

Tecnología para el Desarrollo Humano

Agua e infraestructura

A. Pérez-Foguet, M. Carrillo y F. Magrinyà. (Eds.)



PROGRAMA INTEGRAL DE GESTIÓN DEL CICLO DEL AGUA: EXPERIENCIAS EN MOZAMBIQUE

Jaume Domingo, Eduard Valls

Escola Agrària de Manresa. España

Necesidad

Como resultado de la firma de los acuerdos de paz entre FRELIMO y RENAMO en los años 1994 al 1996 la comarca de Matutuine, al sureste de Mozambique recibió unos 30.000 retornados de los campos de refugiados de África del Sur. Su actividad principal era la obtención de carbón vegetal para abastecer la capital, Maputo, a unos 100 km. de distancia, de combustible económicamente asequible, produciéndose una rápida deforestación de las zonas de sabana más ricas. Otra de las actividades fue la fabricación de aguardiente de muy baja calidad y efectos muy negativos sobre la población.

El proyecto Ndlela ya misava yeru (Camino de nuestra tierra), financiado con el IRPF del 1992, y cogestionado por INTERMÓN y PARES SERVITES, tenía como objetivos:

- ▶ Reconstrucción de escuelas existentes y construcción de nuevas escuelas.
- ▶ Viviendas para maestros, con el fin de conseguir estabilidad en la enseñanza.
- ▶ Viviendas para la población más desvalida.
- ▶ Banco de crédito para pobres para potenciar actividades alternativas al carbón y al aguardiente (agricultura, ganadería, comercio...).
- ▶ Agua potable para la población.

Es en el contexto de este último objetivo dónde se mueve el proyecto de dotar a la población de Salamanga de un sistema de agua potable para uso de sus 3.000 habitantes.

Salamanga consta de varios núcleos habitados:

- ▶ El centro de la población, con casas construidas de obra, poblado mayoritariamente por comerciantes procedentes del Indostán. Este núcleo había dotado de un sistema de agua potable en tiempos de la colonia portuguesa. También hay un macrocomplejo de escuelas, así como un templo hindú, con gran afluencia de personas procedentes de la capital, los fines de semana.
- ▶ Varios núcleos de casas de caña, a distancias entre 0,5 y 6 km del núcleo comercial.

La población se abastecía de agua a un punto del río, bajo el puente por donde pasa la carretera Maputo-Belavista-Punta do Ouro, excepto del núcleo de Machamba estatal, que lo hacía al pozo allí existente.

Los antecedentes del sistema de abastecimiento

Una de las primeras tareas que se hicieron fue evaluar los restos de la instalación que había funcionado en tiempos de los portugueses. Consistía en:

- ▶ Una caseta (restos) donde se alojaba un pozo y una antigua bomba, ahora desaparecida. Los abuelos de la villa nos informaron que el pozo era de agua salada y de muy mala calidad.
- ▶ Un depósito elevado, de unos 30.000 litros, en mal estado, al centro de la población.
- ▶ Red de distribución en polietileno de baja densidad, de 2", en estado variable, unos 3 km.
- ▶ Dos fuentes, de dos picos, uno en la plaza del mercado y el otro a un km. aproximadamente, al este del núcleo (dirección Machamba Estatal). Se hablaba de una tercera fuente que no supimos encontrar.
- ▶ Restos de un pozo perforado en el centro de la villa, ahora seco. Este sistema había funcionado durante los años 60 por uso de la población portuguesa e indiana, no siendo accesible a la población autóctona.

Mapa de la población actual

Una de las primeras tareas fue llegar a un mapa aproximado de los núcleos de la población, con la cantidad de habitantes de cada núcleo, y con las curvas de nivel, extraídas de forma rudimentaria. Este trabajo se hizo con ayuda de personas de la villa que conocían la geografía local.

Los desniveles se tomaron para saber dónde se podrían poner las nuevas fuentes partiendo de la altura obtenida con el depósito existente, y uno nuevo que se podría hacer en el emplazamiento donde había habido el pozo, punto más elevado de la zona.

