

## INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

# Plantas compactas para la producción de agua potable

**Carlos Orlando Hernández Suárez**

Doctor en Ciencias técnicas,  
Ingeniero Hidráulico, Profesor Investigador de la UAGRM.

**Carmen Ofelia Maida Vargas**

Diplomada en Tratamiento de aguas residuales  
Ingeniera Industrial, Profesora Titular de la UAGRM.

### RESUMEN

En el trabajo se presenta un estudio acerca de las nuevas tecnologías para la purificación del agua, de manera tal que se conozcan los diferentes tipos de plantas compactas para la producción de agua potable, el uso que tiene cada una y los recursos económicos que se requieren para su implementación, en aras de contribuir con la meta propuesta por el gobierno boliviano de dar especial prioridad al sector del agua, y reducir el número de personas que no tiene acceso a los servicios de agua potable.

### 1. ANTECEDENTES

El acceso al agua potable y al saneamiento básico mejora la calidad de vida de las personas y reduce las posibilidades de contraer enfermedades que matan a millones de personas anualmente.

En Bolivia las comunidades rurales, frecuentemente, son las más afectadas por la falta de abastecimiento de agua potable, por lo que muchos de sus habitantes se proveen de este líquido elemento de diferentes fuentes, sin conocer su calidad. Estudios realizados por especialistas en el tema, refieren que el 75 % del total de la población rural en Bolivia se abastece de aguas provenientes de fuentes no potables que producen el incremento de las enfermedades de origen hídrico y provocan una alta mortalidad infantil.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, este aspecto facilita la aplicación de las tecnologías que se pretenden abordar en el presente trabajo, puesto que la población en las zonas rurales en Bolivia se clasifican en menores de 1.000 (hab), siendo en estos casos el número típico de 500 (hab) y, en mayores de 1.000 (hab), siendo en estos casos el número tope de 5.000 (hab).

Tomándose en cuenta que la concepción de las plantas compactas de tratamiento de agua potable, se puede realizar de diferentes capacidades y tamaños, esto permite su instalación en pequeñas o medianas poblaciones, pequeños o grandes grupos habitacionales, hoteles, centros recreacionales, hospitales, escuelas y, en general en aquellos lugares que no cuentan con facilidades de tratamiento de agua proveniente de una red pública o municipal, lo que permite su adaptación a los casos que se pretende aplicar.

### 2. FUENTES DE ABASTECIMIENTO MAS EMPLEADAS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN BOLIVIA

Entre las fuentes de agua más utilizadas para la distribución de agua a las poblaciones en Bolivia, se encuentran las fuentes superficiales y las subterráneas, toda vez que son las más factibles de encontrar a lo largo de todo el territorio.

## 2.1. Fuente superficial

Es el agua que se encuentra en la superficie terrestre de dos formas diferentes, una en constante movimiento, en los denominados ríos, quebradas o arroyos y otras estáticas o detenidas en depresiones naturales o artificiales, conocidas como lagos, lagunas o embalses de presas, entre otras.

Estas fuentes de abastecimiento son las más expuestas a la contaminación, debido al contacto permanente con el terreno y el medio ambiente, es por ello que esta agua, siempre tiene que ser sometida a un proceso de purificación para su consumo.

## 2.2. Fuente Subterránea

Es el agua de la precipitación pluvial que puede infiltrarse en el terreno de acuerdo con la permeabilidad del mismo, hasta depositarse en una formación geológica impermeable formándose lo que se conoce como manto freático o acuífero.

Estas aguas en términos generales, son las más adaptables al consumo humano, pues tienden a ser más limpias y puras que la superficial, ya que al pasar por los diferentes estratos del terreno donde se infiltran son sometidas a un proceso de filtración natural.

Generalmente, el único tratamiento que requieren, es el de desinfección, por medio del uso del cloro, no obstante, a veces puede contener exceso de sales, coloides de hierro, aluminio, y hay que tratarlas en forma más completa.

## 3. TIPOS DE PLANTAS COMPACTAS SUGERIDAS PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA

### 3.1. Planta de ósmosis inversa

La osmosis inversa es aquel proceso en el cual se fuerza al agua a pasar a través de una membrana semi-permeable, desde una solución más concentrada en sales disueltas u otros contaminantes a una solución menos concentrada, mediante la aplicación de presión.

