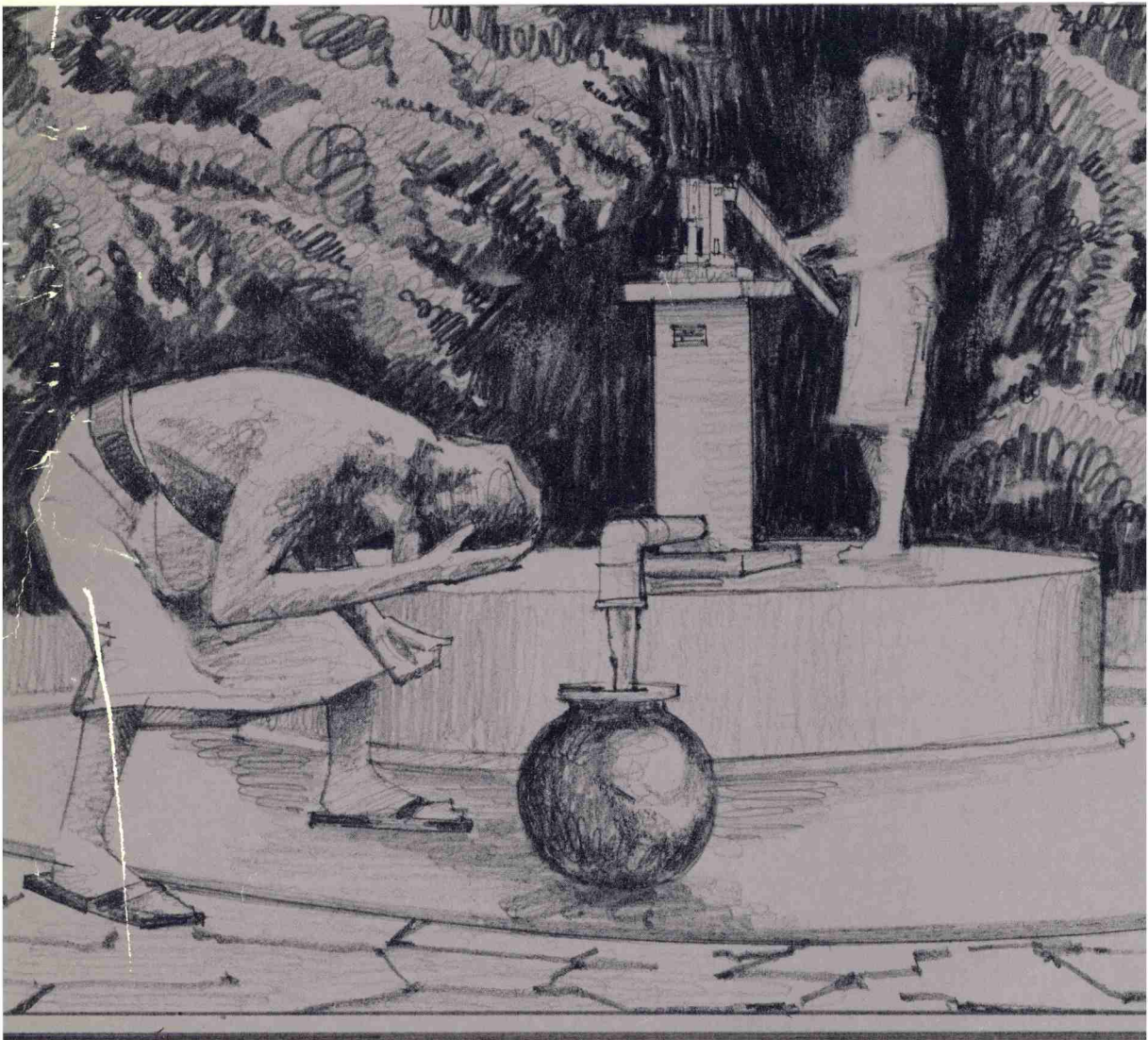


CHIV
ARP
. 1S

Tecnología de Bombas Manuales

Investigación y Evaluación en Asia



El Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo es una corporación pública creada en 1970 por el Parlamento de Canadá con el objeto de apoyar la investigación destinada a adaptar la ciencia y la tecnología a las necesidades de los países en desarrollo. Su actividad se concentra en cinco sectores: ciencias agrícolas, alimentos y nutrición; ciencias de la salud; ciencias de la información; ciencias sociales, y comunicaciones. El Centro es financiado exclusivamente por el Parlamento de Canadá; sin embargo, sus políticas son trazadas por un Consejo de Gobernadores de carácter internacional. La sede del Centro está en Ottawa, Canadá, y sus oficinas regionales en América Latina, Africa, Asia y el Medio Oriente.

© International Development Research Centre 1984
Postal Address: Box 8500, Ottawa, Canada K1G 3H9
Head Office: 60 Queen Street, Ottawa, Canada

Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, CIID
Oficina Regional para América Latina y el Caribe
Apartado Aéreo 53016, Bogotá, Colombia

Sharp, D.
Graham, M.

IDRC-204s

Tecnología de bombas manuales : investigación y evaluación en Asia.
Ottawa, Ont., CIID, 1984. 72 p. : il.

/Bombas/, /herramientos manuales/, /tecnología apropiada/, /rural/,
/abastecimiento de agua/, /países en desarrollo/ — /evaluación de
proyectos/, /aspectos técnicos/, /mercado/, /aspectos económicos/,
/estudios de casos/, datos estadísticos.

CDU: 621.651(1-22)

ISBN: 0-88936-394-3.

Se dispone de edición microficha

This publication is also available in English.

Il existe également une édition française de cette publication.

5332

IDRC-204s

Tecnología de Bombas Manuales

Investigación y Evaluación en Asia

01892

Editores: Donald Sharp y Michael Graham

Arch 0416

SH 0416
IDRC

Abstract

For the past 6 years, IDRC has supported research in the development of more effective pumping systems for rural water supplies. The implications of new materials and pump designs have been examined and particular attention focused on the use of plastic materials. In collaboration with the University of Waterloo, a simple, low-cost piston and foot-valve assembly was developed to serve as the basis of a manual shallow-well pump that could be fabricated in developing countries using locally available resources. After laboratory testing, the pump was tested under various environmental conditions in four Asian and two African countries to determine the cost of manufacture, reliability and durability, maintenance capability at the village level, and technical performance. This publication includes a review of the research results presented at a workshop held at the University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia from 16 to 19 August 1982 at the termination of the Asian projects. Also included are overall technical and economic evaluations of the four projects and an assessment of future research needs and priorities. Future work will probably investigate the potential for large-scale production and address the problems involved in implementation.

Résumé

Depuis six ans le CRDI appuie financièrement des recherches sur la mise au point de pompes plus efficaces pour l'approvisionnement en eau potable des régions rurales. Les avantages de nouveaux matériaux et modèles de pompe ont été étudiés, plus particulièrement l'emploi de matières plastiques. L'Université de Waterloo a collaboré à la production d'un assemblage de cylindre et clapet de pied simple qui constituerait le premier élément d'une pompe à main pour puits de surface susceptible d'être fabriquée dans les pays en développement avec les ressources disponibles sur place. Soumise à des essais en laboratoire, la pompe a ensuite été testée dans diverses conditions environnementales dans quatre pays asiatiques et deux pays africains pour déterminer son coût de fabrication, sa fiabilité et sa durabilité, sa facilité d'entretien par les villageois et son efficacité technique. Cette publication passe en revue les résultats de recherche présentés à l'atelier tenu à l'Université de Malaya, Kuala Lumpur (Malaisie) du 16 au 19 août 1982, au terme des projets réalisés en Asie. Elle contient également une évaluation technique et économique globale des quatre projets et une évaluation des recherches à faire et des priorités à leur donner. Les futurs travaux porteront probablement sur la possibilité de lancer une production à grande échelle de pompes à main et sur les difficultés que présenterait la réalisation d'une telle entreprise.

INDICE

Prefacio	5
Agradecimientos	6
Introducción	7
Sri Lanka Pathirana Dharmadasa, Upali Wickramasinghe y Douglas Chandrasiri	11
Tailandia Pichai Nimityongskul y Pisidhi Karasudhi	21
Filipinas Antonio Bravo	33
Malasia Goh Sing Yau	39
Panorama del Desempeño Técnico Goh Sing Yau	53
Análisis Económico y Mercados Potenciales Tan Bock Thiam	59
Conclusiones	67
Participantes	71

Ni los ayudantes sanitarios del mundo entero pueden librarnos de la disentería y el cólera si el suministro de agua está contaminado.

*Barbara Ward. 1976. The Home of Man
[La Morada del Hombre].
W.W. Norton & Company Inc., Nueva York,
EE.UU., pág. 229.*

Prefacio

Los factores involucrados en el suministro de agua potable para todos durante este Decenio Internacional de Suministro de Agua y Saneamiento son múltiples. Sin embargo, una de las claves consiste en el desarrollo y utilización de una bomba manual confiable que pueda producirse, instalarse y ser mantenida localmente a un costo razonable.

El Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) ha invertido aproximadamente Can\$ 730 000 en una red de proyectos de abastecimiento de agua en Asia y Africa en los últimos 6 años para ayudar a desarrollar sistemas de bombeo más eficaces para el suministro rural de agua. La presente publicación reseña los resultados del sector asiático de la red e identifica las prioridades futuras de investigación, específicamente la necesidad de estudiar la fabricación en gran escala de la bomba de clururo de polivinilo (PVC) que se ha diseñado, así como los factores sociales y de salud pública básicos que deben hacer parte de cualquier programa que se realice.

Debe señalarse que la tecnología desarrollada y probada en estos proyectos de investigación financiados por el CIID es aplicable a los sectores rurales en todas las regiones del mundo, no solo en los pocos países asiáticos donde se hicieron las pruebas sobre terreno. El desarrollo de una bomba manual que emplea partes de PVC económicas, que pueden ser manufacturadas localmente y que es suficientemente sencilla como para poder recibir mantenimiento a nivel rural constituye un adelanto gigantesco en la lucha por suministrar un abastecimiento adecuado de agua pura a las poblaciones rurales.

La tecnología se ha ensayado, probado y demostrado. Pero el interrogante sigue en pie: ¿Cuál es la mejor manera de transferir a quienes más la necesitan el deseo de utilizarla y de mantenerla? Abrigamos la esperanza de que este volumen estimulará los esfuerzos para llevar a cabo esta tecnología y fomentará nuevas iniciativas de investigación en todos los países donde el abastecimiento de agua potable sigue constituyendo un problema grave.

Los trabajos presentados en esta publicación son resúmenes de los informes completos de los proyectos de cada país. Para obtener detalles más específicos, se pueden solicitar copias microficha de los informes completos a la División de Ciencias de la Salud del CIID.

*Elizabeth Charlebois, Directora
División de Ciencias de la Salud
Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo*

Agradecimientos

Durante los últimos 6 años, numerosos investigadores, ingenieros, técnicos, asesores, personal de apoyo y otros han contribuido al desarrollo del concepto del CIID de una bomba manual operada y mantenida al nivel rural (VLOM). La lista es demasiado numerosa para agradecer a cada uno por su nombre. Sin embargo, huelga decir que esta publicación ha sido posible gracias a la dedicación de todas estas personas.

Expresamos también nuestro reconocimiento a la Universidad de Malaya, donde se realizó el seminario taller de fin de proyecto, y al Dr. Goh Sing Yau, coordinador local, así como a sus colegas Dr. Tee Tiam Ting, Dr. Tan Bock Thiam, Sr. Chong Kah Lin y Sr. Teo Beng Hoe por sus laboriosos esfuerzos en asegurar el éxito de la reunión. El Sr. Lee Kam Wing se desempeñó como coordinador del CIID. Expresamos asimismo nuestro agradecimiento al Sr. Ai Ling Goh, de la División de Ciencias de la Salud del CIID, en Singapur.

Quisiéramos mencionar también a Tim Journey, quien hizo el trabajo de diseño preliminar de bombas manuales con piezas de material plástico bajo el patrocinio del Banco Mundial y fue contratado posteriormente por el CIID para proseguir dicha labor.

Debe señalarse que, si bien la bomba descrita en esta publicación se menciona frecuentemente como el diseño Waterloo-CIID, solo se trata en realidad de una versión actualizada de una bomba de madera utilizada en Europa hace unos seis siglos. Los elementos del diseño están claramente ilustrados en una lámina del siglo XVI que aparece en un libro de minería traducido por Herbert Clark Hoover y Lou Henry Hoover en 1950.

Resulta interesante que los hombres de ciencia reinventen continuamente la rueda o, en este caso, la bomba.

Introducción

Es difícil documentar las relaciones precisas que existen entre mejora en el abastecimiento de agua y beneficios de salud. Sin embargo, todo el mundo aprecia la importancia de un abastecimiento de agua limpio y adecuado. Con todo, el incremento del abastecimiento de agua potable debe estar acompañado por algunos cambios de comportamiento que afectan la higiene personal y las prácticas sanitarias antes de que las enfermedades se puedan reducir considerablemente. Estos cambios son complejos y no se producen espontáneamente. Hay que suministrar a la población información de fácil comprensión sobre los beneficios del cambio y convencerla de adoptar nuevas normas de comportamiento y aceptar nuevas tecnologías. Más aun, la aceptación de la tecnología de agua y saneamiento depende de inventos que puedan resistir el abuso, funcionar por largos períodos y comprarse y mantenerse por los mismos aldeanos.

La selección, desarrollo y uso de bombas manuales confiables que se puedan producir, instalar y mantener localmente a un precio razonable constituye un paso importante hacia el suministro confiable de agua potable a las comunidades rurales. Debido a numerosos factores técnicos y económicos, tales como la complejidad de las bombas accionadas a motor y el elevado costo del combustible, las bombas manuales seguirán utilizándose en la mayoría de las regiones del mundo, no solamente para el agua potable sino para limpieza, ganadería y riego.

Durante el decenio pasado, las autoridades encargadas del abastecimiento de agua en los países en desarrollo, junto con personal de organismos internacionales y bilaterales, han observado que uno de los problemas más importantes en los programas rurales de abastecimiento de agua es el alto índice de averías de las bombas manuales tradicionales. Las averías se deben principalmente a que las bombas no han sido diseñadas para el nivel de resistencia y abuso a que han sido sometidas por grandes grupos de usuarios en las comunidades rurales. Además, los materiales de que están hechas, principalmente hierro fundido y acero, no solo son caros sino difíciles de adquirir localmente. En consecuencia, muchos países en desarrollo han dependido de las bombas y repuestos importados suministrados por donantes internacionales y bilaterales. Esto ha tenido sus implicaciones en términos de costos, mantenimiento y adquisición de repuestos.

En los últimos seis años, el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) ha apoyado estudios tendientes a desarrollar sistemas de bombeo de agua más eficaces en el área rural. Se han estudiado sistemáticamente las implicaciones de los nuevos materiales y de los diseños mejorados. En virtud de la amplia introducción de la tecnología de plásticos que ha tenido lugar en los países en desarrollo durante el pasado decenio, se ha prestado atención especial a las resinas de polímero, específicamente a la tubería de cloruro de polivinilo (PVC), que abunda en África y Asia. En muchos aspectos, la tecnología de plásticos es a los países en desarrollo lo que el hierro fundido fue a los países industrializados hace años y su vasto potencial está todavía por ser explotado.

El trabajo de diseño patrocinado por el CIID se ha concentrado en el desarrollo de un conjunto económico y sencillo de pistón y válvula de pedal que conforma una bomba manual para pozos pandos. Esta etapa de la investigación, realizada en colaboración con la Universidad de Waterloo, se concluyó en mayo de 1977. El conjunto de pistón y válvula de pedal desarrollado en la Universidad de Waterloo fue ensayado en Inglaterra en la Estación de Pruebas de la Asociación de Consumidores. Este programa de pruebas fue iniciado por el Ministerio de Desarrollo del Exterior en el Reino Unido con objeto de analizar las características de 10 bombas manuales producidas comercialmente en

países industrializados. El proyecto comprobó la confiabilidad y eficacia del diseño de Waterloo en contraste con la tecnología existente. La bomba de Waterloo difiere de otras en que ha sido diseñada específicamente para ser fabricada en los países en desarrollo utilizando recursos locales. En 1978, después de una prueba en el laboratorio, se establecieron proyectos de investigación en dos países de Africa y cuatro de Asia para realizar pruebas con la bomba, sobre terreno, bajo diversas condiciones ambientales y niveles de complejidad técnica con diferentes grupos de usuarios. Los países que participaron en esta etapa fueron : Malasia, Filipinas, Sri Lanka, Tailandia en Asia, y Etiopía y Malawi en Africa.



La bomba manual de Waterloo ha traído agua pura a las familias rurales de Malasia.

Los objetivos primordiales de estos estudios fueron de evaluar el diseño de la bomba de Waterloo en diversas condiciones de campo en cuanto a características tales como capacidad de fabricación local, costo de fabricación, confiabilidad y durabilidad, capacidad de mantenimiento a nivel rural y desempeño técnico. El diseño básico de pistón y válvula de pedal producido por la Universidad de Waterloo fue utilizado por todos los proyectos con algunas modificaciones locales. Las piezas exteriores fueron diseñadas y producidas localmente en cada país.

En Filipinas, la investigación fue realizada por el Instituto para las Industrias de Pequeña Escala de la Universidad de Filipinas en colaboración con el Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología, el Ministerio de Gobierno Interior y Desarrollo Comunitario, el Ministerio de Salud Pública, y la Oficina de Obras Públicas y Acueductos. En Tailandia, estuvo a cargo del Instituto Asiático de Tecnología en cooperación con el Ministerio de Salud Pública, el Ministerio de Obras Públicas, la Oficina de Desarrollo Acelerado y la Junta Nacional de Desarrollo Económico y Social. En Malasia, fue llevada a cabo por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Malaya en colaboración con la División de Ingeniería Ambiental del Ministerio de Salud Pública. En Sri Lanka, estuvo en manos de Lanka Jathika Sarvodaya Shramadana Sangamaya (Movimiento Sarvodaya), que se ocupa del desarrollo comunitario rural.

La investigación incluyó un análisis económico de costo/eficiencia frente a otras bombas manuales utilizadas en la región. Comprendía asimismo la evaluación del potencial de desarrollo del abastecimiento de agua rural, la realización de proyecciones sobre el porcentaje de casas rurales que podían abastecerse con acueductos y el intento de determinar la demanda futura de bombas manuales en la región.

En agosto de 1980, se celebró la reunión de los cuatro proyectos asiáticos en la Universidad de Malaya, en Kuala Lumpur, con miras a estudiar el progreso y establecer técnicas comunes de verificación y medición. Asimismo, se incorporó al programa de pruebas en terreno un método especial para determinar con precisión el uso del bombeo con un contador mecánico desarrollado en la Universidad de Malaya. Este mecanismo permitió correlacionar las mediciones de desgaste con la distancia recorrida por el pistón o la cantidad de uso de la bomba.

Las actividades de los cuatro proyectos asiáticos culminaron con resultados estimulantes. El CIID entonces patrocinó dos seminarios en colaboración con la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Malaya del 16 al 19 de agosto de 1982 en Kuala Lumpur.

Durante los dos primeros días, los jefes de los cuatro proyectos asiáticos discutieron sus resultados y evaluaron las implicaciones técnicas y económicas generales de sus hallazgos. Durante los últimos dos días, se celebró un seminario de divulgación de los resultados a organismos gubernamentales y no gubernamentales de la región y a observadores de diversos organismos internacionales y firmas privadas. Se estudió el estado de la tecnología de bombeo manual en la región y se identificaron nuevas prioridades de investigación.

Durante las pruebas de campo la bomba de PVC mostró tener considerable potencial para uso a nivel rural. Puede ser fabricada localmente a un costo razonable y reparada fácilmente con piezas hechas también a nivel local. Sin embargo, como toda tecnología, tiene sus limitaciones. Si se busca una bomba "mágica", exenta de mantenimiento, esta tecnología no es la respuesta. Los resultados de las pruebas de campo indican que, si bien la bomba es duradera, tiene limitaciones que deben ser comprendidas y aceptadas y sufrirá desperfectos. Asimismo, se presentarán averías si el pozo se construye mal. Más importante aun, esta investigación ha demostrado claramente que se pueden utilizar plásticos económicos en la fabricación de bombas manuales, haciendo posible la producción local de bombas y repuestos, así como la incorporación de diseños sencillos de comprender y fáciles de mantener y a un costo razonable.

Este volumen trata primordialmente de la tecnología de la bomba manual, pero debe recordarse que la bomba constituye algo más que un mero medio conveniente de transportar agua del pozo. Es un elemento esencial en los esfuerzos encaminados a mejorar la salud pública, ya que la única manera segura de dar protección sanitaria adecuada contra la contaminación externa es sellar el pozo e instalar una bomba. A menos que

se tomen esta y otras medidas de salud pública para proteger el pozo, las enfermedades relacionadas con el agua seguirán aumentando el número de sus víctimas.

En los años venideros la limitación de recursos tendrá graves consecuencias sobre el abastecimiento adecuado y seguro de agua para las poblaciones rurales. Para poder abordar este problema, los gobiernos y las autoridades a cargo del suministro de agua deben concentrar sus recursos en el desarrollo de tecnologías de bajo costo fáciles de comprender, operar y mantener en el área rural. Al publicar este volumen, abrigamos la esperanza de que los resultados de esta investigación estimularán la aplicación de tal tecnología apropiada y fomentarán, al mismo tiempo, nuevas iniciativas de investigación.

Sri Lanka

*Pathirana Dharmadasa,
Upali Wickramasinghe y
Douglas Chandrasiri*

La mayor parte de la población rural de Sri Lanka obtiene el agua de uso diario de ríos, canales, lagos, estanques de irrigación y pozos descubiertos. A menudo esta agua no es potable y resulta inadecuada para muchos otros fines domésticos. Debido a que poca gente hierve el agua antes de beberla se producen muchas enfermedades: un hecho que la población rural no entiende.

El Movimiento Sarvodaya está desempeñando un papel importante en la creación de programas de educación sanitaria y en la dotación de instalaciones para mejorar la salud de las masas rurales en Sri Lanka. Uno de sus elementos es el programa de pozos cubiertos (Fig. 1), cuya parte más

importante es la introducción de bombas manuales de bajo costo fabricadas con materiales locales como medio de suministrar agua potable para uso doméstico. Durante este proyecto, se desarrollaron tres nuevos diseños para los elementos exteriores de la bomba de Waterloo desarrollada con financiación del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID). Asimismo, se hicieron varias modificaciones al pistón y a la válvula de retención, utilizada en lugar de la válvula de pedal, para poder fabricar la bomba más fácilmente con los recursos locales. Esta obra de diseño tuvo por objetivo desarrollar una bomba que incorporase las siguientes características: uso de materiales de bajo costo disponibles en Sri Lanka; mantenimiento y reparación fáciles sin necesidad de recurrir a mano de obra muy especializada; y uso de material plástico de cloruro de polivinilo (PVC) para eliminar problemas de corrosión.

Organización del Proyecto

En enero de 1979 se realizó un estudio preliminar en varias aldeas de los distritos de Galle, Matara y Hambantota para investigar: la situación económica de las aldeas, las condiciones sociales existentes, las instalaciones de riego, y las actitudes de los aldeanos hacia las bombas



Fig. 1. Vista del pozo donde se ve el canal de desagüe para el agua derramada y la capa de piedra que ayuda al drenaje.

manuales. Con base en las conclusiones de este estudio, se decidió inicialmente instalar 60 bombas en seis aldeas, pero posteriormente, debido a razones geográficas y políticas, se redujo el número a cuatro bombas en cada una de cinco aldeas: Akurala Village, Talawa Village, Hingurudugoda Village y Ginimellagaha Village en el Distrito de Galle, y Yatiyana Village en el Distrito de Matara. Además, se instaló una bomba de demostración en la oficina del Centro Sarvodaya.

El proyecto se dividió en tres etapas: construcción de los pozos, instalación de las bombas, e inspección y prueba sobre el terreno. Durante el estudio, se hizo notar a los aldeanos la importancia de cubrir los pozos y los problemas de salud causados al utilizar agua de pozos descubiertos. Todos los trabajos de construcción fueron realizados por el Servicio Técnico Rural Sarvodaya. Las bombas fueron montadas e instaladas por la Sección de Ingeniería del Movimiento Sarvodaya, y la encuesta fue encomendada a un equipo seleccionado para este fin.

La encuesta preliminar fue terminada en julio

de 1979 y las obras de construcción en febrero de 1980. Durante febrero-agosto de 1980, se instalaron las bombas y se inició el trabajo de verificación. En el Centro Principal Sarvodaya se produjeron émbolos para bomba, aros de pistón, ejes de fulcro o de apoyo, mangas o muñones, válvulas de retención, pernos del émbolo de retención, y cabezas de bombas. Los repuestos más fáciles de producir se fabricaron en los Centros Aldeanos.

Ubicación y Construcción de Pozos

Se prestó atención especial a la ubicación de los pozos. Los pozos fueron ubicados por lo menos a 30 m de la letrina más próxima o de otra fuente de contaminación y en sectores bien drenados, desprovistos de agua superficial aun durante fuertes precipitaciones fluviales. Los pozos fueron construidos excavando un foso y colocando en el agujero un anillo de hormigón premoldeado. A continuación se agregaba un segundo anillo y la excavación continuaba hasta llegar a la capa freática. Por consiguiente, estos

Cuadro 1. Resumen del material utilizado, fabricación del equipo requerido, costo y calidad de las piezas utilizadas en los diferentes diseños de bombas.

Piezas y diseño de la bomba	Material usado ^a	Herramientas y equipo requerido	Costo (Rs) ^b		Calidad
			Material	Mano de obra	
<i>Estructura</i>					
L1	Hierro en ángulo	Soldador, sierra metálica	145	90	Satisfactoria
L2 ^c	Hormigón	Herram. de albañil, molde	80	60	Mala
L3	Hierro en ángulo, chapa metálica	Barrena, sierra metálica, soldadora, herram. de chapa metálica	210	150	Muy buena
V1	Tubo HG, placa AS	Sierra metálica, soldadora, barrena	30	50	Buena
<i>Manigueta</i>					
L1	Tubo HG, AS, casquillos de latón	Barrena, sierra metálica, torno, soldadora	80	100	Buena
L2	Madera	Herram. de carpintero	120	80	Mala
L3	Tubo HG	Sierra metálica, soldadora, herram. de herrero	100	100	Muy buena
V1	Madera, pernos, arandelas	Herram. de carpintero, sierra metálica, limas	12	60	Satisfactoria
<i>Pistón y válvula de retención</i>					
1 ^a	Madera, cuero	Torno, barrena, cortadora de cuero	10	50	No durable, baja eficiencia volumétrica
2 ^a	PVC	Torno, barrena, cemento con disolvente, soplete de aire	175	90	Con pérdidas, se rompía fácilmente
3 ^a	PVC, madera	Torno, barrena, cemento con disolvente	100	50	Buena

^aAbreviaturas: HG, hierro galvanizado; AS, acero suave; PVC, cloruro de polivinilo.

^bRs20 = US\$1

^cDebido a los problemas originados con este diseño, fue eliminado de las pruebas de campo. Los pozos que tenían estas bombas originariamente fueron equipados con bombas L3.

anillos de hormigón formaban los muros del pozo. Esta técnica tuvo tanto éxito que el comité del Servicio Técnico Rural Sarvodaya decidió construir todos los pozos de la misma manera. Los moldes para los anillos fueron hechos de planchas o chapas de acero suave de 3 mm y de hierro en ángulo. Estos moldes fueron enviados a las aldeas donde entonces se hicieron los cilindros de hormigón. En cada aldea, la Sección Técnica Rural capacitó a seis personas para la producción

de los anillos con la ayuda de los albañiles de la aldea.

En todos los casos, el pozo se sellaba y se hacía una zanja de desagüe para eliminar el agua derramada y se colocaba una capa de piedra para ayudar al drenaje (véase Fig. 1). El pozo tenía acceso mediante una entrada en la cubierta. Una semana después de terminarse la construcción, se lavaron las paredes y se sacó agua con una bomba con motor de gasolina.

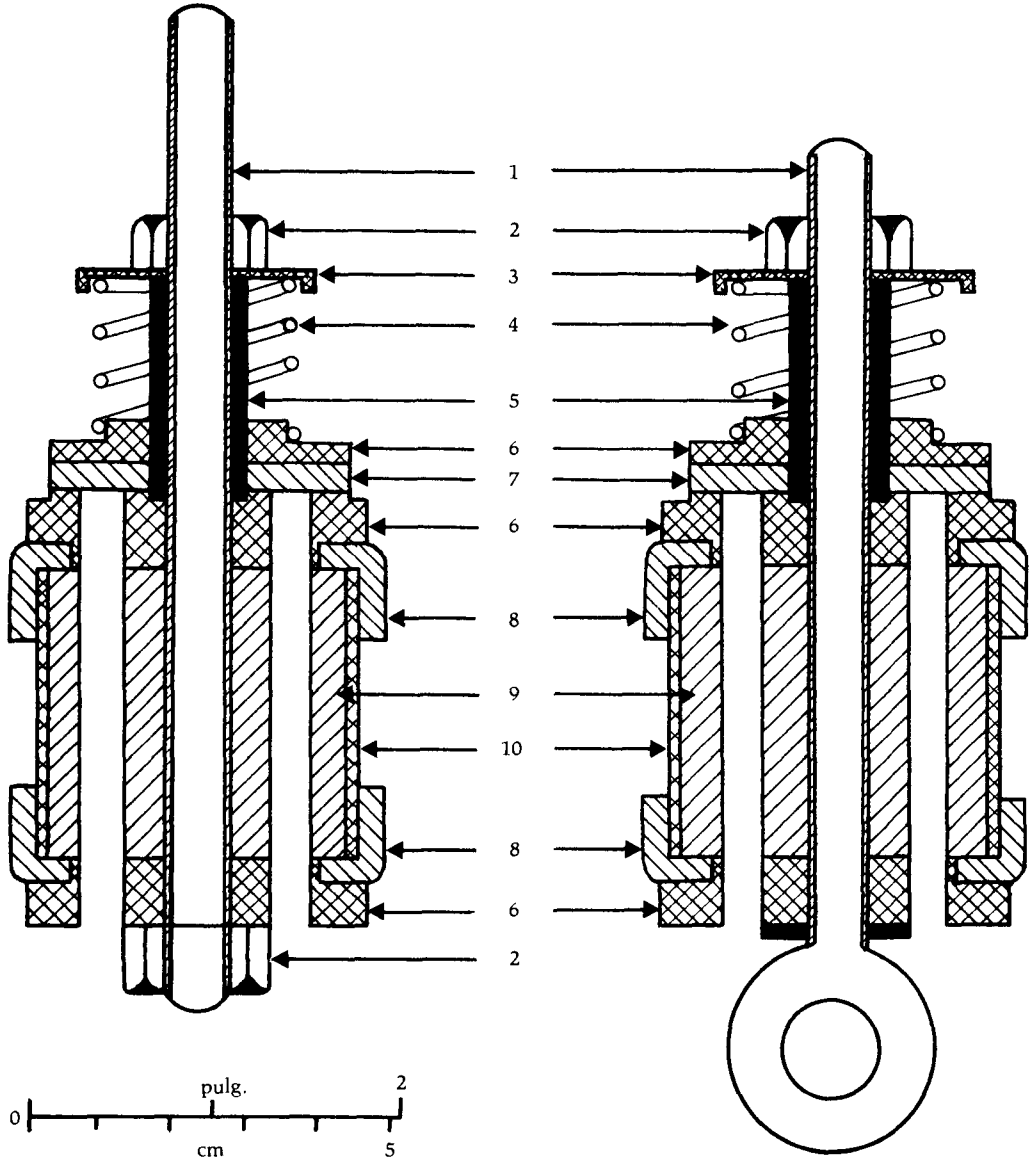


Fig. 2. Detalles de (A) pistón y (B) válvula de retención usados en las bombas L1 y L3: (1) perno "I"; (2) tuerca de latón; (3) cabezal o casquete de PVC; (4) resorte de latón; (5) casquillo de latón; (6) arandela de PVC; (7) válvula de placa de cuero; (8) cuero embutido; (9) madera; y (10) tubo de PVC.

Descripción de las Bombas

Las tres bombas diseñadas durante este proyecto tenían esencialmente los mismos elementos subterráneos pero diferían bastante en su configuración externa. Las modificaciones hechas tanto a las piezas subterráneas como a las exteriores están descritas en detalle a continuación y resumidas en el Cuadro 1.

Piezas subterráneas

En la bomba tipo VI se utilizó un válvula de retención de PVC basada en el diseño Waterloo original; sin embargo, en las otras bombas, el pistón y la válvula de retención se cambiaron por los descritos en la Figura 2. En los pistones y válvulas de retención modificados, se inserta un pedazo de madera con 8 agujeros en una sección del tubo de PVC de 5 cm de largo y 4,5 cm de diámetro exterior. En este nuevo diseño, el obturador de pistón utilizaba piezas de cuero fabricadas localmente y que fueron empleadas en lugar de anillos de polietileno, material costoso que no se fabrica en Sri Lanka y es difícil de obtener. El cuero, en cambio, se obtiene en toda la isla. Las arandelas de PVC fueron fabricadas localmente achatando el tubo de PVC calentado y luego moldeando las arandelas sobre un torno. La válvula del distribuidor plano o de disco es de tubo de PVC achatado sobre el que se pega un pedazo de cuero para hacer un obturador y evitar las pérdidas. Este cambio fue necesario porque se

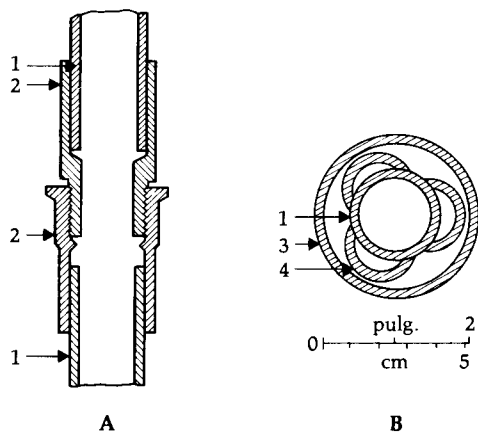


Fig. 3. (A) Acoplamiento del pistón de PVC y (B) guías del pistón de PVC pegadas a la varilla del pistón para reducir la vibración durante el funcionamiento de la bomba: 1) varilla correctora; 2) acoplamiento roscado; 3) tubo de elevación; y 4) guías de varilla.

observó una fuerte filtración cuando se utilizaron juntos el PVC y el latón. El uso de una válvula de cuero resolvió completamente este problema.

