



Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ciencias Marinas



Tesis que presenta
Luis Fernando Nevarez Alvarez
Para obtener el título de Oceanólogo

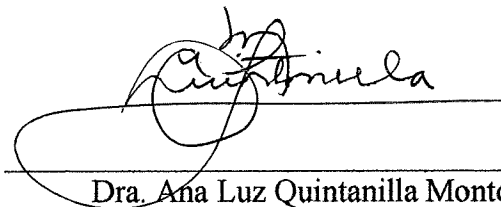
**ÉVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE
AGUA DE MAR, ASOCIADA A UN SISTEMA DE ENERGÍAS RENOVABLES
(EÓLICA E HIDRÓGENO), PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA Y
ENERGÍA EN COMUNIDADES RURALES.**

Ensenada, Baja California, Mayo 2007.

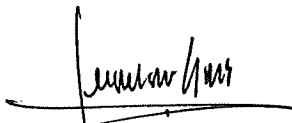
**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE
AGUA DE MAR, ASOCIADA A UN SISTEMA DE ENERGÍAS RENOVABLES
(EÓLICA E HIDRÓGENO), PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA Y
ENERGÍA EN COMUNIDADES RURALES. -**

Tesis que presenta
Luis Fernando Nevarez Alvarez
Para obtener el título de Oceanólogo

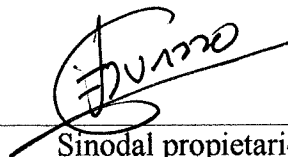
Aprobada por:



Dra. Ana Luz Quintanilla Montoya
Presidente del Jurado



Sinodal propietario
Dr. Leopoldo G. Mendoza Espinosa



Sinodal propietario
Oc. Eduardo Gil Silva

Resumen

La creciente escasez y el mal aprovechamiento del agua dulce constituyen una grave amenaza para el desarrollo sostenible y para la supervivencia de la humanidad. Por ello se requieren de técnicas como las del presente trabajo donde se combinen tecnologías que puedan desalinizar agua de mar y que a su vez mantengan el equilibrio con el ambiente. La ósmosis inversa es la tecnología de desalinización que parece acercarse más a la eficiencia debido a su desarrollo tecnológico en las últimas décadas, y acoplada a un sistema de energía eólica constituyen una fuente de agua y energía limpia para abastecer a comunidades rurales o grandes ciudades. En el Norte del país se tiene la mínima disponibilidad de agua *per cápita* y es donde se genera el mínimo escurrimiento superficial. La región sur de Baja California en particular, sufre de limitado acceso a servicios de agua potable y electricidad, pero cuenta con los recursos energéticos necesarios para generar electricidad mediante el uso de viento y el hidrógeno, así como para que, a partir de los mismos, se pueda operar una planta desalinizadora de agua de mar que pueda abastecer de agua potable a la comunidad de Bahía de los Ángeles.

Se realizaron mediciones de viento registrados por una estación meteorológica para el año del 2005. Los análisis de viento que se hicieron fueron mensuales, anuales y estacionales para identificar la dirección y velocidad predominante, y poder calcular la ubicación del sitio óptimo, la energía producida y la cantidad de agua desalinizada en distintos intervalos de tiempo. Con base en la distribución y probabilidad de la ocurrencia de la rapidez del viento se estimó la cantidad de energía teórica que es posible producir mediante el aerogenerador elegido. Para la estimación de energía se multiplicó la probabilidad de ocurrencia de una determinada marca de clase de velocidad de viento por la cantidad de energía que puede producir esa misma marca de clase en la curva de potencia de la compañía. Los resultados mostraron que por sí sólo con el recurso eólico se puede suministrar energía a la población y a la desalinizadora. El comportamiento en la dirección del viento se ve fuertemente influenciado por un centro de alta presión en el Pacífico Norte y por la cadena montañosa en Bahía de los Ángeles. Estas condiciones regulan el viento y provocan que el viento en la mayor parte del año provenga del Oeste. Para corroborar el resultado anterior se consultó el mapa realizado por Rojas Caldelas y se ubicó al aerogenerador en el sitio óptimo.

Dedicatoria

A Dios, que es la fuerza que lo crea todo, nada destruye, mueve todo, menos al hombre.

