

AQUAPOT: INSTALACIÓN DE UNA UNIDAD POTABILIZADORA MÓVIL BASADA EN TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS EN EL HOSPITAL DE RESSANO GARCIA (MOZAMBIQUE)

José Miguel Arnal Arnal

Beatriz García-Fayos

Adrià Carles Jiménez

María Sancho Fernández

Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM)

Universitat Politècnica de València

Abstract

Access to drinking water in quantity and adequate quality is a global problem. Currently, more than 1 billion people lack access to safe water and improved sanitation in rural areas of developing countries. Sustainable access to safe drinking water has become an international goal for the year 2015, reflected in the United Nations Declaration of the Millennium Development goals. Aware of the problem, the Chemical and Nuclear engineering Department and the Institute for Industrial, Radiophysical and Environmental Safety (ISIRYM) of the Universidad Politecnica de Valencia, researches and develops simple and effective drinking water treatment technologies through the AQUAPOT international project since 1996. As a result of this project, five drinking water treatment facilities based on technology developed by Aquapot have been installed in rural areas of Ecuador and Mozambique. This work shows the location study, design and installation of a mobile drinking water treatment unit based on membrane technology in the Hospital of the rural area of Ressano Garcia (Mozambique) as well as the most relevant results obtained from the action done and the lessons learned.

Keywords: *Aquapot; drinking water treatment; membranes; Mozambique; water*

Resumen

El acceso al agua potable en cantidad y calidad adecuada es un problema global. En la actualidad, más de 1 billón de personas carecen de acceso a fuentes de agua segura y saneamiento mejorado, en zonas rurales de países en vías de desarrollo. El acceso sostenible al agua potable se ha convertido en una meta a nivel internacional para el año 2015, reflejada en la Declaración de los Objetivos del Milenio de Naciones Unidas. Conscientes de la problemática, el Departamento de Ingeniería Química y Nuclear y el Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM) de la Universidad Politécnica de Valencia, investiga y desarrolla desde 1996 la aplicación de tecnologías de potabilización sencillas y eficaces, mediante el denominado Proyecto Internacional AQUAPOT. Fruto de este proyecto, se ha llevado a cabo la instalación de 5 unidades potabilizadoras basadas en la tecnología desarrollada en distintas ubicaciones rurales de Ecuador y Mozambique. El presente trabajo expone el proyecto de estudio de emplazamiento, diseño e instalación de una unidad potabilizadora móvil basada en tecnología de membranas en el Hospital del área rural de Ressano Garcia (Mozambique) así

como los resultados más relevantes derivados de la acción realizada y las lecciones aprendidas.

Palabras clave: *Aquapot; potabilización; membranas; Mozambique; agua*

1. Introducción

En la actualidad, el acceso al agua potable de una sexta parte de la población mundial continúa siendo un problema sin resolver. En algunos casos, el problema es la escasez de agua o la imposibilidad de acceder a ella. Sin embargo, en la mayoría de las situaciones la problemática reside en la contaminación física, química o microbiológica de las fuentes de agua. Esta contaminación hace imprescindible el tratamiento previo a su consumo, ya que existen multitud de enfermedades que se transmiten por medio del agua. El acceso sostenible al agua potable se ha convertido en una meta a nivel internacional para el año 2015, reflejada en la Declaración de los Objetivos del Milenio de Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2000, 2002, 2005).

Siguiendo esta línea, el Departamento de Ingeniería Química y Nuclear y el Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Mediambiental (ISIRyM) de la Universidad Politécnica de Valencia lleva investigando y desarrollando sistemas de potabilización de agua desde 1996, en el marco del Proyecto Internacional AQUAPOT (Arnal et al., 2002). Este proyecto tiene como objetivo la aplicación de tecnologías de potabilización sencillas y eficaces, capaces de solucionar la problemática relacionada con el acceso a agua potable en distintas situaciones. Hasta la fecha, se han instalado 5 unidades potabilizadoras basadas en tecnología de membranas en distintos puntos de Ecuador y Mozambique.