Un alambre de acero galvanizado, usado como resorte, se sujetó en su lugar por una tuerca y una arandela de latón. Un perno en "T" de latón roscado de 12,5 cm de largo mantiene juntas las partes del pistón. Un casquillo de latón de 3,5 cm de largo se coloca sobre el perno en "T" para facilitar el movimiento de la válvula de distribuidor plano. Este casquillo asegura asimismo el espaciado apropiado de las piezas del pistón y la válvula de retención, así como la tensión correcta del resorte cuando se montan las piezas.

Las guías de la varilla correctora en el cilindro de la bomba están hechas de tubo de PVC soldado en secciones y soldado a la varilla de PVC.

Se utilizan acoplamientos roscados para unir las secciones de la varilla del pistón (véase Fig. 3). Inicialmente, las varillas se unían con un perno, pero estos se rompían debido a la tensión en la unión. El uso de acoplamientos de PVC ha tenido mucho éxito.

Piezas exteriores

La bomba L3

Para las pruebas en terreno, se instalaron seis de estas bombas. Cuatro en Talawa, una en Gini-mallagaha y otra en el Centro Principal Sarvodaya. Estas bombas se utilizaron para reemplazar las bombas L2 que se habían instalado originalmente en estos pozos. La estructura de la L2 era de hormigón con una manija de madera. Las bombas L3 originales utilizaban también una manija que giraba sobre un cojinete fijo a un pedestal de hormigón. Si bien esto era mejor, tuvo que cambiarse por el desgaste excesivo y rápido de la madera en el punto del pivote, debido a que la manija se podía bajar hasta el punto donde hacía contacto con el conducto de salida, produciendo un golpeteo constante durante la operación de la bomba lo que ocasionaba una rajadura entre la cabeza de la bomba y el caño. Este problema se resolvió diseñando una nueva manija que impedía ser bajada en exceso, al tiempo que permitía el manejo más fácil de la bomba (Fig. 4).

Estructura La estructura cuadrada de esta bomba se hace con hierro angular. Se sueldan cuatro pernos de 9 mm de la sección superior de la estructura para sostener la cabeza de la bomba y se perforan cuatro agujeros de 12,5 mm en la sección inferior para fijarla al pozo. Dos abrazaderas de chapa de hierro sujetan el tubo de ele-

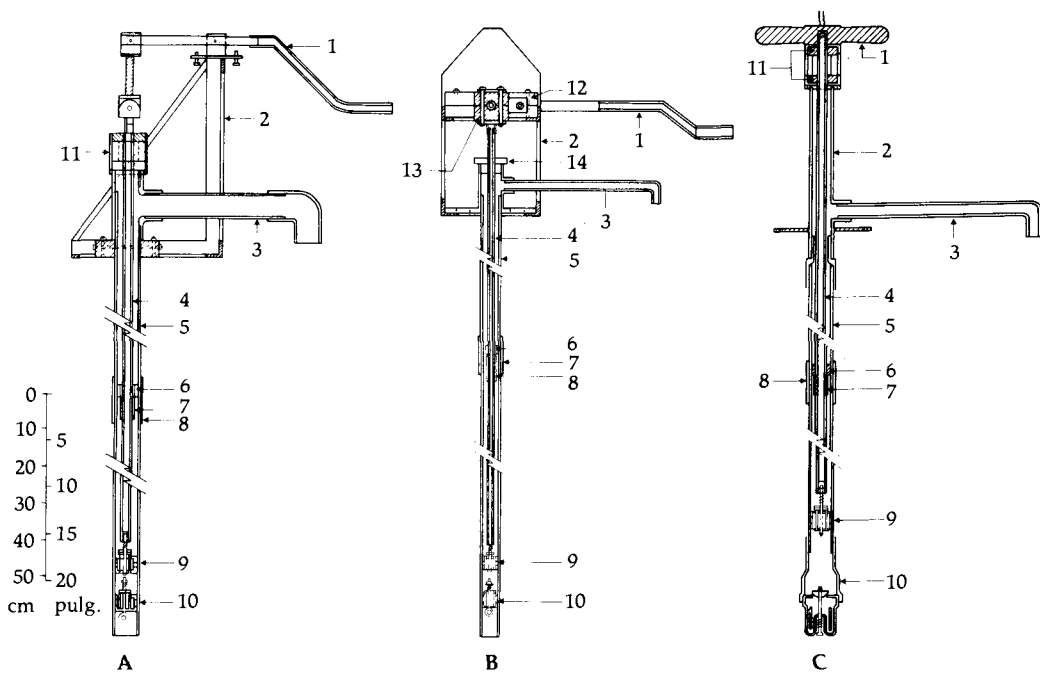


Fig. 4. (A) bomba L1, (B) bomba L3, y (C) bomba V1: 1) manija, 2) estructura; 3) conducto; 4) varilla del pistón; 5) tubo de elevación; 6) guía de varilla del pistón; 7) unión de pistón; 8) unión del tubo de elevación; 9) pistón; 10) válvula de retención; 11) cojinete de madera y caja del contador (L1 y V1); 12) cojinete principal (L3); 13) cojinete de la cabeza (L3); y 14) base del contador (L3).

vación. Una se suelda a la sección inferior de la estructura, la otra se fija a la ménsula con pernos de 6 mm (véase Fig. 5).

Cojinetes Para ambos juegos de cojinetes se utiliza madera (satín o palud). Uno de los juegos es ajustado a la varilla del pistón. El otro se utiliza para el pivote en la manija y se diseña de tal modo que el cojinete puede invertirse cuando el desgaste sea excesivo, prolongando así su duración (Fig. 5).

Caño El caño está hecho de tubo galvanizado de 25 mm. El tubo se llena de arena para evitar su pliegue y se dobla al calor sobre una guía especialmente diseñada por el personal del proyecto. El otro extremo se enrosca para sujetarlo a la cabeza de la bomba.

Varilla conectora Para la varilla del pistón se utiliza un tubo de PVC de 19 mm. Las secciones de la varilla se unen con empalmes de PVC y la varilla se conecta al pistón utilizando un empalme de latón roscado.

Cubierta de la estructura Con pernos y tuercas se fija a la estructura una cubierta metálica galvanizada (calibre 22). La sección superior, que se puede sacar, es cónica para proteger de

la lluvia al mecanismo de la bomba, lo cual prolonga la duración de los cojinetes de madera. La cubierta móvil permite asimismo fácil acceso para inspección y mantenimiento.

Manija Originalmente, la manija se montaba sobre un costado de la estructura de la bomba; pero este diseño causaba un desgaste excesivo en el cojinete de madera y por tanto se modificó. Actualmente, la manija se hace de tubo galvanizado de 12,5 mm y dos pedazos de hierro (véase Fig. 5). Esta manija fue diseñada para aumentar la duración del cojinete de madera, facilitar el uso de la bomba y al mismo tiempo limitar la longitud del recorrido. Cuando la manija se baja demasiado, la mano del usuario se golpea o choca contra el caño de hierro. Esta simple característica del diseño no solo protege las partes internas de la bomba de todo daño sino que también permite cerrar la bomba, si se desea, con cadena y candado.

La bomba L1

Seis de las bombas L1 fueron instaladas en Baddegama, tres en Ginimallagaha y tres en Hingurudugoda. Las piezas exteriores de estas bombas (véase Cuadro 1 y Fig. 4) funcionaron

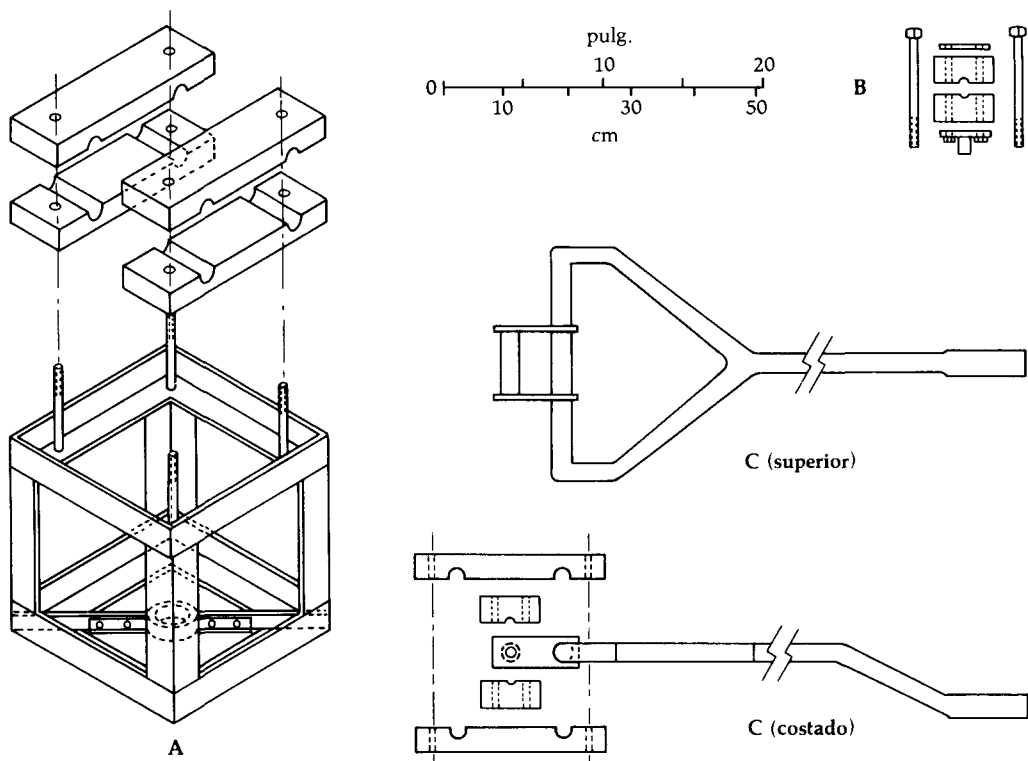


Fig. 5. Detalles de la bomba L3: (A) estructura y cojinetes de madera, (B) cojinete de la cabeza, y (C) diseño final de la manija en el que se muestra la posición de los cojinetes de madera.

bien y no requirieron modificación. Inicialmente se utilizó un cilindro de 7,5 cm para el tubo de elevación y un tubo de 5 cm para la porción exterior del tubo. Sin embargo, esto significaba que el pistón de 7,5 cm no podía sacarse para reparaciones sin cortar el cilindro. Para facilitar las reparaciones y ahorrar tiempo y mano de obra, se utiliza actualmente un pistón de 5 cm junto con un tubo de 5 cm en toda la longitud del tubo vertical y el cilindro.

La bomba V1

Se han instalado nueve de las bombas V1 (véase Fig. 4): cuatro en Akurala, cuatro en Yatiyana y una en Hingurudugoda. Los pozos de estos sitios tienen una profundidad de 3-4 m. Las piezas exteriores de esta bomba fueron modificadas con base en nuestra experiencia, los resultados de las pruebas de campo y las sugerencias de los usuarios. Hemos comprobado que la manija de metal original hacía que esta bomba fuese difícil de manejar; por consiguiente, la hemos reemplazado por una de madera. También descubrimos que el pistón se podía arrancar del cilindro durante el uso, de modo que instalamos un sim-

ple soporte de metal para evitar la elevación excesiva (véase Fig. 6). El costo de esta bomba es bajo; aproximadamente US\$ 75 la bomba completa para extraer agua de 3 m. Sin embargo, debido a que el diseño no incluye un mecanismo de palanca, el usuario debe levantar todo el peso del agua en la columna haciendo que el uso prolongado sea fatigoso.

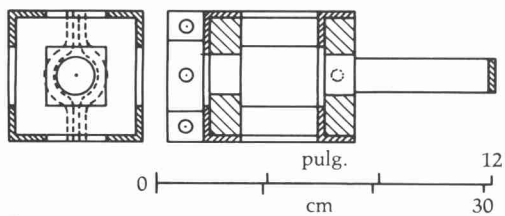
Estructura La estructura de la bomba está hecha de tubo galvanizado de 5,1 cm. Se utiliza chapa galvanizada para sujetar la estructura al pozo y se suelda un manguito o casquillo de 2,5 cm a la estructura para fijar el caño.

Caño El caño, hecho de un tubo de 2,5 cm, se atornilla a la estructura de la bomba. El otro extremo del caño se dobla, utilizando el calor, hasta un ángulo de 90°.

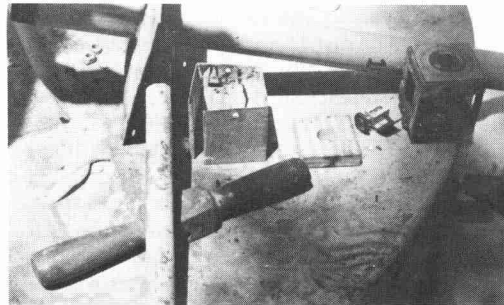
Manija Para la manija se utiliza madera dura, como satín y jak, y se sujeta mediante un perno. La bomba es muy fácil de manejar pero el uso prolongado puede resultar fatigoso. En algunos casos, la manija de madera se rompió cuando la bomba estaba en funcionamiento; sin embargo, es interesante notar que la gente de la



A



B



C

Fig. 6. (A) Obturador y caja de contador fijados a las bombas VI, (B) detalles de la instalación del contador, y (C) montaje del contador de la bomba VI.

aldea puede fabricar una nueva manija con facilidad.

Tubo central Para el tubo vertical o de elevación se utiliza un tubo de PVC de 5 cm de diámetro. Si bien la parte exterior del tubo es suave, el interior es rugoso y no completamente esférico debido a problemas de fabricación locales. En razón de estos problemas fue imposible obtener un obturador adecuado en el pistón y la válvula de retención que utilizaban anillos de PVC. En lugar de ello, para resolver este problema, se diseñaron cueros embutidos que podían fabricarse en las aldeas. Estas copas se hicieron utilizando una simple prensa y un troquel de fabricación local. El cuero fue tratado con sebo y sujetado en la prensa durante unos 30 minutos para que adquiriese la forma requerida. Estas copas se han utilizado durante más de un año y continúan dando buenos resultados. También hubo problemas al usar empalmes disponibles localmente para unir o acoplar el tubo de elevación de 5 cm. Estos empalmes produjeron juntas de mala calidad y debido a su configuración formaron una arruga en los tubos acoplados. Esta arruga creó un problema porque el pistón de cuero se pegaba a las uniones impidiendo la salida del pistón excepto si se cortaba el tubo de elevación. Para superar este problema, los tubos se empalmaron haciendo uniones de campana. El extremo del tubo de PVC fue sumergido en aceite de coco caliente para ablandar el plástico y luego fue presionado sobre un molde metálico hecho localmente para aumentar suficientemente su diámetro de manera que se amoldase firmemente al extremo normal del tubo adyacente. Los tubos podían entonces unirse con un cemento solvente. Este sistema ha funcionado bien y permite sacar el pistón fácilmente para su mantenimiento y reparación.

Evaluación Técnica

Durante las pruebas en terreno se introdujeron varias modificaciones de diseño con base en la experiencia y los materiales disponibles localmente. También se realizaron varios cálculos del desgaste de los anillos del pistón, de la válvula de la placa del pistón, la válvula de retención, los mangos o muñones, el eje del fulcro y la varilla conectora para evaluar la durabilidad de estas bombas en condiciones de campo. También se evaluó el desempeño técnico de las bombas con ayuda de un contador montado especialmente (véase Fig. 6). Este contador midió la longitud de cada golpe del pistón, registrando así la cantidad de uso de la bomba. La eficiencia volumétrica de

la bomba se calculó mediante la fórmula: eficiencia volumétrica = (descarga real \times 100)/(área del cilindro \times longitud del golpe normal). También se calculó la eficiencia mecánica de las bombas.

Durante las etapas iniciales de la prueba, muchas bombas funcionaban mal debido a que las uniones de la varilla del pistón se rompieron. Los pernos galvanizados utilizados para unir las secciones se rompieron hacia los tres meses de uso por la vibración de la varilla del pistón durante la operación de la bomba. Además, los agujeros perforados en la varilla del pistón en las uniones debilitaron la varilla y a veces la rompieron. Las varillas están unidas ahora con acoplamientos roscados de PVC fáciles de conseguir localmente. Los acoplamientos se pegan a los extremos de las varillas y las varillas se atornillan. Este método ha sido muy satisfactorio. Asimismo, se ajustaron a la varilla del pistón las guías hechas con pedazos de tubo de PVC (véase Fig. 3). Estas guías redujeron el volumen de vibración de la varilla del pistón y por consiguiente eliminaron algunos de los problemas de fatiga.

En la bomba L1, se utilizó un tubo de 7,5 cm de diámetro como cilindro de bombeo para aumentar la producción de la bomba; sin embargo, esto originó problemas debido a que el pistón no podía levantarse por encima de la sección del cilindro ya que el diámetro del tubo de elevación era más pequeño. Sacar el pistón para reparación o mantenimiento implicaba cortar el cilindro. Por consiguiente, en todas las bombas utilizamos actualmente un tubo de 5 cm a todo lo largo del tubo de elevación y del cilindro. Pero, sigue existiendo un problema con este tubo vertical: las uniones se separan ocasionalmente durante el bombeo por la vibración del tubo. Sin embargo, este problema solamente se observó cuando el tubo tenía más de 5 m de largo. Para pozos menos profundos, esto no ha constituido un problema.

Como el tubo de elevación era abierto en el extremo, la válvula original con anillos de polietileno se caía frecuentemente al pozo: nuevamente debido a la vibración. La utilización de cueros embutidos en la válvula parece haber resuelto este problema. Para seguridad adicional, se calienta el extremo del tubo de elevación y se achata para evitar que la válvula caiga al pozo. También se ensayó una pantalla en el extremo del tubo, pero era más práctico aboquillar el extremo del tubo.

La fabricación local del pistón de Waterloo y la válvula de retención fue difícil porque en Sri Lanka no se encuentra material sólido de PVC. Varias veces se trató de improvisar con materiales disponibles localmente. Inicialmente tratamos de

producir una varilla o cilindro "sólido" encolando progresivamente tubos de PVC más pequeños uno en el otro. Pero, cuando se cortaron las ranuras para los anillos del pistón, los extremos de la varilla tendían a romperse. También era muy difícil perforar agujeros a lo largo de este tubo. Posteriormente tratamos de fabricar el pistón y la válvula en madera con anillos de polietileno como cierre. Si bien la construcción de las válvulas era más fácil, no dió resultado porque los anillos del pistón se atascaban en las ranuras y no se unían adecuadamente a la pared del tubo de elevación. Cerraban asimismo mal debido a la superficie interior rugosa de los tubos de PVC disponibles en Sri Lanka. Esta superficie rugosa gastó también rápidamente los anillos de polietileno produciendo rebabas en el borde de los anillos lo que contribuyó al atascamiento en las ranuras.

Los problemas relacionados con estas válvulas fueron eventualmente resueltos utilizando un diseño que combinaba un tubo hueco de PVC con un núcleo de madera y empleando cierres de cuero embutido. Este diseño (véase Fig. 2) resolvió totalmente el problema de la pérdida. No solo se resolvió el problema de la pérdida sino que también se redujo el desgaste del tubo vertical. Cuando se utilizaron los anillos de polietileno durante las pruebas de campo, el tubo vertical sufrió un desgaste de 0,35 mm después de 90 días de uso. Se considera que esto se debe a partículas incrustadas en los anillos que actúan como lija contra la pared del cilindro. Las pruebas similares realizadas con cueros embutidos produjeron un desgaste mucho menor. Este diseño posibilita la fabricación y reparación locales y ha probado su confiabilidad bajo condiciones de campo durante más de un año.

Durante las pruebas de campo de estas bombas, se ensayaron dos tipos de válvulas de retención. En las bombas V1, se atornilló al fondo del tubo de elevación una válvula de retención con una válvula de distribuidor plano de caucho. Sin embargo, para las bombas L1 y L3 se utilizó una válvula de retención recuperable, del mismo diseño que el pistón de madera de PVC. En la bomba V1 se utilizó una válvula de distribuidor plano de caucho y funcionó muy bien (Fig. 7). Pero, debido a que está atornillada al tubo vertical, su uso solo es práctico en pozos poco profundos donde es fácil sacar toda la longitud del tubo de elevación para poner en servicio la válvula. La válvula de madera-PVC (Fig. 2) utilizada en las bombas L1 y L3 se puede extraer sin sacar el tubo ascendente. Debido a que incorpora cueros embutidos y una válvula de distribuidor plano de cuero-PVC, las piezas de repuesto pueden ser reparadas fácilmente por los mismos

Cuadro 2. Resumen de los datos de desempeño^a, cálculos de desgaste y mantenimiento y reparación requeridos.

Tipo y no. de bomba	No. de usuarios	Eficiencia volumétrica (%)	Carga hidrostática (m)	Producción promedio de agua (L/día)	Porcentaje de desgaste			Tiempo inactivo (días)	Mantenimiento y reparaciones	
					Anillos del pistón	Cilindro	Chumaceras		Repuestos (US\$)	Tiempo (horas)
<i>Bombas VI</i>										
BA 01	73	80	3,4	900	12	7,5	11	7	17,70	3,25
BA 02	50	65	1,5	403	22	9	12	6	11,75	3,50
BA 03	48	91	1,4	115	15	10	22	4	11,25	2,00
BA 04	56	74	1,4	285	12,5	5	21	5	11,10	2,00
BH 15	44	62	2,9	821	13	8	21	3	3,50	2,00
MY 17	17	85	2,4	292	3,8	2,5	20	3	5,00	2,00
MY 18	21	69	2,9	726	11	5	23	-	-	-
MY 19	43	73	1,8	289	13	5	22	4	4,75	1,50
MY 20	34	55	1,2	49	16	2,8	11	3	1,25	0,25
<i>Bombas L3</i>										
BT 05	21	77	3,0	513	14,1	7	8	6	14,00	4,50
BT 06	27	84	2,3	400	15	5,2	7	6	18,75	6,00
BT 07	62	75	5,4	536	14,6	8	8,8	6	10,00	4,75
BT 08	29	69	6,0	476	12	5,8	12	6	8,50	5,75
BG 12	32	86	7,9	340	11,5	7,9	9	7	12,00	6,25
MC 21	50	80	5,9	100	-	-	-	1	-	1,00
<i>Bombas LI</i>										
BG 09	46	99	3,5	490	7	9,2	1,3	11	19,00	6,50
BG 10	52	87	5,3	875	5,5	3	1	10	20,00	7,00
BG 11	58	89	6,6	832	13	5	2	11	15,00	4,50
BG 13	42	88	2,8	930	12	5,7	1,6	6	14,50	3,50
BG 14	33	92	2,5	705	6	5,5	1,4	8	15,85	5,25
BH 16	76	93	3,3	972	4,8	10,5	2	7	2,50	3,50

^a 1 m = 3,28 pies; 1 L = 0,22 galones

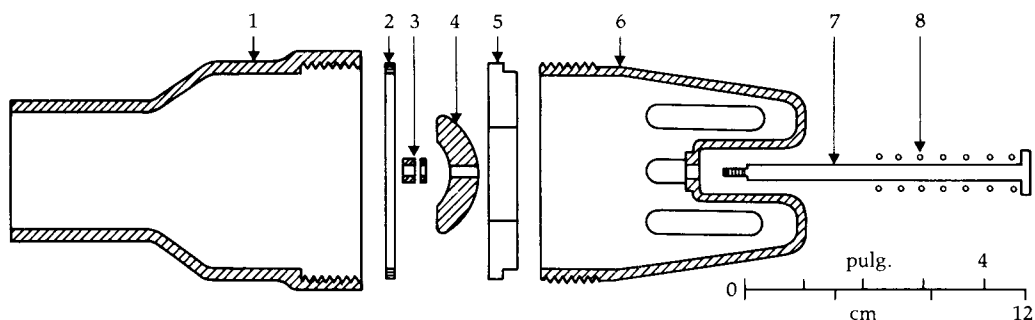


Fig. 7. Detalles de la válvula de retención utilizada en bombas V1; (1) cubierta de PVC; (2) anillo de caucho; (3) tuerca y arandela de latón; (4) válvula de retención de caucho; (5) placa de PVC; (6) pantalla de PVC; y (7) perno de latón; (8) resorte de latón.

aldeanos. En cambio, el caucho adecuado para la válvula de distribuidor plano utilizado en la bomba V1 no se obtiene tan fácilmente y es más caro.

Utilizando el mecanismo de conteo mecánico, fue posible determinar el volumen de uso de cada bomba. Luego se hicieron cálculos de la producción promedio de agua en litros por día, la distancia que había recorrido el pistón y el volumen de desgaste registrado por cada elemento en relación con el uso. El Cuadro 2 ofrece un resumen de los datos de desempeño recopilados de marzo de 1981 a abril de 1982. Los resultados de esta verificación indicaron que la bomba L1 es la que experimentó el menor desgaste y mantuvo la eficacia volumétrica más alta. Esto se debió probablemente a los cierres de cueros embutidos. Dado que no era posible comprar tubería PVC de alta calidad, es decir que la mayoría de los tubos tenían defectos de circularidad y eran rugosos en las superficies interiores, el desgaste inicial en los anillos de polietileno fue considerable hasta que la abrasión configuró los anillos de acuerdo con el interior del cilindro.

El desgaste de los cojinetes varió considerablemente de acuerdo al material utilizado. Por ejemplo, los cojinetes de latón utilizados en la bomba L1 tuvieron un desgaste máximo del 2%, mientras que el desgaste en los cojinetes de madera utilizados en la bomba L3 llegó a un 23%. Se descubrió que, si bien los cojinetes de madera están más expuestos al desgaste, este desgaste no dificulta el funcionamiento de la bomba; en contraste, baste 1 mm de desgaste en los cojinetes de latón para que la bomba sea difícil de manejar.

De las tres bombas ensayadas, el tipo L1 fue sometido al grupo más grande de usuarios con un promedio de 51 personas. El tipo L3 registró el menor volumen de uso con un promedio de solo 37 personas por grupo. La bomba V1 fue uti-

lizada por un promedio de 42 personas por grupo. Aun con una cantidad mayor de personas que la utilizaron, la bomba L1 no presentó un índice de avería más alto que el del modelo L3.

Para concluir, si bien la idea original del diseño de Waterloo era la de utilizar anillos de polietileno para producir el sellamiento entre el pistón y el cilindro y la válvula de pedal y el cilindro, esto no tuvo éxito debido a la mala calidad de la tubería de PVC y al hecho de que el polietileno no es fácil de obtener.

El cuero, por ser fácilmente accesible y económico, fue la alternativa lógica. Con un troquel de metal, fue fácil moldear el cuero en la forma deseada. Esta técnica es suficientemente sencilla como para ser dominada por el trabajador rural. Si bien las bombas de hierro angular L1 eran duraderas, el desgaste en los cojinetes de latón dificultaba su funcionamiento. Por consiguiente, era más práctico y menos costoso utilizar cojinetes de madera, como en el modelo L3, aunque requerían un mantenimiento más frecuente.

Consideramos que la bomba que se ha desarrollado como resultado de este proyecto financiado por el CIID es duradera, puede producirse a un costo razonable y mantenerse en el área rural con poco entrenamiento especial.

Agradecimiento El programa de investigación de la bomba de Waterloo fue llevado a cabo por el Movimiento Lanka Jathika Sarvodaya Shramadana Movement (Inc.) Sri Lanka y patrocinado por el CIID. Deseamos expresar nuestro sincero agradecimiento a: los Coordinadores de Sarvodaya en el Distrito de Galle, Sr. Danny Dissanayaka, y en Distrito de Matara, Sr. P. Hewavitharana; a los Sres. Karl Wherle, Thomas Zimmerman y Gunapala Ganegama de la Unidad de la Sección Técnica Rural de Sarvodaya, Moratuwa; así como a todos los trabajadores de los Centros Sarvodaya y a todos los que nos han ayudado para llevar a cabo esta tarea exitosamente.

Tailandia

Pichai Nimityongskul y Pisidhi Karasudhi

La Junta Nacional de Desarrollo Económico y Social de Tailandia informa que más del 80% de la población de Tailandia vive en aldeas rurales y que solamente el 40% de esta población tiene acceso al agua potable. Si bien la población de los centros urbanos tiene agua de calidad relativamente buena, las comunidades rurales están lejos de tener un suministro adecuado. En las regiones rurales el agua potable y el agua para otros fines domésticos se obtiene de varias fuentes: captación de aguas lluvia, pozos profundos o superficiales, depósitos, estanques y arroyos. De estas fuentes, el agua de pozos profundos o superficiales es la más segura en términos de enfermedades transmitidas por el agua.

Aproximadamente el 90% de los pozos existentes en Tailandia utiliza bombas manuales y más de 5 millones de personas dependen de éstas para obtener el agua de consumo y otros usos domésticos. En consecuencia, las bombas manuales son parte integrante de la vida de la población rural, y su funcionamiento y mantenimiento, una tarea de envergadura. Se calcula que el solo costo de reparación y mantenimiento de las 7000 bombas manuales instaladas por el Ministerio de Recursos Minerales sube de US\$ 500 000 anuales. Además NIDA (1978) informó que, con base en una muestra aleatoria, unas 5000 de las 19 000 bombas manuales instaladas en Tailandia por diferentes organismos gubernamentales se encontraban fuera de uso en un día cualquiera.

Objetivo y Alcance del Proyecto

El objetivo principal de este estudio era poner a prueba, bajo varias condiciones de campo, la bomba desarrollada en la Universidad de Waterloo y, posteriormente, modificar y optimizar su diseño para adaptarlo a las condiciones locales. Este estudio tenía por objetivos específicos: (1) realizar un estudio de las bombas manuales utilizadas actualmente por los cinco principales

organismos gubernamentales encargados del abastecimiento de agua rural en Tailandia; (2) llevar a cabo pruebas de laboratorio de varios tipos de bombas manuales, inclusive la de Waterloo para comparar su desempeño y resistencia en diversas condiciones; (3) instalar y realizar pruebas de campo de la configuración de la bomba de Waterloo; y (4) con base en los resultados de las pruebas de laboratorio y de campo, adaptar y mejorar el diseño de Waterloo y poner a prueba la bomba modificada en condiciones rurales.

Este proyecto fue patrocinado por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) y llevado a cabo con la cooperación de los siguientes organismos gubernamentales tailandeses: Departamento de Recursos Minerales (DMR) del Ministerio de Industria, Departamento de Salud del Ministerio de Salud Pública, Departamento de Obras Públicas del Ministerio del Interior, Oficina de Desarrollo Rural Acelerado (ARD) del Ministerio del Interior, y Oficina de Tecnología Agrícola del Ministerio de Agricultura y Cooperativas. Además, la Junta Nacional de Desarrollo Económico y Social de la Oficina del Primer Ministro sirvió de coordinadora para estos organismos.

Reseña de las Bombas Manuales Existentes en Tailandia

Históricamente, las bombas manuales existentes en Tailandia proceden de Europa y América del Norte y fueron diseñadas en los países desarrollados, para uso por una sola familia. En los países en desarrollo, la bomba fue compartida por muchas personas que residían en la comunidad rural y, debido al uso creciente, se descomponía a menudo y en la mayoría de los casos no podía ser reparada por los aldeanos. De acuerdo con la ARD (1980), distintos organismos gubernamentales han instalado en Tailandia tipos diferentes de bombas. Sin embargo, se pueden clasificar en general en dos grupos: las bombas manuales del DMR y las bombas manuales de la ARD.

Los modelos del DMR son Demster, Red Jacket y otros donados por Estados Unidos o comprados a dicho país. Este tipo de bomba tiene una palanca de tres pasadores con un travesaño de cabeza y un cilindro que tiene generalmente un émbolo con dos cierres de cuero embutido y una válvula tubular o de disco en el émbolo. La válvula inferior consiste en una válvula tubular accionada por resorte y la bomba tiene un cilindro de 7,5 cm, una varilla de bombeo de 11 mm

y un tubo de elevación de 3 cm. El revestimiento de la válvula de admisión, el casquete del pistón, la arandela superior, la del cilindro son de cuero, mientras que la arandela del vertedero es de caucho. Existen 42 elementos diferentes y la mayoría de los mismos es de latón. Se utiliza acero estirado en frío para la unión reductora del cilindro, la aguja del fulcro inferior y la varilla del pistón.

Las bombas manuales suministradas por el Departamento de Obras Públicas también están incluidas en este grupo porque son similares a las bombas manuales del DMR excepto que el tubo de elevación es ligeramente más grande (3,8 cm de diámetro).

La bomba manual de ARD, llamada la bomba manual Jorat, ha sido adoptada por el Departamento de Salud, la Oficina de la ARD y el Ministerio de Administración Local. El mecanismo de la bomba consiste en una cremallera y el piñón (tipo engranaje). Se utiliza cuero para el cierre del pistón, la arandela y el cierre del casquillo. Todos los casquetes de la tuerca, válvulas, cierres y casquillo de la manija son de latón. La bomba tiene un cilindro de 7,5 cm y un tubo de caída de 3 cm y está compuesta de 32 piezas.

Existe una pequeña diferencia en la bomba manual suministrada por la ARD. Es esencialmente la misma que la bomba manual Korat excepto que tiene un cilindro de 7,5 cm hecho de cloruro de polivinilo (PVC) y un tubo de caída de 3 cm. Las bombas suministradas por el Departamento de Administración Local se utilizan normalmente para pozos pandos o de poca profundidad.

Las ventajas y desventajas de las bombas DMR y ARD se resumen en el Cuadro 1.

En la bomba de Waterloo, básicamente todos los elementos están hechos de PVC rígido y polietileno. Estos plásticos han sido seleccionados tanto por la facilidad de su fabricación y bajo costo como por su eficiencia. Los elementos subterráneos consisten en un entubado de PVC que también funciona como cilindro de la bomba para el pistón de plástico. La válvula de pedal plástica se construye de elementos que son comunes al pistón (Fig. 1). El flujo del agua en el pistón y la válvula del pedal son regulados mediante simples válvulas de disco o de distribuidor plano de caucho. Los anillos del pistón de polietileno proporcionan cierres hidráulicos adecuados en el pistón con una resistencia de fricción mucho menor que la de los cueros o anillos embutidos. Se ha comprobado que el desgaste se concentra en los anillos que pueden reemplazarse fácilmente, más que sobre el entubado del pozo. La válvula de pedal puede sacarse fácilmente para su inspección o reparación y sirve como un pistón o émbolo

Cuadro 1. Ventajas y desventajas de las bombas manuales existentes en Tailandia.