El objetivo de la ósmosis inversa es obtener agua purificada a partir de agua con gran cantidad de sales, como el agua de mar u otro tipo de fuente que cuente con un agua con cierto contenido de sales, como las que se pueden presentar

en fuentes de origen subterráneo. Con la creciente escasez de agua originada por el desarrollo humano y otros factores, este proceso se ha vuelto en la actualidad más utilizado. Dentro de las aplicaciones de la ósmosis inversa se pueden mencionar:

#### a. Desalinización del agua

La ósmosis inversa se ha convertido hoy en día en uno de los sistemas más eficientes para desalinizar y potabilizar el agua, siendo usada en barcos, aviones, industrias, hospitales y domicilios.

Mediante este procedimiento es posible obtener agua desalinizada (menos de 5.000 microsiemens/cm de conductividad eléctrica) partiendo de una fuente de agua salobre, agua de mar, que en condiciones normales puede tener entre 20.000 y 55.000 microsiemens/cm de conductividad.

#### b. Reducción de la dureza

Las aguas duras contienen iones de calcio y magnesio que pueden precipitar combinados con iones como carbonatos, sulfatos o hidróxidos, estos precipitados se van acumulando en el interior de las tuberías de distribución, calentadores, entre otros, a tal punto que los pueden obstruir. Con la ósmosis inversa se consigue eliminar estos precipitados químicos.

#### c. Reducción del contenido de nitratos

Las aguas subterráneas suelen incorporar altas concentraciones de nitratos, superiores a las admitidas por la normativa técnico-sanitaria. Con las membranas de ósmosis inversa se reduce en un alto porcentaje la presencia de nitratos en el agua.

#### d. Eliminación del color

La ósmosis inversa elimina el color procedente de la descomposición de la materia orgánica natural disuelta por las aguas, lo que permite la obtención de un agua más clarificada apta para el consumo humano.

#### e. Uso como agua potable

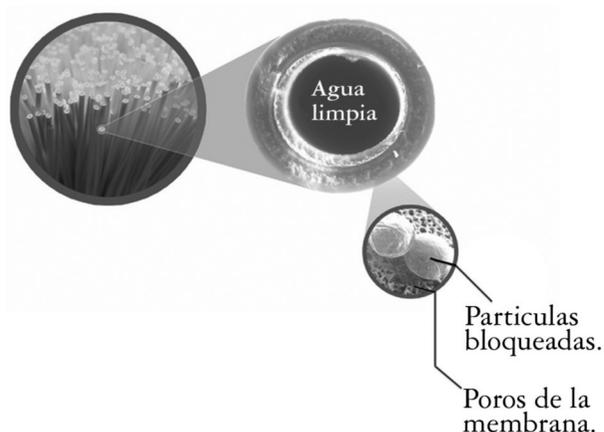
Cada vez es más frecuente el uso de la desalinización para producir agua para el consumo humano, y la tendencia

probablemente continuará conforme aumenta la escasez de agua a causa de las presiones que produce el crecimiento demográfico, la sobre explotación de los recursos hídricos y la contaminación de otras fuentes de agua.

Los sistemas de desalinización actuales, por medio de ósmosis inversa, están diseñados para tratar tanto el agua estuarina, costera y marina, como también aguas salobres interiores (tanto superficiales como subterráneas). El agua producida mediante la osmosis inversa no es “agresiva” para los materiales utilizados en la distribución del agua y en las tuberías y dispositivos de fontanería domésticos.

### 3.2. Planta de nano filtración

La nano filtración o tecnología de membrana hueca para el tratamiento del agua, provee una de las formas más sencillas y efectivas tanto para aclarar como para desinfectar el agua. Las membranas de fibra hueca, las cuales parecen mechones de fideos que son huecos por dentro, tienen billones de poros que actúan como tamiz para filtrar las partículas, turbidez y patógenos al mismo tiempo que permiten el flujo de agua a través de la membrana con un bajón de presión virtualmente inexistente (ver figura 3.2).



