

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES CON PRODUCTOS NATURALES EN BURKINA FASO

Víctor López-Grimau

Beatriz Amante

Departamento de Proyectos de Ingeniería. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Industrial y Aeronáutica de Terrassa (ETSEIAT). Universitat Politècnica de Catalunya

Tarik Smith

KOOM Consulting, Water Engineering and Project Management

Abstract

Burkina Faso (Western Africa) is one of the poorest countries of the world. Its semi-arid climatology is prone to extreme variations depending on the season, chaining long drought periods with heavy rainfalls concentrated in May and October. The lacks in the supply and quality water, especially in rural areas, mean the main cause of illness for intestinal parasites, with especial incidence in the infantile population.

The study is located in the rural area of Yako, where one of every three families not has access to potable water sources. It is focused on the purification water treatment by the use of seeds of the plant *Moringa Oleifera* as natural coagulant to eliminate the turbidity and suspended particles of superficial waters. This treatment is followed by a disinfection process with chlorine produced by electrolysis with a small source of power supply.

A sustainable system of water purification is suggested which replaces the use of chemical reagents by natural products, in a energetically self-sufficient process of easy operation.

Keywords: *Potable water; Burkina Faso; Moringa Oleifera; Natural coagulant.*

Resumen

Burkina Faso (África Occidental) es uno de los países más pobres del planeta. Su climatología semi-árida es propensa a variaciones extremas dependiendo de la estación, encadenando largos periodos de sequía con fuertes precipitaciones concentradas en los meses de mayo y octubre. Las carencias en el abastecimiento y calidad del agua, principalmente en zonas rurales, suponen la principal causa de enfermedades por parásitos intestinales, con especial incidencia en la población infantil.

El estudio está localizado en la zona rural de Yako, donde una de cada tres familias no tiene acceso a fuentes de agua potable, y se centra en el tratamiento de potabilización de agua embalsada mediante el uso de semillas de la planta *Moringa Oleifera* como coagulante natural para eliminar la turbidez y las materias en suspensión de aguas superficiales. Este tratamiento va acompañado por un proceso de desinfección con cloro producido por electrólisis con una pequeña fuente de alimentación eléctrica.

Así, se propone un sistema de potabilización sostenible que sustituye la utilización de reactivos químicos por productos naturales, en un proceso autosuficiente energéticamente y de fácil operación.

Palabras clave: *Agua potable; Burkina Faso; Moringa Oleifera; Coagulante natural.*

1. Introducción

Burkina Faso es un país semiárido situado en África Occidental. Es uno de los países más pobres del mundo, con un índice de desarrollo humano (DH) de 0,330 que le sitúa en la posición 173 de un total de 176 países y una renta per cápita de 1.200 dólares anuales (World Bank, 2011). El 92% de la población activa se dedica a la agricultura y la población alfabetizada llega únicamente al 26,6% (UNICEF, 2010)

Su climatología es propensa a variaciones extremas dependiendo de la estación, encadenando largos períodos de sequía con fuertes precipitaciones concentradas en los meses de mayo y octubre. En general, se ha observado una cierta disminución en la precipitación anual en los últimos años. Sin embargo, estudios realizados tanto por organismos públicos como privados coinciden en que los problemas de cantidad y calidad del agua se deben mayoritariamente a una mala gestión y no de escasez.

En cuanto al abastecimiento y calidad del agua, las enfermedades diarreicas son responsables de un 17% de la mortalidad infantil en el mundo. En Burkina Faso, en particular en las zonas rurales las enfermedades diarreicas y las enfermedades asociadas a parásitos intestinales son la principal causa de mortalidad infantil por carencia de agua potable. Este hecho está relacionado con que en la zona una de cada tres familias no tiene acceso a fuentes de agua potable. Las autoridades locales de Yako reconocen las carencias de infraestructuras sanitarias y la falta de agua potable como principales necesidades de la comuna, principalmente en los poblados situados en el extrarradio del municipio de Yako.