La última unidad potabilizadora diseñada por el Proyecto Internacional AQUAPOT ha sido instalada en el "Centro de Saude" de Ressano Garcia (Mozambique), entre los meses de enero y febrero de 2010. La población beneficiaria estimada es de 1500 personas, considerando el hospital de Ressano Garcia y la Escola Esperança, contigua al hospital. La metodología empleada en estos casos consiste en realizar un estudio de la situación local en cuanto al acceso y calidad del agua, plantear las distintas alternativas de tratamiento del agua y emplazamiento, diseñar el proceso de tratamiento más adecuado, construir la unidad potabilizadora y, como última etapa, instalar la unidad potabilizadora y formar a los técnicos locales que realizarán las labores de mantenimiento y producción de agua potable.

En el caso de esta última intervención, se ha optado por una unidad potabilizadora transportable debido a los próximos proyectos de modificación de la frontera entre Mozambique y Sudafrica, a la que Ressano García está sometida, por su localización cercana. Este proyecto puede modificar las infraestructuras de abastecimiento de agua y energía eléctrica de Ressano Garcia y del hospital, por lo que no sería recomendable la implementación de una potabilizadora con una infraestructura permanente o que requiera obra civil.

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es garantizar el acceso a agua potable de calidad a la población de Ressano García y en concreto de los pacientes que acuden al hospital de Ressano Garcia y a los alumnos de la Escuela Esperança, estimada en unas 1500 personas. Para alcanzar este objetivo, se han de cumplir varios objetivos específicos, como son el diseño de un proceso de tratamiento de agua sencillo y eficaz que se ajuste a la casuística local y la formación del personal necesario para mantener el proceso y garantizar la sostenibilidad del proyecto.

3. Estudio de la situación local del agua

Ressano Garcia es una población rural situada en la provincia de Moamba a 98 km de Maputo, capital de Mozambique. Cuenta con una población de 10000 personas, un tercio de los cuales viven en la zona urbana y el resto diseminados en los alrededores de la villa, en las proximidades del río Incomati y de las montañas de Libombo.

3.1 Análisis del sistema actual de agua potable

En relación al sistema de abastecimiento de agua en Ressano se distinguen dos situaciones (Arnal et al., 2010):

3.1.1 Abastecimiento del agua

A) Población que vive en la zona urbana de Ressano

La población que vive en la zona urbana, se suministra con el agua que procede del río Incomati previamente tratada por la potabilizadora existente en la población y que fue rehabilitada en 2003.

La captación se realiza en el río Incomati, con una bomba sumergida en el río, sometida a las variaciones de caudal de la vertiente, las escorrentías y ocasionalmente intrusiones externas, al no estar protegida. Una vez captada el agua es bombeada a la planta donde se le realiza el tratamiento de potabilización. El tratamiento consiste en un ajuste de pH con carbonato sódico, coagulación-floculación por adición de Sulfato de aluminio, una filtración en filtros rápidos de arena, microfiltración en filtros de disco de 200 micras y una etapa de desinfección de 2 ppm de hipoclorito sódico previa a la distribución. Tras el tratamiento, el agua es almacenada en dos tanques con una capacidad de 90 m³ y bombeada a unos tanques intermedios con una tasa de bombeo de 40-60 m³/hora. Finalmente, el agua es bombeada de nuevo a unos tanques situados en una colina cercana desde la que se suministra a la población por gravedad. El agua tratada se distribuye a la población a través de abastecimientos domiciliarios o fuentes públicas, donde las mujeres recogen el agua en recipientes de 20 litros y la transportan hasta sus hogares. Algunas casas, tienen su propio sistema de almacenamiento con tanques de 5000 litros, con el fin de asegurarse abastecimiento durante los cortes de suministro.

La potabilizadora convencional instalada, no posee la capacidad suficiente para el abastecimiento a la población actual de la localidad, lo que impide el suministro continuo de agua potable. El área urbana está dividida en 4 sectores (Cimento, 4 de Outubro, Eduardo Mondlane, 25 Junho) que reciben un suministro intermitente de agua de entre 1-2 horas/día como media (dependiendo de la disponibilidad de agua y de la estación).

En los últimos 5 años, la frecuencia de los cortes de suministro ha aumentado considerablemente así como su duración, llegándose en las épocas estivales a permanecer hasta 45 días sin suministro de agua potable. Los principales motivos de estos cortes pueden atribuirse al nulo mantenimiento de las infraestructuras de distribución del agua tratada así como a las deficiencias anteriormente descritas en la captación. Durante 2010, la planta potabilizadora sólo ha producido agua potable como máximo 1 hora al día, llegando incluso a estar inoperativa durante largos periodos de tiempo.

