

Nuevas aplicaciones de la ósmosis inversa

New applications of reverse osmosis

Juvenal Cabezas Oruna¹

Resumen

La Ósmosis Inversa es una tecnología de membranas relativamente nueva que, por su sencillez, ha desplazado a otras tecnologías en el tratamiento de aguas y mezclas gaseosas en la industria. Su éxito ha originado una continua investigación y desarrollo que ha traído numerosas aplicaciones principalmente en la industria, así como en la medicina, en la biotecnología, en el procesamiento de alimentos y en el tratamiento de efluentes.

En este artículo se revisa a la ósmosis como origen tecnológico de la ósmosis inversa, luego se trata sobre las características de la ósmosis inversa poniendo énfasis en las membranas como elemento central de esta tecnología; se continúa con la disposición de equipos en una planta típica y se proporciona información técnica sobre rendimientos de proceso. A continuación se presenta una amplia lista de aplicaciones de la ósmosis inversa y, como caso de aplicación, se efectúa una reseña técnica sobre la Unidad Minera Cerro Lindo de la empresa Milpo, ubicada en Chíncha a 1860 msnm y a 60 kilómetros de la costa, que ante la falta de agua en la zona de la mina está desalinizando agua de mar en una playa de Chíncha y lleva el agua desalada a sus operaciones mediante una tubería de acero.

Palabras claves

Ósmosis, Ósmosis Inversa, membranas, desalinización

Abstract

Reverse osmosis is a relatively new membrane technology that, because of its simplicity, has displaced other technologies in the industry of water treatment and gas mixtures. Its success has led to ongoing research and development that has brought numerous applications mainly in industry, as well as in medicine, biotechnology, food processing and effluent treatment.

This article revises osmosis as the technological origin of the reverse osmosis. Then it discusses the characteristics of reverse osmosis with emphasis on membranes as the central element of this technology. It then reviews the layout of the equipments in a typical plant and provides technical information on process yields. Finally, it presents a wide list of applications of reverse osmosis and, as a practical case, the technical review of the performance on the Cerro Lindo Mining Unit, a unit of the Milpo Company, located in the province of Chíncha at 1860 meters above sea level and 60 km from the coast. Due to the absence of water in the area of the mine, it desalinates seawater in the coast of Chíncha and takes the pure water to the mine through a steel pipe.

¹ Ingeniero Químico. Magíster en Administración. Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Docente U.R.P.

Key words

Osmosis, Reverse Osmosis, membranes, desalination.

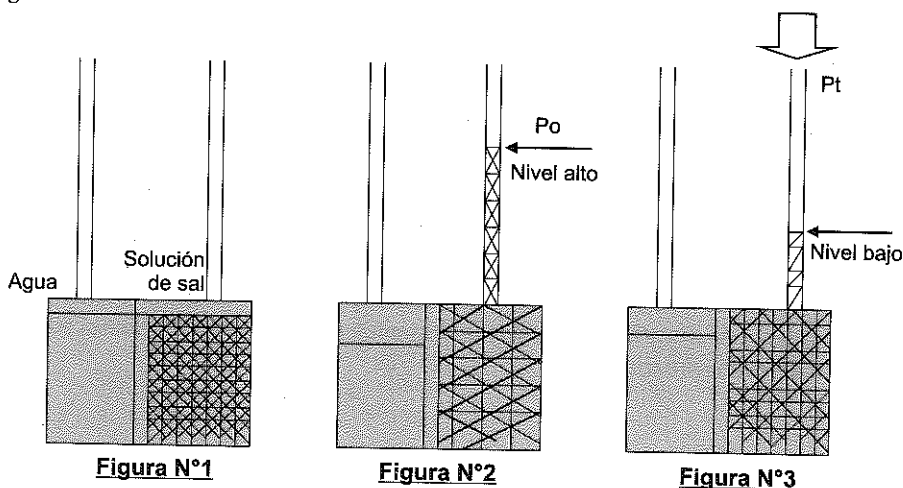
Introducción

La Ósmosis Inversa es una tecnología de manejo de fluidos que se ha desarrollado desde hace medio siglo, habiéndose popularizado por su sencillez en el tratamiento de aguas y separación de gases y porque su instalación requiere un terreno pequeño.

Inicialmente se empezó a aplicar con líquidos mediante el tratamiento de aguas con un máximo de diez mil partes por millón, es decir, aguas de ríos, lagos y pozos. Posteriormente trabajos de investigación sobre esta tecnología llevó a tratar incluso agua de mar y aguas residuales provenientes de la industria. Últimamente las nuevas aplicaciones abarcan a los gases: desde la separación de los componentes del aire hasta la separación selectiva de un contaminante, por ejemplo el CO₂ presente en una corriente de gases que es producida en la industria química o de fertilizantes.

