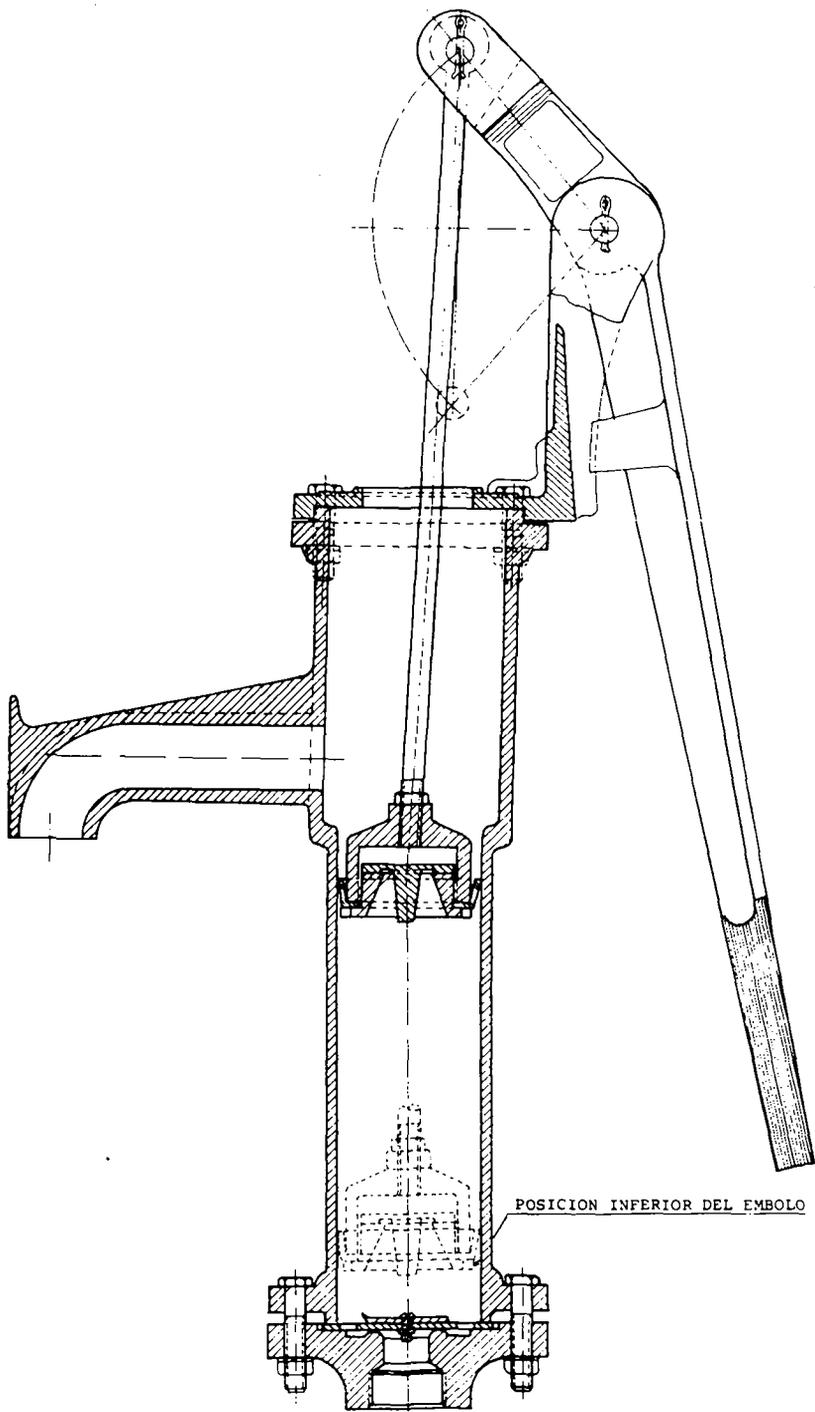


FIGURA 5-6 NUEVA BOMBA DE MANO NO. 6 (BANGLADESH)

costosas que las tradicionales de cuero.\* A causa de que el desgaste de los sellos de la taza constituía la causa principal de la "para" de las bombas (estimada del 25 al 30% en un momento dado), las tazas de PVC han significado una notable contribución al mejoramiento del mantenimiento. Conforme pasa el tiempo parece que las tazas de PVC, lubricadas por agua, hacen más suaves y tersas las paredes de fierro del cilindro.

### 5.5.3 Cilindros y Forros de Cloruro de Polivinilo (PVC)

Empezando en 1969, los forros de PVC con los sellos de cuero de la taza se sometieron a prueba en Bangladesh en las bombas de mano para pozo superficial, ninguna de las cuales está ahora en servicio. La mayoría fueron sacadas durante la guerra civil en 1971-72 porque sólo las tazas de  $3\frac{1}{2}$  pulgadas (89 mm) de diámetro estaban disponibles y éstas eran muy grandes para casar en el forro de PVC. En 1975 se examinaron unos pocos forros sobrantes y todos ellos mostraron desgaste severo en uno de los lados de la pared de  $\frac{1}{8}$  de pulgada (3 mm), probablemente originado por la oscilación de la varilla del pistón en la bomba No. 6 para pozo superficial. Pruebas posteriores con paredes de  $\frac{1}{4}$  de pulgada (6 mm) de tubería de PVC, y que empezaron en 1975, mostraron resultados dispares: una muestra mostró rápido desgaste,  $\frac{1}{8}$  de pulgada (3 mm) de aumento en el diámetro en un solo mes; otra muestra aún está en operación después de dos años con desgaste insignificante, pero ha sido raspada, probablemente por objetos extraños que entraron por arriba al interior de la bomba. Con el éxito de las tazas de PVC el programa de forros fue descontinuado por la dificultad de mezclar tazas de PVC y de cuero para el mantenimiento de las tazas existentes y de las nuevas.

Los cilindros "Dempster" de PVC para pozos profundos, fabricados en los Estados Unidos, han sido probados un año en Bangladesh con buenos resultados. UNICEF está ahora empleando estos cilindros en 500 pozos.

### 5.5.4 Entubada de Cloruro de Polivinilo (PVC) del Pozo

En Bangladesh se ha venido usando tubería de PVC para el entubado de los pozos. A causa de que la tubería de PVC tiene una tolerancia baja para la reversión de esfuerzos, no es aconsejable el enroscado directo de bombas de fierro

---

\* PVC alrededor de \$0.12 por unidad; cuero alrededor de \$0.25 por unidad.

fundido al entubado de PVC del pozo. Así, en Bangladesh se usa un tramo de tubería de acero de 20 pies (6 metros) para unir la bomba de mano y el entubado de PVC. Para ayudar a prevenir la rotación entre las tuberías de acero y plásticas, (1) se suelda una barra de acero horizontal a la tubería de acero en su sección media y (2) se construye una plataforma de concreto para la bomba de mano, a la cual se incorporan la tubería de acero y la barra.

#### 5.5.5 Programa con Bases en el Campo

El desarrollo del programa de bombas de mano de Bangladesh ha demostrado los beneficios de tener una base operacional a nivel de campo con personal experimentado que presta constantemente servicios de ayuda y asistencia. El programa UNICEF/DPRE ha sometido a prueba los prototipos bajo condiciones de campo; ha obtenido, analizado y respondido a la retroinformación proveniente tanto de las pruebas de campo como de las operaciones regulares; y ha acondicionado una tecnología mejorada de bombas de mano, económicas (menos de EUA\$20) y fabricadas localmente, a las condiciones locales.

Puede obtenerse una información más detallada sobre este programa en los varios trabajos escritos por Hussain, Phillips y Shawcross.

#### 5.6 COMITE INTERAFRICANO DE ESTUDIOS HIDRAULICOS (CIEH). ESTUDIOS EN EL ALTO VOLTA INCLUYENDO LA HIDROBOMBA VERGNET

El Comité Interafricano de Estudios Hidráulicos (CIEH), organización internacional que tiene su sede en Ouagadougou, está estudiando, bajo un acuerdo con la OMS celebrado en 1973 y con asistencia de UNICEF, el uso de bombas de mano pequeñas para abastecimiento de agua en Africa Occidental. El estudio comprende inventario y pruebas de las bombas manufacturadas en Africa, incluyendo la "ABI", la "Majestic" de Bodin, la "Africa" de Briau, y la "Uganda" de Craelius, y de las bombas importadas, incluyendo la "23F Ex" de Dempster (E.U.A.), la "Royale" de Briau (Francia) y las "WIH 51" y "54" de Godwin (R.U.). (Ver figura 5-7).

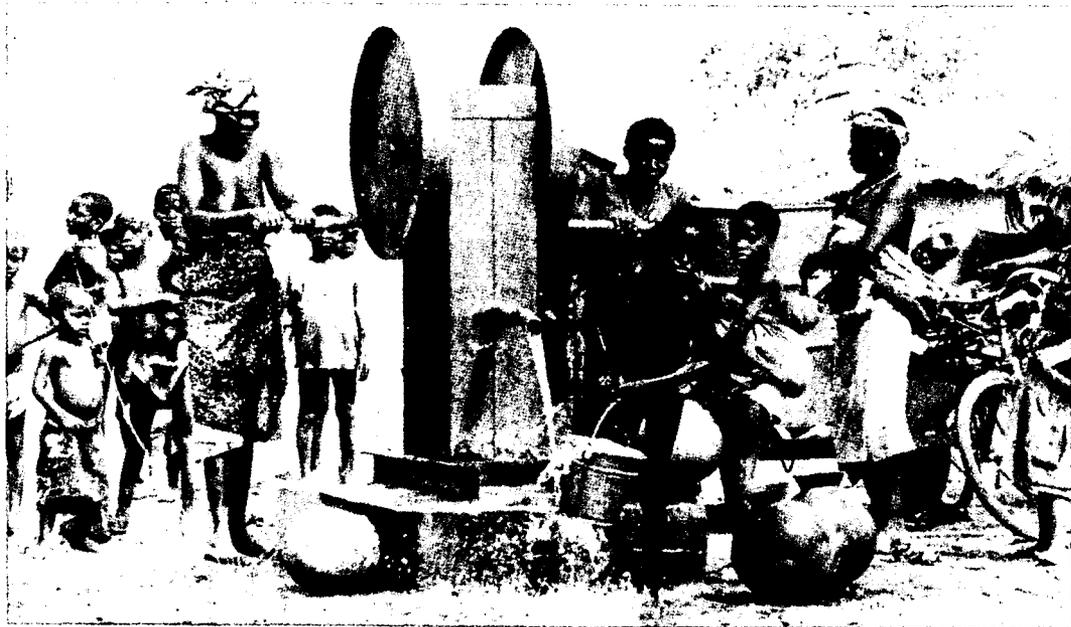
Una parte importante de estos estudios la constituyen las pruebas de campo de una bomba que se acaba de desarrollar, "Hidrobomba Vergnet" (producida por Mengin), de fabricación francesa. Se están probando algunos prototipos de estas bombas, proporcionados por la OMS y UNICEF, en Ouagadougou y en la villa de Koupela, unos 140 km al este.

FIGURA 5-7 DOS BOMBAS DE MANO USADAS EN AFRICA OCCIDENTAL



"ABI"

"Africa"



### 5.6.1 La "Hidrobomba Vergnet" (Descripción)

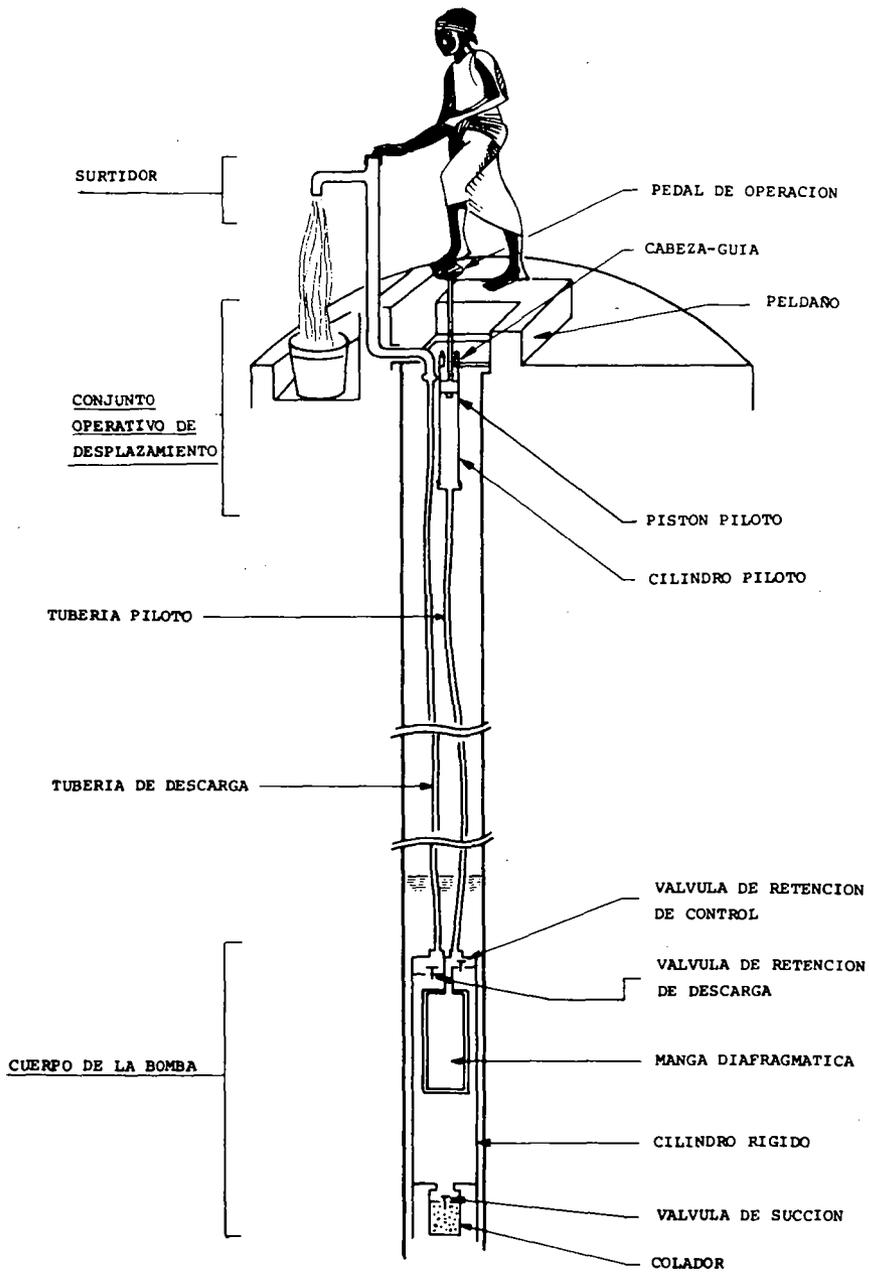
Esta bomba tiene un modo de operación novedoso. Una manga flexible diafragmática (el cilindro) se coloca dentro de un cilindro rígido inmerso en el pozo. Usando un sistema hidráulico piloto operado por pedal al nivel del terreno, la manga flexible alternativamente se estira y se contrae, bombeando así el agua del cilindro rígido a la superficie. La operación se explica mejor etapa por etapa siguiendo la figura 5-8. Comenzando con la bomba "cebada"\* y con el pedal en la posición superior:

- (1) El operador pisa el pedal, forzando el pistón a bajar dentro del cilindro.
- (2) El agua en el cilindro del pistón es forzada a salir del cilindro a través de la tubería piloto, o manguera, y a entrar a la manga diafragmática con paredes flexibles, como de resorte.
- (3) La creciente presión del agua en la manga flexible estira sus paredes, expandiendo así su volumen.
- (4) El volumen aumentado del cilindro más pequeño incrementa la presión del agua dentro del cilindro rígido y más grande que rodea al cilindro pequeño.
- (5) La presión que va en aumento dentro del cilindro rígido cierra la válvula de succión y abre la válvula de descarga.
- (6) El agua dentro del cilindro rígido es forzada a subir a la superficie a través de la válvula de descarga y de la tubería de descarga o manguera cuando el cilindro pequeño se expande.
- (7) El operador levanta el pie, quitando la presión dentro del sistema piloto.
- (8) El cilindro flexible, que asemeja un resorte, se contrae a su posición inicial, forzando el agua hacia arriba dentro de la tubería piloto y empujando el pedal a su posición inicial.
- (9) La contracción del cilindro flexible reduce la presión del agua dentro del cilindro rígido.
- (10) Al caer la presión dentro del cilindro rígido se cierra la válvula de descarga y se abre la válvula de succión, rellenando de agua el cilindro rígido.
- (11) El operador pisa otra vez el pedal y el ciclo comienza de nuevo.

La manga diafragmática tanto como el cilindro y la tubería pilotos se llenan de agua de la superficie cuando se instalan en el pozo. El sistema piloto, siendo un sistema completamente cerrado, aparte de una válvula de rellenar, no debería ofrecer posibilidad potencial de contaminación del agua bombeada.

---

\* Cilindro rígido alrededor de la manga flexible cebada; el sistema piloto se llena con agua al instalarse.



Cortesía: Ets. Pierre Mengin,  
Montargis, Francia

FIGURA 5-8 HIDRO-BOMBA VERGNET  
DESCRIPCION ESQUEMATICA



Fotografías: Cortesía de L.A. Orihuela

FIGURA 5-9 HIDRO-BOMBA "VERGNET"

### 5.6.2 Comentarios

A pesar del cuidadoso trabajo de desarrollo y de muchas pruebas de laboratorio (incluyendo pruebas de la manga diafragmática flexible por encima de 2 millones de ciclos sin falla alguna), se ha probado que son necesarias ciertas modificaciones en el diseño original de la bomba Vergnet en vista de algunas dificultades encontradas en el trabajo en el campo. El PVC usado para el cilindro rígido desarrolló rajaduras debido a las continuas variaciones de presión y fue reemplazado por acero inoxidable. Los sellos o empaquetaduras de la taza de acero usados en el cilindro piloto se desgastaron muy rápidamente. Se produjo una marcada mejora con la introducción de anillos de pistón con sellos de cuero o de uretano.

En pozos de menos de 30 metros de profundidad, se puede emplear tubería flexible de poco peso en la bomba Vergnet, facilitando así su instalación y mantenimiento. Las tuberías y la unidad de bombeo son fáciles de extraer del pozo. Normalmente, dos hombres deben ser capaces de hacer esto a mano, eliminando la necesidad de trípodes o andamios. La utilización de materiales livianos debe, también, significar economías en los costos de transporte.

En las bombas de mano recíprocas, la corta vida de los sellos de la taza es un problema de mantenimiento muy grande, especialmente para las bombas de pozo profundo donde la varilla de la bomba, la tubería de descarga y el cilindro tienen que extraerse para reemplazar los sellos. En la bomba Vergnet todas las partes que rozan pueden ser fácilmente elevadas a la superficie.

Otro grupo de problemas de mantenimiento en las bombas convencionales de mano se asocia a los mangos y varillas de bomba, componentes que no existen en la bomba "Vergnet".

A causa de que la bomba "Vergnet" es operada con el pie, puede bombearse con mayor fuerza y menos fatiga que la bomba convencional de operación a palanca.

La bomba "Vergnet" requiere para el pozo un forro o camiseta de 4 pulgadas (100 mm) o más. Puede usarse como bomba aspirante o como bomba aspirante-impelente, pero no como bomba de succión. Su cilindro bombeante tiene que estar inmerso.

De acuerdo al fabricante (Mengin), de las 2000 bombas Vergnet que se han instalado hasta ahora (junio 1977), cerca del 70% opera contra una altura de bombeo entre 20 m (70 pies) y 60 m (200 pies).

Las bombas "Vergnet" se han instalado en la mayoría de los países africanos, el mayor número de ellas, 500, en la Costa de Marfil donde se acaba de terminar el primer programa lanzado por el Gobierno (junio 1977). La bomba no ha encontrado todavía una amplia utilización fuera de Africa.

Los factores que parecen prevenir una mayor aceptación de la bomba "Vergnet" son:

- (1) Tiene un precio relativamente alto, EUAS\$600 (lista de precios de octubre 1976) para la bomba tipo A o C, completa con un juego de repuestos y herramientas. (Un juego de piezas de mantenimiento incluyendo una guía para el pedal y cuatro anillos de cuero para el pistón, se cotiza en EUAS\$4).
- (2) La necesidad que hay de importar las piezas irremplazables de la bomba: la manga diafragmática flexible, el cilindro de cuero inoxidable, el pedal de cuero y la tubería.

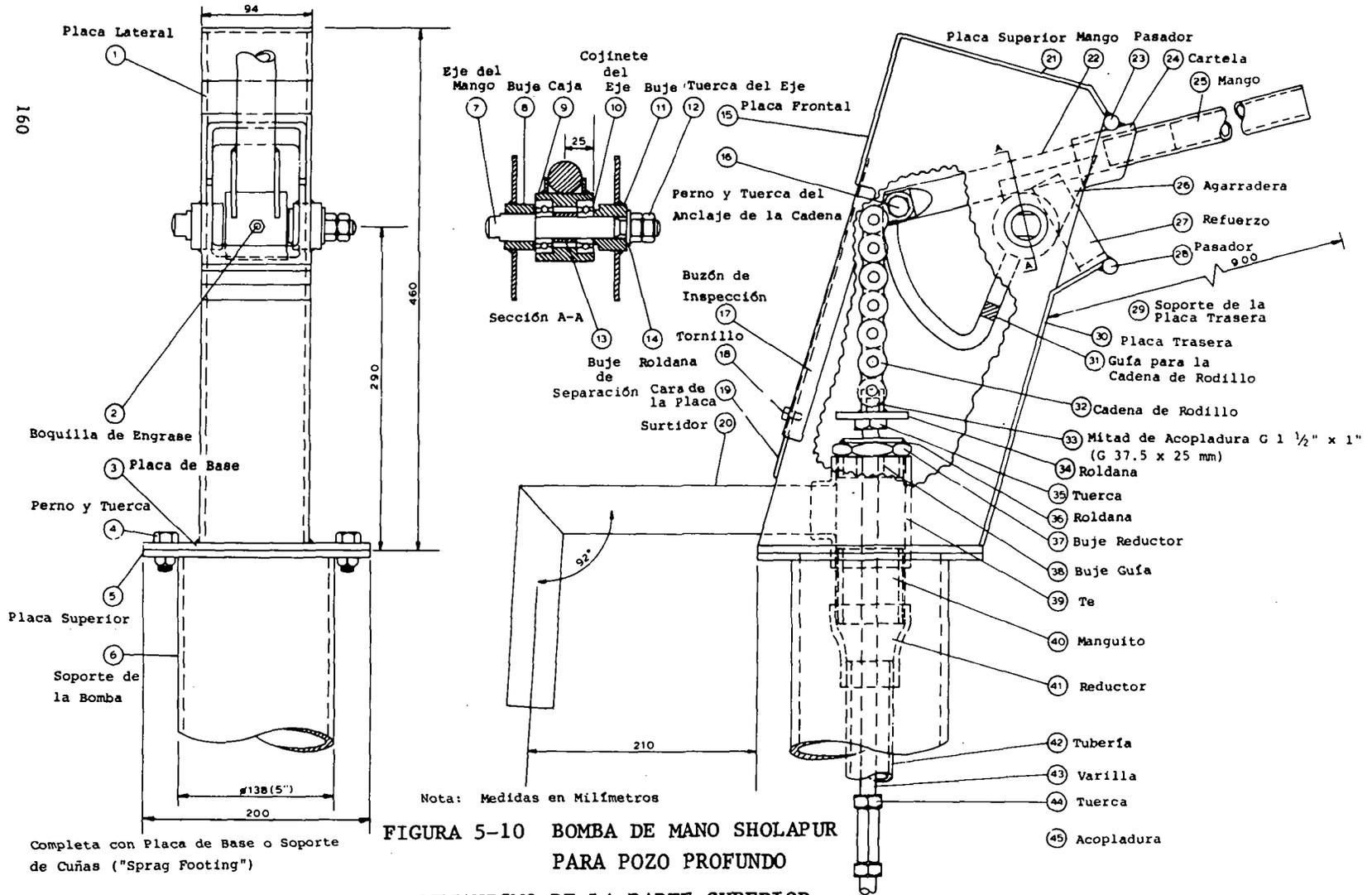
### 5.6.3 Informe del CIEH

El informe de este estudio se espera para 1977. Un estudio anterior del CIEH (alrededor de 1964) es un relato descriptivo de los métodos de bombeo a base de fuerza humana o animal que estaban en uso en Africa en ese entonces, incluyendo muchos de origen muy antiguo. (Véanse los trabajos de Benamour, CIEH, Gagara, y Vergnet, y la literatura técnica producida por el fabricante Mengin).