DMR	
<i>Ventajas</i>	
La cámara de aire del elemento exterior ayuda a mantener un flujo continuo de agua.	
La manija está hecha de un solo pedazo de hierro fundido con forma y tamaño apropiados, por tanto es durable y fácil de manejar.	
<i>Desventajas</i>	
El contacto directo entre el eje y el manguito causa desgaste rápido.	
Si el eje se rompe, la manija puede moverse horizontalmente y dañar las demás piezas.	
El área de contacto entre el eje y la prensa es relativamente flojo lo que puede dar por resultado un movimiento excéntrico de la varilla de la bomba y reducir la eficacia de la misma.	
El émbolo puede golpearse contra las partes superior e inferior del cilindro si no está adecuadamente instalado.	
El eslabón de fulcro de hierro fundido no es suficientemente fuerte y, con el uso prolongado tiende a romperse.	
ARD	
<i>Ventajas</i>	
El movimiento vertical de la varilla de bombeo se realiza utilizando una cremallera y un piñón.	
Existen menos piezas móviles sujetas a desgaste.	
El resorte amortiguador evita que el émbolo se golpee contra las piezas superior e inferior del cilindro.	
<i>Desventajas</i>	
El flujo de agua no es continuo debido a la ausencia de una cámara de aire.	
La manija y el piñón son piezas separadas y frecuentemente se presentan averías en esta unión.	

de reserva en caso necesario. En este estudio se utilizaron tanto pistones de 5 cm y 7,5 cm de diámetro.

Los pistones y válvulas de pedal para las bombas de Waterloo fueron fabricados en el Instituto de Tecnología Asiático (AIT) utilizando varillas de PVC localmente disponibles. Los anillos del pistón y los adaptadores de válvula de pedal se hicieron de polietileno suministrado por el CIID. Con base en los resultados de laboratorio y las pruebas de campo, el pistón y la válvula de pedal fueron modificados posteriormente.

Pruebas de Laboratorio

Las pruebas de laboratorio de las tres bombas fueron llevadas a cabo en el Laboratorio de Inge-

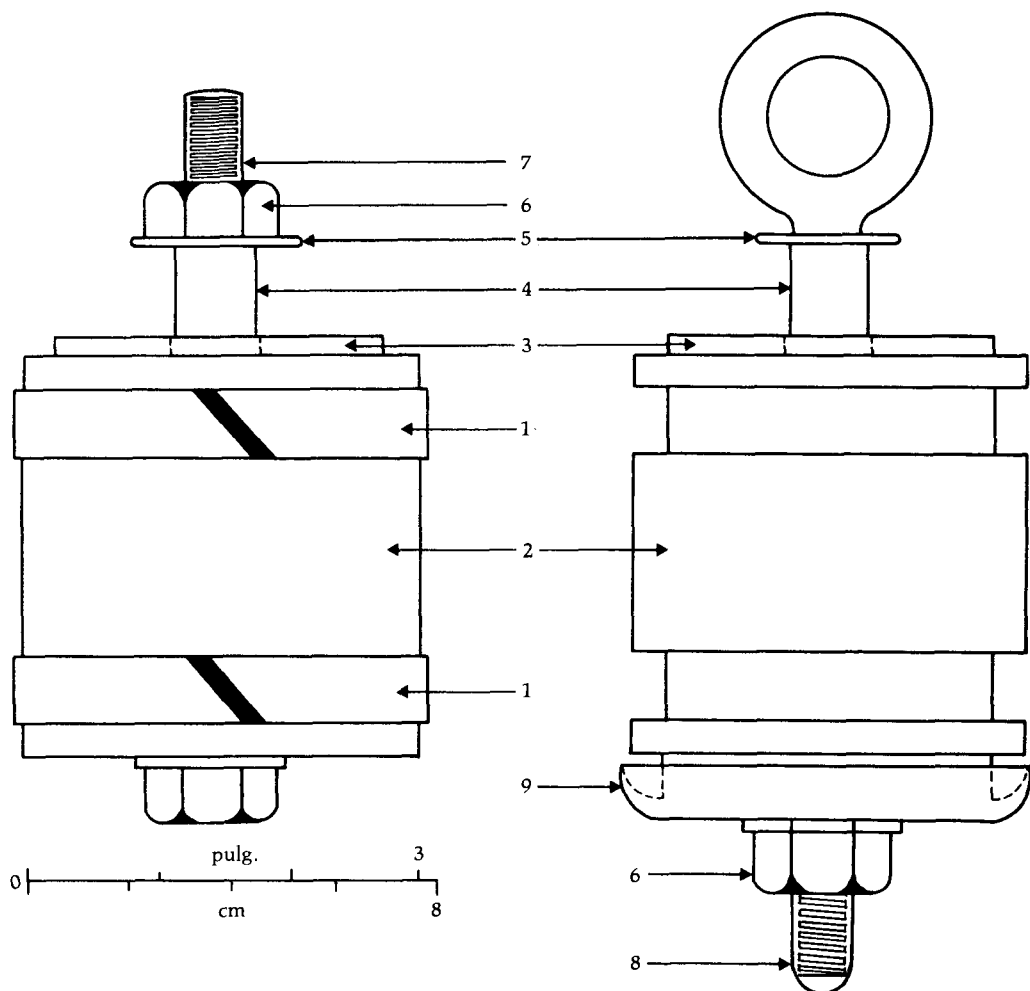


Fig. 1. (A) Pistón y (B) válvula de pedal de la bomba manual de Waterloo: (1) anillo de polietileno; (2) pistón; (3) válvula de distribuidor plano en PVC; (4) guía de válvula en latón; (5) arandela plana; (6) tuerca; (7) perno; (8) perno con ojo; y (9) adaptador de válvula de pedal en polietileno.

nería Estructural del AIT. Las bombas del DMR y ARD fueron suministradas por varios organismos gubernamentales y las bombas manuales de Waterloo fueron fabricadas en el AIT. Los parámetros, que eran diversos, fueron los siguientes: longitud de recorrido del pistón, relación área de orificio, e índice de bombeo.

Se erigió una plataforma de acero de 4 m de alto y se instaló en esta plataforma un brazo o balancín mecanizado para accionar simultáneamente los 12 juegos de bombas manuales. Se fabricó asimismo un sistema de simulación de cabeza para poner a prueba el desempeño de las bombas bajo diferentes cargas de agua.

Se emprendió un programa detallado de pruebas de la bomba de Waterloo (Cuadro 2). En este

cuadro, las relaciones de área orificio/pistón de 12,5, 17,0 y 22,2% representan una apertura en el área de pistón de 8 agujeros, cada uno con un diámetro de 9,5 mm, 11 mm y 12,5 mm, respectivamente. En cada serie de pruebas, se midió la descarga de 10 golpes del pistón, utilizando un pistón hueco y un cilindro graduado. La prueba fue realizada dos veces y se registró el valor promedio. La eficiencia volumétrica fue definida como la real dividida por la descarga teórica cien veces, siendo esta igual a la longitud del recorrido del pistón multiplicada por la sección transversal del cilindro.

Además de las pruebas realizadas sobre el desempeño de las bombas manuales, se llevaron a cabo otras pruebas.

Cuadro 2. Programa de pruebas para la bomba manual de Waterloo.

Relación área orificio/pistón (%)	Velocidad del pistón (golpes/min)	Longitud de recorrido del pistón (pulg) ^a					
		3	4	5	6	8	10
12,5	20	X	X	X	X	X	X
17,0	30	X	X	X	X	X	X
22,2	40	X	X	X	X	X	X
	50	X	X	X	X	X	X
	60	X	X	X	X	X	X

Nota: Para las tres reacciones de área orificio/pistón, se realizaron pruebas de velocidad de pistón y embolada para cada combinación. Cada X representa una prueba individual realizada 2 veces.

^a1 pulg. = 2,54 cm.

Se determinaron las propiedades mecánicas — tensión, compresión y fatiga — del material de PVC. Para las pruebas de tensión y compresión se utilizó una máquina de prueba universal de 300 kN. Para la prueba de fatiga, se utilizó un servo-pulsador con una capacidad de 15 t.

Se probó la filtración para verificar el desempeño de la válvula de pedal que era la válvula de pedal modificada que se instaló sobre el terreno.

La fuerza de tensión de la unión de tubería de PVC usada en el diseño final del sistema PVC se determinó para tuberías de 2 cm y de 7,5 cm (1 pulg. = 2,54 cm). La unión se fabricó utilizando un empalme de PVC.

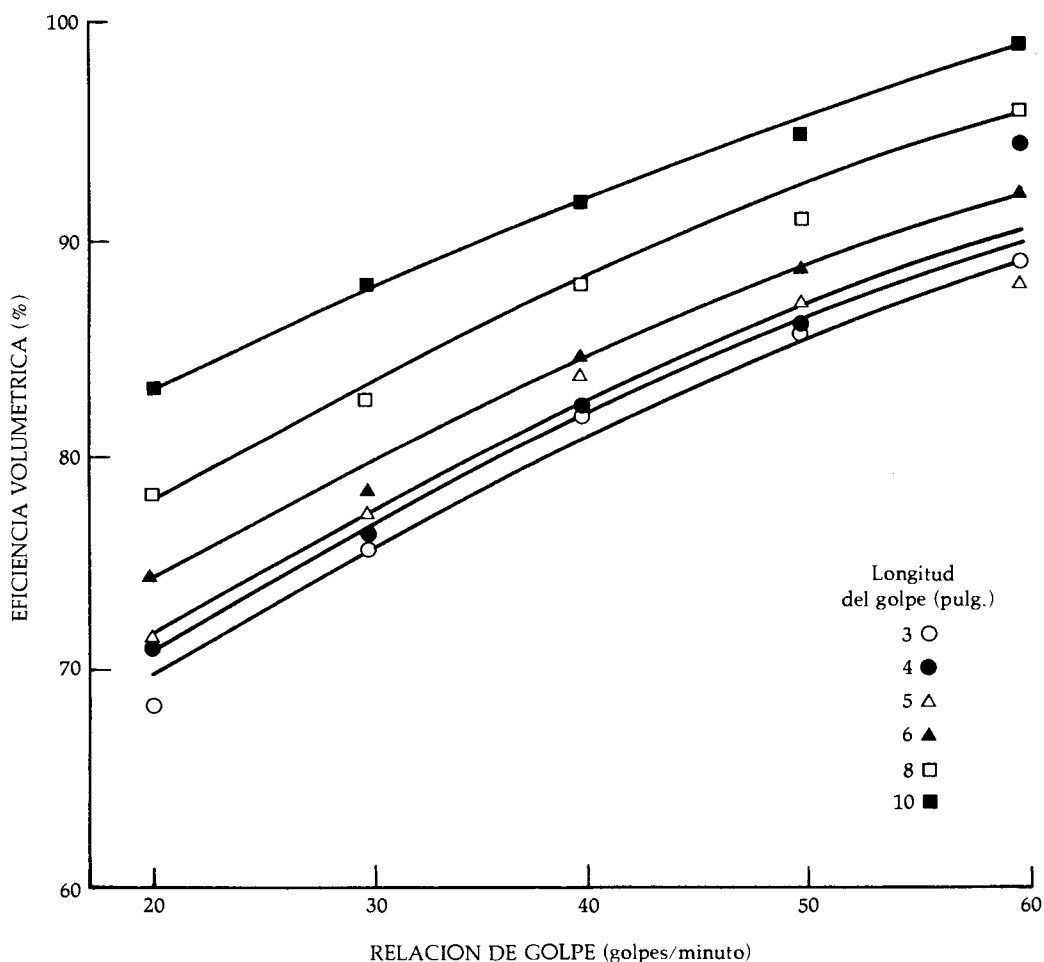


Fig. 2. Influencia de las longitudes de golpe sobre la eficiencia volumétrica de las bombas de Waterloo con una relación de área orificio/pistón de 12,5%. (Carga hidrostática, 4,57 m; diámetro del pistón, 7,5 cm; intervalo de válvula, 0,6 cm; juego del émbolo de la válvula de pedal, 30 cm.)

Resultados de las pruebas de laboratorio

Desempeño de las bombas manuales

La influencia de la longitud del golpe del pistón sobre la eficiencia volumétrica de las bombas de Waterloo que tienen relaciones de área orificio/pistón de 12,5, 17,0 y 22,2% fue comparada con la velocidad del pistón para todas las bombas. En la Figura 2 se da un ejemplo del resultado. El diámetro del pistón, el intervalo de la válvula de pedal, la válvula de pedal del pistón y la carga de agua se mantuvieron constantes durante el transcurso de las pruebas. La eficiencia volumétrica de la bomba aumentó proporcionalmente al incremento de la longitud de golpe del pistón y de su velocidad. También se determinó la influencia de las relaciones de área orificio/pistón sobre la eficiencia volumétrica de las bombas de Waterloo con golpes de pistón de 10, 15 y 20 cm. Los resultados para un golpe de 15 cm están incluidos en la Figura 3. Los resultados indicaron que, para un golpe de pistón de 10 cm, la relación de área orificio/pistón tenía poco efecto sobre la eficiencia volumétrica de la bomba. Sin embargo, para golpes de pistón más largos, la eficiencia volumétrica de la bomba de Waterloo aumentó en la medida en que aumentó la relación de área orificio/pistón.

También se trazó el desempeño de las bombas manuales del DMR y ARD bajo condiciones de laboratorio. A bajas velocidades de movimiento

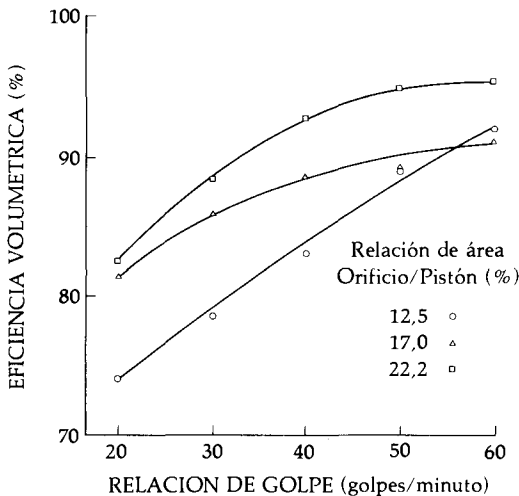


Fig. 3. Influencia de la relación de área orificio/pistón sobre la eficiencia volumétrica de las bombas de Waterloo que tienen una longitud de golpe de 15 cm. (Carga de agua de 4,57 m; diámetro del pistón 7,5 cm intervalo de válvula, 0,6 cm.)

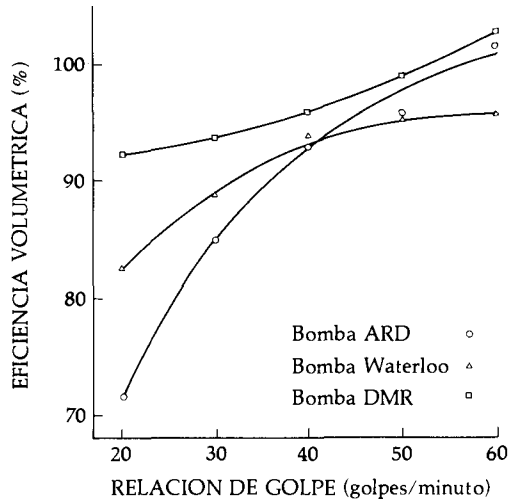


Fig. 4. Comparación de eficacias volumétricas para diferentes bombas que tienen una longitud de golpe de 15 cm.

del pistón, la eficiencia volumétrica de las bombas manuales ARD fue más baja que la de las bombas manuales. Sin embargo, a velocidades más altas de movimiento del pistón, la eficiencia volumétrica de las bombas manuales ARD mejoró significativamente. A velocidades de émbolo muy altas, la eficiencia volumétrica de las bombas manuales superó el 100%. Esto tiene su explicación en el hecho de que cuando se opera la bomba a una velocidad muy alta se hace subir agua extra del tubo de elevación. Se compararon la eficiencia volumétrica de las bombas existentes y de las bombas Waterloo que tienen golpes de pistón de 10, 15 y 25 cm. La Figura 4 muestra la comparación para un golpe de 15 cm. A bajas velocidades de pistón, la eficiencia volumétrica de la bomba manual Waterloo fluctuó entre la de las bombas manuales de DMR y ARD. Sin embargo, a velocidades de pistón más altas, la eficiencia volumétrica de la bomba manual de Waterloo fue la más baja de las tres. Para un golpe de pistón de 25 cm, el desempeño de las tres bombas manuales fue similar.

Otras pruebas

Se determinaron las fuerzas de tensión y compresión del material PVC en 5370 y 10 130 lb/pulg.² (37 025 y 69 844 kPascal), respectivamente. En la prueba de fatiga, las propiedades mecánicas del PVC estuvieron influidas considerablemente por el aumento de la temperatura inducida por cargas repetidas. Sin embargo, durante la operación sobre terreno, el

pistón de PVC no está sujeto a una carga repetida continua, tal como está simulada por el servo/pulsador.

La prueba de filtración se llevó a cabo llenando completamente el tubo de elevación con agua y permitiéndole tener filtración a través de la válvula de pedal por un día. Los resultados de la prueba indicaron que no había filtración por la válvula de pedal modificada para una carga de agua de 5,00 m. Se ensayaron cierres de caucho y plástico y se obtuvieron los mismos resultados.

También se probó la variación de la fuerza con el período de endurecimiento de las uniones en tubos de PVC de 7,5 cm y 2 cm. La fuerza de tensión de las uniones de 7,5 cm superó los 120 kg/cm² después del endurecimiento durante 15 minutos, lo que puede ser considerado como el tiempo de fraguado inicial para el cemento solvente.

Durante las pruebas de laboratorio, es imposible simular las condiciones reales de campo a las cuales se expondrán las bombas manuales, especialmente con el sistema de simulación de cabeza. También se deben tomar en cuenta otros factores pertinentes como la calidad del agua en los pozos, el índice de bombeo o velocidad del pistón, la dirección de la fuerza ejercida sobre la varilla de la bomba y la condición de los elementos exteriores. Por consiguiente, el pistón Waterloo y las válvulas de pedal fueron verificados bajo condiciones de campo.

Pruebas de campo

Los pozos seleccionados para la prueba de campo de la bomba Waterloo fueron utilizados diariamente por los aldeanos en la comunidad. Normalmente, el pozo seleccionado estaba equipado con una bomba manual DMR o con una bomba manual ARD y solamente los elementos o piezas subterráneas (cilindro, pistón y válvula de pedal) fueron reemplazados por las piezas de Waterloo. Si los elementos reemplazados no se desempeñaban tan bien como los anteriores o la bomba no funcionaba normalmente debido al reemplazo, los aldeanos se veían obligados a encontrar una nueva fuente de agua y se quejaban. Por consiguiente, era importante para el equipo de trabajo asegurar que las piezas instaladas en el pozo funcionasen adecuadamente. Por lo tanto, se hicieron las siguientes modificaciones a las piezas de PVC, con base en las pruebas de laboratorio, antes de instalar las bombas en el campo.

Modificaciones

Cilindro de PVC

El cilindro recomendado por la Universidad de Waterloo era un tubo ordinario de PVC que podía obtenerse en el mercado local. Cuando se probó en el laboratorio se registró una falla en la unión entre la tapa de acero y el cilindro de PVC. Una solución era aumentar el grosor del cilindro, pero sería demasiado costoso. La solución fue incorporar un entubado de acero al revestimiento de PVC. La Figura 5 muestra los detalles del cilindro modificado de 7,5 cm de diámetro junto con su tapa de acero. El entubado refuerza las uniones superior e inferior y el revestimiento de PVC reduce el desgaste de los anillos de pistón de polietileno.

Pistón o émbolo de PVC

La Figura 1 muestra los detalles del pistón original. Sin embargo, hubo problemas por el rompimiento de las aletas superior e inferior del pistón que son sus piezas más débiles. Esto se debió principalmente a que las aletas golpeaban la pared del cilindro repetidamente cuando la varilla de la bomba se movía excéntricamente. Para evitarlo, se dobló el grosor de las aletas de 6 mm a 12 mm. En la Figura 6 aparecen los detalles del pistón modificado.

Válvula de pedal

El montaje de la válvula de pedal de la bomba de Waterloo aparece en la Figura 1. Esta válvula estaba unida inicialmente a la pared del cilindro con un adaptador de polietileno que sellaba a la pared del cilindro. Sin embargo, como la superficie interna del cilindro de PVC no era perfectamente pareja, se registraba una pérdida de agua en la válvula de pedal. Otro problema eran las partículas de arena que a menudo quedaban atrapadas entre la válvula del distribuidor plano de PVC y la cara superior del pistón, dando una pérdida de agua adicional. El primer intento por resolver este problema consistió en reemplazar el adaptador de polietileno con láminas de acero inoxidable perforado, colocar un resorte de compresión sobre la parte superior de la válvula de distribuidor plano y encolar un pedazo delgado de caucho a la chapa de PVC.

Un problema sin resolver después de la primera modificación fue el de las partículas de arena que quedaban encerradas en la porción acanalada del pistón causando desgaste. Para resolverlo, se eliminó la idea de usar la válvula de pedal como un émbolo de repuesto. En la segunda modificación, el área de contacto entre la válvula de dis-

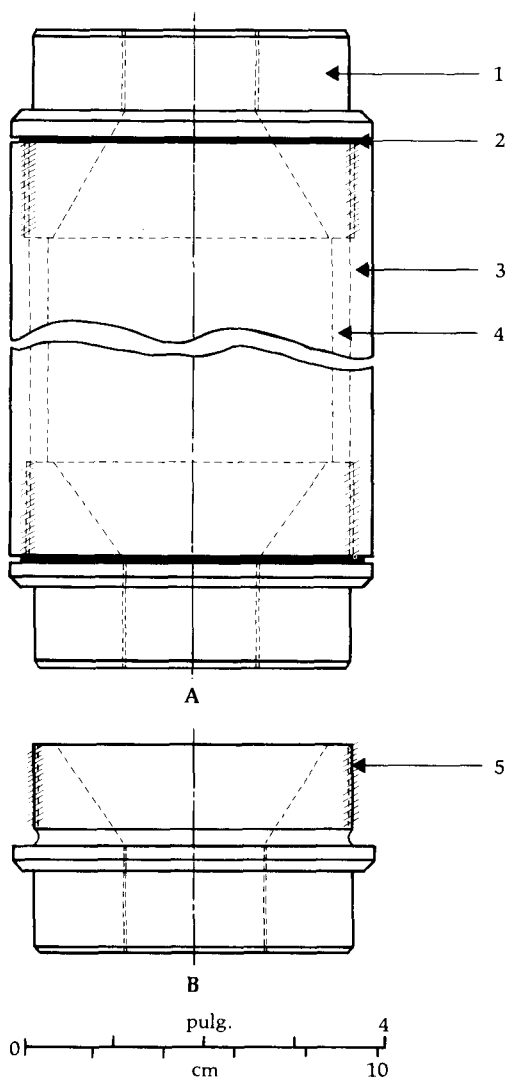


Fig. 5. Cilindro de 3 pulg. (7,5 cm) de diámetro (A) y tapa de acero (B) modificados: (1) tapa de acero; (2) anillo de caucho; (3) entubado de acero; (4) revestimiento de PVC; y (5) sección roscada. (La altura total de cilindro es de 27 pulg. (68,6 cm).)

tribuidor plano de PVC y la chapa de acero se redujo al mínimo mediante 2 pequeños lomos. Esta válvula de pedal se desempeñó satisfactoriamente en el terreno. Sin embargo, para reducir el costo de producción, se hizo una tercera modificación que eliminó el resorte de compresión y cambió la válvula de distribuidor plano de PVC por una lámina sólida de caucho de 6 mm. La distancia móvil de la válvula de distribuidor plano de caucho se mantuvo a 6 mm. La Figura 7 mues-

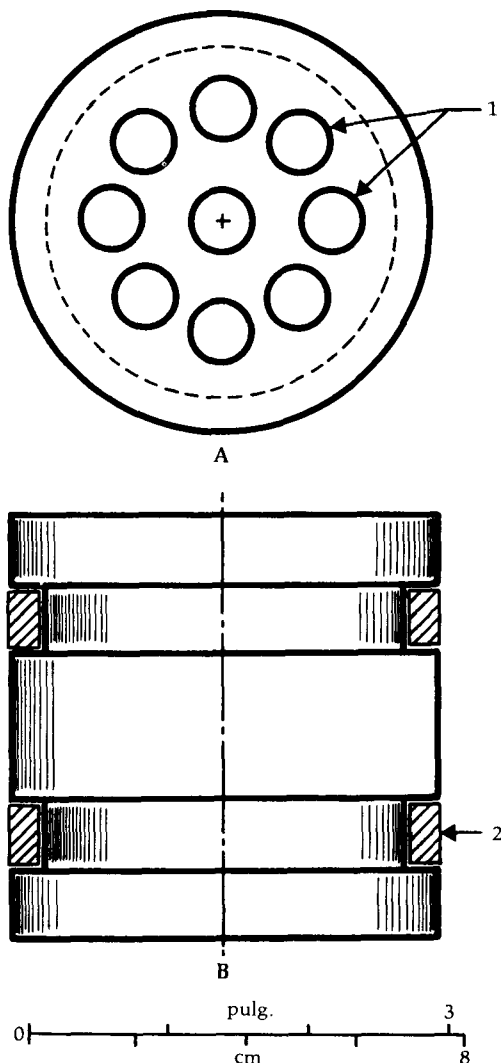


Fig. 6. Diagrama superior (A) y lateral (B) del pistón modificado de la bomba manual de Waterloo; (1) agujeros de 7/16 pulg. (1,11 cm); y (2) anillo de pistón de PVC.

tra la tercera modificación de la válvula de pedal. En total, este tipo de válvula se utilizó en 54 pozos de tres regiones.

Selección del sitio e instalación de las bombas de PVC

Las pruebas de campo se hicieron en el centro, noreste y norte de Tailandia. Las regiones seleccionadas estaban ubicadas en las siguientes áreas: (1) provincias de Saraburi y Lopburi, Tailandia

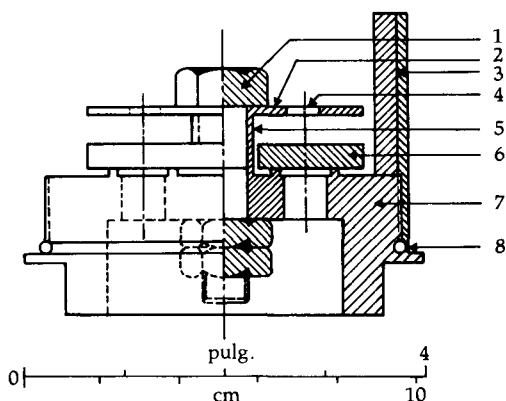


Fig. 7. Tercera modificación de la válvula de pedal de PVC: (1) perno roscado; (2) chapa de acero inoxidable; (3) revestimiento de PVC y entubado de acero; (4) agujeros de 7/16 pulg. (1,11 cm) sobre un diámetro efectivo de 1,5 pulg. (3,8 cm); (5) guía de latón; (6) válvula de distribuidor plano de caucho; (7) tapa de acero; y (8) unión en aro torica.

central; (2) provincia de Khon Kaen, noreste de Tailandia; y (3) provincia de Lamphum y Chiang Mai, norte de Tailandia.

En cada región, se equiparon 18 pozos de diferentes características con cilindros de PVC, pistones y válvulas de pedal modificados. Uno de los factores para la selección era su alta frecuencia de uso pues en algunas regiones muchos pozos se utilizaban poco. Otro factor fue el acceso al pozo. Si el pozo estaba muy lejos y era difícil acceso, la verificación hubiese resultado muy difícil y algunas veces imposible durante las lluvias.

Verificación

Antes de instalar las piezas o elementos de PVC, se tomaron mediciones iniciales de las piezas de superficie y subterráneas y la capa freática estática.

Se anotó la configuración del elemento superficial de la bomba y se registraron todas las dimensiones de las piezas.

Para las piezas subterráneas, se midió el grosor de los anillos superior e inferior de polietileno en el pistón, utilizando un micrómetro. Para cada anillo se tomaron las medidas en tres posiciones diferentes espaciadas 120°. Se anotó el diámetro del pistón, el diámetro interno del cilindro de PVC se midió con un calibre interno de nonio. El montaje del cilindro y pistón se inspeccionaron aproximadamente cada tres meses.

El nivel de agua estática es la distancia que va desde la superficie del agua (capa freática) en el

pozo hasta el caño de desagüe de la bomba. Este nivel fue medido con un sonar electrónico. Con este mecanismo se baja lentamente un hilo de plomo al pozo por un agujero perforado en el entubado de la bomba. Cuando el hilo toca la superficie del agua produce un sonido electrónico. El nivel del agua estática equivale a la longitud del hilo más la distancia desde el agujero hasta el caño de la bomba. Este nivel se tomó mensualmente.

Después de instalar las piezas de PVC, se probó el desempeño de la bomba midiendo el volumen concreto de agua descargada por 10 movimientos del pistón. Estos datos también se recopilaban mensualmente.

Además, se probaron en el laboratorio muestras de agua de los pozos de las tres regiones para verificar su calidad. Los análisis fueron realizados por la División de Ingeniería Ambiental con métodos estándar para 10 parámetros: pH, turbidez, color, dureza, calcio, cloruro, nitrato, manganeso, hierro y bacilos fecales coliformes. El índice de la calidad de agua fue calculado con base en dos enfoques diferentes: la opción 1 del Delphi y el Enfoque Alternativo OMS. En algunos pozos, el índice de calidad del agua fue bajo y se recomendó usarse solo para fines domésticos generales y no para consumo. Normalmente, los aldeanos que poseen estos pozos obtienen su agua potable de estanques abiertos que recolectan agua lluvia durante la época respectiva.

Resultados de las pruebas de campo

Se diagramaron las fluctuaciones de los niveles de agua estática para los pozos localizados en Saraburi y Lopburi, Khon Kaen y Chiang Mai, y Lamphum respecto al tiempo calendario (véase, por ejemplo, Fig. 8). El nivel de agua estática fue bastante alto de octubre a diciembre y bajo de febrero a marzo, lo que corresponde a las estaciones lluviosas y seca, respectivamente.

Se diagramaron contra el tiempo calendario (véase, por ejemplo, Fig. 9) las eficacias volumétricas, volumen de agua por 10 cm de golpe, cambios en el grosor de los anillos de pistón superior e inferior, y los cambios del diámetro interior de los cilindros de todos los 54 pozos localizados de las tres regiones.

Se tabularon cuidadosamente los registros de averías tanto de los elementos superficiales como subterráneos de las bombas de PVC desde la instalación hasta la terminación de las pruebas de campo. El Cuadro 3 resume la frecuencia de las diversas causas de avería de la bomba.

Bomba manual AIT-PVC

Diseño

Con base en la verificación realizada sobre terreno y los resultados de las pruebas de laboratorio, se desarrolló un diseño final llamado la bomba manual AIT-PVC que incorporaba las siguientes características.

Se introdujo un nuevo tipo de eslabón de fulcro o pivote, embisagrado en ambos extremos mediante cojinetes de bolas, el cual reemplaza el utilizado en la bomba manual de DMR que se averiaba frecuentemente tanto en las uniones como en el eslabón mismo. La Figura 10 muestra detalles de las piezas o elementos de superficie.

El tubo de elevación está hecho de un tubo estándar de PVC de 7,5 cm y 4 m de largo que también se utiliza como cilindro. En este nuevo

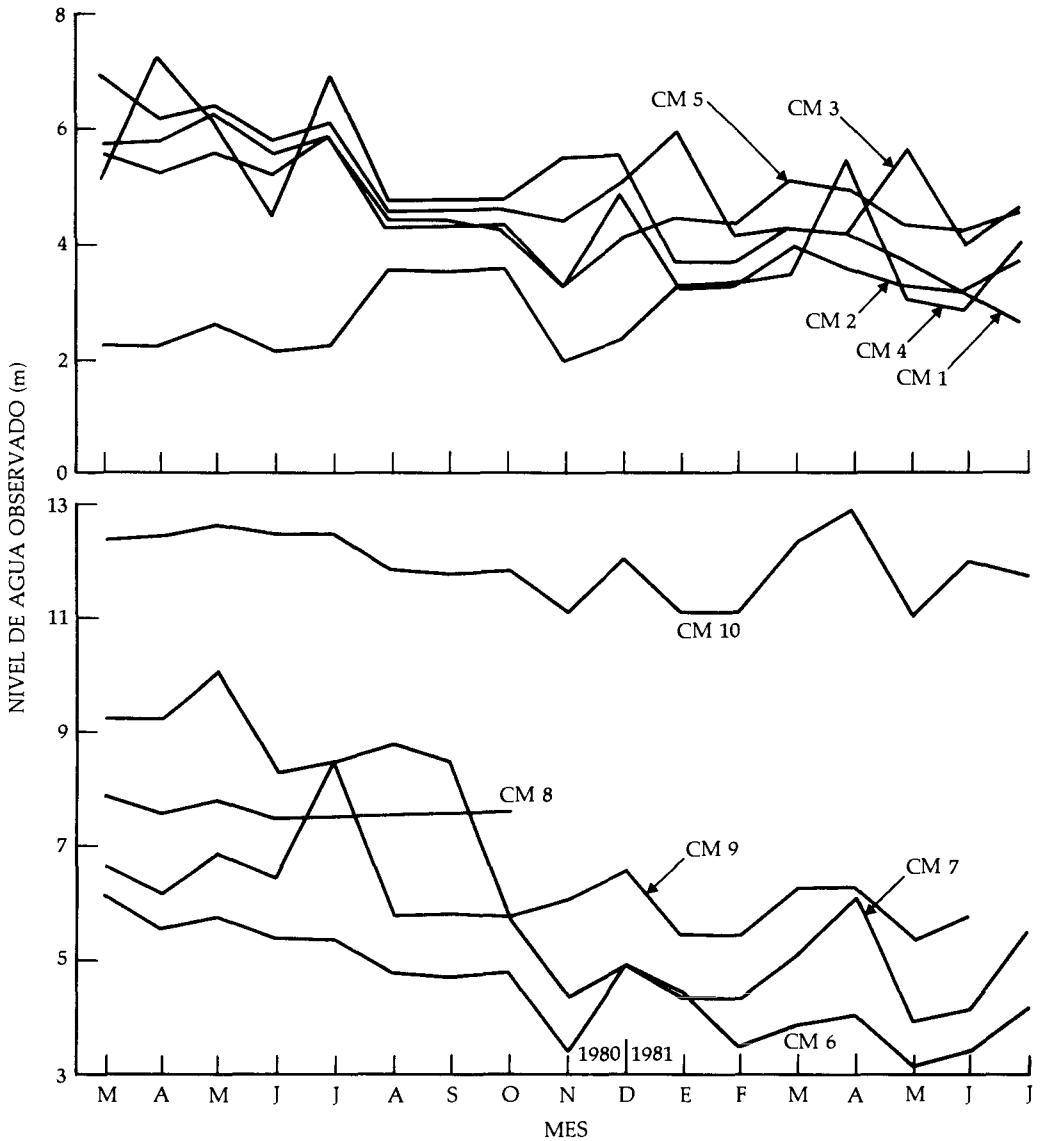


Fig. 8. Niveles de agua estática observados en los pozos localizados en Chiang Mai (CM3-9) y Lamphun (CM1,

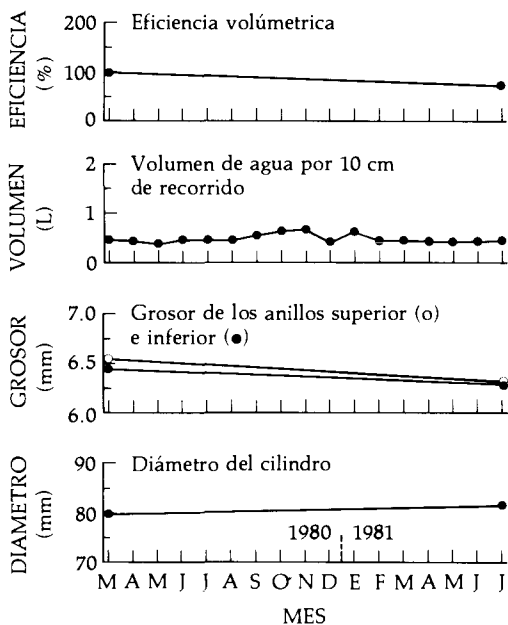


Fig. 9. Desempeño de la bomba manual de cilindro de 3 pulg. (7,5 cm) en las regiones de Saraburi y Lopburi.

