ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"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"

TESIS DE GRADO
Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO MECÁNICO
Presentada por:
Diana Verónica Delgado García

GUAYAQUIL – ECUADOR
Año: 2007

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis Padres y hermanos, quienes siempre me supieron guiar por el camino correcto, a mis amigos por haber estado siempre a mi lado y a mi Director de Tesis Ing. Jorge Duque, por toda la ayuda prestada para la realización de la misma.

DEDICATORIA

A MIS PADRES
A MIS HERMANOS
A MI ABUELITA
A MIS AMIGOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

_____

_____

Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Jorge Duque R.
DIRECTOR DE TESIS

_____

Ing. Rodolfo Paz M.
VOCAL

_____

Ing. Gonzalo Zavala O.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL" (Reglamento de Graduación de la ESPOL).

_____

Diana Verónica Delgado García

INTRODUCCIÓN

El agua es necesaria para el desarrollo de la vida así como para numerosas actividades humanas. Además es un bien escaso por lo que es necesario desarrollar sistemas que permitan un mejor aprovechamiento del agua que existe en nuestro planeta. Los océanos representan las tres cuartas partes de la superficie terrestre y de ellas el 97,5% tiene una salinidad de más de un 3% en peso, haciendo que no sirva para usos agrícolas, industriales o humanos. El resto es agua dulce, pero un 68,9% esta en forma de hielo permanentemente (imposible usarla) y del resto de agua disponible, cerca del 30% son aguas subterráneas y el 0,3% se encuentra en ríos, lagos, embalses, etc.

Otro aspecto muy importante a considerar dentro de la distribución de los recursos hídricos del planeta es que no todos están disponibles, ni tienen la calidad necesaria. Actualmente 26 países del mundo sufren problemas de escasez (300 millones de personas), y la previsión para el año 2050 es que sean 66 países los afectados por esta escasez.

Se estima que aproximadamente el 80% del agua dulce se consume en tareas agrícolas, fundamentalmente en el riego. Cantidades significativas de agua se consumen en el ámbito industrial, principalmente en la producción de energía.

Dado que los recursos hídricos son limitados, las tecnologías basadas en la desalinización del agua de mar y el bombeo de agua a distancia, pueden

cubrir de alguna forma la demanda de agua que existe actualmente, pero esto por sí solo no es la solución. Además de estas tecnologías, es necesario gestionar bien el agua, evitando pérdidas o despilfarros que existen por ejemplo en las canalizaciones de riego, o en las redes de abastecimiento por estar obsoletas, o por no tener un mantenimiento adecuado. Así mismo, es necesario un sistema de reciclado y reutilización de aguas tanto en la agricultura como en la industria donde la demanda de agua es tan elevada.

Se hace necesario el ahorro de agua en todos los sectores de consumo, usando técnicas de riego que eviten el despilfarro, ahorro en el consumo doméstico y su posterior depuración y reutilización. Sin embargo, existen zonas áridas o aisladas del planeta que necesitan de fuentes externas de agua para su desarrollo como la desalación. La desalación es un proceso que permite aumentar esos recursos, pero tiene el inconveniente de ser una tecnología cara y no está al alcance de todos los países.

La utilización de técnicas de desalación, tanto de recursos salobres como de agua de mar, constituye en determinadas circunstancias una solución a la escasez sistemática de recursos hídricos en algunas zonas. El desarrollo de las técnicas de desalación, y especialmente aquellas que requieren un menor consumo energético y mayor eficacia, han contribuido a mejorar el rendimiento de las operaciones de desalación y a un menor costo de

producción, lo que ha incidido en considerar las aguas desaladas como una alternativa más.

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE DESALINIZACIÓN DEL AGUA

1.1 Definición de Desalación

Dadas las extensas regiones de los cinco continentes que sufren escasez de agua, y que el consumo en las zonas industrializadas crece a pasos agigantados, el hombre se ha visto obligado a obtener agua potable por distintas vías. Una de ellas ha sido la desalación o desalinización de aguas salobres.

Desde hace casi un siglo, se obtiene en los navíos agua dulce por destilación del agua del mar. Pero ha sido en los últimos decenios

cuando las técnicas para la obtención a gran escala de agua dulce han evolucionado, hasta el punto de que actualmente existen en funcionamiento numerosas plantas de desalación.

Los procedimientos de desalación de aguas salobres van desde el tradicional de ebullición y posterior condensación, hasta los más recientes de electrodiálisis y osmosis inversa, pasando por otros como la congelación y la evaporación por disminución de presión.

La desalación es un proceso de separación de sales de una disolución acuosa, pero que puede ampliarse al proceso de separación del agua de las sales, ya que existen tecnologías que realizan este proceso y el fin último a perseguir es la separación de ambos componentes para uso humano del agua dulce.

Los recursos hídricos susceptibles de desalación pueden tener básicamente dos orígenes: agua de mar o agua subterránea salinizada; estas últimas pueden proceder de acuíferos costeros en contacto directo con el mar y de acuíferos aislados del mismo.

La extracción de las aguas salobres (tema no enfocado en nuestro estudio) disponibles en un acuífero, si no se dispone de un conocimiento suficiente del mismo, y de una adecuada programación de bombeos puede dar lugar a graves problemas de deterioro de su calidad natural. Este caso puede darse tanto en acuíferos

conectados y no conectados con el mar, así unas extracciones mal planificadas pueden incrementar los procesos de disolución de formaciones salinas, o el avance no controlado de la interfaz.

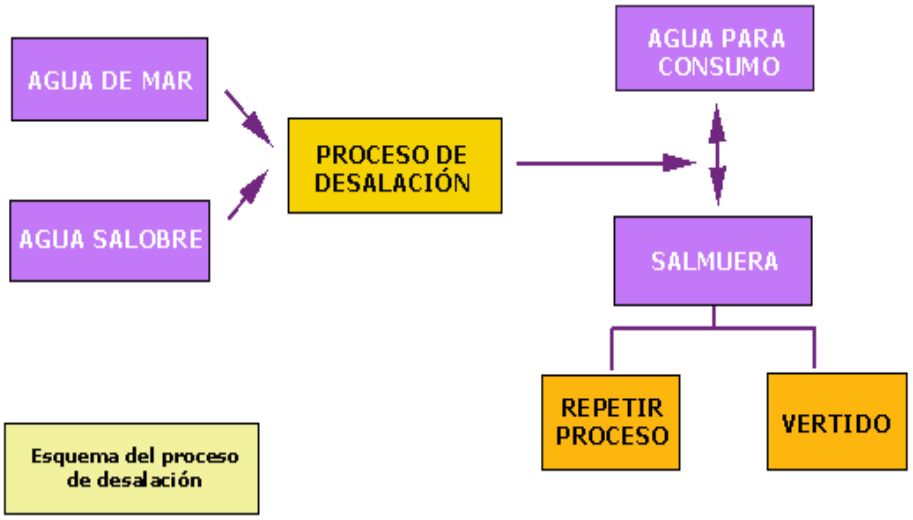

FIGURA 1.1 ESQUEMA DEL PROCESO DE DESALACIÓN

El sistema físico de eliminación de las sales del mar o destilación y condensación sucesivas se conocía desde la antigüedad, pero implicaba un consumo muy elevado de energía que lo hacía inviable económicamente. En fechas más recientes se han desarrollado nuevas tecnologías que permiten la obtención de agua dulce (contenido en sales inferior a 500 ppm.) a partir de agua de mar (contenido en sales del orden de 35.000 ppm.) a un coste aún elevado pero progresivamente decreciente, que puede ser asumido por ciertos usos.

1.2 Breve Historia de la Desalinización

1.2.1 Perspectiva mundial

Para el hombre siempre ha sido un reto el separar la sal del agua del mar para aprovechar sin límite sus inmensas reservas. Desde la época griega clásica, donde se definieron los principios para la separación del agua y las sales, el hombre siempre ha buscado maneras de lograr esa separación. Existen ejemplos a lo largo de la historia antigua de hombres dedicados a tal esfuerzo: Aristóteles, Tales de Mileto, Demócrito, Plinio, Laguna (médico de Carlos V). En el siglo XVI se utilizaron alambiques en barcos para obtener agua dulce, aunque de naturaleza muy rudimentaria.

Hasta bien entrado el siglo XIX no se puede hablar propiamente de una instalación desaladora de naturaleza estable, fue precisamente una planta de destilación solar en una explotación minera en las Salinas de Chile (Handbury, Hodgkiess y Morris, 1993), cuyo rendimiento era ínfimo (20 m^3 producidos en una extensión de 4.000 m^2), pero era la

primera forma de obtener agua dulce para el abastecimiento de la población minera en aquel lugar tan remoto y árido. Posteriormente, en el año 1884 se fabrica por primera vez un evaporador para un barco aprovechando la energía residual del vapor de salida de su caldera. Esta tecnología iba encaminada al efecto pernicioso del agua salada en los tubos de los intercambiadores: incrustaciones, corrosión, etc.

La primera mitad del siglo XX fue totalmente dominada por las tecnologías de evaporación, y se incidió principalmente en el diseño de nuevos tipos de intercambiadores más eficientes y compactos que producían cada vez más agua dulce con el menor consumo.

La facilidad de combinación con instalaciones productoras de energía y su robustez y capacidad, ha contribuido a su manutención en el panorama mundial. Sin embargo, la dependencia energética primaria de este tipo de plantas y su alto consumo motivó la búsqueda de otras alternativas en el mundo de la desalación del agua, como las membranas. Las primeras investigaciones de membranas para desalación datan de la década de los 30, cuando Ferry las recopila en 1936 y las clasifica por sus materiales utilizados (naturales, de

malla porosa, cobre, celofán). Pero las primeras experiencias de membranas con rechazo de sales aceptable para la desalación son de Reid y Breton en la Universidad de Florida en 1953, que obtuvieron un rechazo del 98% con membranas planas de acetato de celulosa. Posteriormente Loeb y Sourirajan en 1960 mejoraron el flujo de este tipo de membranas. Ya en los 70 el material de las membranas se sustituye por poliamida aromática que aumentaban el rechazo hasta el 99%; la primera membrana de este tipo para agua de mar data de 1972, siendo dos años antes la fecha de aparición de las primeras membranas para aguas salobres. A partir de esta fecha, la búsqueda de nuevos materiales (la mayoría de ellos de naturaleza orgánica como la poliamida aromática) ha contribuido a evitar de forma considerable los problemas derivados de la operación de las mismas (no tolerancia a ciertos componentes) así como disminuir la presión mínima necesaria para la obtención del permeado.

Centrándose en la evolución histórica de capacidad instalada en el mundo, se puede decir que en el año 1970 dicha capacidad era de tan sólo 1,7 hm^3/día, correspondientes a plantas evaporadoras muy baratas de instalación pero de alto consumo, utilizadas normalmente en los barcos para reducir

espacio y de acuerdo con la tecnología disponible en aquel momento (VTE principalmente). Sin embargo, la crisis del petróleo de 1973 fue el revulsivo para que los países exportadores de petróleo, que además son los países con mayor escasez de agua, instalaran gran cantidad de plantas de evaporación acopladas con plantas de producción eléctrica, lo que ha permitido el asentamiento definitivo de la población en estas zonas tan áridas del planeta. En los años 80, una nueva crisis del petróleo y la aparición de las membranas de osmosis inversa para agua de mar, hizo que el incremento de este tipo de plantas no fuera tan espectacular, además de que la desalación por otros métodos se extendiera más allá del Golfo Pérsico de forma notoria, especialmente en el tratamiento de aguas salobres. Finalmente, en la década de los 90 los procesos de evaporación siguen pesando considerablemente en Oriente Medio, pero en el resto del mundo la osmosis inversa es el proceso predominante, penetrando en el difícil mercado árabe con la aparición de las membranas preparadas para filtrar ese tipo de aguas y la posibilidad de acoplar instalaciones híbridas en el caso de baja demanda eléctrica en sus instalaciones duales.

1.1 Procesos de Desalación

Como anteriormente se mencionó, en la desalación se puede separar el agua de las sales ó viceversa. Por lo tanto la primera clasificación de los métodos de desalación se atendrá a la forma de separación de sales y agua. Las siguientes clasificaciones se harán según el tipo de energía utilizada para el proceso, y finalmente por el proceso físico de la desalación. La Tabla 1 muestra una clasificación de los métodos existentes.

TABLA 1

MÉTODOS DE DESALACIÓN EXISTENTES 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
		Filtración y evaporación	Destilación con membranas
	Mecánica	Evaporación	Compresión mecánica vapor
		Filtración	Ósmosis Inversa
Sales de agua	Eléctrica	Filtración selectiva	Electrodiálisis
	Química	Intercambio	Intercambio iónico

A lo largo de este capítulo se hablará brevemente de cada uno de los procesos de desalación anteriormente presentados en la tabla, cabe mencionar que será necesario para el presente estudio, centrar la

atención en el consumo energético necesario para obtener agua dulce en condiciones de potabilidad.

1.3.1 Destilación Súbita por Efecto Flash (MSF)

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 300º C): el vapor se condensa posteriormente en el interior ó exterior de los tubos de la instalación.

Los sistemas desaladores suelen funcionar por debajo de la presión atmosférica, por lo que necesitan un sistema de vacío (bombas ó eyectores), además de extracción del aire y gases no condensables.

La utilización de una cámara flash permite una evaporación súbita (y por lo tanto de carácter irreversible) previa a su posterior condensación. Generalmente, la cámara flash se sitúa en la parte baja de un condensador de dicho vapor generado en la cámara inferior. Por lo tanto, la recuperación de calor necesario para la evaporación se obtiene gracias a la

unión sucesiva de etapas en cascada a diferentes presiones, y es necesario el aporte mínimo de la condensación de un vapor de baja o media calidad proveniente de una planta de generación termo-eléctrica. Un esquema de este sistema se presenta en la Figura 1.2.

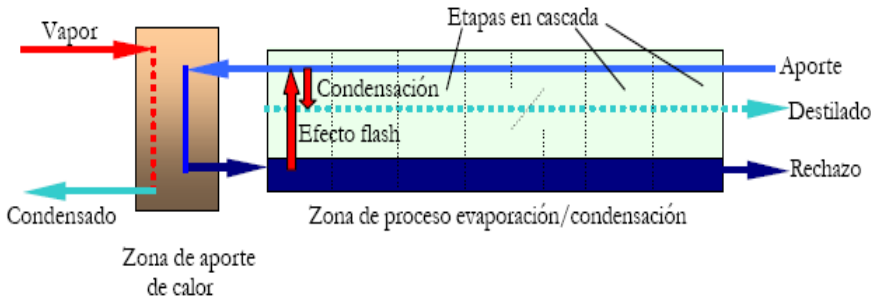

FIGURA 1.2 ESQUEMA DE UNA PLANTA DE EVAPORACIÓN SÚBITA POR EFECTO FLASH

Este es el proceso evaporativo más ampliamente utilizado en el mundo, de implantación masiva sobre todo en Oriente Medio, ello se debe a varias razones:

- Es especialmente válido cuando la calidad del agua de ingreso no es buena (alta salinidad, temperatura y contaminación del agua aportada).
- Su acoplamiento con plantas de potencia para formar sistemas de cogeneración es muy fácil y permite una gran variabilidad de rangos de operación en ambas plantas.

- Su robustez en la operación diaria frente a otros procesos de destilación es notoria.
- La capacidad de las plantas MSF es mucho mayor que otras plantas destiladoras en virtud a la cantidad de etapas conectadas en cascada sin problemas de operación.

Sin embargo, las plantas MSF tienen un grave inconveniente ya que su consumo específico, definido como la cantidad de energía consumida para producir 1 m^3 de agua desalada, es de los más altos de los procesos estudiados. A este consumo contribuyen el consumo térmico proveniente de la planta productora de electricidad, más alto que otros procesos de destilación debido al efecto flash; y el consumo eléctrico debido al gran número de bombas necesarias para la circulación de los flujos de planta. Además de su alto costo de operación, su costo de instalación no es más bajo que otros procesos de desalación.

1.3.2 Destilación por Múltiple Efecto (MED)

Al contrario que en el proceso MSF por efecto flash, en la destilación por múltiple efecto (MED) la evaporación se produce de forma natural en una cara de los tubos de un intercambiador aprovechando el calor latente desprendido por la condensación

del vapor en la otra cara del mismo. Una planta MED (Multi-Effect Distillation) tiene varias etapas conectadas en serie a diferentes presiones de operación, dichos efectos sucesivos tienen cada vez un punto de ebullición más bajo por el efectos de dicha presión.

Esto permite que el agua de alimentación experimente múltiples ebulliciones, en los sucesivos efectos, sin necesidad de recurrir a calor adicional a partir del primer efecto. El agua salada se transfiere luego al efecto siguiente para su evaporación y el ciclo se repite, utilizando el vapor generado en cada efecto. Normalmente también existen cámaras flash para evaporar una porción del agua salada que pasa al siguiente efecto, gracias a su menor presión de operación.

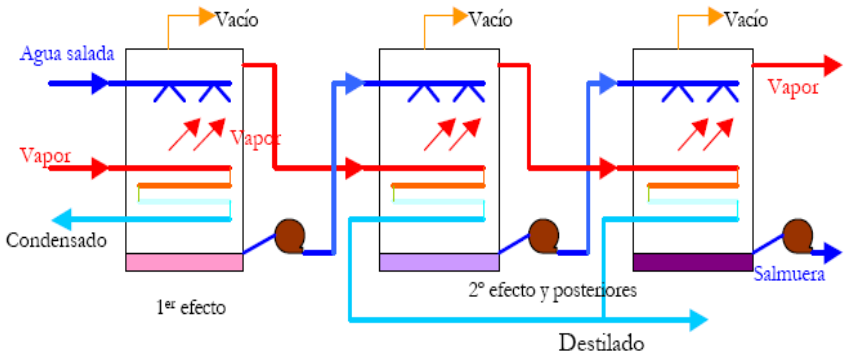

FIGURA 1.3 DESTILACIÓN MÚLTIPLE EFECTO (MED) CON EVAPORADORES HORIZONTALES

La primera etapa se nutre de vapor externo de un sistema recuperativo, una turbina de contrapresión (o extracción de una de condensación). Un condensador final recoge el agua dulce en la última etapa precalentando el agua de aportación al sistema, como se muestra en la Figura 1.3. Por lo tanto, las plantas MED también conforman sistemas de cogeneración al igual que las MSF consumiendo una porción de energía destinada a priori a la producción eléctrica.

La destilación por múltiple efecto no es un proceso solamente utilizado para la desalación. La industria azucarera utiliza constantemente destiladores de múltiple efecto, aunque en este caso el propósito no es obtener destilado sino concentrar mezclas de otra naturaleza.

La capacidad de este tipo de plantas suele ser más reducida que las MSF (nunca suele superar los 15.000 m^3/día) (Al-Shammiri y Safar, 1999), aunque ello se debe más a razones de índole política que operativa: las MSF más grandes se instalan en Oriente Medio y las mayores MED están instaladas en las islas del Caribe para abastecer de agua estas zonas de gran presión turística. También es verdad que el número máximo de efectos conectados en serie raramente es mayor de

15, a excepción de las MED con múltiples efectos integrados en cada uno de ellos, llegando en este caso a más de 50.

Sin embargo, tienen un mejor rendimiento global con respecto a una MSF: el GOR de este tipo de plantas puede llegar a 15 sin ningún problema, reduciendo por lo tanto el consumo específico de este proceso respecto de una planta MSF con idénticas capacidades. Ello se debe principalmente a la irreversibilidad asociada al proceso de separación flash que aparece en los procesos MSF. Además el consumo eléctrico es menor que la MSF ya que necesita menos bombas de circulación al no existir recirculación de salmuera. Ello implica que el peso de este proceso en el contexto mundial de la desalación es mucho menor que el de las MSF ó la osmosis inversa (OI).

1.3.3 Destilación Solar

La energía solar es el método ideal para producir agua en zonas áridas y muy aisladas del resto de poblaciones. A pesar de tener un coste energético nulo y escasa inversión necesaria, su baja rentabilidad reside en su escasa producción por metro cuadrado de colector al destilarse tan sólo unos litros al día en el caso de condiciones climatológicas favorables. Por lo tanto

no se han desarrollado a gran escala en lugares con un consumo elevado de agua dulce.

Hay varias formas de producir agua dulce usando la energía solar, en este párrafo nos ceñiremos a la destilación por colectores. El principio básico es el del efecto invernadero: el sol calienta una cámara de aire a través de un cristal transparente, en cuyo fondo tenemos agua salada en reposo. Dependiendo de la radiación solar y otros factores como la velocidad del viento (que enfría la cara exterior del vidrio), una fracción de esta agua salada se evapora y se condensa en la cara interior del mismo. Debido a que la cubierta del vidrio tiene cierta inclinación, las gotas caen en un canal que va recogiendo dicho condensado evitando que desciendan a la lámina inferior de salmuera, como se muestra en la Figura 1.4. Aunque pueden utilizarse técnicas de concentración de los rayos solares apoyándose en lentes ó espejos (parabólicos ó lisos), no suelen compensar las mayores pérdidas de calor que ello acarrea y su mayor coste económico.