## 5.7 OTRAS INVESTIGACIONES Y AVANCES

### 5.7.1 Bombas Sholapur o Tipo Jalna

Muchas de las paralizaciones de las bombas de mano para pozos profundos se deben a roturas en el mecanismo del mango. En años pasados se desarrolló en la India, por un grupo de agencias voluntarias, una bomba de construcción robusta, llamada variablemente "Sholapur", "Jalna" o "Mission". Esta bomba debe trabajar bien por un año entre revisiones de servicio completo (McLeod, 1974). Fabricada localmente, es instalada en aldeas rurales, completa con 100 pies (30 m) de tubería de bajada y varilla de bomba, por unos EUAS\$235 por unidad. Esta bomba



Completa con Placa de Base o Soporte de Cuñas ("Sprag Footing")

**FIGURA 5-10 BOMBA DE MANO SHOLAPUR PARA POZO PROFUNDO**

**MECANISMO DE LA PARTE SUPERIOR**

se fabrica con acero soldado, usa cojinetes de rodillo, lubricación sellada y tiene una sola acción pivote conectando el mango a la varilla de la bomba mediante una cadena de motocicleta de corta longitud. Todas las partes móviles se encierran en una caja de acero. (Ver figura 5-10). Esta bomba se usa mucho en programas de rehabilitación de bombas de mano (Jagtiani).

#### 5.7.2 Bomba U.S.T. o Kumasi

Una bomba que puede fabricarse localmente ha sido desarrollada desde 1972, por la Universidad de Ciencias y Tecnología, Kumasi, Ghana. Esta bomba, que se muestra en la figura 5-11, tiene un soporte de bomba de acero soldado de 3 pulgadas (75 mm aprox.) de diámetro; una articulación por dos pasadores entre el mango y el fulcro con un cojinete de rodillo, y un buje en bronce en la conexión de la varilla de bomba con el mango; un émbolo fundido de bronce\* y un sello de taza de cuero. El cilindro lo constituye un tramo de tubería de plástico de 3 pulgadas (75 mm aprox.) de diámetro que "cuelga" del cuerpo de la bomba. Se han llevado a cabo pruebas preliminares a profundidades hasta de 100 pies (30 metros). Las pruebas continúan.

#### 5.7.3 La Bomba Petro (Suecia)

Una nueva e interesante variación de la bomba de diafragma, adecuada para usarse en pozos profundos, es la bomba Petro. El elemento de bombeo, o "cilindro", consiste en una manga elástica de caucho, reforzada por dos capas de alambre de acero revestido de bronce y envuelto en espiral y equipado con una válvula de retención en cada extremo de acero inoxidable, del tipo de vástago. La caja de la válvula de succión al extremo inferior de la manga se fija dentro del pozo por trabas de expansión que se aprietan contra el entubado del pozo, y que pueden destrabarse dándole vuelta al tramo de tubería una docena de veces en el sentido de las agujas del reloj. La caja de la válvula de descarga se enlaza a un tramo de tubería de fierro galvanizado de  $\frac{3}{4}$  de pulgada (19 mm) que sirve como varilla de conexión de la bomba y tubería de bajada. El extremo superior del tramo de tubería con el surtidor o boca de descarga se conecta al cabezal de la bomba.

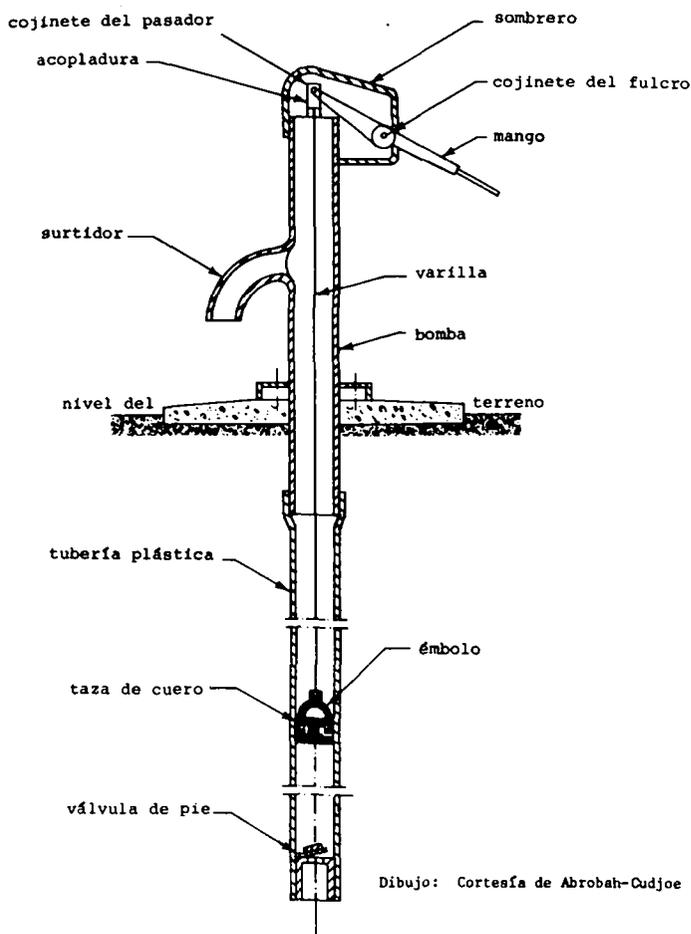
---

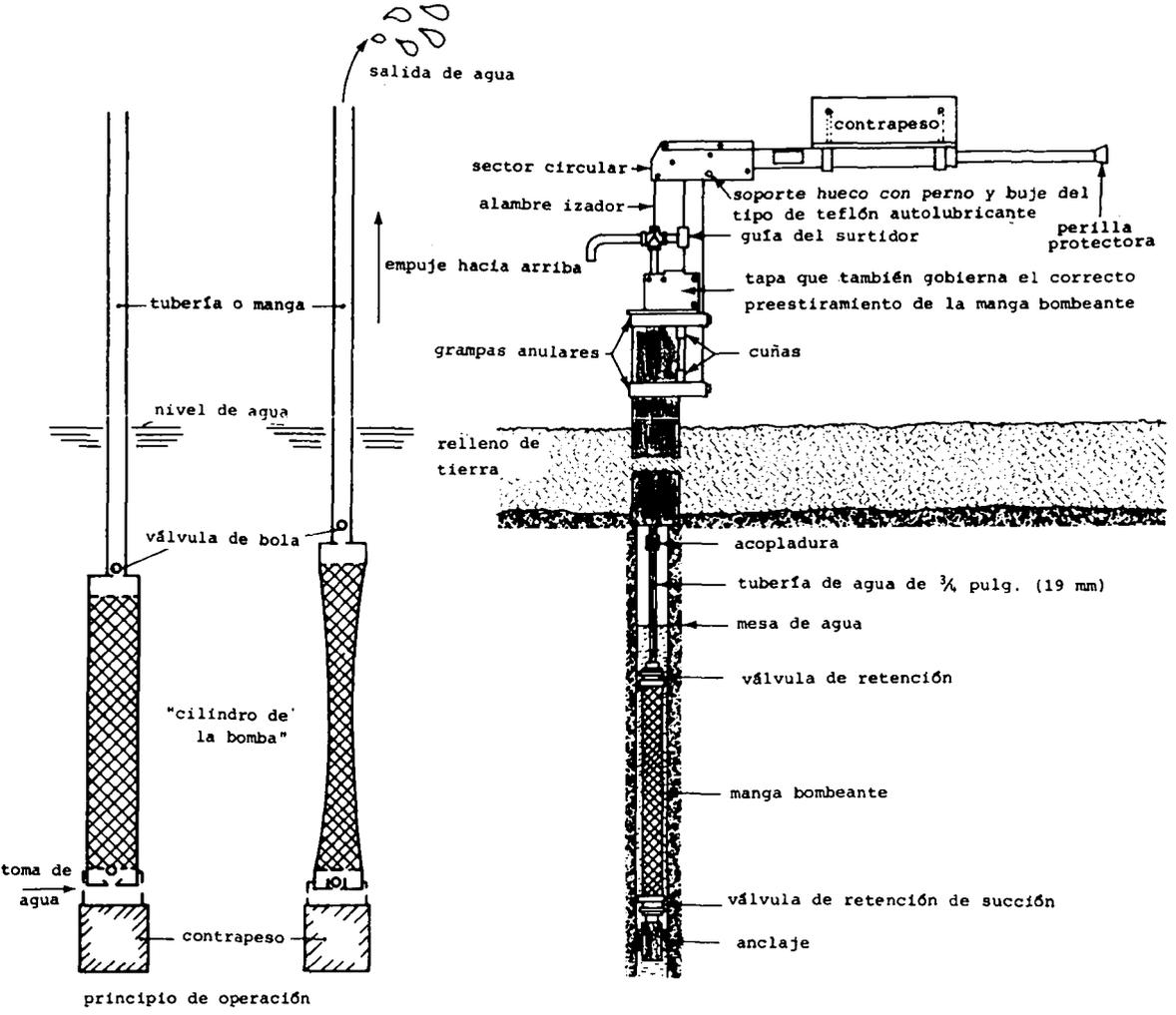
\* La fundición se efectúa por el proceso de "cera perdida" usado por siglos en Asia y Africa.

Un nuevo cabezal ha sido especialmente diseñado para trabajar en correcta conjunción con las características elásticas de la manga bombeante, pero un cabezal tradicional también puede ser adecuado.

La capacidad de descarga del elemento estándar de bombeo es aproximadamente de 0.5 litros por carrera de 10 cm (4 pulgadas) y puede incrementarse usando una manga de mayor longitud. La bomba "Petro" puede fabricarse en pequeños diámetros.

FIGURA 5-11 BOMBA DE MANO TIPO U.S.T. (KUMASI)





nota: el método alternativo de fijar el extremo inferior del cilindro de la bomba al forro del pozo es usando trabas de expansión

FIGURA 5-12 LA BOMBA PETRO

La bomba "Petro" opera de la manera siguiente:

- (1) Baje el mango, levantando así el tramo de tubería y estirando la manga de caucho reforzado de aproximadamente 10 cm (4 pulgadas).
- (2) Debido al efecto del alambre de acero envuelto en espiral, la manga decrece en volumen (desplazamiento); la presión aumentada dentro de la manga abre la válvula de descarga y el agua es forzada a subir por el tramo de tubería y salir a la superficie.
- (3) En la brazada de retorno del mango, la manga de caucho regresa a su mayor volumen original; la válvula de succión se abre y el agua fresca es "chupada" y entra a la manga.

Las ventajas obvias de este nuevo concepto de bombeo son:

- (1) La eliminación de los usuales sellos de la taza o "cubos". Prácticamente no hay fricción mecánica durante el bombeo, y un agua que contenga arena fina o sedimento puede bombearse sin que se ocasione desgaste apreciable a la manga bombeante.
- (2) La combinación de la varilla de la bomba y la tubería de bajada en un solo elemento resulta en considerables economías en el proceso de entubamiento. El relativo bajo costo del entubado que se requiere facilita su instalación, inspección y mantenimiento. Se asienta que el elemento bombeante junto con el tramo de tubería puede instalarse a mano rápidamente de tal manera que no se necesita trípode, ni andamio, ni camión de instalación.
- (3) Cuando la bomba se utiliza como bomba impelente, no se necesita caja de estopas.

Al presente (junio 1977) dos tipos de la bomba "Petro" se encuentran comercialmente disponibles:

- Tipo 95, con cuñas estándar, adecuado para pozos de 4 a 4½ pulgadas (95 a 120 mm).
- Tipo 48, adecuado para pozos de 2 pulgadas (48 a 60 mm de diámetro).

El segundo tipo debe ser de particular interés para usarse en pozos de pequeño diámetro con la mesa de agua a mayor profundidad que 22 pies (6.7 m), v.g. donde no es practicable el bombeo a succión.

El precio por una bomba completa (el elemento bombeante con su anclaje y el cabezal) es: 2000 coronas suecas (EUA\$440).

El peso de embarque de una bomba completa es sólo 43 kg (95 lbs), lo cual debe significar economías en el costo de transporte.

#### 5.7.4 Bomba Shinyanga

El proyecto de pozos superficiales del Distrito de Shinyanga se comenzó en octubre de 1974 como un proyecto bilateral de los gobiernos de Tanzania y los Países Bajos. (Proyecto de Pozos Superficiales de Shinyanga, 1976).

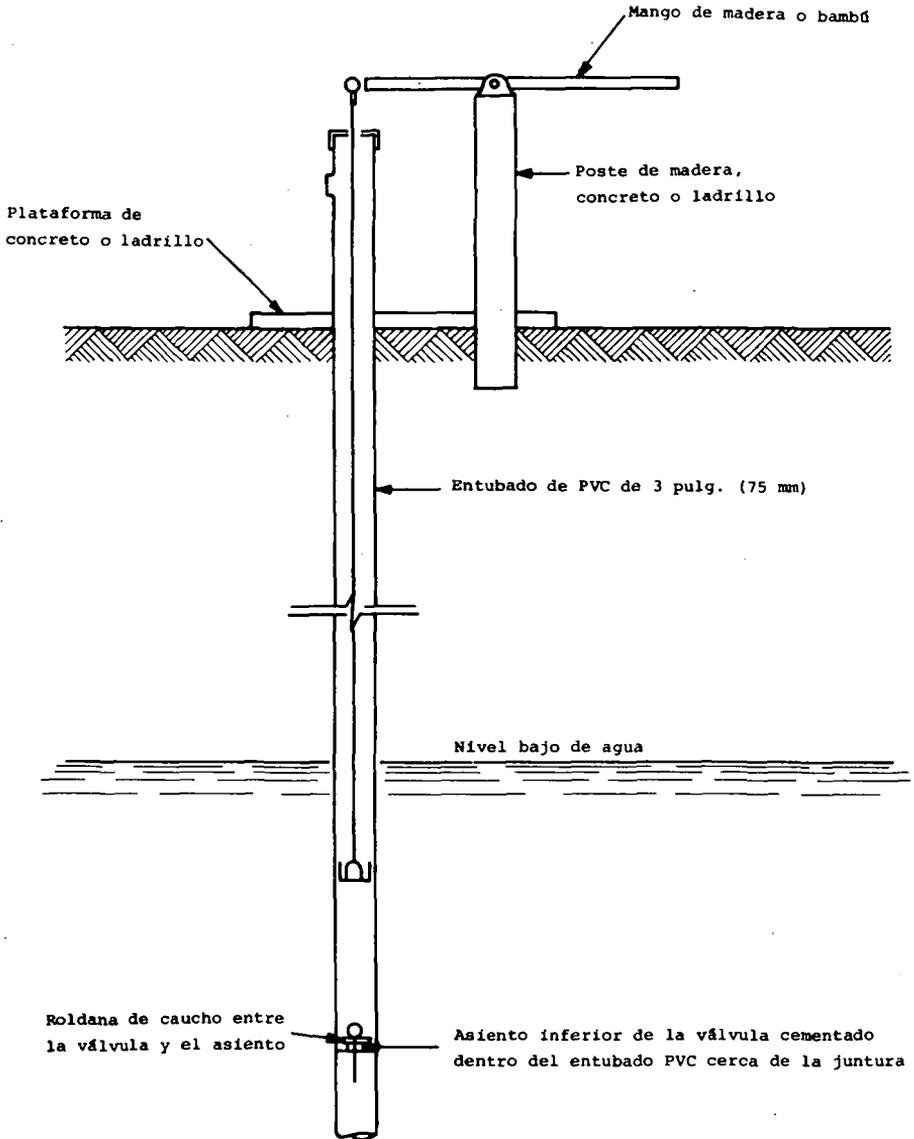
Este proyecto ha creado su propia instalación manufacturera. La bomba hecha y utilizada, llamada la bomba Shinyanga, tiene un cabezal de madera que se parece mucho a la Craelius Uganda, fabricada en Nairobi y usada extensamente en Africa Oriental. (Ver figura 6-3). Sin embargo, mientras que la bomba Uganda usa el cilindro de bronce, la bomba Shinyanga usa un cilindro de plástico de cloruro de polivinilo (PVC). El agua subterránea en Shinyanga que atraviesa suelos de laterita tiene un pH de 3. Por ello, la vida de varios de los componentes de fierro fundido se mide solamente en meses. Al inicio del programa se usaron cilindros de bronce, pero "39 de 50 cilindros de bronce Craelius pasaron a convertirse en aretes".

El cilindro Shinyanga utiliza también una "zapatilla" de doble anillo, de jebe, con un anillo interno de acero inoxidable para retener la forma del elemento, manufacturado y usado en Europa para maquinaria hidráulica. La taza debe importarse y es relativamente cara (alrededor de EUA\$10 c/u). Sin embargo, se espera que dure más que el resto de la bomba, quizás 10 años. El cilindro también usa válvulas de bola de neoprene.

#### 5.7.5 Bomba de Tubería Plástica

Una idea que cada día está tomando más cuerpo es la de usar tubería plástica de cloruro de polivinilo (PVC) en la fabricación de bombas. Se encuentran ya en el mercado comercial cilindros hechos de tubería de PVC (v.g. Dempster) y hoy muchos diseños (v.g. Bombas DIY, SISCOMA, U.S.T., et al.) utilizan entubados de pozo de PVC como paredes del cilindro. O sea, el propio entubado del pozo es un cilindro largo, aunque la longitud de la carrera continúa siendo normal, generalmente menos de un pie (0.3 metros). La figura 5-13 es un ejemplo (Spangler, 1976). Esta idea "novedosa" que prácticamente es un retorno a prácticas comunes de tiempos antiguos de pozos excavados con bombas de madera o de plomo, ofrece oportunidades potenciales de economía y producción local pero todavía no se ha probado en gran escala.

FIGURA 5-13 BOMBA DE MANO DE TUBERIA PLASTICA DE CLORURO DE POLIVINILO (PVC)



Según: Spangler (VITA)

La exposición más completa sobre este tipo de bomba es la de Journey (1976) quien señala algunas válvulas potenciales de PVC y describe varias bombas experimentales probadas en Bangladesh en 1974. Las últimas son quizás las únicas bombas de mano en las que el soporte de la bomba misma era de plástico. Los soportes de plástico son menos robustos y más susceptibles a desgastarse y a romperse que los soportes construidos de otros materiales.

Los soportes de plástico en los que el plástico debe sustentar el fulcro, no dan generalmente buen servicio a causa de la susceptibilidad del plástico al clima y a los efectos de melladura (fatiga). Conectar o anclar el soporte de la bomba al entubado del pozo en el modo tradicional se convierte, cuando se trata de bombas de plástico, en el problema de encajar el elemento de plástico por encima del borde superior, haciendo esto con una cubierta protectora que sea capaz de absorber la carga mecánica. Un soporte que debe armarse en el sitio del pozo debe incorporar aditamentos que permitan mantener el alineamiento apropiado de la varilla de la bomba.

Si al bombear, utilizando un cilindro de plástico, se bombeara arena, esto llevaría a un rápido desgaste del cilindro. Puede evitarse este problema si se selecciona apropiadamente el tamaño de las ranuras de la criba y si se "desarrolla" el pozo adecuadamente, estabilizando así el acuífero.

El Centro de Investigaciones para el Desarrollo Internacional de Canadá y el Banco Mundial planean efectuar programas de desarrollo y evaluación de bombas con componentes de plástico.

#### 5.7.6 Otros Programas de Desarrollo e Investigación

(1) El Instituto de Tecnología de Asia, (AIT), con la cooperación de la OMS, investigó el uso de bombas de poca altura de bombeo operadas con el pie, como posibles reemplazos o elementos listos para entrar en acción en las plantas de agua de las zonas rurales (Thanh, et al.). Este trabajo se originó como respuesta a un estudio hecho en 1973 (Frankel) sobre la operación de 165 plantas de abastecimiento de agua en aldeas rurales en Tailandia. El estudio encontró que los problemas de bombeo eran responsables del "cierre" de las plantas en 17% del período estudiado y fueron la causa del 57% del tiempo total de "cierre". Las bombas en cuestión funcionaban con electricidad o petróleo.

Una bomba que está en proceso de prueba para utilizarse en riego de poca altura de bombeo se desarrolló, bajo un contrato con la AID, en el Instituto Internacional de Investigación del Arroz en las Filipinas.

(2) Una bomba de mano corriente (Dempster Modelo 23 F-Ex), de manufactura estadounidense, ha sido usada extensamente por UNICEF y otros en pozos de profundidad moderada, después de adoptar modificaciones especiales que incluyen pasadores de  $\frac{1}{2}$  pulgada, de acero al cadmio, a prueba de fatiga, equipados con acopladuras de nilón, un bloque de uretano en el fulcro para absorber el "culateo" producido por el mango, y chavetillas antigiratorias para los pasadores. Esta bomba se vende comúnmente con cilindros de bronce amarillo que tienen válvulas de carrete. El precio constituye una importante atracción, menos de 150 dólares (en 1975). Dempster también ha desarrollado y puesto en el mercado cilindros de PVC.

(3) Dos bombas, la "Bomba de Balancín" y la "Bomba de Pie", bajo desarrollo por SISCOMA en Dakar, incorporan en su diseño dos dispositivos anteriormente descritos: uso de la tubería de bajada de PVC, o del entubado del pozo, como cilindro de la bomba (tal como en la bomba U.S.T.); y un cable de acero como varilla de bomba (como en la bomba Bangalor). La "Bomba de Pie" se opera con el pie usando un pedal (Christensen, de Pury).

(4) Una bomba operada con el pie y llamada la "Bomba Canguro" (véase la figura 5-14) ha sido puesta en el mercado por un fabricante holandés. La bomba se ha probado en varios proyectos de abastecimiento de agua potable. El cabezal de la bomba consiste en dos tubos que se deslizan uno sobre otro, con un resorte entre ellos. El tubo deslizante exterior se conecta a la varilla de la bomba, y opera el pistón en el cilindro. La "brazada" abajo, en este caso "pisada", sirve para comprimir el resorte, el cual entonces, por reacción, produce la "brazada" arriba o de descarga. En Etiopía se ha probado una bomba similar (Jensen, 1976).

Los diámetros normales del cilindro son de 4 pulgadas (100 mm) hasta 6 metros de profundidad, 8 pulgadas (75 mm) hasta 20 metros. La fluctuación en la capacidad de bombeo es de 600 a 2000 litros/hora.

(5) En la República Federal de Alemania una firma está desarrollando cilindros de plástico. Un informe preliminar de un extenso programa de pruebas está ahora disponible (Journey, 1976).

