



El objetivo de este trabajo es presentar las tecnologías disponibles en el Centro Integrado de Tecnología Apropriada (CITA) del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, que brindan soluciones al abasto de agua en forma eficiente, viable y sostenible con la utilización de Fuentes Renovables de Energía (FRE).

La crisis del agua y las soluciones del CITA

Juan J. Paretas. Colaboradores: Pedro L. Pérez, Mirtha López y Carlos Ramos.

Retos actuales

Satisfacer las crecientes demandas de agua que exige una sociedad, economía y medio ambiente en perfeccionamiento, a saber:

Abasto social: el 6 % de la población recibe el agua por pipas que son dependientes del combustible; un 16% la posee de fácil acceso (la busca hasta distancias de 300 m) y un 4.5% no posee agua servida.

Abasto agropecuario: Más de 700 mil bovinos se trasladan al año de sus unidades en la época seca y se confinan para recibir agua por pipas, con las consiguientes pérdidas de peso vivo, aumento de accidentes, enfermedades y muertes o desnutrición, no recuperables. Muchas fuentes de agua son inaccesibles o no adecuadas para el abasto, aún en la primavera, y se producen afectaciones al consumo de alimentos y a la producción animal.

La sequía y el abasto intermitente o no adecuado del agua, afectan también los cultivos agrícolas, los que disminuyen sus producciones por falta de germinación de las semillas y pérdidas en sus poblaciones y en otros casos las cosechas se pierden totalmente.

Clima: La frecuencia de años con déficit moderado o severo de lluvias en el acumulado de las precipitaciones se duplicaron entre 1961-90, en comparación con los años 1931-60, lo que redujo el período de retorno de este fenómeno negativo de 5 a 2.5 años, con un aumento simultáneo en la persistencia. Los años severos aumentaron aún más su frecuencia, de 1 a 4 veces cada 25 años, al comparar ambos períodos.

Economía: El abasto de agua es un fuerte y significativo consumidor de energía, dependiente de las fluctuaciones en la disponibilidad y precios de los combustibles, resultando traumático para la frágil economía cubana en los años 90 hasta hoy.

Los aspectos climáticos y económicos señalados, unidos a la reanimación y el perfeccionamiento de la sociedad, de la economía, y los cambios en la estructura y tenencia de la

tierra que hoy diversifica y amplía la producción, imponen una nueva óptica de desarrollo sostenible para el abasto de agua. En esta vía, el INRH creó el CITA en 1992,

para encontrar soluciones apropiadas al abasto de agua en zonas rurales y peri urbanas utilizando las FRE. La tabla 1 resume las tecnologías que están disponibles.



Tabla 1. Tecnologías disponibles en el CITA y FRE que utilizan.

Fuente Energía	Tecnología disponible
Hídrica	4 modelos de arietes hidráulicos multipropulsores
Viento (eólica)	2 modelos de molinos de avanzada
Solar (fotovoltaica)	1 modelo de bomba de sogas solar
Humana manual pies	Varios modelos de bomba de sogas Bici bomba (con sogas)
Animal	Bomba vaquera
Otras	Tradifiltro

Especificidades y ventajas

I. Bombas de sogas. La sabiduría popular logró fabricar, con ingenio y una soga, un equipo que sustituye el uso de la energía convencional y supera en eficiencia a todos los mecanismos conocidos para el bombeo manual de agua.

Extraen agua desde un pozo u otra fuente hasta la superficie del nivel deseado, por lo que pueden usarse para el abasto de agua a la población, ganadería y para riego a pequeña escala.

Su funcionamiento está basado en un circuito cerrado entre la fuente de agua y la superficie o nivel deseado, por el que pasa una soga con nudos a intervalos determinados y que ascienden por dentro del circuito al accionar una polea motriz (Figura 1). Los nudos en su función de pistones se mueven en una sola dirección y al llegar arriba, el agua bombeada es entregada al usuario en cantidades de 2 L/s. La entrega varía con la profundidad (tabla 2).



Figura 1. Componentes para el funcionamiento de la bomba de soga.

Tabla 2. Indicadores de una bomba de soga.