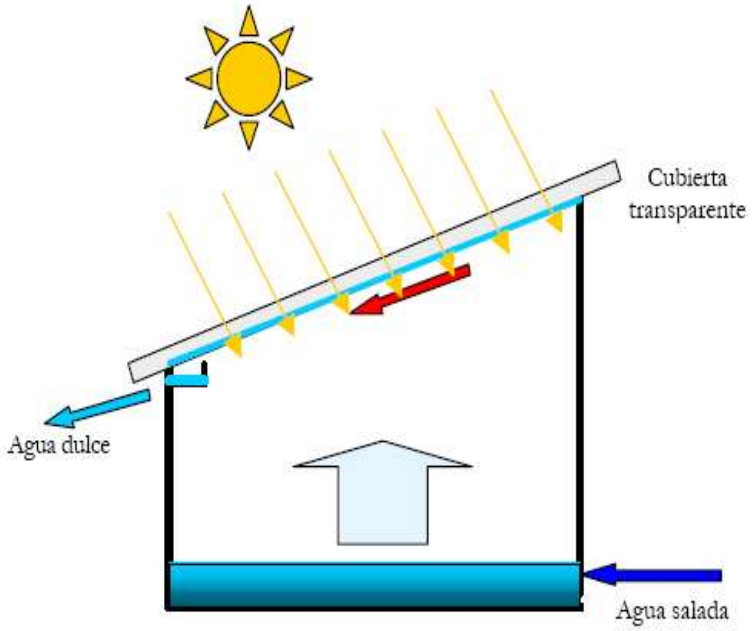

FIGURA 1.4 ESQUEMA DE UN COLECTOR SOLAR PARA DESTILACIÓN

Pero la energía solar también puede ser la fuente de energía de un proceso de destilación, incluso de producción eléctrica para pequeñas instalaciones de osmosis inversa. Por ejemplo, el uso de colectores de concentración parabólicos (PTC) puede usarse en procesos MSF ó MED dependiendo del coste de los colectores, que son los que determinan la producción de agua por metro cuadrado de PTC (en promedio producen 10 m^3 de agua dulce por m^2 de colector) y factores climáticos tales como el porcentaje del día en que la planta consume energía solar (factor solar SF) (García, 1999; García, Palmero y Gómez, 1999). Como se puede ver el gran problema de estas

instalaciones es que no evita la instalación convencional para producir agua dulce en circunstancias climatológicas adversas.

Un reciente estudio de recopilación de plantas de destilación solar muestra una realidad nada halagüeña: el total de capacidad instalada a escala mundial no supera los 10.000 m^3/día, generalmente con colectores parabólicos acoplados a pequeñas unidades MSF ó MED (García y Gómez, 2000). Queda muy claro que estos métodos hoy por hoy no son competitivos económicamente, tan sólo en lugares aislados de suministro eléctrico y de agua es factible pensar en estas instalaciones.

1.3.4 Destilación por Membranas

Es un proceso combinado de evaporación y filtración. El agua salada bruta se calienta para mejorar la producción de vapor, que se expone a una membrana que permite el paso de vapor pero no del agua (membrana hidrófoba). Después de atravesar la membrana el vapor se condensa, sobre una superficie más fría, para producir agua desalada. En estado líquido, esta agua no puede retroceder atravesando la membrana por lo que es recogida y conducida hacia la salida.

Desgraciadamente, este proceso sólo ha sido desarrollado a nivel de laboratorio por varios grupos de investigación científica (uno de ellos español, de la Universidad de Málaga; García y Florido, 2000), aunque sus perspectivas son francamente esperanzadoras.

1.3.5 Osmosis Inversa

La osmosis es un proceso natural que ocurre en plantas y animales. De forma esquemática (Figura 1.5) 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. Un esquema de este proceso se muestra en la Figura 1.5.

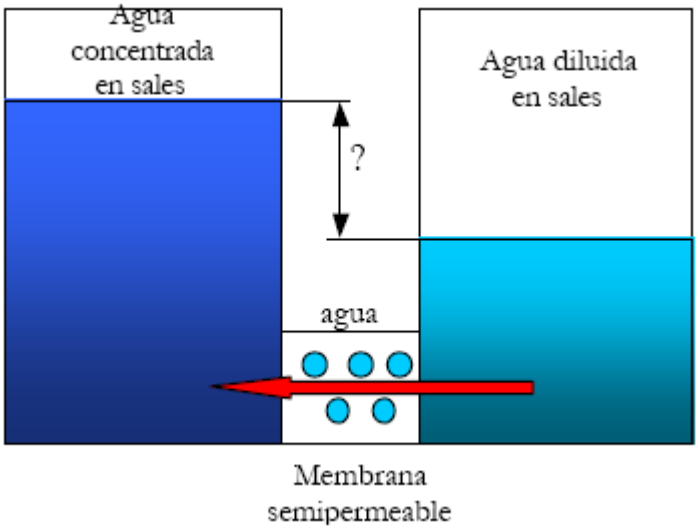

FIGURA 1.5 PROCESO NATURAL DE OSMOSIS

Sin embargo aplicando una presión externa que sea mayor a la presión osmótica de una disolución respecto de otra, el proceso se puede invertir, haciendo circular agua de la disolución más concentrada y purificando la zona con menor concentración, obteniendo finalmente un agua de pureza admisible, aunque no comparable a la de procesos de destilación. Por eso es altamente recomendable para la filtración de aguas salobres, en las que la sal a rechazar es mucho menor que en aguas marinas. La cantidad de permeado depende de la diferencia de presiones aplicada a la membrana, sus propiedades y la concentración del agua bruta, y la calidad del agua permeada suele estar en torno a los 300 - 500 ppm. de TDS, cifra un

orden de magnitud mayor al agua obtenida en un proceso de evaporación.

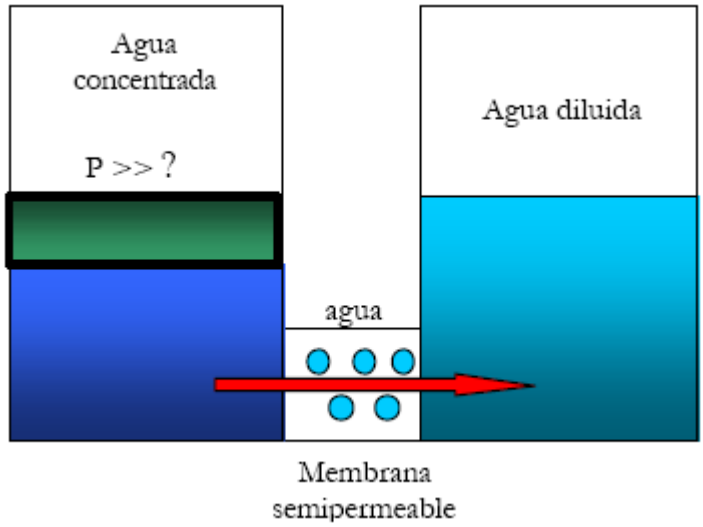

FIGURA 1.6 PROCESO DE OSMOSIS INVERSA

Una membrana para realizar osmosis inversa debe resistir presiones mucho mayores a la diferencia de presiones osmóticas de ambas soluciones, un esquema del proceso de este tipo se presenta en la Figura 1.6. Por ejemplo un agua bruta de 35.000 ppm de TDS a 25ºC tiene una presión osmótica de alrededor de 25 bar, pero son necesarios 70 bar para obtener permeado. Además deber ser permeable al agua para permitir el flujo y rechazar un porcentaje elevado de sales. Sin embargo no se puede considerar la OI como un proceso de filtración normal, ya que la dirección de flujo del agua bruta es

paralela y no perpendicular como un caso cualquiera de filtración. Ello implica que tan sólo una parte del agua bruta de alimentación pasa realmente a través de la membrana (un proceso de filtración lo haría en su totalidad), y que no se acumulen sales en la membrana al arrastrarse por el agua bruta que no pasa por la membrana.

El proceso de osmosis inversa es tan simple que a priori solo son necesarias las membranas que filtren el contenido salino y el equipo presurizador. Pero una planta de OI es mucho más compleja que una agrupación de módulos y una o varias bombas, por ejemplo las membranas se ensucian muy fácilmente con la operación continuada y necesita un pre-tratamiento intensivo (mucho mayor que en los procesos de destilación), que comprende entre otros los pasos mostrados en la Figura 1.7.

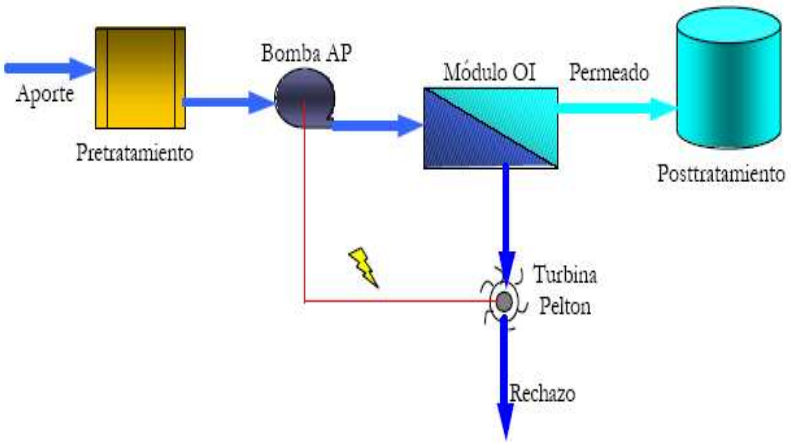

FIGURA 1.7 DESALACIÓN POR OSMOSIS INVERSA (OI) CON TURBINA PELTON INCORPORADA

- Clorado para reducir la carga orgánica y bacteriológica del agua bruta.
- Filtración con arena para reducir la turbidez.
- Acidificación para reducir el Ph y limitar la formación de depósitos calcáreos.
- Inhibición con polifosfatos de la formación de sulfatos de calcio y bario.
- Declorado para eliminar el cloro residual.
- Cartuchos de filtrado de partículas requeridos por los fabricantes de membranas.
- Micro-filtración (MF) y ultra-filtración (UF) en el caso de aplicaciones industriales muy específicas ó en reutilización de aguas residuales

El postratamiento en una planta de este tipo sólo suele ser un tratamiento complementario para conseguir las condiciones de potabilidad requeridas.

1.3.6 Electrodiálisis (ED)

Este proceso permite la desmineralización de aguas salobres produciendo que los iones de diferentes signos se muevan hacia zonas diferentes aplicando campos eléctricos con diferencias de potencial aplicados sobre electrodos, y utilizando membranas selectivas que permitan sólo el paso de los iones en una solución electrolítica como es el agua salada.

El proceso puede verse más claramente en la Figura 1.8, donde los iones van a los compartimentos atraídos por los electrodos del signo contrario, dejando en cubas paralelas el agua pura y en el resto el agua salada más concentrada. Es un proceso que sólo puede separar sustancias que están ionizadas y por lo tanto su utilidad y rentabilidad está sólo especialmente indicada en el tratamiento de aguas salobres ó reutilización de aguas residuales, con un consumo específico y de mantenimiento comparable en muchos casos a la osmosis inversa (De Armas, Pérez y von Gottberg, 1999).

En algunas ocasiones, la polaridad de los ánodos y cátodos se invierte alternativamente para evitar el ensuciamiento de las membranas selectivas al paso de dichos iones. En este caso se habla de electrodiálisis reversible (EDR).

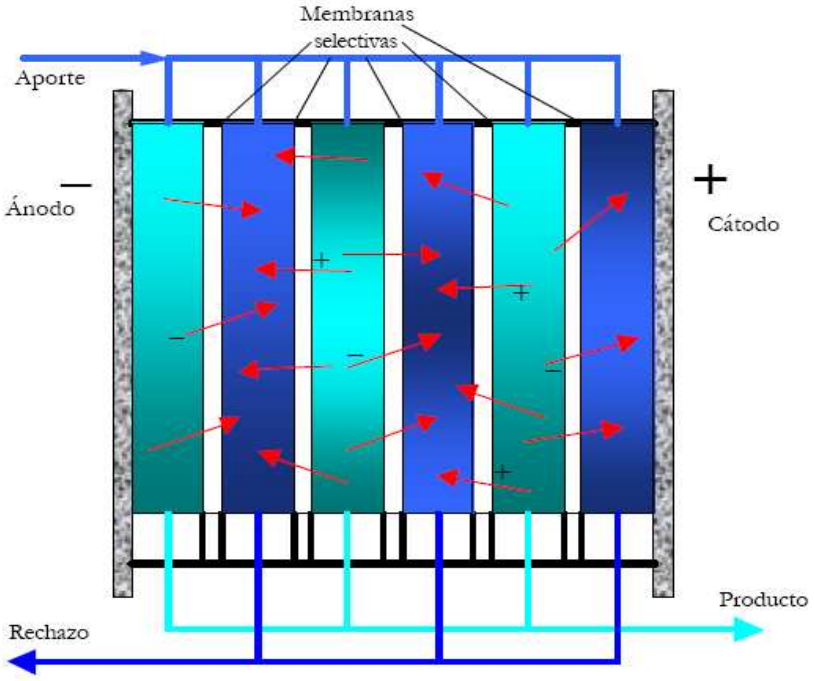

FIGURA 1.8 PROCESO DE ELECTRODIÁLISIS

CAPÍTULO 2

2. EVALUACIÓN DE CICLO DE VIDA

2.1 Definición y Fases del Análisis de Ciclo de Vida

La primera definición consensuada del ACV (conocido internacionalmente como LCA, Life Cycle Assessment) y la más utilizada hasta el momento, se debe a la Sociedad de Química y Toxicología Ambiental (SETAC, Society of Environmental, Toxicology And Chemistry). “El ACV es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno; para determinar el impacto que ese uso de recursos y esos vertidos producen en el medio ambiente, y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El

estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: extracción y procesado de materias primas; producción, transporte y distribución; uso, reutilización y mantenimiento, y reciclado y disposición del residuo" (Consoli *et al.,* 1993). Las fases principales de un ACV se presentan en las Figuras 2.1 y 2.2.

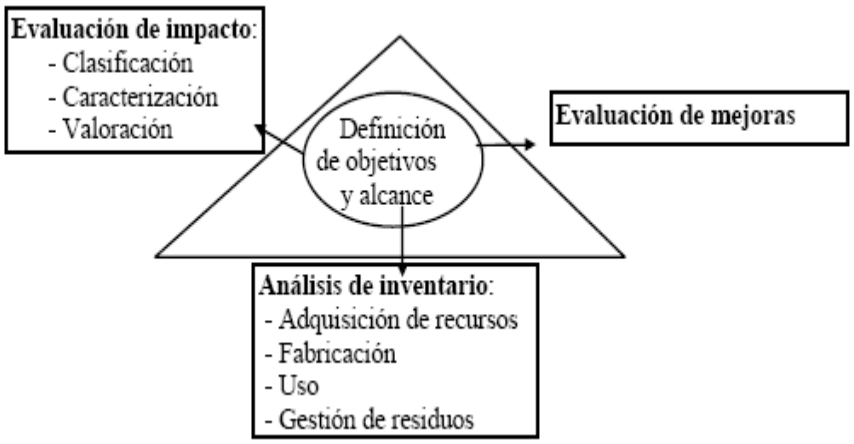

FIGURA 2.1 FASES DE UNA ACV, SEGÚN SETAC

Sin embargo, desde los tiempos en que comenzó el ACV, las entidades reguladoras han hecho grandes esfuerzos para normalizar la metodología, con el fin de lograr así una mayor credibilidad en los resultados obtenidos. Con el fin de lograr este objetivo, en 1991 ISO (International Organization for Standarization), creó el Strategic Advisory Group on the Environment (SAGE), con el objeto de discutir la necesidad de desarrollar normativas relativas a la gestión

ambiental, dado el desarrollo del tema a nivel mundial. Las discusiones de este grupo fueron muy fructíferas a partir de ellas surgió la creación del Comité Técnico 207 (CT 207), al cual se le asigna la responsabilidad de desarrollar normas que incorporasen el tema ambiental, con el gran desafío de no entorpecer el comercio internacional, y que hoy en día conocemos como serie de Normas ISO 14000 sobre ACV que establecen una nueva definición: "El ACV 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)

La definición que da la norma española UNE 150-040:1996 es: "El ACV es una recopilación y evaluación, conforme a un conjunto sistemático de procedimientos, de las entradas y salidas de materia y energía, y de los impactos ambientales potenciales directamente atribuibles a la función del sistema del producto a lo largo de su ciclo de vida".

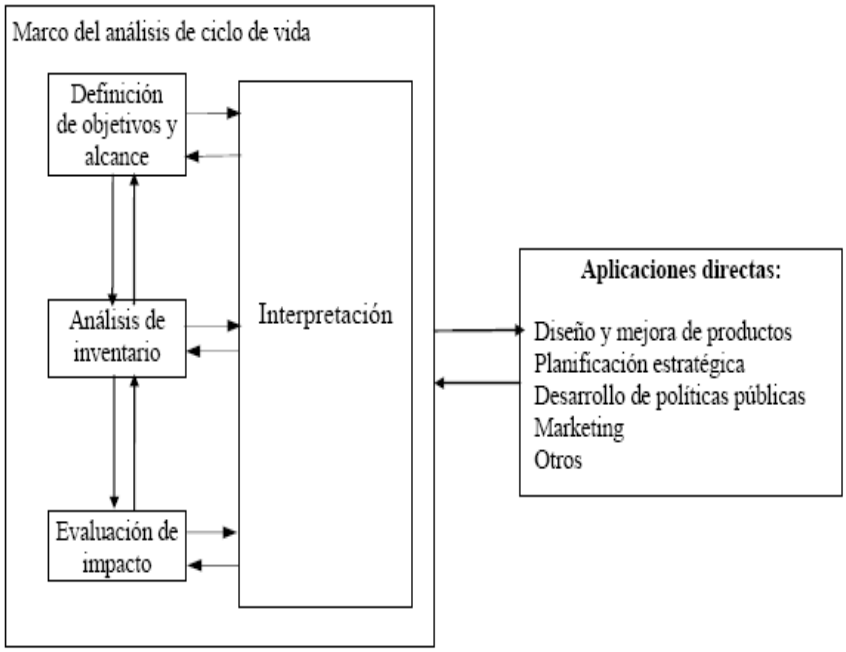

FIGURA 2.2. FASES DE UN ACV, SEGÚN LAS NORMAS ISO

La metodología considera, pues, una serie de fases de trabajo interrelacionadas, que siguen una secuencia más o menos definida, aunque en ocasiones es posible realizar un estudio no tan ambicioso obviando alguna fase. A partir de los resultados de una fase pueden reconsiderarse las hipótesis de la fase anterior y reconducirla hacia el camino que nos ofrece el nuevo conocimiento adquirido. El ACV es, por tanto, un proceso que se retroalimenta y se enriquece a medida que se realiza, como un proceso iterativo.

2.2 Metodología de la ECV

Como ya se ha mencionado anteriormente el ACV se compone de cuatro fases (Norma ISO 14040:1997). En la Figura 2.2 se observa cómo dichas fases son de naturaleza iterativa, así como las aplicaciones directas que tiene la herramienta según la organización ISO.

2.2.1 Definición de objetivos y alcance

La primera fase del ACV es la *definición de objetivos y alcance del estudio*, que debe incluir tanto la definición exacta del tema a tratar como el alcance y profundidad del estudio, para determinar con qué propósito se utilizarán los resultados obtenidos y las conclusiones extraídas. Si en el transcurso de la realización del ACV se obtiene información relevante, el objetivo puede reconsiderarse. Esta primera etapa sirve para organizar la totalidad del estudio y como referencia para la expresión de los resultados, cuyas conclusiones deberán incluir cualquier modificación habida del objetivo inicial.

El principal objetivo de este estudio consiste en obtener una estimación o aproximación de la información ambiental de todo el ciclo de vida de distintos procedimientos y tecnologías

de producción de agua dulce y realizar una comparación lo más objetiva posible, entre ellos.

En la definición del alcance de un ACV los siguientes puntos deben ser considerados y descritos claramente.

Función y unidad funcional

La función o funciones del sistema describen las características de operación del mismo. Los procesos de desalación persiguen como objetivo común generar y aportar recursos hídricos destinados para el abastecimiento humano, industrial o agrícola. La calidad del agua obtenida por los procesos de desalación se supone que es la adecuada y cumple los requerimientos especificados para el uso final.

La definición de una unidad funcional o característica de rendimiento es la base para un ACV, ya que la unidad funcional define la escala para comparar dos o más productos incluido la mejora del producto o sistema. Todos los datos recogidos en el Análisis de Inventario (ICV, Inventario de Ciclo de Vida) estarán relacionados con la unidad funcional. Uno de los principales propósitos de definir una unidad funcional es proveer una referencia para la cual los datos de entradas y salidas puedan ser normalizados.

Límites del sistema

Los límites del sistema definen los procesos y operaciones del sistema (manufactura, transporte y tratamiento de residuos), así como las entradas y salidas que deben tomarse en cuenta en el ACV.

Calidad de los datos

La calidad de los datos usada en el ICV (Inventario de Ciclo de Vida) se refleja en la calidad de los resultados del ACV. Cuando un ACV se realiza por primera vez, es aconsejable no despreciar ningún dato por su calidad (Botero, 1998).

La calidad inicial de los datos requerida debe quedar establecida cuando se definen los siguientes parámetros:

- La antigüedad de los datos y su rango de validez temporal.
- Validez geográfica (local, regional, nacional, continental, global).
- Campo de aplicación tecnológica.

Revisión crítica del proceso

El proceso de revisión crítica permite asegurar la calidad del ACV mediante una revisión tanto de los objetivos y alcances como de los límites del estudio. Esta revisión puede ser

interna, externa o involucrar partes interesadas que fueron definidas en el objetivo y alcance del trabajo.

2.2.2 Análisis de inventario

El análisis de inventario (ICV) es la segunda fase de ACV y corresponde al inventario de cargas ambientales. De hecho, se trata tan sólo de resolver balances de materia y energía, tras definir correctamente el sistema en estudio y presentarlo mediante un diagrama de flujo donde aparecen todas las etapas del proceso, el cual está compuesta por las siguientes etapas.