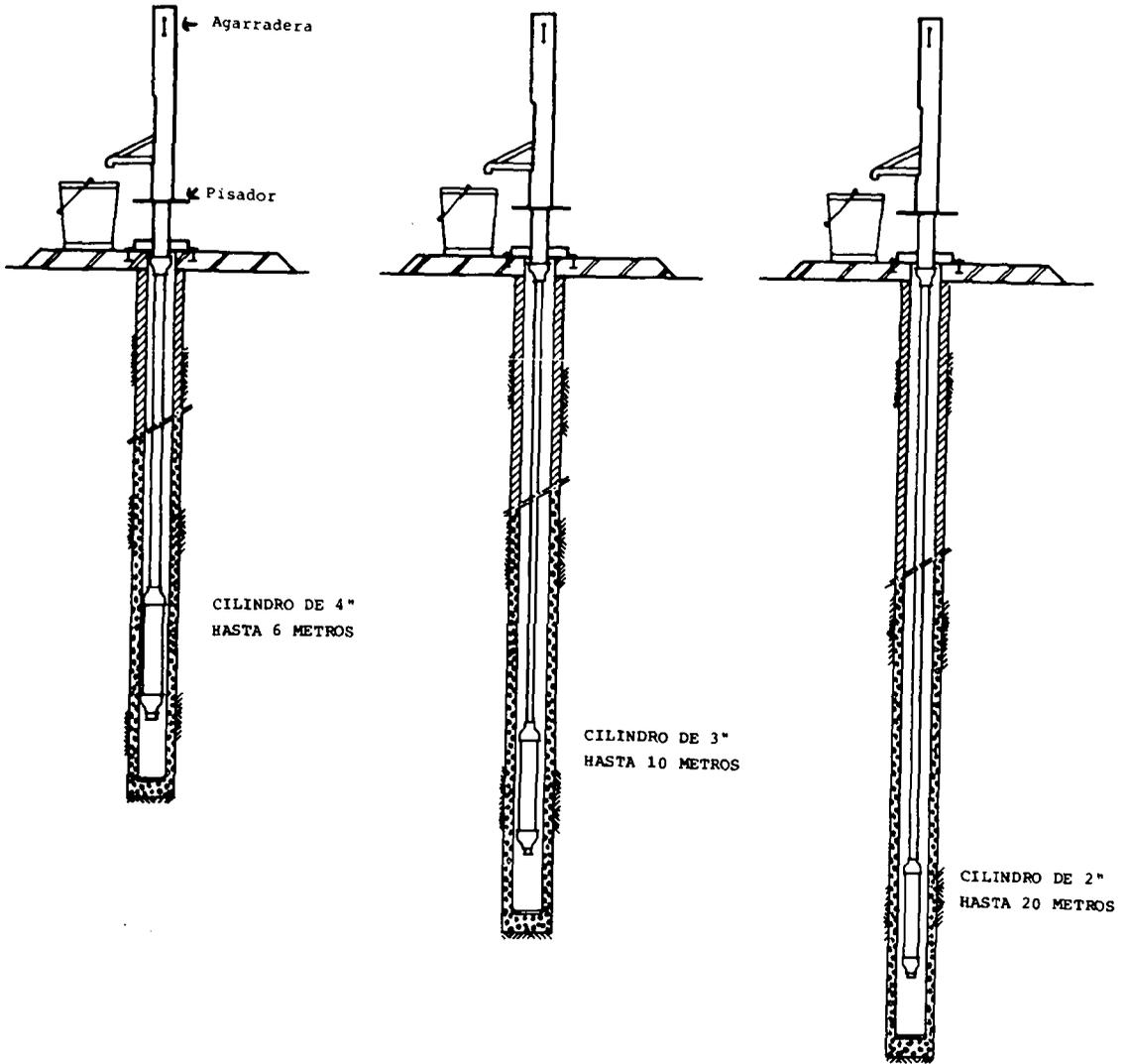


FIGURA 5-14 LA BOMBA "CANGURO"

- (6) Varios países están considerando producir y adaptar a las condiciones locales la bomba AID/Battelle.
- (7) La Universidad de Maryland (E.U.A.) lleva a cabo pruebas con cojinetes de madera.
- (8) En Etiopía se están evaluando posibles refinamientos de la bomba "Uganda".
- (9) Algunos programas comparativos de evaluación y de pruebas de bombeo se están llevando a cabo, o se han planeado, en varios países, incluyendo Ghana y Etiopía.
- (10) Una bomba que usa cuerpo de tubería de fierro galvanizado, la bomba Sialkot, es desarrollada actualmente en Pakistán.
- (11) Un fabricante inglés está experimentando con bombas eyectoras manuales situadas en la parte alta del pozo.
- (12) El Centro de Investigaciones para el Desarrollo Internacional está patrocinando trabajos de evaluación sobre desarrollos de nuevas bombas en campos tales como ingeniería química e ingeniería bioquímica y sus posibles usos en las bombas de mano.
- (13) Están llevándose a cabo investigaciones considerables en áreas correlativas, como bombeo por energía solar y tecnología de los molinos de viento.

#### 5.7.7 Desarrollo de Bombas por Agencias Nacionales

En muchos países, diferentes agencias nacionales han acometido en años recientes, algunos un poco informalmente, el desarrollar o mejorar bombas producidas localmente. Este trabajo se lleva a cabo en Afganistán, Bangladesh, Birmania, India, Indonesia, Pakistán, Filipinas y Tailandia; Etiopía, Kenia, República Malagache, Malawi, Mali, Tanzania, Túnez y Zambia; Bolivia, Costa Rica, Honduras, Ecuador y Nicaragua.

#### 5.8 TECNOLOGIA INTERMEDIA

Organizaciones tales como la de Voluntarios para Asistencia Técnica Internacional (VITA), el Grupo de Tecnología Intermedia, Ltd. (ITG), y otras, mantienen un continuo interés en el desarrollo de tecnología "apropiada" o "intermedia" para aplicarse en las áreas rurales y han recogido considerable información sobre bombas que pueden ser fabricadas por artesanos rurales y talleres de acción intensiva. Muchas ideas recogidas por VITA e ITG, y por una encuesta del CIR, se

detallan en la bibliografía. Algunas de las más prometedoras se describen en las secciones 6.4 a 6.8. VITA ha publicado recientemente un informe (Spangler, 1975) sobre bombas de mano de tubería plástica, madera y caucho para pozos de aldeas rurales, que pueden ser construidas en talleres locales (véase figura 5-13). Bombas similares han sido producidas en pequeñas cantidades en diversos países.

## 5.9 COMENTARIOS GENERALES

Los siguientes comentarios se basan en una revisión de recientes trabajos de investigación y desarrollo dedicados a bombas de mano:

- (1) Las mejoras que parecen obvias en la oficina o en el laboratorio a menudo no sirven en el campo. Un corolario a esto es que el comportamiento o trabajo satisfactorio en el laboratorio no garantiza el éxito en el campo.
- (2) Muchos investigadores parecen no estar al tanto del trabajo que sobre bombas de mano realizan otros. Virtualmente, no se revisa la literatura especializada, y la comunicación entre los investigadores es escasa. Los medios de comunicación son inadecuados.
- (3) Los datos sobre costos son generalmente insuficientes para la toma de decisiones operacionales. Los costos del ciclo de vida de las bombas nunca se analizan.
- (4) La comparación y evaluación de bombas de mano en base internacional ha de requerir definiciones, criterios y metodologías comunes que actualmente no existen, ni siquiera en la forma de una lista de verificaciones. Algunos investigadores han fallado aún en medir la carga de bombeo, otros en contar y anotar los ciclos en sus pruebas.
- (5) Rara vez se establece una metodología experimental y a menudo la hipótesis sólo se establece en forma implícita. La objetividad científica deja mucho que desear. Las conclusiones se extrapolan temerariamente a partir de datos que resultan de pruebas limitadas, de corto término, corridas en una sola bomba prototipo hecha a mano.
- (6) Muchas de las premisas básicas que se asumen no se someten a prueba. Por ejemplo, no se conoce que se haya hecho o publicado (1976) un estudio cuidadoso y descriptivo sobre el desgaste y abrasión producidos en la tubería de PVC a usarse en los cilindros de bombeo.

(7) Los estudios interdisciplinarios sobre estos temas han sido muy raros. Con pocas y notables excepciones, los descubrimientos modernos producidos en áreas tales como ergonomía, antropometría, metalurgia, lubricación, fricción, ciencia de materiales, et al., han sido prácticamente ignorados.

(8) Muchos investigadores han subestimado grandemente el desgaste y carga que sufren los cojinetes en las bombas de mano de pozo profundo para el uso comunitario. Muchos mangos de bomba de mano (y otras partes sometidas a trabajo constante) reciben el impacto de más de 5 millones de brazadas por año. La tensión promedio que sufre la varilla de la bomba para un cilindro de 3 pulgadas (75 mm aprox.) y una carga de bombeo de 100 pies (30 m), sobrepasa las 300 libras (140 kg). Si se trabaja contra una carga instantánea, este valor puede ser mucho mayor.

(9) Con excepción de aquellos programas que puedan considerarse como los más grandes, la mayoría de los programas de investigación y desarrollo deben comenzar a pequeña escala con mejoras sobre modelos existentes, que se encuentren en la localidad; y deben concentrarse en mejorar el mantenimiento, producir cojinetes más grandes, mejores empaques de taza y cilindros más lisos.

## 6. FABRICACION LOCAL DE BOMBAS DE MANO

### 6.1 ANTECEDENTES

El que la fabricación local de bombas de mano sea deseable, se basa en que abre posibles oportunidades para:

- (1) Costos de capital de producción más bajos
- (2) Economías en el transporte
- (3) Reducción en las obligaciones de moneda extranjera
- (4) Estímulo de la industria y fuerza laboral locales
- (5) Mejor acceso a repuestos
- (6) Producción de una bomba de mano ajustada a las condiciones locales.

Los objetivos arriba señalados son alcanzables pero no automáticamente.

Existen cientos de miles, posiblemente millones, de bombas de mano rotas o abandonadas en todas partes del mundo. No hay economía de ninguna clase que pueda hacerse en bombas que no funcionan. Por ello, las bombas de mano fabricadas localmente, e importadas, deben tener la calidad necesaria que les permita cumplir con el eficiente funcionamiento esperado.

Antes de que se inicie la fabricación local, deben evaluarse las alternativas disponibles. Por ejemplo, debe considerarse si las partes o componentes deben comprarse localmente, o importarse de algún país extranjero o fabricarse nacionalmente. Del mismo modo, ha de considerarse si las partes deben hacerse de material de fundición (lo que requiere facilidades de fundición), fabricarse usando técnicas de soldadura, o quizás manufacturarse de varias formas de plástico. Debe evaluarse la factibilidad técnica y económica de cada alternativa.

Hay dos tipos de manufactura local a considerarse. La primera es la producción en masa en fundiciones, talleres, y fábricas de bombas de fierro fundido y acero similares a aquéllas del mercado internacional de exportación. Tal manufactura es práctica y se lleva a cabo en muchos países en desarrollo. El segundo tipo de manufactura local no requiere un alto nivel de tecnología y se presta para la producción en pequeñas cantidades por artesanos rurales. Ambos tipos son importantes, pero para todos los países, excepto los países más pequeños o los más deshabitados o los menos desarrollados, el primer tipo será generalmente mucho más importante debido a su capacidad de producción en masa de bombas de mayor duración y de mayores posibilidades de intercambio.

Las bombas de mano se hacen de muchos componentes disímiles. En consecuencia, para armar la bomba completa, puede necesitar una compleja red de abastecedores de material de fundición, cueros y empaquetaduras, varillas, tuberías, válvulas, pasadores, tuercas, pernos y otras piezas.

## 6.2 BOMBAS DE MANO CONVENCIONALES DE FIERRO FUNDIDO

### 6.2.1 Prácticas de Fundición

La mayoría de las bombas de mano que se usan en el mundo para agua de bebida utilizan cuerpos de hierro fundido y cilindros de hierro fundido o de bronce amarillo. Estos materiales han dado un servicio bueno y económico por más de 100 años y es de esperar que continúen en uso por muchos más aunque otros materiales habrán también de utilizarse. Tales trabajos de hierro fundido están dentro de la habilidad de producción local, tal como lo han demostrado numerosas fundiciones en los países en desarrollo. Sin embargo, frecuentemente se ha prestado muy escasa atención al control de calidad, particularmente a la luz de la competencia de precios alrededor de productos que no gozan de normalización en su producción.

### 6.2.2 Composición y Calidad del Hierro y del Carbón de Coque

Las materias primas para fundiciones de hierro gris son hierro cochino y carbón de coque. El hierro cochino que se usa en las bombas debe llenar las especificaciones que se señalan en el cuadro 6-1 (Fannon y Varga, 1972).

CUADRO 6-1 ESPECIFICACIONES PARA FIERRO COCHINO DE FUNDICION

Valores expresados en porcentaje

<u>Sílice</u>	<u>Carbón</u>	<u>Manganeso</u>	<u>Azufre</u>	<u>Fósforo</u>
2.50 - 2.75	4.10 - 3.85	0.50 - 1.25	0.05 max	0.30 - 0.50
2.76 - 3.00	4.05 - 3.70	0.50 - 1.25	0.05 max	0.30 - 0.50
3.01 - 3.25	3.90 - 3.65	0.50 - 1.25	0.05 max	0.30 - 0.50
3.26 - 3.50	3.85 - 3.60	0.50 - 1.25	0.05 max	0.30 - 0.50

Según Fannon y Varga (1972)

La lista de los porcentajes de carbón indicados son sólo una indicación del contenido de carbón que se desea contenga el fierro cochino. Es asunto difícil producir fierro cochino de fundición con contenido de sílice y carbón de acuerdo a especificaciones. Sin embargo, el contenido de carbón y el de sílice deben estar balanceados para producir fundiciones de fierro gris con menor variación en su composición. El contenido de sílice debe y puede ser agregado hasta que alcance la gama de porcentaje designada y el contenido de carbón debe hallarse razonablemente cerca a los valores indicados. Como un ejemplo, el contenido de sílice puede especificarse como dentro de los valores 2.76 a 3.25 por ciento - el valor del correspondiente contenido de carbón debe estar en la gama de 4.05 a 3.65 por ciento. (Los contenidos de carbón se muestran intencionalmente en orden reverso porque al aumentar el contenido de sílice en el fierro cochino, el contenido de carbón debe decrecer. Esto es una característica del proceso a horno abierto usado en la fabricación de fierro cochino). Un alto contenido de fósforo puede dar origen a la formación masiva de una mezcla eutéctica de carburo de hierro y fosfuro de hierro que puede dar origen a un producto quebradizo y susceptible a roturas, que tiene baja resistencia al impacto y que es difícil de trabajar a la máquina.

Como parte de las especificaciones, debe contemplarse un análisis químico periódico del fierro cochino por parte del proveedor y verificarse por medio de análisis químicos antes de aceptar el fierro cochino.

El carbón de coque, o coque de fundición, debe, asimismo, comprarse de acuerdo a las especificaciones. El coque para fundición es más difícil de producir que el fierro cochino de fundición si las especificaciones son de gama muy estrecha; estas especificaciones deben actuar como guía en los acuerdos o contratos de adquisiciones. Una especificación recomendada (Fannon y Varga, 1972) se muestra en el cuadro 6-2. Adicionalmente, el contenido calórico debe ser de un promedio de 2500 millones de BTU's por tonelada corta. El coque debe conservarse bajo cubierta en el almacén y debe estar protegido de la humedad.

CUADRO 6-2 ESPECIFICACIONES PARA COQUE DE FUNDICION\*

PESO EXPRESADO EN PORCENTAJE

<u>Carbón Fijo</u>	<u>Materia Volátil</u>	<u>Contenido de Ceniza</u>	<u>Contenido de Azufre</u>
88.0 min	1.0 max	12.0 max	1.2 max

\* Según Fannon y Varga (1972)

Los valores especificados constituyen una guía para las compras de coque de fundición; sin embargo, se deben hacer todos los esfuerzos posibles para obtener coque de fundición que tenga un mínimo de contenido de ceniza. Cuanto más alto el contenido de azufre en el coque, más alto será el contenido de azufre en el hierro fundido gris producido y mayor será la posibilidad de problemas metalúrgicos originados por el alto contenido de azufre.

### 6.2.3 Fabricación de Moldes y Núcleos

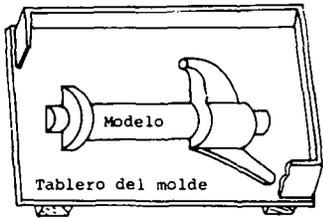
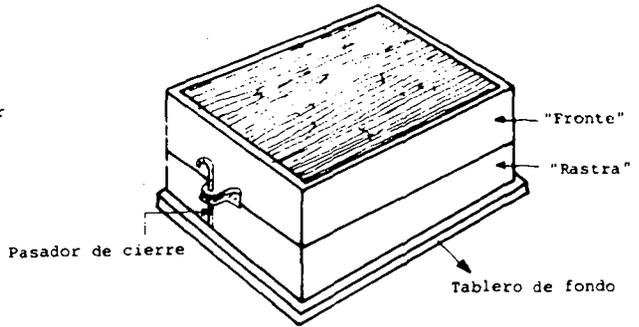
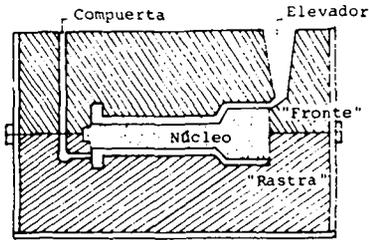
La manufactura de bombas de hierro requiere de un dibujo a escala de fabricación, el cual se entrega al operario de moldes quien talla y tornea un modelo de madera del tamaño y forma del cuerpo principal de la bomba terminada. El mango y otras partes sueltas se fabrican separadamente. El cuerpo principal de la bomba, siendo hueco, es la parte más difícil de fabricar. El modelo se corta longitudinalmente por la mitad. Se perforan huecos para las clavijas de modo que las mitades puedan juntarse nuevamente en perfecto alineamiento. Un segundo modelo, hecho para que "case" el ánima de la bomba, es conocido como el núcleo. Ver figura 6-1.

El núcleo se usa para formar la cavidad de la bomba, a la que luego se le da, a máquina, la dimensión especificada y la tolerancia respectiva a efectos de que acomode el émbolo en muchas bombas de pozo superficial. Este núcleo cilíndrico se inserta en el molde luego que el modelo de madera ha sido retirado del molde. El núcleo se prepara en moldes de madera (cajas de núcleo) y se mantiene en un horno a una temperatura baja (alrededor de  $400^{\circ}\text{C} = 752^{\circ}\text{F}$ ) para su endurecimiento y secado.

El núcleo es rodeado por el metal caliente durante el vaciado; por consiguiente, está sujeto a temperaturas muy altas y debe hacerse de arena especial para núcleos con un contenido alto de sílice. Deben mezclarse a la arena materiales especiales de "liga" para propósitos de "agarre". Estos materiales vienen en forma húmeda o seca y son hechos típicamente de harina de trigo, pasta de centeno, resinas en polvo y aceite de linaza.

La parte más importante del trabajo es hacer las cavidades en la arena, esto es, preparar los moldes porque si esto no se hace correctamente el resultado es una pieza de fundición defectuosa. Los moldes se construyen y se llevan a la forma requerida trabajando a mano y el modelo de madera para el molde debe sobredimensionarse para así absorber la contracción que se produce en el molde. El hierro

# MOLDE LISTO PARA VACIADO



SECCION TIPICA DE UNA BOMBA PEQUENA PARA POZOS SUPERFICIALES

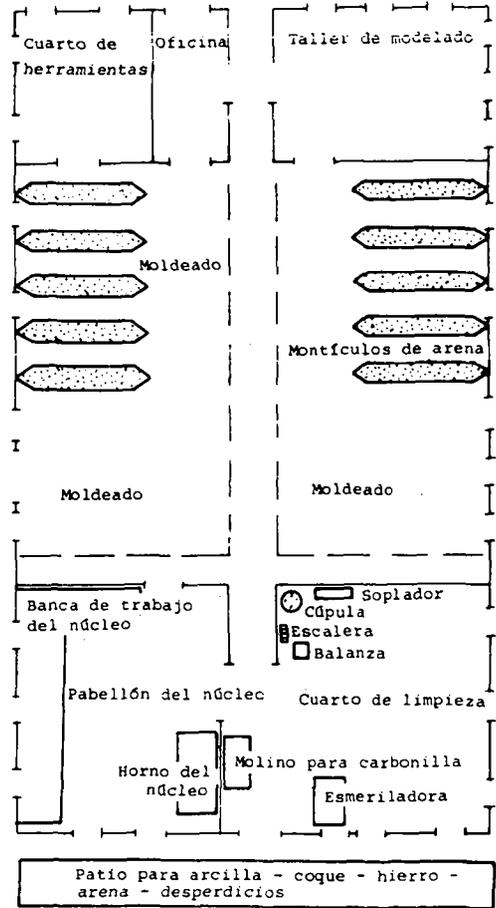
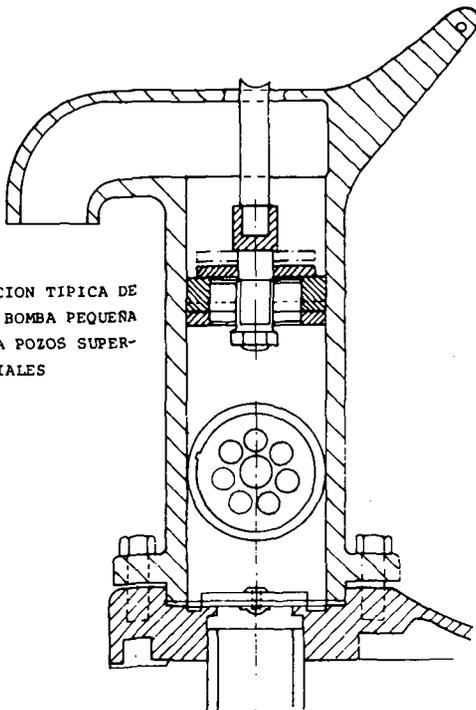


FIGURA 6-1 PLANO TIPICO DE DISTRIBUCION Y EQUIPAMIENTO DE UNA FUNDICION

fundido se contrae cerca de  $\frac{1}{8}$  de pulgada por pie (cerca de uno por ciento) al enfriarse y pasar de estado de magma a la temperatura ambiente.

La arena de mejor calidad preparada para usarse en fundición puede obtenerse sólo a través del examen más cuidadoso de las arenas disponibles. La arena debe ser bien graduada, ensayada y debe resistir temperatura de 2500°C (4532°F). Para cada operación de vaciado debe hacerse un molde nuevo. La arena bien seleccionada puede reapilonarse y usarse para moldes sucesivos, agregando una pequeña cantidad de arena nueva para dar "agarre". La permeabilidad o habilidad de la arena apisonada para permitir el pasaje de los gases a través de ella, es una propiedad muy importante. Las arenas de grano más fino, compuestas de partículas de forma irregular y con aristas, son en general las mejores para el trabajo de moldes, puesto que su porosidad es buena y forman buen enlace o "agarre" entre ellas. Esto se debe a que ofrecen una estructura superficial más abierta y extensa que las arenas de grano redondo.

Para hacer el molde, se coloca una caja alargada, sin fondo ni tapa, que se llama "rastra", encima de un tablón o plataforma. Una mitad de la bomba se deposita boca abajo en el tablón dentro de la "rastra". La arena de moldear se deposita alrededor del modelo y se apisona hasta que adquiera firmeza.

La mitad del molde, entonces, se voltea con cuidado y se pasa un rasero para eliminar la arena innecesaria y traerla a nivel. La otra mitad del molde se coloca en su lugar mediante clavijas y se ajusta de modo que las dos mitades estén en perfecto alineamiento. Se rocía arena al final para evitar que el molde se pegue.

El "fronte", o parte superior del molde, se coloca entonces en lugar, se engrampa, se llena con arena y ésta se apisona con firmeza. Se hace un hueco para el vaciado del líquido de fundición introduciendo una varilla redonda a través de la arena hasta llegar al modelo. Las dos partes se separan entonces y el modelo se saca dejando el molde de arena de las mismas dimensiones y forma de la bomba.

Ahora se está listo a poner el núcleo en el molde. Pero primero, tanto el núcleo como la parte inferior del molde se bañan o untan con grafito, para prevenir la adhesión del vaciado a las paredes y dejar una superficie de aceptable tersura en el fundido. Un pasador o extensión que sobresale de cada extremo del núcleo

descansa en una ranura o canaleta, manteniendo así el núcleo suspendido en el molde. Pequeños separadores de metal, en forma de clavos cortos de dos cabezas, llamados "coronillas" se usan como divisores para mantener el núcleo en posición. Estos clavillos se absorben en el fundido.

Fabricar un juego completo de modelos maestros en aluminio para una bomba de mano puede costar varios miles de dólares. Una agencia que busque la uniformización de sus bombas de mano y que desee conservar la competencia de precios en pequeñas órdenes o pedidos, puede considerar tener sus propios modelos para sus bombas, y prestárselos a los adjudicatarios de la buena pro en la licitación respectiva, para que sirvan de patrón en la fabricación de lotes muy grandes, o para que los utilicen directamente en la fundición de lotes pequeños.

Se llaman "compuertas" a canaletas cortadas en el molde para permitir que el metal derretido llegue a la cavidad de la pieza a fundir. El "elevador" es la parte del molde donde fluye el exceso de metal del molde y sirve para que el cuerpo de éste se mantenga siempre lleno y para recibir cualquier suciedad o escoria que suba con el metal. El "elevador" se diseña también para dar salida al aire que es empujado por el metal entrante cuando el molde se llena del metal derretido. Para un molde pequeño, una sola compuerta y un solo "elevador" son suficientes ya que el metal caliente no tiene mucho espacio para correr.

#### 6.2.4 Fusión del Metal

La "cúpula" es el horno de fundición más extensamente usado para fundir el fierro a usarse en moldes corrientes. La cúpula se carga con fierro cochino, piedra caliza, chatarra (fundiciones y moldes defectuosos, compuertas y elevadores) y desperdicios de acero, dependiendo las proporciones relativas de la composición que se desee dar a la pieza de fundición a ser vaciada. La cúpula es un horno de tiro directo, abierto en la parte superior, forrado con ladrillos refractarios, y que se carga, a través de puertas separadas, a la mitad de la campana con capas alternadas de coque y hierro y con un poco de piedra caliza que se añade para "soltar" la ceniza de coque, y hacer la escoria más fluida. La escoria consiste de cenizas del coque, impurezas de metal y material desprendido de los costados de la cúpula. La cantidad de coque usado en cada "cargada" es de un cuarto a un doceavo de peso

del metal derretido; dependiendo de la complejidad de la chatarra usada y de la temperatura de vaciado que se desea.