Cuadro 3. Registros estadísticos de averías de la bomba, marzo de 1980-julio de 1981.

Tipos de avería	Cantidad de averías
<i>Elementos de superficie</i>	
Bombas de DMR	
Rotura del eslabón de fulcro	13
Rotura de la manija	9
Aflojamiento del prensaestopas	3
Rotura del pasador de fulcro	2
Desgaste de la pletina	2
Rotura del casquillo de la pletina	2
Bombas de ARD	
Daño del engranaje sectorial	6
Aflojamiento de la manija	3
Rotura del resorte	3
Rotura del caño	1
<i>Elementos subterráneos</i>	
Pérdida de la válvula de pedal	24
Avería en las uniones de la varilla de pistón	20
Avería en el tubo vertical de elevación	2

diseño se adoptaron el pistón y la válvula de pedal modificados (Fig. 6 y 7). La única parte no compuesta de PVC es la varilla de la bomba de 11 cm. Inicialmente se utilizó para la varilla de la bomba un tubo hueco de PVC estándar de 12 cm de diámetro, pero este no era suficientemente

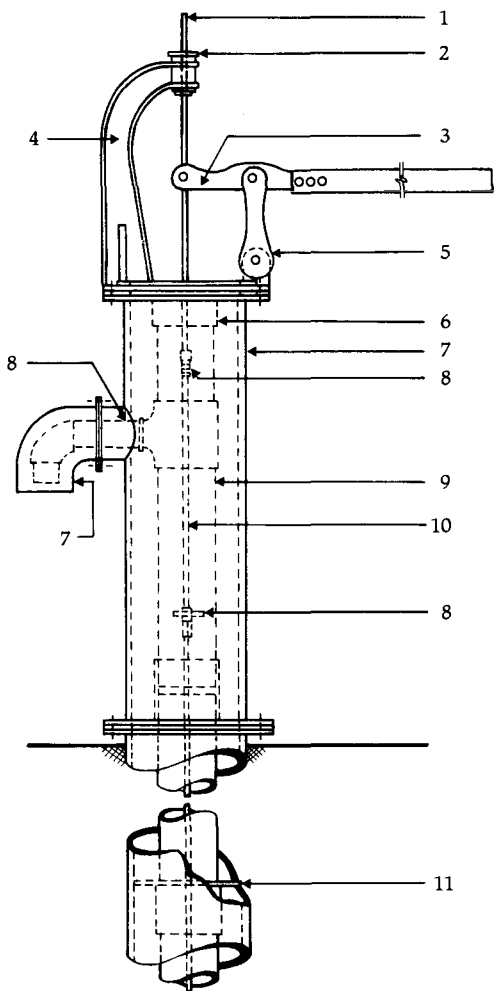


Fig. 10. Elementos de superficie de la bomba manual AIT-PVC: (1) barra de acero redonda; (2) guía de la barra; (3) manija; (4) estructura; (5) unión de soporte de la manija con cojinetes de bolas; (6) enchufe de PVC; (7) entubado de acero; (8) empalme; (9) tubo de PVC; (10) varilla de acero; y (11) espaciador de madera.

fuerte o durable para resistir la fuerza del bombeo. Hasta la varilla de la bomba de acero era insuficiente, y como resultado, se introdujo un espaciador en la unión del vástago de la bomba para minimizar vibraciones. La Figura 11 incluye los detalles de los elementos de superficie.

De modo experimental se instalaron tres bombas manuales AIT-PVC en pozos ubicados en tres regiones y se verificó su desempeño. El Cuadro 4 resume la identificación y dimensiones iniciales de los elementos subterráneos y el desempeño de estas tres bombas manuales PVC.

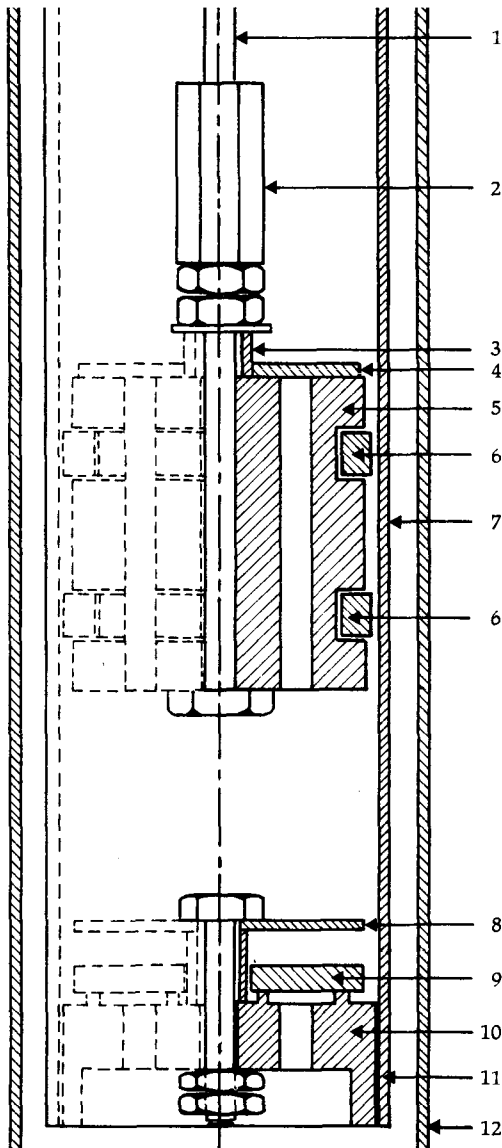


Fig. 11. Elementos subterráneos de la bomba manual AIT-PVC: (1) varilla de acero; (2) empalme; (3) guía de latón; (4) válvula de pistón de PVC; (5) pistón o émbolo de PVC; (6) anillo de pistón de PVC; (7) tubo de PVC; (8) chapa de acero inoxidable; (9) chapa o lámina de válvula de pedal de caucho; (10) válvula de pedal de PVC; (11) cola de cemento con disolvente; y (12) entubado de acero del pozo.

Análisis de costos

Se calculó el costo de una bomba manual AIT-PVC en comparación con las bombas manuales DMR y ARD (Cuadro 5). El análisis de costos

Cuadro 4. Especificaciones de las tres bombas manuales AIT-PVC probadas en terreno.^a

	No. 1	No. 2	No. 3
Fecha de instalación	22/8/80	15/11/80	19/11/80
Nivel de agua (m)	11,25	9,15	12,00
Eficacia volumétrica (%)			
I ^b	76	78	73
E	98	91	86
Grosor promedio del anillo de émbolo (mm)			
Superior			
I	6,59	6,71	9,43
E	6,28	6,55	7,21
% cambio	4,40	2,38	2,96
Inferior			
I	6,53	6,49	7,42
E	6,31	6,40	7,23
% cambio	3,37	1,39	2,56
Diámetro interno promedio del cilindro (mm)			
I	80,01	79,95	79,86
E	80,51	80,30	80,27
% cambio	0,64	0,43	0,42

^a10 mm = 0,39 pulg.; 1 metros = 3,28 pies.

^bI, en la instalación; y E, al final de la prueba de campo.

Cuadro 5. Comparación de costos de los elementos de superficie y subterráneos de los tres tipos de bombas manuales usadas en Tailandia (diciembre de 1980)

Tipo de bomba manual	Costo (Bath)	Observaciones
<i>De superficie</i>		
DMR	2100	Producción en masa
ARD	2500	Producción en masa
AIT-PVC	2300	Pedido individual
<i>Subterránea^b</i>		
DMR	700	Producción en masa
ARD	700	Producción en masa
AIT-PVC	800	Pedido individual

^a23 Bath = US\$ 1.

^bExcluyendo los tubos de elevación. Para la bomba manual AIT-PVC, el costo del tubo vertical es de aproximadamente 110 Bath/m (33 Bath/pies).

examina dos elementos separados, los elementos superficiales y los subterráneos. Para los elementos subterráneos, se dan solamente los costos del pistón y del cilindro, dado que la longitud del tubo de elevación depende de la profundidad del pozo.

Los costos de las bombas manuales de DMR y ARD están basados en la producción en masa, mientras que el costo del sistema de AIT-PVC se basa en pedido individual. Así pues el costo de la bomba manual AIT-PVC podría reducirse más

si la bomba se produjese en masa. El costo de la bomba manual AIT-PVC ascendió a 3100 Bath, mientras que las bombas manuales de DMR y ARD eran de 2800 y 3200 Bath, respectivamente.

Conclusión

El desempeño de la bomba manual de Waterloo se estudió en detalle tanto en condiciones de campo como en las de laboratorio. También se estudiaron las bombas manuales existentes en Tailandia y se evaluó su desempeño bajo condiciones simuladas. Tras una detenida observación en el laboratorio, las piezas subterráneas de la bomba de Waterloo se modificaron y se instalaron en 54 pozos y verificaciones durante 15 meses. A diferencia de las bombas manuales de plástico disponibles comercialmente y destinadas al uso en pozos pando (2-5 m), se vió que la bomba manual de Waterloo era aplicable hasta una profundidad de 20 m. Para pozos más profundos deberá emplearse un pistón de diámetro más pequeño.

Basado en la verificación de campo y en los resultados de las pruebas de laboratorio, se diseñó una versión modificada llamada la bomba manual AIT-PVC. A modo de experimento, se instalaron en el campo tres de estas bombas manuales y se observó su desempeño durante seis meses. Estas bombas se desempeñaron satisfactoriamente y fueron apreciadas por los aldeanos. Una de las

ventajas de esta bomba manual propuesta es el uso de un tubo vertical de PVC que actúa simultáneamente como cilindro de la unidad de bombeo.

Las pruebas de campo indicaron que las bombas manuales de Waterloo requieren algún mantenimiento y reparación. La parte más débil del sistema de bombeo era la válvula de pedal que a menudo tenía pérdidas en pozos que contenían partículas de arena en el agua. Sin embargo, no se pueden evaluar completamente los resultados ya que la frecuencia de uso de la bomba no se incluyó en el proceso de verificación.

Fuente de Documentación

ARD (Accelerated Rural Development Office). 1980. Improvement of handpump design in Thailand. Bangkok, Thailandia: Ministry of the Interior, ARD. Informe publicado bajo el patrocinio del Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, División de Control de Equipos.

Kingham, J.A. 1979. Progress report on testing of IDRC prototype pumps. Londres, Reino Unido, Consumers' Association.

NIDA (National Institute of Development Administration) 1978. Evaluación del programa nacional de abastecimiento de agua rural. Bangkok, Tailandia: NIDA. Informe de Investigación bajo el patrocinio conjunto de la Junta Nacional de Desarrollo Económico y Social y del Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (en tailandés).

Rudin, A. y Plumtree, A. 1978. Design for plastic hand pump and well. Waterloo, Ont., Canadá: University of Waterloo. Report No. 3 (Project 609-01-02).

Filipinas

Antonio Bravo

Este informe describe la prueba de campo de la bomba manual de Waterloo en Filipinas de enero de 1980 a mayo de 1982.

El proyecto trató de alcanzar los cuatro objetivos siguientes: (1) hacer una prueba de campo de la bomba manual de Waterloo en las regiones rurales; (2) sopesar su viabilidad técnica mediante la evaluación de su desempeño funcional en términos de eficacia volumétrica, eficacia mecánica y facilidad de uso; (3) determinar problemas relacionados con la operación y uso de la bomba y proporcionar soluciones para la mejora en el diseño y la confiabilidad de la bomba; y (4) evaluar las perspectivas de adopción eventual de la bomba de Waterloo en el programa nacional de desarrollo de bombas manuales.

De acuerdo con las especificaciones suministradas por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), se fabricaron e instalaron 30 modelos de la bomba manual de Waterloo en áreas específicas de Filipinas, a saber: Laguna, Cavite, Pangasinan, y Nueva Ecija. Los emplazamientos seleccionados eran comunidades rurales típicas donde el abastecimiento de agua constituye un problema y donde reside un mínimo de 10 a 20 usuarios.

Se realizaron visitas periódicas a los sitios de las bombas para verificar el desempeño de las mismas. Empleando un formato de verificación acordado por los representantes de los países participantes en la red de proyectos durante una reunión celebrada en Malasia en la segunda mitad del año 1980, se observaron y midieron varios parámetros.

Diseño y construcción de la bomba

Componentes subterráneos

El equipo del proyecto utilizó un tubo de cloreto de polivinilo (PVC) de 7,5 cm de diámetro para el entubado del pozo, que también funciona

como cilindro de la bomba. Las bombas, de 3 m de largo se acoplaron utilizando cemento solvente y acoplamientos PVC. Las dimensiones nominales del tubo eran de 88,7 mm OD \times 79,26 mm ID. El pistón fue labrado con material de PVC sólido. Se utilizaron dos anillos de polietileno cada uno de 76,5 mm de diámetro y 7,93 mm de espesor. El anillo superior del pistón era de 14,2 mm de ancho, y el inferior de 6,35 mm. Se perforaron en el pistón 8 agujeros de 6,35 mm (Fig. 1A).

El equipo del proyecto decidió utilizar una válvula de pedal irrecuperable. Tanto el pistón como la válvula de pedal eran básicamente similares, excepto que la válvula tenía agujeros más grandes que el pistón (12,7 mm) (Fig. 1B). Por consiguiente, se rediseñó la válvula de pedal y en lugar de los dos anillos de polietileno se utilizó una junta obturadora de caucho (ID 59,5 mm y OD 88,9 mm).

Se modificó nuevamente la válvula de pedal incorporándole un resorte de latón. También se arregló el asiento de la válvula para impedir que las partículas de arena produjesen un acuñaamiento entre la válvula de charnela y la base (Fig. 2).

Se utilizaron como varilla de pistón tubos de PVC (OD 26,8 e ID 20,5 mm). Estos tubos tenían 3 m de longitud y estaban unidos por acoplamientos y cemento solvente de PVC. En varias bombas se incorporó durante la instalación un filtro de pantalla de PVC (aproximadamente 3 m de largo). Esta pantalla colectora de arena se improvisó cortando ranuras diagonalmente a lo largo de una sección del tubo de PVC con una sierra metálica. Estas ranuras estaban a una distancia de 6 mm y 2,5 cm a lo largo del tubo. Para darle una forma cónica, se cortó y dobló el extremo del filtro.

Elementos superficiales

Los elementos superficiales consistían en un montaje de manija de madera, un yugo de metal, un pedestal de hormigón y una plataforma de hormigón reforzado con barras de acero de 1,25 cm. La manija de madera se conectó originalmente a la varilla de pistón mediante una faldilla de metal. Esta faldilla estaba conectada por un perno a un bloque de acero en el que se atornilló un ajuste de latón conectado a la varilla de pistón. Un problema en el diseño de este eslabón originó que la varilla de pistón se torciese durante la operación, lo que fue corregido utilizando una barra de hierro sólida para la porción superior de la varilla de pistón (Fig. 3). El pedestal de la bomba estaba

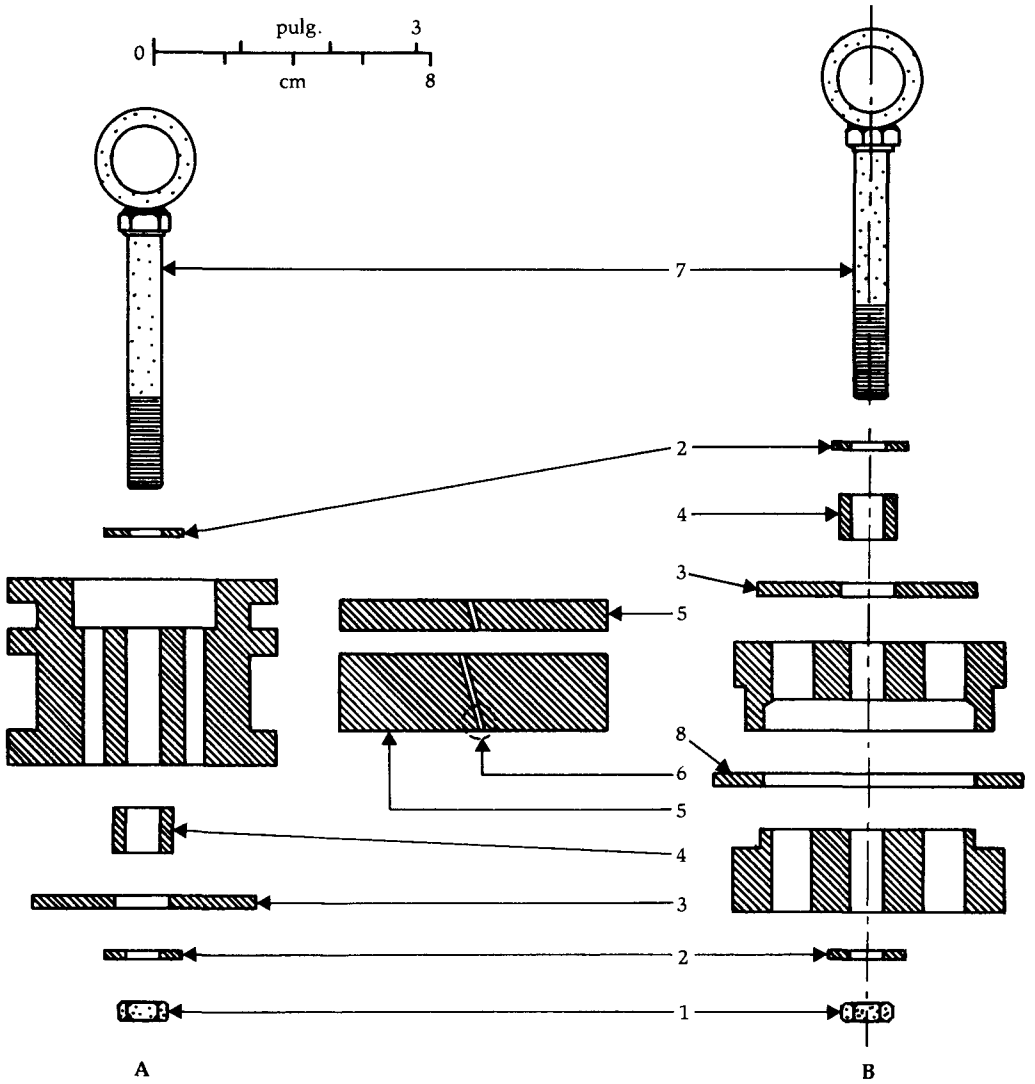


Fig. 1. (A) Pistón y (B) válvula de pedal original: (1) tuerca hexagonal; (2) arandela simple; (3) casquillo de válvula plástica; (4) guía deslizante del casquillo; (5) anillo de plástico del pistón; (6) corte diagonal; (7) perno roscado con unión soldada en el lugar; y (8) cierre de caucho.

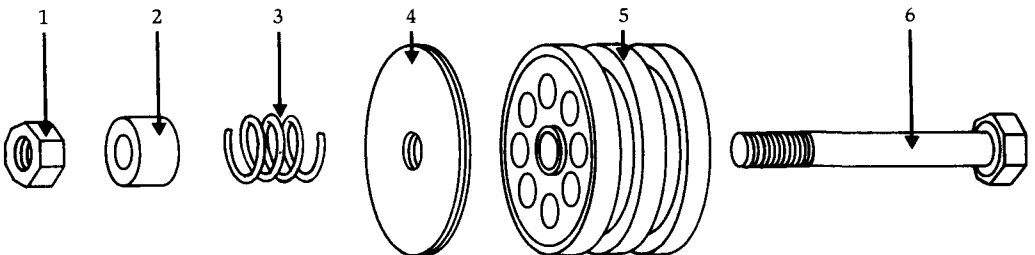


Fig. 2. Válvula de pedal modificada: (1) tuerca; (2) casquillo de la válvula de latón y guía deslizante; (3) resorte de latón; (4) válvula de charnela; (5) válvula de PVC; y (6) perno roscado.

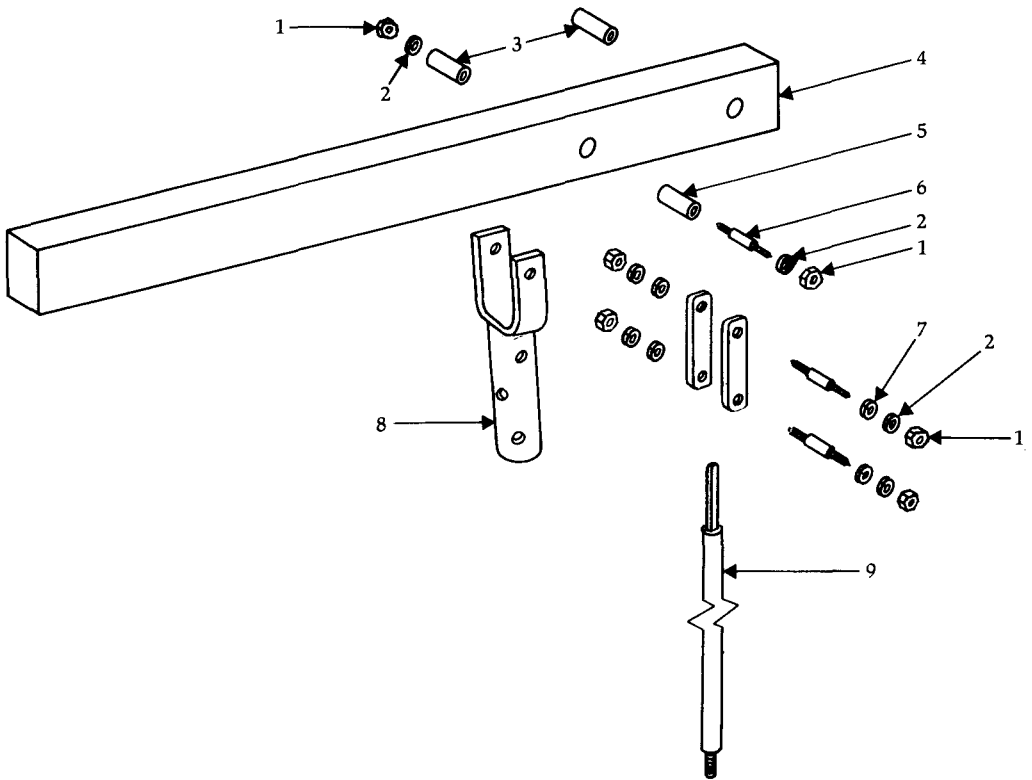


Fig. 3. Versión modificada de los elementos de superficie: (1) tuerca; (2) arandela de cierre; (3) cojinete de manija de latón; (4) manija de madera; (5) cojinete de manija de metal; (6) perno; (7) arandela; (8) tubo de sostén de la manija; y (9) barra de hierro sólida.

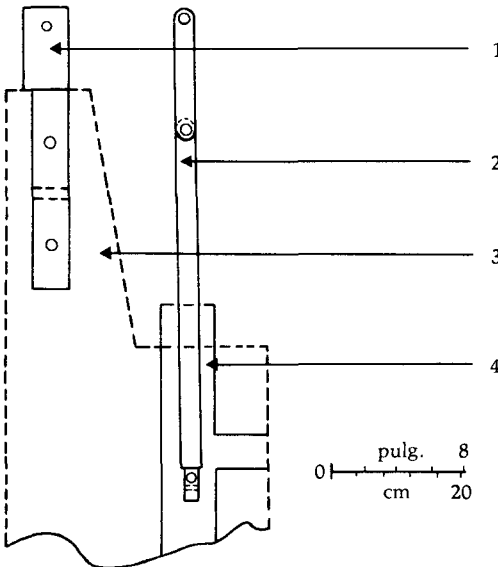


Fig. 4. Detalles del pedestal de hormigón de la bomba: (1) tubo de sostén de la manija; (2) barra de hierro sólida; (3) hormigón; y (4) tubo galvanizado de 7,5 cm.

hecha de hormigón (Fig. 4) y la plataforma sobre la que se montó la bomba tenía 1,5 × 3 m de placa de hormigón de aproximadamente 15 cm de espesor.

El pistón estaba unido a la varilla de la bomba mediante un conector de latón, uno de cuyos extremos estaba atornillado al perno sobre el pistón mientras que el otro estaba inserto dentro del vástago de la bomba PVC y cerrado con un pasador.

Técnicas de Verificación

Los siguientes parámetros se midieron por lo menos una vez por mes y los resultados se resumen en el Cuadro 1 y la Figura 5.

La eficacia volumétrica fue determinada como sigue: El número teórico (ésimo) de golpes necesarios para llenar una lata de 20 L se calculó según la fórmula:

$$\text{ésimo golpes} = v / [(\pi(D^2 - d^2/4)) [(L/1000)]]$$

donde: v = volumen del recipiente; D = diámetro interior del pozo; d = diámetro exterior de

Cuadro 1. Resumen de datos de desempeño.^{ab}

No. de bomba	Tipo	Fecha instalada	No. de usuarios	Eficacia volumétrica (%)	Carga hidrostática (m)	Prod. agua promedio (L/día)	Período verificado
PA ₄	impelente	5/2/81	12	60	1,93	715	1/3/81-15/5/82
PA ₅	impelente	1/3/81	15	64	2,63	800	1/4/81-15/5/82
NE ₁	impelente	30/9/81	8	56	1,41	1000	30/10/81-15/5/82
NE ₂	impelente	12/10/81	150	63	0,99	2100	15/11/81-15/5/82

^aNo se ha hecho ninguna observación sobre el período de paralización por avería o sobre mantenimiento y reparaciones.

^b1 m = 3,28 pies; L = 0,22 galones

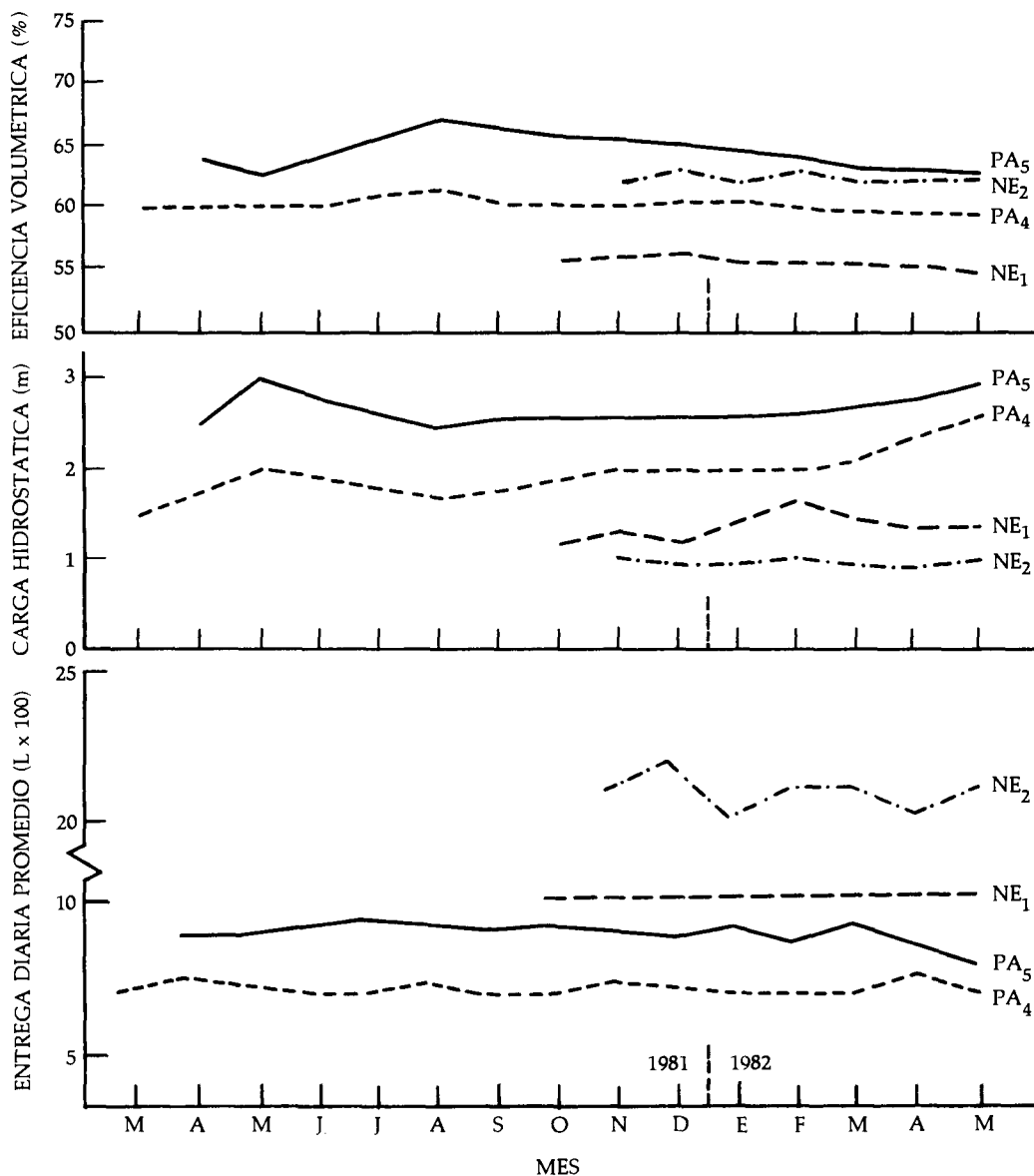


Fig. 5. Eficacia volumétrica, carga hidrostática promedio y promedio mensual de la entrega diaria promedio de las cuatro bombas durante las pruebas de campo.

la varilla de pistón; y L = longitud del recorrido o golpe.

A una frecuencia estándar de aproximadamente 40 golpes/minuto, se llenó completamente el recipiente de 20 L mientras se contaba el número real (n_c) de golpes. Posteriormente se computó la eficacia volumétrica de acuerdo con la fórmula:

$$\text{Eficacia volumétrica (\%)} = \frac{\text{ésimo}}{n_c} \times 100$$

Se midió la carga hidrostática o columna de agua (distancia entre el nivel del agua en el pozo y el caño de la bomba) utilizando una sarta calibrada que tenía un flotador como contrapeso en un extremo.

Puesto que no se instaló ningún contador para calcular el uso de la bomba, el volumen total de agua bombeada fue estimado. Los verificadores de la aldea registraron el número de recipientes de 20 L (suministrados al pie de la bomba para este fin) que la gente había bombeado por día. Esto se utilizó como base para evaluar la cantidad de agua bombeada por mes.

El grosor de los anillos de pistón, superior e inferior, fue medida mensualmente en tres puntos. También se determinó posteriormente el índice porcentual de desgaste con base en medidas anteriores y actuales.

Puntos Descollantes de los Hallazgos

Los participantes en el proyecto pudieron instalar 30 bombas Waterloo en varias regiones: las Islas Jala Jala en Laguna (10), Cavite (9), Pangasinán (7) y Nueva Ecija (4). De estas 30 bombas, solo cuatro (13%) se consideraron funcionales/operacionales y apropiadas para fines de verificación. Las otras 26 bombas fueron eventualmente abandonadas ya que tenían uno o más de los siete problemas siguientes: (1) alto índice de filtración; (2) los usuarios las encontraban difíciles, arduas e inconvenientes porque la extracción del agua tomaba mucho tiempo. (Uno de los usuarios describió la situación con humor: "extraemos nuestro sudor primero que el agua"); (3) válvula de pedal defectuosa; (4) hundimiento del pozo; (5) la gente abandonaba su uso porque empezaban a sacar agua salobre y con barro; (6) el pistón se atascaba y no podía ser extraído; y (7) la válvula de pedal resbalaba del entubado y caía al pozo.

Ante las otras alternativas (eyectores hidráulicos o bombas de émbolo) los usuarios eventualmente las usaban. La bomba manual original de Waterloo, fabricada de acuerdo con las especificaciones, no funcionó durante las primeras prue-

bas tan eficazmente como se había esperado. Se hicieron las siguientes observaciones específicas.

La válvula de pedal no retenía el agua satisfactoriamente debido a que: (1) la arandela original o cierre (anillo de polietileno) no era efectiva; (2) las partículas de arena atrapada entre la válvula de charnela y el asiento de la válvula causaban un mal asentamiento de la válvula; y (3) quedaba un espacio libre excesivo entre la guía de la válvula y la válvula de charnela. El desempeño del pistón era similar al de la válvula de pedal.

Filtro

El filtrador de PVC no funcionó adecuadamente, probablemente porque las ranuras de la pantalla eran demasiado grandes y permitían la filtración de arena fina y limo. En otros casos, los pozos no estaban adecuadamente preparados.