Ø del tubo de subida (mm)	12-19	20-37	38-50
Profundidad de bombeo (m)	15 - 40	5 - 15	Hasta 5
Distancia máxima entre pistones (m)	3	2	1,5
Caudal estimado de bombeo (l/s)	0,2 - 0.7	0,2 - 1	1 - 2

Modelos. Experimentan transformaciones constantemente por la posibilidad de adaptarlas a las posibilidades tecnológicas y la capacidad productiva de cada lugar. Entre las principales tenemos:

Bomba de soga de torre

Permite solucionar el problema de elevar el agua, de

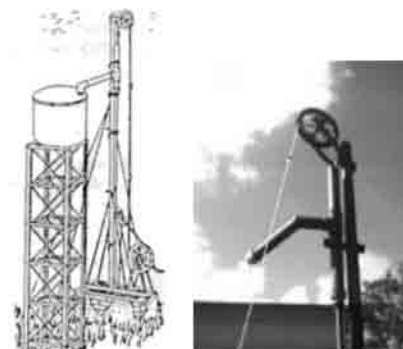


Figura 2. Bomba de soga de torre y detalle de la guía superior.

forma manual, hacia un nivel superior o fuente de abasto (Figura 2). Como la altura suele ser mayor que la habitual, en la polea se colocan dos manivelas para ser accionadas por dos personas y de esa forma aumentar la potencia de bombeo que puede alcanzar 2 L/s. a 10 m de altura.

Bomba de soga para bombeo no vertical

Bombean el agua desde un río, presa, canal o acequia. Para ello, sólo basta inclinar en el ángulo necesario el tubo de subida (hasta 75°). Resulta un equipo idóneo por la facilidad y el bajo costo con que se soluciona el problema (Figura 3).

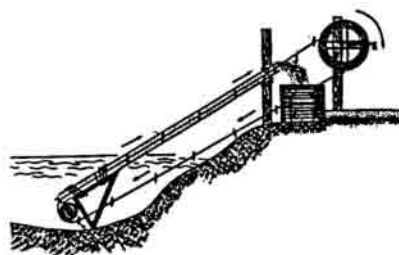
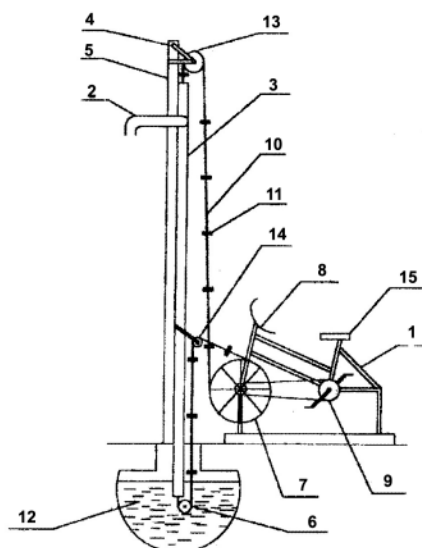


Figura 3. Bomba de sogá para bombeo no vertical.

Bici bomba

Es una bomba de sogá de torre, acoplada a una bicicleta, de forma tal que se pueda bombear agua hacia un recipiente elevado, a partir de la energía del hombre al pedalear. Se puede utilizar para el abastecimiento de agua en bases de campismo, centros turísticos, zonas rurales y zonas periurbanas. Es viable su empleo para el abasto de agua potable y para el uso doméstico, el riego a pequeñas parcelas y el abasto a la ganadería de forma limitada (Figura 4).



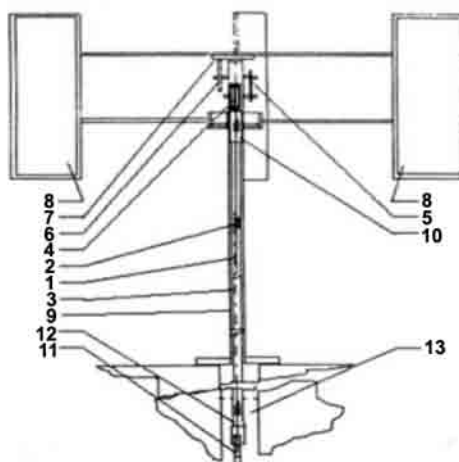
- 1 Cuadro, 2 Ducha, 3 Estructura o base, 4 Estructura de la roldana, 5 Estructura o soporte 6 Guía, 7 Llanta, 8 Manubrio, 9 Mecanismo de transmisión, 10 Piscina, 11 Pistones, 12 Pozo, 13 Roldana, 14. Roldana- Tensor, 15. Sillín, 16 Soga, 17. Tanque, 18. Tubería de descarga, 19. Tubería de subida, 20. Tubería de desagüe, 21. Viga - soporte

Figura 4. Modelo de BiciBomba construida con tubos galvanizados.