Se sopla aire a través de aspilleras cerca del fondo para quemar coque y producir el calor de combustión necesario para derretir el fierro. En la parte inferior de la cúpula hay un par de puertas de fierro fundido abisagradas, las cuales se dejan caer luego que todo el metal derretido ha sido retirado. Esto se hace para que el residuo de hierro que queda en la cúpula caiga afuera y se le retire. Un conducto de viento rodea la cúpula cerca de su base dentro del cual el aire es forzado por un fuelle o "soplador". El ducto de viento se conecta al interior de la cúpula por aspilleras de fierro fundido ligeramente abocinadas hacia arriba.

La composición química del metal que se extrae de la cúpula se determina en base a la composición química de los cuerpos metálicos que se cargan, a la cantidad de coque que se usa y a la tasa a la cual se sopla el aire hacia el interior de la cúpula. Pueden hacerse ajustes menores en la composición química, después que el metal se extraiga, por la adición de una aleación ferrosa en el "cucharón", o en un horno de retención (o prehorno) si tal equipo se utilizara. Tales técnicas pueden no siempre ponerse en práctica con facilidad en los países en desarrollo.

#### 6.2.5 Vaciado del Molde o Pieza de Fundición

A la parte superior del molde, llamado "fronte", se le debe añadir peso de modo que la fuerza "boyante" del metal que se vacía no lo levante y deje que algo de metal fluya entre el "fronte" y la parte de abajo llamada "rastra" y se solidifique allí. El operario toma del horno una "cucharonada" de metal a la apropiada temperatura y la vacía por la compuerta del molde en un chorro continuo, teniendo cuidado de no cortar el flujo del chorro en ningún momento. La compuerta debe mantenerse llena de metal todo el tiempo para minimizar el arrastre de arena adentro del molde. El vaciado es continuo hasta que el nivel del metal llegue al tope del elevador. El metal, al que se le da tiempo para que solidifique y enfríe antes de que se le sacuda y saque del molde, constituye ahora la pieza fundida en bruto. La compuerta y el elevador se cortan de la superficie de la fundición y la bomba, en estado "crudo" todavía, se pasa a otra sección para la limpieza.

#### 6.2.6 Limpieza de la Fundición

Para dejar lista la fundición para el uso respectivo, es necesario quitarle la compuerta, el elevador, las rebarbas, costras y arena. La remoción del núcleo de arena seca por medio de golpes secos y cortos, constituye la primera operación. La compuerta y el elevador pueden quebrarse con martillo y cincel, o cortarse con una sierra de cortar metales. La remoción de nudos y astillas se hace usándose una rueda de amolar o esmerilar portable movida por electricidad, y la arena superficial que pueda haber pasado a la pieza fundida puede sacarse con una escobilla o cepillo de hierro fuerte y tosco.

#### 6.2.7 Fundición del Mango, la Tapa y Otras Partes

Si es verdad que éstos son elementos de una más fácil fundición, los procesos a usarse son los mismos que se siguen para el cuerpo de la bomba.

#### 6.2.8 Empleo de Máquinas y Herramientas

El "acabado" del cuerpo de bomba, de la placa del fondo y del pistón se hace en el taller de herramientas.

Algo de arena se adhiere a la superficie de las fundiciones, aún después del impacto considerable que la pieza de fundición pueda recibir durante la sacudida y la remoción de compuertas y elevadores. Esta arena que se adhiere fuertemente puede quitarse con escobilla de metal o por el uso de una técnica llamada "chorro de perdigones". Las piezas de fundición se colocan en una unidad, que usualmente tiene una cámara cilíndrica, y pequeñas bolas de acero o de otro metal duro se lanzan contra las fundiciones a gran velocidad. El impacto de millones de estas bolitas hace un trabajo muy efectivo para remover la arena que ha estado fuertemente adherida. Otro método usa agua a alta presión. En piezas más pequeñas pueden usarse tambores rotativos o "tumbadores".

Para quitar los trocitos de metal o "rebarbas" que sobresalen de las fundiciones se usa el método de molienda abrasiva o "esmerilado". La operación de esmerilado consiste en "moler" el exceso de metal y pulir esa parte de la fundición dándole el contorno deseado en esa particular localización. Se debe aceptar que ciertos defectos pueden también producirse durante la fundición y dejar rebarbas en las piezas fundidas. Estas rebarbas también se quitan por esmerilado. El esmerilado

se realiza en general por dos métodos: uno emplea esmeriladoras que se fijan a una base montada en el piso, y el otro hace uso de herramientas de esmeril a mano. El primer método se usa para fundiciones que pueden sujetarse con las manos durante la operación de esmerilado. Para permitir la remoción de sólo la cantidad de metal que se desea se utilizan usualmente cribas y accesorios. Esmeriladoras de mano que tienen muelas de 6 a 8 pulgadas (15 a 20 cm) de diámetro se utilizan usualmente para quitar el exceso de metal de fundiciones más grandes que no pueden sostenerse con las manos. Esmeriladoras más pequeñas, que usan ruedas abrasivas cilíndricas y de puntas, sirven para remover el exceso de metal de fundiciones de cualquier tamaño, cuando ese exceso ocurre en cavidades hondas o en configuraciones complicadas de las superficies.

Después de la operación de esmerilado, los productos de fundición están listos para los próximos pasos, que consisten en operaciones de horadar, taladrar, roscar y revestir. Todas ellas pueden hacerse con herramientas de torneado y taladrado, tales como las prensas de torno y taladro. En operaciones de gran producción, se usan máquinas automáticas que se alimentan mecánicamente. Sin embargo, en los talleres pequeños se depende de diversos artificios mayormente "hechos en casa", y elementos de diversa índole, con fines de aumentar la producción y mejorar la precisión de la obra mecánica. Se necesitan indentaciones en las piezas fundidas para allí taladrar los huecos y, asimismo, accesorios y aparatos de diversos tipos para asegurar que las partes sean intercambiables. También se requieren herramientas especiales y de medición para ayudar a incrementar la producción.

#### 6.2.9 Requerimientos para Establecer Instalaciones de Fábrica

Una instalación completa para la manufactura de bombas de mano requeriría una fundición de hierro y un taller de máquinas. Si se pudiera utilizar una fundición para trabajos a destajo, sería más económico inicialmente comprar los modelos. Esto reduciría el capital inicial requerido y así disminuiría el costo de establecer el taller de máquinas. Si se construye una fundición como parte de la inversión, se pueden producir otros trabajos de fundición aparte de los de bombas de mano.

Las herramientas y maquinaria necesarias dependerán del nivel de producción. Las operaciones básicas incluyen esmerilar, horadar, taladrar, roscar y cortar.

Una simple rueda de moler o esmerilar o una lijadora de disco o de correa pueden usarse para suavizar todas las superficies de contacto. Para perforar grandes orificios como los que requiere el cilindro en una bomba de surtidor tipo jarra, se tiene que hacer uso de torno. Es de necesidad tener herramientas para roscar, incluyendo juegos de machos de tarraja (para permitir las conexiones en la tubería de bajada). Un taladro de prensa se usa para perforar agujeros pequeños. Una prensa de mano (y dados de trabajo) se pueden usar para cortar cueros y empaquetaduras.

La figura 6-2 muestra una distribución "modelo" propuesta por Battelle para un taller de máquinas y fundición que contempla 256 pies cuadrados por máquina (16 pies por 16 pies, aproximadamente 5 m por 5 m). El esquema no especifica dónde va a estar exactamente situada cada máquina, dónde se van a considerar los pasillos de trabajo y circulación ni dónde van a estar las piezas en las que se va a hacer el trabajo, porque estos detalles dependen de las decisiones de la gerencia del taller. El esquema que se ofrece está construido de manera que hay un flujo natural de piezas y materiales a través del taller. La fundición está a la izquierda; las piezas de fundición proceden de izquierda a derecha a las herramientas y máquinas, pasan a través de la inspección, pintura, almacenamiento y, finalmente, embarque. No hay razón que impida que el embalaje no pueda hacerse antes del almacenamiento. Sin embargo, como se indica en el esquema, todas las piezas se almacenan y los componentes pueden después sacarse ya sea para ensamblarlos en bombas completas o para aprovecharlos como repuestos.

El cuadro 6-3 indica el personal que se juzga necesario en un taller de máquinas para producir de 20 a 40 o más bombas por día. El estimado de 20 bombas por día se basa en el uso de un mínimo de dispositivos de fabricación en serie en todas las operaciones, y en el uso de herramientas de cortar de punta simple. La producción puede incrementarse hasta 40, o más, bombas completas por día, sin aumento de personal, cambiando de herramientas de punta simple a herramientas más complicadas, algunas semiautomáticas.

Aproximadamente 3600 pies cuadrados (330 metros cuadrados) se consideran necesarios para el área de fundición. Puede ser que se requiera un área mayor o

Nota: Todas las medidas son en pies y pies cuadrados y aquéllas que se encuentran dentro de paréntesis son en metros y metros cuadrados aproximados

<p>FUNDICION</p> <p>56 x 64 = 3584</p> <p>(15 x 19 = 2230)</p>	<p>ALMACEN DE TUBERIA Y VARILLAS</p> <p>8 x 24 = 192</p> <p>(2.4 x 7.3 = 18)</p>	<p>AREA DE CORTE DE TUBERIA Y VARILLAS</p> <p>8 x 24 = 192</p> <p>(2.4 x 7.3 = 18)</p>	<p>AREA DE ROSCADO DE TUBERIA</p> <p>16 x 16 = 256</p> <p>(5 x 5 = 25)</p>	<p>AREA DE LIMPIEZA, BAÑADO Y HORNEADO</p> <p>16 x 32 = 512</p> <p>(5 x 10 = 50)</p>	
	<p>AREA PARA ALMACEN DE FUNDICIONES Y ESMERILADO</p> <p>16 x 32 = 512</p> <p>(5 x 10 = 50)</p>	<p>TORNO</p> <p>16 x 16 = 256</p> <p>(5 x 5 = 25)</p>	<p>PRENSA PARA PERFORACION</p> <p>16 x 16 = 256</p> <p>(5 x 5 = 25)</p>	<p>MAQUINARIA PARA ESMERILAR</p> <p>8 x 16 = 128</p> <p>(2.4 x 5 = 12)</p>	<p>ALMACEN DE CILINDROS Y PASADORES</p> <p>8 x 16 = 128</p> <p>(2.4 x 5 = 12)</p>
	<p>OFICINA</p> <p>16 x 16 = 256</p> <p>(5 x 5 = 25)</p>	<p>TORNO</p> <p>16 x 16 = 256</p> <p>(5 x 5 = 25)</p>	<p>PRENSA PARA PERFORACION</p> <p>16 x 16 = 256</p> <p>(5 x 5 = 25)</p>	<p>INSPECCION Y PINTURA</p> <p>16 x 32 = 512</p> <p>(5 x 10 = 50)</p>	<p>AREA DE EMBARQUE</p> <p>16 x 16 = 256</p> <p>(5 x 5 = 25)</p>
			<p>ALMACEN</p> <p>16 x 32 = 512</p> <p>(5 x 10 = 50)</p>	<p>AREA PARA ENSAMBLAJE</p> <p>16 x 24 = 384</p> <p>(5 x 8 = 40)</p>	

FIGURA 6-2 PLANO DE DISTRIBUCION DE FUNDICION Y TALLER DE MAQUINAS PARA LA FABRICACION DE BOMBAS DE MANO

(Según Frink y Fannon)

menor que la indicada dependiendo del operador de la fundición y del espacio libre y de maniobra que requiera; así como de su método de disponer los moldes y la operación de vaciado. Los 3600 pies cuadrados (330 metros cuadrados) no incluyen mucha área alrededor de la cúpula ni cerca de ella para el almacenamiento de los materiales crudos, coque, etc. El cuadro 6-4 muestra el personal de fundición necesario.

CUADRO 6-3 DOTACION DE PERSONAL DE UN TALLER DE MAQUINAS\*

Operación	Número de Personas
Materiales, recepción, manipuleo, embarque (trabajadores)	2
Esmerilado	1
Tornos	3
Taladros	3
Corte	1
Roscado de tuberías	1
Revestimiento de tuberías	1
Inspección y pintura	1
Ensamblaje de dados	1
Capataz	1
<b>Total</b>	<b>15</b>

\* Número del personal basado en un mínimo de producción de 20 bombas por día. Según Frink y Fannon (1967)

La operación de fundición se basa, en realidad, en los requerimientos y capacidad de operación del taller de máquinas. Esto puede estimarse en 1200 piezas por semana y si se ejecutan dos operaciones de vaciado por semana, significa 600 piezas por vaciado, o sea alrededor de 4300 libras (un poco más de 2000 kg). Se estima que 10 personas pueden absorber esta cantidad de trabajo, dependiendo de los incentivos que vean y de las herramientas con las que trabajen. Para lograr un aumento de la producción, se podría incrementar el personal del proceso de fundición antes de hacerlo en el taller de máquinas. Se espera del personal de fundición que no sólo haga los moldes sino que ayude en el vaciado, en la extracción de las piezas fundidas y en su transporte al taller de máquinas. El capataz y el

personal que carga, lleva y acomoda los materiales, serían los que efectúen la carga inicial de la cúpula y luego serían ayudados por los operarios de moldeo durante el vaciado.

El taller que se muestra en la figura 6-2 representa aproximadamente 9000 pies cuadrados (aprox. 900 metros cuadrados) y un personal de 25 trabajadores. Se espera que estos arreglos puedan producir entre 20 a 40 o más bombas por día. Puede lograrse aumento en la producción aumentando algo de personal en la fundición. No se dan especificaciones para la cúpula. Sin embargo, la cúpula más pequeña construida comercialmente en los Estados Unidos puede producir cerca de media tonelada por hora y ocuparía una pequeña área en la fundición.

CUADRO 6-4 DOTACION DE PERSONAL DE UNA FUNDICION\*

Operación	Número de Personas
Moldeadores	7
Operarios del núcleo	1
Cargadores	1
Capataz	1
Total	10

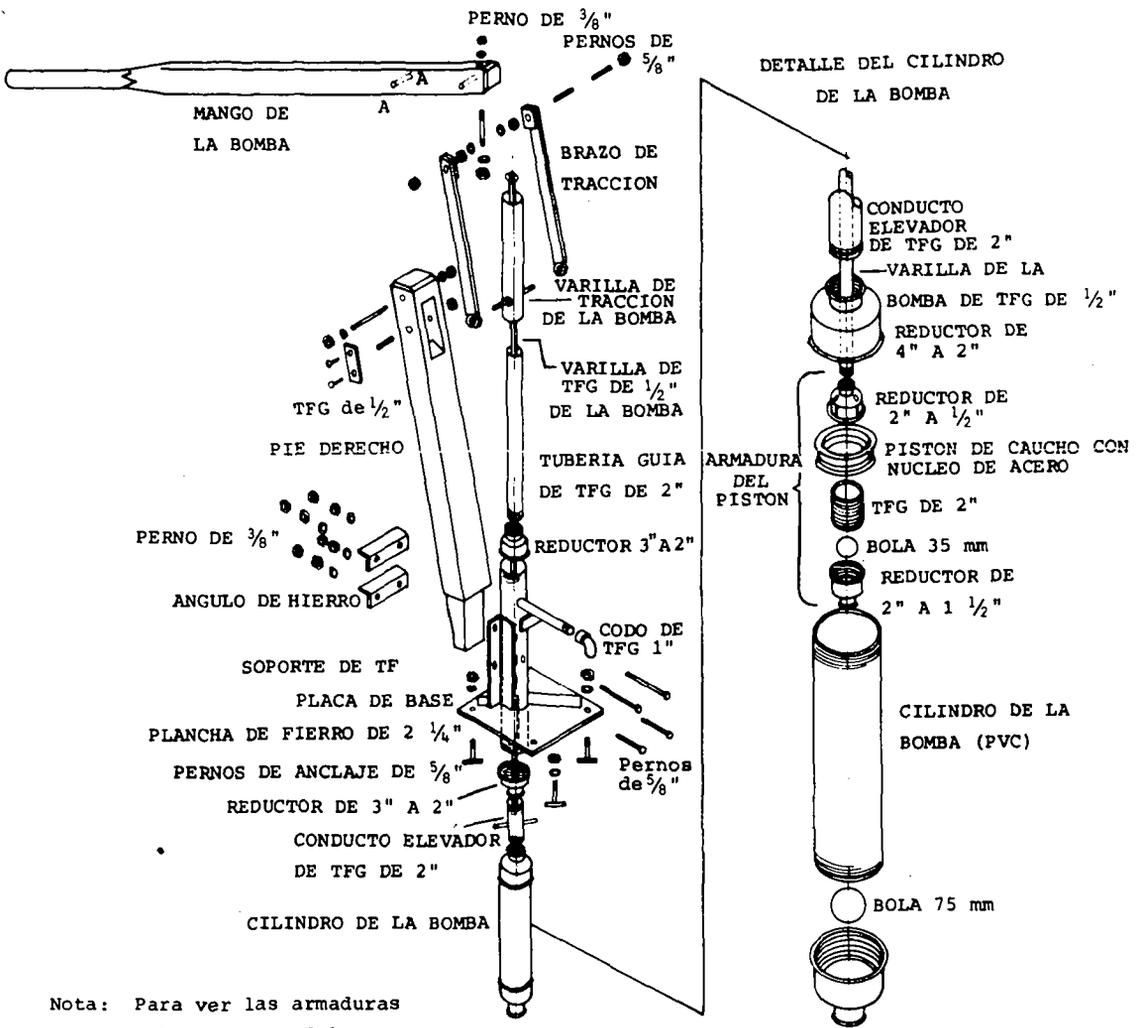
\* Número de personas basado en el trabajo de vaciar 4300 libras (600 piezas) dos veces por semana. Según Frink y Fannon (1967)

#### 6.2.10 Información Adicional

La Sociedad Estadounidense de Fundidores (American Foundrymen's Society), cuya dirección es: Golf and Wolf Roads, Des Plaines, Illinois 60016 (E.U.A.) publica un gran número de guías, manuales y otro material auxiliar sobre aspectos prácticos de fundición. El Grupo de Tecnología Intermedia (ITDG), 9 King Street, London WC2 8HM, publica un boletín sobre fundición.

#### 6.3 BOMBAS DE MANO FABRICADAS DE COMPONENTES DE ACERO, MADERA O TUBERIA PLASTICA

Una alternativa a las bombas hechas de fierro fundido es el usar bombas fabricadas con elementos de tubería estándar o a base de material soldado. Estas no



Nota: Para ver las armaduras del soporte y del mango, véase figura 3-8F

Cortesía: Proyecto de Pozos Superficiales de Shinyanga

FIGURA 6-3 LA BOMBA DE MANO SHINYANGA

son necesariamente menos costosas, pero eliminan la necesidad de una fundición. Son hechas, típicamente, de tuberías de fierro galvanizado o acero; en pocos casos, de tubería plástica.

Existen muchos ejemplos que se pueden citar. Una bomba usada en Africa Oriental es la bomba "Uganda" o "Craelius" mostrada en la figura 3-12. Esta bomba se manufactura en Nairobi y utiliza también madera en el mango y en la parte de la armadura del fulcro. Se adjudica a la bomba la capacidad de soportar un tratamiento rudo y de requerir poco mantenimiento. Puede notarse que esa bomba utiliza un cilindro de bronce amarillo con válvulas de bola - una construcción que es costosa.

Otra bomba de mano usada en Africa Oriental es la bomba "Shinyanga" fabricada en el lugar por el Proyecto de Pozos Superficiales de la Provincia de Shinyanga, Tanzania. La bomba "Shinyanga" utiliza mango de madera y un montante de fulcro también de madera. Muchas otras partes o componentes comprenden tubería estándar de fierro galvanizado y accesorios del mismo material, angulares y placas de hierro, y tuercas y pernos uniformes. La manera como están armados el soporte y el mango de la bomba "Shinyanga" se parece mucho a la de la bomba "Uganda". (Véanse figuras 3-11 y 6-3).

La bomba "Shinyanga" usa un singular arreglo de su cilindro para pozo profundo. El cilindro es un segmento corto de tubería de cloruro de polivinilo (PVC) desplastificado, material seleccionado debido a que la corrosividad de las aguas subterráneas de esa región (pH 3) atacan el fierro fundido y, por otra parte, a causa del alto índice de robo de los cilindros de bronce amarillo (para joyería). Tanto en el émbolo como en las válvulas de retención en la columna de succión se utilizan válvulas de bola de neoprene. Los asientos de las válvulas son reductores estándar. En lugar de las tazas usuales, se utiliza un pistón de caucho industrializado, estándar, con núcleo de acero (costo, cerca de EUA\$4), importado de Europa Occidental donde se le usa en maquinaria hidráulica.

Algunos aspectos de mantenimiento son dignos de destacarse. Las autoridades del proyecto consideran que la expectativa de vida del pistón de caucho reforzado es de 10 años, es decir, más o menos la mitad de vida útil asignada a la bomba y

al pozo. Los huecos en el mango de madera se desgastan rápidamente (2 a 3 meses); sin embargo, cuando se les forra con manguitos de tubería de  $\frac{1}{2}$  pulgada (13 mm) - con lubricación periódica - se ha extendido su expectativa de vida a dos años y aún más.

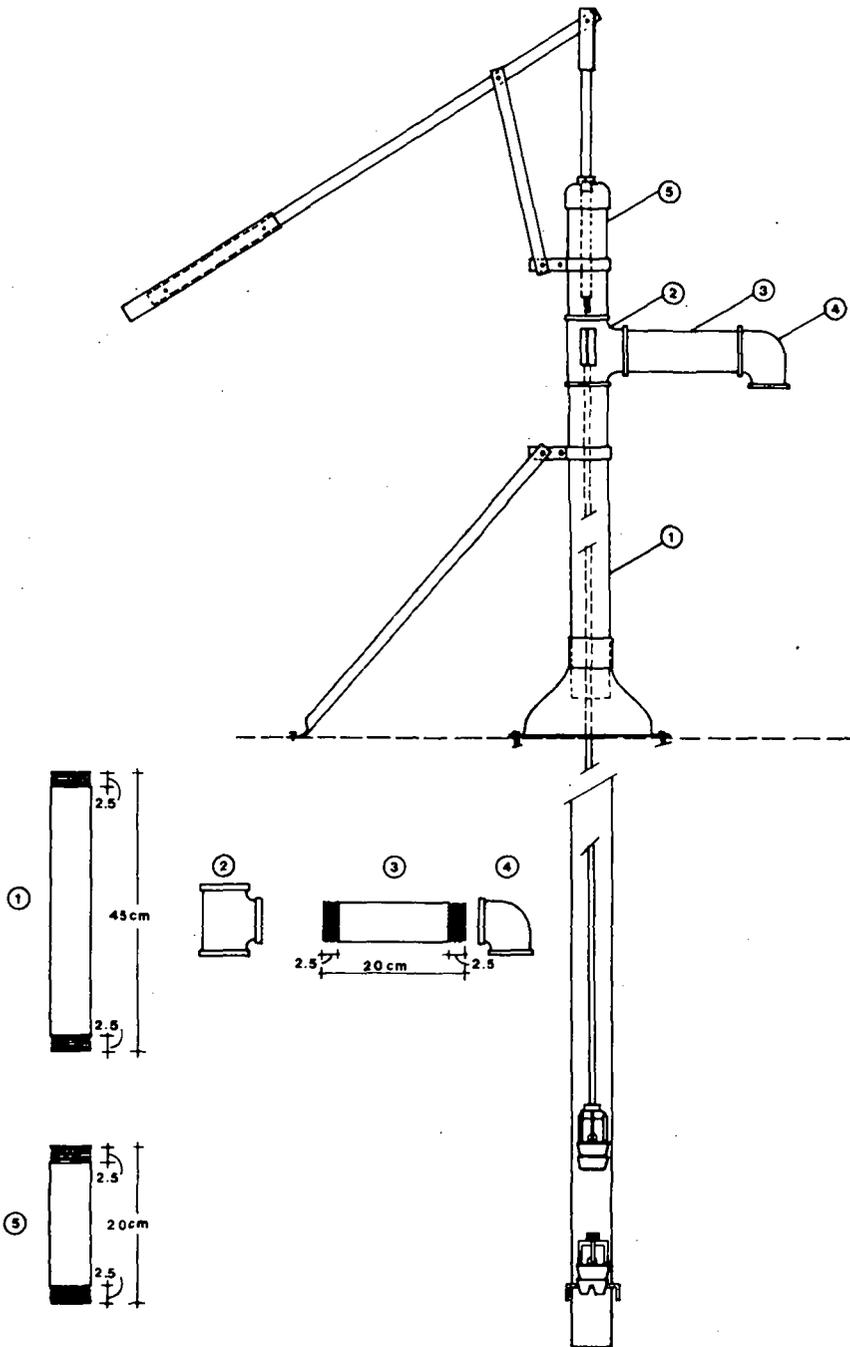
El Departamento de Salud Provincial de Korat, en Tailandia, se preocupó en desarrollar una bomba hecha de partes que podían encontrarse en las zonas rurales de Tailandia. Las miras más importantes que se tuvieron en mente fueron las de facilidad de fabricación y facilidad de mantenimiento (Unahul y Wood). El cuerpo de la bomba y el cilindro se fabrican de tubería de 2 pulgadas sin costura. En las válvulas de retención se usan bolas de acero tomadas de cojinetes antifricción, en las tazas del émbolo se usan cueros de producción local; y madera dura de la región en los mangos. La bomba se armó en un taller de máquinas de la zona. La figura 6-4 muestra esta bomba. En Kenia se han fabricado bombas algo similares a la descrita, pero generalmente en pequeño número (Stanley), y lo mismo en Filipinas (Valdés-Pinilla), Zambia (Suphi) y también en otras partes.