A mi madre, por ser mi luz y mi razón de ser en la vida.

A mi padre, por el ejemplo de fuerza y resistencia, y de cómo se debe dar todo por la familia.

A mis Hermanos: Mario, Darío y Tadeo, los quiero mas que a mi vida misma y no hay nada ni nadie que pueda romper con este núcleo potente. Puras chivas carnales.

A la memoria de mis primitas: Ana Gabriela, Maria Fernanda y Daniela Reynoso Alvarez. Vienen desde lejos para traernos bellos pensamientos, y revelarnos junto con el tiempo caminos secretos que nos permitan acercarnos mas al entendimiento de sus ausencias.

A mis tíos Luis Reynoso y Gabriela Alvarez, que la vida llene con amor y felicidad el vacío que ha dejado la partida de las termitas.

A mi papanino y a mi mamanina, así como a mi abuelo Santiago y a mi abuela Leonor †, por el dulce amor que solo los abuelos suelen dar.

A todos mis primos y tíos, son parte importante de mí y de mi infancia, y a pesar de la lejanía siempre los he llevado conmigo.

A mis amigos tanto de Hermosillo como de Ensenada, así como los barcos del Sauzal, mi respeto, aprecio y admiración raza.

Agradecimientos.

A la Dra. Ana Luz Quintanilla, por ser mi directora de tesis y apoyarme en todo este tiempo. Gracias por su paciencia y por darme la oportunidad de comprender como es que las fuentes alternativas de energía pueden ayudar a cambiar el curso de la humanidad.

A mis sinodales, Dr. Leopoldo Mendoza y Oc. Eduardo Gil, por sus consejos y revisar este trabajo.

A todo el personal de la Facultad de Ciencias Marinas y del Instituto de Investigaciones Oceanológicas por todo lo aprendido, el apoyo y la amistad mostrada desinteresadamente.

Al CONACYT, por el apoyo económico recibido, mediante el programa “Monitoreo Meteorológico en Zonas Rurales de Baja California para su Aplicación en Estudios de Energías Renovables y Variabilidad Climática”. Con numero de referencia 40108-Y.

A mi familia por todo su apoyo.

Índice

1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	7
3. Area de estudio.....	14
4. Objetivos.....	15
4.1 Objeto general.....	15
4.2 Objetivos particulares.....	16
5. Hipotesis.....	16
6. Metodología.....	17
7. Resultados.....	21
7.1 Situación en Bahía de los Angeles.....	21
7.2 Selección del sistema óptimo.....	23
7.3 Proceso de generación.....	27
7.4 Eficiencia del sistema.....	35
7.5 Sitio óptimo elegido para la instalación de las tecnologías.....	42
7.6 Impacto ambiental.....	47
8. Discusiones.....	49
9. Conclusiones.....	57
10. Bibliografía.....	60
11. Anexos.....	65

Lista de figuras

Figura 1. La competencia a través de los años entre tecnologías de membranas y procesos térmicos en cuanto a la capacidad instalada mundialmente en unidades de m^3/s (Alcocer, 2006).....	4
Figura 2. Localización del área de estudio.....	14
Figura 3. Compañías de Aerogeneradores vs. Índice de Preferencia.....	26
Figura 4. Compañías desalinizadoras vs. Índice de preferencia.....	27
Figura 5. Diseño generalizado de un sistema tipo acoplado.....	28
Figura 6. Componentes principales de una turbina eólica.....	29
Figura 7. Esquema generalizado del proceso de electrólisis.....	30
Figura 8. Diagrama generalizado de una celda de combustible.....	31
Figura 9. Componentes básicos de un sistema de OI.....	33
Figura 10. Se aprecia el flujo de los fluidos y el funcionamiento de un intercambiador de presión (www.energy-recovery.com).....	35
Figura 11. Promedios diarios de la rapidez del viento durante un año en Bahía de los Ángeles.....	36
Figura 12. Promedios mensuales de la rapidez del viento.....	36
Figura 13. Comportamiento del viento en un día típico del año en Bahía de los Ángeles.....	37
Figura 14. Distribución de probabilidad de ocurrencia del viento para un año en Bahía de los Ángeles.....	38
Figura 15. Curva de potencia de la compañía <i>General Electric</i> para un aerogenerador de 1.MW (www.gepower.com/prod_serv/productos/wind_turbines/en/downloads/ge_15_brochure).....	39