B) Población que vive en la periferia de la localidad

El resto de la población que vive en los alrededores de la villa, se suministra directamente con agua procedente del río Incomati, a través de las fuentes públicas situadas en algunos casos hasta a 1.5 km de las casas o a través de pozos privados.

3.1.2 Red de abastecimiento

La red de distribución actual de la localidad de Ressano Garcia se encuentra obsoleta. Fue instalada en 1967 durante la ocupación portuguesa y son escasas las labores de mantenimiento de la misma que se han realizado desde entonces. Este hecho contribuye a las continuas fugas y caídas de presión que favorece las infiltraciones de sedimentos y otros materiales en la red de distribución recontaminando el agua tratada. La empresa privada que gestiona actualmente el sistema de abastecimiento de agua potable, GECOSH Limitada, estima que las pérdidas de agua en la red ascienden al 70 %. En la actualidad, la municipalidad y la empresa de gestión, están estableciendo sistemas de contadores privados y nuevas tarifas del agua, que permita generar un fondo económico para la progresiva rehabilitación de la red de distribución.

Los principales materiales de la red son fibrocemento, hierro galvanizado y polietileno de distinto diámetro enterrados o a nivel del suelo, siguiendo el criterio del camino más corto para su instalación. El uso de materiales de baja calidad ha favorecido el deterioro de su integridad estructural tras 40 años de operación por lo que son continuas las fugas y roturas.

3.1.3 Calidad del agua

Las continuas fugas y caídas de presión en la red de distribución favorecen el estancamiento del agua en las conducciones así como el crecimiento de microorganismos. La ausencia de puntos de reclusión en la red favorece esta recontaminación. La inexistencia de sistemas de tratamiento de aguas fecales en la villa, y la masiva existencia de fosas sépticas domésticas favorece la infiltración de aguas residuales al terreno, y el acceso de los microorganismos a la red de agua potable. Durante los años 2008 y 2009 se ha detectado un incremento de los casos de cólera en niños y jóvenes de la localidad, especialmente durante las épocas estivales donde la temperatura puede alcanzar los 45 °C. En general son frecuentes los casos de enfermedades gastrointestinales que afectan al 17 % de la población según la información del “Centro de Saude” de Ressano García. Las personas más afectadas suelen ser niños y personas de edad más avanzada (UNESCO, 2003; UNICEF, 2005).

En la actualidad, no existe un sistema analítico de seguimiento fiable que permita monitorizar la calidad del agua potable en la zona, sin embargo las analíticas realizadas por el proyecto Aquapot, revelan elevada turbidez del agua, elevada presencia de materia orgánica y ausencia de cloro residual como consecuencia del estado de la red de distribución de agua potable.

3.2 El proyecto Aquapot en Ressano Garcia

Dado el estado de la red de distribución, y la baja calidad del agua en la zona y atendiendo a la petición de las autoridades locales y la contraparte local “Comunidad Cristiana de San José” que dirige el padre Vicente Berenguer, se decidió en 2006 instalar una potabilizadora Aquapot como proyecto piloto en la Escuela Primaria Completa. El objetivo era instalar un sistema que no modificara las costumbres de la población pero que permitiera con una mínima infraestructura abastecer de agua potable a la población. La potabilizadora instalada está basada en la tecnología de membranas y concretamente en la ultrafiltración. La ultrafiltración es una técnica capaz de eliminar la contaminación microbiológica de las aguas

actuando como un tamiz molecular y sin adición de productos químicos. Su modularidad y compacidad permite adaptar su producción a las necesidades de consumo. El sistema instalado actúa como un punto de suministro comunitario que se abastece de la red de agua potable de la villa. El punto de acceso se encuentra en el patio de la escuela, por lo que todos los niños y educadores tienen facilidad para acceder al mismo. Desde su instalación en 2007, y tras las distintas visitas realizadas (la última en 2011), se puede afirmar que el sistema funciona correctamente y que ha producido una media de 0.6 m³/día.