En los últimos años la entidad BERACIL en colaboración con el consejo de desarrollo de Yako han venido ejecutando trabajos de desarrollo agroeconómico en el municipio de Yako mediante el cultivo del árbol tropical, *Moringa oleifera* (Arzano Tiiga, árbol del paraíso en la lengua autóctona Moore). El polvo fibrosa de las semillas de *Moringa oleifera*, de entre otras aplicaciones, pueden utilizarse como coagulante-floculante natural para eliminar la turbidez en el proceso de potabilización de aguas (Ndabigengesere and Narasiah, 1998; Ghebremichael et al., 2005; Amagloh and Benang, 2009; Pritchard et al., 2010), sobre todo de aguas superficiales de presas que presentan una turbidez superior que el agua de pozo.

Cabe destacar que la mayoría de la población local ya es consciente de que la *Moringa oleifera* tiene propiedades "especiales" que sirven para "limpiar" el agua, una práctica ya utilizada en países como Sudán o Egipto desde hace siglos. Sin embargo, este conocimiento folclórico nunca se ha aplicado de forma práctica y tangible. Así, este proyecto se considera indirectamente como una acción novedosa y a la vez se percibe como familiar para la mayoría de la población.

En el campo de la gestión del agua, en la comuna de Yako hay 122 pozos excavados, estos se destinan principalmente al riego si bien en algunos de ellos se extrae agua para el consumo humano a pesar de la contaminación bacteriana que hemos podido observar. También hay la presencia de algunos pozos perforados en donde la población se abastece de agua por bombeo manual. Estos pozos instalados por Onea (entidad nacional de agua y saneamiento) suelen presentar mejores calidades del agua, si bien en algunos de ellos el agua tampoco llega a ser potable. Actualmente, en la comuna de Yako hay ocho presas de agua, utilizadas como reservorio de agua para usos agrícolas. No obstante, a pesar de la

contaminación provocada por las actividades agrícolas y otras, no es infrecuente que estas aguas se utilicen para suplir las necesidades de agua potable.

2. Objetivos

Este estudio se centra en el diseño de una planta potabilizadora de agua embalsada, mediante el empleo de productos naturales, para garantizar el acceso a agua potable de una población humana de 1.000 personas en la localidad de Yako, Burkina Faso.

3. Caso de estudio

En diciembre de 2.010 un equipo de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) realizó un viaje a Yako financiado por el Centro de Cooperación para el Desarrollo (CCD) con el objetivo de realizar un estudio de campo para determinar la localización del embalse más adecuado para instalar la planta potabilizadora y de tomar muestras de agua de diferentes lugares para determinar su calidad.

En la zona de Yako hay hasta ocho embalses, de los que solo uno, la presa de Kanazoé dispone de agua durante todo el año. Se tomaron muestras de agua de esta presa y de un pozo excavado muy cercano a la presa. Se analizaron los principales parámetros de calidad del agua cuyos resultados se presentan en la Tabla 1. Estos resultados se compararon con los límites internacionales para agua potable establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

En esta tabla se puede comprobar cómo tanto el agua del embalse de Kanazoé como de un pozo excavado cercano presentan una turbidez superior al límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006). A su vez, se detecta la presencia de microorganismos patógenos. Por otro lado, no se aprecia contaminación por nitratos procedente de la utilización de abono. La presencia de iones expresada en forma de dureza y alcalinidad es moderada, así como su salinidad expresada como conductividad.