En los cilindros se han usado extensamente materiales plásticos pero sólo muy raramente en cabezales, aunque con frecuencia se les ha propuesto para este uso. Las pruebas de campo hechas en Bangladesh y Tailandia con bombas prototipo construidas con cuerpo de plástico no han sido concluyentes (Journey, 1974; Beyer, 1975). Muchos plásticos son sensibles a las radiaciones ultravioleta y no deben ser expuestos constantemente a la luz del sol (McJunkin, 1971). Se ha propuesto el uso de tuberías de plástico para las tuberías de bajada. Sin embargo, en muchos pozos profundos la varilla de la bomba, en su movimiento, puede frotar y desgastar la pared de la tubería. VITA (Spangler, 1975) ha publicado planos de bombas de plástico para pozos profundos. También lo han hecho Chatiket (1973) y otros.

#### 6.4 SOLDADURA Y MANUFACTURA EN TALLER

Las operaciones que se pueden ejecutar en un taller de máquinas son demasiado diversas para ser resumidas rápidamente. Excelentes guías sobre esta materia se pueden encontrar en obras estándar de fácil acceso (v.g. Baumeister; Camm y Collins; Lascoe, Nelson y Porter; Le Grand; Maynard; Oberg, Jones, y Horton; Rothbart, et al.).

FIGURA 6-4 BOMBA DE COMPONENTES TUBULARES  
FABRICADA EN KORAT (TAILANDIA)



Esta sección se centra en algunos elementos que pudieran ser útiles en la evaluación o en la inspección de la calidad de la manufactura en programas de bombas.

#### 6.4.1 Soldadura

Uno de los más importantes métodos en la inspección de soldaduras es la inspección visual. Para muchos tipos de soldadura que no sea realmente crítica, la confianza en la integridad del producto se basa en la inspección visual. Este método de inspección es el más ampliamente usado porque es fácil de aplicar, rápido, relativamente poco costoso y pocas veces requiere un equipo especial. La inspección visual proporciona información importante con respecto a la conformidad de la soldadura a especificaciones requeridas.

El inspector debe familiarizarse con los documentos pertinentes, con los procedimientos normalizados de trabajo y con todas las fases y operaciones de buenas prácticas de taller. Durante la inspección, la pieza que está siendo revisada debe estar bien iluminada; puede necesitarse una linterna o una lámpara móvil. Un lente de aumento manual de bajo poder puede ser de gran ayuda, y debe usarse cuando sea necesario para evaluar la condición de una superficie que esté bajo examen. Otras herramientas, tales como calibradores y espejos dentales son muy útiles para inspeccionar soldaduras interiores de piezas tubulares o en áreas confinadas. Para verificar la justeza de las dimensiones físicas de la cabeza soldada se utilizan balanzas y diversos aparatos de medida. Las soldaduras que son inaccesibles en el producto acabado deben inspeccionarse durante el progreso del trabajo.

Los bordes y caras del material a ser soldados deben ser examinados para ver si se han producido laminaciones, costras, tetillas y costurones. Debe eliminarse las escamas grandes, películas de óxido, grasa, pintura y petróleo, y escoria de soldaduras anteriores. El material con dobladuras u otros daños, debe ser detectado en las primeras etapas de la fabricación. Debe preverse y verificarse si se ha efectuado la preparación de bordes, ángulos biselados, el alineamiento de diferentes partes y los ajustes o "sentado" de las partes para su apropiado encaje. Durante la soldadura, la velocidad con la que el electrodo se mueve a través de la pieza que se está trabajando, es la que determina el tamaño y la forma de la soldadura. Una velocidad muy rápida produce glóbulos toscos con socavación.

El examen visual constituye usualmente la primera etapa en la inspección de una soldadura terminada. Los siguientes factores de calidad pueden determinarse usualmente por algunos de estos medios:

- (1) Precisión en las dimensiones de la soldadura (incluyendo combadura del metal).
- (2) Conformidad a las especificaciones requeridas en relación con la extensión, distribución, tamaño, contorno y continuidad de las soldaduras.
- (3) Apariencia de la soldadura.
- (4) Los defectos en superficies, tales como rajaduras, porosidad, cráteres no rellenados y grietas de los cráteres, en particular hacia los extremos de la soldadura, socavaciones, etc.

Las soldaduras deben estar libres de rajaduras, cavidades, hoyos, cortes y "salpicadura" excesiva; ser lisas, y tener un fileteado razonable. Una pieza soldada cualesquiera deberá ser sometida a flexión hasta que falle para verificar el grado de penetración de la soldadura.

#### 6.4.2 Labrado

Los asientos torneados de las válvulas deben estar libres de fallas, rajaduras, cavidades u hoyos. Las paredes interiores de los cilindros y las chumaceras deben inspeccionarse para verificar su tersura. Deben eliminarse los glóbulos de galvanización de las superficies de contacto. Las partes que encajan, incluyendo tuercas, deben "casar" perfectamente en un plano. Las tapas de los soportes de las bombas deben encajar planas en el tope del soporte y no presentar bamboleo. Los huecos deben acomodarse a los pasadores y viceversa. Debe existir un buen alineamiento entre los ejes longitudinales de los pasadores y los huecos para los cojinetes.

Cuando se corta con sierra se deben pulir los bordes para quitarles asperezas y aristas. Las roscas hechas en los tubos deben ser bien cortadas para así asegurar uniones seguras y apropiadas, no menores que 0.420 pulgadas para tubos de  $1\frac{1}{4}$  y  $1\frac{1}{2}$  pulgadas; 0.436 pulgadas para tubos de 2 pulgadas; 0.682 para tubos de  $2\frac{1}{2}$  pulgadas; y 0.766 para tubos de 3 pulgadas.\*

#### 6.4.3 Accesorios y Guías o Plantillas

Un accesorio es un aparato o dispositivo que sostiene el artículo a cortar mientras la herramienta cortadora está ejecutando su trabajo. Una guía es un

---

\* Cuando el diámetro de la tubería de bajada se mide en el sistema métrico, las roscas deben tener longitudes mínimas comparables a las que se han dado.

dispositivo que no solamente sostiene el objeto sino que incorpora elementos especiales que guían la herramienta a la posición correcta. Las guías o plantillas se usan principalmente para barrenar, taladrar, etc. mientras que los accesorios se usan más bien en fresado y esmerilado.

El uso de guías y de accesorios no sólo aumenta la producción, sino que hace posible el empleo de mano de obra de menor calificación, mejora la precisión dimensional, y perfecciona la justeza de los ensambles y la intercambiabilidad de las partes.

## 6.5 BOMBAS DE MANO FABRICADAS POR ARTESANOS RURALES

### 6.5.1 Bombas Recíprocas de Madera y de Bambú

Hasta la mitad del siglo XIX la madera era el material estándar de construcción de bombas de mano (Robins). Ahora, con el interés resurgente que ha tomado la "tecnología apropiada", se está mirando a la madera con otros ojos. Sin embargo, el viejo problema, la durabilidad, todavía existe. Las bombas de madera o de bambú, cuando son construidas y mantenidas en forma apropiada, y si no se les da un uso muy intenso, pueden durar por años. Estos dos tipos de bombas pueden significar, en algunas circunstancias, v.g. cuando las bombas son de propiedad particular, alternativas económicas convenientes.

Las figuras 6-5a y 6-5b muestran la bomba "DIY" que se usa en Nigeria (Chatiketu) en pozos superficiales. Se puede usar un segmento largo, sin uniones, de caña de bambú. La tubería plástica de PVC puede substituir al bambú. En la bibliografía figuran diversas referencias de otras tuberías de madera o bambú (Bradley; Hazbun; Jolly; Mann (ITDG); y VITA, 1969).

### 6.5.2 Bombas de Cadena o Noria de Discos

Las bombas de cadena, o noria de discos, tal como se muestra en la sección 2, son fabricadas con facilidad por los herreros de las comunidades rurales. En la publicación de VITA, "Village Technology Handbook", y en la publicación del ITDG "21 Chain and Washer Pumps", se describen varios ejemplos de este tipo de bombas. Un diseño de gran simplicidad se muestra en la figura 6-6. Estas bombas también existen en el mercado.

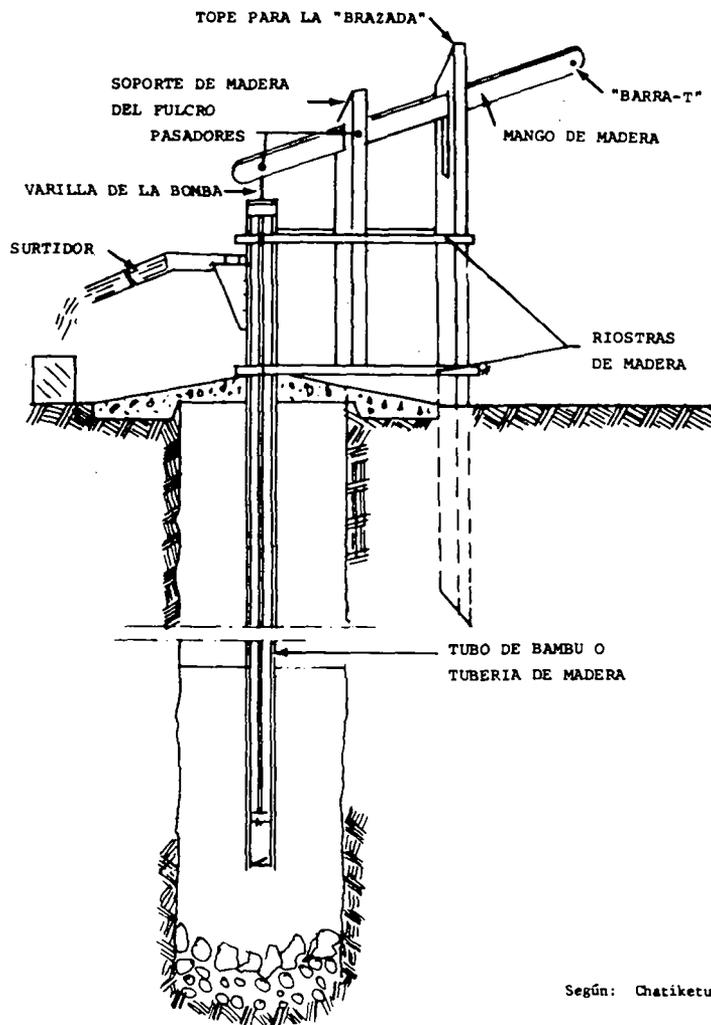


FIGURA 6-5a BOMBA DE MANO DE BAMBU O DE TUBERIA DE PVC (GENERAL)

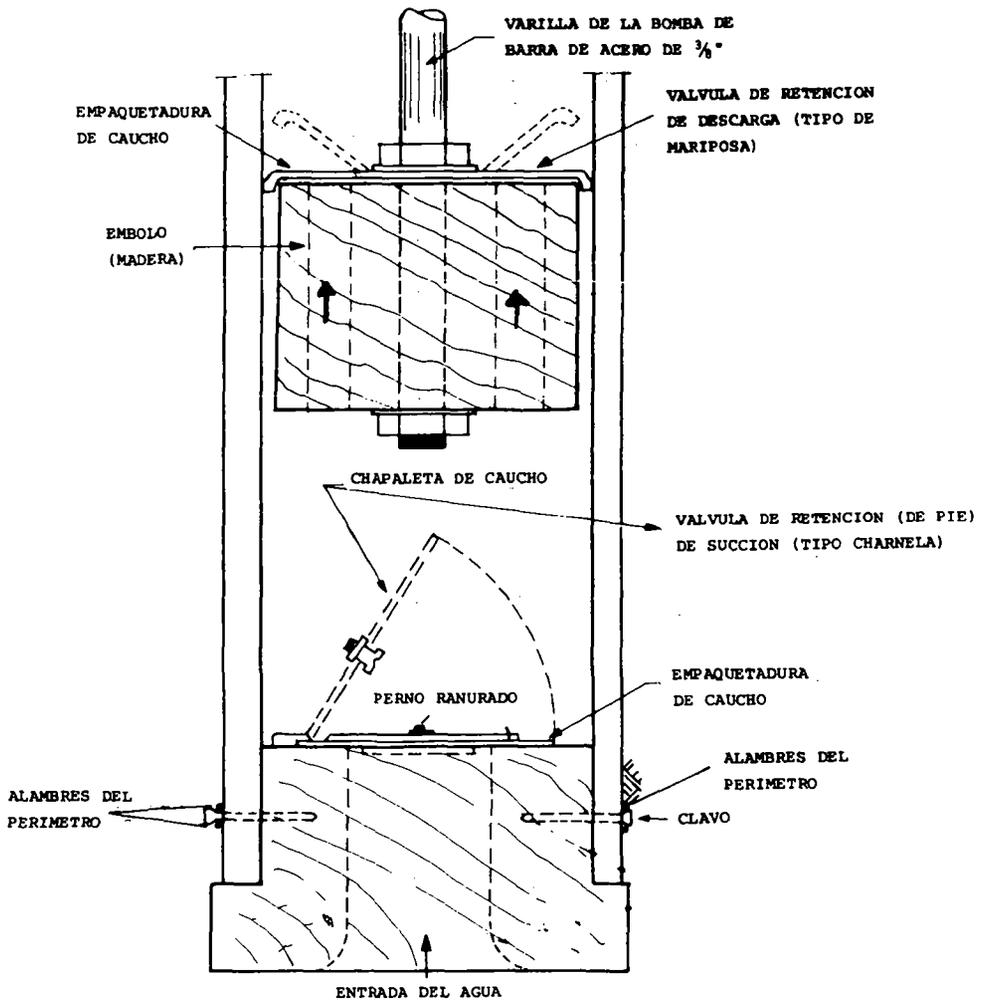


FIGURA 6-5b BOMBA DE MANO DE BAMBU O DE TUBERIA DE PVC (VALVULAS)

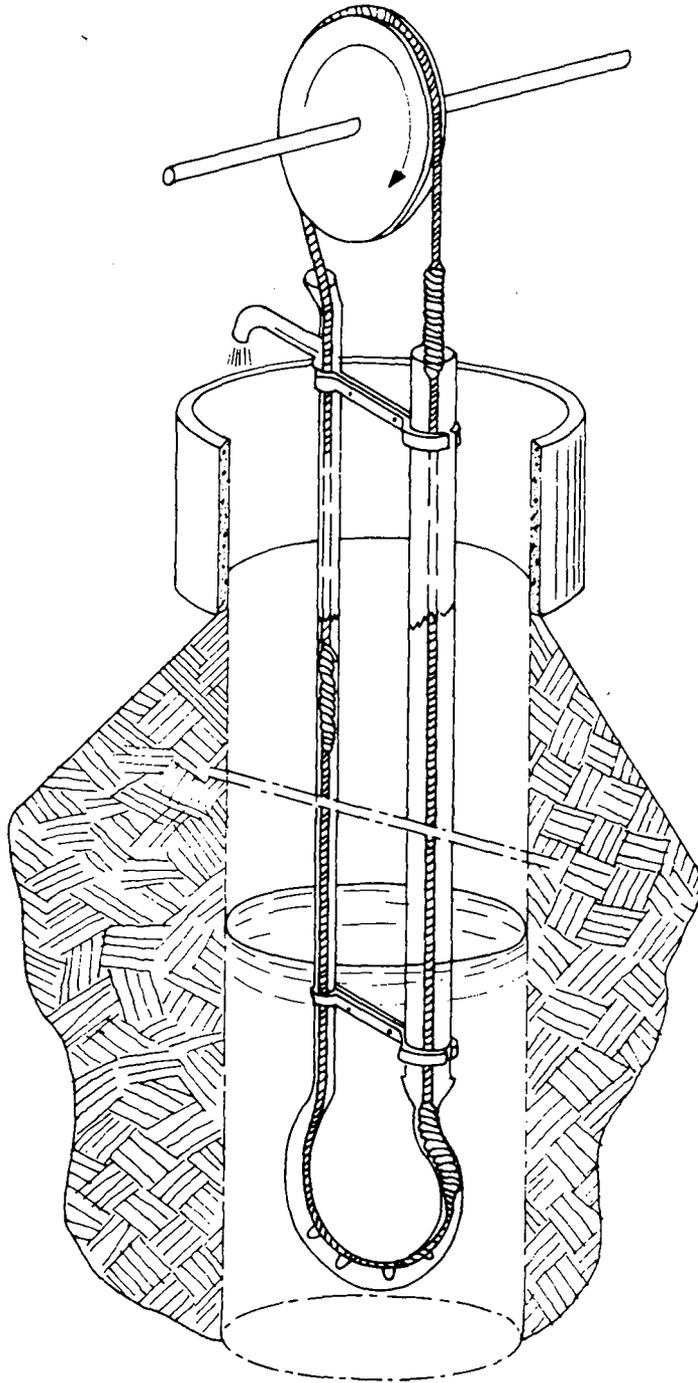


FIGURA 6-6 NORIA DE TIPO CADENA HECHA DE CUERDA

### 6.5.3 La Bomba de Torno

En la sección 2 se mostró un dispositivo de elevar agua del tipo de cuerda sanitaria y cubo, conocido como bomba de torno. Estos artefactos se fabrican fácilmente en las aldeas rurales con materiales nativos y dan buen servicio aunque no el más conveniente. Su uso está limitado a pozos superficiales de gran diámetro.

### 6.5.4 Ariete Hidráulico

El ariete hidráulico permite que, en su manufactura, se le adapten sin mayor dificultad componentes de tubería estándar. Se hallan disponibles instrucciones completas, incluyendo planos y dibujos (Kindal o Watt).

### 6.5.5 Otras Bombas

Las bombas de diafragma, así como las bombas recíprocas, se prestan para su manufactura por artesanos rurales. La figura 6-7 muestra un ejemplo de tal bomba desarrollada por el Brace Research Institute de Canadá (Bodek, 1965; se puede solicitar instrucciones a Brace).

## 6.6 ARTIFICIOS "TRADICIONALES" PARA ELEVAR AGUA

Existen numerosos tipos de dispositivos de elevar agua que se usan en los países en desarrollo, especialmente para riego, los cuales datan de muchos siglos atrás. En cierto sentido, estos dispositivos se crearon obedeciendo a la "supervivencia de los más aptos" e incluían sakias, mhots, norias, shadoofs, ruedas de agua y otros. A excepción del de cubo y cuerda, los que se han citado no han sido adoptados extensamente para propósitos de abastecimiento de agua potable.

## 6.7 CILINDROS DE LAS BOMBAS

La rugosidad de la pared del cilindro y el consecuente desgaste de la taza son elementos clave en la vida de la bomba y en su mantenimiento. La mala calidad de la maquinaria que existe en muchas partes del mundo redundando en cilindros de fierro fundido de calidad pobre. El bronce amarillo es un material mucho más apropiado, pero puede ser prohibitivamente caro. Sin embargo, las tuberías de plástico que ahora se encuentran y se utilizan extensamente en todo el mundo (McJunkin y Pineo, 1971) tienen la superficie de sus paredes lisas, el costo es

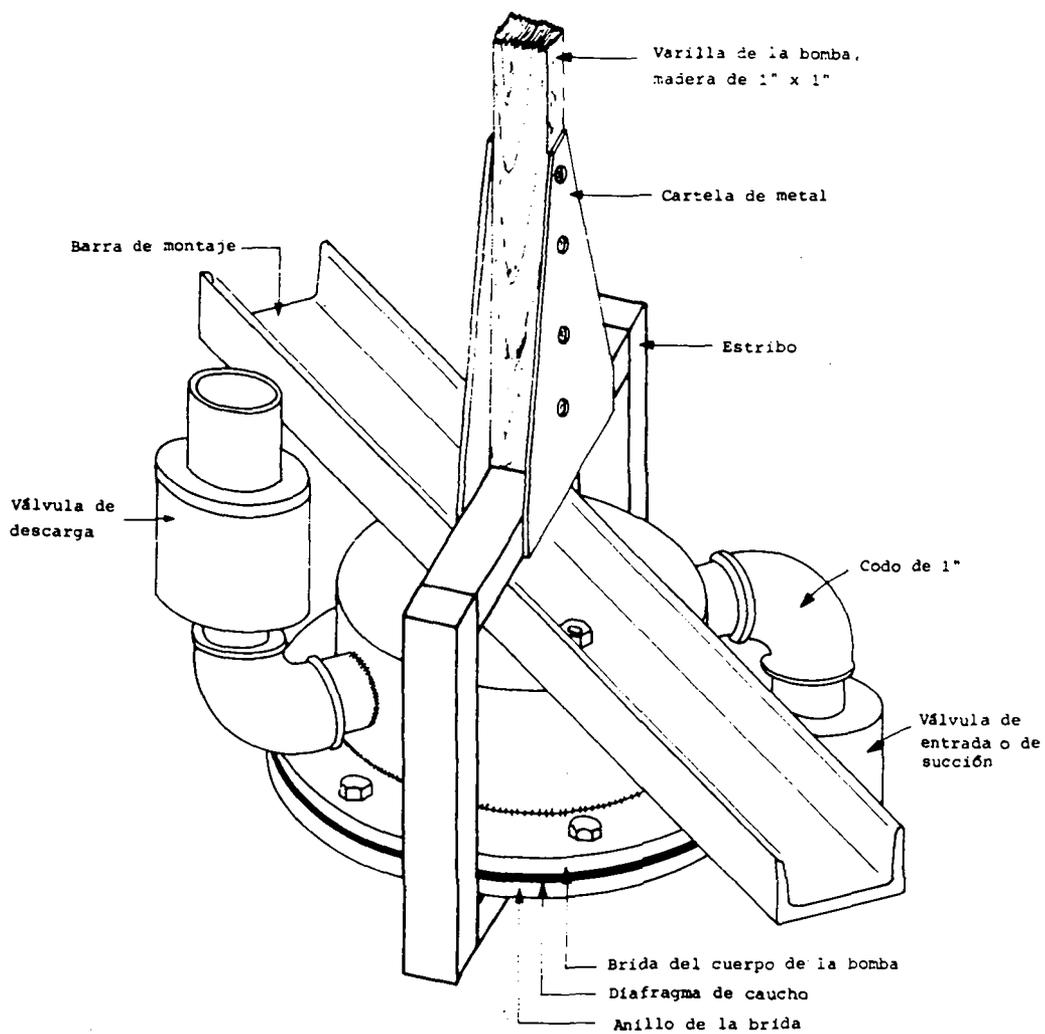


FIGURA 6-7 BOMBA DE DIAFRAGMA (BODEK)

barato y ofrecen, así, una oportunidad para la manufactura local de los cilindros. El posible uso de baños de epoxy para mejorar los cilindros de fierro fundido, se presenta promisorio (Fannon, 1970, 1975).

#### 6.8 EMPAQUE DE LAS BOMBAS (TAZAS Y VALVULAS)

La manufactura de las "zapatillas" de la taza es tanto arte como ciencia, pero puede hacerse y ha sido hecha localmente, inclusive a nivel de aldea rural. En una emergencia, tómese una faja industrial o un buen arnés de cuero, empápelese en agua, grápele alrededor del émbolo (u objeto del mismo diámetro) e introdúzcase dentro de un tubo del mismo diámetro que el del cilindro de la bomba, déjesele secar, sáquese y "pódense" los bordes arrugados con una cuchilla de buen filo (incluyendo el agujero central), empápele por 12 horas en aceite comestible (preferentemente aceite de pata de buey), encérese y aplíquesele ligeramente grasa de grafito a la superficie expuesta al desgaste.

