



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



S Revista Tecnológica ESPOL, Vol. xx, N. xx, pp-pp, (Mes, 200x)

“Análisis Comparativo de los Procesos de Desalinización del Agua: Destilación Súbita por Efecto Flash (MSF) frente Osmosis Inversa (OI), Bajo la Metodología de Evaluación de Ciclo de Vida”

Diana Verónica Delgado García
Ing. Jorge Duque R.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción.
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Ingeniero Mecánico

dianid_23@hotmail.com/vdelgado@espol.edu.ec
jduque@espol.edu.ec

Resumen

La escasez y mala calidad del agua han sido durante las últimas décadas una problemática a nivel mundial, especialmente en zonas costeras y secas del mundo. Esto ha conllevado a la búsqueda de nuevas tecnologías para la obtención de dicho recurso siendo una fuente potencial el agua de mar. Las industrias en este tipo de zonas se han visto obligadas a implementar determinadas tecnologías para la obtención de agua dulce a partir de agua salada, y este ha sido el caso de algunas industrias asentadas en las zonas costeras del Ecuador.

Estas industrias han visto la necesidad de optar por un método eficiente, de bajo costo y menos contaminante para satisfacer sus requerimientos, tanto industrial como para el consumo humano.

La presente tesis tiene como objetivo principal el estudio y comparación de los Procesos de Desalinización: Destilación Súbita por Efecto Flash (MSF) y Osmosis Inversa (OI), siendo este ultimo el mas utilizado en el Ecuador, y analizados bajo la Metodología de ECV.

Se presenta un breve enfoque de la evolución de la desalinización a nivel mundial donde se muestran los diferentes procesos de desalinización, que en si, son diferenciados debido al tipo de energía que estos requieran para ejecutarse.

Luego de haber analizado los diferentes enfoques que existen para desalinizar el agua, se detalla de manera clara el método de ECV que se utilizará para el estudio de estos dos procesos.

Adicionalmente, se realizara un ACV de los procesos de Destilación Súbita por Efecto Flash y Osmosis con la finalidad de analizar dichas tecnologías desde la obtención del recurso hasta la disposición final, para constatar en



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



que parte de dichos procesos existe algún impacto ambiental que pueda afectar de manera potencial al entorno.

Finalmente, ya una vez realizado dicho análisis, esta tesis se enfocara a realizar un estudio comparativo que nos permitirá comprobar que el método de Osmosis Inversa frente al de Destilación Súbita por Efecto Flash, es el mas eficiente, dando como ejemplo para dicha comparación la planta de La Refinería La Libertad (MSF) con una capacidad de 180.000 GPD de agua desalada frente a una planta con el Proceso de Osmosis Inversa de aproximadamente la misma capacidad.

Palabras Claves:

- ECV: Evaluación de Ciclo de Vida, metodología aplicada
- SIMAPRO 5.0: Programa o Software de análisis ambiental que brinda información sobre las cargas ambientales generadas durante un proceso.
- MSF: Proceso de Destilación Súbita por Efecto Flash.

Abstract

The shortage and poor quality of water there has been during the last decades is a worldwide problem, especially in dry and coastal regions of the world. This has led to the search for new technologies for obtaining the said resource from the potential source of seawater. The industries in these types of regions have seen the obligation to implement the determined technologies for the obtaining of freshwater from saltwater, and this has been the case of some noted industries in the coastal regions of Ecuador.

These industries have seen the need to opt for an efficient method, of low cost and less contaminant to satisfy their requirements, so as to industrialize for human consumption.

The main objective of the present thesis is the study and comparison of the Processes of Desalinization: Sudden Distillation by Flash Effect (MSF) and Inverse Osmosis (OI), this last being the most utilized in Ecuador, and analyzed under the Methodology of ECV.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



A brief focus of the evolution of desalinization is presented on a worldwide level where the different processes of desalinization are shown, that in if, they are differentiated due to the type of energy that they require to be executed.