Recopilación de datos

El análisis de inventario incluye la recopilación y tratamiento de datos para ser usados en el cálculo del consumo de materiales y en la realización del perfil ambiental para todas las fases del ACV. Los datos pueden provenir de sitios específicos, como compañías, áreas o países específicos, o de fuentes más generales como son organizaciones de estadísticas, registros públicos, etc.

El Análisis de Inventario es, la mayoría de las veces, la parte más intensiva del trabajo en el ACV, especialmente cuando

se requieren datos de un sitio específico para todos los procesos involucrados. En muchas ocasiones se usan datos promedios que provienen de la literatura o de algunas organizaciones que, como la BUWAL (Suiza), han publicado datos de la cuna a la tumba que incluyen el análisis de inventario para la manufactura de algunos productos (Botero, 1998).

Definición de los sistemas

Los límites del sistema están definidos como parte del alcance del estudio, sin embargo después de la recopilación inicial de los datos, estos pueden ser redefinidos como resultado de la exclusión de etapas de vida o subsistemas, o la inclusión de nuevos procesos unitarios.

Procedimiento de cálculo

No existen procedimientos formales para llevar a cabo los cálculos en el ACV, excepto la descripción de los procedimientos de asignación. Debido a la cantidad de datos es recomendable desarrollar al menos una hoja de cálculo, para este propósito específico.

Hay varios programas informáticos, por ejemplo Boustead Model (Boustead Consulting Ltd., 2000) y SimaPro (PRé Consultants, 2001a), disponibles en el mercado y desarrollados específicamente para realizar el ACV. La elección del programa adecuado depende del tipo de cantidad de datos que deben manejarse, en el presente estudio el programa empleado es SimaPro 5.0.

Reglas de asignación

Cuando se lleva a cabo el ACV en sistemas complejos, puede suceder que no sea posible manejar todos los impactos y las salidas dentro de los límites del sistema. Este problema puede resolverse de dos formas: expandiendo los límites del sistema para incluir todas las entradas y salidas, o utilizando criterios de asignación para algunos de los impactos ambientales del sistema.

En los sistemas estudiados, se han considerado diversos elementos o procesos cuyos datos de inventario están en las bases de datos del programa y que por lo tanto son bibliográficos. En estos casos, las asignaciones de carga ambientales se realizan aplicando los métodos de valoración que el programa SimaPro tiene implementados. Para los

procesos que se han creado en el proyecto se ha aplicado el método de la causalidad física, es decir, asignar o distribuir las cargas ambientales (entradas y salidas) del proceso al producto o funciones que las causa de forma que reflejen una relación física entre ellas (masa, energía).

2.2.3 Evaluación del Impacto

La siguiente fase es la *Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida* (EICV). Las técnicas de evaluación de impacto ayudan a convertir el resultado del inventario -una tabla de doble entrada de centenares de datos referentes a diferentes cantidades de cargas ambientales en todas las etapas del proceso- en una lista de pocos datos interpretados según su capacidad de afectación al medio ambiente. La evaluación se realiza en toda una serie de categorías de impacto, como puede ser la reducción de la capa de ozono, la acidificación, la nitrificación de las aguas, la toxicidad o el agotamiento de recursos.

El proceso se lleva a cabo en varios pasos llamados: clasificación, caracterización, normalización y valoración. Cada uno de estos elementos va manipulando los datos provenientes del inventario, reduciéndose sucesivamente en

cantidad o en complicación y facilitando su interpretación. No obstante, este proceso tiene un precio frente a la objetividad de los datos de inventario (dentro de los márgenes de error que tengan), cada nuevo elemento incorpora una cierta subjetividad de modo que al llegar al final del proceso podríamos encontrarnos con un solo número o índice ambiental para describir el sistema (etapa de valoración), sencillo de interpretar pero muy subjetivo.

2.2.4 Interpretación

Esta fase combina la información obtenida en la fase de inventario con la de evaluación de impactos (si la hay) para llegar a conclusiones y/o recomendaciones, según los objetivos marcados en el alcance del estudio, entre las que puede encontrarse el camino a seguir para perfeccionar el estudio.

Para mejorar el sistema en estudio, primero deben identificarse las áreas de posible mejora. Dentro de éstas, el ACV ayuda a identificar aquellas que pueden llevar a una mejora mayor o las que apenas afectan al conjunto y en las que no vale la pena invertir recursos, mientras que el

conocimiento del sistema descubrirá aquellas de mejora más rápida y sencilla.

Esta última etapa es un proceso iterativo que se debe repetir hasta que los requisitos planteados en los objetivos y el alcance del estudio se hayan satisfecho completamente.

Para ello se propone el siguiente procedimiento:

a) Identificar los campos significativos.
b) Evaluar los resultados con respecto a su inclusión, sensibilidad y consistencia. El primero consiste en realizar una evaluación cualitativa de la selección de datos y procesos, para examinar las posibles consecuencias de omitir información. Con el segundo se aplica un análisis sistemático, cualitativo o cuantitativo, de cualquier implicación que tenga algún cambio en los datos de entrada. Finalmente el tercero pretende discutir los cambios identificados en la estructura de los objetivos y el alcance.
c) Verificar que las conclusiones son coherentes con los objetivos y alcance del estudio planteados, incluyendo los requisitos de calidad de los datos, valores asumidos, y las orientaciones requeridas para la aplicación.

d) Si se cumple lo anterior, se escriben las conclusiones finales, si no se deben repetir los apartados a y b.

Esta fase debe reflejar también los resultados de los análisis de sensibilidad e incertidumbre llevados a cabo durante el estudio.

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS

En este capítulo se describirán los procesos de desalinización del presente estudio bajo la estructura establecida por el Análisis de Ciclo de Vida, donde se definirán nuestros objetivos y alcance, se analizarán los datos de inventario obtenido y facilitados por dichas plantas, y finalmente, se llevara a cabo la evaluación de impacto.

En la parte final de este capítulo de mostrará de manera simple la comparación de estas dos tecnologías, la de osmosis inversa (siendo ésta la tecnología que genera menor carga ambiental) y la de destilación súbita por efecto flash.

3.1 Definición de Objetivos y Alcance

3.1.1 Objetivos del Estudio

El objetivo principal de este estudio es el de obtener una visión más clara de la diferencias entre los distintos procedimientos y tecnologías aplicadas por cada una de estas plantas. De igual manera nos enfocaremos a realizar una comparación lo más objetiva posible para poder constatar cual de los dos procedimientos es más eficiente y con menor afectación al medio ambiente.

Como un enfoque generalizado, trataremos de obtener una estimación o aproximación de la información ambiental de todo el ciclo de vida de distintos procedimientos y tecnologías de producción de agua dulce y realizar una comparación lo más objetiva posible, entre ellos. Los procedimientos de producción de agua a los que se realiza el Análisis de Ciclo de Vida son la Destilación Súbita Flash (MSF), y Osmosis Inversa (OI) como procesos de desalación.

3.1.2 Alcance del Estudio

3.1.2.1 Función, Unidad Funcional y Flujo de Referencia

La función primordial de las plantas de desalinización es la producir agua pura a partir de agua salada, produciendo agua tanto como para el consumo humano como para el sector industrial en algunos casos. Para el análisis de nuestro estudio consideraremos a la unidad funcional para cada tecnología, con una producción aproximadamente de 46000 m^3/día durante una operación de 8.000 horas/año, considerando aproximadamente 22 horas diarias en operación. El periodo de amortización considerado para las plantas de desalinización es de 25 años de vida útil, tomando en cuenta de que en el caso particular de las plantas de Osmosis Inversas, las membranas deben ser reemplazadas cada 5 años.

3.1.2.1.1 Descripción de la Planta de MSF

La unidad funcional en este caso esta provista de un proceso llamado evaporación por efecto flash (MSF: Multi Stage Flash Distillation), la función de este tipo de plantas desalinizadoras es la de producir agua bajo un proceso que tiene como función principal la recirculación de salmuera, que posee un tratamiento anti-incrustante de alta

temperatura, y configuración de tubos cruzados (cross-tube). Tiene una unidad o evaporador formada por 20 etapas en cascada las cuales producen un total de 45.500 m^3/día de agua desalada.

3.1.2.1.2 Descripción de la Planta de OI

La unidad funcional para este tipo de plantas estaría definida con la misma producción de agua pura (46000 m^3/día) teniendo en cuenta en la diferencia del proceso para la obtención de dicho recurso, sabiendo que el agua pasa a través de las membranas con una alta presión.

3.1.2.2 Límites de MSF y OI

El análisis realizado para los procesos de desalación tiene en consideración los siguientes aspectos:

- Los componentes de la planta desaladora.
- Los materiales de construcción de las instalaciones que serán tomados de plantas ya puestas en operación, para el análisis se hará énfasis en aquellos materiales que representen más del 1% del peso total del sistema.
- La energía utilizada

- Operación y mantenimiento de las plantas.
- Desmantelamiento y disposición final (sin considerar reciclaje alguno) de las plantas.

Las limitaciones o aspectos que no se han considerado en la definición de los procesos de desalación han sido entre otros:

- Se considera 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 especifico, en la caso de la planta de MSF se tendría 333 KJ/m^3 de agua desalada obtenida de energía térmica y 4 KWh/m^3 para el caso del bombeo, por otro lado en el caso de 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 en este capítulo, pero en el capítulo 4 se verá un breve estudio de dichas descargas; aunque según estudios ya realizados los impactos

asociados al vertido de salmuera se podrían considerar poco relevantes.

- 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) y las pérdidas de energía (eficiencia del 31%), excluyendo las infraestructuras de los sistemas de energía; teniendo en cuenta de que los porcentajes de procedencia de la electricidad son: el 45.50% es de origen hidroeléctrico, el 43.11% de origen térmico (con la utilización de turbinas a gas, motores de combustión interna y petróleo) y el 11.39% en lo referente a energía importada (datos tomados como referencia para este estudio).
- El ruido, no se tiene en cuenta debido a su relativa lejanía de poblaciones y zonas habitadas.

3.1.2.3 Categorías de Datos

La categoría de datos para este estudio están referidas a los procesos de ambas tecnologías, y son las siguientes:

- Materiales
- Energía
- Disposición final.

3.2 Análisis del Inventario de Ciclo de Vida

3.2.1 Procesos Utilizados

En el inventario detallado de los procesos se incluirá todas las sustancias de entrada y salida que van a ser consideradas en cada una de las tecnologías de estudio.

Para la elaboración del inventario se tomará datos obtenidos de base de datos comerciales y de otros estudios ya realizados. En ellos, se tratará de mostrar las entradas más significativas en referencia a los productos, dichas entradas pueden estar dadas desde la tecnósfera (como por ejemplo: producción de energía, combustibles, transporte, material, etc.) y de la naturaleza, y las salidas de dichos productos ya sea en salidas a la naturaleza (emisiones producidas por los procesos de desalinización producidos a lo largo de su ciclo

de vida) y la salida del producto. Un esquema de este proceso se muestra en la Figura 3.1.

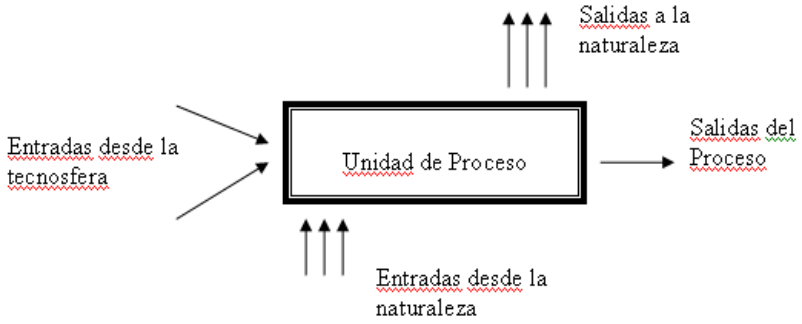

FIGURA 3.1 ESQUEMA DE LA UNIDAD DE PROCESO DE EL ANÁLISIS DE INVENTARIO

En las Tablas 2 y 3 se muestran los procesos que serán utilizados en cada una de las tecnologías, y a su vez se muestra a la categoría del proceso a la que pertenecen.

TABLA 2

PROCESOS DE OSMOSIS INVERSA

Proceso	Unidad	Categorías	Breve Descripción
Hierro Fundido	Ton	Material	Material utilizado para el montaje de la planta
Concreto	Ton	Material	Producción de hormigón
Hormigón Armado	Ton	Material	Producción de hormigón armado
Acero	Ton	Material	Producción de estructura
Electricidad Hidrogeneración B250	MJ	Energía	Generación de electricidad a partir de energía hidráulica
Poliamida Aromática	Ton	Material	Producción de membranas
Electricidad Turbina a Gas 10 MW S	MJ	Energía	Generación de electricidad a partir de turbina a gas
Resina Epóxica	Ton	Material	Producción de carcaza de membranas
Acero Inoxidable 316L	Ton	Material	Producción de tuberías
Producción de energía motor diesel	MJ	Energía	Producción de energía de motor diesel
Energía importada	MJ	Energía	Producción de Energía
Camión 16t B250	tkm	Transporte	Transporte de carga.
Calor diesel B250	MJ	Energía	Energía térmica a partir de la combustión del diesel
Disposición Final	Ton	Tratamiento de residuos	Disposición final de los materiales.

TABLA 3

PROCESOS DE DESTILACIÓN SÚBITA FLASH

Proceso	Unidad	Categoría	Breve Descripción
Aceros de baja aleación	Ton	Material	Producción de tuberías
Aleación de Ni-Cu	Ton	Material	Producción de aleación de Ni
Aleación de Titanio	Ton	Material	Producción de Titanio
Hierro fundido	Ton	Material	Producción de hierro
Concreto	Ton	Material	Producción de hormigón
Acero	Ton	Material	Producción de estructuras
Electricidad Hidrogeneración B250	MJ	Energía	Generación de electricidad a partir de energía hidráulica
Electricidad Turbina a Gas 10 MW S	MJ	Energía	Generación de electricidad a partir de turbina a gas
Producción de energía motor diesel	MJ	Energía	Producción de energía de motor diesel
Energía importada	MJ	Energía	Producción de Energía
Camión 16t B250	tkm	Transporte	Transporte de carga.
Calor diesel B250	MJ	Energía	Energía térmica a partir de la combustión del diesel
Disposición Final	Ton	Tratamiento de residuos	Disposición final de los materiales.

3.2.2 Materiales para el Proceso

3.2.2.1 Materiales para el Proceso de Osmosis Inversa

Para la planta de desalinización de osmosis inversa se requiere de diferentes materiales para su construcción y ejecución de dicho proceso , y que son presentados en la Tabla 4.

TABLA 4

MATERIALES PARA LA PLANTA DE OSMOSIS INVERSA

Material	Cantidad (Ton)
Hierro Fundido	10
Hormigón	2000
Hormigón Armado	750
Acero	1350
Poliamida Aromática	1000
Resina Epóxica	0.35
Acero Inoxidable 316 L	5.7

Para el proceso del Hierro Fundido lo encontraremos con el nombre de Cast Iron ETH S, en la Figura 3.2 se verá especificado las entradas más relevantes desde la tecnósfera para la realización de este proceso. En el

Apéndice B respectivamente se verá cuantificada cada una de las entradas que intervienen.

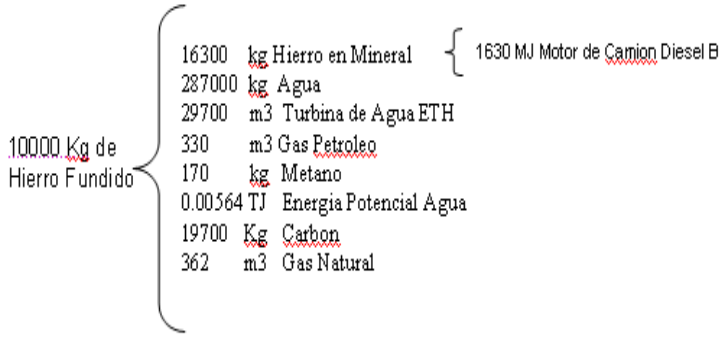

FIGURA 3.2. CUADRO DE PROCESO HIERRO FUNDIDO

El proceso del Hormigón, cuantifica la producción de concreto no reforzado, además se observarán las entradas desde la tecnósfera tanto como los materiales necesarios para su elaboración, y el transporte en camión (tkm, toneladas por kilómetro) este proceso a su vez tiene como entrada Diesel I que va a cuantificar las entradas y salidas de la producción de diesel por kg de diesel.

El proceso Resina Epóxica I, material del que van a estar fabricados los cilindros a presión que contiene las membranas, este material plástico P.R.F.V. (plástico reforzado con fibra de vidrio) o también llamado resina epóxica cuenta con sus entradas desde la tecnósfera y su co-productos el HCl.

El proceso Acero, que representa a los filtros horizontales donde se realiza la filtración del agua de mar, están fabricados en acero al carbono y a su vez el sistema de bombeo que comprenden las bombas de captación del agua de mar, bombas del propio proceso y bomba de destilado hacia los pozos de depósito, todas estas son de acero inoxidable 316L (dentro del estudio representado por Aceros de Baja Aleación). También, las tuberías de suministro del agua destilada se las considera hechas de acero inoxidable 316L.

En el caso de las membranas, se considerará que para su fabricación se utilizará poliamida aromática asumiendo que esta a su vez contiene un 30% de fibra de vidrio.

3.2.2.2 Materiales para el Proceso de Destilación Súbita Flash

Para una planta desaladora MSF, según la descripción ya dada, se consideran como principales componentes en la fase de construcción o montaje a los siguientes materiales mostrados en la Tabla 5.

TABLA 5

MATERIALES PARA LA PLANTA DE DESTILACIÓN SÚBITA FLASH

Materiales	Cantidad (Ton)
Acero Inoxidable 316 L	3370
Acero baja aleación 514	740
Aleación de Ni-Cu	826
Aleación de Titanio	100
Hierro Fundido	30
Hormigón	6000
Hormigón Armado	2500
Acero	300

En el desarrollo del programa Sima Pro se utilizará Níquel en lugar de Aleación Ni-Cu debido a que no se encuentra en la literatura técnica del mismo, así mismo en el caso para el Acero Inoxidable 316 L y el Acero de baja aleación 514 se tomará como un solo material y se utilizará en su lugar Aceros de Baja Aleación.

3.2.3 Operación de las Plantas

3.2.3.1 Operación de la Planta de Osmosis Inversa

Para la operación se utilizarán datos que cuantifiquen la energía necesaria requerida para la producción de 1 m^3 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 proporcionados por el CONELEC donde se muestra la aportación de cada uno de los tipos de generación existentes en el Ecuador en el año 2005, ver Figura 3.3, y con su respectivo porcentaje que se presentan en la Tabla 6.

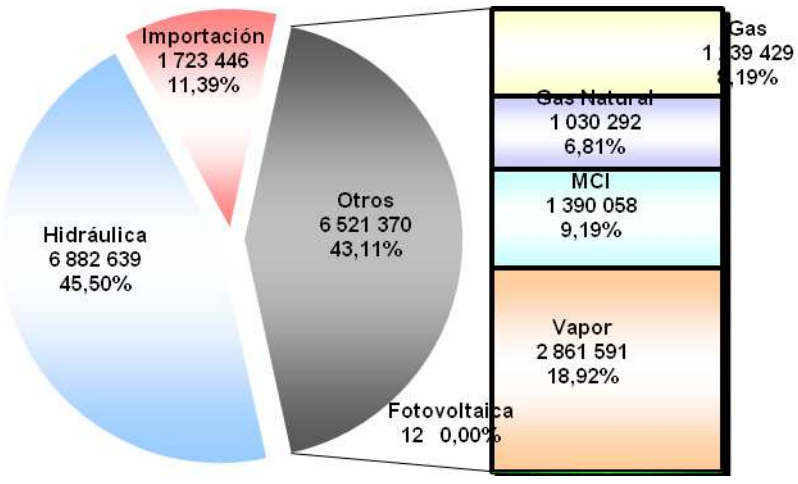

FIGURA 3.3. PORCENTAJE DE APORTACIÓN DE ENERGÍA EN EL ECUADOR

TABLA 6

PORCENTAJE DE APORTACIÓN DE ENERGÍA EN EL ECUADOR

Tipo	Porcentaje
Hidrogeneración	45.50 %
Turbinas a Gas	8.19 %
Turbina a Gas Natural	6.81 %
Motores de Comb. Interna	9.19%
A vapor	18.92 %
Importación	11.39 %

En el Apéndice B se mostrará en detalle los procesos que cuantificaran a cada tipo de energía utilizada. En el caso de Electricidad Hidrogeneración B250 como proceso, se cuantifica las entradas y salidas de la misma producción hidroeléctrica por kWh. Se usó Electricidad Turbina a Gas 10 MW S como proceso que cuantifica las entradas y salidas de la producción de electricidad a partir de turbinas a gas por kWh para la producción de energía de turbinas a gas, a gas natural, y a nafta. Se usó Electricidad de energía motor diesel como proceso que cuantifica las entradas y salidas de

la producción de electricidad a partir de los motores de combustión interna por kWh. Se usó Electricidad petróleo B250 como proceso que cuantifica las entradas y salidas de la producción de electricidad a partir de centrales térmicas a vapor por kWh.

Se usó Electricidad de Alto Voltaje usado en España como proceso para cuantificar las entradas y salidas de la producción de electricidad promedio en Sudamérica por kWh para el porcentaje de energía importada. La Figura 3.4 muestra el proceso de Electricidad Ecuador utilizado por la planta de osmosis inversa, cuantificado según su consumo.