4. Proyecto propuesto

Con el fin de dar continuidad a la acción realizada en 2007, Aquapot inició en 2008 un nuevo proyecto que tenía como objetivo la instalación de una unidad potabilizadora en el hospital "Centro de Saude" de Ressano García.

El hospital recibe el agua de la red de abastecimiento de Ressano García y la almacena en un depósito elevado y un depósito semienterrado situado a la entrada del recinto. Desde este punto se bombea a todo el hospital sin ningún tipo de tratamiento o reclusión posterior. El sistema de bombeo está obsoleto por lo que en muchas ocasiones no funciona y las enfermeras deben recoger agua directamente de los depósitos de almacenamiento.

4.1 Características del sistema a instalar

La primera alternativa que se plantea es mejorar la red de distribución existente que transporta el agua desde la potabilizadora al centro de Saude. Sin embargo, esta acción no es viable por el momento al ser la explotación del abastecimiento de gestión privada y formar parte de un plan integral de acción que se está estudiando en la actualidad. El estudio contempla la renovación completa de la red de distribución, e implica un coste económico muy elevado, cercano al millón de euros.

Alternativamente, y dada la dotación presupuestaria de la acción a realizar financiada por el Ayuntamiento de Valencia, se decide tratar el agua que procede de la red de abastecimiento con un sistema similar al instalado en 2006 en la Escola Primaria Completa. En este caso se opta además por un sistema transportable debido a la posibilidad de que en un futuro no muy lejano se vea modificada la línea fronteriza entre Mozambique y Sudáfrica, con la consiguiente modificación en las canalizaciones. Si el sistema es transportable se podría cambiar de ubicación de forma sencilla y sin coste elevado, permitiendo la producción continua de agua de forma inmediata.

4.2. Diseño de la unidad de potabilización

4.2.1 Selección del proceso de potabilización

A la hora de diseñar la unidad de potabilización, se debe tener en cuenta las circunstancias en las que trabajará (cortes constantes de agua, paradas y puestas en marcha frecuentes), y se ha de primar la sencillez en el manejo y la eficacia de las etapas de producción de agua potable.

Como consideraciones previas al diseño, se toman a modo de referencia las indicaciones de la Organización Mundial de la Salud, que indica que cada persona necesita entre 20 y 40 litros de agua al día para su consumo, higiene personal y usos médicos. Esto, teniendo en cuenta una población de 1.500 personas, implica una capacidad de producción para la unidad potabilizadora de 45 m³/día.

El siguiente paso en el diseño de la unidad potabilizadora es la elección de proceso de tratamiento. Convencionalmente, el proceso de potabilización de aguas se basa en el proceso de coagulación-floculación-filtración-desinfección. En este caso, la implementación de una etapa de coagulación-floculación representaría grandes desventajas debido a la

dependencia de los productos químicos necesarios para el proceso y su elevado coste. Además, precisa grandes necesidades de espacio así como obra civil, por lo que su implementación en la zona no sería adecuada.

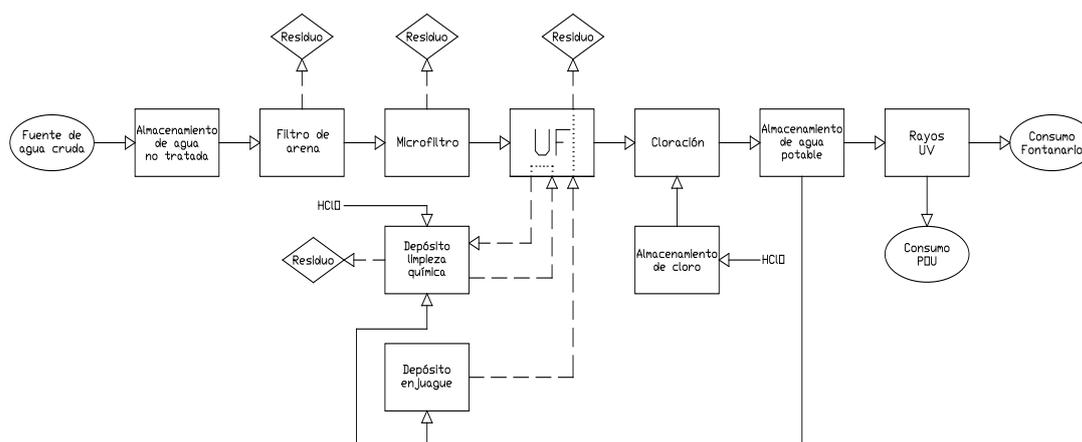
Como alternativa al proceso de potabilización convencional, en las últimas décadas se está aplicando la tecnología de membranas, principalmente la Ultrafiltración. El Proyecto Internacional Aquapot tiene una larga experiencia en la tecnología de membranas, y la ha aplicado con resultados muy favorables en situaciones similares a la que se estudia en este trabajo. Por tanto, en el caso del Hospital de Ressano Garcia, la Ultrafiltración (UF) se presenta como la mejor alternativa.