Partiendo del número de personas, se llegó a calcular el número de picos que se necesitarían, y partiendo del mapa realizado, el número de fuentes, de manera que pudiese llegar el agua por gravedad, y que la distancia máxima desde cada núcleo se redujera a 1 km entre ida y vuelta.

Se hicieron reuniones con cada núcleo de población para explicarles el proyecto y sus repercusiones positivas y negativas.

El agua

El pozo de Machamba Estatal

Evidentemente, el problema grave era de dónde sacar el agua. Empezamos por aforar el caudal del pozo de Machamba Estatal, obteniendo unos 1.500 litros por día, claramente insuficientes para la finalidad esperada, pero suficientes para las necesidades del pequeño núcleo que habitaba aquella zona, situada a unos 6 km. del núcleo central. Se desestimó como aportación para el sistema, y se descentralizó Machamba de la red.

El río Maputo. Proyectos de decantación y filtraje del agua

Un proyecto realizado por la comunidad del templo hindú, proponía el aprovechamiento del agua del río Maputo en una explanada próxima al templo, donde se tenían que excavar grandes galerías para la decantación, puesto que aquella zona era muy poco profunda y el agua muy rica en barros. La realización era complicada, costosísima, y creaba dependencias con la comunidad, puesto que ellos habrían suministrado la energía mediante un grupo electrógeno con gasoleo, y habrían gestionado el sistema, y esto suponía dejar el tema del agua en manos de un grupo de presión.

En vistas de la situación se continuó intentando hacer pozos. Dos de ellos resultaron aprovechables, pero con agua insuficiente, pero permitieron cubrir las necesidades de dos pequeños núcleos remotos.

Se intentó hacer un pozo en la explanada del templo hindú, más profundo que el río, pero los materiales (margas y arcillas) resultaron excesivamente impermeables y no permitían el paso del agua. Se desestimó un sistema con un brazo de captación lleno de graba, puesto que los barros e inundaciones de la zona lo habrían colmatado rápidamente.

Se hizo un nuevo pozo cerca de donde había habido el primero, bajando manualmente hasta 20 metros, con resultados negativos. Por debajo de esta profundidad según informes de la Dirección General de Aguas, sólo cabría esperar agua salada.

El pre-proyecto de bombeo con gasoil

El proyecto que se había escrito en el año 1993 consistía en construir las galerías de filtraje cerca del templo hindú y hacer la elevación del agua mediante dos bombas movidas por gasoleo, parecido a como se había hecho en la capital del distrito, Belavista (MSF).

Un análisis de la situación local nos hizo llegar a las conclusiones siguientes:

- ▶ El sistema era complicado de mantener y comportaba problemas de averías.
- ▶ Otro problema era el propio suministro del gasoleo, que se tenía que traer de la capital, Maputo, teniendo en cuenta que la carretera quedaba cortada durante semanas, en épocas de lluvia.
- ▶ La mayoría de la población no tenía acceso al dinero, de suerte que habría estado difícil cubrir los gastos del combustible.

Visto esto se pensó en una forma de bombeo que no comportara un gasto energético, dicho de otra manera: que fuera sostenible desde el punto de vista económico y ecológico. Se pensó en un sistema movido por arietes hidráulicos. Desgraciadamente el río Maputo, en este lugar es una ría, que viaja seis horas en una dirección y seis en otra alternativamente, de manera que la velocidad del agua es muy baja y el desnivel prácticamente nulo. Se descartó la idea, que habría podido resultar muy económica, si las condiciones físicas lo hubieran permitido. Las máquinas eólicas no eran aconsejables, puesto que los vientos eran pocos, débiles e irregulares. Sólo nos quedaba una tercera opción: la energía solar.

La energía solar nos aportaba tres soluciones:

- ▶ Paneles térmicos moviendo bombas Grey. Podía ser una buena solución, pero el nivel de desarrollo de estos sistemas todavía no nos daba la garantía suficiente.