Tratando de superar estos problemas, se le hicieron cambios a la válvula de pedal que incluían la incorporación de un resorte de latón, con una arandela de caucho y el achaflanado del asiento de la válvula para impedir la entrada de partículas de arena. Estas modificaciones mejoraron ligeramente el desempeño de las bombas. Sin embargo, no es posible afirmar concretamente si la mejora del desempeño se debió exclusivamente a las modificaciones o al hecho de que los pozos tenían cabezas de bombeo más bajas: las cuatro bombas operacionales tenían una carga hidrostática inferior a 3 m.

Incluso cuando se ensayó el diseño de la válvula de pedal malasia, prosiguieron los problemas técnicos de las válvulas de pedal. Una de las conclusiones interesantes que intrigaba al equipo era el índice de filtración registrado en todos los pozos. Aunque se había instalado un resorte más fuerte para la válvula de charnela, el índice de filtración seguía siendo alto. Ello implicaba que se requerían de 50-70 golpes de manija para aumentar la columna de agua y poderla obtener; sin embargo, después de un corto período sin bombear, el nivel del agua en la columna caía nuevamente al nivel del agua subterránea, y había que repetir el cebado. En regiones con una capa freática elevada, como Aliaga, Nueva Ecija y Pangasinán, este tedioso proceso no era mayor problema; pero en pozos profundos esto era muy serio.

Una posible explicación del problema de filtración puede ser que la intrusión de arena interfiere con el montaje de la válvula de pedal. Debido a la fuerte succión del pistón, es posible que el agua que entra a la válvula de pedal cause turbulencia en el depósito de agua, lo que perturba las partí-

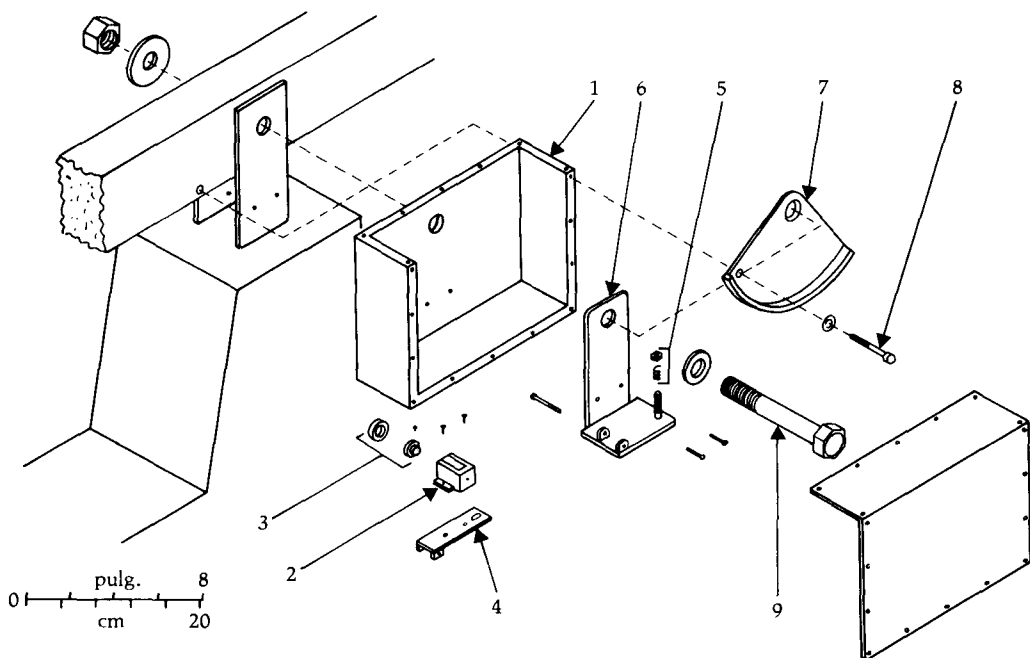


Fig. 6. Diseño del montaje para el contador mecánico: (1) caja o cárter; (2) contador; (3) rueda del contador y anillo de caucho; (4) sostén del contador; (5) tuerca de ajuste y resorte del contador; (6) montaje de guía (7) balancín; (8) eje del balancín; y (9) pasador de la manija de la bomba.

culas de arena en la pared del pozo. Al quedar suspendidas en el agua, estas partículas son arrastradas al tubo de elevación. Cuando cesa el bombeo, las partículas de arena se sientan causando el mal funcionamiento de la válvula de pedal. Siempre se encontró arena al inspeccionar en la válvula de pedal. Otro factor que se estudió fue la calidad de la mano de obra de la válvula de pedal. Sin embargo, las pruebas de filtración en laboratorio no apuntaron a este problema. El alto índice de filtración es todavía un problema por resolver.

Contador mecánico

Se hicieron varios diseños para medir el recorrido del pistón mediante un contador. El diseño inicial se basó en un volante revestido de caucho que se conectaba a la varilla de pistón. Sin embargo, este diseño dificultaba el libre movimiento de la manija de la bomba limitando el recorrido de la varilla impidiéndole alcanzar la longitud de recorrido deseado. Este problema se debió a la peculiaridad del diseño de los elemen-

tos superficiales. Este diseño fue descartado y se probó otro en el cual la montura fue instalada paralelamente a la manija de la bomba (Fig. 6). Si bien las observaciones iniciales sugieren que el diseño era factible, los problemas de los altos índices de filtración impidieron una mayor experimentación con la montura.

Resumen

Pese a los problemas importantes surgidos en esta investigación, la idea de utilizar materiales plásticos como elementos de la bomba no ha sido totalmente descartada en Filipinas. El equipo del proyecto cree que, con nuevas oportunidades para investigar diseños adecuados a las condiciones locales, se puede desarrollar una bomba manual apropiada para su uso en el país. Por tanto, los diseños técnicamente mejorados de bombas manuales de plástico deben todavía demostrar sus ventajas para el desarrollo de sistemas rurales de abastecimiento de agua.

Malasia

Goh Sing Yau

Malasia tiene una población aproximada de 13 millones de habitantes, de los cuales cerca del 70% vive en el área rural, allí más de la mitad de las viviendas carece de acueducto. A finales de los 60, la Unidad de Ingeniería Ambiental (actualmente llamada División de Servicios Técnicos) del Ministerio de Salud inició un programa para mejorar el abastecimiento de agua rural. Parte del programa incluirá la perforación anual de 2000 nuevos pozos y su dotación con bombas manuales cada uno para abastecer cuatro a cinco hogares.

Actualmente, todas las bombas manuales instaladas por el Ministerio de Salud son importadas. Debido al nivel freático relativamente alto en la mayor parte de las tierras bajas de Malasia, la mayoría de las bombas manuales instaladas por el Ministerio de Salud son de succión, como las bombas manuales Dragon, Fuji y Gibson. En terrenos montañosos y pozos más profundos se ha instalado una cantidad limitada de bombas manuales impelentes, como la de Dempster y la India Mark II. El Ministerio de Salud ha comprobado que a menudo las bombas de succión no duran más de un año. Las bombas impelentes, que cuestan mucho más que las de succión, son más fuertes y duran más. Sin embargo, los repuestos para ambos tipos, especialmente las piezas de metal fundido, no son fáciles de obtener localmente. Esto ha llevado a usar partes de unas para arreglar otras, lo cual mantiene algunas bombas en operación, mientras otras se abandonan por falta de repuestos.

Este proyecto conjunto del Ministerio de Salud y el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Malaya se inició con el fin de superar algunas de estas dificultades. Su principal objetivo era desarrollar una bomba manual relativamente barata que se pudiese producir localmente con materiales disponibles al mismo nivel. La bomba manual debía ser de diseño sencillo y poder ser mantenida por los usuarios rurales.

Si bien las bombas manuales existen desde hace muchos años, hoy día se han emprendido nume-

rosos estudios motivados en el reconocimiento de que ellas desempeñan un papel importante en el abastecimiento de agua potable a la mayoría de la población rural de los países en desarrollo. En 1978, el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) auspició el diseño de una bomba manual plástica de PVC para ser usada en los países en desarrollo. Los estudios iniciales se realizaron en la Universidad de Waterloo y posteriormente la Asociación de Consumidores del Reino Unido llevó a cabo más pruebas. Las principales ventajas de esta bomba manual de cloruro de polivinilo (PVC) sobre las bombas tradicionales de metal fundido incluyen: (1) procedimientos de fabricación simples debido a que las piezas de PVC pueden ser soldadas con solventes; y (2) el mantenimiento por los usuarios del área rural es factible porque el PVC es relativamente liviano y la bomba es más fácil de sacar del pozo para su inspección y mantenimiento.

Estudio Actual

Los resultados de este informe cubren el período de enero de 1979 a junio de 1982. La primera etapa del proyecto duró aproximadamente un año y representó un estudio analítico y una investigación paralela experimental para determinar los parámetros críticos de un diseño óptimo para la bomba manual plástica de movimiento recíproco. Durante la segunda etapa del proyecto, se fabricaron y probaron en terreno durante 8,5 meses, 17 bombas manuales en dos zonas rurales.

En este informe se han omitido los detalles sobre la investigación de laboratorio (véase Goh 1980).

La bomba de émbolo alternativo o de vaivén examinada aquí consiste esencialmente en un tubo de extracción con dos válvulas idénticas. La válvula inferior (válvula de pedal) está en una posición fija al fondo del tubo de extracción, inmersa en el agua. La válvula superior (válvula de émbolo) se une a la varilla de pistón que mueve la válvula de pistón en un movimiento recíproco a una corta distancia sobre la válvula de pedal. El ciclo de operación está ilustrado en la Figura 1.

Análisis Teórico

Tras un análisis de las fuerzas que actúan sobre la varilla de pistón para cada recorrido, se puede construir el correspondiente diagrama de desplazamiento de la fuerza (Fig. 2). La forma rectangular normal del diagrama de desplazamiento de

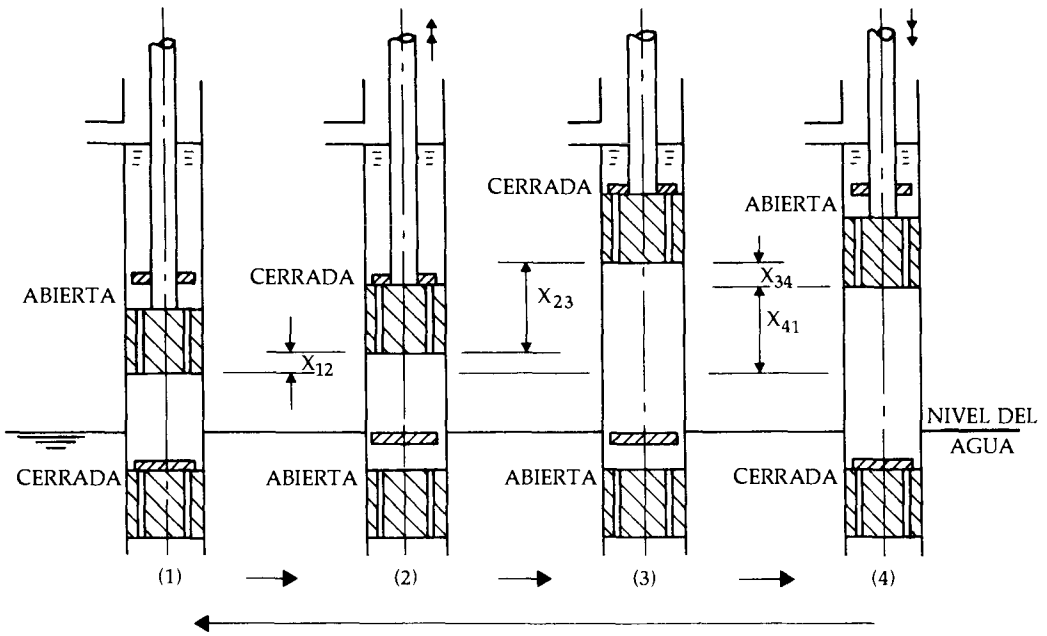


Fig. 1. Ciclo de operación de la bomba manual de movimiento recíproco.

fuerza está distorsionada por los siguientes factores: (1) las demoras de la válvula x_{12} y x_{34} correspondientes a los recorridos o golpes 1 a 2 y 3 a 4 en la Figura 1; (2) las fuerzas de resistencia de la presión $\Delta p A_p$ durante los recorridos 2 a 3 y 4 a 1; y (3) la fuerzas F_U y F_D .

El insumo de trabajo durante el ciclo de operación de la bomba está dado por el área encerrada por el diagrama de desplazamiento de la fuerza. Para un caso general, el área del diagrama de desplazamiento de fuerza está dado por la fórmula:

$$\oint FdL = A_p \rho g h_T L_o (1 - x/L_o) + F_T L_o + A_p \oint \Delta p dL \quad [1]$$

donde los términos del lado derecho (RHS) representan el insumo de trabajo requerido: para implever el agua (primer término); para superar las fuerzas friccionales (segundo término); y para superar las fuerzas de resistencia de presión (tercer término).

La eficacia volumétrica (η_{vol}) puede definirse como el volumen real de agua entregada por ciclo dividido por el volumen desplazado durante el golpe de succión:

$$\eta_{vol} = [(L_o - x_{12} - x_{34})A_p - V_L]/L_o A_p$$

por consiguiente:

$$\eta_{vol} = 1 - x/L_o - V_L/(L_o A_p) \quad [2]$$

donde los términos en el RHS representan el efecto: demora de la válvula (segundo término); y

la filtración más allá del pistón (tercer término).

La eficacia volumétrica es, por consiguiente, una medida del desperdicio de la capacidad posible del rendimiento volumétrico. Las demoras de la válvula y al filtración más allá del pistón disminuyen la eficacia volumétrica.

La eficacia mecánica (η_{mech}) puede definirse como el trabajo realizado al subir el agua dividido por el insumo de trabajo, o sea:

$$\eta_{mech} = \eta_{vol} \rho g L_o A_p h_T / \oint FdL$$

Substituyendo las ecuaciones [1] y [2] por esta ecuación, tenemos [3]:

$$\eta_{mech} = \frac{1 - V_L/[L_o A_p (1 - x/L_o)]}{1 + [F_T/A_p + (\oint \Delta p dL)/L_o]/[\rho g h_T (1 - x/L_o)]} \quad [3]$$

Para el caso limitante en que la filtración, fricción y pérdidas de resistencia de presión sean insignificantes ($V_L = F_T = \Delta p = 0$), entonces $\eta_{mech} = 100\%$. Nótese que, para el caso limitante, x/L_o no necesita ser cero. En otras palabras, si la filtración, fricción y pérdidas de resistencia de presión son insignificantes, la eficiencia mecánica es independiente de la demora de la válvula. La eficiencia mecánica es, por consiguiente, una medida del desperdicio del esfuerzo mecánico como resultado de la filtración, fricción y pérdidas de resistencia de presión.

Las ecuaciones [2] y [3] requieren un conocimiento de los elementos desconocidos x (la demora total de la válvula), V_L (la filtración más allá del pistón), Δp (las pérdidas de resistencia

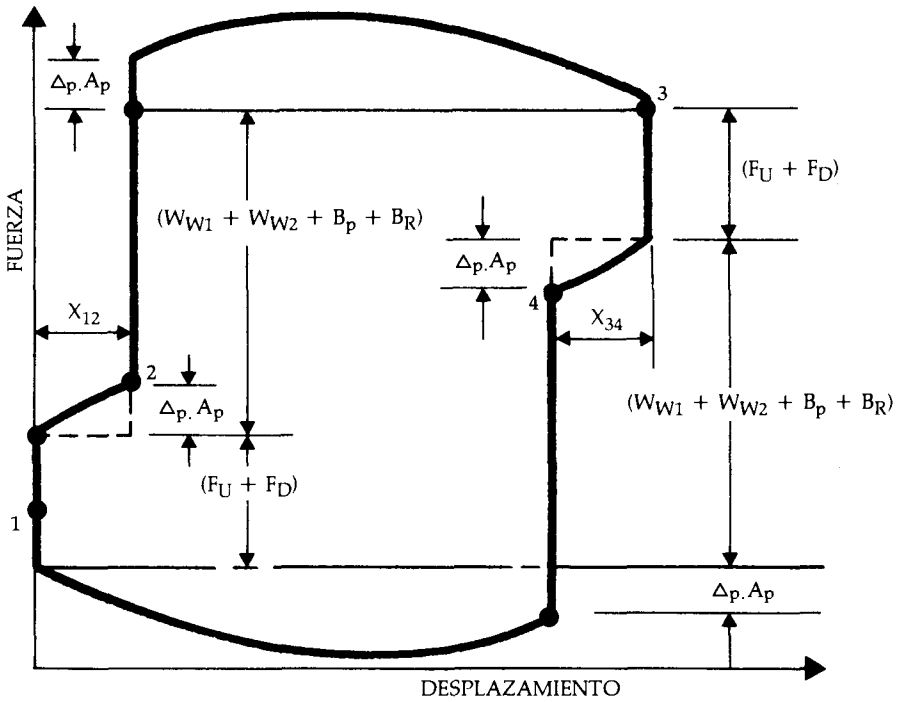


Fig. 2. Diagrama de desplazamiento de la fuerza.

de presión), y F_T (la fuerza de fricción total que actúa sobre el pistón). Aparte del F_T que debe ser determinado por los experimentos, los otros elementos desconocidos se pueden deducir.

La demora en el cierre de la válvula puede ser importante si la tapa de la válvula es liviana o el intersticio de la válvula es grande, o ambas cosas. La magnitud de la demora de la válvula puede determinarse estudiando el movimiento relativo de la tapa de la válvula (que cae por su propio peso) y el asiento de la válvula sobre el pistón (que se mueve con un movimiento recíproco vertical). Se puede mostrar que la demora de la válvula es una función del peso de la tapa de la válvula, la altura del intersticio de la válvula y la filtración más allá del pistón.

En el diseño actual, el pistón de PVC ajustado con dos anillos de pistón de polietileno se desliza en un cilindro ligeramente más grande que el pistón. La acción del cierre hidráulico se efectúa mediante los anillos del pistón que están en "contacto" con la pared del cilindro a través de una delgada película lubricante de agua. Al examinar el flujo de agua en el estrecho pasaje anular entre la superficie externa de los anillos de pistón y la pared interna del cilindro, se puede mostrar que la pérdida más allá de los anillos de pistón está dada por:

$$V_L = C_1 d_p h_T / N \quad [4]$$

donde C_1 es una constante para un juego particular de anillos.

Las fuerzas de resistencia de presión ocurren como resultado de caídas de presión a través del pistón y la válvula de pedal y se pueden expresar de la manera siguiente:

$$\Delta p = D \cdot 5k_T \rho U_o^2 \quad [5]$$

donde k_T es el coeficiente de pérdida de presión que puede ser determinado mediante la geometría y velocidad del flujo de agua a través de los orificios en el pistón y la válvula de pedal.

El análisis anterior deja de lado los efectos de aceleración y retardo del agua sobre el pistón así como las oscilaciones inducidas en la varilla de pistón como resultado de una carga de impacto sobre el cierre repentino de la válvula de pistón. Sin embargo, se puede mostrar que el área del diagrama de desplazamiento de fuerza no está afectada por las fuerzas de aceleración y retardo ya que el trabajo de uno queda cancelado por la fuerza absorbida por el otro. Análogamente, se puede demostrar que debido a que las oscilaciones inducidas en la varilla del pistón están ligeramente humedecidas, la disipación de energía es pequeña. Por lo tanto, parece que este simple análisis es

adecuado como puede demostrarse comparando las predicciones con los datos experimentales.

Investigación Experimental

El arreglo experimental para probar las bombas manuales consistió esencialmente en un montaje de bomba manual que elevaba el agua a un máximo de 9 m desde un depósito central de nivel constante. Cuando es necesario se puede convertir al montaje para que eleve el agua de 6 ó 3 m. El agua a la salida de la bomba manual se devolvió al depósito central a través de un tubo de retorno. La bomba manual fue accionada con un motor DC de 1 caballo de fuerza mediante un engranaje de reducción y montaje de transmisión de cadena. El movimiento rotativo del volante fue convertido en un movimiento vertical recíproco mediante un pasador y un deslizante. Se hicieron agujeros de montaje en varias distancias desde el centro del volante para cambiar la longitud del recorrido o golpe cuando fuese necesario. La velocidad del golpe podía variar cambiando la velocidad del motor DC. Esto se logró variando el voltaje de entrada a la bobina del inducido mientras se mantenían 240 V completos a través de la bobina inductora del motor DC.

La tensión de la varilla de la bomba fue medida por cuatro medidores de tensión sobre un anillo de pruebas unido al extremo superior de la varilla de la bomba. El desplazamiento fue medido por un transductor de desplazamiento potenciomé-

trico de 25 cm conectado al pasador en el deslizante. Las señales de producción de los medidores de tensión y el transductor de desplazamiento fueron alimentados mediante un medidor de tensión dinámico a un osciloscopio de almacenamiento. Se utilizó una cámara de fotografía instantánea Polaroid para registrar el desplazamiento de la tensión sobre la pantalla del osciloscopio.

Es importante asegurar que la relación de fuerza aplicada y la tensión registrada sea lineal. Esto se puede verificar mediante una prueba de calibración. Para el caso lineal, el área del sinfin de desplazamiento de fuerza es igual al insumo de fuerza por ciclo. El área puede obtenerse mediante integración mecánica utilizando un planímetro.

Las Figuras 3 y 4 incluyen una muestra de las predicciones de eficacias volumétricas y mecánicas computadas del modelo matemático y los resultados experimentales obtenidos en las investigaciones experimentales paralelas. Nuevas comparaciones de las predicciones y de los datos experimentales sobre una gama de parámetros demostró que las predicciones están notablemente de acuerdo con los resultados experimentales que consideran el modelo simple utilizado en el presente análisis (Goh 1980).

La investigación de laboratorio demostró que la pérdida más allá del pistón, la fricción entre los anillos y el cilindro de la bomba, y las caídas de presión a través del pistón y la válvula de pedal tienen un efecto muy pronunciado sobre el desempeño de la bomba tal como está caracterizada por las eficacias volumétricas y mecánicas.

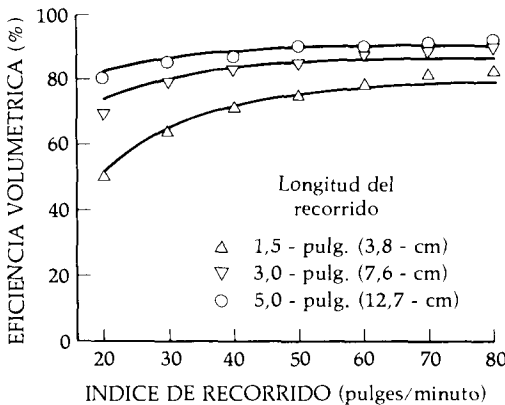


Fig. 3. Variación de la eficiencia volumétrica con la velocidad de la aplicación del recorrido para 3 longitudes de recorrido (líneas teórica y puntos de datos experimentales): distancia o intervalo de válvula, 0,113 pulg. (2,87 mm); peso de la válvula, 0,029 lb (fuerza) (13,15 g); relación, orificio/pistón, 16,4% y carga hidrostática, 230 pulg. (3,66 m).

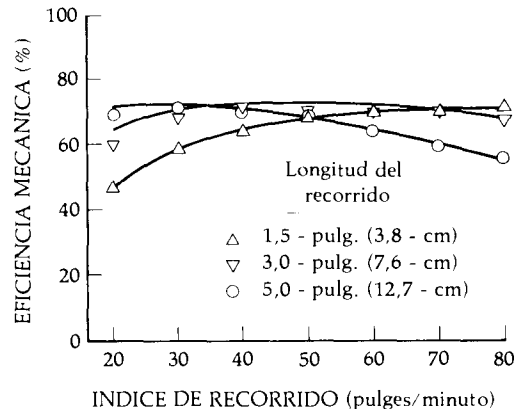


Fig. 4. Variación de la eficiencia con la velocidad de aplicación del recorrido para 3 longitudes de recorrido (líneas teóricas y puntos de datos experimentales): distancia o intervalo de válvula, 0,113 pulg. (2,87 mm); peso de la válvula, 0,029 lb (fuerza) (13,15 g); relación de área orificio/pistón, 16,4%; carga hidrostática, 230 pulg. (3,66 m).

Diseño Óptimo

Es difícil especificar un diseño óptimo ya que, por razones prácticas, debe ser un acuerdo entre una variedad de factores, como sencillez, facilidad de fabricación, costos y también altas eficiencias volumétricas y mecánicas. Sin embargo, se pueden hacer los siguientes comentarios.

La relación de áreas orificio en el pistón y la válvula de pedal debe ser suficientemente grande para prevenir caídas de la alta presión a la velocidad deseada de operación. Para la configuración actual, un valor que sobrepase el 15% es satisfactorio.

La velocidad del pistón, que es un producto de la longitud del golpe o recorrido y de la velocidad de aplicación del golpe o recorrido, debe ser suficientemente alta como para asegurar baja filtración más allá de los anillos del pistón. Un muchacho que opera una bomba manual puede lograr una velocidad promedio de pistón del orden de 761 cm/minuto, es decir, un golpe de 12,7 a 30 golpes/minuto o sea un golpe de 7,62 cm a 50 golpes/minuto.

El peso de la válvula debe asegurar una mínima demora de cierre en el intersticio de válvula determinado. Un intersticio de válvula demasiado pequeño probablemente aumenta la caída de presión a través del pistón y de la válvula de pedal, lo que resulta en la disminución de la eficiencia mecánica. Una tapa de válvula que pesa entre 13,6 y 27,2 g y que opera con un intersticio de válvula de 0,64 cm ofrece un desempeño satisfactorio.

La columna de agua incrementada aumenta la filtración más allá de los anillos del pistón, disminuyendo la eficiencia volumétrica. Sin embargo, si la bomba se opera a una velocidad de pistón suficientemente alta, se reduce bastante el efecto.

Puesto que la acción obturadora en el pistón es realizada por los anillos del mismo, las variaciones dimensionales de espacio muerto entre el pistón y el tubo de extracción no tienen efecto sobre la característica del desempeño cuando son pequeñas. No se ha observado ningún deterioro importante en el desempeño con una diferencia hasta de 0,4 cm en el diámetro del pistón y del cilindro de la bomba.

Dado que el uso de una entrada cónica en el pistón y la válvula de pedal solo ejerce un pequeño efecto sobre la eficiencia mecánica a velocidades operativas normales, la sencillez de la entrada de contracción repentina puede retenerse para ahorrar costos de fabricación. Sin

embargo, de preferencia los agujeros deberían ser ligeramente achaflanados a la entrada y a la salida.

Investigación de Campo

En el diseño de las bombas, existe cierta "profundidad máxima de succión" por debajo de la cual no es posible ya extraer agua por succión. Por debajo de esta profundidad, el agua debe elevarse bien por el método impelente o por algún otro sistema. Esta distinción es importante ya que una bomba manual de succión es generalmente más sencilla y menos costosa que una bomba impelente.

En la mayor parte de las tierras bajas de Malasia, la capa freática es relativamente alta y con frecuencia se puede encontrar agua a profundidades inferiores a la profundidad máxima de succión de aproximadamente 8 m. En regiones montañosas y en algunas excepciones de las tierras bajas, la capa freática se encuentra algunas veces por debajo de la profundidad máxima de succión. Por consiguiente, en Malasia se requieren dos variaciones al diseño básico de la bomba manual, a saber: la bomba manual de succión y la bomba manual impelente.

Las Figuras 5 y 6 muestran las características principales del diseño actual de las bombas manuales de succión e impelente. Las características comunes de estas dos bombas manuales son: (1) un pedestal de acero suave; (2) un sistema de palancas que consiste en eslabones de madera, uniones de hierro galvanizado; y cojinetes de madera galvanizados impregnados de hierro/aceite; (3) un cilindro de bomba de PVC; (4) un pistón de PVC con dos anillos de polietileno; y (5) una válvula de pedal de PVC removible con un cierre de caucho.

El pedestal de acero suave brinda un soporte firme para el cilindro de la bomba y el sistema de palanca. Los eslabones de madera se utilizan por ser fáciles de conseguir y reemplazar. Los cojinetes de madera impregnados de aceite han sido probados en el laboratorio (Sternberg 1980) mostrando características sobresalientes de desempeño. El uso de un pistón de PVC con dos anillos de polietileno que se deslizan en un cilindro de bomba de PVC reduce substancialmente la fricción sin sacrificar la alta eficiencia volumétrica (Goh 1980). La pieza básica de PVC para el pistón y la válvula de pedal es idéntica. Esto permite ahorrar gastos al utilizar un modelo de inyección para ambas.

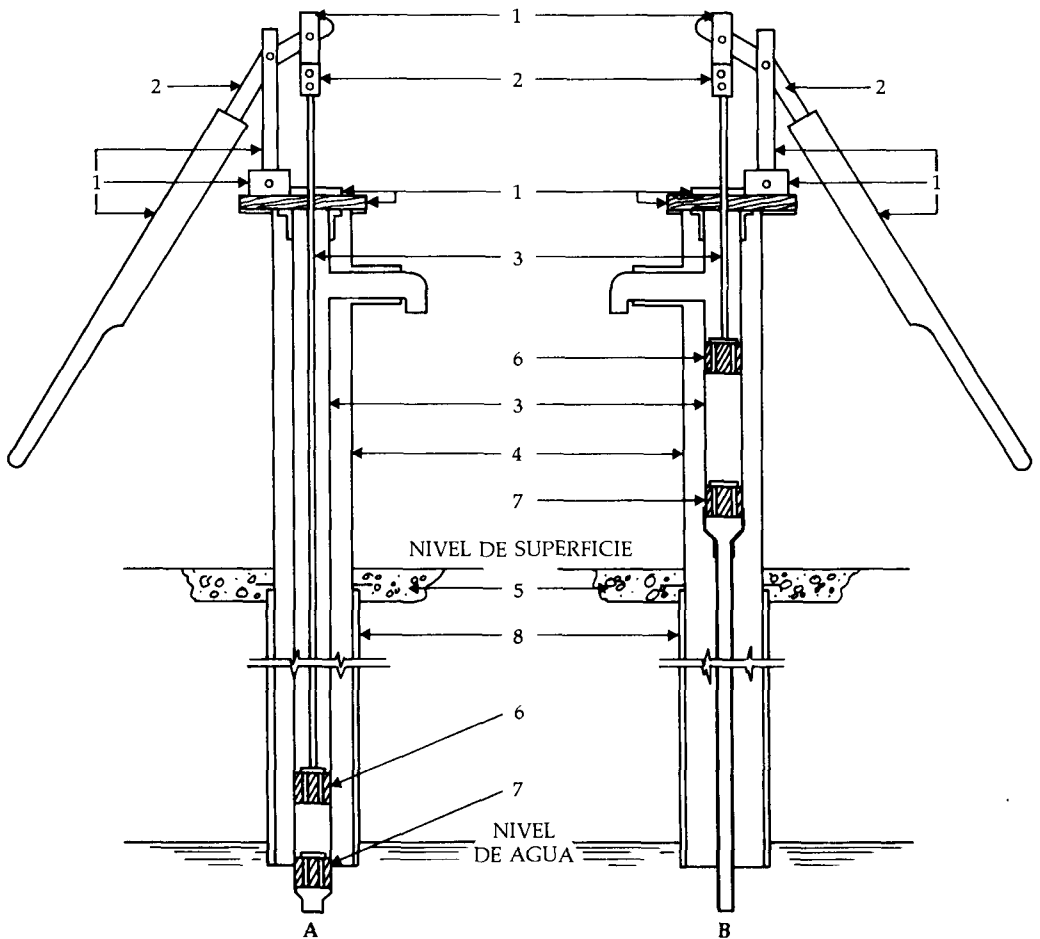


Fig. 5. Bombas impelentes (A) y de succión (B): (1) piezas de madera; (2) piezas galvanizadas; (3) piezas de PVC; (4) pedestal de acero suave; (5) hormigón; (6) pistón; (7) válvula de pedal; y (8) tubo de revestimiento.

Prueba de campo

Se fabricaron e instalaron 12 bombas de succión y 5 bombas impelentes para pruebas de campo en dos zonas rurales de Malasia. El programa de pruebas tuvo por objetivo evaluar tanto el desempeño técnico bajo condiciones de campo como la viabilidad económica de su adopción a gran escala en Malasia rural.

Técnicas de medición para uso en terreno

Hay toda una variedad de técnicas de medición del desempeño técnico que no pueden utilizarse en el campo porque requieren un complejo equipo electrónico por las dificultades físicas del sitio donde se coloca la bomba manual. Para el programa de evaluación de campo se han desarrollado varias técnicas y aparatos sencillos de medición en terreno.