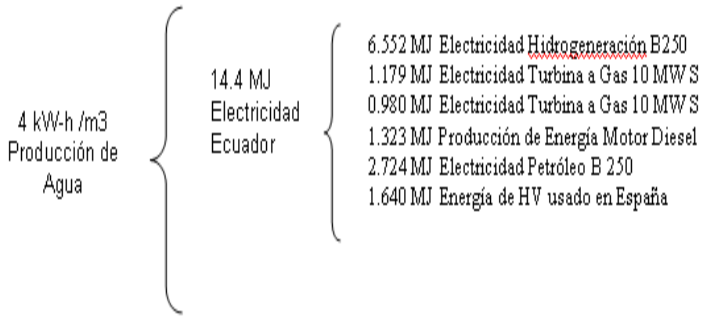

FIGURA 3.4 PROCESO DE ELECTRICIDAD ECUADOR PARA OSMOSIS INVERSA

3.2.3.2 Operación de la Planta de Destilación Súbita Flash

Para la planta de destilación súbita flash se ha considerado, como se presentó en los límites del sistema, que para la producción de agua se consumirían 333 KJ/m^3 y para el bombeo seria de aproximadamente de 4 kW-h/m^3, dando un total de aproximadamente 14,7 MJ / m^3 de agua desalada. En la Figura 3.5 se muestra la distribución cuantificada de las entradas y salidas del proceso Electricidad Ecuador.

FIGURA 3.5 PROCESO DE ELECTRICIDAD ECUADOR PARA MSF

3.2.4 Desmantelamiento y Disposición Final

3.2.4.1 Disposición para la Planta Osmosis Inversa

Para la fase de disposición final se tendrá como escenario de disposición un vertedero, sin posibilidad

de reciclarlas. Teniendo en consideración una vida útil de la planta de 25 años, se completaría el ciclo de las membranas, con un uso aproximado de 22.960 unidades (25/5 sustituciones / membrana, 8 líneas, 82 tubos / línea, 7 membranas/tubo)

3.3 Evaluación del Impacto

3.3.1 Metodología aplicada

En la fase de evaluación se expresan los resultados del análisis de inventario que serán traducidos en categorías de impactos relevantes, como por ejemplo, cambios climatológicos, acidificación, etc.

Para poder realizar la evaluación de los procesos se requerirá de un software que nos permita cuantificar de manera sistemática los impactos en cada uno de las etapas de las plantas en nuestro estudio.

Es por esto que, para facilitar el trabajo, existe una gran lista de categorías de impacto que ha sido elaborada; por ello es conveniente seleccionar las categorías que son relevantes para los objetivos planteados en cada estudio.

En el software usado para este estudio están disponibles los siguientes métodos de evaluación de ciclo de vida:

- CML 2 baseline 2000
- Eco-indicator 99
- Ecopoint 97
- EPS 2000 (Environmental Priority Strategies in Product Design)
- EDIP/UMIP 96 (Environmental Design of Industrial Products)

La estructura básica de los métodos es:

- **Caracterización.** Las sustancias que forman parte de una categoría de impacto son multiplicadas por un factor de caracterización, que expresa la contribución relativa de la sustancia a dicha categoría de impacto. Cada método tiene ya calculado para cada sustancia que forma parte de una categoría de impacto los factores de caracterización según diferentes modelos. Los resultados de los indicadores de una categoría de impacto serán la suma de las contribuciones de todas las sustancias que forman parte de dicha categoría.

- **Evaluación de daños** (opcional). La evaluación de daños se emplea en los métodos Eco-Indicador 99 y EPS 2000. El propósito de este nuevo paso es combinar las categorías de

impacto que tienen la misma unidad del indicador en categorías de daño y así simplificar la interpretación posterior al reducir el número de categorías de impacto.

- **Normalización** (opcional). Muchos métodos permiten comparar los resultados de los indicadores de las categorías de impacto con un valor de referencia o normal. Significa que la categoría de impacto se divide por una referencia. En muchos casos se toma como referencia la media de la carga ambiental anual en un país o continente, dividido por el número de habitantes. Los propósitos de la normalización son dejar fuera de consideración las categorías de impacto que contribuyen sólo en pequeñas cantidades comparadas con otras categorías de impacto, reduciendo así el número de puntos que necesitan ser evaluados y mostrar el orden de magnitud de los problemas ambientales generados por el ciclo de vida de los productos, comparados con las cargas totales ambientales en Europa.

- **Ponderación** (opcional). Algunos métodos permiten la ponderación de las categorías de impacto. Significa que los resultados de la categoría de impacto o daño son multiplicados por los factores de ponderación o peso y luego

sumados para dar la puntuación total. Al igual que los factores de caracterización, cada método tiene ya calculado para cada categoría de impacto los factores de ponderación según diferentes modelos. La ponderación puede ser aplicada tanto en resultados normalizados o no, como en el método EPS, que no tiene normalización y sí se aplica la ponderación.

Los tres últimos procedimientos de resultados son opcionales. Significa que no están siempre disponibles en todos los métodos. La norma ISO 14042 requiere que se seleccionen indicadores de impacto de acuerdo a lo necesario para cumplir los objetivos definidos de la ECV.

El CML 2 baseline 2000, es un método elaborado por el Centro para Estudios Medioambientales (CML), Universidad de Leiden, 1992 (Pré Consultants, 2000). Este método incluye clasificación, caracterización y conjuntos de normalización para Holanda, Europa Occidental, el mundo en 1990 y 1995.

El método Eco-indicator 99 es el sucesor del Eco-Indicador 95 (PRé Consultants, 1999). Ambos usan la aproximación orientada a la evaluación de daños. Este método incluye caracterización, evaluación del daño, normalización y ponderación.

El método Ecopoint 97 es una mejora del método de 1990, método elaborado por BUWAL (Ministerio Suizo de Medioambiente) y basado en la distancia a un objetivo, según la contaminación actual y en objetivos críticos que proceden de la política suiza (PRé Consultants, 2000). Este sistema de *Ecopuntos* no usa una clasificación, simplemente evalúa los impactos individualmente. Esto permite un método detallado y específico por sustancia, pero tiene la desventaja de que se pueden evaluar pocos impactos.

El método EPS 2000 (Environmental Priority Strategies in Product Design), esta enfocado a asistir a los diseñadores de productos en el análisis de la carga ambiental de estos, como finalidad esta enfocado a usar una metodología de daño orientado al método (PRé Consultants, 2000). Es empleado por las empresas como una herramienta para el proceso de desarrollo interno del producto. El sistema se ha desarrollado para asistir a los diseños y desarrollos del producto y encontrar cuál de los conceptos de producto tiene la menor carga ambiental. Este método incluye caracterización, pesado y adición.

El método EDIP 96 (Environmental Design of Industrial Products, UMIP por sus siglas en danés), fue desarrollado en 1996 en Dinamarca. Este método incluye clasificación, caracterización, normalización, pesado y adición, aunque los autores del método recomiendan no usar la adición, pues este método esta separado en dos, uno para lo relativo a emisiones y otro para lo relativo a recursos.

Para la selección del método que se aplicará en el estudio, se basará en que dicho método a elegir cumpla con la norma ISO 14042 en donde tenga elementos como la clasificación y la caracterización, es por ello que en la Tabla 7 se observa las características de cada uno de los métodos respecto a los requerimientos.

TABLA 7

CARACTERÍSTICAS DE CADA MÉTODO

Métodos	Clasificación y Caracterización	Ponderación
CML 2- 2000	Si	No
Eco-indicator 99	Si	Si
Eco-point 97	No	Si
EPS 2000	Si	Si
EDIP 96	Si	Si

3.3.2. Métodos Seleccionados

Basado en la información obtenida en la tabla 7, solo tres de los métodos presentados cubren con los requerimientos, es por ellos que estos serán los métodos que se utilizarán en el presente estudio.

3.3.2.1 Eco – indicator 99

Es el sucesor del Eco-Indicator 95, ambos están orientados a la evaluación de daños (punto final o *endpoints* de categorías según las normas ISO). Este método fue desarrollado por un panel conjunto de expertos y no expertos, agrupando las categorías de impacto en 3 categorías de daño o *endpoints*:

- Daños a la Salud Humana, expresada como el número de años perdidos y el número de años vividos con incapacitación. Estos se combinan como DALY's, Años de Vida Ajustados con Incapacitación (Disability Adjusted Life Years), un índice que también es usado por el World Bank y Organización Mundial de la Salud (OMS).

- Daños a la Calidad del Ecosistema, expresada como la pérdida de especies en un área determinada, durante un tiempo determinado.
- Daños a los Recursos, expresados como la energía excedente necesaria para futuras extracciones de minerales y combustibles fósiles, esto está dado en MJ de energía excedente.

Caracterización

En este método los factores de caracterización han sido calculados de tres formas: a partir de las emisiones, uso de la tierra y del agotamiento de recursos.

Emisiones

Los factores de caracterización son calculados al nivel de punto final (daños). El modelo de daño para las emisiones incluye análisis final, análisis de exposición, análisis de efectos y análisis de daños. A continuación se muestra los indicadores de impacto individuales de las emisiones:

- *Cancerígenos*, las sustancias que se consideran son las que son emitidos al aire, agua y suelo. La escala geográfica o alcance de este indicador es global y local. El daño se expresa como DALY/kg emisión.

- *Orgánicos respirados,* son los efectos respiratorios resultado del smog de verano y emisiones de sustancias orgánicas al aire, causando problemas respiratorios. El alcance de este indicador es global, regional y local. El daño se expresa como DALY/kg emisión.
- *Inorgánicos respirados*, son los efectos respiratorios resultado del smog de invierno causado por emisiones de partículas, SOx y NOx al aire. El daño se expresa como DALY/kg emisión. El alcance es similar al anterior indicador.
- *Cambio climático*, los factores de caracterización para la fase de Análisis Final están basados en el modelo de caracterización desarrollado por el IPCC y expresados como potencial de calentamiento global para un horizonte temporal a largo plazo de 100 años (GWP100). El daño se expresa como DALY/kg emisión, resultado de un incremento o descenso de enfermedades y muertes causadas por el cambio climático.
- *Radiación,* basada en estudios para la industria nuclear alemana. El daño se expresa como DALY/kg emisión, resultado de la radiactividad. El alcance del indicador es a escala regional y local.

- *Capa de ozono,* el daño se expresa como DALY/kg emisión, debido el incremento de las radiaciones UV como resultado de la emisión de sustancias reductoras de ozono al aire.
- *Ecotoxicidad,* tenemos los daños a la calidad del ecosistema, como resultado de la emisión de sustancias tóxicas al aire, agua y tierra. Las principales son metales pesados, siendo la sustancia de referencia el Cr. El daño es expresado como Fracción Potencialmente Afectada (PAF) * m^2 * año / kg emisión. El alcance de la escala es global, regional y local.
- *Acidificación/Eutrofización,* el daño a la calidad del ecosistema, como resultado de las emisiones de sustancias acidificantes al aire, se expresa como Fracción Potencialmente Desaparecida (PDF) * m^2 * año / kg emisión.

Uso de la tierra

El uso de la tierra (sistemas hechos por el hombre) tiene impacto sobre la diversidad de especies. Se construye una escala expresando la diversidad de especies por tipo de uso de la tierra, basada en observaciones. Dicha diversidad depende del tipo de uso de la tierra y del

tamaño del área local. Uso del suelo, daños como resultado, bien de la conversión de la tierra o de su ocupación. Los daños son expresados como Fracción Potencialmente Desaparecida (PDF) * m^2 * año / m^2.

Agotamiento de los recursos

La humanidad siempre extraerá los mejores recursos primero, dejando los recursos de más baja calidad para futuras extracciones. El daño de los recursos será experimentado por las generaciones futuras, ya que tendrán que usar mayores esfuerzos para extraer los recursos que quedan. Este esfuerzo extra es expresado como "surplus energy" (energía excedente). El alcance geográfico es global.

- *Minerales,* la energía excedente por kg mineral, como resultado del descenso de las clases de minerales.
- *Combustibles fósiles,* se refiere a la energía excedente para extraer MJ, kg o m^3 de combustible fósil, como resultado de la menor calidad de los recursos.

Evaluación de daños

Como se ha indicado antes, se agrupan los resultados de las categorías de impacto en 3 tipos de daños:

- Daños a la Salud Humana, en esta categoría de daño se incluyen las siguientes categorías de impacto: Cancerígenos, Orgánicos respirados, Inorgánicos respirados, Cambio climático, Radiación y Capa de ozono.
- Daños a la Calidad del Ecosistema, se incluyen las siguientes categorías: Ecotoxicidad, Acidificación /Eutrofización y Uso de la tierra.
- Daños a los Recursos, están incluidos las categorías de impacto Minerales y Combustibles fósiles.

Las tablas de factores de caracterización por indicador de impacto de Eco-indicator 99 se reproducen en el Apéndice D.

Normalización

Se puede realizar al nivel de categoría de impacto y de daño. Los datos de normalización se calculan a nivel europeo, la mayoría basados en el año 1993, con muchas adaptaciones para las emisiones más importantes.

Ponderación

También se puede hacer el nivel de categoría de impacto o daño (nivel del punto final en la ISO). Un panel de expertos realiza la ponderación para las 3 categorías de daño. Cada perspectiva dispone de una ponderación específica. La ponderación es el resultado medio de la evaluación del panel.

3.3.2.2 Método EPS 2000

El método EPS (Estrategias de Prioridad Medioambiental en el diseño del producto) usa la metodología del daño orientado al método (PRé Consultants, 2000). Es empleado por las empresas como una herramienta para el proceso de desarrollo interno del producto. Está basado en costos externos. La disposición o deseo de pagar para restaurar la biodiversidad, la salud humana, la producción y los valores estéticos a sus condiciones normales es elegida como medida monetaria más adecuada. La unidad del indicador es el ELU (Unidad de Carga Ambiental). El sistema se ha desarrollado para asistir a los diseños y

desarrollos del producto y encontrar cuál de los conceptos de producto tiene la menor carga ambiental.

Los modelos y datos son destinados para mejorar el cumplimiento medioambiental de los productos. La elección y diseño de los modelos y datos se hacen desde la perspectiva utilitaria anticipada del desarrollo del producto. Las categorías de impactos son identificadas desde 5 objetivos: salud humana capacidad de producción del ecosistema, agotamiento abiótico, biodiversidad y valores recreacionales y culturales.

Clasificación

Las emisiones y recursos se asignan a categorías de impacto cuando es probable que ocurran efectos reales en el Medio Ambiente, basado en la probable exposición.

Caracterización

El método EPS 2000 usa modelos empíricos, de equivalencias y mecanísticos para calcular los valores de caracterización. En el Apéndice E se muestra la tabla de factores de caracterización de este método. Los

indicadores de impacto para la Salud Humana son los siguientes:

- Expectativa de vida, expresada en Años de Vida Perdidos (persona-año).
- Morbilidad Severa, expresada en Años de Vida Perdidos (persona – año), incluyendo muerte por hambre.
- Morbilidad, personas-años, como resfriado o gripe.
- Molestia severa, en personas-años, la que causaría normalmente una reacción para evitarla.
- Molestia, en personas-año, irrita pero no causa acción directa alguna.

Los indicadores de Capacidad de Producción del Ecosistema son:

- Capacidad de Crecimiento de Cultivos, en kg de cosecha
- Capacidad de Producción de Madera, en kg de madera seca.
- Capacidad de Producción de Pescado y Carne, en kg de animales completos.
- Acidificación del Suelo, en H+ equivalentes.

- Capacidad de Producción de Agua de Irrigación, en kg de agua aceptable para irrigación con respecto a sustancias tóxicas persistentes.
- Capacidad de Producción de Agua Potable, en kg de agua que cumple con los requerimientos de la OMS en cuanto a agua potable.

El indicador de Agotamiento Abiótico es solo uno y es:

- Agotamiento de Reservas, en ELU/kg.

El indicador de Biodiversidad es solo uno:

- Extinción de Especies, expresado en NEX, Extinción de Especies Normalizada.

Los indicadores de Valores Recreacionales y Culturales son difíciles de definir pues son altamente cualitativos y se deben definir solo cuando se necesiten.

Ponderación

En el método EPS 2000, la ponderación es hecha a partir de valoración. Los factores de ponderación representan la disposición a pagar para evitar los cambios. La referencia es el estado actual (al momento de desarrollar el método) del medio ambiente. La unidad del indicador es el ELU

(Unidad de Carga Ambiental por sus siglas en inglés). Los factores de ponderación pueden ser vistos en el Apéndice F.

3.3.2.3 El Método EDIP 96

El método EDIP 96 esta basado en el trabajo del grupo de trabajo WIA-1 de SETAC durante los años previos al proceso de normalización de ISO. Por eso este método cumple los requerimientos de las normas ISO.

Caracterización

El Calentamiento global está basado en los informes IPCC de 1994, expresados como potencial de calentamiento global para un horizonte temporal a largo plazo de 100 años (GWP100), siendo el CO_2 la sustancia de referencia. Los potenciales de creación de ozono fotoquímico (POCP) provienen de informes UNECE de 1990/92 y dependen de la concentración de NOx, aquí se usan los POCP's para altas concentraciones ambientales de POCP's. Los potenciales de agotamiento de ozono estratosférico están basados en los reportes de estado (1992/1995) del Proyecto de Investigación del Ozono Global GORP, por sus siglas en inglés. La Acidificación está basada en el

número de iones hidrógeno (H+) que pueden ser emitidos. Los potenciales de Eutrofización están basados en el contenido en N y P en los organismos. Los flujos de residuos se dividen en 4 categorías: residuos voluminosos, residuos peligrosos, residuos radiactivos y cenizas. Todos ellos en base másica.

La Ecotoxicidad está basada en un método de investigación de peligrosidad química, que considera la toxicidad, persistencia y bioconcentración. Los potenciales de ecotoxicidad son calculados para una ecotoxicidad aguda y crónica en el agua y crónica ecotoxicidad al suelo.

La toxicidad humana está basada en el mismo método que la ecotoxicidad. Los potenciales de toxicidad humana son calculados para exposiciones vía aire, tierra y agua superficial. Como se incluye el destino, una emisión al agua puede contar no solo para toxicidad vía agua, sino vía suelo también. Similarmente una emisión al aire cuenta para toxicidad humana vía agua y suelo. Por esto se encuentran emisiones a varios compartimentos en cada categoría de toxicidad humana.

Recursos

Como EDIP 96 para recursos usa un método diferente de ponderación, no puede ser comparado con los otros indicadores, por esta razón el factor de ponderación es cero. Los resultados de caracterización y normalización no pueden ser comparados con los de otras categorías de impacto. Recursos esta incluído como una sola categoría de impacto para la caracterización, sin embargo los factores de normalización y caracterización son cero.

Las categorías de impacto del método EDIP 96 son las siguientes:

- Calentamiento Global, g CO2 equivalentes.
- Agotamiento de Capa de Ozono, en CFC11 equivalentes.
- Acidificación, en g SO_2 equivalentes.
- Eutroficación, en g NO_3 equivalentes.
- Smog Fotoquímico, en g eteno equivalentes
- Ecotoxicidad Crónica del Agua, en m^3/g
- Ecotoxicidad Aguada del Agua, en m^3/g
- Ecotoxicidad Crónica del Suelo, en m^3/g
- Ecotoxicidad Humana Aire, en m^3/g
- Ecotixicidad Humana Agua, en m^3/g
- Ecotoxicidad Humana Suelo, en m^3/g

- Volumen de Desechos, en kg
- Desechos Peligrosos, en kg
- Desechos Radioactivos, en kg
- Escoria /ceniza, en kg
- Recursos (todos), en kg

Los factores de caracterización están reproducidos en el Apéndice G.

Normalización

Está basada en el número de personas equivalentes para 1990. Para los recursos, la normalización y ponderación están incluídas en los factores de caracterización y así los valores son cero. Los factores de normalización y ponderación pueden ser encontrados en el Apéndice H.

EDIP 96 (Solo Recursos)

En el método EDIP 96 (Solo Recursos) solo se reportan recursos. Los recursos están dados en categorías de impacto individuales, en una base másica del recurso puro. La normalización esta basada en la producción global por ciudadano del mundo, tomado de World Resources 1992. El pesado de los recursos no renovables esta basado en el horizonte de provisión (World Reserves

Life Index), que especifica el tiempo por el cual las reservas conocidas van a durar a las tasas de consumo actuales.

Si no existen datos para normalización para alguna categoría de impacto este método asume factores de normalización de uno y el cálculo del factor de ponderación esta adecuado para que el resultado final sea consistente.

Los factores de caracterización de los recursos se encuentran en el Apéndice I, los factores de normalización y ponderación pueden ser encontrados en el Apéndice J.

3.3.3 Resultados de Evaluación de Impacto con el Método Eco-Indicator 99

3.3.3.1 Resultados para la Planta de Osmosis Inversa

3.3.3.1.1 Caracterización

Los resultados de la caracterización de este método se muestran en la Tabla 8, aquí se observa que en la columna Total muestra los resultados de cada indicador. En la Tabla 9 se muestra los resultados de la caracterización en

porcentaje respecto al total de resultado de indicador.