- Energía solar térmica, con concentradores, moviendo un motor Stirling que generaría electricidad por tal de mover bombas convencionales. Nos encontrábamos en un caso complicado, puesto que teníamos que prever seguidores solares muy precisos, con problemas de mantenimiento, tanto en seguidor como en el propio motor.
- Paneles térmicos moviendo un motor Stirling a baja temperatura, con bombas eléctricas sumergibles convencionales. Podía ser motivador, puesto que caso de necesidad, se podría prever un sistema de calentamiento del agua mediante leña.
- Sistema de bombeo directo mediante energía solar fotovoltaica. Pese a la inversión económica que representaba, era el que nos ofrecía más garantías, puesto que no requería mantenimiento, ni se preveían, como la práctica nos está demostrando, averías.

Proyecto de bombeo solar directo

La primera idea que tuvimos con el fin de realizar un sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica, fue prescindir de baterías de acumuladores, por los problemas de mantenimiento, vida corta, peligros por la manipulación del ácido, peligro de explosión por chispas, resultado de reciclaje y reposición, etc.

Se pensó en un sistema compuesto por un *array* fotovoltaico, alimentando un sistema de tres bombas eléctricas, alimentadas por inversores convencionales. Un sistema de control por conversión de intensidad en tensión daría entrada a cada una de las bombas o las pararía según la intensidad de corriente disponible. Pronto descartamos el sistema por ser complicado.

La segunda posibilidad era un sistema formado por *array* fotovoltaico, un convertidor de frecuencia convencional y bomba centrífuga convencional. Esta parecía la mejor solución, y la más simple, pese a que tuviera componentes de tecnología muy avanzada, pero por otra parte, muy fiables.

Al hacer un viaje para ver los materiales existentes en el mercado, marcas y prestaciones de los convertidores de frecuencia y de las bombas, vimos que la casa Grundfos comercializaba un equipo compuesto por un convertidor de frecuencia y una gama de bombas trifásicas a 65 V, que por otra parte, ya estaba experimentado, y optamos por esta solución.

La captación y depuración del agua

Teníamos ya resuelta la aportación de energía y el sistema de bombeo. Durante este tiempo habíamos reconstruido el depósito de 30.000 L que habían dejado los portugueses y estábamos construyendo otro de 50.000 L en su punto más alto de la población, habíamos revisado los restos de la red de distribución antigua y la habíamos prolongado y rehabilitado hasta los puntos donde se estaban construyendo los fuentenarios (después vimos que aprovecharla había comportado problemas, puesto que al dar el agua nos encontramos con tramos obturados por raíces, y otras deficiencias que no nos imaginábamos en un principio). Ahora nos tocaba lo más difícil: obtener agua de calidad suficiente para ser utilizada para beber, cocinar y otros usos de calidad. Los pozos habían fracasado estrepitosamente y sólo nos quedaba el recurso del río.

El punto de captación del agua era un aspecto clave por la poca profundidad del río y los barros acumulados en el lecho. Se había pensado hacer una caja de hormigón filtrante, sin arena dentro del lecho, pero presentaba dificultades en la realización, peligrosa, así como posibles problemas de colmatación.

Recorriendo el margen del río descubrimos cerca de las escuelas, en un promontorio natural, los restos de una vieja sierra, que consistía en una depresión excavada en el terreno con unas paredes de obra que delimitaban una superficie de unos 200 m², apartada del río unos 100 m, y a un desnivel suficiente por evitar las riadas periódicas. En este punto el río quedaba limitado por una pared de roca, la única en mucho recorrido, formando una curva que la corriente había mantenido limpio de barro. Se comprobó la profundidad dando unos 7 m, de los cuales unos 4 eran de agua muy clara. Pudimos comprobar que en tiempos pasados había habido una captación de agua en este punto, y la adoptamos como buena.