Figura 16. Promedios diarios de la dirección del viento durante un año en Bahía de los Ángeles.....42

Figura 17. Se muestra el comportamiento del viento en un día típico del año en Bahía de los Ángeles..... 43

Figura 18. Componentes u y v de la velocidad del viento a lo largo de un año en Bahía de los Ángeles..... 44

Figura 19. Dispersión de las componentes de velocidad del viento en Bahía de los Ángeles...45

Figura 20. Representación hodográfica estacional para las componentes u y v del viento en Bahía de los Ángeles.....45

Figura 21. Diagrama de la rosa de los vientos para el año del 2005 en Bahía de los Ángeles.. 46

Lista de tablas

Tabla1. Fabricantes de turbinas eólicas.....	23
Tabla2. Fabricantes y datos técnicos de distintos sistemas de OI.....	24
Tabla 3. Kw/hr anual para cada marca de clase.....	39
Tabla 4. Energía y agua generados mensualmente.....	41

Introducción

El consumo de agua en el planeta se ha incrementado a medida que la población mundial crece desmesuradamente; en la actualidad existen alrededor de seis mil quinientos millones de habitantes (más del doble que en los cincuentas), y con ello, las fuentes de agua se agotan drásticamente. La creciente escasez y el mal aprovechamiento del agua dulce constituyen una grave amenaza para el desarrollo sostenible y para la supervivencia de la humanidad. Aproximadamente 25% de la población mundial carece de un acceso directo a servicios de agua potable y aproximadamente 2.2 millones de personas mueren cada año debido a enfermedades causadas por agua contaminada o mal saneamiento (www.worldwaterforum4.org.mx, se actualiza diariamente). La competencia entre la agricultura, la industria y las ciudades por los limitados suministros de agua ya están restringiendo las actividades de desarrollo en muchos países (FAO, 1993). Esta problemática de escasez, mala distribución, contaminación, sobreexplotación de los mantos acuíferos y el acceso desigual, genera conflictos sociales entre los distintos usuarios y sectores económicos en una misma localidad, así como entre regiones de un mismo estado y/o entre países vecinos.

Además de las propiedades hidrológicas de cada región, la tasa de crecimiento, la deforestación, el excesivo consumo comercial y del poco interés por parte de la sociedad y de los gobiernos por conservar el agua, otro factor importante que afecta la cantidad y calidad de este recurso es el cambio climático debido a la emisión de gases a la atmósfera como el dióxido de carbono. Este acumulamiento de gases, provenientes en su mayor parte de la quema de combustibles fósiles que es la principal fuente de energía usada, provoca en la atmósfera el efecto invernadero y un calentamiento global, el cual, influye en la intensidad del clima de cada estación del año y en las precipitaciones pluviales de cada región.

Las estimaciones actuales calculan que el planeta contiene 1.386 millones de m³ de agua; sin embargo, los océanos representan el 97.5% del total, haciéndola inservible para cualquier tipo de uso (agrícola, industrial o humano) debido a las altas salinidades que presenta. El resto es agua dulce, pero de esta, el 68.9% esta en forma permanente como hielo y nieve que cubren las regiones polares y

montañosas. Del resto de agua dulce disponible, el 29.9% son aguas subterráneas y sólo el 0.3% se encuentra en lagos, reservorios y sistemas de los ríos (Shiklomanov, 1999).