Bomba de sogá con molino de viento

La energía eólica puede sustituir a la energía humana como fuente motriz en la bomba de sogá. Como la potencia requerida no es grande, se deben usar molinos pequeños y sencillos, que logren captar vientos de velocidades inferiores a los 4 m/s y permitan usar

la bomba de forma manual en zonas de regímenes inestables de vientos. La mayoría de los modelos utilizados en Centroamérica tienen el inconveniente de que no permiten la rotación del molino a 360°. Ello se superó con el diseño propuesto por el Grupo de Energía Solar, basado en las experiencias del CITA (Figura 5).



1. Soga
2. Pistones
3. Tubo de subida
4. Polea motriz
5. Juego de poleas multiplicadoras
6. Rueda de fricción
7. Disco
8. Rotor eólico
9. Estructura
10. Tubo de descarga
11. Guía
12. Campana
13. Pozo

Figura 5. Bomba de sogá con molino de viento.

Bomba solar

La bomba solar es una tecnología apropiada donde no exista servicio eléctrico. El equipo fusiona dos tecnologías aparentemente contradictorias, el uso de la energía solar fotovoltaica junto a una tecnología popular (bomba de sogá) pero de alta eficiencia. Esto permite aprovechar al máximo la energía disponible (Figura 6).



Figura 6. Bomba solar.

Las palabras no logran transmitir la sencillez, utilidad y versatilidad de la bomba de sogas por ello, bastaron algunos talleres, seminarios y demostraciones realizadas por el CITA, para que varias entidades y usuarios individuales se apropiaran de esta tecnología de bajo costo, que hoy funciona en más de 2 000 lugares en todo el país (Figura 7).

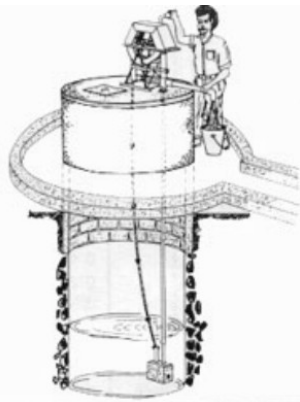


Figura 7. Adopción de la bomba de sogas.

II. Ariete Hidráulico

Muchos autores asumen que el Ariete hidráulico (AH) es una máquina, otros alegan que es un motor, pero realmente el es una bomba de fluido impelente, que para que funcione solo basta conectarlo a una fuente de agua que tenga cierto desnivel topográfico con relación al ariete (Figura 8). Este desnivel crea una energía potencial, que al caer el agua por gravedad se convierte en energía cinética ($E = \frac{1}{2}mv^2$), la que es utilizada por el AH para bombear

una parte del caudal de agua que le entra.

Para que un AH funcione, el desnivel mínimo entre él y el espejo de agua es 0.5m; la altura de bombeo resultante puede alcanzar la relación de 1:10 a 1:30, o sea un metro de desnivel permite elevar el agua de 10 a 30 m. Los AH convencionales poseen una válvula de impulso y una de retención; su carcasa y el tanque de aire generalmente son fundidos, lo que los hace muy pesados e inflexibles, además de su alto costo.

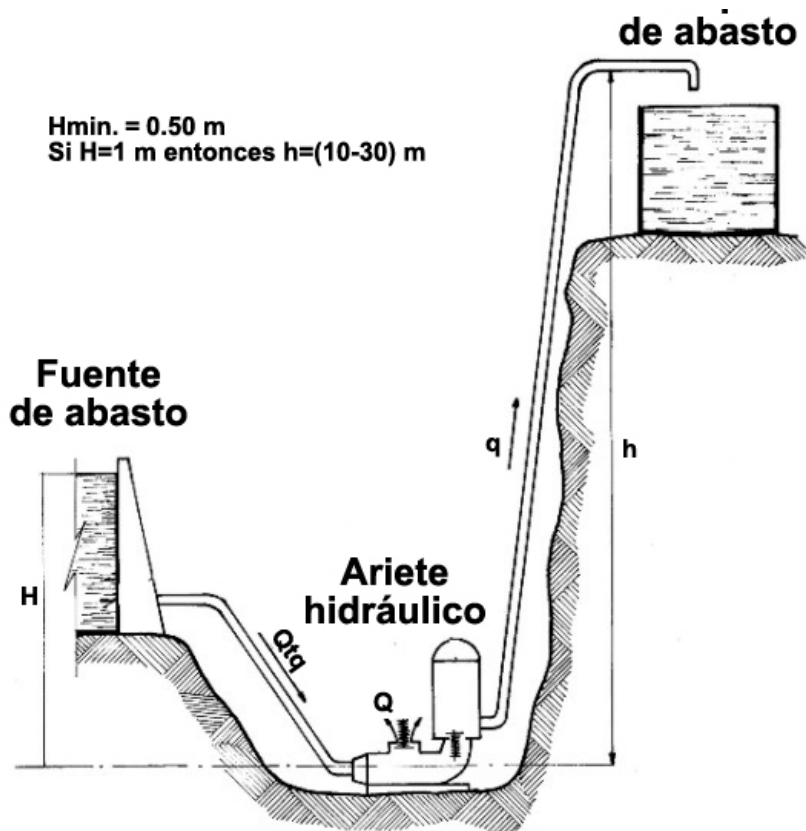


Figura 8. Principio de funcionamiento de un ariete hidráulico.