**Figura 3.2.** Membranas de fibra hueca

Entre las ventajas que presenta la nano filtración se tienen que:

- Retiene y elimina bacterias, virus y quistes del agua.
- Reduce significativamente coloides, turbidez y compuestos orgánicos.

- El sistema automatizado de limpieza elimina las impurezas retenidas, sin la intervención de operario.
- Trata con efectividad el agua procedente de fuentes superficiales o subterráneas.
- El uso de unidades independientes permite crear sistemas portátiles para casos de emergencia.
- La vida útil de los equipos es de 15 años.

## 4. EQUIPOS QUE COMPONEN LOS TIPOS DE PLANTAS COMPACTAS SUGERIDAS PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA

### 4.1. Planta de ósmosis inversa

En la tabla 4.1 se presenta el detalle de los equipos que pueden componer una planta de ósmosis inversa dependiendo de la calidad del agua de la fuente de donde serán abastecidos y la función que cumplen cada uno de los equipos dentro del proceso de tratamiento.

| PLANTA DE ÓSMOSIS INVERSA       |  |                              |
|---------------------------------|--|------------------------------|
| EQUIPOS QUE LA COMPONEN         | FUNCIÓN DE LOS EQUIPOS   | FUENTES QUE SE PUEDEN TRATAR |
| Depósito de agua cruda          | Almacena el agua de la fuente para su bombeo al sistema de tratamiento.                                      |                              |
| Equipo de bombeo                | Garantizar la presión requerida por los dispositivos de tratamiento.   |                              |
| Filtro para sedimentos          | Retira los sedimentos del agua cambiando su valor estético o color.  |                              |
| Filtro de carbón activado       | Captura los olores, los sabores, el cloro y los sedimentos.  | Superficial                  |
| Ablandador + tanque de salmuera | Elimina la dureza del agua ocasionada por las sales minerales y remueve bajos niveles de hierro y manganeso. | Subterránea                  |
| Ósmosis inversa                 | Desaliniza el agua, reduce la dureza y el contenido de nitratos, elimina el color.                           | Oceanos                      |
| Pulidor                         | Permite obtener un agua brillante y cristalina.  |                              |
| Depósito de agua purificada     | Almacena el agua purificada para permitir su bombeo a la red   |                              |
| Desinfección                    | Elimina los agentes patógenos del agua y sirve de prevención en las redes                                    |                              |

**Tabla 4.1.** Equipos que podrían componer una planta de ósmosis inversa.

### 4.2. Planta de nano filtración

En la tabla 4.2 se presenta un resumen de los equipos que pueden componer una planta de nano filtración dependiendo de la calidad del agua de la fuente de donde serán abastecidos y la función que cumplen cada uno de los equipos dentro del proceso de tratamiento.

| PLANTA DE NANO FILTRACIÓN   |  |                              |
|-----------------------------|--|------------------------------|
| EQUIPOS QUE LA COMPONENTEN  | FUNCIÓN DE LOS EQUIPOS   | FUENTES QUE SE PUEDEN TRATAR |
| Depósito de agua cruda      | Almacena el agua de la fuente para su bombeo al sistema de tratamiento.                                  |                              |
| Equipo de bombeo            | Garantiza la presión requerida por los dispositivos de tratamiento.                                      |                              |
| Filtro para sedimentos      | Retira los sedimentos del agua cambiando su valor estético o color.                                      | Superficial                  |
| Filtro de carbón activado   | Captura los olores, los malos sabores, el cloro y los sedimentos.  | Subterránea                  |
| Nano filtración             | Remueve coloides, turbidez, compuestos orgánicos, retiene y elimina bacterias, virus y quistes del agua. |                              |
| Depósito de agua purificada | Almacena el agua purificada para permitir su bombeo a la red.  |                              |
| Desinfección                | Elimina los agentes patógenos del agua y sirve de prevención en las redes                                |                              |

**Tabla 4.2.** Equipos que podrían componer una planta de nano filtración.

## 5. INVERSIÓN REQUERIDA Y COSTOS DE OPERACIÓN DE LAS PLANTAS PURIFICADORAS DE AGUA RECOMENDADAS

### 5.1. Inversión requerida

En la tabla 5.1 se presenta la inversión requerida para la implementación de cada uno de los tipos de planta purificadora de agua, según los precios del mercado de Santa Cruz y el número de personas que se pueden servir con ella.