Para "producción en masa", se pueden usar formas de madera. Para hacer las formas, úsese tablas de madera de  $\frac{3}{4}$  de pulgada (aprox. 19 mm) de espesor, con huecos del mismo diámetro que los cilindros de la bomba, y clávense a un tablero rígido. Bloques cilíndricos con un diámetro menor en  $\frac{3}{8}$  de pulgada (aprox. 9.54 mm), se empernan concéntricamente dentro de las aberturas circulares. Los pernos deben ser suficientemente largos como para que el cuero plegable mojado, tendido sobre los huecos, pueda ser arrastrado abajo por los pernos y los bloques, forzando así el cuero a que entre en posición. Luego procédase como antes.

En Asia y en África se han usado variedades recientemente producidas de cloruro de polivinilo (PVC), neoprene y caucho, para reemplazar al cuero de las tazas. Puede fabricarse tazas de PVC a bajo costo.

Una de las principales ventajas de las válvulas de charnela es que la chapaleta de cuero, generalmente la pieza que más se reemplaza, puede también manufacturarse localmente.

#### 6.9 MANGOS DE LAS BOMBAS

Muchas de las bombas de mano de aldeas rurales están equipadas con mangos de madera fabricados localmente. Esto puede tener algunas ventajas: (1) los mangos

se pueden reemplazar más rápidamente que si fueran de fierro o acero; (2) pueden fabricarse de grandes dimensiones con una mayor longitud y mayor ventaja mecánica, haciéndolos más adecuados para usarse en pozos profundos y manejarse por gente de más baja estatura; y (3) las superficies de apoyo del mango tienden a desgastarse más rápidamente que las del cuerpo de la bomba o las de los pasadores, piezas éstas mucho más difíciles de reemplazar. Debe usarse una madera dura que sea resistente al comején y que no se astille. Muchos de los mangos de madera más grandes usan el fulcro separado de la bomba, lo que reduce los esfuerzos que soporta el cuerpo de la bomba. Sin embargo, si no se alinea bien puede ser causa de que aumente el desgaste de los pasadores, cilindros, y tazas. Este mal alineamiento ha sido un factor prominente en las fallas de los soportes de las bombas cuando son hechos de plástico.

BOMBAS DE MANO

BIBLIOGRAFIA

- Abbott, Edwin. "A Pump Designed for Village Use". American Friends Service Committee, Philadelphia, U.S.A. 6 pp. 1955, 1 p. addenda, 1956.
- Abrobah-Cudjoe, A. "Activities on the U.S.T. Hand Pump". University of Science and Technology, Kumasi, Ghana. 7 pp. July 1976.
- Addison, Herbert. The Pump Users Handbook. Pitman & Sons, Ltd., London, 122 pp. 1958.
- AFYA-Environmental Sanitation Unit. "Water Supply for Small Communities - Demonstration Project - Hand Dug Wells". WHO Document - TAN/3201/ESP 21/73. World Health Organization, Dar es Salaam. 22 pp. Mayo 1973.
- Agricola, Georgius. De Re Metallica. Traducido al inglés de la Primera Edición en Latín de 1556 por Herbert Clark Hoover y Lou Henry Hoover, 1912. Reimpreso por Dover Publications Inc., New York. 638 pp. 1950.
- Alles, Jinapala & Ratnaike, Jayananda. "Learning Components in 'Safe Water for Drinking' Programmes". Joint UNESCO-UNICEF Programme of Educational Assistance. UNESCO, Paris. 14 pp. inc. appendices. Abril 1976.
- Allison, S. "The Need for Improved Technology in Manual Pumping of Irrigation Water". Memorandum. International Bank for Reconstruction and Development, Washington D.C. 8 pp. Octubre 30, 1975. Publicado como anexo de Journey (1976).
- Alt, Harold L. Tanks and Pumps. 4. ed. International Correspondence Schools. Scranton, Pa. U.S.A. 111 pp. 1965.
- Arbuthnot, S. Comunicación personal. Noviembre 1974.
- Attack, D. & Tabor, D. "The Friction of Wood". Proceedings Royal Society (London), Vol. A246, pp. 539 - 555. 1958.
- Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, Public Utilities Department. "Issues in Village Water Supply". Report No. 793. Washington. xiv + 49 pp. + anexos (18 pp.). June, 1975.
- Barbour, Erwin Hinkely. "Wells and Windmills in Nebraska". Water Supply and Irrigation Paper of the United States Geological Survey No. 29. U.S. House of Representatives Document No. 299, 55th Congress, 2nd Session. Washington.
- Barnabas, A.P. "Evaluation of Village Water Programs". Indian Institute of Public Administration, New Delhi. (En preparación). 1976.
- Barnes, Ralph M. Motion and Time Study, Design and Measurement of Work. 5. ed. Wiley, New York. 739 pp. 1963.
- Bassett, Henry Norman. Bearing Metals and Alloys. Edward Arnold & Co., London. 248 pp. 1937.
- Battelle. Ver Fannon y también Frink & Fannon.
- Baumeister, Theodore, editor. Standard Handbook for Mechanical Engineers. 7. ed. McGraw-Hill Book Co., New York. Varias paginaciones, 1967.

- Benamour, André. "Les Moyens d'Exhaure en Afrique de l'Ouest, Quelques Aspects du Problème". Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques (CIEH). Ouagadougou. 8 pp. Mimeografiado. Sin año.
- Beyer, Martin G. "Technology for Domestic Water Supply". Carnets de l'Enfance/Assignment Children (UNICEF). 23 pp. (En prensa 1976).
- Beyer, Martin G. "Water Supply for Rain Catchment, Springs and Ground Water Resources/Some Suggestions for Technological Work". Global Workshop on Appropriate Water and Waste Water Treatment Technology for Developing Countries. WHO International Reference Centre for Community Water Supply, Voorburg, (The Hague). 10 pp. + 4 pp. annex. November, 1975.
- Bhattacharyya, D.; Doraiswami, G.; Roy, P.; Banerjee, B.N. & Majundar, S. "Improvement on the Performance of Hand-Operated Tube-Well Pumps". Mechanical Engineering Bulletin (India), Vol. 4, pp. 127-131. 1972.
- Bodek, A. "How to Construct a Cheap Wind Machine for Pumping Water". Do-It-Yourself Leaflet No. 5. Brace Research Institute, Montreal. 12 pp. 1965.
- Bossel, Helmut. "Low Cost Windmill for Developing Countries". Volunteers for International Technical Assistance (VITA), Mt. Rainier, Md. U.S.A. 37 pp. 1970.
- Bradley, William. "Wooden Hand Pump". Unpublished memorandum to Volunteers for International Technical Assistance (VITA), Mt. Rainier, Md., U.S.A. 3 pp. + 8 pp. dibujos. Sin año.
- Brody, Samuel. Bioenergetics and Growth. Reinhold Publishing Corp., New York. 1023 pp. 1945.
- Brouha, Lucien. Physiology in Industry. Pergamon Press. New York. 145 pp. 1960.
- Brown, Chandler C.A. "Pump for Farm Water Supply". Institute for Research in Agricultural Engineering, University of Oxford. Oxford. 42 pp. 1934.
- Burton, Ian. "Domestic Water Supplies for Rural Peoples in the Developing Countries: the Hope of Technology". En Human Rights in Health, Associated Scientific Publishers, Amsterdam. pp. 61-79 (incluye discusión). 1974.
- Camm, F.S. & Collins, A.T., editores. Newnes Engineer's Reference Book. Geo. Newnes Ltd., London. pp. 303-313. 1946.
- Chatiketú, S. Comunicación personal. Agosto 1973.
- Christensen, K. Comunicación personal. Julio 1974.
- Christie, W.D. "Present Status of Rural Hand Pumps (Ghana Upper Region Water Supply Project)". W.L. Wardrop & Associated Ltd. Winnipeg, Canada. 7 + 22 pp. Mimeo. January 1976, updated. April 1976.
- Clauss, Francis J. Solid Lubricants and Self-Lubricating Solids. Academic Press, New York. 260 pp. 1972.
- Collett, J. & Pearson, H. "Oil Soaked Bearings: How to Make Them". Appropriate Technology, Vol. 2, No. 4, pp. 11-13. 1975. Ver también el folleto: "Oil Soaked Bearings: How to Make Them and How They Perform". Intermediate Technology Publications Ltd., London.
- Collins, Hubert E. Pumps, Troubles and Remedies. Hill Publishing Company, New York. 99 pp. 1908.

- Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques (CIEH). "Etude et Recherche de Matériels d'Exhaure pour l'Afrique de l'Ouest". Ouagadougou. 86 pp. 16 pp. apéndice. October, 1964.
- Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques (CIEH). "Experimentation d'un Nouveau Modèle de Pompe". Ouagadougou. 4 pp. December, 1973.
- Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques (CIEH). "Petites Installations d'Approvisionnement en Eau; Essai sur le Terrain de Pompes à Main Mise au Point d'un Nouveau Type de Pompe". Ouagadougou. 6 pp. Sin fecha.
- Corcoran, Tom. "Chad Chain Pump". Peace Corps Tech Notes, Vol. 2, No. 2, pp. 8-9. August, 1969.
- Cousins, W.J. Community Involvement and Responsibility. Summarized in Government of India-World Health Organization Workshop on Deep Well Hand Pumps, op. cit., pp. 10-12. 1975.
- Davis, H.K. & Miller, C.I. "Human Productivity and Work Design". En Maynard, op. cit., pp. 7-74 to 7-101. 1971.
- Denny, D.F. "Friction of Flexible Packings". Proceedings, Institution of Mechanical Engineers, Vol. 163, pp. 98-102. Discusión pp. 103-110. 1950.
- Department of the Army. "Wells". Technical Manual No. 5-297. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. pp. 264. 1957.
- dePury, Pascal. "Description of Pump Operated by Human or Animal Energy". Commission of the Churches' Participation in Development, World Council of Churches, Geneva. 9 pp. + 4 pp. ilustraciones. 1975.
- Diehl, Charles E. "A Researcher Looks at Maintenance Management - In a Systems Context". En Maintenance Management, Special Report 100, Highway Research Board, National Research Council, Washington. pp. 27-36. 1968.
- Diehl, Charles E. & Dickman, Robert E. "The Maintenance Management Profile: How Does Your Organization Stack Up?". Public Works (U.S.A.). pp. 72-73, 152-153. Mayo, 1968.
- Directorate of Public Health Engineering. "Facts About a Tube Well". Government of East Pakistan (hoy Bangladesh), Dacca, 23 pp. Sin año.
- Doughty, Venton Levy; Vallance, Alex & Kriesle, Leonardt F. Design of Machine Members. 4th Ed. McGraw-Hill Book Co., New York, 520 pp. 1964.
- Etablissements Pierre Mengin. "Instructions for the Use of Hydro-Pumps 'Vergnet'" (en francés). (Con dos páginas suplementarias traducidas al inglés por George Ponghis). 15 pp. incluyendo 4 dibujos de detalles del trabajo. Montargis, France. Sin año.
- Etablissements Pierre Mengin. "Instructions for the Use of 'Vergnet' Hydro Pumps". Instruction No. 821. Montargis, France. 15 pp. Sin año.
- E.U.A. Agency for International Development (AID). "How to Maintain a Pump". Rural Development Division and Well Drilling Branch, Public Works Division, United States Agency for International Development, Laos. (En inglés y laosiano). 19 pp. Sin año.
- E.U.A. Agency for International Development (AID). "Manufacture of Hand Pumps". Technical Inquiry Service IR/30634. Washington. 8 pp. 1963.
- E.U.A. Agency for International Development (AID). "Shallow Well Hand Pumps". Industry Profile No. 66169. También "Pump, Small Hand and Power Driven". Industry Profile No. 66221. Washington. 7 pp. y 6 pp. resp. Sin año, circa 1966.

- E.U.A. Department of Commerce, Office of Technical Services. "Wind-Driven Devices for Pumping Water and Generating Electric Power". Agency for International Development (AID), Technical Digest Service, Communications Resources Division, AID, Washington. v + 48 pp. Sin año.
- Eubanks, Bernard. This is a Story of the Pump and its Relatives. Publicación restringida. Salem, Oregon (U.S.A.). 183 pp. 1971.
- Ewbank, Thomas. A Descriptive and Historical Account of Hydraulic and Other Machines for Raising Water, Ancient and Modern; Including the Progressive Development of the Steam Engine. Tilt and Bogue, London. 1842. Reprint edition, The Arno Press, New York. 582 pp. 1972.
- Ewing, Paul A. "Pumping from Wells for Irrigation". Farmers Bulletin No. 1404. U.S. Department of Agriculture, Washington. 27 pp. 1924.
- Fannon, R.D., Jr. Interim Report on Development of a Hand Operated Water Pump for Developing Countries. U.S. Agency for International Development (AID), Washington. 12 pp. + 2 dibujos. 1974.
- Fannon, R.D., Jr. Final Research Report on Field Research and Testing of a Water Hand Pump for Use in Developing Countries. U.S. Agency for International Development (AID), Washington. 21 pp. + 2 apéndices. 1975
- Fannon, R.D., Jr. & Frink, D.W. Final Report on the Continued Development and Field Evaluation of the AID Hand-Operated Water Pump to Office of the War on Hunger, Health Services Division, Agency for International Development. Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, U.S.A. 37 pp. 1970.
- Fannon, R.D., Jr. & Varga, John. Task I Report on a Water Supply Reconstruction Program in Bangladesh to United Nations Children's Fund. Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, U.S.A. 40 pp. 1972.
- Farrar, D.M. "Simple Water-Raising Devices". Thesis, Department of History of Science and Technology, University of Manchester, Institute of Science and Technology, Manchester, U.K. 25 pp. 1969.
- Fisher, Edward W. "Packings". En Baumeister, op. cit., pp. 8-189 a 8-193. 1967.
- Forman, K. "A Proposed Programme for Training Village Hand Pump Caretakers". United Nations Children's Fund (UNICEF), New Delhi. 2 pp. + 3 pp. "Syllabus" + 1 p. "Hoja Suelta". May, 1976.
- Franda, Marcus F. "Drilling for Drinking Water in Drought Prone India". American Universities Field Staff Reports, South Asia Series, Vol. XIX, No. 11 (India). 11 pp. 1975.
- Frankel, R.J. "An Evaluation of the Effectiveness of the Community Potable Water Project in Northeast Thailand". Asian Institute of Technology, Bangkok. 109 pp. 1973.
- Frassanita, John R. "Portapump". (4 páginas sueltas + 8 fotografías + carta). Burbank, California, U.S.A. 1967.
- Frink, D.W. & Fannon, R.D., Jr. Final Report on the Development of a Water Pump for Underdeveloped Countries to Agency for International Development. Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, U.S.A. 61 pp. 1967.
- Fuller, Dudley D. "Friction" y "Fluid Film Bearings". En Baumeister, op. cit., pp. 3-34 a 3-45 y 8-156 a 8-169, respectivamente. 1967.
- Fuller, Myron L. Domestic Water Supplies on the Farm. Wiley, New York. 180 pp. 1912.

- Gagara, G. "Experimentation and Perfectioning of the Vergnet Pump". Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), Ouagadougou. 4 pp. 1976.
- Gale, W.K.V. "The Simple Pump". (An explanation of the hydraulic ram). The Consulting Engineer. U.K. 2 pp. August, 1975.
- Garver, Harry L. "Safe Water for the Farm". Farmers Bulletin No. 1978. United States Department of Agriculture, Washington. 45 pp. 1948.
- Golding, E.W. "Windmills for Water Lifting and the Generation of Electricity on the Farm". Informal Working Bulletin 17. Agricultural Engineering Branch, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 60 pp. Sin año, circa 1957.
- Greene, Arthur M., Jr. Pumping Machinery. Wiley, New York. 703 pp. 1919.
- Gwynnes, Allen. "Metric Range of Screw Pump". APE Engineering. Bedford, England. 4 pp. April, 1973
- Hadekel, R. Displacement Pumps and Motors. Pitman and Sons, Ltd., London. 172 pp. 1951.
- Haijkens, J., editor. Drinking Water Supplies by Public Hydrants in Developing Countries. WHO International Reference Centre for Community Water Supply, Voorburg (The Hague). En preparación, 1977.
- Henderson, G.E. & Roberts, Jane A. "Pumps and Plumbing for the Farmstead". Tennessee Valley Authority. Washington. 199 pp. 1940.
- Henry, David. "Will it Work? Will it Last? Can I Afford it?" International Development Research Centre (IDRC). Ottawa. 4 pp. Mimeografiado. April 20, 1976.
- Hood, Ozni Porter. "New Tests of Certain Pumps and Water Lifts Used in Irrigation". Water Supply and Irrigation Papers of the United States Geological Survey No. 14. House Document No. 509, 55th Congress, 2nd Session. Washington D.C. 91 pp. 1898.
- Hussain, M.A. "A Discussion on Future Hand Pump Tubewells in Rural Areas of Bangladesh". Department of Public Health Engineering, Dacca. 4 pp. July, 1976.
- Hydraulic Institute. Hydraulic Institute Standards for Centrifugal, Rotary & Reciprocating Pumps. 13th ed. Hydraulic Institute, Cleveland, Ohio, U.S.A. 328 pp. 1975.
- India (Gobierno) & Organización Mundial de la Salud. "Report on Government of India - World Health Organization Workshop on Deepwell Hand Pumps in the Rural Water Supply Programmes". (Held at Institute of Engineers (India), Vidhana Veedhi, Bangalore, Karnataka, 26 June 1975). World Health Organization Project IND BSM 001. 20 + 4 pp. 1975.
- Indonesia. Directorate of Hygiene and Sanitation, Ministry of Health. "The Hand Pumps in West Java, Indonesia". Bandung, 5 pp. June 20, 1976.
- International Reference Centre for Community Water Supply. "Hand Pumps for Water Supply Use". Report of International Workshop on Hand Pumps held in The Hague (Voorburg), Netherlands, 12-16 July, 1976.
- International Reference Centre for Community Water Supply. "List of Contributors to a Mailing Survey on Practical Solutions in Drinking Water Supply and Wastes Disposal for Developing Countries". Global Workshop on Appropriate Water and Waste Treatment Technology for Developing Countries. Voorburg (The Hague). pp. 11-13 ("Pumping", "Hydraulic Rams", and "Handpumps", resp.). November, 1975.

- Jagtiani, Kumar & Talbot, Rupert. "Hand Pump Developments in India's Village Water Supply Programme". United Nations Children's Fund (UNICEF), New Delhi. Notas de archivo, aprox. 26 pp. Circa 1976.
- Jensen, K. "Simple, Novel Pumps". Infrastructure Series No. 001. Development Through Cooperation Campaign, Research and Development Unit. Addis Ababa? Mimeografiado. Varias paginaciones. June, 1976.
- Johnson, Daniel. "Pumping Capabilities of Simple Hand Pumps at Different Altitudes". Vita Report No. 2. Volunteers for International Technical Assistance, Mt. Rainier, Md., U.S.A. 2 pp. Sin año.
- Johnson, Edward E., Inc. Ground Water and Wells. Edward E. Johnson, Inc., St. Paul, Minnesota, U.S.A. 440 pp. 1966. (Existe edición en español).
- Johnston, Clarence T. "Egyptian Irrigation". Office of Experiment Stations. Bulletin No. 130. U.S. Department of Agriculture, Washington. 100 pp. 1903.
- Jolly, P.W. Comunicación personal. Junio 1975.
- Journey, W.K. "A Hand Pump for Rural Areas of Developing Countries". P.U. Report No. RES9. World Bank, Washington D.C. 9 pp. + anexos y figuras. Mimeografiado. October, 1976.
- Karger, Delmar W. & Bayha, Franklin H. Engineered Work Measurement. 2. ed. Industrial Press, New York. 715 pp. 1965.
- Karp, Andrés. "Diseño y Cálculos para Abastecimiento de Agua por Medio de Arietes Hidráulicos". Cooperative American Relief Everywhere (CARE), Guatemala. 23 pp. 1975.
- Kindel, Ersal W. "A Hydraulic Ram for Village Use". Volunteers for International Technical Assistance, Mt. Rainier, Md., U.S.A. 7 pp. + 6 dibujos. Sin año.
- Koepke, C.A. & Whitson, L.S. "Power and Velocity Developed in Manual Work". Mechanical Engineering, Vol. 62. 1940.
- Krendel, E.S. "Man and Animal Generated Power". pp. 9-209 y 9-210. En Baumeister, op. cit., 1967.
- Krendel, Ezra S. "Design Requirements for Man Generated Power". Ergonomics, Vol. 3, No. 4. pp. 329-337. 1960.
- Krusch, Peter A. "Water Wheels". Peace Corps Tech Notes, Vol. 2, No. 2, pp. 2-3. August, 1969.
- Lascoe, Orville D.; Nelson, Clyde A. & Porter, Harold W. Machine-shop Operations and Setups. 4. ed. American Technical Society, Chicago. 582 pp. 1973.
- LeGrand, Rupert, editor. New American Machinist's Handbook. McGraw-Hill Book Co., New York. Varias paginaciones. 1955.
- Lewis, R.B. "Predicting the Wear of Sliding Plastic Surfaces". Mechanical Engineering, Vol. 86. pp. 32-35. 1964.
- Lynde, Carleton S. Home Waterworks. Sturgis & Walton Company, New York. 270 pp. 1911.
- Majumder, N. & Sen Gupta, J.N. Final Report on Study of Hand Pump (Shallow Tube Well) for WHO/UNICEF Assisted Projects and Other Rural Water Supplies. Public Health Engineering. All India Institute of Hygiene and Public Health, Calcutta. 47 pp. Sin año.

- Mann, H.T. & Williamson, D. "Water Treatment and Sanitation: A Handbook of Simple Methods for Rural Areas in Developing Countries". Intermediate Technology Publications, London. 60 pp. 1973.
- Mast, A.D. "Animal Powered Chain Pump for Irrigation". Volunteers for International Technical Assistance, Mt. Rainier, Md., U.S.A. 2 pp. + 1 p. dibujo. 1974.
- Maynard, H.B., editor. Industrial Engineering Handbook. 3. ed. McGraw-Hill Book Co., New York. Varias paginaciones. 1971.
- McJunkin, F.E. Guide to Surveillance of Drinking Water Quality. Monograph Series No. 63. World Health Organization, Geneva. 135 pp. 1976a. (Existe edición en español).
- McJunkin, F.E. "Jetting Small Tubewells by Hand". Water Supply and Sanitation in Developing Countries. AID-UNC/IPSED Series Item No. 15. Chapel Hill, N.C., U.S.A. 5 pp. 1967.
- McJunkin, F.E. "Rural Water Supply and Sanitation Programs Assisted by the United States Agency for International Development (USAID) in Tunisia". Division of International Health Programs, American Public Health Association, Washington. vi + 36 pp. + 8 anexos. May 4, 1976b.
- McJunkin, F.E. & Pineo, C.S. The Role of Plastic Pipe in Water Supplies in Developing Countries. Agency for International Development, Washington. 66 pp. + apéndices (108 pp.). 1971.
- Medina, Gerry. A Guide to Planning for Maintenance Management. United Nations Children's Fund (UNICEF), Bangkok. 162 pp. 1974.
- Merriam, Marshal F. "Windmills for Less Developed Countries". Technos, Vol. 1, No. 2. pp. 9-23. April-June, 1972.
- México. Secretaría de Salubridad y Asistencia. Dirección Ingeniería Sanitaria, Manual de Saneamiento: Agua. Centro Regional de Ayuda Técnica (RTAC). Agencia para el Desarrollo Internacional (AID), México, D.F. 56 pp. 1964.
- Minnesota Department of Health. "Hand Pump Installations". Sección V en Manual of Water Supply Sanitation. St. Paul, Minnesota, U.S.A. 21 pp. 1945.
- Mitchell, P.D. "Design of Bearings with Plastic Materials". British Plastics, Vol. 37, pp. 616-619. 1964.
- Molenaar, Aldert. "Water Lifting Devices for Irrigation". FAO Agricultural Development Paper No. 60. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome. 76 pp. 1956.
- Morrow, L.C., editor. Maintenance Engineering Handbook. 2. ed. McGraw-Hill Book Co., New York. Varias paginaciones. 1966.
- Murphy, Edward Charles. "The Windmill: Its Efficiency and Economic Use", Part I, United States Geological Survey Water Supply Paper No. 41. House Document No. 484, 56th Congress, 2nd Session, Washington D.C., 1901, and Part II, United States Geological Survey Water Supply Paper No. 42. House Document No. 485, 56th Congress, 2nd Session, Washington D.C., 1901.
- Murphy, Edward Charles. "Windmills for Irrigation". Water Supply and Irrigation Paper of the United States Geological Survey No. 8. House Document No. 350, 54th Congress, 2nd Session, Washington D.C. 49 pp. 1897.