TABLA 8

RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN ECO-INDICATOR 99

Categoría de Impacto	Unidad	Total	Materiales	Energía	Disposición Final
Carcinógenos	DALY	1,13E-07	3,51E-08	5,38E-08	2,42E-08
Orgánicos respiratorios	DALY	2,85E-08	2,56E-08	2,89E-09	2,48E-11
Inorgánicos respiratorios	DALY	6,73E-06	5,55E-06	1,16E-06	2,23E-08
Cambio climático	DALY	1,03E-06	7,02E-07	3,20E-07	8,28E-09
Radiación	DALY	7,93E-09	4,10E-11	7,85E-09	3,71E-11
Capa de Ozono	DALY	3,81E-09	2,92E-09	8,85E-10	1,81E-12
Ecotoxicidad	PDF*m^2* año	0,553	0,18	0,365	0,00796
Acidificación/ Eutroficación	PDF*m^2* año	0,372	0,333	0,0376	0,000871
Uso de la Tierra	PDF*m^2* año	0,0109	0,000102	0,0107	0,000112
Minerales	MJ surplus	0,00171	0,000213	0,00128	0,000213
Combustibles fósiles	MJ surplus	5,46	3,63	1,78	0,0549

TABLA 9

RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN EN PORCENTAJES ECO-INDICATOR 99

Categoría de Impacto	Unidad	Total	Materiales	Energía	Disposición Final
Carcinógenos	%	100	31	47,6	21,4
Orgánicos respiratorios	%	100	89,8	10,1	0,087
Inorgánicos respiratorios	%	100	82,4	17,3	0,331
Cambio climático	%	100	68,1	31,1	0,804
Radiación	%	100	0,517	99	0,469
Capa de Ozono	%	100	76,7	23,2	0,0476
Ecotoxicidad	%	100	32,5	66	1,44
Acidificación/ Eutroficación	%	100	89,7	10,1	0,234
Uso de la Tierra	%	100	0,94	98	1,03
Minerales	%	100	12,5	75,1	12,5
Combustibles fósiles	%	100	66,4	32,6	1,01

En la Figura 3.6 se muestran los resultados en porcentajes respecto al total de resultados de indicador.

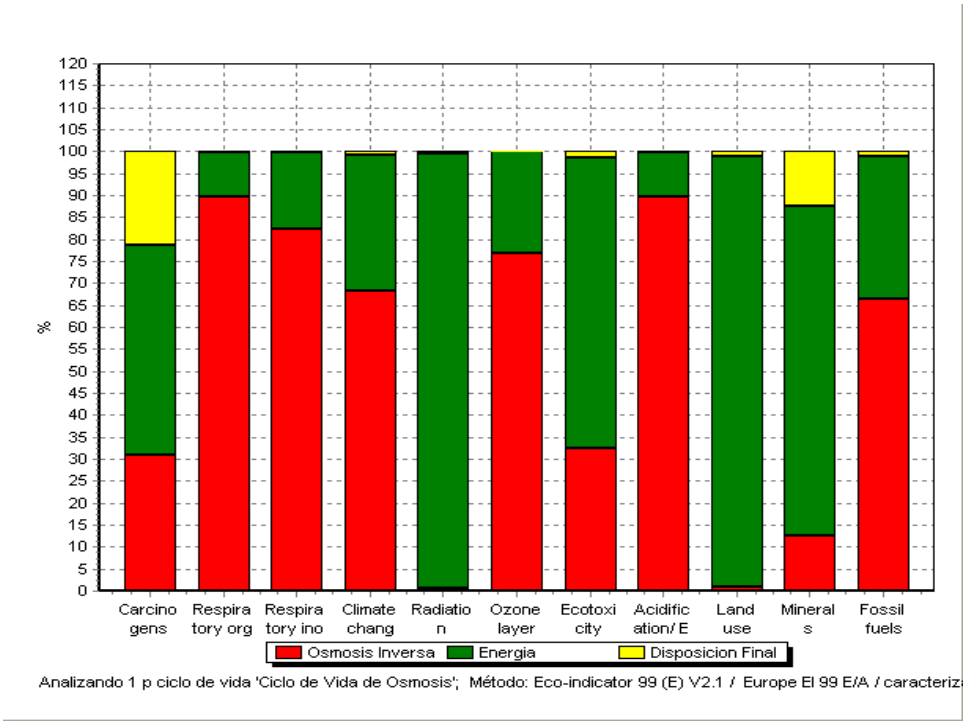

FIGURA 3.6. RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN EN PORCENTAJE ECO-INDICATOR 99

3.3.3.1.2. Evaluación del Daño

En la Tabla 10 se presentan los resultados de la evaluación del daño, y a su vez en la Tabla 11 se muestran los resultados de la evaluación del daño en porcentaje del total de la categoría. En la Figura 3.7 se aprecian los resultados de forma gráfica.

TABLA 10

RESULTADOS DE EVALUACIÓN DEL DAÑO ECO-INDICATOR 99

Categoría de Daño	Unidad	Total	Materiales	Energía	Disposición Final
Salud Humana	DALY	7,91E-6	6,31E-6	1,55E-6	5,48E-8
Calidad del Ecosistema	PDF*m2yr	0,438	0,351	0,0848	0,00178
Recursos	MJ surplus	5,46	3,63	1,78	0,0551

TABLA 11

RESULTADOS DE EVALUACIÓN DEL DAÑO EN PORCENTAJE ECO-INDICATOR 99

Categoría de Daño	Unidad	Total	Materiales	Energía	Disposición Final
Salud Humana	%	100	79,7	19,6	0,693
Calidad del Ecosistema	%	100	80,2	19,4	0,406
Recursos	%	100	66,4	32,6	1,01

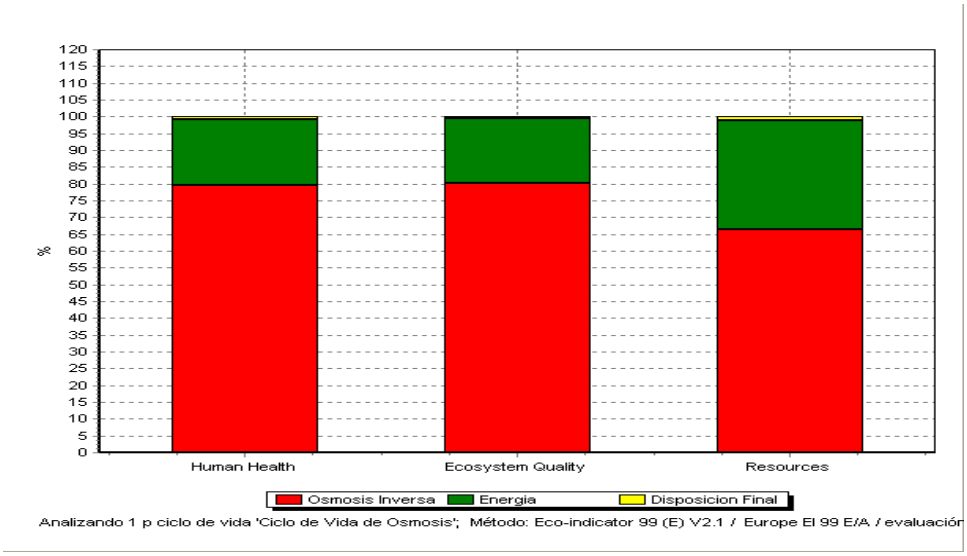

FIGURA 3.7 EVALUACIÓN DEL DAÑO ECO-INDICATOR 99

3.3.3.1.3 Normalización

Los resultados de la normalización se presentan en la Tabla 12 y en la Figura 3.8 se presentan los resultados de forma gráfica.

TABLA 12

RESULTADOS DE NORMALIZACIÓN ECO-INDICATOR 99

Categoría de Daño	Total	Materiales	Energía	Disposición Final
Salud Humana	0,000512	0,000408	0,0001	3,55E-06
Calidad del Ecosistema	8,54E-05	6,85E-05	1,65E-05	3,47E-07
Recursos	0,000918	0,000609	0,000299	9,26E-06

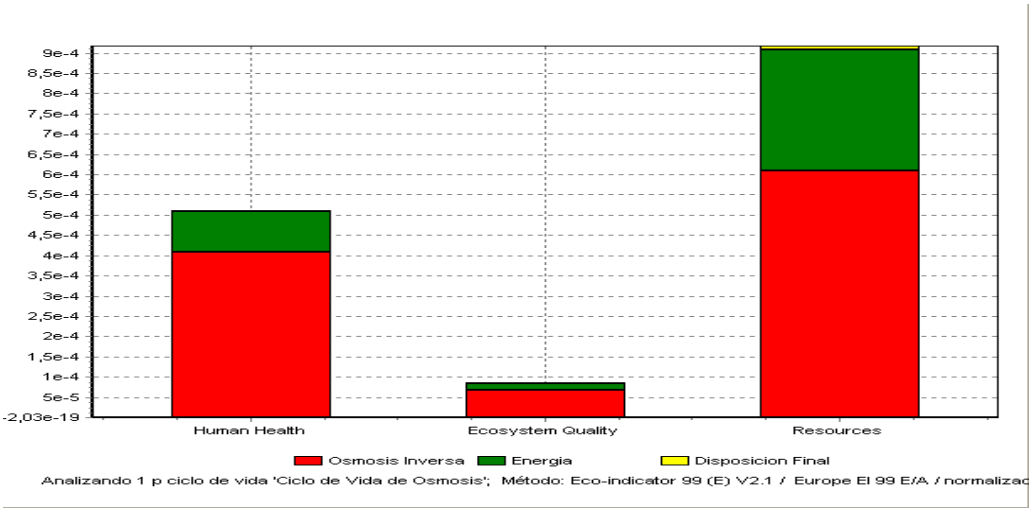

FIGURA 3.8. NORMALIZACIÓN ECO-INDICATOR 99

3.3.3.1.4 Ponderación

En la Tabla 13 se muestra los resultados ponderados de las categorías de daño. En la Figura 3.9 se presentan los resultados de forma gráfica.

TABLA 13

RESULTADOS DE PONDERACIÓN ECO-INDICATOR 99

Categoría de Daño	Unidad	Total	Materiales	Energía	Disposición Final
Total	Pt	0,423	0,313	0,106	0,00341
Salud Humana	Pt	0,205	0,163	0,0401	0,00142
Calidad del Ecosistema	Pt	0,034	0,0274	0,0066	0,000139
Recursos	Pt	0,184	0,122	0,0598	0,00185

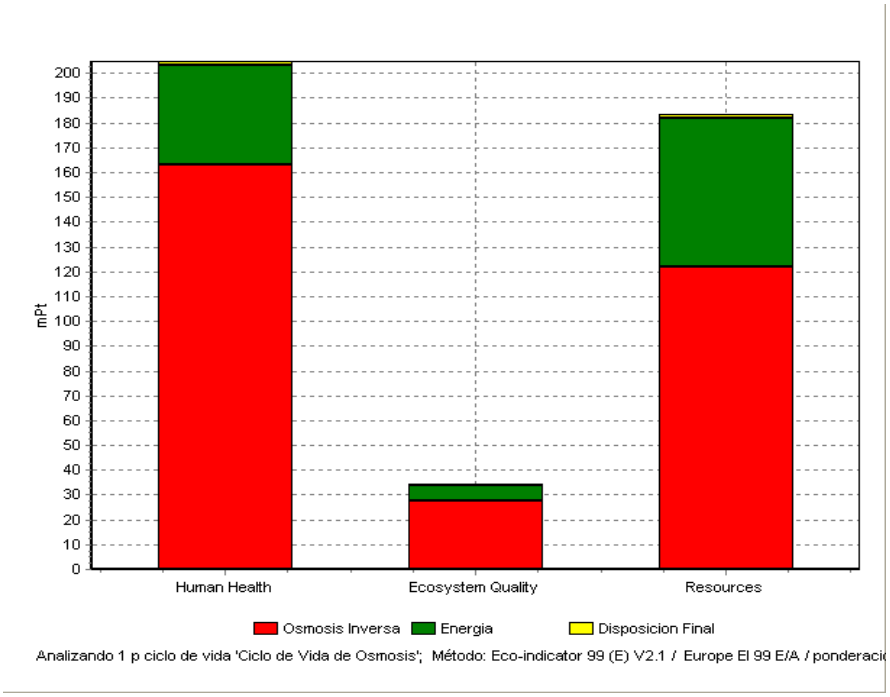

FIGURA 3.9. PONDERACIÓN ECO-INDICATOR 99

3.3.3.2 Resultados para la Planta de Destilación Súbita Flash

3.3.3.2.1 Caracterización

Los resultados de la caracterización se muestran en la Tabla 14 en ella la columna Total muestra los resultados de indicador de cada indicador. En la Tabla 15 se muestran los resultados de la caracterización en porcentaje respecto al total de resultado de indicador.

TABLA 14

RESULTADO DE CARACTERIZACIÓN

Categoría de Impacto	Unidad	Total	Materiales	Energía	Disposición Final
Carcinógenos	DALY	1,0E-07	4,02E-08	5,4E-08	6,26E-09
Orgánicos respiratorios	DALY	2,8E-08	2,57E-08	2,9E-09	6,43E-11
Inorgánicos respiratorios	DALY	7,3E-06	5,82E-06	1,2E-06	2,90E-07
Cambio climático	DALY	1,1E-06	7,09E-07	3,2E-07	1,30E-08
Radiación	DALY	9,1E-09	5,23E-10	8,0E-09	5,23E-10
Capa de Ozono	DALY	3,8E-09	2,95E-09	9,0E-10	2,67E-11
Ecotoxicidad	PAF*m^2 *yr	0,695	0,248	0,373	0,0741
Acidificación/ Eutroficación	PDF*m^2 *yr	0,383	0,339	0,0384	0,00586
Uso de la Tierra	PDF*m^2 *yr	0,0128	0,000938	0,0109	0,000966
Minerales	MJ surplus	0,1	0,0495	0,0109	0,0495
Combustibles fósiles	MJ surplus	5,52	3,65	1,81	0,055

TABLA 15

RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN EN PORCENTAJE ECO-INDICATOR 99

Categoría de Impacto	Unidad	Total	Materiales	Energía	Disposición Final
Carcinógenos	%	100	39,7	54,2	6,17
Orgánicos respiratorios	%	100	89,5	10,3	0,224
Inorgánicos respiratorios	%	100	79,8	16,3	3,97
Cambio climático	%	100	67,6	31,1	1,24
Radiación	%	100	5,78	88,4	5,78
Capa de Ozono	%	100	76	23,3	0,688
Ecotoxicidad	%	100	35,7	53,7	10,7
Acidificación/ Eutroficación	%	100	88,4	10	1,53
Uso de la Tierra	%	100	7,32	85,1	7,54
Minerales	%	100	49,3	1,3	49,3
Combustibles Fósiles	%	100	66,1	32,9	0,996

En la Figura 3.10 se muestran los resultados en porcentajes respecto al total de resultado de indicador de forma gráfica.

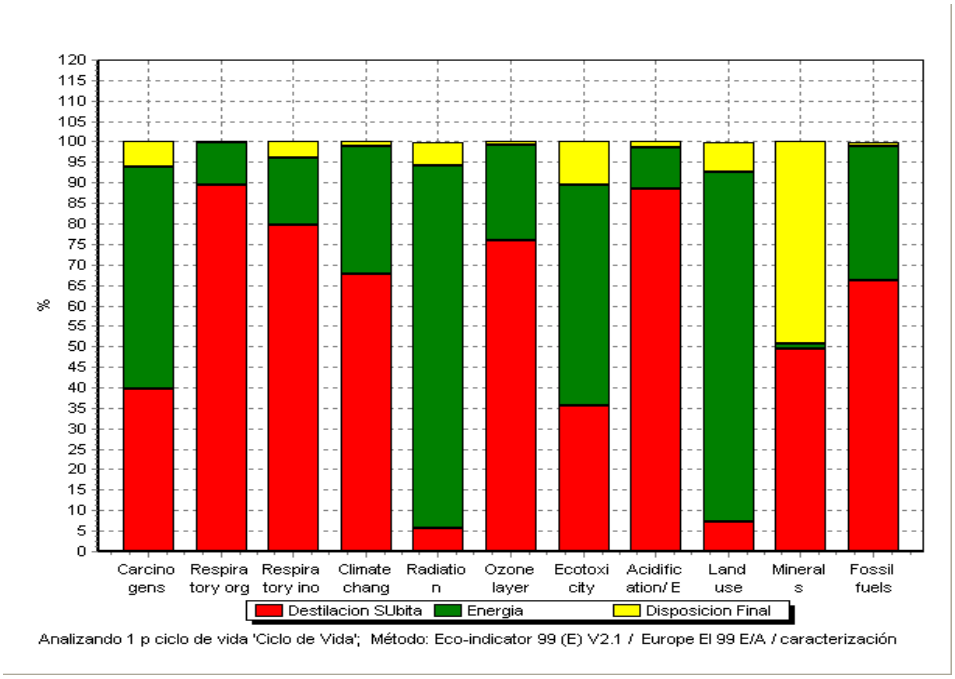

FIGURA 3.10. CARACTERIZACIÓN EN PORCENTAJE ECO-INDICATOR 99

3.3.3.2.2. Evaluación del Daño

En la Tabla 16 se muestran los resultados de la evaluación del daño, en la Figura 3.11 se parecían los resultados de forma gráfica.

TABLA 16

RESULTADOS DE EVALUACIÓN DEL DAÑO ECO-INDICATOR 99

Categoría de Daño	Unidad	Total	Materiales	Energía	Disposición Final
Salud Humana	DALY	8,49E-6	6,6E-6	1,58E-6	3,1E-7
Calidad del Ecosistema	PDF*m2yr	0,465	0,364	0,0855	0,0142
Recursos	MJ surplus	5,62	3,7	1,82	0,104

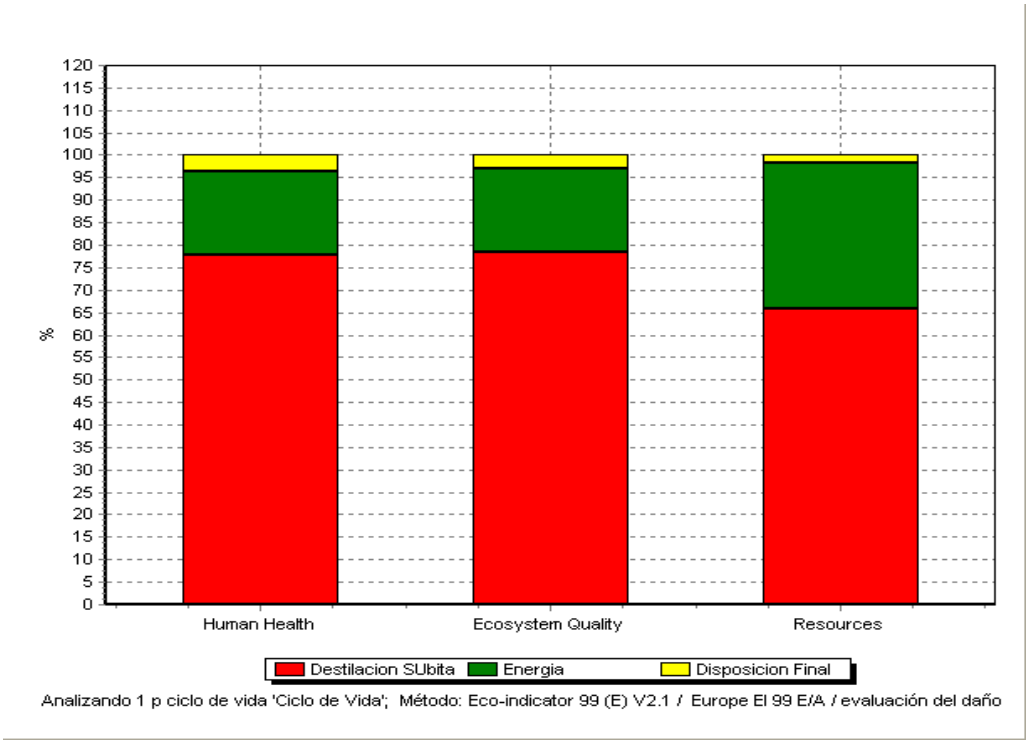

FIGURA 3.11 EVALUACIÓN DEL DAÑO ECO-INDICATOR 99

3.3.3.2.3. Normalización

Los resultados de la normalización se presentan en la Tabla 17, en ella se presentan los resultados de la multiplicación de los resultados de la evaluación del daño (Tabla 16) por los factores de normalización del Eco-indicator 99. En la Figura 3.12 se presentan los resultados de forma gráfica.

TABLA 17

RESULTADOS DE NORMALIZACIÓN ECO-INDICATOR 99

Categoría de Daño	Total	Materiales	Energía	Disposición Final
Salud Humana	0,000549	0,000427	0,000102	2E-5
Calidad del Ecosistema	9,07E-5	7,11E-5	1,69E-5	2,78E-6
Recursos	0,000944	0,000621	0,000305	1,76E-5

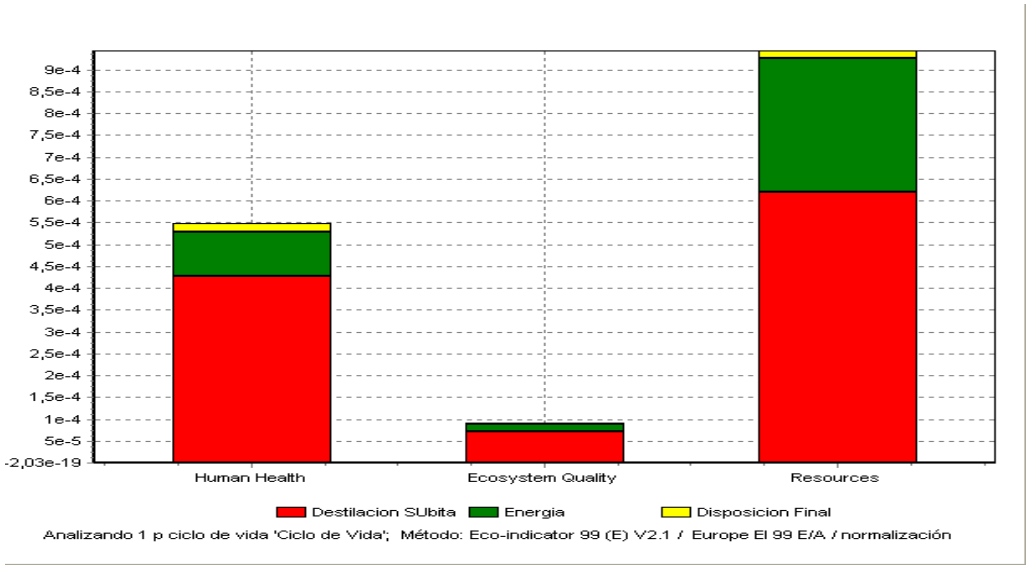

FIGURA 3.12. NORMALIZACIÓN ECO-INDICATOR 99

3.3.3.2.4. Ponderación

La Tabla 18 muestra los resultados ponderados de las categorías de daño. En ella se presentan los resultados de la multiplicación de los resultados de la normalización (Tabla 17) por los factores de ponderación del método Eco-indicator 99. En la Figura 3.13 se presenta los resultados de forma gráfica.