Los principales motivos que hacen de la UF una buena alternativa son:

- Ninguna necesidad de productos químicos (coagulantes, floculantes, desinfectantes, ajustadores de pH...).
- No requiere ensayos de campo, como el test de Jar.
- Produce una filtración por exclusión de tamaño.
- Adecuada y constante calidad del agua tratada en cuanto a eliminación de partículas y microorganismos, independientemente de la calidad inicial del agua.
- Compacidad del proceso y de la planta de tratamiento.
- Automatización sencilla.
- Proceso modular (permite adaptar su capacidad de producción).

El sistema de ultrafiltración se encuentra integrado en la planta y consta de las etapas que se indican en la Figura 1.

Figura 1: Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de la unidad de potabilización



4.2.2 Selección de los equipos

Los equipos necesarios para la unidad de potabilización basada en UF se pueden dividir en equipos estructurales, equipos para el pretratamiento, módulo de membrana, equipos para la desinfección posterior del agua, depósitos de almacenamiento y limpieza, bombas hidráulicas, elementos de control de la instalación y de control de la calidad del efluente.

Equipos estructurales

La unidad de potabilización se incluye dentro de un contenedor marítimo de 20 pies de longitud. De este modo, es posible transportar la unidad potabilizadora de un lugar a otro, ya sea por un requerimiento debido a cualquier cambio en la situación del entorno, a las canalizaciones, o a otros motivos externos. Dentro del contenedor, se sitúan todos los equipos requeridos en el proceso, a excepción de la bomba de captación, del depósito de captación y del fontanario. Para fijarlos correctamente, todos los equipos presentes en el interior del contenedor van anclados a una estructura metálica que hace las veces de esqueleto del proceso. Esta estructura metálica abarca toda la longitud interior del contenedor, dejando libre más de la mitad del área pisable del mismo.

El último equipo que realiza funciones estructurales en la instalación son los 4 tensores de acero que fijan el depósito de almacenamiento de agua cruda, situado sobre el techo del contenedor,

Bombas hidráulicas

Para trasegar las corrientes que intervienen en el proceso de potabilización, la unidad de potabilización cuenta con 4 bombas: bomba de captación, bomba de producción, bomba de distribución a punto de uso (POU) y bomba dosificadora de cloro.

La bomba de captación es de la marca comercial Grundfos, modelo MK 4D-6. Su caudal máximo de trabajo es de 6.000 L/h, más del doble del caudal de producción, permitiendo siempre que la velocidad de llenado del depósito de captación sea mayor que la velocidad de vaciado del mismo. Es una bomba sumergible capaz de elevar el agua cruda a 17 metros de altura, por lo que, superando la altura del contenedor (2.39 m) y la del depósito de captación (1,85 m) situado sobre el techo del contenedor marítimo, permite captar agua de hasta 10 m de profundidad.

La bomba de producción es una bomba centrífuga con un caudal inferior a la de captación, siendo éste de 3000 L/h. La presión de trabajo que puede alcanzar es de hasta 3 bar, suficiente para superar las pérdidas de carga del filtro de arena y del microfiltro y de trasegar el agua por el módulo de membrana a 2 bar. La potencia de la bomba de producción es de 0,75 CV.

La bomba de cloración es una bomba dosificadora de tamaño reducido, capaz de ser automatizada para inyectar la dosis exacta de cloro libre en la corriente de permeado (dosis de recuerdo de 1 ppm). Esta bomba se encuentra anclada a la pared del contenedor.