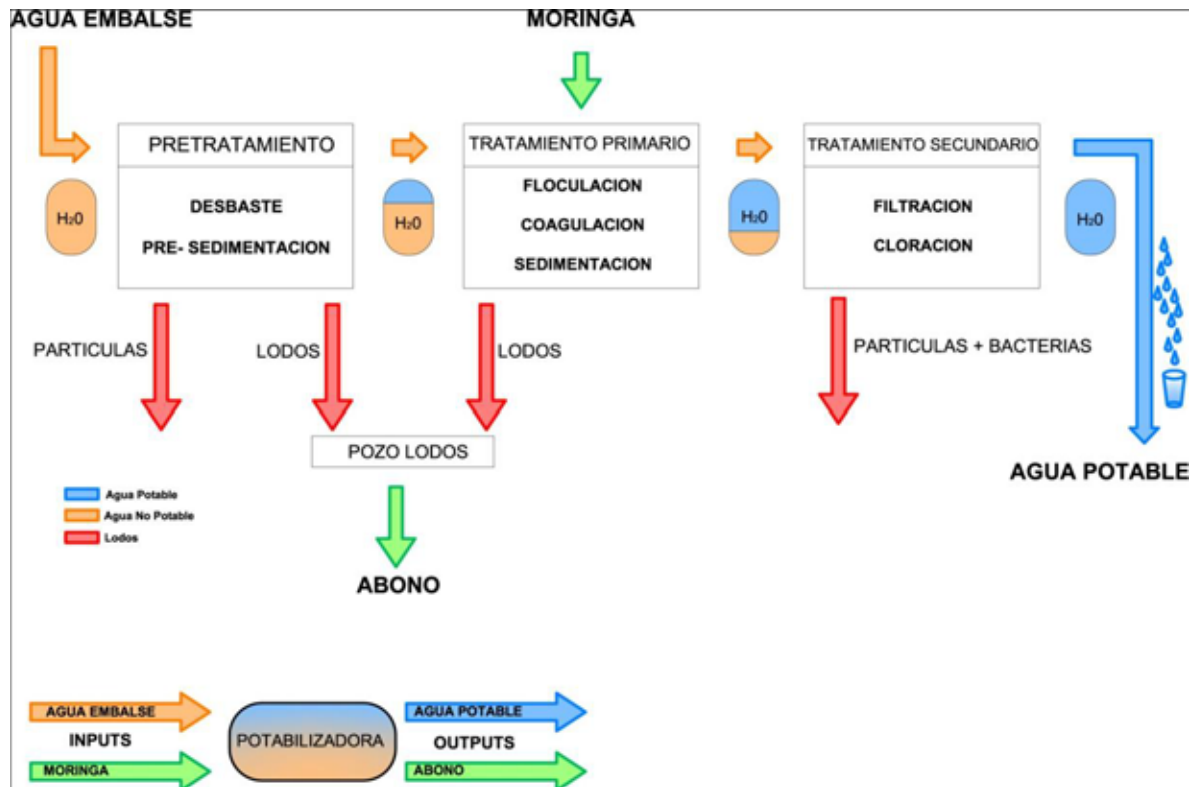
De esta forma el diseño de la planta potabilizadora debe asegurar la eliminación de la turbidez del agua y la eliminación de microorganismos patógenos mediante un proceso de desinfección del agua.

Tabla 1. Comparativa de la calidad del agua de la presa de Kanazoé respecto de los límites internacionales para agua potable.

Fuente abastecimiento	Parámetro					
	Nitratos (mg/L)	Conductividad (µs/L)	Turbidez (NTU)	Dureza (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Microorg. patógenos
Pozo excavado	0	510	27	60	40	SI
Embalse	0	340	53	50	40	SI
Límites internacionales	50	2.000	5	100-300	1.000	NO

En la Figura 1 se presenta el diagrama de procesos que se llevarán a cabo en la planta potabilizadora.

Figura 1: Diagrama de procesos de la planta potabilizadora



El proceso de potabilización del agua de embalse se inicia con un pre-tratamiento que tiene como objetivo eliminar sólidos voluminosos mediante unas rejillas de desbaste e iniciar la separación de sólidos en suspensión mediante una pre-sedimentación en un tanque en reposo.

A continuación el agua es sometida a un tratamiento primario que pretende la eliminación de la turbidez mediante el uso de la Moringa Oleifera como coagulante natural que interactúa con las partículas en suspensión y provoca su precipitación y decantación en un sedimentador.

Por último, el agua pasa por unos filtros y es clorada para asegurar su desinfección.