| CONCEPTO          | UNIDADES    | PLANTA          |                 |
|-------------------|-------------|-----------------|-----------------|
|                   |             | ÓSMOSIS INVERSA | NANO FILTRACIÓN |
| CAUDAL QUE TRATA  | (l/día)     | 10.000          | 24.480          |
| DOTACIÓN (*)      | (l/hab.día) | 60              | 60              |
| PERSONAS SERVIDAS | (hab)       | 170             | 410             |
| INVERSIÓN         | (Bs)        | 167.255         | 274.474         |
|                   | (\$us)      | 24.031          | 39.436          |

(\*) Dotación media mínima, tomando en cuenta los límites inferiores del rango establecido en la Norma Boliviana, que indica 30 (l/hab.día) para el altiplano, 50 (l/hab.día) para los valles y 70 (l/hab.día) para el llano

**Tabla 5.1.** Inversión requerida para la implementación de cada uno de los tipos de planta purificadora.

### 5.2. Costos de operación

En la tabla 5.2 se presentan los costos de operación de cada uno de los tipos de planta estudiadas, obtenidos a partir de considerar una vida útil de 5 años para los equipos que la componen.

| CONCEPTO                              | UNIDADES | PLANTA          |                 |
|---------------------------------------|----------|-----------------|-----------------|
|                                       |          | ÓSMOSIS INVERSA | NANO FILTRACIÓN |
| Depreciación                          | (Bs/mes) | 2.787,58        | 4.574,57        |
| Energía eléctrica                     | (Bs/mes) | 1.000,00        | 1.000,00        |
| Administración técnico/económica      | (Bs/mes) | 2.708,33        | 2.708,33        |
| Mantenimiento                         | (Bs/mes) | 253,42          | 415,87          |
| <b>TOTAL COSTOS DE FUNCIONAMIENTO</b> | (Bs/mes) | <b>6.749,33</b> | <b>8.698,77</b> |

**Tabla 5.2.** Costos de operación de cada uno de los tipos de planta purificadora.

### 5.3. Costo mensual por persona

En la tabla 5.3 se presenta el costo mensual por persona para garantizar el funcionamiento de cada uno de los tipos de planta estudiadas. En el análisis se consideró 5 años de vida útil para los equipos que la componen.

| ITEM                           | ÓSMOSIS INVERSA | NANO FILTRACIÓN |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|
| Dotación (l/hab.día)           | 60,00           | 60,00           |
| Población servida (hab)        | 170             | 410,00          |
| Costo por persona (Bs/mes.hab) | 39,70           | 21,22           |

**Tabla 5.3.** Costo mensual por persona para cada tipo de planta estudiado.

## 6. CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones generales

1. El hecho de que la población mayoritaria, que actualmente no tiene acceso al servicio de agua potable se encuentre en el área rural y su porcentaje en esa área alcanza el 75 (%), facilita la aplicación de las tecnologías que se recomiendan en el presente trabajo.
2. Las plantas tipo cuya inversión se presentan en el acápite 5, se adecuan a las poblaciones entre los 500

- 5.000 (hab). En caso que la población excediera el número de personas que ellas pueden servir, se podrían colocar baterías de capacidades similares a las recomendadas hasta cubrir la capacidad de la población objeto de análisis.

3. De los tipos de fuentes que se pueden encontrar en Bolivia, se recomiendan el uso para el abasto de agua a las poblaciones, las fuentes subterráneas y las superficiales, toda vez que son factibles de encontrar a lo largo de todo el territorio.
4. El estudio de costos e inversión requerida para la implementación de las plantas analizadas, permite afirmar con claridad la factibilidad de la implementación de las mismas en el país, sobre todo en las poblaciones rurales donde se presentan tantos problemas con la entrega de agua potable a la población.
5. De las plantas estudiadas, la nano filtración resulta ser la más económica según el estudio de inversión y costos requeridos, realizado en el presente trabajo.
6. La nano filtración permite el tratamiento efectivo del agua de fuentes superficiales o subterráneas.
7. La ósmosis inversa es hoy en día uno de los sistemas más eficientes para desalinizar y potabilizar el agua, siendo usada en barcos, aviones, industrias, hospitales y domicilios.
8. La ventaja que tienen estas plantas es que al ser modulares y adaptarse al requerimiento y tamaño de la población donde se van a implementar, permiten que su inversión se realice sólo para la población a servir al momento de su implementación y que las mismas se incrementen en su capacidades de acuerdo al crecimiento poblacional, a través de nuevos módulos.