Por su parte, la distribución espacial de agua en México es muy irregular, el 50% del escurrimiento superficial se genera en el sureste, en tan sólo el 20% del territorio, mientras que en una porción del norte que abarca el 30% del territorio se genera sólo el 4%. Debido a lo anterior, la disponibilidad de agua anual *per capita* también es muy variable en todo el territorio nacional. Así, existen regiones con disponibilidad que varía entre 211 y 1,478 m³ anuales por persona y, por otro lado, hay zonas donde la disponibilidad varía de 14,445 a 33,285 m³ anuales por persona. En promedio cada habitante en México dispone de 5,200 m³ anuales. Esta cifra parece excesiva si se compara con la disponibilidad *per cápita* de otros países (Egipto con 30, Arabia Saudita con 140 o Israel con 330 m³ anuales), pero representa casi la mitad de los recursos de Estados Unidos y 1/20 de Canadá. Aunque en el balance nacional entre oferta y demanda del agua hay un superávit, en forma regional se encuentra un déficit considerable en casi la mitad del territorio, principalmente en los estados de Baja California, Sonora, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León y San Luis Potosí, en ese orden (www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/16/parte_2.html, última actualización: 29/08/2005). Si se considera la cifra de la proyección de población para 2004 (105.9 millones de habitantes), la disponibilidad natural de agua para ese año fue de 4,482 m³ anuales por habitante, volumen que correspondió a una categoría de disponibilidad baja, cercana a los 5,000 m³ por habitante por año, que es el límite de disponibilidad media. Para poner en contexto esta cifra, en 1910 la disponibilidad promedio era de 31,000 m³ por habitante, para 1950 era ya sólo ligeramente superior a 18,000 m³ y en 1970 había caído por debajo de los 10,000 m³ (CNA, 2005).

Se considera que un país que tiene 1,700 m³ de agua por habitante por año, sufrirá problemas de agua ocasionalmente; cuando se tiene menos de esta cantidad se dice que están estresados hídricamente, pero cuando esta cantidad cae por debajo de 1,000 m³ por habitante por año se considera que el país sufre una escasez crónica; si se tiene menos de 500 m³ al año el país se encuentra en una escasez absoluta. En general se acepta que 1,000 m³ por habitante por año, es la cantidad mínima de agua para una adecuada calidad de vida y un desarrollo moderado del país. En 1990, 28 países cuya población era

de 335 millones de personas se encontraban en niveles de estrés o escasez. Se estima que en el año 2025 de 46 a 52 países se encontrarán en esta categoría y su población variaría entre 2,782 millones a 3,290 millones de habitantes, dependiendo de la tasa de crecimiento que puedan tener durante las siguientes décadas (Arreguin, 1998).

En México, el número de habitantes en 1970 era de 48.2 millones; en el presente es más de 100 millones (www.inegi.gob.mx, última actualización: 30/06/2006). El 54% de la población en el mundo se ubica en las costas y aunque en México no se mantiene esta relación, actualmente estas áreas tienen un crecimiento demográfico a la alza por considerarse como zonas de inmenso potencial económico. Hay once ciudades en la zona costera que experimentaron altas tasas de crecimiento promedio entre 1980-1990; solamente para Baja California, el número de inmigrantes fue mayor a doscientos mil (CONAPO, 1999). Destaca el hecho de que sea en las dos entidades federativas de la península, en las que hay menor cantidad de agua superficial y subterránea, es en donde se presenta el mayor crecimiento poblacional en la última década, con tasas superiores al 3% (INEGI, 2000). Aunado a esto, el problema de la sobreexplotación de los acuíferos es grave. En 1975 existían 32 acuíferos sobreexplotados en el país, cifra que se elevó a 36 en 1981, 80 en 1985 y 104 en 2004 (CNA, 2005), lo que representa ya el 16% del total de acuíferos registrados en el país. Los acuíferos sobreexplotados se concentran en las regiones administrativas de la CNA de Baja California, Noroeste, Cuencas Centrales del Norte, Río Bravo y Lerma-Santiago-Pacífico. Además de la sobreexplotación, 16 acuíferos tienen problemas de intrusión salina (12 de ellos están sobreexplotados), sobre todo aquellos que se localizan en las costas de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Veracruz y Colima. Es por esto que se deben emplear tecnologías que separen sales de agua de mar que cumplan con las demandas vitales de las personas y que ayuden a conservar el ciclo natural del planeta.