After the different focuses that exist for the desalinization of water have been analyzed, the method is detailed in a clear way that will be utilized for the study of these two processes.

Additionally, an ACV of the processes of Sudden Distillation by Flash Effect and Osmosis will be carried out with the purpose to analyze the said technologies from the obtainment of the resource to the final disposition, in order to verify in which parts of the said processes exists some environmental impact that could potentially effect the environment.

Finally, the said analysis already carried out one time, this thesis focuses to carry out a comparative study that will permit us to verify that the method of Inverse Osmosis set against that of Sudden Distillation by Flash Effect, is the more efficient, giving as an example for the said comparison the Refineria La Libertad Plant (MSF) with a capacity for 180,000 GPD of desalinated water set against a plant with the Inverse Osmosis Process of approximately the same capacity.

Keywords:

- ECV: Evaluación de Ciclo de Vida, methodology applied.
- SIMAPRO 5.0: Program or environmental analysis software that provide information about the pollute loads generate during a process.
- MSF: Process of Distillation by Flash Effect (MSF)

1. Descripción de los Procesos de Desalinización

Dada la temática actual de la limitación de los recursos hídricos, el mundo se vio en la necesidad de desarrollar nuevas técnicas de la desalinización del agua de mar para que sea para el consumo humano. Dichas tecnologías han variado a través de los años tratando de obtener el método más eficientes, menos costoso y menos perjudicial al ambiente. Es por ellos que encontramos diferentes tecnologías dependiendo de sus procesos.

Tabla 1. Métodos de Desalación en el Medio

Separación	Energía	Proceso	Método
Agua de sales	Térmica	Evaporación	Destilación súbita (flash)
			Destilación multiefecto
			Termocompresión de vapor
			Destilación solar
		Cristalización	Congelación
			Formación de hidratos
Mecánica	Evaporación	Filtración y evaporación	Destilación con membranas
		Filtración	Compresión mecánica vapor
Sales de agua	Eléctrica	Filtración selectiva	Electrodialisis
	Química	Intercambio	Intercambio iónico

Para nuestro estudio hemos analizado los procesos de Destilación Súbita Flash y Osmosis Inversa, por ser procesos que se encuentran en diversas plantas de nuestro país.

El proceso de destilación súbita por efecto flash (proceso de nuestro estudio) es el primer proceso desalador por destilación digno de mencionar. La desalación obtenida por destilación consiste en evaporar agua para conseguir vapor que no contiene sales (éstas son volátiles a partir de 300° C): el vapor se condensa posteriormente en el interior ó exterior de los tubos de la instalación.

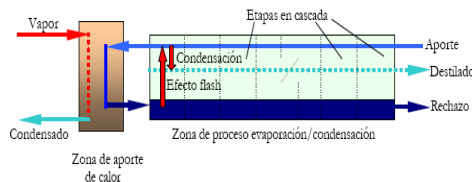


Figura 1. Esquema de una Planta de Evaporación Súbita por Efecto Flash

En el proceso de osmosis inversa podemos decir que cuando dos soluciones con diferentes concentraciones se unen a través de una membrana semipermeable (es

decir, permite el paso de agua pero no de sales), existe una circulación natural de la solución menos concentrada para igualar las concentraciones finales, con lo que la diferencia de altura obtenida (suponemos los recipientes de cada soluto al mismo nivel inicial) se traduce en una diferencia de presión, llamada presión osmótica. Este proceso es conocido como Osmosis Inversa.

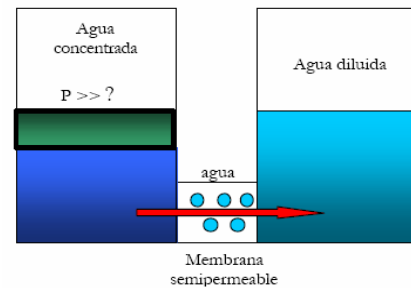


Figura 2. Esquema del Proceso de Osmosis Inversa

2. Evaluación de Ciclo de Vida

La Evaluación de Ciclo de Vida es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto: recopilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio (Norma ISO 14040:1997).