Ósmosis Inversa

La Ósmosis Inversa se basa en la ósmosis, palabra que proviene del griego "osmos", que significa presionar, empujar. La ósmosis es una operación de difusión natural de los fluidos a través de una membrana semipermeable, en la que el agua migra desde una zona de baja concentración hacia una zona de mayor concentración, buscando de igualar las concentraciones en ambos lados de la membrana. En la ósmosis la difusión natural es producida por una presión llamada presión osmótica. Por otro lado la ósmosis inversa tiene su origen en la reversibilidad del fenómeno de ósmosis. Luego de producirse la ósmosis simple, podemos revertir la situación si aplicamos una presión que sea superior a la presión osmótica. Estas situaciones son graficadas en las tres figuras que siguen.



En la Figura N°1 se tiene un recipiente con 2 compartimientos separados por una membrana. Cada compartimiento tiene un capilar que emerge verticalmente de él. En el compartimiento de la izquierda se ha colocado agua pura y en el otro una solución de sal común muy diluida. Ambos compartimientos tienen el mismo volumen. Se entiende que la concentración de NaCl en el compartimiento de la izquierda es cero y en el de la derecha es, digamos, 0.5 M.

En la Figura N°2 se tiene el resultado del fenómeno de ósmosis. El agua ha atravesado la membrana para diluir a la solución de sal, buscando que la concentración en el compartimiento de la derecha deje de ser 0.5M y tienda a ser cero. Adicionalmente, al haber rebasado la capacidad del compartimiento de la derecha, la solución ha subido por el capilar hasta situarse en una determinada altura (nivel alto). Esta altura equivale a una presión hidrostática definida. Esta presión se conoce como "Presión Osmótica" (P_o).

En la Figura N°3 se produce la ósmosis inversa. Para que ésta se haga efectiva se tiene que aplicar en el capilar de la derecha una presión de trabajo (P_t) más alta que la presión osmótica. De esta manera el agua baja de nivel en el capilar y, en el compartimiento de la derecha, se dirige hacia la membrana. Aquí sólo las moléculas de agua atraviesan la membrana, no así los iones. De esta manera los iones cloruro y sodio de la sal común quedan retenidos en el compartimiento de la derecha sin poder atravesar la membrana pero que deben de purgarse.

Características de la Ósmosis Inversa.

Una de las mayores aplicaciones de la ósmosis inversa lo constituye el tratamiento de aguas para consumo humano y para uso industrial. En este caso el objetivo es retirar los iones presentes en las aguas, especialmente calcio y magnesio que son los que originan el sarro o caliche. Generalmente hay que aplicar altas presiones debido a que se tiene que vencer la presión osmótica, por lo que se usan membranas especiales que dejan pasar el agua pero retienen las sales. Las principales características de la Ósmosis Inversa son:

1. Se usan membranas semipermeables que dejan pasar el agua y que retienen:
 - del 95 al 99.75% de todos los minerales disueltos
 - del 95 al 99% de la mayoría de los elementos orgánicos
 - el 100% de las materias coloidales finas (bacterias, sílice coloidal, etc.)
2. Las presiones de operación son altas y pueden llegar a superar los 1000 psig.
3. Puede tratar aguas conteniendo hasta 80,000 ppm de sólidos totales disueltos.
4. Las membranas son hechas especialmente de dos materiales: acetato de celulosa y poliamidas. Estos productos resisten a los agentes químicos y biológicos, pero son atacadas por los halógenos, como el cloro.
5. La ósmosis inversa está en continua investigación y desarrollo, de tal manera que los costos de las membranas se han reducido de un índice 100 en los años 1980 hasta un índice 15 en los años 2000.

6. Físicamente las membranas pueden tener varias presentaciones, pero una de las más populares son las fibras huecas, que tiene unos 85 micrones de diámetro externo y 42 micrones de diámetro interno (Figura N°4) y se instalan al interior de un módulo (Figura N°5).