Profundidad de la capa freática En este método, se determina el nivel del agua en el pozo mediante la diferencia entre la resistencia eléctrica del agua y la del aire. El equipo consiste básicamente en un cable bifilar o de dos conductores y un cabezal de prueba y sus extremos entran en dos agujeros laterales y descargan con la superficie en cualquier lado del cabezal de prueba. El cabezal de prueba es accionado con un ángulo cónico total de 20° y superficie pulida para facilitar el secado cuando la sonda es sacada del agua. Un contador de prueba múltiple capaz de efectuar mediciones en una gama de hasta 300 kohms se conecta al otro extremo del cable bifilar para medir la resistencia a través de los dos terminales. Cuando los terminales están expuestos al aire, el contador de prueba múltiple registra circuito abierto. Cuando los terminales están sumergidos en el agua, el contador registra en el orden

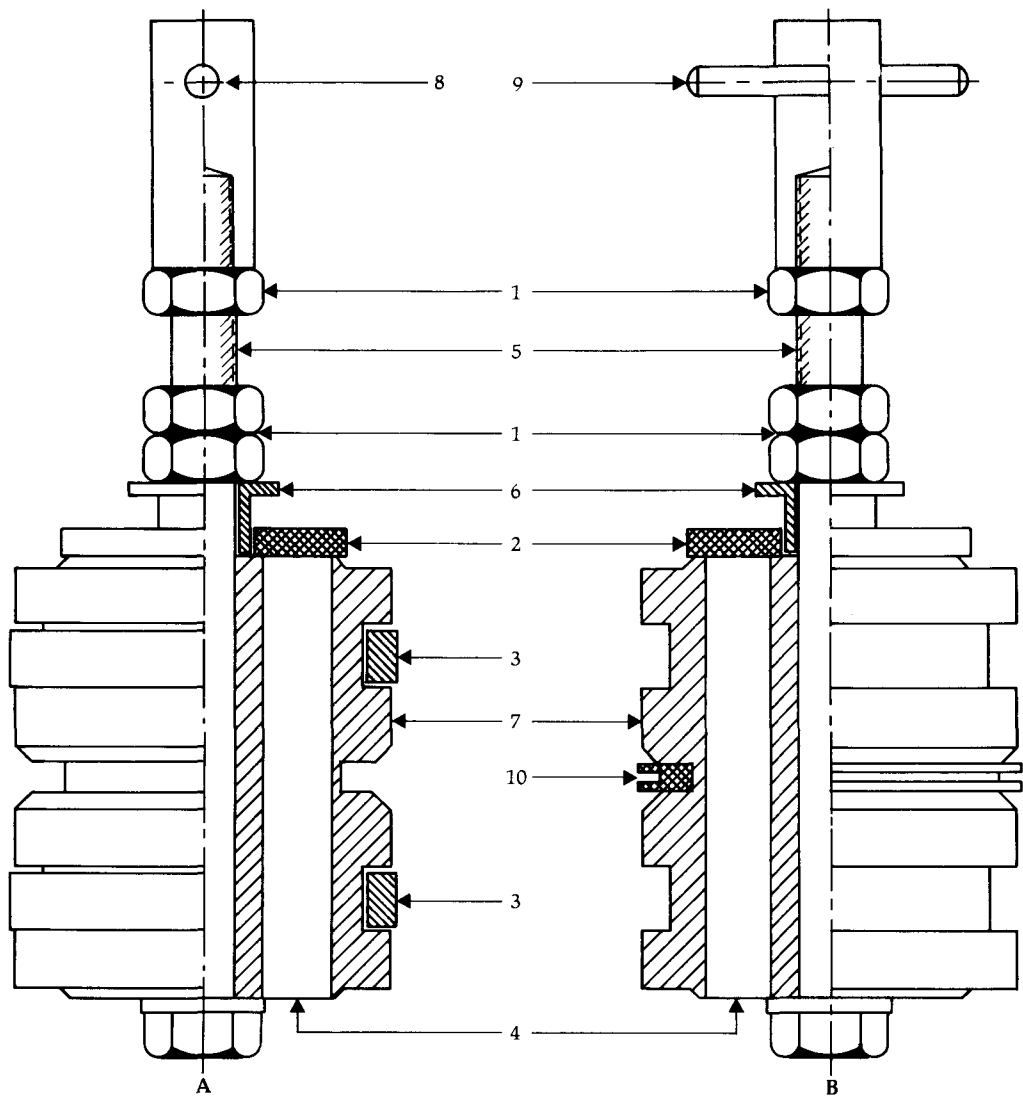


Fig. 6. Montaje del pistón (A) y válvula de pedal recuperable (B): (1) tuercas de cierre; (2) tapa de válvula (caucho natural); (3) anillos del pistón (polietileno); (4) seis agujeros igualmente espaciados; (5) perno; (6) obturador de válvula; (7) plástico de PVC; (8) agujero para pasador conector; (9) pasador de recuperación; y (10) cierre de caucho de labio o reborde doble.

200 kohms. Se pueden obtener cambios discretos desde infinito hasta 200 kohms sobre el contador de prueba múltiple para cambios al nivel del agua de menos de 6 mm. La profundidad de la capa freática desde la superficie puede determinarse por la longitud del cable.

Uso de la bomba manual Para un estudio comparativo del desgaste y deterioro físico de las principales piezas de la bomba manual, hay que efectuar un cálculo del uso total de la bomba

manual en el terreno durante el período que se analiza. La Figura 7 muestra una disposición donde un contador totalizador Veeder-Root (que no registra la rotación invertida) fue adaptado para medir el recorrido acumulativo de la varilla del pistón durante el recorrido o golpe útil. El montaje consiste en una placa gruesa de 1,27 cm. Después de perforar el agujero central (ligera-mente más grande que la varilla del pistón), se corta la chapa en dos mitades similares. Se requiere una tercera mitad para montar el con-

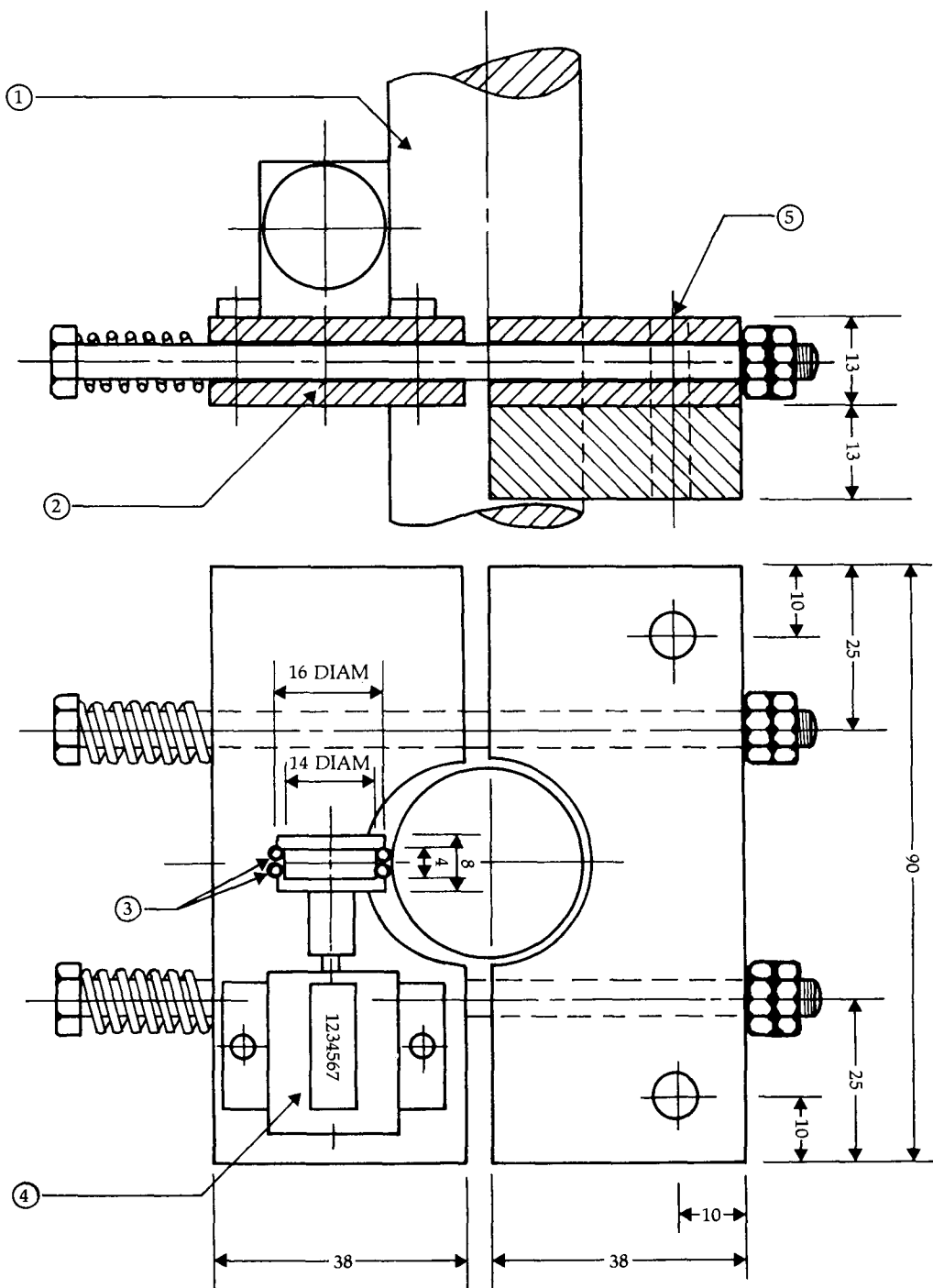


Fig. 7. Montura para contador Veeder-Root (V-R) sobre bombas manuales (todas las dimensiones en mm; 10 mm = 0,3937 pulg.): (1) vástago de pistón; (2) deslizante o corredera apropiada para permitir el movimiento lateral del contador; (3) dos juntas tóricas (13 mm ID \times 2 mm diám. (0,51 \times 0,08 pulg.) sección transversal); (4) contador V-R de caja de brida (#74-6125-001); y (5) tornillo de montaje para la chapa superior de la bomba manual.

junto de modo que la mitad movable se encuentre libre de la chapa superior de la bomba manual. El contador Veeder-Root se monta sobre la mitad de la chapa movable, que se carga con resorte para asegurar el contacto constante del rodillo con la varilla de pistón. La mitad fija debe montarse separada de la varilla de pistón (teniendo en cuenta cualquier oscilación o inclinación de la varilla durante el golpe).

Insumo de trabajo El método de laboratorio para determinar el insumo de trabajo no es adecuado para el terreno por la dificultad de transportar cierto equipo electrónico delicado y asegurar sus buenas condiciones de funcionamiento. Es más, el método requiere un técnico altamente capacitado para efectuar las mediciones. Por consiguiente, es conveniente contar con un instrumento más sencillo, liviano y fuerte que pueda ser llevado a terreno y operado por un técnico con capacitación mínima.

El instrumento mecánico utilizado para medir el insumo de trabajo en el terreno consiste esencialmente en: (1) dos barras de acero, sujetadas a ambos extremos por abrazaderas ajustables, que se separan cuando se aplica una carga a sus puntos medios; (2) un indicador de cuadrante que amplifica la desviación de las barras; (3) un tambor de indicación que hace girar el papel de calcar a medida que el instrumento se desplaza de una posición fija; y (4) un estilete conectado al indicador cuadrante por un cordel que se mantiene tensionado por un resorte. Durante la operación de la bomba, la relativa desviación de las barras, después de ser amplificadas por el indicador de cuadrante, hace mover al estilete perpendicularmente a la rotación del tambor. El diagrama resultante en el papel del tambor da un trazo del desplazamiento de la fuerza que equivale al obtenido por el método de laboratorio.

La gama operativa del instrumento mecánico con respecto a la fuerza aplicada puede ser cambiada alterando la distancia entre las abrazaderas ajustables del modo que se reduzca o aumente la longitud de desviación efectiva de las barras de acero.

Procedimientos de verificación en el campo

Para la verificación de las bombas en el terreno se utilizaron cuatro conjuntos de formularios diferentes, a saber: (1) *Formulario KI* diseñado para que el personal del Ministerio de Salud registrara las lecturas del contador cada dos semanas; un segundo ejemplar de este formulario, que se actualizaba regularmente, se mantuvo en la Universidad; (2) *Formulario A* (Especificaciones del

Pozo y la Bomba) fue utilizado para registrar información básica sobre el pozo y la bomba y fue completado antes de iniciar el período de verificación; (3) *Formulario B* (Hoja de Datos sobre Visita al Sitio) fue el básico para la verificación de campo y se dividió en cuatro secciones: (a) desempeño mecánico (se llenaba en cada visita mensual), (b) operaciones de mantenimiento (se llenaba en caso necesario), (c) medidas de desgaste (se calculaban quincenalmente), y (d) realimentación del usuario (se llenaba cada vez que fuera posible durante las visitas mensuales); y (4) *Formulario C* (Averías y Reparaciones) se completaba al averiarse una bomba y se incluían en él detalles de las reparaciones y otras medidas tomadas.

Si bien los aldeanos instalaron y utilizaron durante aproximadamente dos años todas las 17 bombas manuales, solamente durante el último período de 8,5 meses estas fueron completamente verificadas.

Desempeño en el terreno

Para facilitar la comparación entre las bombas manuales, se resumieron los datos de todas las 17 bombas (Cuadro 1). También se hizo el resumen del mantenimiento y las reparaciones realizadas (Cuadro 2).

Se computaron los resultados de desempeño de la información de campo sobre las 17 bombas manuales. La Figura 8 da un ejemplo de los resultados para una bomba. Para aislar el efecto de la carga hidrostática sobre la eficacia volumétrica, se hicieron lotes de $(1 - \eta_{vol})/h_T$ contra el tiempo calendario para cada una de las bombas manuales (véase por ejemplo, Fig. 9). Hubo una dispersión experimental considerable para pequeños valores de $(1 - \eta_{vol})/h_T$, lo que equivale a altos valores de η_{vol} y bajos valores de h_T . Para valores más grandes de $(1 - \eta_{vol})/h_T$, los puntos experimentales mostraron una tendencia más consistente. Las líneas rectas a través de los puntos experimentales se trazaron utilizando el método cuadrados mínimos. Para la mayoría de los casos, la expresión $(1 - \eta_{vol})/h_T$ disminuía con el tiempo calendario indicando que la eficacia de obturación mejora con el tiempo.

Las variaciones de la carga hidrostática con el tiempo calendario mostraron una estructura similar de variación en cada distrito, indicando las estaciones seca y lluviosa en las regiones respectivas.

El volumen promedio de agua entregada por día fue computado a partir de las lecturas del contador (que eran la suma del recorrido del pistón) y la eficiencia volumétrica promedio para el

Cuadro 1. Resumen de datos de desempeño.^a

Número de bomba	Tipo ^b	Fecha instalación	Número de usuarios (personas)	Eficacia (%)		Columna de agua (m)	Producción media de agua (L/día)	Tiempo de paralización por averías (días)	Mantenimiento y reparaciones		Periodo verificado
				η_{vol}	η_{mech}				Piezas (US\$)	Tiempo (horas)	
PK 001S	S	19/11/80	50	95,0	-	2,6	381,0	0	9,40	0,50	6/7/81-16/3/82
PK 002S	S	18/11/80	40	98,0	-	2,4	58,9	0	0,26	0,50	6/7/81-16/3/82
PK 003S	S	19/11/80	40	95,0	-	2,8	93,8	0	-	-	7/7/81-16/3/82
PK 004E	E	2/12/80	30	89,0	-	2,5	502,7	0	-	-	7/7/81-17/3/82
PK 005E	E	2/12/80	50	98,0	-	2,7	186,2	0	8,45	1,50	7/7/81-17/3/82
PK 006S2	S	3/2/81	40	84,0	-	3,5	217,6	60	-	2,50	7/7/81-17/3/82
NS 001S	S	6/7/80	25 ^c	83,5	59,6	3,7	487,5	3	-	0,50	25/6/81-7/4/82
NS 002S	S	6/7/80	25 ^c	93,7	59,1	3,7	133,5	0	-	-	25/6/81-12/4/82
NS 003E	E	24/7/80	25 ^c	92,0	-	9,2	152,2	4	0,50	3,00	29/7/81-19/4/82
NS 004S	S	24/7/80	25 ^c	79,2	64,0	7,0	85,2	0	-	-	29/7/81-14/4/82
NS 005S	S	28/7/80	25 ^c	84,4	62,2	6,9	59,9	0	-	-	11/8/81-19/4/82
NS 006S	S	28/7/80	31	81,7	65,0	4,9	351,3	0	9,40	0,17	17/6/81-12/4/82
NS 007PS	PS	18/9/80	40	75,0	-	4,9	524,0	1	10,50	2,75	17/6/81-9/4/82
NS 008PE	PE	25/9/80	50 ^c	90,0	-	5,4	826,8	0	7,80	3,00	22/7/81-9/4/82
NS 009E	E	2/10/80	15 ^c	70,5	65,2	7,6	242,6	10	0,75	21,75	21/10/81-16/4/82
NS 010S	S	9/10/80	50 ^c	95,0	70,4	4,6	718,2	0	-	-	15/6/81-7/4/82
NS 011PS	PS	16/10/80	35 ^c	79,0	-	5,8	506,0	4	12,00	7,50	20/7/81-14/4/82

^a1 m = 3,28 pies; 1 L = 0,22 galones^bsucción; E, epelente; PS, presión-succión; PE, presión-epelente^cSe ha suministrado el número de hogares más bien que el número de usuarios. Se utiliza como cifra un promedio de cinco personas por vivienda.

Cuadro 2. Resumen de mantenimiento y reparaciones para bombas en Perak (PK) y Negri Sembilan (NS).

Número de bomba	Fecha instalación	Fecha de mantenimiento	Tiempo de paralización por avería (días)	Descripción		Costo de repuestos (US\$)	Tiempo requerido (horas)
PK 001S	19/11/80	27/1/81	0	Caño de PVC	roto reemplazado	9,40	0,50
PK 002S	18/11/80	27/1/81	0	Válvula de pedal con pérdida	reemplazada por una nueva	0,26	0,50
PK 003S	19/11/80	-	0	tapa de válvula de caucho	Linard	-	-
PK 004L	2/12/80	27/1/81	0	Ninguna	Cubierta de madera agrietada, pero sin que se haya tomado ninguna medida	-	-

PK 005L	2/12/80	10/9/81	0	Fulcro o pivote demasiado flojo y reajustado Perno del pistón roto durante el desmantelamiento y reemplazado	-	-	0,50
				Vástago de pistón de PVC agrietado en el agujero para pasador de latón; reubicar nuevo agujero	8,45	-	
PK 0065Z	3/2/81	7/7/81	60	Muchos problemas debidos a que el pozo no tiene suficiente agua; bomba impelente reemplazada por bomba de succión	-	-	2,00
				Brazo/sostén de fulcro demasiado apretado y reajustado	-	-	0,50
NS 001S	6/7/80	10/9/81	0	Cubierta de madera agrietada pero no reemplazada	-	-	0,50
				Manchas de hierro limpiadas en el pistón y válvula de pedal	-	-	-
				Entrada o toma de cebadura inadecuadamente cerrada	-	-	-
NS 002S	6/7/80	-	0	Ninguna	-	-	-
NS 003L	24/7/80	28/9/81	4	Vástago de pistón roto en la unión del casquillo	0,50	-	3,00
NS 004S	24/7/80	-	0	Ninguna	-	-	-
NS 005S	28/7/80	-	0	Ninguna	-	-	-
NS 006S	28/7/80	25/11/81	0	Falta caño	9,40	-	0,17
NS 007PS	18/9/80	20/2/81	1	Perno conector del pistón de latón roto reemplazado por pieza de acero suave (tromada)	6,00	-	2,00
				Perno de latón de la válvula de pedal roto	4,50	-	0,50
				Brazo/sostén de fulcro de madera suelto y reajustado	-	-	0,25
NS 008PE	25/9/80	20/2/81	0	Perno conector de latón reemplazado por pieza de acero suave (sin indicios de daño)	6,00	-	1,00
				Junta de bisagra o charnela de latón muy gastada; bisagra eliminada del diseño	-	-	1,75
				Brazo de fulcro de madera agrietado	1,80	-	0,25
NS 009L	2/10/80	19/12/80	0	Válvula de pedal con pérdida reemplazada por tapa de válvula de caucho Linard	0,25	-	6,75
				Vástago de pistón de PVC roto	0,50	-	15,00
				Tuercas del fulcro de madera flojas debido al desgaste de la madera y reajustadas	-	-	-
NS 010S	9/10/80	-	0	Ninguna	-	-	-
NS 011PS	16/10/80	21/1/81	1	Perno conector de latón roto reemplazado	6,00	-	2,00
				La misma pieza rota de nuevo y reemplazada	6,00	-	3,00
				Pieza anterior reemplazada por pieza de acero suave	-	-	2,50

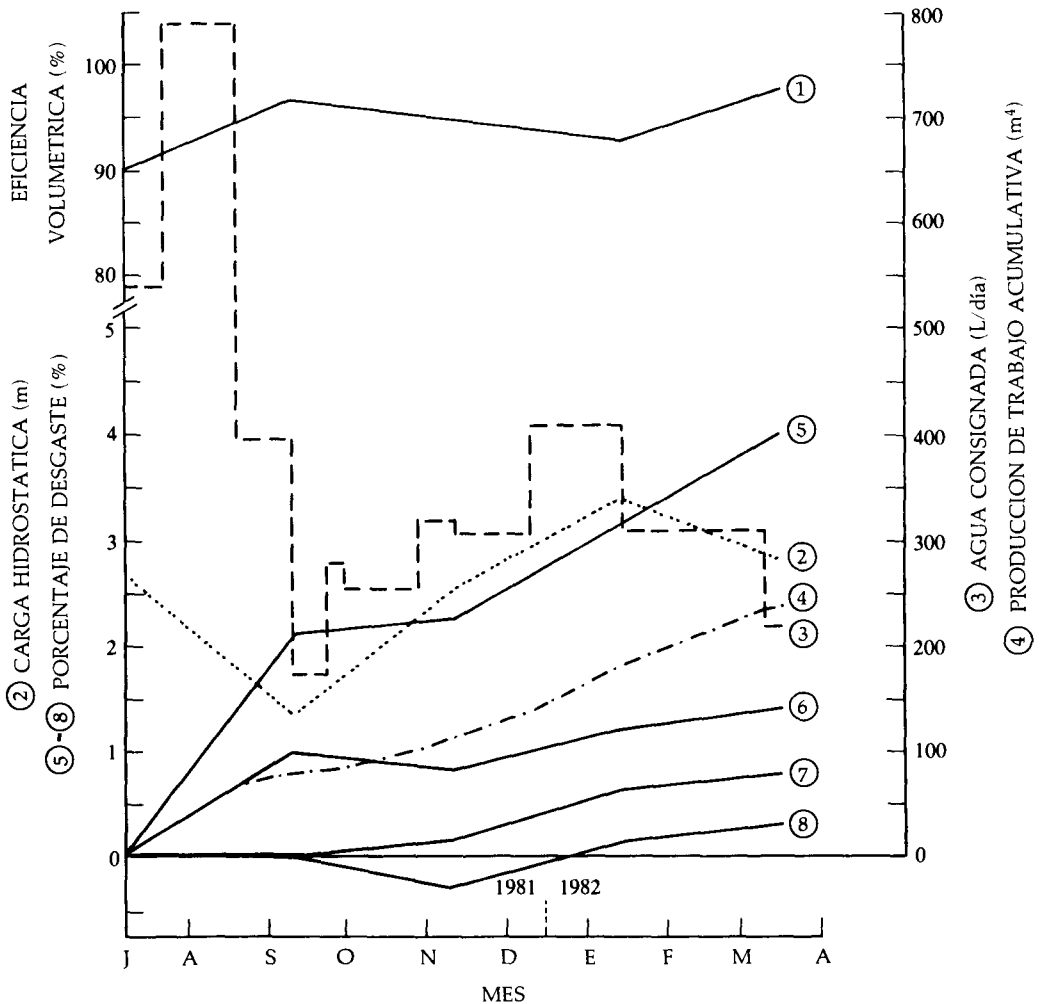


Fig. 8. Características de desempeño de la bomba manual PK 001S en la prueba de campo: (1) eficiencia volumétrica; (2) carga hidrostática; (3) agua consignada por día; (4) producción de trabajo acumulativa (total) ($m^4 = m^3$ (volumen) \times m (elevación)); (5) porcentaje de desgaste del casquillo o manguito de madera superior (0°); (6) porcentaje de desgaste del casquillo de madera inferior (90°); (7) porcentaje de desgaste del anillo de pistón superior; y (8) porcentaje de desgaste del anillo de pistón inferior.

período entre las visitas de verificación. El volumen promedio de agua entregada por día variaba de bomba a bomba, así como también para la misma bomba en diferentes épocas del año. Es interesante observar que el volumen promedio de agua entregada por día fue más alto cuando la carga hidrostática era más elevada (lo que coincidía con la estación seca para el distrito determinado).

La producción total de trabajo (acumulada) fue computada como el producto del volumen de agua promedio entregada por día y la carga hidrostática promedio para el período entre las visitas de verificación. La producción de trabajo

total para las diferentes bombas varió considerablemente, ya sea porque algunas bombas se utilizaban más que otras o por diferencias en la carga hidrostática. Se esperaría que el desgaste general de las bombas dependiera más del trabajo total que del tiempo calendario.

Desgaste

Si bien se han tomado medidas del desgaste en una variedad de piezas, solo se encontró desgaste significativo en: (1) el casquillo de madera superior para la varilla del pistón; (2) los anillos de pistón; (3) el cilindro de la bomba anual; y

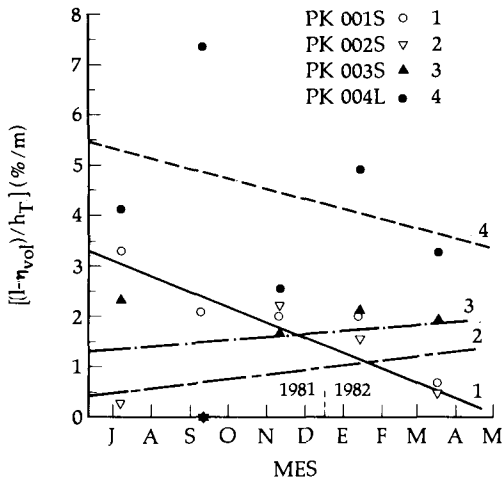


Fig. 9. Variación de $(1 - \eta_{vol})/h_T$ con tiempo calendario para cuatro bombas.

(4) los pasadores de latón utilizados en las uniones del pasador de la varilla de pistón. Sin embargo, no se calculó el desgaste de los pasadores de latón. Los cálculos del desgaste sobre el terreno no siempre se realizan en condiciones ideales y algunas de las mediciones, especialmente de las piezas que tienen muy poco desgaste, definitivamente tienen errores tal como está indicado por las lecturas de desgaste negativas. Sin embargo, al aumentar el desgaste, se pueden observar tendencias consistentes.

Desgaste en el ánima del casquillo de madera superior El desgaste en el ánima del casquillo de madera que sostiene la varilla de pistón fue calculado como porcentaje de: $(\text{diámetro medido} - \text{diámetro original}) \times 100 / (\text{diámetro original})$. La posición angular del agujero se definió como $\theta = 0^\circ$ para el diámetro en el plano de la palanca y $\theta = 90^\circ$ para el diámetro perpendicular al mismo. El desgaste en el ánima del casquillo de madera fue trazado contra el tiempo calendario y contra la producción total de trabajo (Fig. 10). Tal como se esperaba, el desgaste dependía más del trabajo total que del tiempo calendario. La magnitud del desgaste también varió de bomba manual a bomba manual dependiendo no solamente de la producción de trabajo total sino también de la humedad del casquillo de madera y de la flojedad en el sistema de palancas. Tampoco fue sorprendente que el desgaste en el plano de la palanca ($\theta = 0^\circ$) fuera mayor que el perpendicular al mismo ($\theta = 90^\circ$).

Desgaste de los anillos de pistón El desgaste de los anillos de pistón de polietileno de alta densidad fue calculado como un porcentaje de: $(\text{espe-$

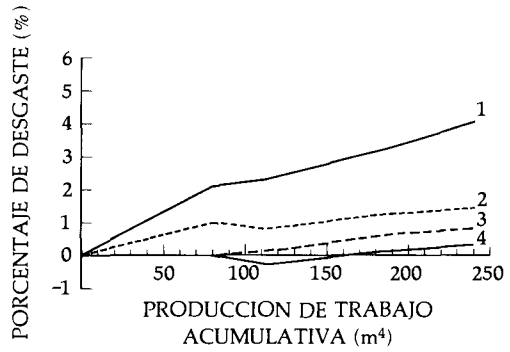


Fig. 10. Variación del desgaste con producción de trabajo acumulativa (total) para la bomba manual PK 001S: (1) casquillo de madera superior (0°); (2) casquillo de madera inferior (90°); (3) anillo de pistón superior; y (4) anillo de pistón inferior.

sor original - espesor medido) $\times 100 / (\text{espesor original})$. También se trazó el desgaste de los anillos de pistón contra el tiempo calendario y la producción total de trabajo. Nuevamente, el desgaste constituye más una función del total de trabajo que del tiempo calendario. El desgaste total promedio de los anillos del pistón durante el período de 8,5 meses llegaba al orden del 4%.

Desgaste de la sección de bombeo del cilindro de la bomba Al finalizar la prueba de campo, el cilindro de la bomba de PVC fue reemplazado por un nuevo cilindro. El cilindro de la bomba original fue cortado en dos mitades junto con su eje cilíndrico midiéndose el espesor de la pared en el laboratorio. La Figura 11 muestra la variación del espesor de la pared de la sección de bombeo del cilindro de PVC de una bomba manual que se usó en el campo durante aproximadamente 2 años. El desgaste había sido muy significativo y se había extendido, en este caso, a cerca de dos tercios del espesor original de la pared del cilindro de la bomba manual. En el diseño actual, se utilizaron anillos de pistón de polietileno de alta densidad y los resultados anteriores demuestran que el cilindro de PVC se gasta más que los anillos de pistón de polietileno. Esto significa que la selección original de materiales no es satisfactoria. Debido a que es más fácil y más económico reemplazar los anillos del pistón que el cilindro de bombeo, es más conveniente tener una combinación donde se desgasten los anillos de pistón mientras que el cilindro de bombeo sea más resistente al desgaste.

Uno de los miembros del presente equipo del proyecto, en la investigación experimental realizada actualmente, demostró que el polietileno de baja densidad se desgasta unas 10 veces más rápi-

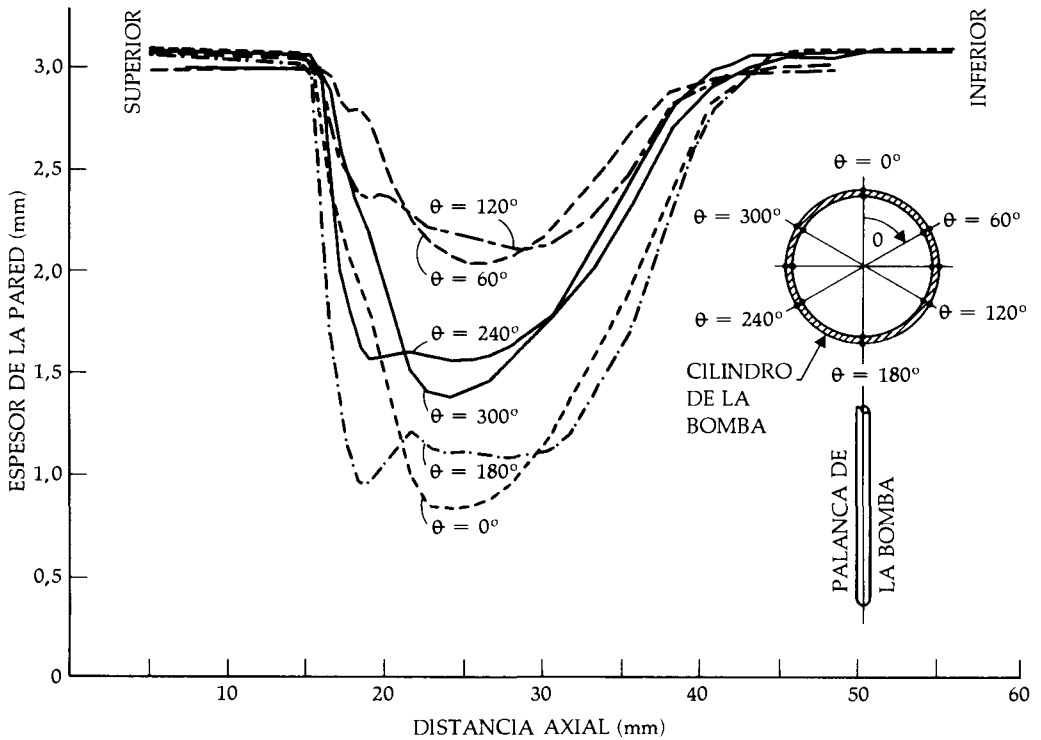


Fig. 11. Variación del espesor de la pared del cilindro de la bomba con distancia axial para la bomba NS 010S.

damente que el polietileno de alta densidad cuando se frota contra el material de PVC en agua clara. Sin embargo, hasta que se lleven a cabo nuevas pruebas para determinar si los anillos de pistón hechos de polietileno de baja densidad o algún otro material pueden reducir el desgaste en el cilindro de PVC de una manera significativa en un lugar de emplazamiento, la solución temporal del desgaste del cilindro consiste en elevar el pistón a una nueva sección, no desgastada, del cilindro de bombeo después de cada 2 años de uso.

Conclusiones

Luego de aproximadamente 2 años de uso en el terreno, y exceptuando el fuerte desgaste del cilindro de bombeo de PVC, la bomba manual del diseño actual parece haber resistido al desgaste del uso diario, requiriendo escaso mantenimiento y reparaciones menores. El mantenimiento de rutina es necesario después de 2 años, ya sea para reemplazar la sección gastada del cilindro, o para elevar el pistón a una sección no gastada del mismo.

Debido a que las piezas principales de la bomba

actual están hechas de material plástico, el uso de las técnicas de moldeo por inyección ofrece buenas perspectivas para la reducción de costos cuando la bomba se produce en grandes cantidades.

Agradecimiento Este proyecto fue financiado por una subvención del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo al cual expresamos nuestro agradecimiento. El autor quisiera dar las gracias al personal local del Ministerio de Salud en Ipoh, Seremban y Kuala Pilah por su colaboración en hacer instalar y verificar las bombas manuales durante las pruebas de campo. Por último, pero no por ello menos importante, queremos expresar nuestra gratitud a los usuarios de nuestras bombas manuales actuales por su paciencia y tolerancia durante las pruebas realizadas sobre el terreno.

Bibliografía

- Goh, S.Y. 1980. The performance characteristics of a reciprocating piston water lift pump. Ottawa, Ont. Canada: International Development Research Centre. Interim Progress Report, Water pumping technology — Global project.
- Sternberg, Y. 1978. Testing of wood bearing for hand-pumps. Washington, D.C., USA: International Bank for Reconstruction and Development. Research Working Papers Series, P.U. Report No. RES 13.

Panorama del Desempeño Técnico

Goh Sing Yau

Después de las pruebas de laboratorio de la Asociación de Consumidores, el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) aceptó un diseño propuesto del elemento de bombeo con un pistón y una válvula de pedal para efectuar pruebas en la red asiática de los proyectos de bombas manuales del CIID.

Desarrollo del Diseño del CIID

El conjunto de pistón consiste esencialmente en un pistón de cloruro de polivinilo (PVC) con dos anillos de polietileno (véase Fig. 1A). En Tailandia y Malasia se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para determinar los valores críticos de: (1) relaciones de área orificio/válvula de pedal; (2) peso de la válvula; (3) distancia o intervalo de la válvula; (4) longitud de recorrido o golpe; (5) índice de recorrido o golpe necesario para obtener el desempeño óptimo caracterizado por altas eficiencias volumétricas mecánicas. Los resultados de las pruebas de laboratorio se incorporaron a las versiones modificadas del pistón (véase Fig. 6 de la ponencia Malasia, pág. 45).