El ECV se compone de cuatro fases (Norma ISO 14040:1997):

- Definición de Objetivos y Alcance
- Análisis de Inventario
- Evaluación de Impacto
- Interpretación

Es por ello que en este estudio hemos seguido dicha metodología para su análisis.

3. Análisis

Se tomara en consideración una unidad funcional de aproximadamente 46.000 m³/día durante una operación de 8000 horas/año, adicionalmente considerando un tiempo de amortización de 25 años para las plantas desalinizadoras, pero incurriendo en

el caso particular de las plantas de Osmosis Inversa sabiendo que las membranas tiene un tiempo de reposición de cada 5 años. Los límites del sistema que se plantearon son los siguientes:

- Se tomaron en consideración los materiales que se utilizaron en la construcción de las instalaciones.
- La energía utilizada para la operación de la planta.
- Mantenimiento de las plantas.
- Se considerara que la calidad del agua desalada cumple satisfactoriamente los requisitos mínimos legales establecidos por la OMS para ser calificada de apta para consumo humano.
- Se considerara una estimación para el consumo de energía para cada planta en específico, en la caso de la planta de MSF se tendría 333 KJ/m^3 de agua desalada obtenido de energía térmica y 4 KWh/m^3 para el caso del bombeo, por otro lado en el caso la planta de OI tendríamos un consumo de 4 KWh/m^3 .
- El efecto de los vertidos de rechazo de salmuera procedentes de las desaladoras sobre la fauna y flora marina no será referido.
- Se ha despreciado la evacuación de los compuestos químicos utilizados (coagulantes, anti-incrustantes), ya que los volúmenes son relativamente pequeños.

Para la electricidad se incluye la producción y transporte de las fuentes primarias (petróleo, gas, hidroeléctrica y la energía que se toma de Sudamérica), excluyendo las infraestructuras de los sistemas de energía; teniendo en cuenta de que los porcentajes de procedencia de la electricidad son: el 83% de origen hidroeléctrico, el 36.53% de origen térmico y el 0.47% en lo referente a energía importada (datos tomados como referencia para este estudio).

Para la planta de desalinización de Osmosis Inversa se requieren de diferentes materiales para su construcción, a continuación se observa los materiales requerido para la ejecución de dicho proceso, entre ellos: Hierro fundido, Hormigón, Hormigón Armado, Acero, Poliamida Aromática, Resina epóxica, Acero Inoxidable 316L.

Para una planta desaladora MSF, se consideran como principales componentes en la fase de construcción o montaje a los siguientes materiales, como por ejemplo, Acero Inoxidable 316L, Acero de baja

aleación 514, Aleación de Ni-Cu, Aleación de Titanio, Hierro fundido, Hormigón, Acero, etc.

Para la operación de las plantas se utilizaran datos que cuantifiquen la energía necesaria requerida para la producción de agua pura. Las entradas en este caso estarán dadas por la energía tomando en consideración el manejo de la electricidad en el Ecuador, dichos datos fueron tomados de los datos del CONELEC donde se muestra la aportación de cada uno de los tipos de generación existentes en el Ecuador en el año 2005 y con su respectivo porcentaje.

Para la fase de disposición final se tendrá como escenario de disposición un vertedero, sin posibilidad de reciclarlas. Pero para el caso particular de la planta de osmosis inversa, además de considerarle una vida útil de la planta de 25 años, se completaría el ciclo contando con la reposición de las membranas, con un uso aproximado de 22.960 unidades ($25/5$ sustituciones / membrana, 8 líneas, 82 tubos / línea, 7 membranas/tubo).

En este estudio se ha utilizado la versión académica de un software comercial que permite cuantificar de manera sistemática los impactos en cada uno de las etapas de las plantas en estudio.