La última bomba, siguiendo el esquema de funcionamiento del proceso, es la bomba de distribución a punto de uso (POU). El motivo de presencia de esta bomba es la posibilidad de transportar el agua potable producida hasta un punto de uso alejado del contenedor que alberga la unidad potabilizadora.

Pretratamiento

El pretratamiento se divide en dos etapas: filtración en lecho de arena y microfiltración. La función de estas dos etapas es eliminar los sólidos en suspensión, de forma que no dañen la superficie de la membrana.

El filtro de arena instalado es un filtro presurizado de la marca Blue Tank modelo 500, mientras que el microfiltro es un microfiltro de mangas de la marca Cintropur modelo NW-50, con telas filtrantes de 10 y 25 μm . En función de la calidad del agua de entrada a la unidad potabilizadora se empleará una malla u otra.

Membrana de UF

El módulo de UF instalado es un Hydracap40, de la casa comercial Hydranautics. La naturaleza de la membrana es de poliétersulfona (PES), modificada para conseguir propiedades más hidrofílicas, mejorando de este modo su sensibilidad al ensuciamiento. La configuración de la membrana en el módulo es en fibra hueca.

Figura 2: Imagen de la unidad potabilizadora instalada (interior del contenedor marítimo) en el Hospital de Ressano Garcia (Mozambique). Febrero de 2010



Desinfección

La desinfección, a su vez, se divide en dos etapas: cloración y desinfección por radiación UV.

La cloración del agua, por adición de hipoclorito sódico, se puede realizar manualmente o mediante una bomba dosificadora. Para clorar el agua de forma manual, basta con adicionar al tanque de agua potabilizada la dosis de cloro necesaria para alcanzar una concentración de recuerdo de 1 ppm. Si se desea realizar la cloración de forma automatizada, se programa la bomba dosificadora para la dosis deseada y el proceso de cloración sucede en continuo, conforme se va produciendo el agua ultrafiltrada.

Para asegurar una desinfección completa, se ha instalado una etapa posterior de radiación UV. El equipo instalado es el modelo UVC-D842T5 de la casa comercial Aqua Winner. Su capacidad de tratamiento es de 48 L/min, y la irradiación que produce es de 39 mW/cm², con una vida media de 9.000 horas.

Depósitos

La unidad potabilizadora cuenta con un depósito de captación, un depósito de almacenamiento de agua potable, dos depósitos para la etapa de limpieza y un depósito para el almacenamiento de hipoclorito sódico.

El depósito de captación de agua cruda está fabricado en polietileno (PE) y tiene un volumen de 5.000 litros. El motivo por el que se ha escogido un depósito de captación de gran volumen es por los cortes de agua que sufre la población de Ressano Garcia. Mientras haya entrada de agua al proceso, la unidad potabilizadora irá produciendo agua potable a la vez que se continuará llenando el depósito de captación. Cuando suceda un corte de agua, se dispondrá todavía de 5.000 litros de agua para tratar.

El depósito de almacenamiento de agua potable está fabricado también en PE, con un volumen de 2.000 litros. El depósito de almacenamiento de agua potable se encuentra elevado respecto del fontanario 0,5 metros, para poder alimentarlo por gravedad.

Para poder llevar a cabo la etapa de limpieza de la membrana, se cuenta con dos depósitos de 100 litros, fabricados en PE. La limpieza del módulo de membrana se realiza mediante

recirculación de una disolución de cloro de 90 ppm de concentración, seguido de una etapa de enjuague mediante agua potable.

Por último, la instalación presenta un depósito de 50 litros fabricado en PE que sirve para contener el hipoclorito sódico que la bomba dosificadora de cloro inyecta sobre la corriente de permeado saliente del módulo de membrana.

Fontanario

Una de las vías de acceso al agua potable producida por la unidad de potabilización es mediante un fontanario que se instala en una de las paredes laterales externas del contenedor. La cota a la que se sitúa el fontanario es tal que la salida de agua potable se encuentra medio metro por debajo del depósito de almacenamiento de agua potable. El fontanario sirve para que la población tenga acceso directo al agua producida en el proceso, sin necesidad de contar con canalizaciones en mal estado.