## 6.2. Recomendaciones

1. Se recomienda el uso de los filtros de sedimentos para eliminar los sólidos en suspensión del agua proveniente de la fuente, con lo que se mejora el valor estético o color del agua.
2. En caso de requerirse de los filtros de agua para sedimentos, se recomiendan utilizar en orden de prioridad de acuerdo a las ventajas que estos reportan; los filtros plisados de polipropileno y los filtros plisados de poliéster.
3. Se recomiendan los filtros de carbón activado para capturar los depósitos nocivos en el agua, purificándolos por medio de la captura de los olores, los malos sabores, el cloro y los sedimentos. Las partículas de un filtro de carbón estándar no pueden eliminar arsénico, flúor o nitratos.
4. Se recomienda el uso de los ablandadores de agua para la remoción del calcio y el magnesio del agua.
5. Se debe usar el filtro pulidor para dar claridad y brillantez al agua, que retiene partículas de diámetro menor a 5 micras.
6. Se recomienda el uso del cloro para la desinfección del agua, el mismo que deberá ser entregado al sistema mediante un dosificador automático.
7. Se recomienda la nano filtración para el tratamiento del agua proveniente de fuentes superficiales o subterráneas, ya que provee una de las formas más sencillas y efectivas tanto para aclarar como para desinfectar la misma.
8. Para la implementación de las plantas recomendadas en el trabajo, se sugiere se contrate los servicios de personal calificado para ello, de manera que se pueda preservar la inversión y no se comprometa el adecuado funcionamiento de las mismas.
9. A pesar de lo sencillo que resulta el mantenimiento preventivo de los diferentes equipos que componen las plantas, se recomienda la capacitación del personal encargado de la operación de las mismas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

**Ávalos, A:** Agua potable y saneamiento básico para comunidades rurales.

**Baker, R. W.:** Membrane technology and applications, Ltd. 2004.

**Guerrero Gallego, L.:** Desalación por osmosis inversa: Una apuesta de futuro. Química e Industria. . Vol. 48, No 6, 2001.

**Oliver, R.; López, S.; Quilez, M. A.; Estrany, F.:** Instalación de un equipo de osmosis inversa. MI: Montajes e instalaciones. Vol. 32, Núm. 361, 2002.

**OEC:** El mercado del agua y saneamiento en Bolivia, Embajada de España en La Paz.

**Fariñas Iglesias, Manuel:** Ósmosis inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones. Madrid: Mc Graw Hill, 1999. ISBN: 84-481-2126-0.

**Marcos, M.T.; Coda, F.E.; Pujol, R.O.:** Diseño de una planta desaladora de agua de mar por ósmosis inversa. Ingeniería Química. Vol.35, 2003.

**Marín, R:** Procesos físicoquímicos de depuración del agua, Teoría y problemas prácticos resueltos.

**Spellman, F:** Manual del agua potable, Madrid, 2004.

**Perry. R.:** Manual del ingeniero químico. 6ª edición. Tomo IV. McGrawHill.

**Veza, José Miguel:** Introducción a la desalación de aguas. Gran Canaria: Universidad Palmas de Gran Canaria, 2002.

**Van der Bruggen, B.; Vandecasteele, C.; Van Gestel, T.; Doyen, W. ; R. Ley-Sen, R. A:** Review of pressure-driven membrana processes in wasterwater treatment and drinking water production, Environmental Progress, 2003.

### WEBS

**Chemical Gallery,** <<http://www.chemicalgallery.com>>.

**Hanna Instruments,** <<http://www.hannainst.cl/>>.

**Asociación española de desalación y reutilización,** <<http://www.aedyr.com>>. <<http://www.miliarium.com>>.

**Hidráulica Alsina, S.A.,** <<http://www.bombashasa.com>>