A principios de 1950 se iniciaron las primeras investigaciones profundas sobre el problema de la desalinización de agua con el fin de construir y operar grandes instalaciones de producción de agua dulce a un costo competitivo en comparación con otras fuentes de abastecimiento. La desalinización de agua de mar es el proceso en el cual las sales son separadas de una solución acuosa y existen varias técnicas para realizar este proceso. El mayor éxito se presentó con la introducción del sistema de

destilación súbita (flash) en múltiples etapas en 1957, con la primera planta comercial en 1960 (Vilentchuk, 1968; Silver, 1970; Pugh, 1972; Hawes, 1973, citados por Cormier M. *et. al.*, 1995). La primera mitad del siglo XX fue dominada por tecnologías de evaporación, 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 desalinización, como las membranas (Valero, 2001). En la Figura 1 se puede apreciar la competencia entre estas dos tecnologías en el tiempo y la capacidad instalada en el mundo en m^3/s . El proceso de ósmosis inversa (OI) es quizá el método más sencillo para desalar y que pudiera ofrecer los mejores rendimientos energéticos. En la actualidad, instalaciones típicas de desalinización de agua por OI pueden separar el 98% de las sales en concentraciones de SDT hasta de 3,000 mg/l y flujos de 24 l/d/m² garantizando la vida de las membranas hasta por cinco años. La capacidad de producción varía de 25,000 a 60,000 l/d/m² (Arreguín, 1998).

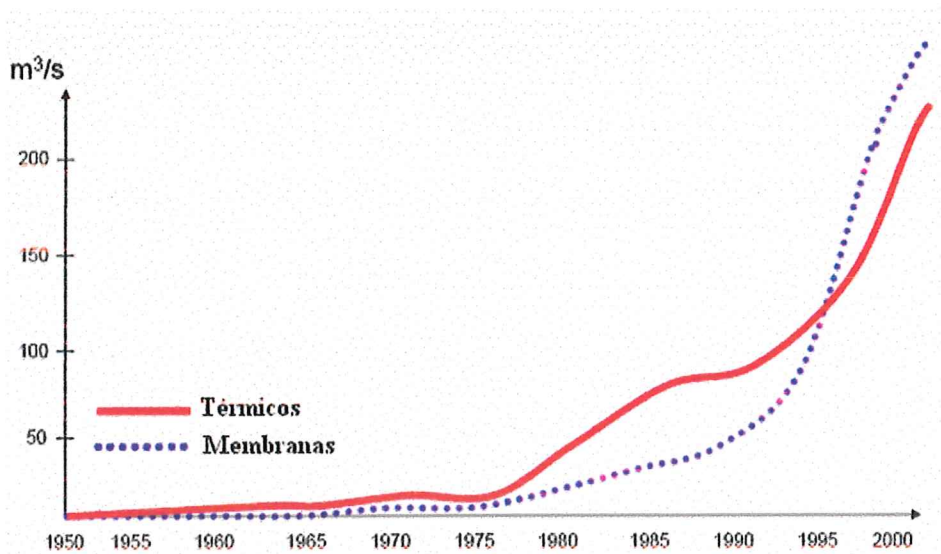


Figura 1. La competencia a través de los años entre tecnologías de membranas y procesos térmicos en cuanto a la capacidad instalada mundialmente en unidades de m^3/s (Alcocer, 2006).

Para 1997, la capacidad total de plantas desalinizadoras instaladas en todo el mundo era de aproximadamente 26 hm³/día, de los cuales 14 hm³/día correspondían a agua de mar y 12 hm³/día a

agua salobres (Wangnick, 1998). En cuanto a número de unidades instaladas el primer lugar lo ocupa Estados Unidos ya que tiene muchas plantas de pequeño tamaño, pero en cuanto a la capacidad desalinizadora Arabia Saudita es el primer lugar, con 5,429,334 m³/día (Watermark, 2000). La tecnología más usada para desalar agua de mar es la de destilación con aproximadamente 52%, seguida por la de ósmosis inversa con el 38% y el resto se debe a la electrodiálisis (Medina, 2000). Con base en una evaluación de varias tecnologías de desalinización en los últimos 10 años, los costos de producción de las plantas de OI osmosis han probado una mejor relación costo-eficiencia, seguida por compresión de vapor (CV), destilación súbita por efecto *flash* (MSF) y electrodiálisis de alta temperatura (figura 1).