Figura N°4. Vista lateral de una fibra hueca

Diámetro exterior = 85 μ Diámetro interior = 42

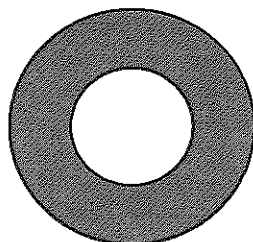
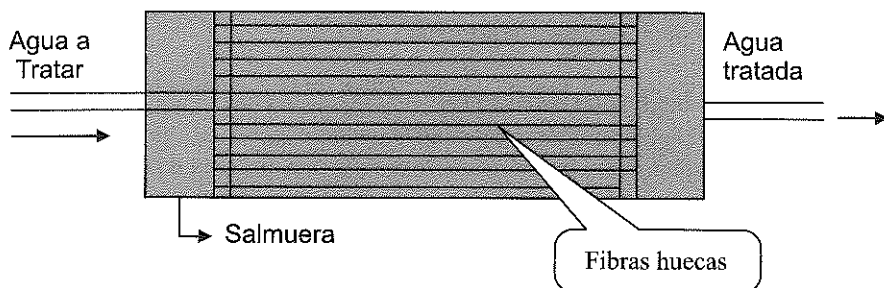


Figura N°5. Módulo de Ósmosis Inversa



La Tabla N°1 muestra las características físicas y operativas de estos módulos, basados en los modelos originales B-9 y B-10 "Permasep" del fabricante DuPont:

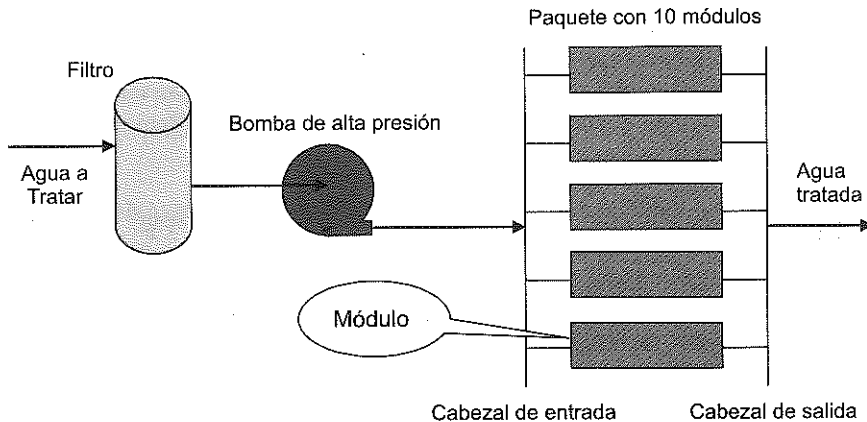
Tabla N°1. Módulos típicos de Ósmosis Inversa

Características	Unidades	Módulo B-9	Módulo B-10
Longitud	Metros	1.20	1.20
Diámetro	Pulgadas	8	8
Capacidad	M3/día	60.57	23.85
Presión de operación	Psig	420	1200
PH de operación		4 a 10	4 a 10
Máxima T° de operación	°C	50	40
Agua de alimentación	PPM de STD	10.000 máx.	60.000 máx.
Tipo de agua		Pozo. río. lago	Agua de mar
Agua producida	PPM de STD	500 máximo	500 máximo

PPM: partes por millón STD: sólidos totales disueltos Fuente: DuPont

Una planta de Ósmosis Inversa aloja muchos módulos, dependiendo de la cantidad de agua a tratar. Por ejemplo: si se desea obtener 3028 M³/día de agua usando el módulo B-9, se usarán $3028 / 60.57 = 50$ módulos. De preferencia estos módulos se instalan en paquetes de 10 unidades. En este caso se tendrían 5 paquetes. La Figura N°6 muestra una disposición típica de módulos de ósmosis.

Figura N°6. Disposición típica de equipos de Ósmosis Inversa



Aplicaciones

Actualmente la Ósmosis Inversa tiene numerosas aplicaciones en muchas actividades económicas, especialmente las industriales y de servicios. Las principales aplicaciones son:

1. Obtención de agua potable.
2. Desalinización de agua de mar para obtener agua potable e industrial. Producción de agua potable en islas y zonas costeras desérticas a partir del agua de mar.
3. Obtención de agua para la generación de vapor de alta presión.
4. Obtención de agua ultrapura para las industrias electrónica, farmacéutica, cosmética, de bioingeniería y para el procesamiento de alimentos.
5. Tratamiento de aguas residuales industriales.
6. Tratamiento de desagües de ciudad.
7. En la fabricación de bebidas: (a) Jugos: concentrar jugos de naranja, tomate, manzana y otros; jugo de manzana: remover pectina y clarificarla; (b) Cervezas: producir cervezas ligeras, de bajo alcohol, etc.; (c) Vinos: filtración y acabado, concentrar el zumo para mejorar el sabor, mejorar el color y olor; etc.