TABLA 18

RESULTADOS DE PONDERACIÓN ECO-INDICATOR 99

Categoría de Daño	Unidad	Total	Materiales	Energía	Disposición Final
Total	Pt	0,445	0,323	0,109	0,0126
Salud Humana	Pt	0,22	0,171	0,0409	0,00801
Calidad del Ecosistema	Pt	0,0363	0,0284	0,00675	0,00111
Recursos	Pt	0,189	0,124	0,061	0,00351

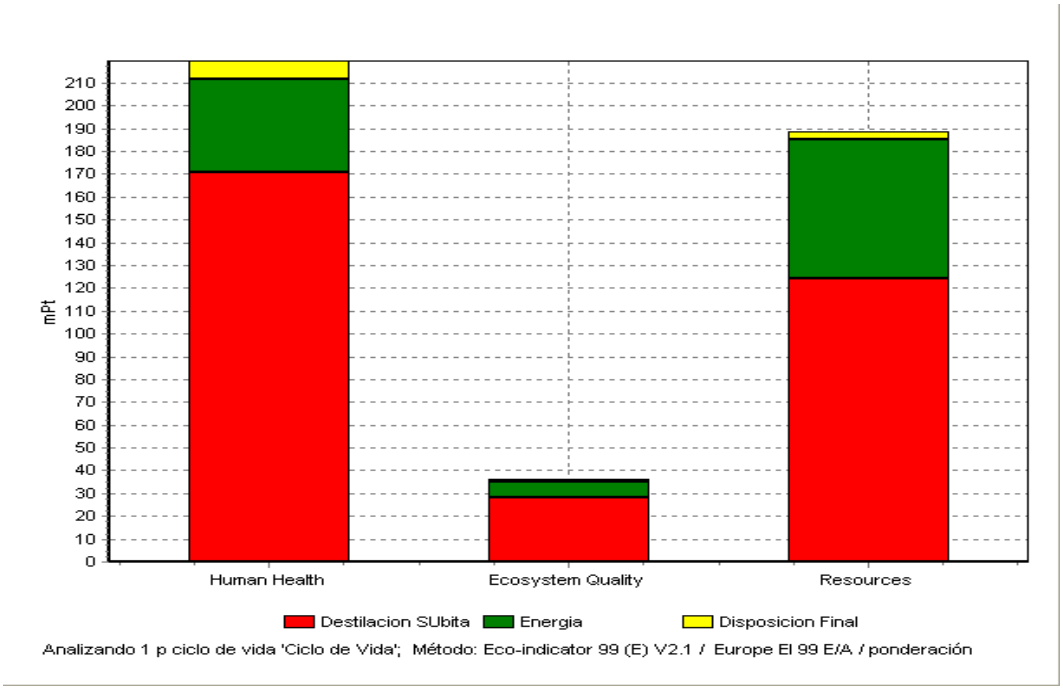

FIGURA 3.13. PONDERACIÓN ECO-INDICATOR 99

3.3.4. Resultados de Evaluación de Impacto EPS 2000

3.3.4.1. Resultados para la Planta de Osmosis Inversa

3.3.4.1.1. Caracterización

Los resultados de indicadores de la caracterización en unidades y en porcentajes respecto al total del ciclo de vida se encuentra en el Apéndice K. En la Figura 3.14 se observa el resultado de la caracterización en porcentaje respecto al total del resultado de indicador en forma gráfica.

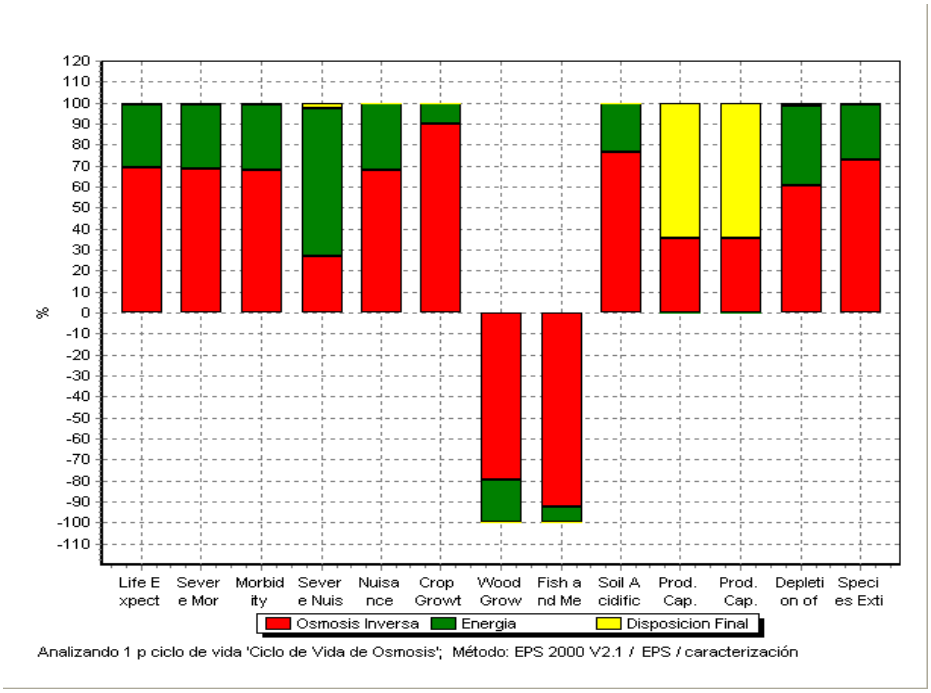

FIGURA 3.14. CARACTERIZACIÓN EN PORCENTAJE EPS 2000

3.3.4.1.2. Evaluación del Daño

Los resultados de la Evaluación del Daño que se muestran de manera tabular en unidades y porcentaje respecto al total del resultado de indicador se encuentra en el Apéndice K. En la Figura 3.15 se observa el resultado en porcentaje respecto al total del resultado de indicador de la evaluación de daño de manera gráfica.

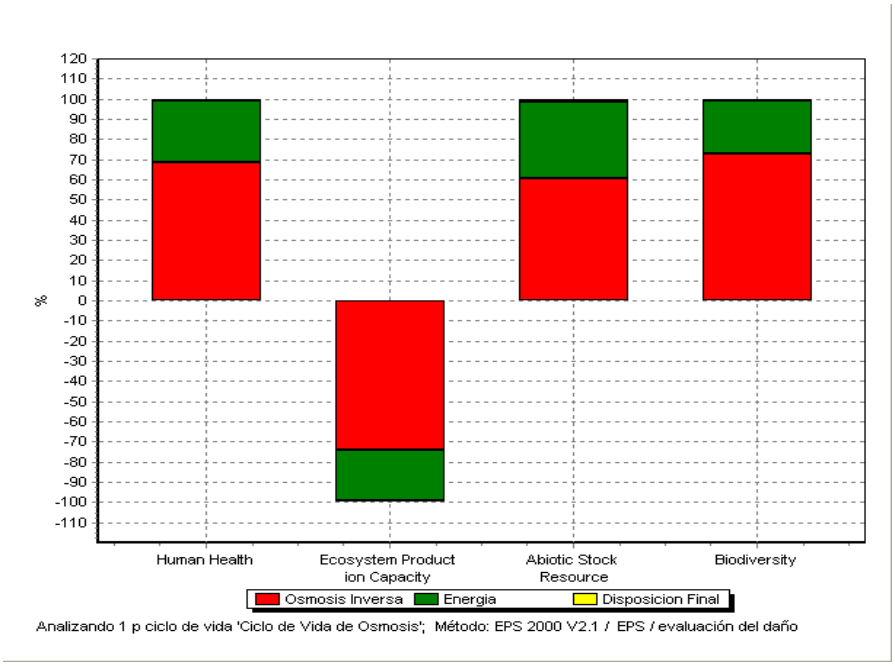

FIGURA 3.15. EVALUACIÓN DEL DAÑO EPS 2000

3.3.4.1.3 Ponderación

En el Apéndice K se encuentran las tablas de los resultados de indicadores ponderados en unidades y en porcentajes respecto al total d categoría de daño. En la Figura 3.16 se pueden ver los resultados de la ponderación de manera gráfica, en el eje y se muestra en MPt (megapuntos de puntaje en ELU's).

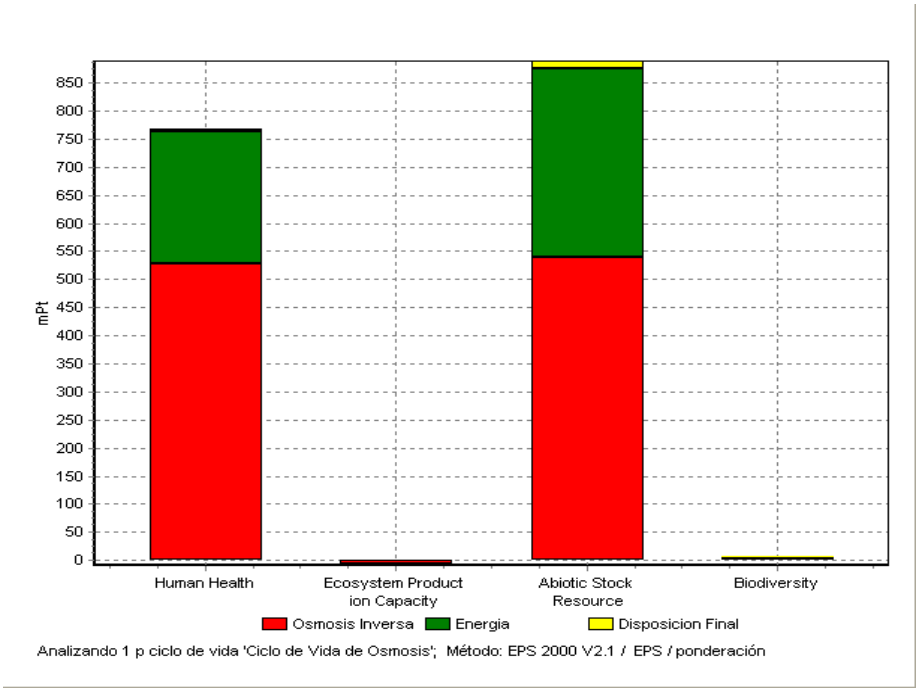

FIGURA 3.16 PONDERACIÓN EPS 2000

3.3.4.2. Resultados para la Planta de Destilación Súbita Flash

3.3.4.2.1. Caracterización

Los resultados y los porcentajes respecto al total del ciclo de vida se encuentra en el Apéndice N. En la Figura 3.17 se observa el resultado de la caracterización en porcentajes de forma gráfica.

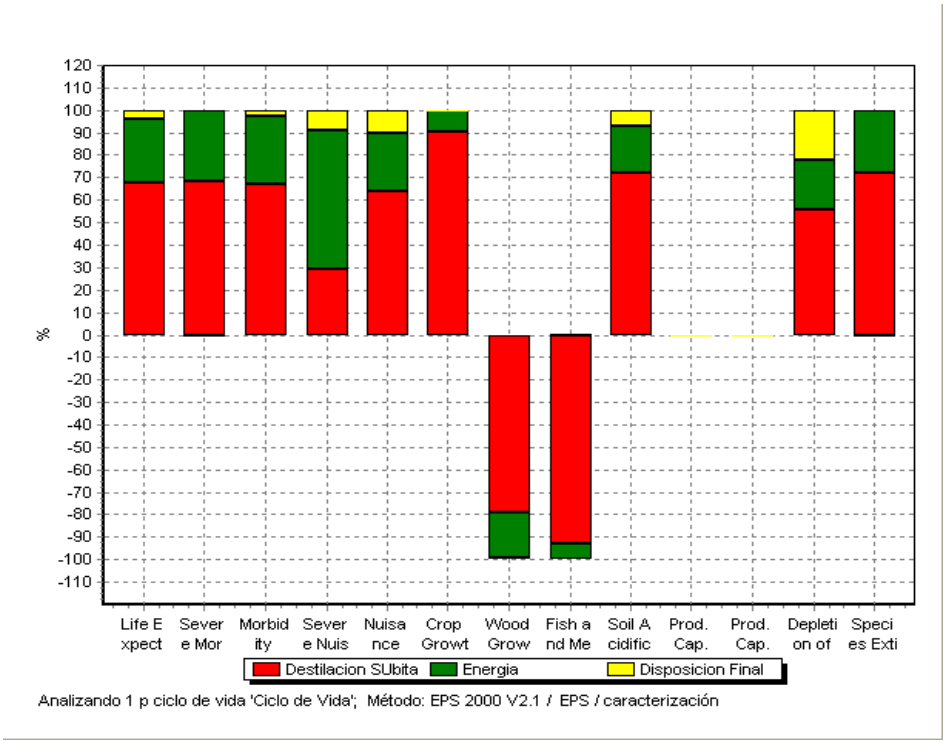

FIGURA 3.17. CARACTERIZACIÓN EN PORCENTAJE EPS 2000

3.3.4.2.2. Evaluación del Daño

Los resultados se muestran de manera tabular en unidades y en porcentajes en el Apéndice N. En la Figura 3.18 se observa el resultado en porcentajes del indicador evolución del daño de manera gráfica.

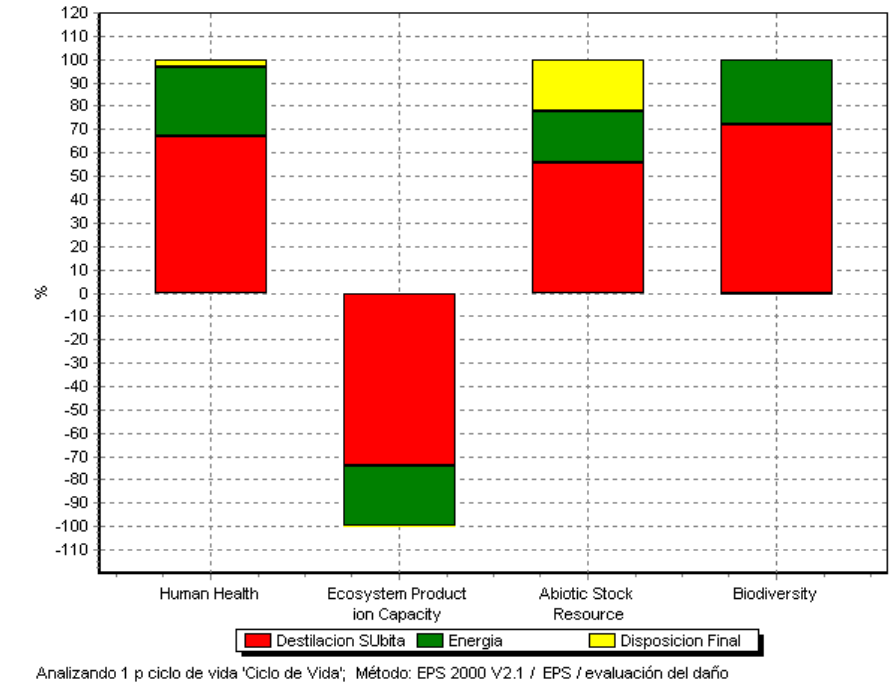

FIGURA 3.18 EVALUACIÓN DEL DAÑO EPS 2000

3.3.4.2.3. Ponderación

En el Apéndice N se encuentran las tablas de los resultados en unidades y en porcentajes. En la Figura 3.19 se presentan los resultados de manera gráfica.

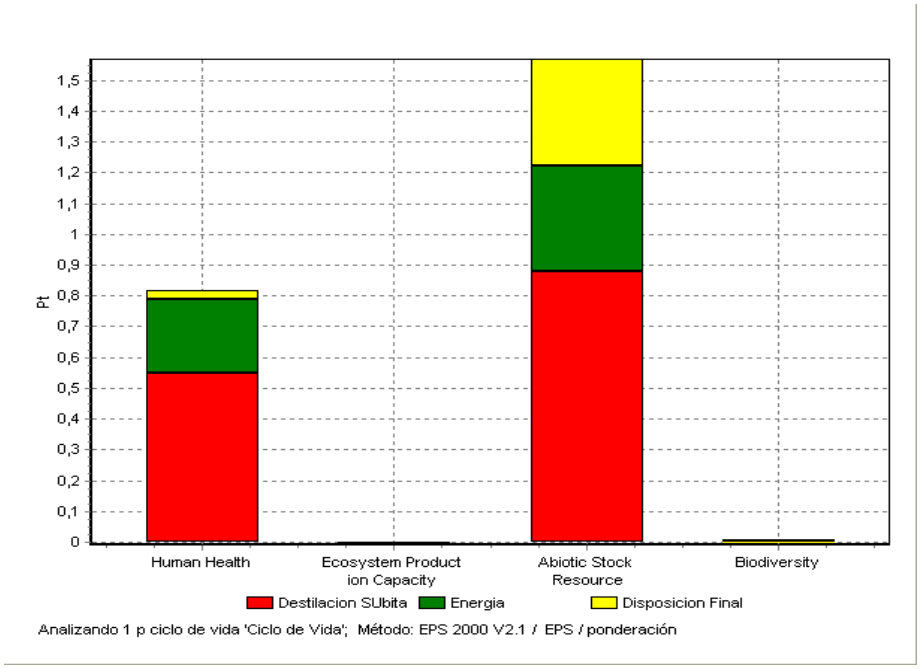

FIGURA 3.19. PONDERACIÓN EPS 2000

3.3.5. Resultados de Evaluación de Impacto EDIP 96

3.3.5.1. Resultados de la Planta de Osmosis Inversa

3.3.5.1.1. Caracterización

Los resultados de la caracterización en unidades y en porcentaje respecto del total de resultado de indicador se encuentra en el Apéndice L. En la Figura 3.20 se observa el resultado de la

caracterización en porcentaje en el diagrama de barras.

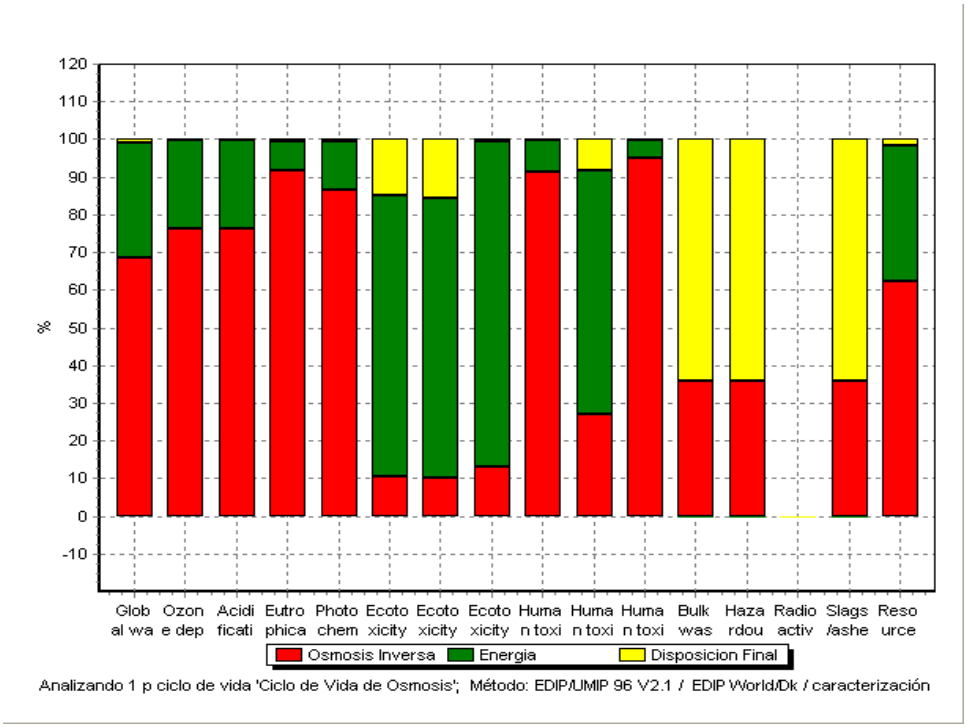

FIGURA 3.20. CARACTERIZACIÓN EDIP 96

3.3.5.1.2. Normalización

En el Apéndice L se observa los resultados de indicador normalizados en forma de tabla. En la Figura 3.21 se muestra el resultado de la normalización en diagrama de barras.