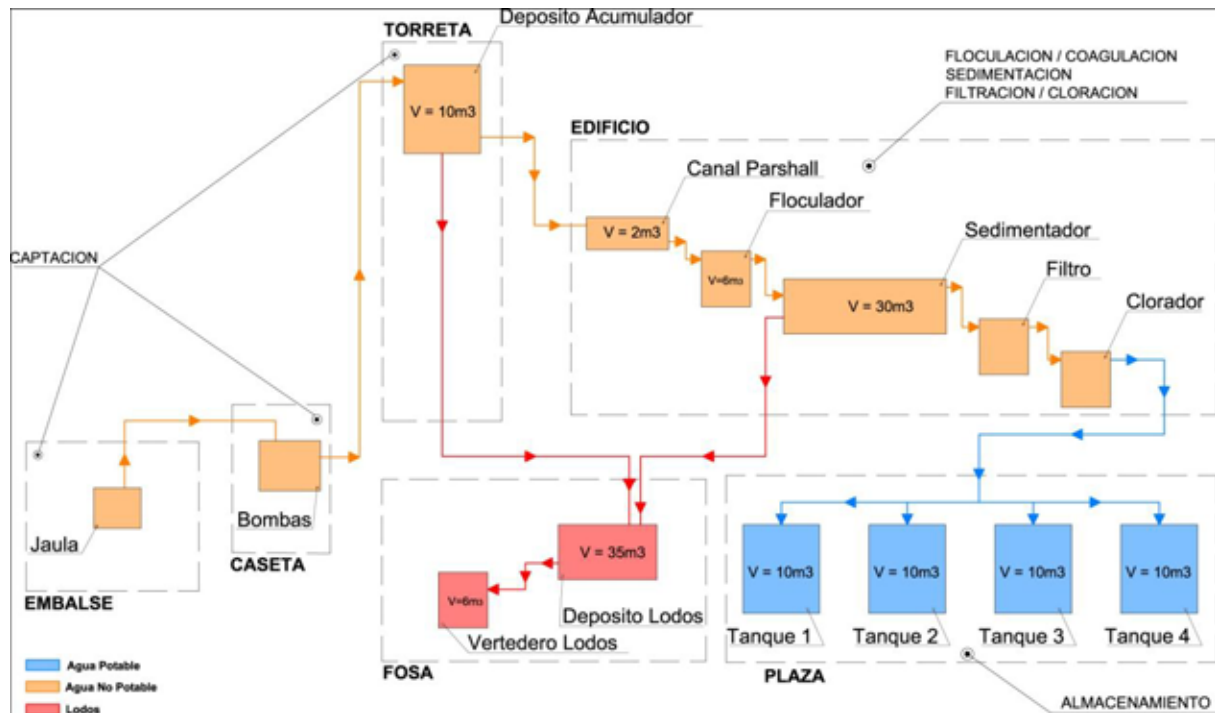
4. Diseño de la planta potabilizadora

El diseño de la planta potabilizadora se resuelve teniendo en cuenta que esta va a ser construida en África, en una región pobre donde los recursos económicos y de materiales así como las materias primas son escasos y de difícil obtención, la energía eléctrica de red de distribución es inexistente, la mano de obra está poco especializada y las condiciones climatológicas son extremas, altas temperaturas y épocas de lluvias torrenciales. Todos estos factores delimitan el uso de ciertas soluciones y condicionan todo tipo de mecanismos que necesiten de energía eléctrica.

Energéticamente la planta se diseña de tal manera que solo sea necesaria la instalación de una placa solar. Con la energía de esta placa se eleva el agua a un depósito donde por gravedad se hace funcionar el resto de la planta.

Se divide la planta en seis sectores; jaula de desbaste, caseta de bombeo, torreta para depósito acumulador, edificio de potabilización, fosa de lodos y plaza para tanques de agua tratada, tal como se puede observar en el diagrama de sectores, sistemas y equipos de la planta potabilizadora presentado en la Figura 2.

Figura 2: Diagrama de sectores, sistemas y equipos de la planta potabilizadora



A continuación se definen las principales instalaciones y equipos de la planta potabilizadora.

4.1 Jaula de desbaste

Una tubería flexible conecta el embalse con el equipo de bombeo. Se instalará una jaula de rejillas en la boca de la tubería para evitar la entrada de ramas, troncos, desechos o cualquier tipo de sólido voluminoso en la planta.

Esta jaula será de volumen cúbico de 30X30X30 cm. El diámetro de las rejillas será de 5 mm, con una separación entre ellas de 30 mm.

4.2 Estación de bombeo

Teniendo en cuenta la falta de red eléctrica se ha optado por el uso de energías alternativas, la energía solar es la mejor opción teniendo en cuenta la radiación solar del lugar. La energía eólica se planteó como posible alternativa pero la falta de vientos la desestima. El sistema de bombeo primario consta de un panel solar que alimenta una batería o directamente una bomba. Se propone una bomba PS600 BADU Top12 centrífuga de superficie con alimentación solar de hasta 15 m³/h de caudal.

Se plantean dos sistemas auxiliares de bombeo como alternativa en caso de avería o fallo del sistema primario: por un lado, la instalación de una bomba manual con conexión en paralelo a la eléctrica. Por otro lado, la instalación de un sistema de poleas en la parte superior de la torreta para en caso de necesidad poder llenar el tanque elevado con un cubo.