- National Water Well Association. AWWA Master Library of Water Well Equipment and Maintenance Data. 88 E. Broad Street, Columbus, Ohio 43215, U.S.A. Actualizado periódicamente.
- Needham, Joseph. "Physics and Physical Technology". Vol. 4 en Science and Civilization in China. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. 1951.
- Neyses, A. "Bomba Romana Impelente de Doble Pistón de Madera de Roble, de Vicus Belginum". (En alemán). V.D.I. Technikgesch. Vol. 39, No. 3. pp. 177-185. 1972.
- Oberg, Eric; Jones, Franklin D. & Horton, Holbrook L. Machinery's Handbook. 20. ed. Industrial Press, New York. 2482 pp. 1975.
- O'Flaherty, Fred; Roddy, William T. & Lollar, Robert M. "Hydraulic and Mechanical Leathers". En The Chemistry and Technology of Leathers. Vol. 3. Reinhold Publishing Co., New York. pp. 359-364. 1962.
- Ohlemutz, Rudolf Erwin. The Hydrostatic Pump and Other Water Lifting Devices in the Context of the Intermediate-Technology Approach. Disertación Doctoral. University of California, Berkley, U.S.A. 149 pp. 1975.
- Organización Mundial de la Salud. "Community Water Supply and Disposal in Developing Countries (End of 1970)". World Health Statistics Report, Vol. 26, No. 11. pp. 720-783. 1973. Ver también Pineo y Subrahmanyam.
- Organización Mundial de la Salud, Community Water Supply Research and Development Programme. "The Village Tank as a Source of Drinking Water". WHO/CWS/RD/69.1 Geneva. 1969.
- Organización Mundial de la Salud. Regional Office for South East Asia (SEARO). "The Bangalore Pump". Document SEA/Env.San./168 (Circulación restringida). New Delhi. 43 pp. Offset. 1976.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). Manual de Operación Mantenimiento de Instalaciones y Equipos en un Acueducto. Documento No. 7, Serie Técnica del Departamento de Ingeniería y Ciencias del Ambiente, Washington. 136 pp. 1970.
- Osei Poku, K. "Well Drilling Programme and Selection of Suitable Hand Pumps for Use in Ghana". Ghana Water and Sewerage Corporation, Accra. 8 pp. Julio, 1976.
- Pacey, A. "Hand Pump Maintenance and the Objectives of Community Well Projects". OXFAM International Document, Oxford, U.K. 21 pp. 1976. La primera edición próxima a publicarse por Intermediate Technology Publication, Londres.
- Palmer, Wiblur E. "Toward a Dependable Hand Pump". U.S. Technical Cooperation Mission to India, New Delhi. 12 pp. 1960.
- Perú. Plan Nacional de Integración de la Población Aborígen. "La Bomba 'Martine'". Ministerio de Trabajo y Asuntos Indígenas Acción Andina, Puno, Perú. 15 pp. Sin año.
- Phillips, Arthur L., editor. "Inspection of Welding". Section 1, Chapter 6, en Welding Handbook, 6. ed., American Welding Society. New York. pp. 6.22-6.26. 1968.
- Phillips, R. "Bangladesh Rural Water Supply Programme, An Outline of Choices Associated with Hand Pump Tubewell Programme and Hand Pump Design". UNICEF Rural Water Supply Workshop. Dacca. 19 pp. Mimeografiado. May, 1976.

- Phillips, R. "Bangladesh Rural Water Supply Programme, Hand Pumps in Bangladesh, 1972-1976". UNICEF Rural Water Supply Workshop. Dacca. 33 pp. Mimeografiado. May, 1976.
- Phillips, R. Comunicación personal. Febrero 1976.
- Phillips, R. "Shallow Hand Pump Design: Summary". United Nations Children's Fund (UNICEF). Dacca. 4 pp. 5 June 1976.
- Phillips, R. "Some Observations on UNICEF's Experience with the Battelle Pump Design in Bangladesh, 1972-1975". United Nations Children's Fund (UNICEF). Dacca. 8 pp. February, 1976.
- Pineo, C.S. & Subrahmanyam, D.V. "Community Water Supply and Excreta Disposal in the Developing Countries". WHO Offset Publication No. 15. World Health Organization, Geneva. 41 pp. 1975.
- Pisharoti, K.A. Guide to the Integration of Health Education in Environmental Health Programmes. World Health Organization, Geneva. 81 pp. 1975.
- Pohlentz, W., editor. Pumpen für Flüssigkeiten. VEB Verlag Technik. Berlin. 350 pp. Incluye un capítulo sobre bombas de mano por G. Crabow y U. Adolph. 1970.
- Rajagopalan, S. y Shiffman, M.A. Guide to Simple Sanitary Measures for the Control of Enteric Diseases. World Health Organization, Geneva. 103 pp. 1974.
- Raynes, F.W. Domestic Sanitary Engineering and Plumbing. Longmans, Green and Co., London. 474 pp. 1920.
- Reino Unido. National Institute of Agricultural Engineering, Overseas Department. "Simple Water Pump". Bulletin No. 1 (Revised). Silsoe, Bedford, U.K. 8 pp. Sin año.
- Richardson, J.S. "Cost and Performance Analysis for a Range of Simple Pumps". Thesis. Department of Mechanical Engineering, University of Manchester, Institute of Science and Technology, Manchester, U.K. 40 pp. 1972.
- Robins, F.W. The Story of Water Supply. Oxford University Press, London. 207 pp. 1946.
- Robinson, Alan. Report to the United Nations Children's Fund (UNICEF), New York, describing hand pumps and programmes in Bangladesh. Details on the "Economy" pump. Dacca. 11 pp. October, 1973.
- Ross Institute, The. "Small Water Supplies". Bulletin No. 10. London School of Hygiene and Tropical Medicine, London. 67 pp. 1964.
- Rothbart, Harold A., editor. Mechanical Design and Systems Handbook. McGraw-Hill Book Co., New York. Varias paginaciones. 1964.
- Salvato, Joseph A., Jr. Environmental Sanitation. John Wiley & Sons, Inc., New York. 660 pp. 1958.
- San, U. Ngwe. "Burma and Hand Pumps". Rural Water Supply Division, Agricultural Mechanization Department. Rangoon. 5 pp. July, 1976.
- Saunders, Robert J. & Warford, Jeremy J. "Village Water Supply and Sanitation in Less Developed Countries: Economics and Policy". Public Utilities Department, International Bank for Reconstruction and Development, Washington. A ser publicado (1976) por Johns Hopkins University Press, Baltimore. Ver también Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento.

- Schiøler, Thorkild. Roman and Islamic Water-Lifting Devices. Odense University Press, Denmark, 201 pp. 1973.
- Shawcross, John F. "Bangladesh Rural Water Supply Programme, Summary of Developments 1972-1976". UNICEF Rural Water Supply Workshop. Dacca. 9 pp. Mimeografiado. May, 1976.
- Shawcross, John F. "Hand Pump Tubewells in Bangladesh, Distribution and Use". United Nations Children's Fund (UNICEF), Dacca. 21 pp. February, 1976.
- Shawcross, John F. "UNICEF-Bangladesh Water Programmes, Outline Note for Presentation". International Workshop on Hand Pumps, WHO International Reference Centre for Community Water Supply, The Hague. 3 pp. July 15, 1976.
- Shigley, Joseph Edward. Mechanical Engineering Design. 2. ed. McGraw-Hill Book Co., New York. 753 pp. New York, 1972.
- Shinyanga Shallow Wells Project (Tanzania). "Shallow Wells (Third and Fourth Progress Report)". Dwars, Heederik en Verhey Consulting Engineers, Amersfoort, The Netherlands. 55 pp. April, 1976.
- Silverstone, I.J. Carta a la Rural Water Supply Division, Department of Health, Bangkok, describiendo la bomba de mano de PVC propuesta. Samut Sakhon, Thailand. 1 p. Marzo 22, 1975.
- Simmons, Daniel M. Wind Power. Noyes Data Corporation, Park Ridge, N.J., U.S.A. 300 pp. 1975.
- Singer, Charles J. History of Technology. Vol. 2, pt. 1, pp. 105-108; 114-117; 207-209; Vol. 3, pp. 329-334. Oxford University Press, Clarendon (U.K.). 1954-1958.
- Spangler, C.D. "Hand Pumps for Village Wells". Volunteers for International Technical Assistance (VITA), Mt. Rainier, Md., U.S.A. 14 pp. incluyendo 7 pp. de dibujos. 1975.
- Stanley, Dick. "Deep Well Cylinder Pump". (East Africa). Volunteers for International Technical Assistance (VITA), Mt. Rainier, Md., U.S.A. 21 pp. incluyendo 8 pp. de bocetos y dibujos. Circa 1975.
- Subba Rao, S. "Provisional Report on the Project, Study of Hand Pump". India Institute of Hygiene and Public Health. Calcutta, 5 pp. 5 December, 1975.
- Suphi, H.S. Comunicación personal. 1975.
- Tabor, David. "Friction, Lubrication, and Wear". Sección 11 en Rothbart, op. cit., pp. 11-1 a 11-16. 1964.
- Tabor, Henry Z. "Power for Remote Areas". International Science and Technology. pp. 52-59. May, 1967.
- Technical Inquiry Service. "Shallow-Well Hand Pumps". International Cooperation Administration, Washington D.C. 9 pp. + 1 p. dibujo. 1958.
- Thanh, Nguyen Cong; Pescod, M.B. & Venkitachalam, T.H. "Progress Report/ Evaluation of Simple and Inexpensive Pumps for Community Water Supply Systems". Environmental Engineering Division, Asian Institute of Technology, Bangkok. 15 pp. March, 1975.
- Troften, Fredrik. "The Petro Pump". Kenya 1st Water Well Drilling Seminar, Nairobi, Kenya. 10 pp. 1975.

- Troften, Fredrik. "The Petro Pump". 7 pp. información de prensa. June 1976.
- Unakul, Somnek & Wood, Bruce T. "A Hand Operated Water Pump". (En inglés y tailandés). Korat Provincial Health Department, Thailand. 13 pp. July, 1959.
- Unakul, Somnek & Wood, Bruce T. "A Hand Operated Water Pump". Korat Provincial Health Department, Thailand. 9 pp. Sin año.
- UNICEF Headquarters. Drinking Water Program. "Indian-UNICEF-Assisted Village Water Supply Programme: Installation of the New 'Sholapur' Pump and Promotion for Pump Maintenance". WS/171/75/6. India. United Nations Children's Fund (UNICEF), New York. 3 pp. + 3 pp. notas técnicas + 1 dibujo. Mayo, 1975.
- UNICEF Packing and Assembly Centre (UNIPAC). Price List. United Nations Children's Fund (UNICEF), Copenhagen, Denmark. 196 pp. July, 1975.
- UNICEF-WHO Joint Committee on Health Policy. "Assessment of Environmental Sanitation and Rural Water Supply Programmes, Assisted by the United Nations Children's Fund and the World Health Organization (1959-1968)". JC16/UNICEF-WHO/69.2, World Health Organization, Geneva. 43 pp. 1969.
- United Nations Children's Fund (UNICEF). "Documents for Local Procurement of Cast Iron Hand Pumps". UNICEF Rural Water Supply Workshop. Dacca. Varias paginaciones. Mimeografiado. May, 1976.
- United Nations Children's Fund (UNICEF). UNICEF Guide List OLGA. OSU-6400. UNICEF, New York. 324 pp. 1975.  
Nota: Preparada en consulta con la Organización Mundial de la Salud, Maurice A. Porter, Consultor.
- Valdés-Pinilla, Raúl. "The 'NWSA' Hand Pump". Doc. WPR/EH/2, World Health Organization, Manila. 9 pp. 1965.
- Vergnet, Marc. "Experimentation et Optimisation d'un Nouveau Modèle de Pompe à Main". Bulletin de Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques. No. 25. pp. 2-13. May, 1976.
- Vitruvius. The Ten Books on Architecture. Translated by Morris Hickey Morgan. Harvard University Press, Cambridge, Mass., U.S.A. 331 pp. 1914.
- Volunteers for International Technical Assistance (VITA). Construction and Maintenance of Water Wells for Peace Corps Volunteers. United States Peace Corps, Washington. 170 pp. 1969.
- Volunteers for International Technical Assistance (VITA). Village Technology Handbook. Mt. Rainier, Md., U.S.A. 400 pp. Revised 1970.
- Volunteers for International Technical Assistance (VITA). Water Purification, Distribution, and Sewage Disposal. United States Peace Corps, Washington. 243 pp. 1969.
- Wagner, Edmund G. & Lanoix, J.N. Abastecimiento de Agua en las Zonas Rurales y en las Pequeñas Comunidades. Serie de Monografías No. 42. Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 366 pp. 1961.
- Walshaw, A.C. & Jobson, D.A. Mechanics of Fluids. Longmans, Green and Co. Ltd., London. pp. 484-497. 1962.
- Walters, John David. "Water Supply of the Farmhouse". Kansas State Engineering Experiment Station Bulletin No. 4, Manhattan, Kansas, U.S.A. 43 pp. 1916.
- Warren, George M. "Farmstead Water Supply". Farmers' Bulletin No. 1448. U.S. Department of Agriculture, Washington. 38 pp. 1925.

- Warren, George M. "Water Systems for Farm Homes". Farmers' Bulletin No. 941. U.S. Department of Agriculture, Washington. 68 pp. 1918.
- Watt, S.B. "A Manual of Information on the Automatic Hydraulic Ram for Pumping Water". Intermediate Technology Development Group. London. 37 pp. 1974.
- Watt, S.B. "Approaches to Water Pumping in West Africa". FAO/DANIDA Seminar on Small Scale Resources Development in West Africa. Ouagadougou. 25 pp. September, 1975.
- Watt, S.B. "The Mechanical Failure of Village Water Well Pumps in Rural Areas". Memorandum. 6 pp. + 1 fig. + 8 fotografías. Sin año.
- Watt, Simon, compilador. "21 Chain and Washer Pumps". (From the 1958 Peking Agricultural Exhibition). Intermediate Technology Publications Ltd., London. 48 pp. Sin año.
- Weber, William Oliver. "Efficiency of Centrifugal and Reciprocating Pumps". Transactions American Society of Mechanical Engineering, Vol. 7, pp. 598-611. 1886.
- Weisbach, Julius & Herrmann, Gustave. The Mechanics of Pumping Machinery. (Traducido del alemán). McMillan and Co., Ltd. London. 300 pp. 1897.
- Westcott, G.F. Pumping Machinery. Handbook of the Collections (Science Museum London), Part I - Historical Notes. Her Majesty's Stationery Office, London. 103 pp. 1932.
- White, C.M. & Denny, D.F. "The Sealing Mechanism of Flexible Packings". Ministry of Supply Scientific and Technical Memorandum No. 3147, H.M.S.O., London. 1948.
- White, H.S. "Small Oil-Free Bearings". Research Paper 2709, National Bureau of Standards, Vol. 57, No. 4. pp. 185-203. Washington. 1956.
- Wignot, Robert E. "The Condition of UNICEF-Assisted Demonstration Rural Water Supplies in Kenya". United Nations Children's Fund (UNICEF), Nairobi. 28 pp. December, 1974.
- Wilkie, D.R. "Man As a Source of Mechanical Power". Ergonomics. Vol. 3, No. 1. pp. 1-8. 1969.
- Wilson, Herbert M. "Pumping Water for Irrigation". Water Supply and Irrigation Papers of the United States Geological Survey No. 1. House Document No. 108, 54th Congress, 2nd Session. Washington. 57 pp. 1869.
- Wilson, S.S. "Pedal Drives for Borehole Pumps and Low Lift Irrigation Pumping". Department of Engineering Science, Oxford University, Oxford. 12 pp. 1976.
- Wilson, W.E. "Performance Criteria for Positive-Displacement Pumps and Fluid Motors". Transactions American Society of Mechanical Engineers, Vol. 71. pp. 115-120. 1949.
- Wilson, Warren E. Positive-Displacement Pumps and Fluid Motors. Pitman Publishing Corp., New York. 250 pp. 1950.
- Wood, Alan D. "Water Lifters and Pumps for the Developing World". M.S. Thesis. Civil Engineering Department, Colorado State University, Ft. Collins, Colo., U.S.A. 303 pp. 1976.
- Wright, Forrest B. Rural Water Supply and Sanitation. John Wiley & Sons, Inc. New York. 268 pp. 1939.

Yates, Edwin T. Guidebook for Mechanical Designers and Draftsmen. Hayden Book Co., Inc. New York. 148 pp. 1965.

Zambel, Alfranio R., editor. Manual de Aparelhos de Bombeamento de Agua. Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo. 275 pp. Ver especialmente los capítulos IV (pp. 44-63) y VII (pp. 131-142) sobre bombas de pistón y bombas de cadena resp. 1969.



CATALOGO DE LITERATURA DE LOS FABRICANTES

- Abidjan Industrie. "Pompe Alternative - ABI Type 'M'". 4 pp.  
(Costa de Marfil)
- Aermotor. "Windmills". 6 pp.  
(E.U.A.)
- Atlas Copco. "Uganda Band Pumps". 4 pp.  
(Suecia)
- Baker Mfg. Co. "Monitor Jacks, Pumps & Well Supplies". 8 pp.  
(E.U.A.)
- Balaji Industrial & Agricultural Castings. "Balaji Pumps". 2 pp.  
(India)
- Beatty. "Pumps, Cylinders and Windmills". 2 pp.  
(Canadá)
- Blake, John Ltd. "Blake Hydrans". Publicación No. 650. 6 pp.  
(R.U.) "Double Acting Piston Pumps". Publicación No. 654. 4 pp.
- Borja S.L. "Bombas". 8 pp.  
(España)
- Briau S.A. "Pompes à Bras". 4 pp.  
(Francia) "Série Supérieure Royale". 2 pp  
"La Pompe Africa". 7 pp.  
"Eoliennes pour pompage de l'eau". 2 pp.
- Champenois, Ets. "Pompe Elevatrice 'l'Africaine'". 4 pp.  
(Francia)
- Clayton Mark & Co. "Water Well Systems". 2 pp.  
(E.U.A.) "Instructions for Installation". 7 pp.
- Craelius Terratest. "Hand Pumps". 4 pp.  
(Kenya & Uganda)
- Dandekar Bros. "Javakar Pump". 1 p.  
(India)
- Dempster Industries Inc. "Pumps and Cylinders". 8 pp.  
(E.U.A.) "Pumps and Water Systems". Catálogo. 8 pp.  
"PVC Cylinder". 2 pp.  
"Model 23F or 23F (CS)-Ex.". 4 pp.
- Deplechin Pompes. "Pompes à Volant (Type I & II)". 6 pp. También en inglés  
(Bélgica) y en español.
- Douglas, W & B, Pump Co. "Hydraulic Ram". 4 pp.  
(E.U.A.)
- English Drilling Eqmt. Co. "Edeco Hand Operated Lift Pump". 4 pp.  
(R.U.)
- Gens, Carlos S.L. "Bombas para Pozos". 68 pp.  
(España)
- Godwin, H.J., Ltd. "Godwin Hand Pumps (Models 'HLD', 'HLS', 'W1H', 'X')". 4 pp.  
(R.U.) "Godwin Pump Cylinders". 4 pp.

- Heller-Aller Co. "Water Supplies for Home & Farm". Catálogo No. 37. 19 pp.  
(E.U.A.)
- Iquiñiz S.A. "Lago Bombas". 5 pp.  
(Argentina)
- Kawamoto Pump Mfg. Co. "Kawamoto Dragon Hand Pump (Model No. 2C & No. 2D)".  
(Japón) 4 pp.
- Kitrick Mgmt. Co. "GEM G.I. Chain Pump". 2 pp.  
(E.U.A.)
- Kumar Industries. "Kumar Lift Hand Pumps". 2 pp.  
(India)
- Lee, Howl & Co. Ltd. "Oasis Pump". 4 pp.  
(R.U.) "Patay Pump". 5 pp.
- Maurer, A. "Impact Pressure Pump DSP 20-15". 10 pp.  
(E.U.A.)
- Maya Eng. Works Pty. Ltd. "Maya Water Pumps". 6 pp.  
(India)
- Mengin, Ets. Pierre. "Hydro-Pompe Vergnet". 18 pp.  
(Francia) "Instructions pour l'emploi des Hydro-Pompes 'Vergnet'".  
Notice No. 821. 15 pp.  
"Vergnet Hydro-Pump". Informe al Banco Mundial. 6 pp.
- Mono Pumps (Eng.) Ltd. "Mono Rotary Hand Pump". 7 pp.  
(R.U.) "Mono Lift Borehole Pumps". 8 pp.  
"Mono Pumps - Applications". 12 pp.  
"Mono Pumps - Installation Instructions". 5 pp.  
"Mono Turbolift - Borehole Pumps". 4 pp.
- Myers, F.E. & Bros. Co. "Force Tank Pumps". 2 pp.  
(E.U.A.)
- Petro Pump. "The Petro Pump". 4 pp.  
(Suecia) "Performance Tests of the Petro Pump (20 Mayo 1976, Estocolmo)".  
1 p.
- Pijpers Water Supply Eng. "The Kangaroo Pump". 1 p.  
(Países Bajos)
- Rife Hydraulic Mach. Co. "Rife Ram". Paginación diversa.  
(E.U.A.)
- Robbins & Myers. "Moyno Hand Pumps". Bulletin 277. 4 pp.  
(Canadá)
- Rochfer, Indústria Mecânicas Ltda. "Bombas Hidráulicas". 8 pp.  
(Brasil)
- Standard Pressed Steel Co. "New Quick-Click Self-Retained Pins". 1 p.  
(E.U.A.)
- Stewarts & Lloyds. "Hand Pumps". 3 pp.  
(Sudáfrica)
- Tsuda Shiki Pump Mfg. Co. "Tsuda Shiki Pump". 24 pp.  
(Japón)

Vammalan Konepaja Oy. "NIRA Pressure Pumps". 2 pp.  
(Finlandia)

Warner Danby Corp. "Hand and Windmill Force Pumps". 2 pp.  
(E.U.A.) "Complete Water Well Supplies for Farm and Home".  
Catálogo No. 31. 10 pp.  
"Windmills. House Force Pumps". Paginación diversa.

Toowoomba Foundry Ltd. "Southern Cross Hand Operated Diaphragm Pump". 2 pp.  
(E.U.A.)



LISTA DE PARTICIPANTES EN EL TALLER INTERNACIONAL SOBRE BOMBAS DE MANO

- ABROBAH-CUDJOE, Dr. A., Faculty of Engineering, University of Science and Technology, Kumasi, Ghana
- ATALLAH, S., Ministry of Public Health, Bab Saadoun, Tunis, Tunisia
- DE AZEVEDO NETTO, Profesor J.M., Universidad de São Paulo, Rua Padre João Manoel 1039, 01411 São Paulo, Brasil
- BALLANCE, Dr. R.C., Community Water Supply and Sanitation Unit, Division of Environmental Health, World Health Organization, 1211 Geneva 27, Switzerland
- BENNELL, B.M.U., Ministry of Overseas Development, Eland House, Stag Place, London SW1E 5DH, England
- BONNIER, C.J., Shallow Wells Programme, Shinyanga Region, P.O. Box 169, Shinyanga, Tanzania
- CHAKRAVARTY, Dr. A., Mechanical Engineering Research and Development Organization, CSIR, Campus, Adyar, Madras 600020, India
- CHAINARONG, L., Community Water Supply Division, Department of Health, Ministry of Public Health, Devaves Palace, Bangkok, Thailand
- COWAN, A.D., Industrial Liaison Unit, Intermediate Technology Development Group, 36 Derby Road, Hinckley, Leicestershire LE1Q, England
- EMMANUEL, V.J., WHO, c/o WHO Representative to Indonesia, P.O. Box 302, Jakarta, Indonesia
- FANNON, R.D., Battelle Memorial Institute, Columbus Laboratories, 505 King Avenue, Columbus, Ohio 43201, U.S.A.
- FREEDMAN, J., Public Utilities Department, World Bank, 1818 H. Street, Washington D.C. 20433, U.S.A.
- GAGARA, G., Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques (C.I.E.H.), B.P. 369, Ouagadougou, Upper Volta.
- HENRY, D., Population and Health Sciences, International Development Research Centre, P.O. Box 8500, Ottawa, Canada K1G 3H9
- HUSSAIN, M.A., Department of Public Health Engineering, Government of the People's Republic of Bangladesh, 12/c. Dilkosha Commercial Area, Dacca, Bangladesh
- JAGTIANI, K., Water Supply and Sanitation Section, UNICEF Regional Office, 11 Jorbagh, New Delhi 11003, India
- JOURNEY, W.K., Consultant, Public Utility Department, World Bank, 1818 H. Street, N.W., Washington D.C. 20433, U.S.A.
- LEON DE LA BARRA, F., Dirección de Agua Potable y Drenaje, Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria S.A.A., Durango 81 - 2<sup>o</sup> Piso, México 7, D.F., México
- OSEI POKU, K., Ghana Water and Sewerage Corporation, P.O. Box M194, Accra, Ghana
- POTTS, P.W., Economic Development Laboratory, Engineering Experiment Station, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia 30332, U.S.A.