Se ha comprobado ya en varios países, que la ósmosis inversa puede funcionar con la energía del viento, ya que los requerimientos básicos de la misma son compatibles con las turbinas de viento que se han desarrollado durante los últimos 20 años (Unione *et. al.*, 1980; Habali & Saleh, 1995). Las energías renovables se han utilizado por los humanos desde tiempos remotos y conforme el tiempo pasa se siguen implementando nuevas tecnologías para hacerlas más competitivas y que sustituyan fuentes de energía no-renovables. Las fuentes de energía renovable y con reservas probadas en Baja California son la geotérmica, micro hidroeléctrica, biomasa, eólica, solar y mareal. El potencial de energía para varios de estos recursos ha sido estimado: geotermal (1,000 MW de reservas probados), solar (3.3-6.9 kWh/m²), eólica (100-250 W/ m²) y mareal (1,200 MW) (Huacuz, 1995). Aún a pesar de esta impresionante variedad de recursos existen muy pocos proyectos enfocados a su desarrollo para producir cantidades significantes de energía. La razón de lo anterior es el bajo costo de los combustibles fósiles comparados con los altos costos de capital inicial para la mayoría de los proyectos ya que nuestro país cuenta con una relativa abundancia de petróleo y gas y una escasez de capital (Hernández, 2001).

La energía eólica en particular, ofrece muchos beneficios para los lugares donde se tiene una buena tasa de vientos, ya que el aire es un producto inagotable y esta energía no contribuye a la contaminación de la atmósfera. Si se pudiera extraer el 10% de la energía global del viento, sería posible abastecer de energía los requerimientos básicos del planeta (Rodale, 1982). En el mundo, las plantas de energía eólica están en crecimiento, por las razones antes dichas y por que los costos han

bajado considerablemente como consecuencia del avance tecnológico para la fabricación de esta tecnología.

Para dar soporte al aerogenerador, es posible emplear un grupo electrógeno de hidrógeno como refuerzo para atender la demanda energética en los momentos de poco viento, procurando dejar otros grupos electrógenos (como el diesel) como elemento de apoyo extremo. La tecnología del hidrógeno se basa en el uso de este elemento químico como combustible limpio para generar energía eléctrica. El hidrógeno es un energético capaz de sustituir al petróleo y sus derivados en diferentes aplicaciones ya que es el elemento más abundante del universo y además es renovable. Sin embargo, no es una fuente primaria de energía, no es un combustible que se pueda extraer directamente, por ello, es necesario extraerlo de su fuente más común, el agua. El método para separar el agua en oxígeno e hidrógeno es la electrólisis, en la cual la corriente eléctrica fluye del cátodo al ánodo, y disocia la molécula de agua. Si la fuente generadora de electricidad también es renovable, la electrólisis no producirá emisiones contaminantes. En la actualidad esta técnica se encuentra todavía en desarrollo; países como Estados Unidos, Canadá, Japón y los países de la Unión Europea apuestan al hidrógeno como solución, y en consecuencia, destinan recursos financieros, públicos y privados, para su investigación y desarrollo tecnológico.

Existen diversas razones que hacen que la desalinización de agua de mar mediante el uso de energía renovable sea una aplicación atractiva para las zonas rurales de Baja California. García-Rodríguez (2002) opina que para la desalinización de agua en zonas aisladas es necesario implementar aquellos métodos que tiendan a ser menos complicados y en cierto modo autosuficientes. Añade que la operación y mantenimiento de sistemas impulsados por energía renovable son normalmente más sencillos que los de energía convencional; por lo tanto, son convenientes para zonas alejadas y son energía limpia que no emite gases a la atmósfera.

La península de Baja California en particular, es una región árida debido a la escasa precipitación pluvial que presenta y esto conlleva a una clara limitación de agua dulce, misma que se incrementa en las zonas rurales, donde se encuentra el 10% de la población, es decir, aproximadamente

270,000 habitantes (CNA, 2001). La mayoría de las comunidades rurales de esta región se encuentran aisladas y la disponibilidad de servicios públicos como el del agua se tiene extremadamente limitado; sin embargo, se cuenta con grandes cantidades de agua salada lo cual invita a explorar nuevas técnicas para esta necesidad esencial. En estas comunidades es necesario transportar el agua en barriles o en contenedores. El transporte del agua trae consigo altos costos tanto económicos como energéticos, además de que el servicio no es constante y la distribución del recurso es inequitativo. Por ello, la importancia de este estudio se enfoca a resolver un problema importante que es la escasez y el abastecimiento de agua dulce en comunidades rurales. El presente trabajo esta basado en el primer proyecto piloto en su tipo de la región, y las posibilidades de que este proyecto tenga un efecto multiplicador son reales. Un ejemplo, es el caso de Bahía de los Ángeles, donde ya se tiene un convenio entre el Gobierno Municipal, la compañía española PRENEAL, S.A., y la UABC para instalar una turbina eólica y un grupo electrógeno de hidrógeno que proveerán de electricidad a una planta desalinizadora de agua de mar y de esta manera abastecer de agua a estas poblaciones.