8. En la industria química: (a) Concentrar compuestos químicos y orgánicos, como los pesticidas; (b) Fraccionar geles; (c) Separar moléculas de bajo peso molecular de moléculas de alto peso molecular, como la separación de monómeros de oligómeros; (d) Recuperar tintes y colorantes; etc.
9. En la industria lechera: (a) Filtración de la leche antes de la manufactura del queso para incrementar rendimientos; (b) Concentrar la leche antes de la evaporación; (c) Concentración de sueros; (d) Fraccionamiento de sueros para obtener proteínas concentradas; (e) Concentrar y desalinizar lactosa; etc.
10. En la industria electrónica: (a) Producir agua ultrapura para semiconductores; (b) Prevención de deposiciones orgánicas y coloidales; (c) Remoción de bacterias, microresinas, sílice coloidal.
11. En el procesamiento de alimentos: (a) Concentración de agentes como el agar, la pectina, etc.; (b) Fraccionar y concentrar albúmina de huevo, así como proteínas y aceites animales, vegetales y de pescado; (c) Concentrar y purificar glucosa, sucrosa, fructuosa; (d) Purificar y concentrar gelatina; (e) Concentrar extractos: vainilla, limón, malta, etc.; (f) Purificar y concentrar enzimas y vitaminas.
12. En medicina: (a) Obtención de agua para hemodiálisis y diálisis peritoneal; (b) Obtención de agua ultrapura para la unidad de quemados; (c) Producción de oxígeno ultrapuro.
13. En el acabado de metales y metalworking: (a) Aplicación en procesos de electrodeposición; (b) Uso de ósmosis inversa antes del intercambio iónico; (c) Obtención de agua de make-up para los baños plateados; (d) Recuperación de metales y otros compuestos valiosos que están en las corrientes de enjuague: níquel, zinc, cianuro de zinc, cobre, cianuro de cobre, cadmio, cianuro de cadmio, fluoroborato de estaño-plomo, cromo, bronce, etc.
14. En las industrias farmacéuticas, de bioingeniería y de cosméticos: (a) Separar, concentrar y purificar soluciones de macromoléculas solubles como plasma proteínas, vacunas, polipeptidos, enzimas y levaduras; (b) Separar y concentrar microsolutos, tales como antibióticos, vitaminas y ácidos orgánicos; (c) Fraccionar sangre, concentrar células de glóbulos rojos, plasma, albúmina; (d) Retener antígenos en soluciones de antibióticos; (e) Fermentación continua mediante retro de reactantes y fraccionamiento selectivo; (f) Remover desechos de células; (g) Concentrar virus; (h) Remover contaminantes de la urea.
15. En las industrias de gas natural, petróleo y minería: (a) Endulzamiento del gas natural ácido en la cabecera del pozo mediante la separación del CO₂ y del SH₂ del metano; (b) Recuperar CO₂ de mezclas de gases para su reinyección en los yacimientos en la recuperación secundaria de petróleo; (c) Producir aire enriquecido

- en oxígeno para los procesos de combustión; (d) Reducir sólidos suspendidos y disueltos para la reinyección de agua al yacimiento; (e) Purificar las aguas de formación para alcanzar las especificaciones de descarga; (f) Obtención de agua potable en plataformas marinas.
16. En la industria de pulpa y papel: (a) Tratamiento de las descargas acuosas para alcanzar los límites de descarga requeridos; (b) Purificar el agua de make-up; (c) Tratar el licor gastado de sulfito antes de la evaporación; (c) Fraccionar, concentrar y recuperar lignosulfonatos del licor gastado; (d) Fraccionar, concentrar y recuperar lignitos del licor negro; (e) Concentrar aguas diluidas de lavado de pulpa desde 1 hasta 10% de sólidos antes de la evaporación; (f) Remover color de los efluentes del blanqueo; (g) Recuperar dióxido de titanio; etc.

Ejemplo de aplicación: obtención de agua potable a partir del agua de mar.

En el Perú ya se han construido varias plantas de ósmosis inversa para obtener agua potable a partir del agua de mar. Mediante procesamientos adicionales el agua potable se puede convertir en agua de procesos para uso de la industria. Una de las primeras instalaciones fue la del Hotel Punta Sal en el departamento de Tumbes. Luego se construyó la planta de ósmosis inversa de Bayer industrial, también en Refinería La Pampilla en Ventanilla, etc.