RAU, B.B., Central Public Health and Environmental Engineering Organization,  
Ministry of Works and Housing, Government of India, New Delhi, India

ROBERTSON, L.H., Department of Community Development, P.O. Box 5700, Limbe, Malawi

SCHUTHOF, J., Ministry of Water, Energy and Minerals, P.O. Box 9153, Dar es  
Salaam, Tanzania

SHAWCROSS, J.F. UNICEF, P.O. Box 58, Dacca, Bangladesh

SUKAPRADJA, D., Provincial Health Office, West Java, Jalan Prof. Eykman 45,  
Bandung. Indonesia

U NGWE SAN, Rural Water Supply Division, Agricultural Mechanization Department,  
459 Prome Road, Rangoon, Burma

YILMA, W.E., Relief and Rehabilitation Commission, P.O. Box 5685, Addis Ababa,  
Ethiopia

Consultor

McJUNKIN, F.E., Environmental Services Corporation, P.O. Box 2427, Chapel Hill,  
North Carolina 27514, U.S.A.

Observador

MEINARDI, C., National Institute for Water Supply, P.O. Box 150, Leidschendam  
(The Hague), The Netherlands

Secretariado

WHO International Reference Centre for Community Water Supply, Voorburg (The  
Hague), The Netherlands

VAN DAMME, J.M.G.

HOFKES, E.H.A.

HISSING, E.L.P.

Apoyo Administrativo:

KEIJZER, Miss Peggy

LISTA DE COLABORADORES

Este trabajo fue patrocinado conjuntamente por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Muchas personas han contribuido a la preparación y revisión del presente documento, a través de entrevistas y acceso al material escrito, comentarios y sugerencias, o de alguna otra manera. Se reconoce especialmente la cooperación de las siguientes personas:

Abrobah-Cudjoe, A., University of Science and Technology, Kumasi, Ghana  
Acheson, M.A., WHO South East Asia Regional Office, New Delhi, India  
Allison, S.V., World Bank, Washington D.C., U.S.A.  
Atallah, S., Ministry of Public Health, Tunis, Tunisia  
Azevedo Netto, J.M. de, Universidad de São Paulo, Brasil  
Ballance, R.C., World Health Organization, Geneva, Switzerland  
Bennell, B.M.U., Ministry of Overseas Development, London, England  
Beyer, M.G., UNICEF, New York, U.S.A.  
Bonnier, C.J., DHV Consulting Engineers, Amersfoort, Netherlands  
Chainarong, L., Ministry of Public Health, Bangkok, Thailand  
Chakravarty, A., Mechanical Engineering Research and Development Organization, Madras, India  
Codrea, G.R., Volunteers in Technical Assistance, Mt. Rainier, Md., U.S.A.  
Cowan, A.D., Industrial Liaison Unit, Intermediate Technology Development Group, Hinckley, England  
Donaldson, D., Organización Panamericana de la Salud, Washington D.C., U.S.A.  
Dufford, H., Dempster Industries, Beatrice, Nebraska, U.S.A.  
Emmanuel, V.J., WHO Sanitary Engineer, Jakarta, Indonesia  
Fannon, R.D., Jr., Battelle Laboratories Columbus, Ohio, U.S.A.  
Feachem, R.G., Ross Institute of Tropical Hygiene, London, England  
Freedman, J., World Bank, Washington D.C., U.S.A.  
Gagara, M.G., Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques, Ouagadougou, Upper Volta

Greene, M.P., Volunteers in Technical Assistance, Mt. Rainier, Md., U.S.A.  
Haack, F.E., Canadian International Development Agency, Ottawa, Canada  
Henry, D., International Development Research Centre, Ottawa, Canada  
Hockman, E.L., U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C., U.S.A.  
Hussain, M.A., Department of Public Health Engineering, Dacca, Bangladesh  
Jagtiani, K., UNICEF Regional Office, New Delhi, India  
Journey, W.K., World Bank, Washington D.C., U.S.A.  
Kuttner, D.O., International Rice Research Institute, Manila, Philippines  
León de la Barra, F., Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria, México D.F.,  
México  
McGarry, M.G., International Development Research Centre, Ottawa, Canada  
McJunkin, F.E., Environmental Services Corporation, Chapel Hill, N.C., U.S.A.  
Meinardi, C., National Institute for Water Supply, Voorburg, Netherlands  
Mengin, Ets. Pierre, Montargis, France  
Moore, W. Clayton Moore Co., Lake Zürich, Ill., U.S.A.  
Neave, J., U.S. Agency for International Development, Washington D.C., U.S.A.  
Osei Poku, K., Ghana Water and Sewerage Corporation, Accra, Ghana  
Pacey, A., OXFAM, Oxford, England  
Phillips, R., UNICEF, Dacca, Bangladesh  
Potts, P.W., Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, U.S.A.  
Qureshi, M.F., Public Health Engineering Department, Lahore, Pakistan  
Rau, B.B., CPHEEO, Ministry of Works and Housing, New Delhi, India  
Radcliffe, G.H., CARE/MEDICO, Tunis, Tunisia  
Robertson, L.H., Department of Community Development, Limbe, Malawi  
Robinson, A., UNICEF, New York, U.S.A.  
Rodriguez Ogarrio, G., WHO Sanitary Engineer, Mount Lavinia, Sri Lanka  
Sandberg, L., Sholapur Well Service, Sholapur, India  
Shawcross, J.F., UNICEF, Dacca, Bangladesh  
Schippers, C., IWACO Consulting Engineers, Bandung, Indonesia  
Schuthof, J., Ministry of Water, Energy and Minerals, Dar es Salaam, Tanzania  
Spangler, C.D., World Bank, Washington D.C., U.S.A.

Sperandio, O.A., Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima, Perú

Stanley, R.J., Arusha Pilot Project, Arusha, Tanzania

Stapleton, C.K., UNICEF, Nairobi, Kenya

Sukapradja, D., Provincial Health Office, Bandung, Indonesia

Swisher, A.D., U.S. Agency for International Development, Washington D.C., U.S.A.

Tröfthen, P.F., Petro, Saltsjöbaden, Sweden

Unakul, S., WHO South East Asia Regional Office, New Delhi, India

U Ngwe San, Agricultural Mechanization Department, Rangoon, Burma

Unrau, G.O., Rockefeller Foundation, St. Lucia, U.S.A.

Watt, S.B., International Technology Development Group, London, England

Yilma, W.E., Relief and Rehabilitation Commission, Addis Ababa, Ethiopia



FABRICANTES DE BOMBAS DE MANO\*

ALEMANIA (República Federal de)

Preussag Aktiengesellschaft  
Kunststoffe und Armaturen  
Postfach 9, Eixer Weg  
D-3154 Stederdorf, Kr. Peine  
(Entubado, cribas y cilindros de PVC)

Pumpenfabrik Beyer  
2400 Lubeck 1  
Glockengiesserstrasse 61

ARGENTINA

Fábrica de Implementos Agrícolas S.A.  
AERMOTOR  
Hortiguera 1882  
Buenos Aires  
("Lago")  
("Piccolo")  
("Brisa")  
("Aermotor")

AUSTRALIA

Metters  
Murray House  
77-79 Grenfell Street  
Adelaide

AUSTRIA

Moderne Pumpen Ernst Vogel  
Prager Strasse 6  
P.O. Box 42  
A 2000- Stockerau  
("Vogel")

BANGLADESH

National Iron Foundry &  
Engineering Works Ltd.  
Station Road  
Khulna  
("MOSTI No. 6")  
("New No. 6")

Essential Products Ltd.  
186 Rayer Bazar  
Dacca  
("MOSTI")  
("New No. 6")

Bangladesh Light Casting Co.  
429-432 Tejgaon Industrial Area  
Dacca  
("MOSTI")  
("New No. 6")

General Engineering & Foundry Works  
199 Nawabpur Road  
Dacca  
("MOSTI")  
("New No. 6")

Unique Metal Industries  
44/C Azimpur Road  
Dacca  
("MOSTI")  
("New No. 6")

BELGICA

Pompes Deplechin  
Dept. des Ateliers Deplechin  
Avenue de Maire 28  
B-7500 Tournai  
tel. 069-228152  
tx. 57369

---

\* Este directorio se incluye sólo como fuente de información para direcciones de fabricantes de bombas de mano y partes componentes de bombas de mano. Esto no significa recomendación, endoso, garantía o evaluación de ninguno de los productos de los fabricantes del directorio. De un modo similar, omisiones en el directorio no significan rechazo de ningún producto. Este directorio fue confeccionado por el autor sobre la base de una encuesta breve. Su exactitud o actualidad no han sido totalmente verificadas. Se agradecerán las sugerencias de correcciones e incorporaciones. Los nombres de los modelos de bombas de mano de algunos de los fabricantes se muestran en paréntesis, por ejemplo ("Lago") es una serie de bombas de mano fabricadas en Argentina por Fábrica de Implementos Agrícolas S.A.

Duba S.A.  
Nieuwstraat 31  
B-9200 Wetteren  
("Tropic I")  
("Tropic II")  
("Tropic III")

SERTECO - Water Technology Dept.  
446, Avenue de Tervueren  
1150-Brussels

#### BRASIL

Bombas Americana Ltd.  
Av. Marginal de Via Anhanguera 580  
Pq. São Domingos  
São Paulo  
("M 1400", "M 1500")

Indústrias Mecânicas Rochfer Ltd.  
Caixa Postal 194  
Franca, São Paulo  
(bombas de pistón operadas por agua)

#### CANADA

Beatty Bros. Ltd.  
Fergus, Ontario  
("Beatty")  
("Dominion")

GSW Pump Division  
Hill Street  
Fergus, Ontario N1M 2X1  
tel. 519-8431610  
tx. 06-956552  
Mr. M.O. Hickman - General Manager

Monarch Industries Ltd.  
889, Erin Street  
P.O. Box 429  
Winnipeg R3C 3E4  
("Monarch")

Robbins & Myers Company of Canada Ltd.  
Brantford, Ontario  
("Moyno")

Tri-Canada Cherry Burrell Ltd.  
Mississauga, Ontario  
("Tipo rotor-estator helicoidal")

#### COSTA DE MARFIL

Abidjan Industries  
B.P. 343  
45, Rue Pierre et Marie Curie  
Abidjan Zone 4c  
("ABI-tipo "M")  
("Africa")

SAFICOI  
B.P. 1117  
Abidjan  
("Africa", representante de  
Pompes Briaux)

#### CHINA (República Popular de)

China National Machinery and  
Export Corp.  
Kwantung Branch  
61 Yanjiang Yilu  
Kwangchow  
("Golden Harvest")  
("YL Series")  
("SB 38-1")  
("SB 40-1")  
("S & SH")

#### CHECOSLOVAQUIA

Sigma Pumping Equipment and Valves  
Manufacturing Works  
Vaclavské nám. c60  
P.O. Box 1111  
11187 Praha 1  
("Intersigma")

#### ESPAÑA

Bombas Borja S.L.  
Calle Villa Madrid  
Parela 168  
Peterua, Valencia

Bombas Geyda  
Avda. Carlos Gens, S.L.  
Burjasot 54  
Valencia  
("Geyda", para el mercado español  
mayormente)

#### ESTADOS UNIDOS

Baker Manufacturing Company  
133 Enterprise St.  
Evansville, Wisconsin 53536  
("Monitor")

Clayton Mark and Company  
143 E. Main Street  
Lake Zurich, Illinois 60047

Colombiana Pump Co.  
131 E. Railroad  
Columbiana, Ohio 4408

Dempster Industries, Inc.  
P.O. Box 848  
Beatrice, Nebraska 68310  
("23 F")  
("23 F (CS) -EX")

The Heller-Aller Co.  
Perrye Oakwood Streets  
Napoleon, Ohio 43545  
("Heller-Aller")  
("H-A")

Kitrich Management Company  
4039 Creek Road  
Cincinnati, Ohio 45241  
("Gem", bomba de cadena)

Mark Controls Division  
International Division  
1900 Dempster Street  
Evanston, Illinois 60204  
(cilindros, válvulas y zapatillas  
"Clayton Mark")

A.Y. McDonald Mfg. Co.  
P.O. Box 508  
Dubuque, Iowa 52001  
("Red Jacket")

Rife Hydraulic Engine Mfg. Co.  
P.O. Box 367  
Milburn, New Jersey  
("Rife Ram")

Robbins & Myers, Inc.  
Moyno Pump Division  
1895 Jefferson St.  
Springfield, Ohio 45501

Sanders Company, Inc.  
Industrial Equipment and Supplies  
410 N. Poindexter Street  
P.O. Box 324  
Elizabeth City, N.C. 27909  
tel. 919-338-3995

#### FILIPINAS

Avenue Mfg. Co. Inc.  
P.O. Box 3629  
Manila  
(Bombas Pitcher)

Dong Tek Foundry  
699 Elcano Street  
Manila  
(Bombas Pitcher)

Seacom  
M/S Sea Commercial Co., Inc.  
3085 R. Magsaysay Blvd.  
Cor. V. Cruz St.  
P.O. Box 1489  
Manila 2806  
(Concesionario de Kawamoto)

Occidental Foundry Corp.  
Km. 16 McArthur Highway  
Malanday, Vanlenuela  
Bulacan  
(Bombas Pitcher)  
("England" pozo profundo)

Triumph Metal Mfg. Corp.  
P.O. Box 512  
Manila  
(Bombas Pitcher)

#### FINLANDIA

Vammalan Konepaja Oy  
38200 Vammala  
rel. 2667  
("Nira")

#### FRANCIA

Les Pompes André Bodin  
Usine des Regains  
B.P. 29  
37150 Blère  
("Solo")  
("Majestic")  
("Celtic")

Ets. Pierre Mengin  
Zone Industrielle d'Amilly  
B.P. 163  
45203 Montargis  
("Hydropompe Vergnet")

Ets. Pompes Guinard  
B.P. 189  
36004 Chateauroux  
M. J. Cesbron

Gould's Pump Inc.  
113, Ave. Charles de Gaulle  
F-92200 Neuilly-sur-Seine

Briau S.A.  
B.P. 43  
37009 Tours  
("Royale")  
("Murale")  
("Aral")  
("Classique")  
("Africa")  
("Hydraulic Rams")

Ets. Champenois  
Chamouilley 52710 Chevillon  
("l'Africain", bomba de tipo cadena  
que usa una banda de nilón)

INDIA

Balaji Industrial and Agricultural  
Castings  
Hill Street  
P.O. Box 1634  
Secunderabad - 500003  
("Balaji" - tipo Jalna)

Charotar Iron Factory  
opp. New Ramji Mandir  
Anand. Gujarat  
(tipo "Wasp")

Senthil Engineering Co.  
49 A/21 Kamaraja Road  
Tiruppur - 4  
Coimbatore

Dandekar Brothers  
Shivaji Nagar Factory Area  
Sangli  
Maharashtra  
("Jal Javahar")

Central India Engineering Co.  
2153/5, Hill Street  
Ranigunj  
Secunderabad - 500.003 A.P  
("Bangalore"; "India Mark II")

Gujarat Small Industries Ltd.  
Nanavati Estate, near Chakudia Manadeo  
Rakhial, Ahmedabad-23  
("Kirti")  
("Kaveri", muy parecida a la Dempster)

Inalsa  
19 Kasturba Gandhi Marg  
P.O. Box No. 206  
New Delhi - 110001  
("Mark II")

JPSR Company (Mittra Das Ghose & Co.)  
Howrah, near Calcutta  
(bombas de baja altura de bombeo y  
bombas de pozo profundo)

Kumar Industries  
P.O. Box 2  
10/194 Shekharjyothi  
G.B. Road  
Palghat-1, Kerala State  
("Bharatt 4")

Lifetime Products Corporation  
Industrial Area  
P.O. Box 102  
Jodhpur  
(tipo Wasp)

Marathwade Sheti Sahayya Mandal  
Jalna, Dist. Aurangabad  
Maharashtra  
(originador y fabricante no  
comercial del tipo Jalna)

Maya Engineering Works Private Ltd.  
200A Shyamaprosad Mukherjee Road  
Calcutta-700 026  
("Maya Nos. 4, 5, 6")

Mohinder & Co.  
Kurali, Dist. Ropar  
Punjab  
(bombas para baja altura de bombeo)

Richardson & Crudass Ltd.  
(A Fovt. of India undertaking)  
Madras  
("Mark II")

Rohine Engineering Works Ltd.  
Industrial Estate  
Miraj 416410  
Maharashtra

Senco Industries  
A-12, Coimbatore Private Industrial  
Estate  
Coimbatore-21  
("Senco"; también "Jalna; Sholapur")

Sholapur Well Service  
560/59 South Sadar Bazaar  
Civil Lines  
Sholapur-3 Maharashtra  
(fabricante no comercial del tipo  
Jalna)

Vadala Hand Pump  
Marathi Mission  
Ahmदनagar  
Maharashtra  
(fabricante no comercial del tipo  
Jalna)

Water Supply Specialists Private Ltd.  
P.O. Box 684  
Bombay-1  
("Wasp")

JAPON

Kashima Trading Co. Ltd.  
P.O. Box 110, Higashi  
Nagoya  
("Kawamoto")

Kawamoto Pump Mfg. Co. Ltd.  
P.O. Box Nagoya Naka No. 25  
Nagoya  
("No. 2-C Gradon")  
("No. 5-N Tomoe")

Tsuda Shiki Pump Mfg. Co. Ltd.  
2658 Mimani-Kannon-Machi  
Hiroshima Prefecture  
("Keibogo")  
("Delta")

KENIA

Atlas Copco Terratest Ltd.  
Norwich Union House  
P.O. Box 40090  
Nairobi  
("Kenya", antes "Uganda")

MARRUECOS

Ets. Louis Guillaud et Cie  
31, Rue Pierre Parent  
Casablanca

NIGERIA

Bomba DIY

PAISES RAJOS

Pijpers International Water Supply  
Engineering  
Nijverheidsstraat 21  
P.O. Box 138  
Nijkerk  
("Kangeroo Pump")

Van Reekum Metalen B.V.  
Kanaalstraat 33  
Postbus 98  
Apeldoorn  
tel. 055-213283

PARAGUAY

Kasamatsu S.A.  
Comercial & Industrial  
Chile 452 - Piso 20 Edificio Victoria  
Casilla de Correo No. 52  
Asunción  
(modelos Gera "G-60", modelos Gera "M")

REINO UNIDO

Autometric Pumps Ltd.  
Waterside  
Maidstone, Kent ME14 1LF  
tel. 54728  
(Rotary)

Barclay, Kellett & Co. Ltd  
Joseph Street  
Bradford, Yorks. BD3 9HL  
(Rotary)

Barnaby Climax Ltd.  
Pump Division  
6, Kenneth Road  
Crayford, Kent  
tel. 526715

Consallen Structures Ltd.  
291 High Street  
Epping, Essex. CM16 4BY  
tel. 378-74677  
("Consallen")

English Drilling Equipment Co. Ltd.  
Lindley Moor Road  
Hudders Field, Yorkshire HD3 3RW  
tx. 51687  
("EDECO")

H.J. Godwin Ltd.  
Quenington, Cirencester  
Gloucestershire GL 7 5BX  
("WH")  
("X")  
("HLD")  
("HLS")

Jobson & Beckwith Ltd.  
62 Southwark Bridge Road  
London SE1 0AU  
tel. 01-928-7102/3/4  
("Castle", rotativa)  
("Norfolk", semi-rotativa)  
("Major", diafragma)

Lee, Howl & Co. Ltd.  
Alexandria Rd.  
Tipton, West Midlands DY4 8TA  
("Oasis")  
("Colonial")

Mono Pumps (Engineering) Limited  
Mono House  
Sekforde Street  
Clerkenwell Green  
London EC1R 0HE  
("Mono-Lift")

Saunders Valve Co. Ltd.  
Grande Road  
Cembran  
Mon  
(Diafragma)

REPUBLICA MALGACHE

Comptoirs Sanitaires de Madagascar  
B.P. 1104  
Tananarive  
("Mandritsara")

SENEGAL

SISCOMA  
B.P. 3214  
Dakar  
(varias bombas, algunas de origen  
francés)

SUDAFRICA

Stewarts and Lloyds of South Africa Ltd.  
Windmill Division  
P.O. Box 74  
Vereniging 1930

Southern Cross Windmill and Engine Co. (Pty.) Ltd.  
Nuffield Street  
Bloemfontein

Hidromite Pump Engineers  
P.O. Box 160  
Milnerton 7435

SUECIA

Petro Pump  
Carl Westmans Väg 5  
S-13300 Saltsjöbaden

TANZANIA

Shallow Wells Programme  
Shinyanga Region  
P.O. Box 168  
Shinyanga

UGANDA

Craelius East African Drilling Company Ltd.  
P.O. Box 52  
Soroti

SIGLAS DE AGENCIAS INTERNACIONALES

AID	Agencia para el Desarrollo Internacional (E.U.A.)
BIRF	Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (Banco Mundial)
CARE	Cooperative for American Relief Everywhere
CIEH	Comité Interafricano de Estudios Hidráulicos
CIR	Centro Internacional de Referencia para Abastecimiento Público de Agua
CIID	Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo
ITDG	Grupo de Desarrollo de la Tecnología Intermedia
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
OXFAM	Oxford Committee on Famine Relief
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Ciencia, Cultura y Educación
VITA	Voluntarios para la Asistencia Técnica

CONVERSION DE UNIDADES

LONGITUD

1 Pulgada (pulg)	=	2.54	Centímetro (cm)
1 Centímetro (cm)	=	0.394	Pulgadas (pulg)
1 Pie	=	0.3048	Metros (m)
1 Metro (m)	=	3.281	Pies

AREA

1 Pulgada cuadrada (pulg <sup>2</sup> )	=	6.4516	Centímetros cuadrados (cm <sup>2</sup> )
1 Centímetro cuadrado (cm <sup>2</sup> )	=	0.1550	Pulgadas cuadradas (pulg <sup>2</sup> )
1 Pie cuadrado (pie <sup>2</sup> )	=	0.0929	Metro cuadrado (m <sup>2</sup> )
1 Metro cuadrado (m <sup>2</sup> )	=	10.764	Pies cuadrados (pies <sup>2</sup> )

VOLUMEN Y CAPACIDAD

1 Pie cúbico (pie <sup>3</sup> )	=	28.317	Litros (l)
1 Galón E.U.A. (gal E.U.A.)	=	3.7854	Litros (l)
1 Galón R.U.* (gal R.U.)	=	4.561	Litros (l)
1 Litro (l)	=	0.264	Galón E.U.A. (gal E.U.A.)
1 Litro (l)	=	0.220	Galón R.U. (gal R.U.)

CAUDAL O GASTO

1 Galón E.U.A. por minuto (gal E.U.A./min)	=	227.12	Litros por hora (l/h)
1 Galón R.U.* por minuto (gal R.U./min)	=	272.77	Litros por hora (l/h)
1 Litro por segundo (l/s)	=	15.85	Galones E.U.A. por minuto (gal E.U.A./min)
1 Litro por segundo (l/s)	=	13.12	Galones R.U. por minuto (gal R.U./min)

PESO

1 Libra (lb)	=	0.4536	Kilogramos (kg)
1 Kilogramo (kg)	=	2.205	Libras (lbs)

\* También llamado galón imperial

PRESION

1 Libra por pulgada cuadrada (lb/pulg <sup>2</sup> )*	=	0.07031	Kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm <sup>2</sup> )
1 Kilogramo por centímetro cuadrado (kg/cm <sup>2</sup> )	=	14.223	Libras por pulgada cuadrada (lb/pulg <sup>2</sup> )*
1 Pie (columna de agua)	=	0.0305	Kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm <sup>2</sup> )
1 Metro (columna de agua)	=	1.422	Libras por pulgada cuadrada (lb/pulg <sup>2</sup> )

POTENCIA

1 Caballo de fuerza (H.P.)**	=	0.7457	Kilovatios (kv)
1 Kilovatio (kv)	=	1.341	Caballos de fuerza (H.P.)**

---

\* También Psi

\*\* También caballo de vapor (CV)

IMPRESO EN EL CEPIS<sub>u</sub>  
Casilla 4337, Lima 100, Perú

PUBLICACION CEPIS 35

7/78