Figura 3. Plantas Desaladoras de Osmosis Inversa y Destilación Súbita Flash

4. Comparación De Las Plantas De Desalinización Con Las Tecnologías MSF– OI

Comparación Energética

Para la comparación hemos tomado datos de la Planta de la Refinería La Libertad que tiene el proceso de MSF. Según el análisis del capítulo anterior se mostró que la planta de osmosis inversa producía aproximadamente $46000 \text{ m}^3/\text{día}$ con un consumo de 14.4 kW-h/m^3 . Para realizar la comparación de los 2



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



procesos vamos a asumir la misma cantidad de producción en m^3 / día de agua desalada que tenemos en la planta de la Refinería La Libertad.

Tabla 2. Comparación Energética de los Procesos de Desalinización de Agua

Comparación Energética de los Procesos de Desalinización de Agua		
Procesos	Ósmosis Inversa	MSF
Producción diaria (m^3 /día)	680	680
Consumo de energía (KW-h/ m^3)	14.4	9.06
Consumo diarios de energía (KW-h/día)	9793.02	6161.44
Consumo mensual de energía (KW-h/mes)	293790.6	184843.33

Comparación de Descargas

En el proceso de Destilación Súbita Flash, la salmuera evaporada entra al estanque de salmuera donde se combina con la admisión y recircula nuevamente. Se descarga de la línea de recirculación un flujo de purga igual al flujo del destilado de diseño, con el fin de mantener la concentración de la salmuera a menos de (o igual a) el doble de la concentración del agua de mar no tratada.

A diferencia del proceso de destilación súbita flash, ósmosis inversa descarga directamente su salmuera sin recibir algún tratamiento previo, debido a que el agua no es sometida a ningún cambio de temperatura en el proceso

Tabla 2. Comparación de Descargas de los Procesos de Desalinización de Agua

Comparación de Descargas de los Procesos de Desalinización		
Procesos	Ósmosis Inversa	MSF
Salmuera (ppm.)	63300	43000

5. Agradecimientos

A los profesores miembros del tribunal de graduación que me encaminaron al desarrollo y culminación de este trabajo y especialmente al Ing. Jorge Duque por su gran ayuda, y por facilitarme cada herramienta necesaria para el desarrollo de este trabajo.

7. Referencias

- [1] CASCIO J., WOODSALE G., MITCHELL P., Guía ISO 14000: Las nuevas normas internacionales para la administración ambiental, McGraw-Hill, 1997
- [2] CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD, Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano, 2005
- [3] SERRA LUIS, RALUY GEMMA, UCHE JAVIER, VALERO ANTONIO, Impacto Ambiental de Tecnologías de Producción de Agua. Análisis de Ciclo de Vida Comparado del Tránsito del Ebro frente a la Ósmosis Inversa, Aragón, España, 2003
- [4] PRE CONSULTANTS, SimaPro Database Manual: Methods Library, 2003.
- [5] ISO, ISO 14042:2000 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life Cycle Impact Assessment, International Organization for Standardization, Geneva, 2000.

8. Conclusiones y recomendaciones

1. En este estudio, el consumo eléctrico específico para una instalación de ósmosis inversa es relativamente mayor comparado con el de una planta de MSF debido al mayor consumo energético en el proceso.
2. En el estudio realizado, se indica que para ambos procesos la fase de mayor afectación es la de extracción de materiales, debido a las grandes cantidades de materiales que se requieren para la producción de $1m^3$ de agua.
3. El proceso de descarga de salmuera en Ósmosis Inversa es mayor en ppm comparado al de una planta de Destilación Súbita Flash, por lo cual podemos afirmar que ósmosis inversa es la que mayor contaminación produce hacia el ambiente marino.
4. SimaPro 5.0 es una herramienta que facilita el análisis de una manera directa y concreta para



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



conocer en que fase de un estudio se obtiene el mayor impacto ambiental.

5. La calidad del agua que obtenemos del proceso de Destilación Súbita Flash es superior a la Osmosis Inversa, debido a los bajos valores de ppm obtenidos en el proceso de destilación, prácticamente obteniendo agua destilada.