4.3 Torreta para depósito elevado

Se propone una torreta de perfiles metálicos acabada en una plataforma sobre la que se instala un depósito de 10 m^3 que permite acumular agua a 12m de altura, que garantiza a partir de este punto el funcionamiento por gravedad de la planta y de esta manera la ausencia de cualquier consumo energético.

El tiempo que el agua está en el depósito permite una pre-sedimentación, así una tubería en la parte inferior lo conecta con la fosa de lodos.

4.4 Edificio de potabilización

Los equipos de coagulación, floculación, sedimentación, filtrado y cloración se albergarán en un edificio que los proteja de la intemperie, de animales y de posibles actos vandálicos.

Los muros y techos se resuelven con bloques de arcilla hechos a mano por habitantes del lugar. La cubierta se compone de elementos modulares de barras de acero de 14 y 16 mm soldadas en el momento del montaje por herreros locales. Una chapa ondulada fijada a esta malla metálica protege el interior de los elementos. Las ventanas de hierro presentes en todo el perímetro garantizan la corriente de aire que disminuye la temperatura del interior.

Canal Parshall

El canal Parshall es un mezclador rápido hidráulico, en el se lleva a cabo la dosificación del coagulante por adsorción y la coagulación. Tiene la ventaja de no requerir equipo mecánico. Es un canal de hormigón in situ, de sección cuadrada variable en el que la mezcla tiene lugar como resultado de la turbulencia que existe en el régimen de flujo debido al estrechamiento y el resalto producidos por la sección variable del canal. Tiene una longitud de 10 m y una anchura de 1 m, con un volumen de 2m^3 .

La dosificación de coagulante se realiza mediante una tolva que contiene el coagulante en polvo de Moringa en su interior y que acaba en un tubo perforado que se introduce en el punto del canal en el que se produce el resalto, el flujo de agua que pasa por el exterior del tubo hace se produzca la mezcla, con el número y diámetro de los orificios se puede optimizar la dosis. Es un sistema de alimentación gravitacional simple que no necesita de dosificador electrónico, por lo que no consume energía ni es necesario su mantenimiento.

La utilización de polvo de Moringa Oleifera permite reemplazar completamente los coagulantes químicos (FeCl_3 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). El proceso de preparación de la semilla es simple. Las vainas se dejan secar en forma natural en el árbol; cuando se cosechan, las semillas se desvainan fácilmente y se trituran y tamizan utilizando las técnicas tradicionales para producir harina de maíz. El polvo de la semilla bien triturada, al mezclarse con el agua, produce proteínas solubles con una carga neta positiva. Las dosis de soluciones (por lo general del 1-3%) actúan como un polielectrolito durante el tratamiento.

Mientras que los coagulantes químicos solo funcionan bien en un rango restringido de pH, la moringa se desempeña bien independientemente del pH del agua. Esta es una ventaja más para los países en desarrollo, donde a menudo no es posible controlar de forma efectiva el pH previo a la coagulación (Pritchard et al., 2010).

Floculador

Se utiliza un floculador hidráulico de acción de chorro de agua por su autonomía y simplicidad. Concretamente un floculador de flujo helicoidal también denominado de flujo tangencial o de flujo espiral porque la energía hidráulica se utiliza para generar un movimiento helicoidal en el agua, inducido por su entrada tangencial en la cámara de floculación.

Consta de 4 cámaras paralelas fabricadas de hormigón in situ, la primera y la segunda cámara así como la tercera y la cuarta están conectadas por medio de pasajes que son orificios sumergidos, con un volumen total de 6m^3 .

Sedimentador

En el sedimentador los flóculos se depositan en el fondo del mismo donde son extraídos mediante una tubería hacia la fosa de lodos. El sedimentador es un depósito rectangular donde se pretende un movimiento uniforme y lento del agua con el mínimo posible de alteraciones.

Las dimensiones del sedimentador son de 9,5m de longitud, 2m de anchura y una profundidad media de 1,5m, ocupando una superficie de 19m^2 y con una capacidad de $28,5\text{m}^3$. Se fabrica en hormigón armado in situ.