Las pruebas iniciales de laboratorio y de terreno de la válvula de pedal (véase Fig. 1) realizadas en Tailandia, Sri Lanka y Filipinas demostraron que los cierres acopados de polietileno originales no proporcionaban un cierre efectivo y que la filtración era excesiva. Para superar este problema, se utilizó una válvula de pedal no removible (véase Fig. 7 de la ponencia de Tailandia, pág. 28), con la válvula de pedal soldada con solvente o atornillada al cilindro de la bomba. Posteriormente, el grupo malasio desarrolló un cierre de caucho de reborde doble para reemplazar el cierre acopado de polietileno para uso con una válvula de pedal removible (véase Fig. 6 de la ponencia de Malasia, pág. 45).

El diseño original del CIID recomendaba una tapa de válvula de polietileno o de PVC. El uso de estas tapas causaban filtración excesiva, particularmente notoria en la válvula de pedal. La modificación inicial hecha por Tailandia consistía en usar un disco de caucho con una chapa de latón pegada. Para evitar la acumulación de arena en el asiento de la válvula, se le cortaron labios elevados. Todavía se podía mejorar más el cierre con un resorte que prensara la tapa al asiento. Sin embargo, las pruebas de laboratorio en Malasia indicaron que la tapa de la válvula cargada con resorte aumentaba el insumo de trabajo substancialmente y por tanto reducía la eficiencia mecánica.

Después de varios meses de uso se descubrió que la chapa de refuerzo en latón se había despegado del disco de caucho. Posteriormente se introdujo con éxito en Tailandia una nueva modificación consistente en reemplazar el diseño anterior de la tapa de válvula o por un disco de caucho de un grosor de 0,64 cm sin chapa de respaldo o resorte. Se observó que esta modificación también tenía éxito en Malasia.

En Sri Lanka, donde había dificultad para obtener las varillas de polietileno, se utilizaron cierres de cuero entubado en lugar de anillos de polietileno y cierres acopados.

Desarrollo de las Piezas Superficiales

En los cuatro países se utilizaron diferentes configuraciones de los elementos superficiales, como se resume en el Cuadro 1.

El pedestal de hormigón adoptado por Filipinas parece ser una alternativa simple y barata al pedestal tradicional.

Las manijas de madera (usadas en Malasia y Filipinas) y los cojinetes de madera/hierro (utilizados en el modelo L3 en Sri Lanka y Malasia) han demostrado ser prácticos y duraderos. Cuando se dispone de madera barata, la elección obvia son las piezas de madera. El uso de estas piezas simplifica para los usuarios rurales el mantenimiento y la reparación.

Pruebas sobre el Terreno

En Kuala Lumpur se celebró del 26 al 28 de agosto de 1980 una reunión para revisar el pro-

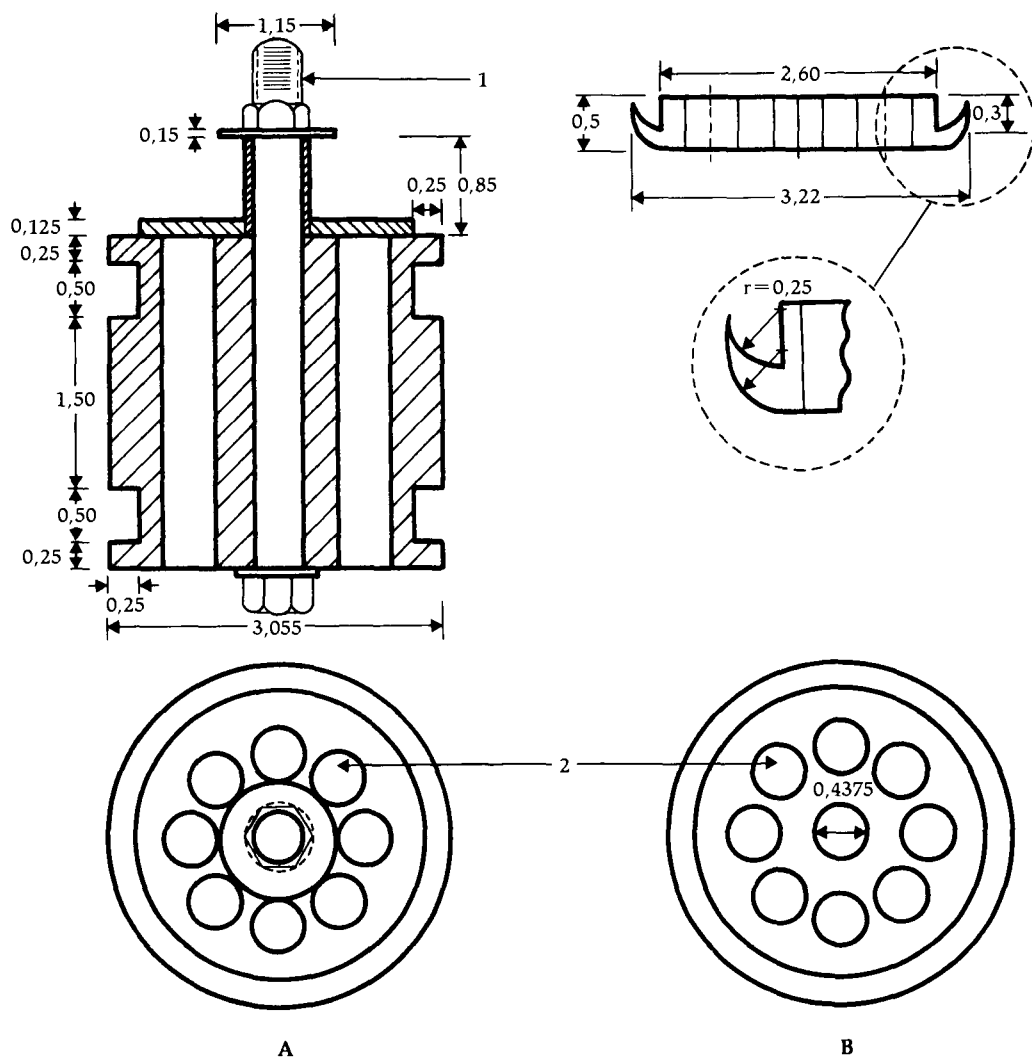


Fig. 1. Diseño del pistón original (A) y del adaptador de la válvula de pedal (B) probados en la red de bombas manuales asiáticas (todas las dimensiones en pulgadas; 1 pulg. = 25,4 mm): (1) perno de 7/16 pulg. (1,11 cm) de diámetro, y de 5,5 pulg. (13,97 cm) de largo; (2) agujeros de 0,5 pulg. (1,27 cm) al diámetro efectivo o de núcleo de 1,53 pulg. (3,89 cm).

greso del proyecto y a ella asistieron investigadores de los países participantes con el fin de intercambiar las experiencias de laboratorio y en terreno, y de proponer un procedimiento común de verificación de campo para los cuatro proyectos. Posteriormente se desarrollaron dos importantes instrumentos para el programa de verificación de campo: uno para medir el volumen de agua promedio consignado por día durante el período verificado (un contador totalizador) y otro para medir el insumo de trabajo de la bomba

(un trazador o restituidor mecánico). Los dos instrumentos han sido descritos en detalle por Goh (1980).

El procedimiento detallado de verificación de campo, tal como se propuso en esta reunión, solo fue aplicado en Sri Lanka y Malasia. Para la época en que se produjo la instrumentación requerida para la verificación de campo, el programa de Tailandia había finalizado y el proyecto de Filipinas se enfrentó con los problemas surgidos en la válvula de pedal y el pozo.

Cuadro 1. Resumen de los sistemas de superficie.^a

País y modelo	Pedestal	Sistema de palancas	Manija	Casquillo superior	Varilla de pistón	Carga hidrostática (m)
<i>Sri Lanka</i>						
L1	Estructura de hierro	Casquillo de latón en escuadra	Tubo de HG de 25 mm	Reductor de HG	Tubo de PVC de 25 mm	2-7
L3	Jaula de metal	Cojinetes de madera	Tubo de HG de 25 mm	Madera	Tubo de PVC de 25 mm	2-8
V1	Tubo de HG	Elevación directa	Madera	Madera	Tubo de PVC de 25 mm	1-4
<i>Tailandia</i>						
DMR (modificado)	Tubo de hierro fundido	Brazo de palanca de hierro fundido con casquillo de metal	Tubo de hierro fundido	Prensa-estopas	Vástago de acero de 11 mm de diám.	2-21
ARD (modificado)	Tubo de hierro fundido	Engranaje de cremallera y piñón de hierro fundido	Tubo de hierro fundido	Tuerca de prensa estopas de metal	Vástago de acero de 11 mm de diám.	2-10
AIT-PVC	Tubo de acero suave	Brazo de palanca de metal fundido con cojinetes de bolas	Tubo de HG de 50 mm	Prensa-estopas	Vástago de acero de 11 mm de diám.	2-7
<i>Filipinas</i>						
Impelente	Hormigón	Pedestal de hormigón con casquillo de latón	Madera	Reductor de HG	Vástago de acero suave	2-8
<i>Malasia</i>						
Succión/Impelente	Tubo de acero suave	Eslabones y cojinetes de madera	Madera	Madera	Tubo superior (1 m) de 25 mm, resto de tubo de PVC de 25 mm	2-11

^a10 mm = 0.39 pulg.; 1 m = 3.28 pies.

Las bombas manuales de Sri Lanka y Malasia se mantuvieron en el terreno durante más de 2 años. Sin embargo, por la demora en el desarrollo de la instrumentación para la verificación de campo, el programa respectivo solo se llevó a cabo durante los últimos 13 meses en Sri Lanka y 8,5 meses en Malasia. Los resultados de estos estudios de verificación aparecen en las ponencias de los respectivos países.

La eficiencia volumétrica de las bombas manuales después de unos 2 años de uso era todavía relativamente alta, mostrando que los cierres del anillo de pistón eran todavía efectivos. La eficiencia mecánica medida en la varilla del pistón era del orden del 60% al cabo de aproximadamente 2 años de uso en el campo. Esto se compara favorablemente con las medidas de la eficiencia mecánica en las nuevas bombas manuales para cargas hidrostáticas de 7 m en los laboratorios de la Asociación de Consumidores (UNDP/World Bank (PNUD/Banco Mundial) 1982).

Si bien se midió el desgaste de la mayor parte de las piezas móviles, éste era generalmente bajo, exceptuando el casquillo superior de madera o de metal y el cilindro de la bomba. Después de 2 años de uso con un equivalente de 450 000 L de producción de agua, la pared del cilindro de una de las bombas se había gastado aproximadamente un 70%. El desgaste en los anillos de pistón correspondientes era solamente del 1%. Para el presente diseño, donde se utilizaron anillos de polietileno de alta densidad con cilindros de PVC, se recomienda que el cilindro de la bomba se inspeccione para ver el desgaste cada dos años o después de una producción de 450 000 L de agua.

Observaciones Finales

En los informes finales de los proyectos se dan los resultados detallados de Malasia, Filipinas, Sri Lanka y Tailandia. Sin embargo, se pueden hacer las siguientes observaciones generales.

La bomba manual de PVC se ha aplicado exitosamente en pozos de una carga hidrostática máxima de 10 m.

Los resultados de las pruebas de campo indican que: (a) un pedestal del hormigón; (b) manijas, cojinetes y casquillos de madera; y (c) varilla de bomba y cilindros de PVC son alternativas prácticas a los diseños tradicionales de metal fundido o soldado de bombas manuales utilizadas para cargas hidrostáticas de hasta 10 m.

No existen suficientes datos de verificación sobre terreno acerca de la bomba manual de PVC para cargas hidrostáticas mayores de 10 m como para poder dar una opinión positiva sobre su uso a dichas profundidades.

Bibliografía

- Goh, S.Y. 1980. The performance characteristics of a reciprocating piston water lift pump. Ottawa, Ont. Canadá. International Development Research Centre. Interim progress report, Water pumping technology — Global project.
- UNDP/World Bank. 1982. Laboratory test on hand-operated water pumps for use in developing countries. Washington, D.C., EE.UU: UNDP/World Bank Rural water supply handpumps program, Report No. 1.

Análisis Económico y Mercados Potenciales

Tan Bock Thiam

En los países en desarrollo un 75% de la población no tiene acceso a un suministro adecuado de agua limpia (IRC 1982). En las regiones donde existe un abastecimiento adecuado de agua subterránea el uso de las bombas manuales es el método más simple y menos costoso de suministrar agua pura a la población rural. Dado que los gobiernos y las organizaciones internacionales están prestando una atención cada vez mayor a la provisión de fuentes seguras de agua potable a las poblaciones rurales, la demanda de bombas manuales aumentará en casi todos los países en desarrollo.

El mercado potencial en estos países se ha calculado para este decenio en 20 millones (Modern Asia 1982). Sin embargo, si bien existe una obvia demanda de bombas manuales, el índice de instalación parece verse obstaculizado por la falta de una bomba que pueda ser fácilmente mantenida al nivel rural. Dicha bomba, que es ideal para las regiones rurales, se describe como una bomba de operación y mantenimiento a nivel rural (VL0M).

El costo promedio de mantenimiento para las bombas manuales en el Africa Oriental es de \$400¹ anuales por bomba (World Water 1982). En algunos casos, el costo de mantenimiento representa el 85% del costo amortizado de instalar un suministro de agua rural. Así, aunque el uso de las bombas manuales ofrece una alternativa de bajo costo para el abastecimiento de agua pura en las áreas rurales, la frecuencia de averías y el problema del mantenimiento adecuado impiden un uso más amplio.

Este estudio tenía un triple objetivo: primero, llevar a cabo un análisis financiero y económico del costo eficiencia de las bombas manuales de cloruro de polivinilo (PVC) que ensaya la red del

Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), en comparación con otras bombas manuales utilizadas en estos países; segundo, analizar las fuentes de abastecimiento de agua para las regiones rurales y efectuar proyecciones respecto al porcentaje de hogares o viviendas rurales que serán servidas con agua transportada por acueductos en el año 1990; y tercero, emprender una evaluación preliminar del mercado de las bombas manuales durante los próximos 10 años y evaluar el mercado potencial de la bomba manual que la red está sometiendo a prueba en estos cuatro países.

Parte de la información sobre el costo de las bombas manuales se obtuvo de los informes intermedios del proyecto. La información adicional se adquirió mediante un cuestionario y en conversaciones con los jefes del proyecto en cada país. La información sobre el segundo y tercer objetivo de este estudio se recopiló en entrevistas con los jefes del proyecto, funcionarios oficiales y otras personas interesadas de diversos organismos.

Una de las principales limitaciones del estudio fue el poco tiempo que gastó en Sri Lanka, Tailandia y Filipinas. Por consiguiente, solo se pudo obtener una idea preliminar de la situación global del abastecimiento de agua rural, en general, y del papel desempeñado por las bombas manuales, en particular. Sin embargo, con la asidua colaboración del equipo de proyecto en cada país y con la información obtenida en las entrevistas y fuentes publicadas se pudo hacer una evaluación justa de la situación prevaeciente en estos cuatro países.

La información disponible sobre costos de las bombas PVC-CIID se refiere a unidades fabricadas experimental o individualmente. Por tanto, no tenía sentido utilizar estos datos para comparación con otras bombas producidas en gran escala. En un solo país solamente (Malasia) se pudo obtener el costo estimado de la bomba de PVC producida en grandes cantidades. Así pues, solamente se hizo un análisis financiero detallado para Malasia.

Análisis por Países

Sri Lanka

El equipo del proyecto instaló aproximadamente 21 bombas, principalmente en la región meridional de la isla. Cada bomba servía de 4 a 5 viviendas, es decir unas 30 personas. Todas las bombas que se instalaron siguen funcionando y

¹ Todos los costos se cotizan en dólares americanos. Las tasas de cambio usadas aquí con: US\$ 1,00 = \$2,30 Malasia; P8,50 Filipinas; B23,00 Tailandia, y R20,00 Sri Lanka.

son mantenidas por el movimiento Sarvodaya, que tiene varios talleres en la región. Estas bombas fueron instaladas en pozos excavados manualmente de 1,5 m. Los pozos fueron revestidos con una envoltura de hormigón y cubiertos con una tapa de hormigón removible, de modo que si la bomba se rompe los aldeanos pueden continuar obteniendo su agua con un balde o cubo.

Dos factores parecen influir en la instalación de las bombas en esta forma. Primero como las bombas están todavía en un período experimental y pueden fallar, este tipo de pozo ofrece una cierta seguridad de abastecimiento de agua constante. En segundo lugar, en vista de que los aldeanos no están familiarizados con el método de perforar pozos de sondeo, se carecía de experiencia local para ensayar ese método.

La construcción de pozos abiertos aumenta el costo de instalación y pone un límite a la profundidad que puede obtenerse. La profundidad media de 100 pozos examinados era aproximadamente de 5-7 m y el nivel de agua estática fue de 3-5 m bajo la superficie.

El movimiento Sarvodaya tiene pensado instalar 250 bombas manuales adicionales en varias aldeas. El costo de instalación será solventado probablemente por organismos de ayuda externos.

Análisis económico

La información financiera y técnica sobre los tres modelos de bombas manuales están incluidos en el Cuadro 1. Estas bombas difieren en sus elementos externos porque los elementos subterráneos son esencialmente los mismos.

Los costos de instalación representan casi un 300% del costo de la bomba; mientras los gastos anuales de mantenimiento ascienden a cerca del 23% del costo total de la bomba.

Situación del abastecimiento de agua

El 73% de una población de 12,7 millones de habitantes en Sri Lanka vivían en 1980 en áreas rurales. Había 1 420 000 viviendas rurales con un promedio individual de 7 personas y apenas un 2% de toda esa población rural recibe agua tratada de acueducto.

El uso de las bombas manuales es relativamente nuevo en Sri Lanka, donde se han instalado apenas unas 2500. De éstas, solo unas 1500 (60%) funcionan todavía. Suponiendo que una bomba manual sirve aproximadamente a 50 familias, únicamente 75 000 familias, es decir un 5% de la población rural, está siendo abastecida actualmente.

Cuadro 1. Información sobre tres modelos de bombas manuales probados en Sri Lanka^a

Rubro	Modelo		
	V1	L1	L3
Instalación (\$)	283	269	241
Bomba (\$)	60	100	120
Mantenimiento anual (\$)	17	25	21
Duración esperada (años)	7	9	9
Personas servidas/bomba	20	40	25
Uso agua promedio/persona/día (L)	25	66	35
Índice de bombeo de agua (L/minuto)	8	8	8

Nota: Costo de instalación estimado para una profundidad promedio de 5 m (16,4 pies). La duración esperada está basada sobre las estimaciones del jefe del proyecto.

^a1 L = 0,22 galones.

El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) participa hoy día, en un programa para instalar una buena cantidad de bombas manuales en pozos profundos de la mitad septentrional de la isla.

Hasta la fecha se han excavado 600 pozos y se han instalado 300 bombas. Estos pozos, con una profundidad promedio superior a 15 m, están separados unos 800 m y cada uno sirve aproximadamente a 50 unidades. La bomba más común es la India Mark II, que cuesta aproximadamente \$400 (sin impuestos). UNICEF planea realizar un programa doble para el mantenimiento de estas bombas: un mecánico de la aldea para las reparaciones menores y un inspector regional para otras reparaciones más importantes. El camión con el equipo de perforación requerido para el programa se importó de Europa a un costo aproximado de \$250 000. Un equipo puede perforar hasta 80 pozos por año a un costo individual estimado de \$1000-1500.

Mercados potenciales

El mercado potencial para bombas manuales en Sri Lanka es considerable. La única limitación parece ser el hecho de que el 75% del país es relativamente seco. Sin embargo, el 70% de la población está concentrada en la zona húmeda. Si el 50% de la población rural estuviese servida por las bombas manuales, el número estimado de bombas manuales adicionales requeridas en Sri Lanka sería aproximadamente de 14 000, 15 000 y 17 000 en 1982, 1985 y 1990, respectivamente. Estos cálculos resultan de suponer un crecimiento anual de la población rural del 2,5% y de considerar que el número de familias servidas por bomba permanecerá en 50. Si el objetivo fuese de suministrar una bomba manual para cada

10 familias, los cálculos deberían aumentarse en un 500%.

El gobierno otorga una alta prioridad al desarrollo de la bomba manual para las regiones rurales del país. Sin embargo, el programa se está viendo reducido por falta de una contrapartida que financie el 30% que constituye el requisito previo para obtener préstamos "blandos" del Banco Mundial (World Water 1982).

Actualmente solo existe un limitado número de bombas manuales, locales o importadas. Las bombas importadas proceden de India o Bangladesh y, para pozos pandos o de poca profundidad cuestan de \$100-250 cada una. En vista de su uso limitado y de la falta de experiencia en su construcción, no existen datos sobre costo ni confiabilidad.

Siempre que los fondos no constituyan una limitación, la demanda potencial para las bombas de PVC auspiciadas por el CIID será de unas 20 000 al año entre el momento presente o 1990. Esto se basa en el supuesto de que al menos la mitad de la población rural pueda ser servida por pozos pandos y que cada bomba sirva a 5 unidades de vivienda.

Tailandia

Después de algunas pruebas de laboratorio, se instaló en 54 pozos seleccionados de Tailandia central, nororiental y septentrional una versión modificada del elemento subterráneo de la bomba de PVC auspiciada por el CIID. Estos pozos estaban siendo utilizados diariamente por los aldeanos y tenían una bomba del Departamento de Recursos Minerales (DRM) (Demster o Red Jacket.) o una del Desarrollo Rural Acelerado (ARD) (Korat modificada). El equipo del proyecto retuvo los elementos superficiales de estas 54 bombas y solamente modificó los elementos subterráneos. Así pues, la bomba que se probó estaba hecha con una combinación de material plástico y piezas de hierro fundido.

Estas bombas fueron probadas en el terreno durante 15 meses y los resultados fueron generalmente satisfactorios. El principal problema que surgió inicialmente consistía en que la válvula de pedal presentaba filtraciones, especialmente en zonas arenosas donde las partículas de arena se alojaban debajo de la válvula de disco o del distribuidor plano provocando la filtración. Sin embargo, después de algunas modificaciones al diseño, parece haberse resuelto este problema.

El grupo del Instituto Asiático de Tecnología (AIT) también diseñó una nueva bomba de PVC que tenía tanto piezas superficiales de PVC, como

subterráneas, pero solamente 3 de estas bombas fueron probadas en terreno. El equipo del proyecto considera que la bomba manual CIID-PVC puede utilizarse para pozos hasta de 20 m de profundidad máxima.

La profundidad perforada de los pozos seleccionados variaba de 16 a 34 m. Sin embargo, el nivel del agua variaba de 1,5 a 16 m. El nivel del agua en la mayoría de los pozos era inferior a los 5 m de profundidad.

Análisis económico

El costo de la bomba manual de PVC diseñada por el AIT es comparable al costo de las bombas manuales de DMR y de ARD. Salvo el costo del tubo de elevación, que varía con la profundidad del pozo, el costo de la bomba manual AIT-PVC es de \$135 comparado con \$122 para la bomba manual DMR y de \$139 para la bomba manual ARD. El costo de la bomba manual AIT-PVC corresponde a los modelos fabricados individualmente, mientras que el costo de las bombas DMR y ARD es el de producción masiva. Por lo tanto, sería posible reducir substancialmente el costo de la bomba manual de AIT-PVC de producirse en gran escala.

Situación del abastecimiento de agua

Casi un 30% de los 38 millones de habitantes de Tailandia vive en regiones rurales y el 60% de esta población, o sea 2,6 millones de hogares, no tiene acceso a agua pura. Si bien no existe una cifra precisa sobre el número de bombas manuales instaladas en el país, se ha calculado que más de 5 millones de personas dependen de estas bombas para abastecerse de agua. Suponiendo que 200 personas estén servidas por una bomba término medio, se utilizarían actualmente en Tailandia unas 25 000 bombas manuales. De este total, 19 000 han sido instaladas por varios organismos gubernamentales. El principal problema que enfrentan los organismos gubernamentales es que, en un día cualquiera, el 25% de estas bombas manuales puede estar fuera de servicio. El costo promedio de mantenimiento para cada una de estas bombas manuales es de \$71 al año.

Los principales organismos gubernamentales que participan en el programa de bombas manuales rurales son: el Departamento de Recursos Minerales del Ministerio de Industria; el Departamento de Salud del Ministerio de Salud Pública; y el Departamento de Obras Públicas y la Oficina de Desarrollo Rural Acelerado del Ministerio del Interior.

Cada uno de estos órganos ha adoptado su propio diseño de bomba manual y las bombas se pro-

ducen localmente, es decir, por fabricantes locales que reciben contratos del gobierno para fabricarlas. Su diseño es esencialmente similar al de los modelos importados de los países occidentales, con algunas modificaciones.

Estos organismos también participan en la perforación de pozos y en la instalación de bombas manuales en las regiones rurales. Hasta la fecha, han instalado aproximadamente 19 000 bombas, dos tercios de las cuales están destinadas a pozos profundos de más de 20 m. Aproximadamente el 10% de esos pozos ha sido equipado con bombas motorizadas. En los últimos dos años, el objetivo anual ha aumentado de 1000 a un mínimo de 2000 pozos por año.

El Departamento de Recursos Minerales utiliza una bomba Demster modificada que ha instalado en pozos entubados de 15 cm perforados hasta una profundidad aproximada de 35 m. Esto cuesta unos \$3300 que incluyen la perforación y la bomba, que cuesta \$150. El costo anual de mantenimiento y reparación es de \$125 por bomba. Cada bomba sirve a unas 250 personas y suministra agua durante todo el año, mientras que los pozos pandos o de poca profundidad a menudo se secan. El Departamento piensa aumentar su ritmo de trabajo hasta perforar 4500 pozos al año para llegar al objetivo de un total de 20 000 pozos profundos en 1990.

La Oficina de Desarrollo Rural Acelerado utiliza una bomba Korat modificada que cuesta aproximadamente \$139. Difiere de la bomba Korat original en que tiene un cilindro de 7,5 cm hecho de PVC y un tubo de caída de 3 cm. Estas bombas se utilizan normalmente para pozos pandos de menos de 15 m de profundidad.

La División de Suministro de Agua Rural del Departamento de Salud es el principal organismo que participa en la instalación de bombas en las zonas rurales. Instala bombas manuales tanto para pozos profundos como pandos. Hasta la fecha ha instalado unas 600 bombas en pozos profundos para extraer agua de una profundidad promedio de 35 m. La bomba modificada cuesta \$150 y su mantenimiento anual \$130. Cada pozo sirve de 40 a 50 unidades. El costo de la perforación e instalación es de aproximadamente \$1500.

La División de Suministro de Agua Rural ha establecido también unos 1000 pozos pandos en Tailandia central. La bomba utilizada se llama bomba-A o bomba Lucky que cuesta aproximadamente \$30-40. La profundidad media de estos pozos es de 10 m. El costo promedio de excavación o instalación es más o menos de \$250, y el costo anual de mantenimiento es solo de \$8 por bomba. La División piensa instalar entre 800 y 1000 bombas al año en los próximos años. El año

pasado, en colaboración con la Universidad de Chulalongkorn, la División participó en un proyecto para desarrollar y poner a prueba una bomba manual de PVC. Esta bomba fue fabricada localmente y ha sido instalada en 100 pozos pandos y 20 pozos profundos. El costo de la bomba es de \$50 para los pozos pandos y de \$100 para los pozos profundos. Actualmente se verifica su desempeño.

Mercado potencial

Unos 2,6 millones de hogares en Tailandia no tienen acceso a agua pura para consumo doméstico. Con base en el supuesto de que la población rural está creciendo a un promedio de 2,5% por año, en 1990 se requerirían 66 000 bombas manuales cada una para servir a 50 familias. Si el objetivo es suministrar una bomba a cada 10 hogares, la demanda potencial sería de 330 000. Esas cifras no incluyen bombas de repuesto.

En Tailandia por lo general se prefieren los pozos profundos porque aseguran disponibilidad de agua durante todo el año. En algunas regiones, particularmente en las zonas más secas, solo se dispone de agua de los pozos durante 8 meses del año. Suponiendo que el 50% de las bombas manuales que se instalen se utilicen en pozos pandos, el mercado potencial para una bomba CIID-PVC es aproximadamente de 4500 a 18 000 unidades por año entre el momento presente y el año de 1990, dependiendo del número de familias que sean servidas por bomba (véase Cuadro 7).

Filipinas

Un contratista local fabricó e instaló en varias localidades de la isla Luzon 30 bombas basadas en el diseño Waterloo. No se realizó ninguna prueba de laboratorio y la bomba instalada fue esencialmente similar al tipo Waterloo. Sin embargo, el elemento superficial utilizó un pedestal de hormigón relativamente económico.

La profundidad promedio del revestimiento era de 12 m y un alcance de 6-18 m; la profundidad media del agua era de 4 m y el alcance de 1-8 m. De las 30 bombas instaladas, solo 4 funcionan todavía. El resto ha sido abandonado o desmantelado por pérdidas en la válvula de pedal o por hundimiento de los pozos.

Análisis económico

El costo de la bomba CIID-PVC fue de \$267. Los materiales requeridos representaron el 92% de este costo, mientras el gasto de fabricación representó el 8% del costo total. Los gastos de

perforación del pozo y de instalación de la bomba fueron relativamente bajos, solamente de \$353 para una profundidad media de 12 m.

Uno de los factores para el bajo costo de la instalación fue el uso de tubo de PVC como cilindro de revestimiento: el PVC cuesta solo una tercera parte del tubo galvanizado. Otra razón fue la disponibilidad de contratistas locales experimentados en la perforación de pozos e instalación de bombas manuales. Asimismo, en las operaciones de perforación de pozos se utilizó un pequeño equipo motorizado de perforación que costaba \$4000.

Situación del abastecimiento de agua

En 1980, solamente el 43% de una población total de 49,4 millones, o sea 21,2 millones, eran abastecidos con agua de acueducto. De la población rural de 34,1 millones, 33% obtenía el agua de sistemas públicos de abastecimiento; el resto dependía de bombas manuales, pozos abiertos, cisternas pluvométricas y arroyos.

De acuerdo con las estadísticas de UNICEF, existen 23 572 pozos artesanales públicos que sirven a unos 4 millones de personas. Solamente 16 000 de estos pozos son funcionales y su profundidad perforada promedio es de 60 m (World Water 1982). Filipinas tiene una gran reserva de agua subterránea y una alta precipitación promedio al año, 2260 mm.

El uso de las bombas manuales en Filipinas tiene una larga historia. En algunas regiones, la mayoría de los hogares o viviendas ha instalado su propia bomba manual. Según datos de 1980, de un total de 5,68 millones de hogares rurales, 1,87 millones obtienen agua por abastecimiento público, 0,39 millones por pozos artesanales y 0,30 millones por bombas manuales de propiedad privada.

Estas cifras suponen que un hogar promedio incluye 6 personas y que existen 30 000 pozos pandos o de poca profundidad de propiedad privada, cada uno de ellos para 10 hogares. Con base en estas cifras, más de 3 millones de hogares carecen de agua pura para fines domésticos.

Para superar este problema, el gobierno de Filipinas ha lanzado un programa de 20 años para suministrar agua pura a todos los hogares. Los dos principales organismos que participan en este programa de abastecimiento de agua rural son la Corporación de Desarrollo del Agua Rural (RWDC) y el Ministerio de Obras Públicas (MPW).

Su programa se concentra en la creación de comités beneficiarios dentro de las asociaciones o cooperativas de autoabastecimiento de agua. Estas asociaciones deben contribuir al costo de

capital y asumir la operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua. Los organismos gubernamentales suministran ayuda técnica e institucional y contribuyen a la mayor parte del costo, incluyendo un 10% de los gastos de operación y mantenimiento.

Se han propuesto tres niveles de servicios, según el volumen de población de la región, la fuente de abastecimiento del agua, el costo de desarrollo y la capacidad financiera de la comunidad. El gobierno sufragará el 90% del costo de inversión para el Nivel 1 y existen préstamos que cubren el 90% del costo de capital para los Niveles 2 y 3.

El objetivo principal del Nivel 1 es desarrollar fuentes como los pozos artesanales y los manantiales protegidos. Cada pozo pando está diseñado para servir a un grupo de 15 hogares, mientras que cada pozo profundo debe servir a 50. El costo promedio de instalación por hogar es de \$12,33 (ó \$185 por pozo) para los pozos pandos y de \$98,82 (ó \$4941 por pozo) para los profundos. El costo anual de mantenimiento se calcula en \$0,82 por hogar.

El Nivel 2 es esencialmente igual al Nivel 1, pero incluye un sistema de grifos comunales. Su diseño global es para un grupo de 100 hogares y el costo por hogar es de \$71, exceptuando al costo de desarrollo de la fuente.

El Nivel 3 suministra las conexiones para la casa individual y el diseño global es para vivienda urbana. El costo de capital por hogar es de \$247.

El programa de Nivel 1 concentrará su atención casi exclusivamente en la construcción y rehabilitación de pozos poco profundos y profundos. La profundidad media de los pozos pandos es de 9 m, mientras que la de los pozos profundos es de 60 m. En 1990, la RWDC y el MPW programan la instalación de un total de 169 000 pozos pandos y 87 500 pozos profundos en todo el país. Además, se rehabilitará un total de 26 000 pozos existentes.

Mercados potenciales

Para obtener una indicación del mercado potencial de una bomba de PVC eficiente y de bajo costo se deben examinar los objetivos del PWN y CDPAAR para la construcción del pozo (Cuadro 2).

El costo de financiación del programa se calcula en \$368 millones. Se espera que una porción de este monto provendrá de préstamos o programas de ayuda de varios organismos internacionales. De no asegurarse los fondos adecuados se demorará la ejecución de este programa.

Se espera que la población rural de Filipinas aumente en 1990 a 43,1 millones de personas o sea

Cuadro 2. Objetivos de construcción de pozos y rehabilitación para el Ministerio de Obras Públicas (MPW) y la Corporación de Desarrollo del Agua Rural (RWDC).

Año	Pozos pandos	Pozos profundos	Rehabilitación
1980	10000	1691	1274
1981	13000	5000	2000
1982	45000	13000	2500
1983	40000	14000	2500
1984	41000	15000	2500
1985	16000	15000	2500
1986-1990	4000	23800	12500

Fuente: Gobierno de Filipinas. 1980. Programa integrado de abastecimiento de agua, 1980-2000; y RWDC — Programa Filipino de abastecimiento de agua rural.

7,2 millones de hogares o viviendas. Suponiendo que todas las bombas propuestas se hayan instalado para 1990, el país tendrá aproximadamente 200 000 pozos pandos y 110 000 pozos profundos. Si todos los pozos pandos y el 70% de los profundos se ubican en las regiones rurales, cada pozo pando será utilizado por unos 17 hogares y cada pozo profundo por 50. En consecuencia, para un objetivo de un pozo pando por cada 5 hogares o viviendas, se requerirán 480 000 pozos pandos adicionales para 1990.