Entre los materiales que descubrimos en el lugar había:

- ▶ Un generador de gasoleo de unos 60 HP, en estado deplorable, pero susceptible de reparación.
- ▶ Un cable eléctrico de unos 200 m, de 3 x 6 mm², triple aislamiento, enterrado dentro de una funda de acero corrugado. Debidamente comprobado, tenía continuidad y no presentaba pérdidas de aislamiento.
- ▶ Un tubo de plancha de hierro de 3 mm de grueso, 25 cm de diámetro y 8 m de longitud.
- ▶ 1 válvula de bola de 10", en buen estado.

Parecía que todo había estado dispuesto para alojar la planta depuradora y de bombeo de agua.

Los componentes del sistema

Se montó el sistema de la forma siguiente:

Captación: se va por una plataforma a la parte superior de la roca, un balconcito sobre el río, con el tubo de 25 cm de diámetro insertado justo en el medio. Se le subieron paredes y se dotó de una tapa metálica. Al tubo se le había hecho una reja al final para evitar la posible salida de la bomba, y se le practicaron unas hendiduras laterales al sitio donde se alojaba la bomba. Se aprovechó una vieja estructura metálica que debía haber sostenido una antigua bomba para fijar la parte media del tubo, aprovechando la marea baja. Se hizo llegar el cable blindado hasta la caja de conexiones, desde donde se hizo la bajada hasta la bomba sumergible, en este caso una Grundfos SP8A5.

Depósito de decantación: se construyó un depósito de obra, en superficie, para 100.000 L de agua. El fondo en pendiente pronunciada para vaciado periódico (5-10 años) de fangos acumulados a través de una válvula de 10 pulgadas.

Cisternas de filtración: dos líneas de filtración, consistentes en depósitos de grava, garbanzo de 2 medidas y arena. Los compartimentos separados por paredes de hormigón sin arena. Se alimentan por gravedad desde el depósito de 100.000 L mediante un tubo de 3" con dos boyas.

Cisternas de almacenaje de agua filtrada: situada bajo la caseta de control, consta de dos departamentos de 40.000 L cada uno, desde donde se envía el agua hacia los dos depósitos de distribución. Cada cisterna tiene instalada una bomba Grundfos SP3A10 y un grupo de presión controla la puesta en marcha y la parada de ambas.

Cañería de aducción: polietileno HD 3", 10 kg/cm², trae el agua hasta los dos depósitos de distribución. En un punto equidistante de los dos depósitos se bifurca, y cada rama acaba en una boya mecánica que cierra el paso una vez lleno el depósito. La excavación de la zanja de más de 2.000 m se hizo manual, con mano de obra local.

Depósitos de distribución: el primero situado al centro de la villa, es un depósito elevado de 30.000 L que se rehabilitó. El segundo se hizo aprovechando la antigua caseta del pozo de los años 60, con una capacidad de 50.000 L.

Red de distribución: realizada en polietileno HD de 2", acabando en 7 fuentes con un total de 16 picos. Se construyeron en puntos estratégicos teniendo en cuenta la distribución de la población y las cotas de nivel. Se rehabilitaron los dos que existían y el resto se hicieron con una forma similar, dotándolos de pozos de drenaje para evitar la acumulación de agua en la superficie, con posibles problemas de malaria.

Dotación de energía: consta de 104 paneles ISOFOTON de 50 Wp, con una potencia total de 5.200 Wp, trabajando en series de 8 paneles, a una tensión de 140-150 V de corriente continua. Están agrupados en 3 *arrays*, dos de 4 series (para las bombas de distribución) y uno con 5 series (para la bomba del río). Cada grupo alimenta un convertidor de frecuencia SOLARTRONIC SA500, cada uno conectado a una bomba, que dispone de un motor trifásico MS402, que se alimenta a 63 V de alterna, con una potencia que varía entre 550 W y 1300 W, según la intensidad solar recibida.