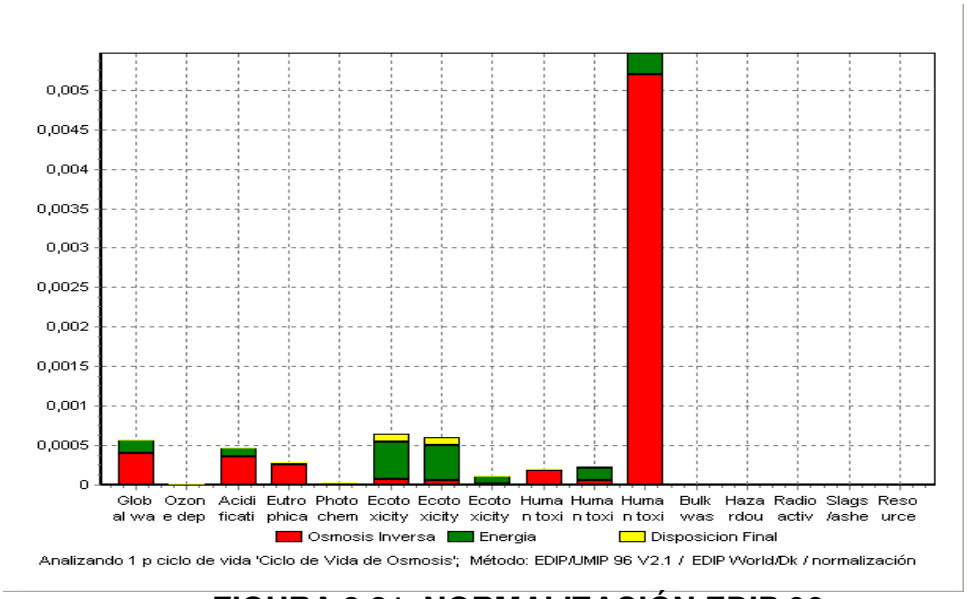

FIGURA 3.21. NORMALIZACIÓN EDIP 96

3.3.5.1.3. Ponderación

En el Apéndice L se muestran las tablas de resultados ponderados en unidad y en porcentaje respecto al total de resultados de indicador. En la Figura 3.22 se muestra el resultado de la ponderación en diagrama de barras, la unidad de la ponderación son los puntos EDIP en el gráfico se muestra en MPt (Megapuntos).

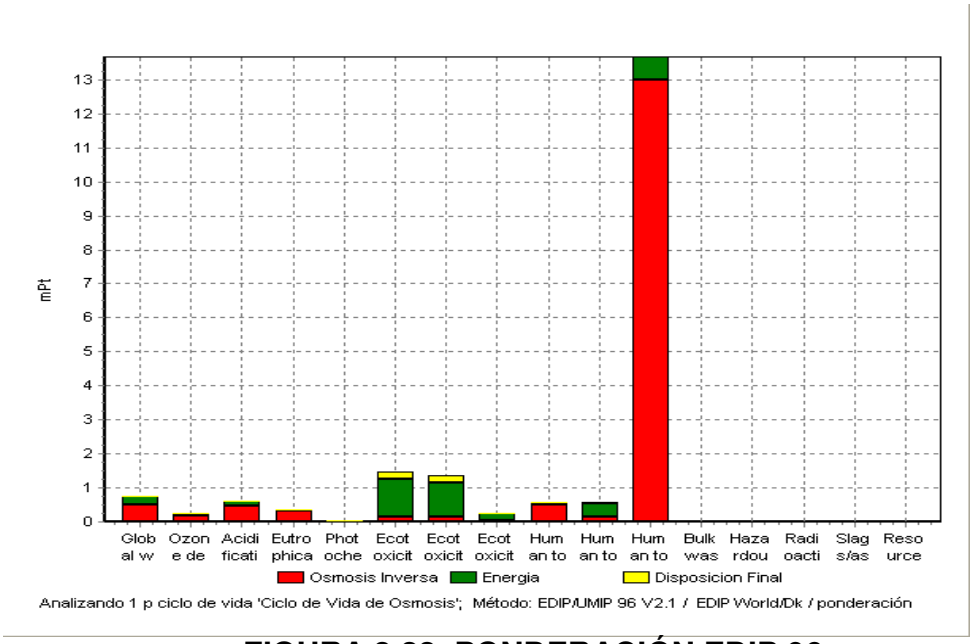

FIGURA 3.22. PONDERACIÓN EDIP 96

3.3.5.1.4. EDIP 96 (Solo Recursos)

En el Apéndice M se muestran las tablas de resultados para la caracterización, a su vez las tablas de los resultados de normalización y los resultados de ponderación del método EDIP 96 (Solo Recursos). En las Figuras 3.23, 3.24, y 3.25 se muestran los resultados de manera gráfica.

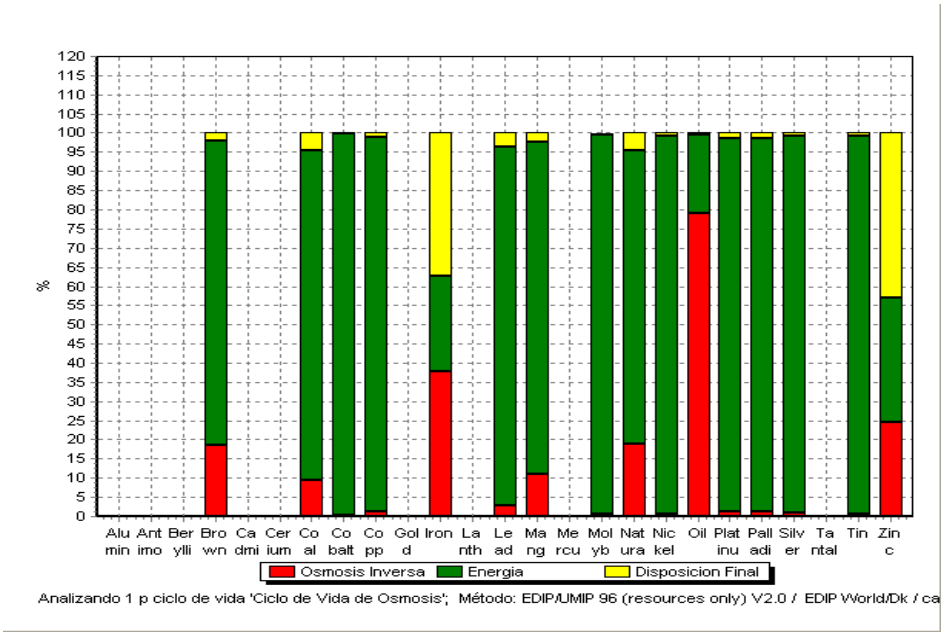

FIGURA 3.23. CARACTERIZACIÓN EDIP 96 (SOLO RECURSOS)

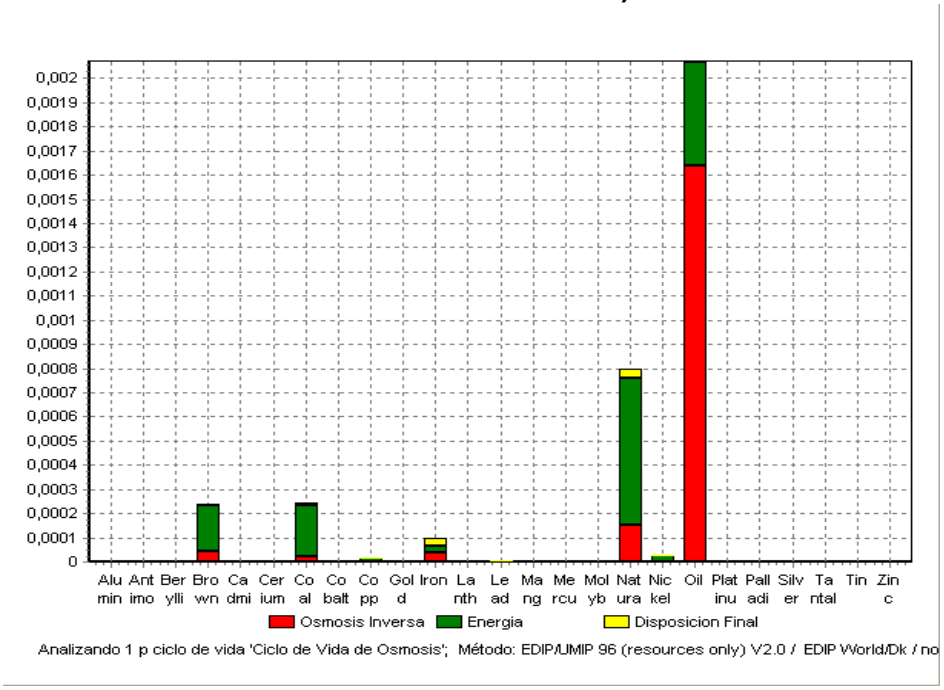

FIGURA 3.24. NORMALIZACIÓN EDIP 96 (SOLO RECURSOS)

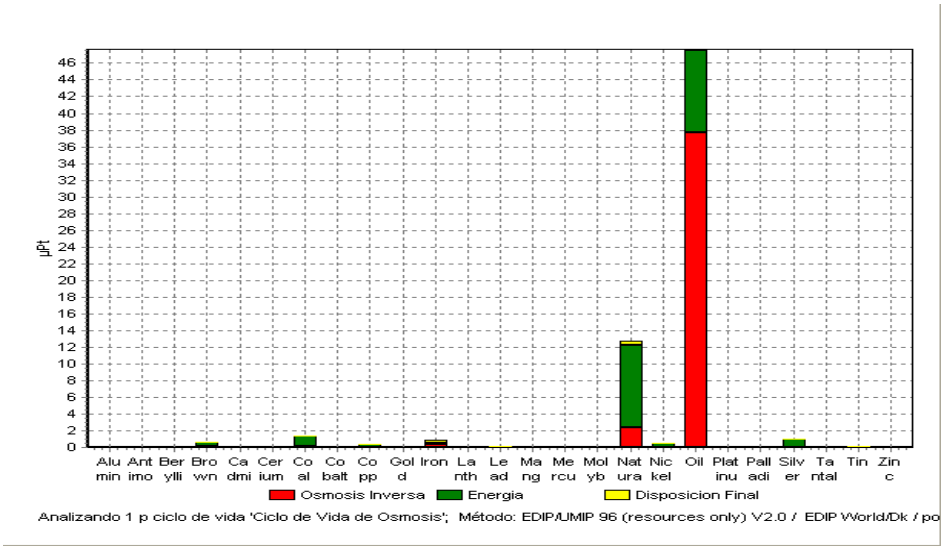

FIGURA 3.25. PONDERACIÓN EDIP 96 (SOLO RECURSOS)

3.3.5.2. Resultados de la Planta de Destilación Súbita Flash

3.3.5.2.1. Caracterización

Los resultados de los indicadores se presentan en el Apéndice O. En la Figura 3.26 se muestra de manera gráfica los resultados en porcentajes respecto al total.

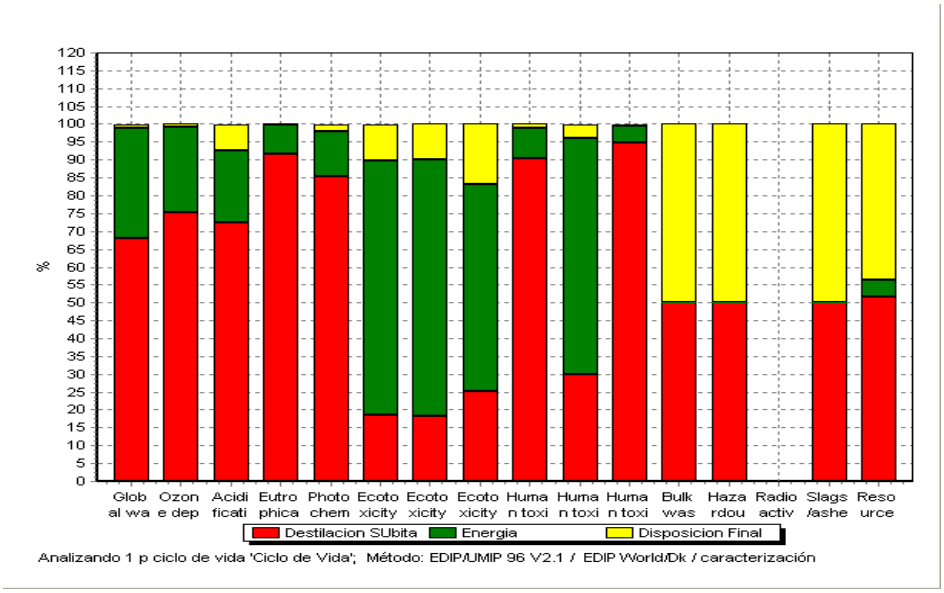

FIGURA 3.26. CARACTERIZACIÓN EDIP 96

3.3.5.2.2. Normalización

En el Apéndice O se observan los resultados en unidades y en porcentajes. En la Figura 3.27 se muestran los resultados en el diagrama de barras.

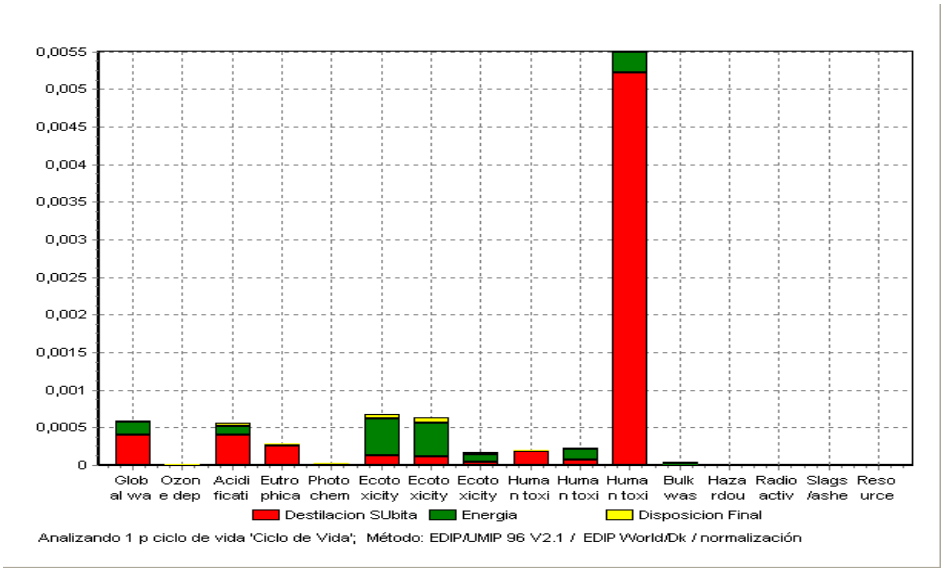

FIGURA 3.27. NORMALIZACIÓN DE MSF EDIP 96

3.3.5.2.3. Ponderación

En el Apéndice O se muestran las tablas de resultados ponderados en unidad y porcentaje. En la Figura 3.28 se muestra el resultado de la ponderación en un diagrama de barras, la unidad de la ponderación son los puntos EDIP en el gráfico se muestra en kPt (kilopuntos).

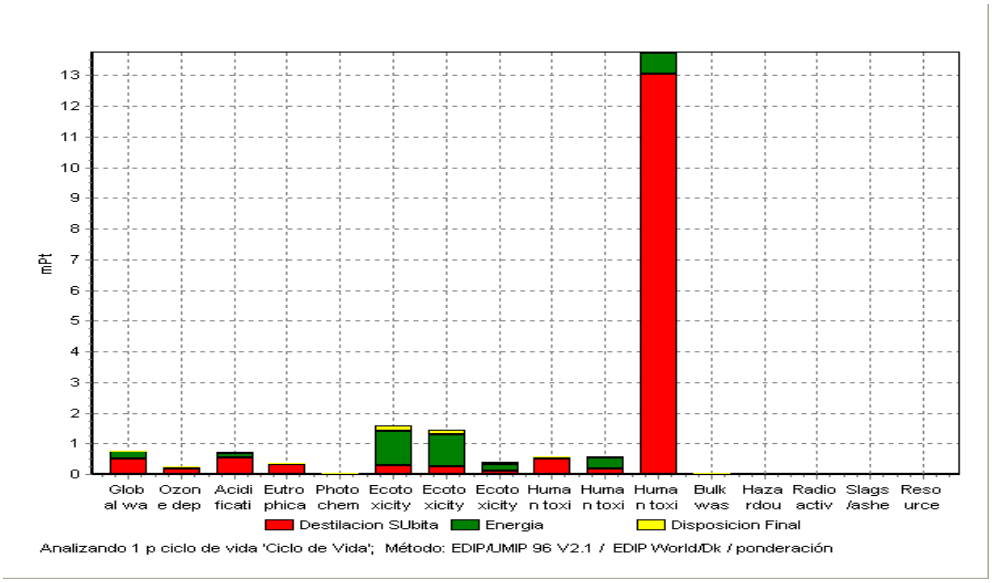

FIGURA 3.28. PONDERACIÓN DE MSF EDIP 96

3.3.5.2.4. EDIP 96 (Solo Recursos)

En el Apéndice P se muestran las tablas de los resultados para caracterización, normalización y ponderación para el método EDIP 96 (Solo Recursos). En las Figuras 3.29, 3.30, y 3.31 se muestran los resultados de manera gráfica.

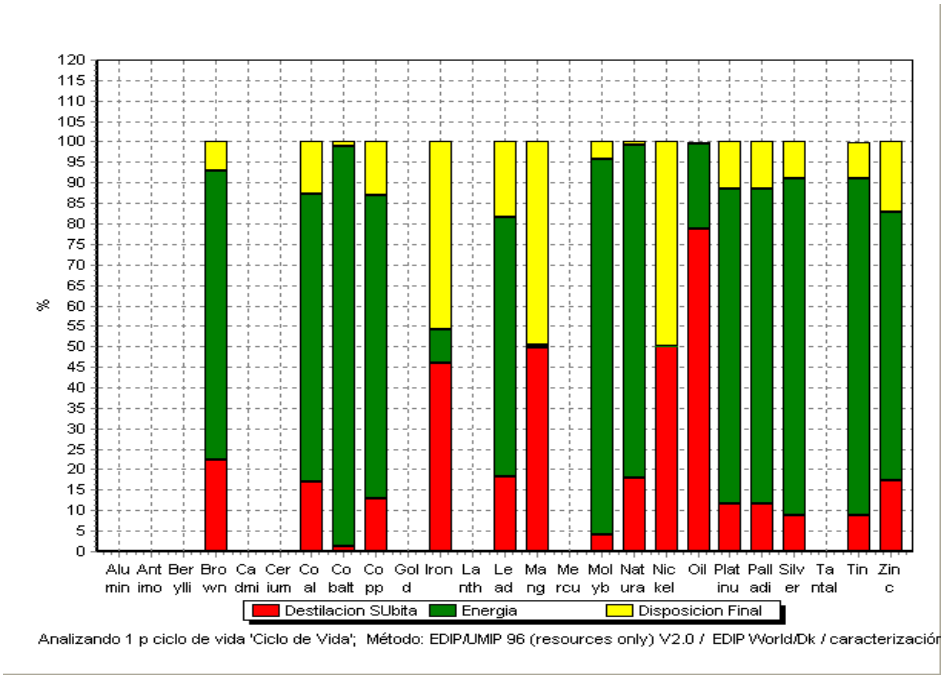

FIGURA 3.29. CARACTERIZACIÓN DE MSF EDIP 96 (SOLO RECURSOS)

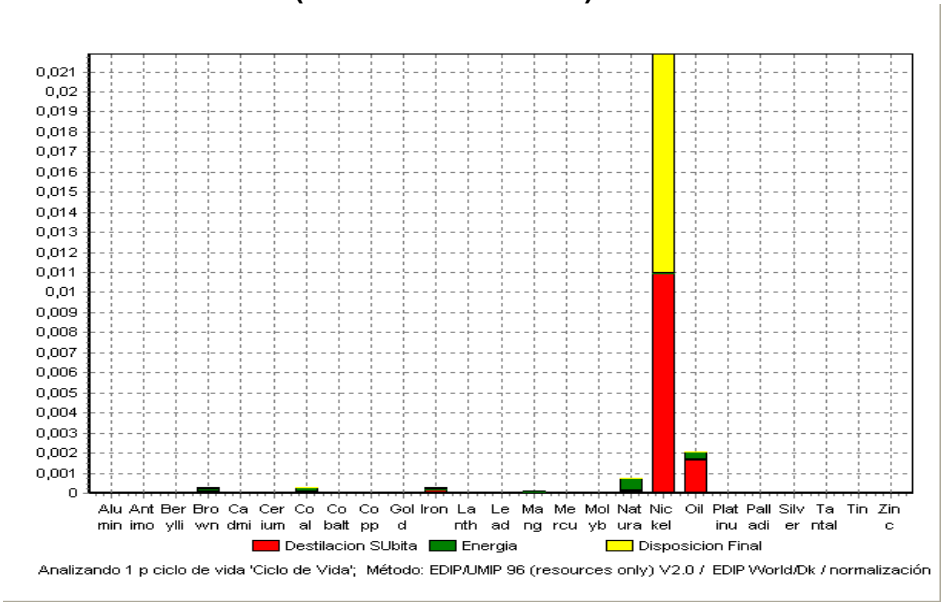

FIGURA 3.30. NORMALIZACIÓN DE MSF EDIP 96 (SOLO RECURSOS)

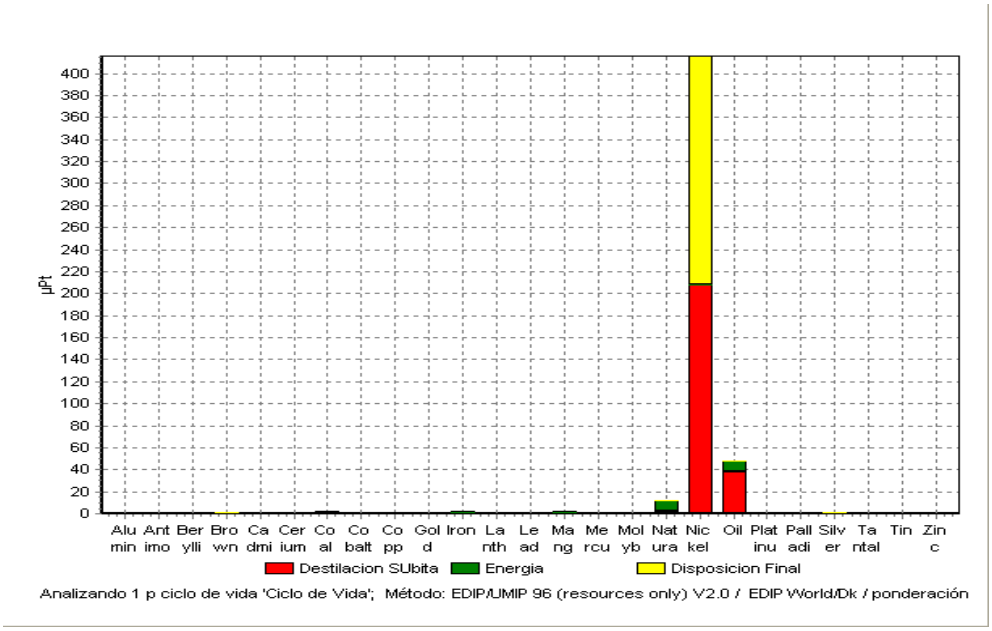

FIGURA 3.31. PONDERACIÓN DE MSF EDIP 96 (SOLO RECURSOS)

3.4 Interpretación de la ECV

3.4.1. Método Eco-Indicator 99

3.4.1.1. Interpretación del Ciclo de Vida de la Planta de Osmosis Inversa

En la caracterización por categoría de impacto se aprecia que para casi todas las categorías, la fase que mayor contribuye es la de los Materiales, que se ve representada por el rojo como se muestra en la Figura 3.6, para la construcción de la planta con valores de porcentajes altos, llegando a un máximo de 89.8%,

seguido de la fase de Energía (representado por el color verde), que representa la energia requerida para la producción de un m^3 de agua, obteniendo en algunos casos, como en la categoría de radiación un 99%.