Malasia

Tras extensas investigaciones de laboratorio, se fabricaron e instalaron en dos regiones rurales — Kuala Pilah e Ipoh — 9 bombas de succión, dos bombas de presión-succión, una bomba de presión-impelente, y 5 bombas impelentes. Estas bombas han sido probadas durante más de un año y hasta la fecha no han surgido problemas importantes. Todas están aún funcionando y, a juzgar por las observaciones preliminares, parece que los aldeanos están satisfechos con su desempeño. Las principales características de estas bombas son: un cilindro de PVC equipado con un pistón de PVC deslizante y una válvula de pedal de PVC estacionaria pero removible; y un sistema de palancas consistente en eslabones de madera y en cojinetes de madera de hierro galvanizado/impregnados en aceite.

Estas bombas de PVC se instalaron en los pozos existentes que tenían bombas manuales en desuso. Los pozos tenían una profundidad media de 9 m con una profundidad de agua generalmente de 3-7 m bajo tierra. Cada bomba manual servía de 4 a 5 hogares. Sin embargo, las bombas de presión-succión y las de presión-impelentes tenían conexiones individuales a cada una de las 4 ó 5

Cuadro 3. Resumen de varias medidas del costo de la bomba (US\$).

Tipo de bomba	Costo de capital	Valor actual	Costo equivalente anual
Gibson	31	148,11	79,74
Fuji	61	155,48	28,40
CIID			
Experimental	134	145,72	27,33
Producción	74	85,72	15,99

Nota: El análisis del valor actual y del costo equivalente anual está basado en el formato preparado por J. Majumdar que se discutió en la reunión del proyecto en agosto de 1980 (Goh 1980).

viviendas. De esta manera, cada usuario podía bombear el agua directamente a un tanque instalado en su propia casa.

Análisis económico

El análisis económico comparó el costo de la bomba de PVC (tanto experimental como proyectado de producción) con el costo de las dos bombas existentes (Gibson y Fuji).

Los resultados del análisis demostraron que el valor actual y el costo equivalente de la bomba PVC eran inferiores a los de las bombas existentes (Cuadro 3). Esta diferencia fue especialmente significativa cuando se comparó el costo del modelo de producción de PVC con el costo de las bombas manuales existentes. Utilizando los conceptos de valor actual y costo anual equivalente, el costo del modelo de producción de PVC fue aproximadamente 50% del costo de las bombas existentes.

Los datos básicos disponibles en el caso de Malasia de incluyen en el Cuadro 4. Hay que tener en cuenta varios puntos.

- Solamente la bomba experimental del CIID-Universidad de Malaya (UM) pudo ser evaluada exactamente en términos de costo (Cuadro 5). Esto probablemente parecerá elevado en vista del número limitado de bombas producidas y del elemento de investigación implicado en el diseño y la construcción. El costo de producción en masa del modelo CIID-UM sólo puede calcularse hoy día con base en cifras obtenidas de los fabricantes locales de material plástico sobre pedidos a granel de las diversas piezas de la bomba. Al experimentar con diferentes procesos de fabricación, se podrá encontrar la manera de reducir estos precios.
- Los datos sobre las otras bombas (Gibson y Fuji) proceden de los archivos del Ministerio de Salud y de las entrevistas sobre terreno.

Cuadro 4. Información básica sobre bombas manuales (dólares constantes 1980).

Rubro	Modelos CIID ^a			
	Gibson	Fuji	Experimental	Producción
Costo de instalación ^b				
Material	85	85	85	85
Mano de obra	49	49	49	49
Gastos de transporte ^c	1	1	1	1
Bomba y manija	30	60	133	73
Costo de capital instalado	31	61	134	74
Gastos de reparación anuales ^d	9	9	2	2
Período de operación (años)	0,5-2,5	3-5	7-9	7-9
Período económico (años)	2	4	4	8
Tasa de descuento (%)	10	10	10	10
Valor de recuperación a fines de año	0	0	0	0

^aEn el Cuadro 5 se incluye un desglose de los principales elementos del costo de ambos modelos.

^bPara un pozo de 9 m, los gastos son los siguientes: barrena o taladro \$18; mano de obra (14 días a \$3,50 por día) \$49; cemento \$10; y revestimiento y tubo \$57. Estos gastos son los mismos para todas las bombas.

^cSuponiendo una distancia de 100 km del puerto y que las bombas sean transportadas a granel. Los gastos fijos totales, incluyendo la instalación, son los siguientes: Gibson \$165; Fuji \$195; CIID experimental \$268; y CIID producción \$208.

^dLos gastos de reparación corresponden solamente a los repuestos. Se supone que la mano de obra es suministrada por el usuario o por el gobierno.

Cuadro 5. Elementos principales de costo (\$) de la versión experimental y de producción de la bomba manual CIID-UM.

Elemento	Experimental	Producción
Pistón y válvula de pedal	59,00	8,40
Caño	4,10	4,10
Cilindro del pistón	20,20	8,70
Tubo de caída y conjunto de varilla de pistón	9,80	9,80
Pedestal de metal	17,40	17,40
Conjunto de palancas	16,40	16,40
Pernos y arandelas	6,10	8,20
Costo Total	133,00	73,00

- La duración registrada sobre terreno para las bombas que no proceden del CIID es extremadamente corta, variando de 6 meses de 5 años.
- Las 12 bombas de succión instaladas sobre terreno en los últimos dos años siguen funcionando todavía. Por tanto no existen datos disponibles sobre su duración real. Para fines de este análisis se utiliza un cálculo de 7-9 años
- Las bombas no utilizables se conservan para repuestos. De esta manera no existe un valor de recuperación definido. Por tanto, se supone que el valor de recuperación sea cero al final de la vida económica de la bomba.
- Los datos de costo obtenidos de 1978 a 1981 no mostraron un aumento significativo por inflación. Se supone que estas cifras de costo sean en dólares constantes de 1980.

Situación del abastecimiento de agua

Solamente un 43 % de las viviendas rurales de Malasia son abastecidas por acueducto (Cuadro 6). Sin embargo, esta cifra podrá aumentar al 58 % en 1985 si se llevan a cabo los planes actuales del Cuarto Plan Malasio. En términos del número de viviendas rurales, esto significa que un total

Cuadro 6. Número ('000) y porcentaje de las viviendas rurales servidas por agua de acueducto.^a

	No. de viviendas rurales			No. abastecido con acueducto			% abastecido con acueducto		
	1980	1985	1990	1980	1985	1990	1980	1985	1990
Malasia Peninsular	1485	1656	1801	698	1043	1388	47	63	77
Sabah	102	159	175	18	62	106	18	39	61
Sarawak	164	189	208	41	66	91	25	35	44
Total	1751	2004	2184	757	1171	1585	43	58	73

Fuente; Gobierno de Malasia. 1981. Cuarto Plan de Malasia.

^aSe supone que las viviendas rurales constituirán el 60 % de la población en 1990, en contraste con el 38 % en 1985; y que el número de viviendas rurales que serán abastecidas con acueducto para 1985-1990 será el mismo que para el período 1980-1985, es decir 414 000.

de 994 000 hogares en 1980 y 833 000 en 1985 deberán depender de las fuentes tradicionales para su abastecimiento diario de agua.

Desde finales de los años 60, el Ministerio de Salud ha suministrado bombas manuales a un número limitado de hogares rurales. Actualmente, se han construido unos 5500 pozos que sirven aproximadamente a 22 000 hogares. Sin embargo, esta cifra representa solamente un 50% del objetivo fijado en el Tercer Plan Malasio. Una de las principales razones de este déficit es la dificultad de obtener bombas manuales. Actualmente, todas las bombas manuales utilizadas por el Ministerio de Salud deben ser importadas: estas incluyen bombas tales como la Dragon, Fuji, Gibson y SGP. Estas bombas son relativamente baratas, pero la experiencia del Ministerio es que rara vez duran más de 1 año. Por otra parte, existe escasez de repuestos cuando las bombas se rompen o averían.

El programa del Cuarto Plan Malasio es aumentar el número de bombas manuales instaladas a 12 382 con el objeto de servir aproximadamente a 60 000 hogares para fines de 1985. Sin embargo, debido a las demoras en obtener bombas del exterior, existen dudas de poder alcanzar este objetivo. El gobierno de Malasia piensa invertir mucho dinero para servir con acueductos a más del 70% de la población rural en 1990. Sin embargo, pese a tan ambicioso programa, unos 600 000 hogares seguirán dependiendo de otras fuentes de abastecimiento.

Mercados potenciales

El Ministerio de Salud es el principal organismo gubernamental implicado en la instalación de bombas manuales en las regiones rurales. El costo total de perforar el pozo e instalar la bomba (incluyendo el costo de la misma) corre a cargo del gobierno. Hasta la fecha, el gobierno ha suministrado también servicio gratuito de reparación y mantenimiento para la mayor parte de las bombas manuales instaladas. Esta política quizá se abandone en el futuro y los usuarios deberán hacerse cargo del mantenimiento, reparación y rehabilitación de sus propias bombas. La práctica actual es de suministrar un pozo con una bomba manual a un grupo de cuatro a seis hogares. Estos pozos son, en general, poco profundos, con un promedio de 5 a 15 m.

El objetivo gubernamental es el de instalar aproximadamente 2500 bombas manuales por año para servir aproximadamente a 12 500 hogares. El número de hogares rurales sin acceso al agua de acueducto es actualmente de 1 millón. Se espera que esta cifra se reduzca a aproximadamente 600 000 para 1990. Suponiendo que un

total de 400 000 hogares tendrán que depender todavía del agua de bombas en 1990, habrá que instalar 80 000 bombas manuales adicionales en todo el país de ahora hasta ese año. Esto implica un mercado potencial de aproximadamente 10 000 bombas por año para el resto del decenio.

Principales Hallazgos y Conclusiones

Costo de las bombas manuales

El costo de la bomba manual CIID-PVC varió de \$93 a \$267 en los cuatro países. Esta cifra derivó del costo experimental y probablemente puede reducirse a un tercio o la mitad si se produce la bomba en gran escala. Es significativo que la bomba experimental cueste solamente un 17% más que las bombas manuales existentes y comparables.

El factor costo no constituye la dificultad principal para que la bomba manual CIID-PVC obtenga una aceptación más amplia en los cuatro países. En Tailandia y en Filipinas, por ejemplo, todavía quedan problemas técnicos por resolver antes de que la bomba pueda considerarse como suficientemente confiable para uso regular. Sin embargo, esto ilustra la importancia de las pruebas de campo en una comprensión integral de la tecnología. La situación en Sri Lanka y Malasia es más favorable y las bombas probadas en estos países podrían, con algunas modificaciones, formar la base para la producción comercial y la utilización amplia. Es interesante notar que, en los dos países, hubo inicialmente problemas técnicos que fueron resueltos durante las pruebas en terreno. Los proyectos de Tailandia y Filipinas no pasaron por este mismo proceso extenso de prueba.

En Filipinas no es realista efectuar una comparación costo-eficiencia entre las bombas CIID-PVC, y las otras bombas manuales existentes, porque las bombas CIID-PVC presentan todavía algunas fallas serias de diseño que requieren solución. En el caso de Sri Lanka, las bombas manuales de CIID-PVC funcionan satisfactoriamente, pero no existen otras bombas comparables. Aunque actualmente Tailandia ha resuelto el problema de las filtraciones de las válvulas de pedal, el programa de pruebas de campo estaba incompleto en el momento de finalizar el proyecto. Solamente en Malasia fue posible comparar la bomba CIID-PVC con otras bombas manuales.

En esta comparación, las bombas manuales de CIID-PVC aparecen en posición favorable respecto de otras bombas manuales. Utilizando el

Cuadro 7. Resumen de estadísticas importantes sobre bombas manuales en los cuatro países.

Rubro	Malasia	Filipinas	Sri Lanka	Tailandia	Promedio o Total ^a
Costo de la bomba CIID	134	267	93	135	157
Gastos de instalación ^b	134	165	476	225	275
Bomba más gasto de instalación					
CIID	268	532	569	360	432
Bombas existentes	180	450	651	356	409
Hogares rurales					
Sin agua (millón)	0,99	3,12	1,32	2,60	8,03
Bombas manuales existentes (cifras de 1982)	6000	55000	2500	25000	88500
Mercado potencial anual (1982-1990)					
1 pozo pando/20 hogares	2000	18000	5000	4500	29500
1 pozo pando/5 hogares	8000	72000	20000	18000	118000

^aTodas las cifras de gastos son promedios en US\$.

^bSe suponen los mismos gastos de instalación para las bombas del CIID y las existentes. Este costo corresponde a un pozo de una profundidad de 9 m.

costo estimado de la bomba manual CIID-PVC (como si se hubiera producido en gran escala), se puede demostrar que la bomba cuesta solamente la mitad de las bombas manuales existentes. Si bien en el caso malasio había factores de conversión disponibles, no se emprendió un análisis económico porque no existe un impuesto gubernamental sobre las bombas importadas, pero el impuesto sobre el PVC importado variaba del 10 al 25%. En vista de ello, los resultados del análisis económico no diferirán significativamente de los del análisis financiero.

En todos estos cuatro países, la demanda de bombas manuales es elevada, especialmente de las que sirven para extraer agua tanto de pozos profundos como pandos. La bomba manual de CIID se adapta mejor a pozos de hasta 15 m de profundidad o a pozos poco profundos. Se estima que en estos cuatro países existe un mercado anual combinado para 29 500-118 000 bombas manuales para pozos pandos. El mercado más grande se encuentra en Filipinas (Cuadro 7).

Situación del abastecimiento de agua

Tanto Tailandia como Filipinas han tenido una larga experiencia en el uso de bombas manuales. En consecuencia, sus proyectos de agua rural prestan gran importancia a la perforación de pozos y a la instalación de bombas. En ambos países, los proyectos de bombas manuales reciben considerables subsidios de organismos internacionales de ayuda o préstamo.

De otra parte, en Sri Lanka y Malasia, el uso de las bombas manuales parece ser un desarrollo reciente. Sin embargo, el progreso realizado en

el programa de abastecimiento de agua rural en Sri Lanka, incluyendo el programa de bomba manual, experimenta algunas dificultades por la falta de fondos oficiales. En contraste, el programa malasio tiende a dirigirse más hacia el abastecimiento de hogares rurales con acueducto que hacia un aumento substancial del número de bombas manuales. Sin embargo, esto es extremadamente costoso y puede cambiar en el futuro.

Pozos pandos y profundos

La demanda que existe es por bombas manuales que puedan extraer agua tanto de pozos pandos como de pozos profundos. La distinción entre un pozo pando y un pozo profundo es ambigua, pero se acepta en general que un pozo pando es inferior a 15-20 m de profundidad; esta es la profundidad de perforación. Sin embargo, la profundidad del nivel freático varía considerablemente entre los pozos. Así pues, aun en el caso de un pozo profundo de 30 m, el nivel freático puede ser solamente 5-10 m bajo la superficie. En este caso, todavía se puede utilizar una bomba para pozos poco profundos.

Las capas freáticas fluctúan según el tipo de precipitación prevaeciente en cada región. Por tanto, algunos pozos poco profundos pueden secarse durante los períodos de sequía. En el caso de pozos más profundos, la capa freática puede bajar considerablemente de modo que no sea posible extraer agua del pozo con una bomba diseñada para pozos pandos.

Todas las bombas probadas en el programa del CIID están destinadas básicamente a pozos pandos, es decir, a pozos que tienen una profundidad perforada de 15-10 m. Así pues, al evaluar

los mercados potenciales para la bomba manual CIID-PVC, es más apropiado considerar solamente el mercado para pozos pandos que para pozos profundos y pandos. El trabajo futuro sobre la bomba CIID-PVC podrá extender el alcance de la bomba y, en este caso, su mercado potencial.

Agradecimientos Expresamos nuestro agradecimiento por el apoyo y la ayuda que hemos recibido del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID). Los equipos del proyecto en los cuatro países prestaron su colaboración en el suministro de toda la información básica utilizada en la preparación de este estudio. Los jefes de proyecto, Pathirana Dharmadasa de Sri Lanka, Pisidhi Karasudhi de Tailandia, Antonio Bravo de Filipinas y Goh Sing Yau de Malasia, nos brindaron su asesoría y conocimientos sobre la situación global de las bombas manuales en sus respectivos países. Agradecemos su ayuda en estos campos. Asimismo

damos las gracias a los diversos funcionarios que en los cuatro países permitieron ser entrevistados sobre el programa pertinente de sus instituciones.

Bibliografía

- Goh, S. Y. 1980. *The performance characteristics of a reciprocating piston water lift pump*. Ottawa, Ont., Canadá: International Development Research Centre. *Interim progress report, Water pumping technology — Global project*.
- IRC (International Reference Centre for Community Water Supply). 1977. *Handpumps*. The Hague, Netherlands: IRC. *Technical Paper No. 10*.
- Modern Asia. 1982. *Wanted: 20 million pumps for the Third World*. Washington, DC, EE.UU. Número de abril, pág. 29.
- World Water. 1982. *1981-1990 decade*. Liverpool, Reino Unido: Thomas Telfield Ltd. pág. 11-15, 47-50.

Conclusiones

En una era de rápido desarrollo y expansión demográfica, todas las naciones se enfrentan al desafío de mejorar su salud ambiental. En el Tercer Mundo, este problema se hace más agudo debido a los escasos recursos. La provisión de instalaciones adecuadas de abastecimiento de agua pura para las poblaciones rurales para 1990, objetivo oficial del Decenio Internacional de Suministro de Agua y Saneamiento, significa que para el año 2000 se necesitarán aproximadamente 20 millones o más de bombas manuales nuevas si se quiere lograr el objetivo de llevar agua potable a los millones de habitantes rurales del planeta. Estas bombas deben ser capaces de resistir el uso y el abuso de las numerosas personas que dependen de su funcionamiento adecuado para el abastecimiento diario de agua.

Cuando una bomba manual se descompone y permanece fuera de servicio, la pérdida económica es cuantiosa. Los repuestos y la posibilidad de vandalismo y desaparición de los mismos si el desperfecto de la bomba dura más de algunos días, resulta en un costo considerable y en una pérdida de inversión financiera, para no mencionar las dificultades y los inconvenientes causados a los que deben caminar grandes distancias para obtener agua. Una de las soluciones a este problema consiste en concentrar los esfuerzos en el desarrollo de bombas manuales fabricadas localmente cuya manufactura sea económica y su reparación fácil al nivel rural con un requerimiento o mínimo de experiencia.

El diseño de Waterloo, desarrollado en 1976, llena precisamente este cometido. El pistón y la válvula de pedal son fabricados con cloruro de polivinilo (PVC), un material fácilmente disponible en la mayoría de los países en desarrollo. Este diseño es tal que el pistón y la válvula de pedal son intercambiables, es decir que el pistón puede ser utilizado como válvula de pedal y viceversa.

Esto permite reducir considerablemente el número de repuestos necesarios para la reparación o reemplazo de las piezas. Otra de las ventajas es que incorpora anillos de pistón de polietileno, similares en diseño a los que existen en un motor de automóvil. Estos pueden ser fácilmente reemplazados cuando están gastados. Finalmente, el diseño aprovecha un tubo de elevación. La sección del cilindro, el lugar por donde asciende o desciende el pistón, es el mismo tubo de elevación. Si esta sección se gasta, el pistón puede simplemente moverse a una nueva posición en el tubo de elevación. Un tubo de PVC de diámetro más pequeño sirve de varilla de pistón. Los elementos superficiales son de diseño y materiales locales. Estos diseños varían desde el tipo de acción directa demostrado por el proyecto de Sri Lanka hasta los arreglos más complejos del proyecto tailandés. Para el proyecto de Filipinas se utilizaron pedestales de hormigón económicos, un concepto que merece una mayor investigación.

La tecnología desarrollada y probada con el apoyo del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) mediante estos proyectos indica claramente que ningún diseño universal funcionará adecuadamente bajo las condiciones y con todos los grupos de usuarios. Más aun, no era la intención de esta investigación encontrar tal diseño. Si bien el principio básico de la bomba siguió siendo el mismo para los cuatro proyectos, hubo variaciones y modificaciones individuales. Los resultados de esta investigación han demostrado claramente que esta tecnología, o cualquier otra tecnología de bombas manuales, debe primero ponerse a prueba bajo condiciones locales y ser modificada de acuerdo con las necesidades y opiniones de los usuarios, las condiciones ambientales, los materiales disponibles y el nivel de experiencia o pericia de aquellos

que la adoptarán y mentendrán. Sin ello, no se puede esperar que la tecnología satisfaga las necesidades del grupo a quien va dirigida, y muy probablemente fracasará.

Una vez probada sobre el terreno con éxito, se debe realizar un esfuerzo concentrado para sensibilizar y educar a todos los usuarios no solo sobre el funcionamiento de la bomba sino sobre sus limitaciones. Una bomba manual es un sistema que tiene varios elementos. Si uno de estos funciona mal, todo el sistema se descompone y ya no puede obtenerse más agua. Por consiguiente, una comprensión total de cómo funciona la bomba, qué es lo que puede funcionar mal y cuáles son las piezas que se gastan más rápido, es esencial para su mantenimiento adecuado. Esta comprensión es también esencial para un mantenimiento preventivo, que es un aspecto de la tecnología de las bombas manuales lamentablemente descuidado.

Sin embargo, este seminario sobre la tecnología de bombas manuales a nivel rural no debe considerarse como el fin de una red de proyectos de investigación. Es el comienzo de una nueva etapa que buscará llevar este concepto al sector más necesitado: la gente pobre del área rural. La idea de utilizar material plástico económico para las piezas de la bomba se ha demostrado exitosamente. Sin embargo, la producción comercial en gran escala, mediante el moldeo por inyección, todavía no ha sido investigada. Hay que examinar detenidamente la viabilidad de la producción en pequeña escala en industrias caseras. Debe continuarse la investigación sobre el uso de nuevos materiales y diseños modificados; asimismo deben ensayarse y ponerse a prueba varias opciones para las piezas superficiales de bajo costo. Pero, lo más importante si esta tecnología va a ser aplicada al nivel rural, es la concentración de los esfuerzos para obtener la retroalimentación de los usuarios. Hay que llevar a cabo estudios sociológicos y económicos en todas aquellas localidades donde se va a instalar la bomba, y utilizar un enfoque científico para desarrollar metodologías comunes en estos estudios. Habrá además, que poner en ejecución programas de capacitación para la población rural, apoyados por el desarrollo y la prueba de materiales didácticos adecuados para los trabajadores rurales. Finalmente, hay que establecer o reforzar las infraestructuras apropiadas y desarrollar técnicas administrativas que no solamente estén encaminadas hacia la institucionalización del concepto de operación y mantenimiento a nivel rural (VLOM), sino hacia el seguimiento mediante servicios de control y programas educativos continuos para los usuarios.

Las técnicas de producción en masa deberán reducir substancialmente el costo de esta bomba de PVC; sin embargo, esto está todavía por demostrarse. El Dr. Goh Sing Yau de la Universidad de Malaya propone abordar este asunto, así como algunos de los otros problemas mencionados anteriormente. Su idea, que tiene por objeto llenar la laguna existente entre la investigación de desarrollo y la comercialización, es investigar diversos procesos de fabricación en detalle mediante el desarrollo de una pequeña unidad de fabricación. El proyecto también buscaría:

- comprender plenamente los procesos de fabricación y los verdaderos costos implicados en la producción de cada pieza;
- desarrollar la experiencia necesaria para consultar con las unidades manufactureras sobre los procedimientos de producción;
- realizar evaluaciones de costo de varias opciones manufactureras; por ejemplo, subcontratación versus manufactura en el lugar del montaje;
- establecer pautas y normas para el control de calidad;
- realizar pruebas sobre terreno (utilizando el personal del Ministerio de Salud) de los modelos producidos en masa y evaluar su desempeño técnico;
- producir manuales apropiados para transferir la tecnología a otros grupos interesados; y
- apoyar proyectos complementarios suministrando modelos, capacitación e investigación sobre la manera de resolver los problemas que puedan surgir.

Se espera que este proyecto dará por resultado en última instancia el establecimiento de un centro de investigación y capacitación que pueda ser el núcleo de una red de proyectos encaminados a investigar conceptos tales como programas de mantenimiento a nivel rural, programas de financiación comunitaria, estrategias de aceptación

comunitaria (comercialización social), y las diversas opciones para la manufactura y el montaje.

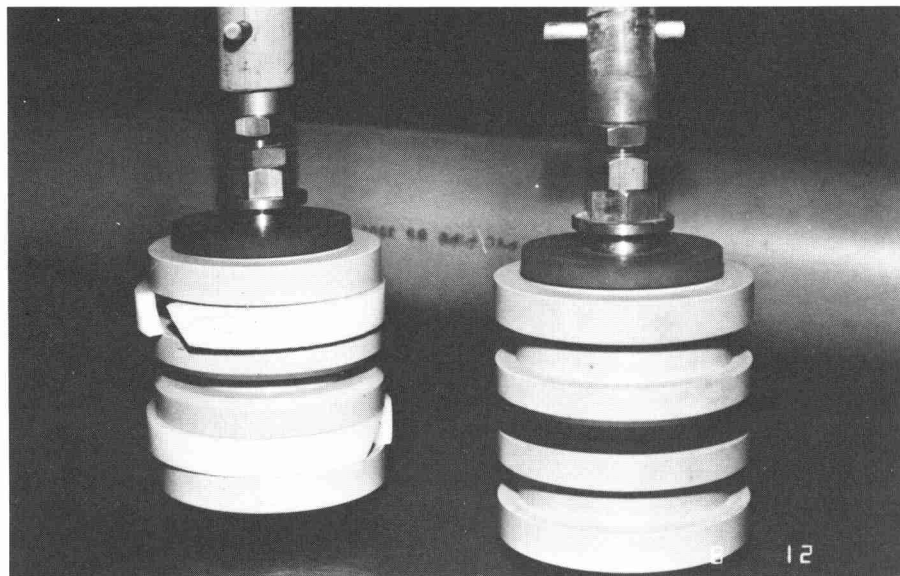
Los debates realizados durante este seminario revelaron que esta bomba de PVC puede constituir la respuesta a miles de comunidades rurales durante muchos años. Sin embargo, constituye solamente una de las numerosas opciones técnicas, todas las cuales tienen un lugar en la larga lista de opciones. En algunas comunidades y países, la bomba de PVC puede servir como una tecnología provisional hasta que surja algo más perfeccionado. En otras comunidades, debido a diversas condiciones sociales, económicas y ambientales, puede no ser aceptable en absoluto. En otras comunidades, la respuesta más adecuada quizá sea un nivel de tecnología más refinado.

Para los muchos millones de habitantes rurales del mundo que no tienen opción, esta tecnología es un comienzo, una contribución al objetivo del agua pura para todos en 1990. Pero el futuro del diseño de Waterloo depende ahora del interés de los investigadores en estudiar los problemas de su implantación. En esta edad de recursos limitados, se hace cada vez más evidente que el futuro de la tecnología de la bomba manual está en manos de los mismos aldeanos. Sin embargo, queda todavía un interrogante: ¿Cuál es la mejor manera de transferir esta tecnología y el deseo de mantenerla a la gente que más la necesita?

Necesidades de Investigación

Durante el seminario se identificaron las siguientes prioridades de investigación. En el aspecto de programación (software) deberán realizarse las investigaciones siguientes:

- desarrollo de metodologías encaminadas a promover la aceptación comunitaria;
- desarrollo y ejecución de varios proyectos de mantenimiento;
- desarrollo y prueba de proyectos de autoayuda y financiación comunitaria;
- desarrollo de instrucciones destinadas al sector rural;
- investigación de los patrones de comportamiento de uso del agua y el desarrollo de programas de educación sanitaria destinados a cambiar tales comportamientos en caso necesario; y



El pistón de Waterloo (izquierda) y la válvula de pedal (derecha) están moldeados en PVC sólido. Exceptuando los anillos de pistón y el cierre de caucho sobre la válvula de pedal, son intercambiables.

- desarrollo de programas de capacitación sobre administración de recursos hídricos y desarrollo de sistemas de información destinados a controlar dichos recursos.

En el aspecto de equipo tecnológico (hardware), se deben realizar las investigaciones siguientes:

- desarrollo de tecnologías apropiadas y económicas de perforación de pozos;
- desarrollo de equipos de exploración de agua baratos y simplificados;
- adaptación y prueba del diseño de Waterloo para uso en pozos de más de 50 m. de profundidad;
- desarrollo e institucionalización de un sistema de clasificación de fuentes de agua que incorporen no solamente los criterios de calidad del agua sino también de protección sanitaria, construcción y estado de reparación;
- investigación sobre uso de nuevos materiales y tipos de plásticos tales como acrilonitrilo/butadieno/stireno (ABS);
- estudios sobre el desempeño de varias configuraciones superficiales; y
- estudios sobre cómo se contamina el agua del pozo a la casa y cómo se puede cambiar el comportamiento (con la ayuda de intervenciones tecnológicas) para reducir el riesgo de contaminación.

Participantes

ZAINUDDIN ARSHAD, Ministry of Health, 3rd Floor, Block E, Jalan Dungun, Kuala Lumpur, Malasia.

ANTONIO BRAVO, Institute for Small-Scale Industries, University of the Philippines, Enrique T. Virata Hall, Emilio Jacinto Street, UP Campus, Diliman, Quezon City, Filipinas.

CHAN BOON TEIK, Director, Water Supply Division, Department of Public Works, Ministry of Public Works and Utilities, Jalan Dato Onn, Kuala Lumpur, Malasia.

CHEE KIM MENG, Gerente de Fábrica, Johnson and Johnson Sdn Bhd, Jalan Tandang, Petaling Jaya, Selangor, Malasia.

CHETPAN KARNKAEW, Jefe, Rural Water Supply Division, Department of Health, Ministry of Public Health, Devavesm Palace, Samsen Road, Bangkok 2, Tailandia.

CHO JOY LEONG, Federal Land Development Authority (FELDA), Jalan Gurney, Kuala Lumpur, Malasia.

CHONG KAH LIN, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya, Pantai Valley, Kuala Lumpur 22-11, Malasia.

PATHIRANA DHARMADASA, Lanka Jathika Sarvodaya Shramadana Sangamaya (Inc.), 77 de Soysa Road, Moratuwa, Sri Lanka.

ERNESTO D. GARILAO, Director Ejecutivo, Philippines Business for Social Progress, 4th Floor, Yutiro Building, 270 Dasmarias Binondo, Manila, Filipinas.

GOH SING YAU, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya, Pantai Valley, Kuala Lumpur 22-11, Malasia.

MICHAEL GRAHAM, Representante Regional de la División de Comunicaciones, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Tanglin P.O. Box 101, Singapur 9124.

ZAINAL HAJI HASHIM, RISDA, Risda Building, Jalan Ampang, Kuala Lumpur, Malasia.

RUS ISMAIL, State RISDA Office, Jalan Pengkalan Rama, Malacca, Malasia.

TIM JOURNEY, Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (Banco Mundial), 222 New Eskaton Road, Dhaka, Bangladesh.

LEE KAM WING, Funcionario de Programa, División de Ciencias de la Salud, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Tanglin P.O. Box 101, Singapur 9124.

LEE KWOK MENG, Federal Land Consolidation and Rehabilitation Authority (FELCRA), P.O. Box 2254, Kuala Lumpur, Malasia.

LUM WENG KEE, Ingeniero Principal de Salud Pública, Ministry of Health, 3rd Floor, Block E, Jalan Dungun, Kuala Lumpur, Malasia.

PETER LUTTIK, Funcionario de Programa, PNUD, P.O. Box 2544, Kuala Lumpur 11-04, Malasia.

UZIR A. MALIK, Department of Agriculture and Resource Economics, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Selangor, Malasia.

ZULAZMI MAMDY, Proyek Pedesaan, Universitas Indonesia, Salemba Raya 4, Jakarta, Indonesia.

CHARLES NAKAU, Appropriate Technology Development Institute, P.O. Box 793, Lae, Papua Nueva Guinea.

PICHAJ NIMITYONGSKUL, Division of Structural Engineering and Construction, Asian Institute of Technology, P.O. Box 2754, Bangkok, Tailandia.

PRASERT SAISITHI, Director, Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University, P.O. Box 4-170, Bangkok 4, Tailandia.

KAMAROL ZAMAN ABDOL RAHMAN, Department of Agricultural and Resource Economics, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Selangor, Malasia.

SAW KIM HOCK, RISDA, Risda Building, Jalan Ampang, Kuala Lumpur, Malasia.

DONALD SHARP, Funcionario de Programa, División de Ciencias de la Salud, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, P.O. Box 8500, Ottawa, Ontario, Canadá K1G 3H9.

C.J.A. STAMBO, Ingeniero Principal, Ground Water, National Water Supply and Drainage Board, Galle Road, Ratmalana, Colombo, Sri Lanka.

WILLY SUWITO, Ingeniero, Directorate of Sanitary Engineering, 4th Floor, Main Building, Jalan Pattimura 20, Kebayoran Baru, Jakarta, Indonesia.

TAN BOCK THIAM, Faculty of Economics and Administration, University of Malaya, Pantai Valley, Kuala Lumpur 22-11, Malasia.

TEE TIAM TING, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya, Pantai Valley, Kuala Lumpur 22-11, Malasia.

TEO BENG HOE, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya, Pantai Valley, Kuala Lumpur 22-11, Malasia.

CECILIA C. VERZOSA, PIACT/PATH, MCC P.O. Box 189, Makati 3117, Metro Manila, Filipinas.

DONALD WAUGH, Oficina del Contrólador General y Tesorero, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, P.O. Box 8500, Ottawa, Ontario, Canadá K1G 3H9.

WIMUT KASEMSUP, Jefe, Water Resource Unit, Community Based Appropriate Technology and Development Services (CBATDS), Population and Community Development Association, 8 Sukhumvit 12, Bangkok 11, Tailandia.

K.M. YAO, Consultor de Administración de la Calidad del Agua, WHO/PEPAS, P.O. Box 2550, Kuala Lumpur, Malasia.

CESAR E. YNIGUEZ, Gerente, Engineering Department, Rural Waterworks Development Corporation, Vibal Building, 865-E de los Santos Avenue, Diliman, Quezon City, Filipinas.

AHMAD ZAINI BIN MAT YUSOP, Ministry of National and Rural Development, Bangunan Bank Raayat, 1st Floor, Jalan Tangsi, Kuala Lumpur, Malasia.