Sistema de suministro de bombeo a punto de uso (POU)

De características similares a la bomba de producción, la instalación cuenta con otra bomba cuya función es transportar el agua potable producida por la unidad potabilizadora a distancias de hasta 500 metros.

Elementos de control de la calidad del efluente

Los elementos necesarios para el control de la calidad del efluente son un pHmetro, un conductímetro, un turbidímetro (para medir la turbidez del agua tratada) y un test de presencia/ausencia de contaminación microbiológica (Colitag).

4.3 Instalación de la unidad potabilizadora

La unidad potabilizadora basada en tecnología de membranas fue fabricada en l'Alcúdia (Valencia), sobre un contenedor marítimo de 20 pies de longitud. Dicho contenedor fue transportado por vía marítima hasta el puerto de Maputo, capital de Mozambique. Desde allí, se transportó mediante un camión con grúa hasta Ressano Garcia.

4.3.1 Estudio del emplazamiento

Para seleccionar la ubicación de la instalación se deben tener en cuenta los factores siguientes:

- A) Proximidad a la población destinada
- B) Facilidad de canalización de las tuberías
- C) Facilidad de acceso a la instalación
- D) Posibilidad de funcionamiento por presión hidrostática (altura manométrica en metros, desde la captación hasta la alimentación de la planta)
- E) Facilidad de distribución a la población del agua tratada
- F) Integridad de la planta frente a posibles incidentes y desperfectos
- G) Distancia entre el punto de captación y la ubicación de la planta

Teniendo en cuenta estos factores, se escogió como lugar para el emplazamiento de la unidad potabilizadora las inmediaciones de los depósitos de almacenamiento de agua del Hospital, dado que presenta una balsa de almacenamiento de agua, existen canalizaciones adecuadas, es un punto con cierta cota lo que facilita la distribución de agua por gravedad desde el punto de producción, y de fácil acceso para la población.

4.3.2 Instalación de la unidad potabilizadora en el emplazamiento seleccionado

Una vez descargada la unidad potabilizadora en el punto de emplazamiento seleccionado, se realizaron las canalizaciones necesarias para poder suministrar agua potable a varias fuentes distribuidas por el recinto del Hospital de Ressano Garcia. Asimismo, se instaló un fontanario en uno de los laterales del contenedor.

Del mismo modo, se completó el proceso de captación mediante la instalación del depósito de captación sobre el techo del contenedor, su fijación mediante tensores, y la instalación de las canalizaciones para el abastecimiento de agua cruda.

Para evitar un sobrecalentamiento del interior del contenedor, se instaló un sobretecho autoportante que evitara que recibiera excesiva irradiación solar.

4.3.3 Formación del personal local

Una vez puesta en marcha la instalación y verificado su correcto funcionamiento, el siguiente paso fue formar al personal local para que llevara a cabo las tareas de mantenimiento de la instalación. Se formó a dos técnicos locales así como al responsable del hospital sobre las tareas de producción de agua potable, etapas de limpieza química intensiva (procedimiento y frecuencia de las mismas), desinfección por cloración (posibilidad de automatizarla o realizarla manualmente), mantenimiento requerido por el microfiltro y el filtro de arena y sistema de captación de agua cruda y de distribución de agua potable.

4.3.4 Jornada de sensibilización sobre la importancia de la calidad del agua

Otra de las tareas llevadas a cabo en el presente proyecto fue la celebración de una jornada de sensibilización sobre la importancia de la calidad del agua en la Escola Primaria de Ressano Garcia. Con la colaboración del profesorado de la Escola, se repartió material y se hicieron charlas de contenido sencillo pero muy visual e intuitivo sobre los buenos hábitos relacionados con el agua potable y sobre los riesgos de consumir agua contaminada.

5. Resultados y conclusiones

Gracias a la colaboración entre la contraparte local y el equipo técnico del proyecto AQUAPOT, se ha logrado obtener los siguientes resultados:

-La instalación de una unidad potabilizadora basada en la tecnología de membranas en el Hospital de Ressano Garcia (Mozambique), como se muestra en la figura 3.