Resultados técnicos después de cinco años de funcionamiento

El sistema ha demostrado ser lo suficientemente fiable durante estos primeros cinco años de funcionamiento. Nos constan los problemas siguientes:

- ▶ La cisterna de decantación tuvo pérdidas al ser rellenada por primera vez y se tuvo que hacer una reparación en una de las paredes.
- ▶ Aparecieron dos fugas en las cañerías aprovechadas del sistema anterior, aún cuando se habían comprobado en la medida de lo posible.
- ▶ Durante las inundaciones quedó la instalación cubierta de agua, pero al retirarse las aguas volvió a funcionar por ella misma. Estamos pendientes de recibir un informe donde se detallen los m³ de agua bombeados durante este tiempo, así como las incidencias que se hayan podido presentar.

Otros sistemas de bombeo solar experimentados

En el momento actual podemos encontrar en el mercado otros equipos de bombeo directo mediante energía solar fotovoltaica. El más común, para potencias pequeñas es la utilización de una bomba con motor universal y alimentarla con corriente continua. Para pequeños sistemas podemos utilizar bombas tipo AMAZON, funcionando a 12 V, que consiguen una presión de 1 kg/cm² y con un caudal variable dependiente de la intensidad de alimentación, que puede ser entre 1 y 6 A. Pueden conec-

tarse fácilmente en paralelo y en serie. También es interesante la bomba SHURFLO, a 24 V= (continua) para potencias superiores, o la JABSCO, a 12 l 24 V.

En corriente alterna es interesante el convertidor distribuido por TOTAL, con salida a 380 V, y que utiliza bombas convencionales. También distribuyen BP SOLAR, Soluciones Energéticas, SES, y otras empresas.

El sistema de riego de la Escuela Agraria de Manresa

Si bien era arriesgado montar un sistema de bombeo de agua con materiales aún no experimentados en Mozambique donde no hubiéramos podido hacer un seguimiento adecuado, al llegar a Manresa se me presentó la oportunidad de diseñar y montar uno para regar la finca de la Escuela Agraria. El sistema se diseñó entre marzo y junio de 1998, y se realizó en julio, en un Curso de Bombeo Solar, que duró 10 días, y que comprendía 40 horas de teoría (tardes) y 50 horas de práctica (mañanas).

Se utilizaron los materiales siguientes:

- ▶ Bomba sumergible Grundfos, motor trifásico de 2 hp a 220 V. La parte hidráulica se escogió con una potencia de 1,5 hp, permitiéndonos trabajar en un margen de frecuencia de 30 a 58 Hz, sin superar la intensidad nominal del motor. Se escogió esta tensión que nos permitía trabajar en corriente continua a 310 V. Si hubiésemos querido trabajar a 380 V, se necesitaba una tensión en CC de 515 V, muy peligrosa y que se acerca a los topes de aislamiento de los paneles fotovoltaicos.
- ▶ Convertidor de frecuencia VACON CXS, 1,5 kw. Standard industrial por poner en marcha motores de 2hp. Se alimenta directamente con CC a 310 V, sólo programándole que no dé falla por error por carencia de una fase de alimentación.
- ▶ Array fotovoltaico de 2900 Wp, placas de SiM y SiP, segundas y terceras, formado por un total de 80 paneles entre 35 y 40 *Wp/, trabajando en 4 series de 20 unidades.

El sistema no ha presentado ningún problema en los 4 años que tiene de vida y actualmente se ha añadido un sistema de carga de baterías a 30 V para alimentar las instalaciones del taller y el aula que tiene la escuela en este lugar y que se dedica básicamente a las clases teóricas y prácticas del módulo de instaladores de energía solar. Este suplemento consta de:

- ▶ «Silla eléctrica», transformador trifásico procedente de una soldadora eléctrica, con una salida de 40 V y 100 A.
- ▶ Conjuntos rectificador de diodos de silicio.
- ▶ Batería de acumuladores (14 elementos de plomo-ácido), con una tensión de 18-32 V= y una capacidad de 1.000 Ah en C-10.
- ▶ Inversor TAURO de 1.500 W, entrada 22-32 V=, salida 220 V, onda sinusoidal pura.

La energía generada y consumida desde la puesta en marcha, según consta en el contador del convertidor de frecuencia es de 6,2 MWh.