Filtro

Finalizado el proceso de sedimentación pueden quedar partículas en el agua que necesitamos eliminar. Se instala un filtro de discos, este tipo de filtro puede ser elaborado artesanalmente, utilizando discos de plástico perforados y tubo de PVC, el concepto es el de un sistema fácil de reponer, fácil de desmontar, limpiar y económico.

Equipo de cloración

Con el agua limpia de sólidos en suspensión la siguiente fase es desinfectarla. Se escoge el sistema de cloración debido a que otro tipo de desinfección resultaría más caro y complejo.

Se instala un equipo de electrolisis que generara el cloro necesario para la planta, evitando de esta manera tener que recurrir a un proveedor de cloro. El equipo de electrolisis necesita una batería de 12V, sosa caustica y sal como materias primas. Por el efecto de la electrolisis se obtiene cloro en estado gaseoso que por medio de un mezclador venturi que genera vacío en la tubería es inyectado en el agua.

4.5 Fosa de lodos

Los lodos generados en el proceso se recogerán en una fosa excavada separada en dos partes: un depósito de lodos y un vertedero que recogerá el agua expulsada junto a los lodos de la planta.

El depósito de lodos tiene planta rectangular y suelo inclinado. Con unas dimensiones de 5m de longitud por 2m de ancho y 3,5m de profundidad. Esta fabricado en hormigón armado in situ y tiene un volumen de almacenamiento de lodos de 35m^3 .

El vertedero de lodos es un depósito paralelo al depósito de lodos, separados por una pantalla de hormigón armado de 1,5m de altura y una capacidad de 6m^3 . La función de este vertedero es la de recoger el agua expulsada inevitablemente junto a los lodos de la planta, cuando el depósito de lodos se llena el agua se queda en la parte superior de este y por decantación pasa al vertedero de lodos.

Se prevé la extracción de lodos por medio de camiones cisternas que transportaran los lodos fuera de la planta donde se puedan utilizar como abono.