Los modelos desarrollados en el CITA poseen las ventajas siguientes:

- Muchas partes y piezas provienen de equipos en desuso
- Los modelos CITA 2 y 3 son galvanizados y desmontables.
- Los modelos CITA 6 y Danés también son desmontables, aunque el material galvanizado se usa en parte (Danés) o no se usa (CITA-6).
- El hecho de ser desmontables le confiere a estos equipos beneficios significativos para el traslado, montaje, mantenimiento y reparación.
- Los equipos son más ligeros y sus costos de producción menores. Además, pueden construirse a escala local, lo que les confiere ventajas para la adopción y posterior manejo.

III. Molinos de Viento

El CITA tiene instalados equipos de nueva generación llamados *Aerobombas no convencionales*. Sus inventores utilizan tecnologías de última generación vinculadas a la aerodinámica, mecánica, hidráulica y nuevos materiales, que posibilitan en su conjunto la producción de nuevos y atípicos modelos de molinos.

En esta categoría se encuentran las aerobombas de tipo Delta, que tienen aletas

en forma Delta, son más cortas (10 cm) colocadas en mayor cantidad (24 ó 32 aletas) en el perímetro del rotor. Esto le permite extraer y bombear agua con velocidad del viento menor de 2 m/s. Estas peculiaridades, sumado a la no utilización de caja reductora, le permiten más eficiencia y mayor entrega que los molinos tradicionales.

Los modelos Junior (4m de altura y 24 aletas) y Delta 16 (10m altura y 32 aletas), además de ser ligeros, poseen mecanismos adicionales que facilitan el montaje y desmontaje si fuera necesario. Este mecanismo es una articulación en la torre del Junior, que permite que 3 hombres lo desmonten; en el caso del Delta 16 posee un mecanismo tipo "winche" acoplado que permite que 2 hombres lo manipulen. En ningún caso hacen falta grúas u otros mecanismos utilizados tradicionalmente.

Principio de funcionamiento: el viento (inferior a 2 m/s) es captado por las aletas tipo Delta (24 ó 32) ello, posibilita el movimiento circular del rotor que trasmite directamente a la varilla de accionamiento por una excéntrica.

Se crea así un movimiento alternativo rectilíneo, que pone a funcionar la bomba de desplazamiento positivo colo-

cada en el pozo o estanque, obteniéndose de esta forma un bombeo más eficiente y en mayor cantidad que con los molinos tradicionales.

Con estos modelos podemos extraer agua desde 0-20 m (el Junior) y hasta 100 m (el Delta), entregándose hasta 3m³/día con el primero y 30 m³ con el segundo.

IV. Bomba vaquera

Se diseñó un prototipo de "Bomba vaquera" que el propio animal manipula (primera bondad); la bomba además, se puede colocar a más de 45 m de la fuente (segunda bondad), preservando la misma de la contaminación y el deterioro. Trabajan bajo el principio de la bomba de diafragma; un disco de goma se mueve hacia delante y al retornar crea una succión que permite el bombeo y la elevación del agua, el animal empuja una palanca al buscar el agua situada en la parte de atrás de una escudilla, lo que activa un émbolo que bombea el agua dentro de la escudilla.

El prototipo CITA (Figura 9), utiliza materiales de desecho y fácil adquisición, lo que la hace simple y económica. La utilización de un diafragma mayor y mejoras en la válvula de retención, ha elevado el rendimiento del equipo que puede satisfacer



Figura 9. Bomba Vaquera-CITA.

el abasto de agua para 10 bovinos adultos y vencer una altura de 6 m, aproximadamente.

V. Tradifiltro

Muchas familias cubanas usaban filtros para mejorar la calidad del agua de beber, los que poseían piedras porosas como medio filtrante. La generalización del acueducto y el uso masivo de la potabilización del agua después de 1962, hicieron desaparecer los filtros caseros. No obstante, el servicio de agua intermitente, la posible falta de productos químicos y otras causas menores, siguen afectando la calidad de este producto en pueblos y ciudades, problema más agudo en las zonas rurales, donde las fuentes de agua están desprotegidas y no se utilizan desinfectantes.