La evaluación de daño de Eco-indicator 99 (ver Figura 3.7) se agrupa las categorías de impacto en tres categorías de daños; la categoría de Daño Salud Humana tiene su mayor contribución en la fase de Materiales con un 79.7%, seguido de la fase de Energía con 19.6%. La categoría de daño Calidad del Ecosistema y Recursos, al igual que la categoría de Salud Humana, tienen su mayor contribución en la fase de Materiales con porcentajes que sobrepasan el 60%.

La normalización de Eco-indicator 99 (ver Figura 3.8) está elaborada a nivel de la evaluación de daño. La normalización muestra que la categoría de daño más significativa frente a los datos de referencia es Recursos (Sección 3.3.3.1.3).

La ponderación (ver Figura 3.9) multiplica los factores de ponderación por los resultados de categoría de daño normalizados. El puntaje total para el ciclo de vida de

Osmosis Inversa es 0,423. De acuerdo a este método de evaluación de impacto la categoría de daño más afectada es la de Salud Humana con 0.205 puntos, seguida por Recursos 0.184, para terminar con Calidad del Ecosistema como la categoría de daño menos afectada con 0.0342.

3.4.1.2. Interpretación de la Planta de Destilación Súbita Flash

En la caracterización por categoría de impacto se aprecia que Materiales representa la categoría de mayor afectación (ver Figura 3.10) con valores que sobrepasan el 40% en muchas de las categorías de impacto, y compartiendo valores altos con la fase de Energía en algunos casos como el de Radiación con 88.4% para esta categoría.

En la evaluación de daño de Eco-indicator 99 (ver Figura 3.11) en las tres categorías, Salud Humana, Calidad del Ecosistema y Recursos muestran unos valores muy similares en porcentajes referente a las fases de Materiales, viéndose las tres categorías afectada de igual manera por esta fase, debiéndose básicamente a

las grandes cantidades de materiales que se requiere para la producción de un m^3 de agua desalada.

La normalización en Eco-indicator 99 (ver Figura 3.12) se basa en los resultados obtenidos de la evaluación de daño. La normalización muestra que la categoría más significativa es la de Recursos con valores de 0.000944 estando mas representa por la fase de Materiales para la construcción de la planta.

Por otro lado, la ponderación (ver Figura 3.13) muestra que Destilación Súbita Flash llega a obtener valores de 0.445, siendo la categoría de mayor afectación Salud Humana, viéndose afectada por los Materiales utilizados para la construcción.

3.4.2 Método EPS 2000

3.4.2.1. Interpretación del Ciclo de Vida de la Planta de Osmosis Inversa

En la caracterización de este método (ver Figura 3.14) podemos observar que las categorías de impacto en su mayoría se ven afectadas por la fase de Materiales con valores que sobrepasan el 50%, a su vez se aprecian

valores negativos, los cuales los indican que en la fase de materiales y de energía existe una aportación positiva como reciclaje, en el proceso de producción de algunos materiales y energía.

La grafica de evaluación de daños (ver Figura 3.15) nos muestra que para las categorías analizadas en este método, la fase mas influyente es la de Materiales. La categoría de daño Capacidad de Producción del Ecosistema para este caso tiene un puntaje negativo, fase de Materiales le asigna un valor de -74.3%. Esto nos muestra que el sistema de producto tiene un impacto ambiental positivo en la capacidad de producción del sistema.

La ponderación (ver Figura 3.16), nos muestra un puntaje total EPS 2000 de 1.66 puntos, de los cuales 0.889 pertenecen a la categoría de Recursos de Inventario Abiótico. De acuerdo a este método para este sistema de producto el único daño importante al Medio Ambiente es la extracción de materiales.

3.4.2.2. Interpretación del Ciclo de Vida de la Planta de Destilación Súbita Flash

La gráfica de caracterización para Destilación Súbita Flash (ver Figura 3.17) podemos observar que la fase de mayor aportación a las categorías de impacto es la de los Materiales con porcentajes que sobrepasan el 64% y que se muestran en el Apéndice N.

La evaluación de daño (ver Figura 3.18) nos muestra que la fase de Materiales afecta a todas las categorías, en el categoría de Capacidad de Producción de Ecosistema nos muestra valores negativos, viéndose influenciada en 74.2% por la fase de Materiales.

La ponderación de las categorías de daño (ver Figura 3.19 y Apéndice N) muestra el puntaje total de 2.38 puntos, de los cuales 1.58 pertenecen a la categoría de daño Recursos del Inventario Abiótico, 0.817 pertenecen a Salud Humana. De acuerdo a este método para este sistema de producto el único daño importante al Medio Ambiente es la fase de los Materiales mostrando valores en porcentajes que sobrepasan el 56%.

3.4.3. Método EDIP 96

3.4.3.1. Interpretación del Ciclo de Vida de la Planta de Osmosis Inversa

En la caracterización (ver Figura 3.20 y Apéndice L) en su totalidad se ve mayormente afectada por la fase de los Materiales, en la mayoría de las categoría obtiene porcentajes altos, especialmente en Eutroficación con un 91.7% debido a la emisiones producidas por los procesos para la extracción de los recursos.

La normalización en este método (ver Figura 3.21) muestra a Toxicidad humana suelo y Eutroficación como las categorías mas significativas para el sistema de productos con porcentajes que sobrepasan el 91%. A su vez se puede observar que la categoría Recursos tiene un factor de normalización 0.

Los resultados ponderados de esta metodología (ver Figura 3.22) muestra a Toxicidad humana suelo con el mayor puntaje de 0.0137 mPt (milipuntos), seguido por Ecotoxicidad crónica agua 0.00147. Cabe recalcar que este método tiene un factor de ponderación para

Recursos de 0 y tiene un método por separado para recursos, es decir el método EDIP 96 mostrado solo caracteriza emisiones y no extracciones de recursos.

EDIP 96 (Solo Recursos)

De los resultados de la caracterización (ver Figura 3.23) se aprecia que las categorías de Aluminio, Antimonio, Berilio, Cadmio, Cerio, Oro, Lantano, Mercurio y Tántalo tiene resultados de indicador de 0, lo que quiere decir que no se extrae estos recursos en el sistema de producto definido.

Las demás categorías como Cobalto, Cobre, etc, obtienen valores altos en la fase de Energía, debido a la contribución de los procesos de Electricidad turbina a gas 10 MW S y Producción de energía motor diesel.

En la normalización (ver Apéndice M) al igual que en la caracterización nos muestra las mismas categorías con indicadores 0 y que se mantiene la fase de Energía con valores de porcentajes altos en el resto de las categorías.

La ponderación (ver Figura 3.25) muestra todas las categorías en puntaje EDIP 96 (Solo Recurso), se aprecia que de acuerdo a los factores de ponderación usados la Energía empleada en el sistema, y más que nada el proceso Electricidad turbina a gas 10 MW S y Producción de energía motor diesel S, es el consumo de recursos más importantes del sistema de producto.

3.4.3.2. Interpretación del Ciclo de Vida de la Planta de Destilación Súbita Flash

La caracterización (ver Figura 3.26), en este método las categorías de impacto se ven influenciadas por la fase de Materiales, especialmente en las categorías de Tocixidad humana suelo y Eutrofización, donde nos muestran valores superiores al 91%, y esto es debido especialmente a las emisiones de la producción de energía a partir del petróleo (generación térmica a vapor).

La normalización en este método (ver Figura 3.27 y Apéndice O), muestra que en las categorías más

significativas son las de Tocixidad humana suelo y Eutrofización, con valores que sobrepasan el 91.8%.

Los resultados ponderados de esta metodología (ver Sección 3.3.5.2.3), nos muestran que Toxicidad Humana Suelo con el mayor puntaje, 0.0138, seguido por Eutroficación con 0.000346.

Se puede observar que la construcción de la planta posee mayor contribución debido a las emisiones tóxicas a diferentes medios ambientales debido al proceso de extracción de los recursos.

EDIP 96 (Solo Recursos)

La caracterización (ver Figura 3.29) nos muestra que las categorías de Aluminio, Antimonio, Berilio, Cadmio, Cerio, Oro, Lantano, Mercurio y Tántalo tiene resultados de indicador de 0, lo que quiere decir que no se extrae estos recursos en el sistema.

Las categorías Cobalto, Molibdeno, Níquel muestran valores altos en porcentajes (ver Apéndice O), estas categorías tienen una distribución de contribuciones muy

similar a la de la Planta de Osmosis Inversa analizada con este mismo método (ver Sección 3.4.3.1).

En la normalización (ver Figura 3.30) se aprecia que respecto a los datos de referencia la categoría más significativa para este sistema de producto es Níquel. Esto quiere decir que el único uso de recursos significativos en el sistema de producto definido de acuerdo al método es la construcción de la planta.

La ponderación (ver Figura 3.31) muestra todas las categorías en puntaje EDIP 96 (Solo Recursos), se aprecia que de acuerdo a los factores de ponderación usados la fase de Energía da mayor afectación a las categorías de impacto, que se ve reflejado en el consumo de recursos para el sistema.

CAPÍTULO 4

4.COMPARACIÓN DE LAS PLANTAS DE DESALINIZACIÓN CON LAS TECNOLOGÍAS MSF–OI

En este capítulo se mostrará de una manera más sencilla la comparación de estas dos tecnologías aplicadas en nuestro país. Para ello hemos escogido la planta de agua de la Refinería La Libertad, por ser una de las pocas instituciones que posee el sistema de Destilación Súbita Flash, por otro lado, para la planta de Osmosis Inversa se tomarán ciertos datos del capítulo anterior debido a la poca información recopilada de las plantas que se encuentran en el Ecuador con este sistema.

Se tratará de ser lo mas objetivos posibles, ya que las capacidades de producción de las plantas son diferentes, pues para ello se ha tratado de realizar una comparación desde el punto de vista netamente energético y de las descargas de salmueras en función de cada m^3 de agua desalada.

4.1 Comparación de Energía Consumida

La Planta de Desalinización de la Refinería de Petróleo de La Libertad abastece la demanda de agua para uso Industrial y Doméstico, produciendo desde 1971 la cantidad de 680 m^3/día dando un 70% para uso industrial y el 30% para uso doméstico. El agua industrial cubre la demanda de agua para las calderas 379 m^3 (100.000 GPD) y también como agua de enfriamiento 98,5 m^3 (26.000 GPD), a una calidad de 15 PPM de Sólidos Totales Disueltos como máximo.

La Planta de desalinización de agua de mar es del tipo de evaporación instantánea de múltiples etapas (MSF, del inglés Multi-Stage Flash destillation) de procedencia Inglesa (Aiton), del tipo recirculación y básicamente comprende los siguientes sistemas: un sistema de enfriamiento, sistema de vacío, sistema de recirculación, sistemas de precalentamiento y de calentamiento, sistemas de condensado y de destilado, dosificación de químicos y de instrumentación para el control de la Planta.

El agua salada es tomada por medio de bombas que están ubicadas en una plataforma en el muelle de la Refinería, el agua de mar es impulsada por tres bombas centrífugas de 150 HP cada una, dando un total de 5.100 GPM de flujo y a 80 psig. de presión de descarga en la línea de 24”, a la cual enseguida se inyecta una dosis de

hipoclorito de sodio desde la bomba y del clorinador electrolítico para mantener la línea limpia de incrustaciones y limitar el crecimiento marino. De los 1.700 GPM de agua salada que ingresan a la Planta, únicamente se utiliza como agua de alimentación el 15% que equivale a unos 255 GPM, lo demás es para el enfriamiento que regresa al mar.

El agua de mar entra en la Planta como agua de enfriamiento, de la cual se utiliza una fracción como alimentación tras calentarse en los condensadores del desecho. La alimentación entra al estanque de salmuera y se mezcla con la salmuera de recirculación. La mezcla de alimentación-salmuera es impulsada por una bomba de recirculación y pasa en serie por condensadores de recuperación de calor. En este punto la salmuera re-circulante ha alcanzado su temperatura máxima (82 ºC) e ingresa a las cámaras de evaporación instantánea liberando vapor en cada etapa. En el proceso de evaporación instantánea esta regulado por placas de orificio rectangular ajustable de modo que existan presiones progresivamente más bajas en cada etapa. La última etapa opera a una presión de aproximadamente 1,0 psia (30 pulg. Hg. vacío).

Según el análisis del capítulo anterior se mostró que la planta de osmosis inversa producía aproximadamente 46000 m^3/día con un

consumo de 4 kW-h/m^3. Para realizar la comparación de los 2 procesos, mostrada en la Tabla 19, se asume la misma cantidad de producción en m^3/día de agua desalada que tenemos en la planta de la Refinería La Libertad.

TABLA 19

COMPARACIÓN ENERGÉTICA DE LOS PROCESOS DE DESALINIZACIÓN DE AGUA

Comparación Energética de los Procesos de Desalinización de Agua		
Procesos	**Osmosis Inversa**	**MSF**
Producción diaria(m^3/día)	680	680
Consumo de energía (KW-h/m^3)	4	9.06
Consumo diarios de energía (KW-h/día)	2720	6161.44
Consumo mensual de energía (KW-h/mes)	81600	184843.33

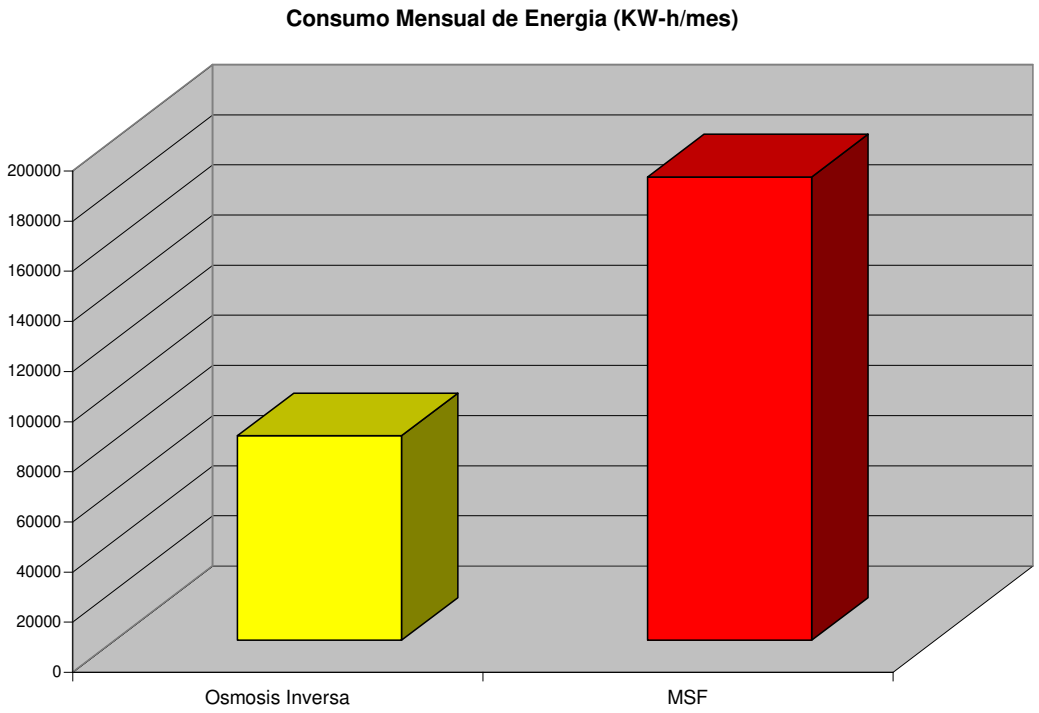

FIGURA 4.1 CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA DE MSF Y OSMOSIS INVERSA

En el Figura 4.1, se puede observar un mayor consumo de energía en el proceso de destilación súbita flash debido al grupo de bombas que esta planta requiere para el bombeo del agua desde el muelle hasta la instalación de la planta. Con esto nos demuestra el por que este proceso no es muy rentable.

4.2 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, osmosis 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. Una comparación de las descargas se muestra en la Tabla 20.

TABLA 20

COMPARACIÓN DESCARGAS DE LOS PROCESOS DE DESALINIZACIÓN DE AGUA

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

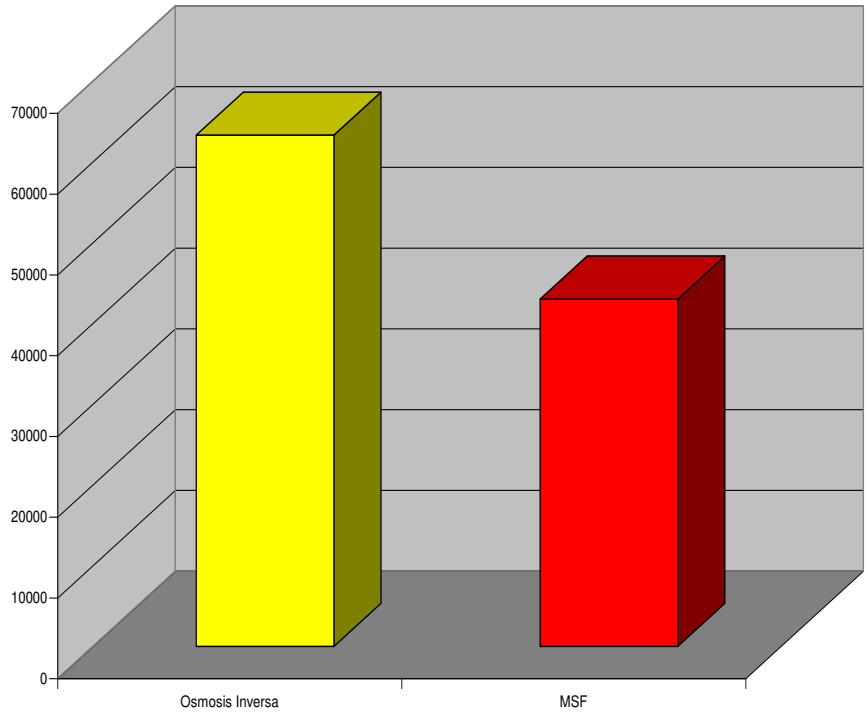

FIGURA 4.2 COMPARACIÓN DE DESCARGAS DE MSF Y OSMOSIS INVERSA

De acuerdo a la Figura 4.2, se observan los altos valores de concentración de ppm. de las descargas en los procesos, especialmente en el de osmosis inversa. Con esto, se concluye que a mayor concentración de ppm. en las descargas, mayor será el grado de contaminación al ambiente marino.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. En este estudio, el consumo eléctrico específico para una instalación de Osmosis Inversa es relativamente menor comparado con el de una planta de MSF debido al mayor consumo energético que se genera debido al sistema de bombeo de este 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 del proceso de Osmosis Inversa es mayor en ppm. comparado al de una planta de Destilación Súbita Flash, por lo cual se puede afirmar que el proceso de Osmosis Inversa es el 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 conocer en que fase de un estudio se obtiene el mayor impacto ambiental.

5. La calidad del agua que se obtiene 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.

Recomendaciones

1. Para realizar un diseño e instalación de una planta desaladora es necesario tomar en consideración la calidad del agua de producto que se requiera. Si se desea obtener agua para uso industrial es apropiado realizar una instalación de destilación súbita flash, en el caso de requerir agua para el consumo humano, la instalación más apropiada sería una planta de osmosis inversa.