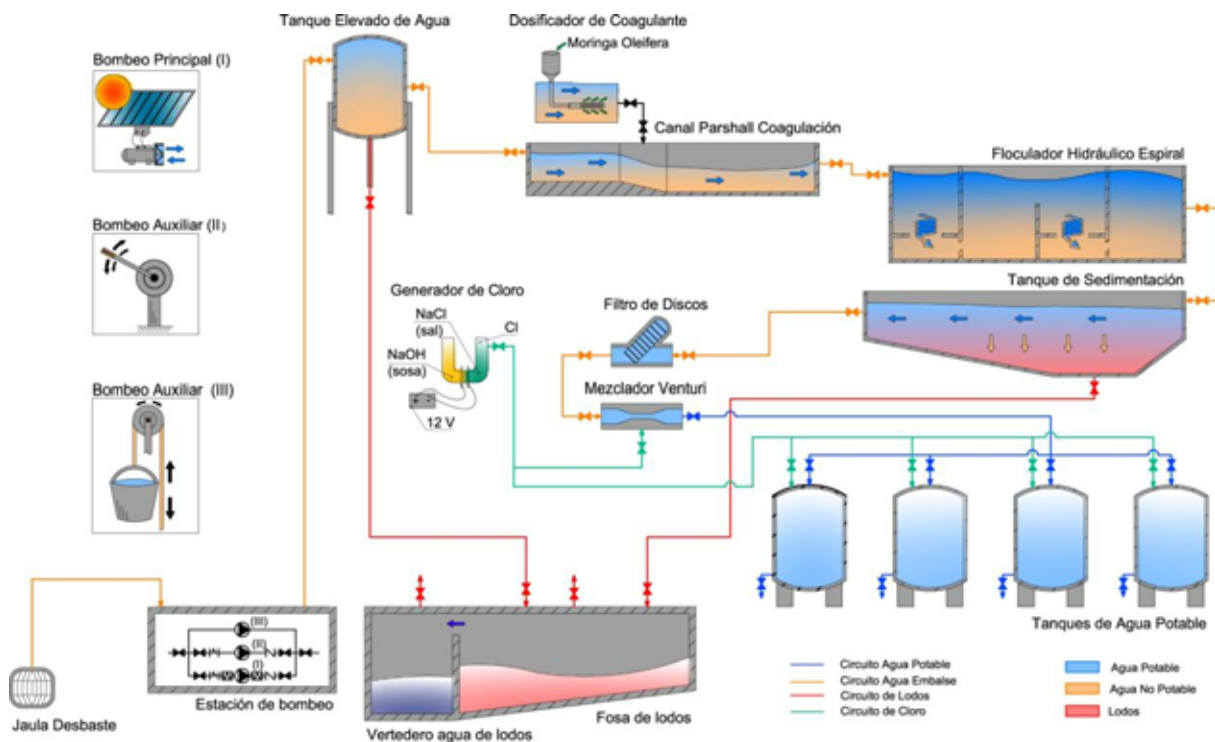
4.6 Depósitos de agua potable

Para almacenar el agua potabilizada se instalan 4 depósitos acumuladores de 10m³, fabricados en polietileno y de geometría cilíndrica corrugada de una sola pieza, inoxidables y de gran resistencia. Estos depósitos son fáciles de limpiar, no necesitan mantenimiento y tienen una vida útil de 30 años.

Se recubre cada depósito con un aislamiento de espuma de poliuretano para evitar el aumento de la temperatura del agua ya que los depósitos se encuentran a la intemperie.

En la Figura 3 se presenta un esquema de todos los equipos y instalaciones de la planta potabilizadora.

Figura 3. Esquema de los equipos e instalaciones de potabilización



5. Conclusiones

En este trabajo se expone el diseño de una planta potabilizadora de agua de embalse destinada a una población rural de 1.000 personas en Burkina Faso. La planta tiene en cuenta la realidad socio-económica de la zona, de manera que dispone de instalaciones de fácil construcción y mantenimiento, de bajo coste y que no requieren del uso de sistemas mecánicos ni electrónicos.

La planta únicamente requiere como fuente de energía eléctrica una placa solar para alimentar una bomba centrífuga que abastecerá de agua un depósito acumulador elevado. A partir de ahí, se garantiza el funcionamiento por gravedad de la planta.

Se propone el uso de las semillas de Moringa Oleifera, cultivada en la región, como sustituto de los coagulantes químicos para eliminar la turbidez del agua. Por último, se realiza la desinfección del agua mediante el empleo de cloro electrogenerado a partir de una solución de salmuera con una batería de 12V.

Referencias

Amagloh, F.K. & Benang, A. (2009). Effectiveness of Moringa Oleifera seeds as coagulant for water purification, *African Journal of Agricultural Research*, 4 (1), 119-123.

Ghebremichael, K. A. & Gunaratna, K.R., Henriksson H., Brumer, H. & Dalhammar, G. (2005) A simple purification and activity assay of the coagulant protein from Moringa oleifera seed, *Water Research*, 39 (11), 2338-2344.

Ndabigengesere, A., Narasiah, K.S. (1998). Quality of water treatment by coagulation using Moringa Oleifera seeds, *Water Research*, 32 (3), 781-791.

OMS (2006). Guías para la calidad del agua potable. Retrieved from: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf

Pritchard, M., Craven, T., Mkandawire, T., Edmondson A.S. & O'Neill, J.G. (2010). A comparison between Moringa oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water - An alternative sustainable solution for developing countries, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35 (13-14), 789-805.

Pritchard, M., Craven, T., Mkandawire, T., Edmondson A.S. & O'Neill, J.G. (2010). A study of the parameters affecting the effectiveness of Moringa oleifera in drinking water purification, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35 (13-14), 791-797.

UNICEF (2010). Burkina Faso. Basic Indicators. Retrieved from: http://www.unicef.org/spanish/infobycountry/burkinafaso_statistics.html

World Bank (2011). Gross national income per capita 2009, In *World Development Indicators Database*. Retrieved from: <http://siteresources.worldbank.org/DATASTATISTICS/Resources/GNIPC.pdf>

Agradecimientos

Los autores agradecen el soporte financiero aportado por el Centro de Cooperación para el Desarrollo (CCD) de la Universitat Politècnica de Catalunya.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Víctor López Grimau
Departamento de Proyectos de Ingeniería
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍAS INDUSTRIAL Y AERONÁUTICA DE TERRASSA (ETSEIAT).
C/ Colom, 11
08222 TERRASSA (Barcelona)
Phone: +34 937 39 73 16
Fax: +34 937 39 81 01
E-mail: victor.lopez-grimau@upc.edu