En otros casos, la buena práctica popular de hervir el

agua, trae inconvenientes prácticos y gastos considerables de combustible; todo lo anterior, justifica la necesidad de mejorar la calidad del agua, para evitar afectaciones en la salud pública.

Por ello se diseñó un filtro, a partir de la introducción y promoción de uno traído por un especialista, con capacidad de filtración hasta de 12 L. de agua/día, suficiente para el consumo diario de una familia promedio. No utiliza piedras porosas, es una unidad filtrante compuesta por arcilla mezclada con aserrín (al quemarse se convierte en carbón) en proporción bien definida para obtener la porosidad adecuada. Después de horneada, se le aplica MICRODIN (plata coloidal) como líquido desinfectante. Con esta práctica se logró eliminar la turbidez, olores, sabores desagradables y la contaminación biológica con *E. coli*, amebas

y otros microorganismos al 100%.

Costo – beneficio

Los costos de producción e instalación de los diferentes equipos (Tabla 3), podrán reducirse en 20-40% cuando se produzcan en serie. En los molinos, el ensamblaje y producción en Cuba de algunas partes y piezas, disminuirá los precios hasta un 30%. La producción en serie estabilizará la calidad de producción y coadyuvará al aumento de la eficiencia en 10-40%.

La amortización de la inversión para las bombas se realiza en un año, en los arietes se necesitan 2 años y de 5 a 8 años para los molinos. No obstante, la posibilidad constante de mejorar la calidad de estos equipos, su producción local, la no dependencia de combustible, el número de personas, animales y área de riego que se pueden beneficiar y los aportes ecológicos por la no emisión de CO₂, hacen apropiados estos equipos para muchas zonas rurales y periurbanas de Cuba y de otros países.

Los equipos instalados alcanzan 367 en el CITA y más de 2300 en otras Instituciones, los que poseen un potencial para ahorrar 1200 t de combustible y evitar la emisión de 12,500 t de CO₂ (Tabla 4). Estas cifras resultan un apor-

**Tabla 3. Costos y beneficios.**

	Costo de Producción		Costo de instalación		Agua m ³ /día	Abasto a: Persona, ha, y animales			Ahorro /año Combustible		T /año CO ₂ no emitido
	USD	MN	USD	MN					t	USD	
Bomba manual	47	243	24	86	3.6	36	¼	25	0.41	92	4
Bici bomba	56	292	24	104	5.4	54	½	38	0.51	115	6
B. vaquera	99	196	10	40	1.5	—	—	—	8	0.08	17
Ariete CITA 2	182	270	433	1754	24.2	241	½	172	0.32	72	3
Ariete CITA 3	325	355	521	1754	34.6	600	1	420	0.78	175	7
Ariete CITA 6	405	490	865	1798	103.7	1036	2	740	1.34	301	11
Ariete Danés	45	161	433	1754	18.0	180	½	130	0.22	50	2
M. Delta Jr.	1000	—	30	120	3.0	30	⅓	25	0.77	173	6
M. Delta 16	3000	—	100	1500	30.0	300	1	250	1.53	346	13
Tradifiltro			10.01	4	—	—	0.03	7	0.3		

Nota: No aparece bomba solar porque aún está en evaluación. Los costos de instalación de los Arietes, dependen de la complejidad de la obra civil.

Tabla 4. Transferencia y adopción de tecnología, potencial /año de ahorro de combustible y no emisión de CO₂.

	Construidos e Instalados		Ahorro t/año combustible		No-emisión t/año CO ₂	
	CITA	OTROS	CITA	OTROS	CITA	OTROS
Bomba sogá	300	+ 2000	123	820	1200	8000
Bicibomba	17	50	8	25	102	300
Bomba vaquera	2	5	0.2	0.5	2	10
AHM	29	120	39	161	319	1320
Molinos	9	56	7	43	54	336
Filtros	10	30	0.3	1	3	9

te considerable a la economía, al medioambiente y a la sustentabilidad del país

La posibilidad de apropiarse de las tecnologías descritas es evidente; las mismas, son sustentables porque se adaptan a las condiciones de la comunidad y se demuestran

los impactos económicos, sociales y ecológicos positivos que producen.

Esta publicación resume e integra la información de los artículos que aparecen en el boletín CITA (ISBN 959-7102) y cuyos autores principales son: Leopoldo Gallardo, Boris

Manzanares, Alejandro Montesinos, Lisandro Vázquez, E. Fernández China, Nilo Sosa, Pedro L. Perez, Teresita Cordovi, Lorenzo Sarduy, Amado Cepero y José Fernández. ●