La unidad potabilizadora instalada tiene una capacidad de producción instalada de agua pura ultrafiltrada de 45 m³/día (con un caudal de 2.000 L/h), funcionando a una presión de trabajo de 2 bar, con un caudal de entrada de 2600 L/h y un régimen de funcionamiento que se adapta a las condiciones variables de abastecimiento de agua, permitiendo el acceso a agua potable incluso en momentos en los que no haya abastecimiento de agua cruda.

-El suministro de agua potable (parámetro de potabilidad atendiendo a las analíticas de coliformes totales realizadas periódicamente al agua pura producida) al Hospital de Ressano Garcia, beneficiando de forma directa a 1.500 personas, entre pacientes del Hospital, personal sanitario, alumnos del colegio Esperança, y de forma indirecta a la población en general de Ressano Garcia (10000 habitantes del pueblo).

**Figura 3: Imagen de la unidad potabilizadora instalada en el Hospital de Ressano Garcia
(Mozambique). Febrero de 2010**



Finalmente, cabe destacar la implicación de las autoridades locales en la realización del proyecto en Ressano García que ha permitido un análisis detallado de la situación actual del agua potable en la villa. Además se ha logrado el diseño de una estrategia conjunta entre todos los organismos implicados para la realización de acciones futuras que mejoren el sistema de captación, distribución y tratamiento del agua potable en la población.

6. Acciones futuras

Teniendo en cuenta las conclusiones y la experiencia del presente proyecto, se proponen las siguientes acciones para mejorar el acceso al agua potable en Ressano Garcia a medio y largo plazo:

- Mejora de la captación de agua cruda. Las variaciones en el caudal natural del río y un mantenimiento insuficiente de la bomba sumergible de captación situada en él suponen cortes frecuentes en el suministro de agua, lo que dificulta cualquier proceso de potabilización de agua. De hecho, la unidad potabilizadora instalada está diseñada para producir 23 h/día y sólo puede hacerlo durante 1 h/día.
- Mejora de la red de distribución de agua existente. Las fugas y canalizaciones en mal estado implican importantes pérdidas de caudal de agua y la recontaminación del agua ya tratada.
- Si no se lograra sanear la red de distribución de agua pero sí se mejorara el punto de abastecimiento, una posible acción futura sería trasladar la unidad potabilizadora instalada hasta un lugar cercano al punto de abastecimiento, junto al río, logrando así una producción de agua potable más alejada de la población, pero de suministro continuo e independiente de la red de abastecimiento.

Referencias

[1] Arnal J.M., Sancho M., Verdú G., Lora J., Gozávez J.M "Design and construction of a water potabilization membrane facility and its application to the third world countries. Preliminary tests", *Desalination* Vol. 145, 2002, pp. 305-308.

[2] Arnal J.M., García-Fayos B., Sancho M., Verdú G., Lora J."Design and installation of a decentralized drinking water system based on ultrafiltration in Mozambique", *Desalination* Vol. 250, 2010, pp. 613-617.

[3] ONU, "Objetivos de Desarrollo para el Milenio", ONU, 2000, Disponible via internet: <http://www.un.org/millenniumgoals/>

[4] ONU, "Informe de la Cumbre Mundial para el Desarrollo Sostenible de Johannesburgo"
ONU, 2002, Disponible via internet: <http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/>

[5] ONU, "Resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas. A/60/158. Medidas adoptadas para organizar las actividades del Decenio Internacional para la Acción, "El agua, fuente de vida, 2005-2015". Disponible via: <http://daccessdds.un.org/doc/UNDOC/GEN/N05/438/09/PDF/N0543809.pdf>

[6] UNESCO, "Water for people, water for live: The United Nations World Water Development Report 1", UNESCO Publishing / Berghahn Books, 2003. Disponible via internet: www.unesco.org/water/wwap/wwdr/index_es.shtml

[7] UNICEF, "Informe del Estado Mundial de la Infancia 2005", UNICEF, 2005. Disponible via internet: http://www.unicef.org/spanish/publications/index_24432.html

Correspondencia (Para más información contacte con):

José Miguel Arnal Arnal

Universitat Politècnica de València, Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM) _ edificio 5L, Camino de Vera s/n, 46022 (Valencia)

Phone: + 34 96 387 70 00 Ext. 76385

Fax: + + 34 96 387 7639

E-mail: jarnala@iqn.upv.es