Recientemente la empresa Milpo, a través de su Unidad Minera Cerro Lindo ubicada en Chincha, está desalinizando agua de mar en la costa de Ica y bombea el producto unos 60 kilómetros hasta sus operaciones mineras ubicadas en una zona árida con escasos recursos hídricos, incluso para la población. Cerro Lindo se ubica en la provincia de Chincha, distrito de Chavín. En el kilómetro 181 de la Panamericana Sur se toma un desvío y de allí son 60 kilómetros de carretera. La mina se encuentra en los inicios de la cordillera Occidental y a 1800 msnm. El sistema de desalación de agua de mar consta de tres etapas: captación de agua de mar, proceso en la planta desaladora y envío de agua desalada a la mina. La captación de agua de mar se efectúa en la playa Hawai de Chincha mediante dos tomas independientes con tubería de polietileno de alta densidad de 14 pulgadas de diámetro. Cada toma alimenta a su respectiva bomba que envía el agua de mar a la planta de ósmosis inversa. Dos filtros, instalados después de las bombas, separan las partículas sólidas mayores de 100 micras (arenas y material orgánico). La planta desaladora se ubica a 400 metros de la playa, en una meseta a 80 msnm, en previsión de tsunamis. Consta de un tanque de concreto de 350 m³ de capacidad. Luego, unas bombas impulsan el agua a 60 psig hacia los filtros multimedia de primera filtración que llevan capas de carbón, arena y grava en el fondo. Luego el flujo pasa a una segunda filtración con cartuchos de polipropileno, que retienen partículas mayores a 5 micras. Finalmente el agua salada ingresa a los módulos de ósmosis inversa que usan membranas de poliamida. En Chincha se tienen 3 paquetes con 84 módulos cada uno. Las bombas de alta presión trabajan a 800 psig y las membranas rechazan más del 99% de las sales del mar, cuyas moléculas son mayores que las del agua desalada. Finalmente se obtiene 36 litros por segundo de agua desalada que son enviadas a la mina. En este caso el sistema de transporte de agua desalada consta de una tubería de acero de 8 pulgadas de diámetro, Schedule 80, de 60 kilómetros de longitud y 3 estaciones de bombeo.

En la Tabla N°2 se presenta las características típicas del agua de mar y las del agua desalada luego de haberse procesado por Ósmosis Inversa.

Tabla N°2. Desalinización típica de agua de mar con Ósmosis Inversa

Compuesto/ Característica		Agua de mar ppm	Agua tratada Ppm
Calcio	Ca ⁺⁺	990	2
Magnesio	Mg ⁺⁺	1890	3
Sodio	Na ⁺	9420	77
Potasio	K ⁺	1420	3
Sulfato	SO ₄ ⁼	2200	31
Bicarbonato	HCO ₃ ⁻	935	26
Cloruro	Cl ⁻	15820	138
Nitrato	NO ₃ ⁻	5	0
Sólidos totales disueltos		32680	280
PH		6.3	6.3

CONCLUSIONES

1. La Ósmosis Inversa es una tecnología de tratamiento de fluidos sencilla que ha originado numerosas aplicaciones en la industria y en los servicios a nivel mundial.
2. Siendo la costa peruana una ecorregión árida donde falta agua dulce, es importante considerar a esta tecnología como alternativa para la obtención de agua potable a partir del agua de mar, especialmente en zonas aisladas de las ciudades.
3. De igual manera esta tecnología ha demostrado ser un valioso complemento en otras industrias como la minera; por lo tanto otras empresas de este ramo deberían emular el ejemplo de Milpo en Chincha.
4. Debido a sus bondades y popularidad, esta tecnología debería ser un tema a estudiar por los alumnos de pregrado de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Ricardo Palma en uno de los cursos relacionados con la industria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRANDT, DONALD. "The Application of Reverse Osmosis to Recover Photographic Processing Wastes". SMPTE Journal, Vol.89, N°11, New York NY, Nov. 1980.
- CABEZAS, JUVENAL. "Procesos Industriales". Separatas, Facultad de Ingeniería, Universidad Ricardo Palma, Lima, Marzo 2005.
- DUPONT S.A. DE C.V. "Una planta de Ósmosis Inversa-Permasep contribuye a resolver los problemas de escasez de agua en los Cayos de Florida". Catálogo s/n, México.

E. I. DUPONT DE NEMOURS & CO. "Permasep Permeators - Water Treatment by Reverse Osmosis".
Catálogo E-60191, Wilmington DE.

E. I. DUPONT DE NEMOURS & CO. "Permasep Spiral Wound Products, Treating Brackish Water by
Reverse Osmosis". Catálogo E-54674, Wilmington DE.

KUCERA, JANE. "Reverse Osmosis: Design, Processes and Applications for Engineers". Wiley-
Scrivener Publishing LLC, Hoboken NJ, 2010.

OSMONICS, INC. "Osmo Membrane Systems". Catálogo OGB-8503, Minnesota MN.

www.unitek.com.ar

www.milpo.com/p03_04.htm