Mediante la desalinización de agua de mar se podría solucionar una parte importante de la problemática de escasez actual de agua potable en el mundo. La realidad actual es que 26 países sufren ya problemas de escasez (300 millones de personas) y las proyecciones para el año 2050 son mucho mas pesimistas, con 66 países afectados que concentran las 2/3 partes de la población mundial (Medina, 2000).

Antecedentes

Las técnicas de desalinización datan desde tiempos remotos; datos bíblicos afirman que el primer proyecto de desalinización fue por conducto de Moisés en el lugar de Mei Mara, en el desierto del Sinai, donde se afirma que introdujo un pedazo de madera en un recipiente con agua salada y el agua se desaló. 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, entre otros. Existen escritos que datan del siglo III después de Jesucristo y que describen aparatos para destilar agua mediante la condensación de vapor llamados alambiques (Einav *et. al.*, 2002).

Hasta bien entrando el siglo XIX no se podía hablar propiamente de una instalación desalinizadora de naturaleza estable. Fue precisamente cuando se instaló una planta de destilación solar en una explotación minera en las Salinas de Chile (Hodgkiess, Handbury, y Morris, 1993). Posteriormente, en el año de 1884 se fabrica por primera vez un evaporador para un barco aprovechando la energía residual del vapor de salida de su caldera, pero las primeras unidades fijas de importancia aparecen hasta la década de 1940. Estas primeras plantas eran de destilación de múltiples efectos con tubos sumergidos, en las que la seguridad de funcionamiento era mas importante que el costo de agua que producida (Arreguin, 1998). Durante la segunda guerra mundial, cientos de aparatos portátiles de desalinización fueron usadas por las tropas de varias armadas (Einav *et. al.*, 2002).

Concentrándonos en la evolución histórica mundial, la crisis de petróleo en 1973 fue determinante para que los países exportadores de petróleo, que además son los países con mayor escasez de agua, instalaran una gran cantidad de plantas desalinizadoras, lo que ha permitido el asentamiento definitivo de la población en estas zonas del planeta. En la actualidad, en lo que se refiere a distribución geográfica, la mayor capacidad de desalinización se encuentra instalada en el Medio Oriente: Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos y Kuwait disponen del 44% de la capacidad mundial total. Sin embargo, el número de plantas instaladas en estos tres países es sólo el 22% del total. La explicación a este hecho reside en el gran tamaño de las plantas instaladas en esa zona. Al mismo tiempo, Estados Unidos posee el mayor número de plantas (21% del total) aunque su capacidad es de solo el 15% de la capacidad mundial total, debido al pequeño tamaño que suelen tener las plantas instaladas en ese país (Zarza, 1998). Por su parte, en México, los esfuerzos por la desalinización tuvieron su lugar en la década de los setentas, periodo en el cual se construyeron 16 plantas de desalinización con apoyo de técnicos franceses dentro del programa "Tonatiuh" financiado por el

Gobierno Federal a través de la Secretaria de Salubridad y asistencia. Actualmente, por falta de continuidad, ninguna de las 16 plantas se encuentra en operación (Arreguín, 2000).

Para llevar a cabo cualquier sistema de desalinización se debe saber de antemano dos cosas fundamentales: 1) la demanda total de agua y 2) la salinidad del agua a desalinizar. Aunque existen diversos criterios para clasificar los diferentes procesos de desalinización, un modo útil y claro de clasificarlos es dividirlo en dos grupos:

- Procesos que implican un cambio de fase en el agua.
- Procesos que funcionan sin cambio de fases.

Entre los procesos que implican un cambio de fases están los siguientes: destilación en múltiple efecto (MED), *flashing* en múltiple efecto (MSF), congelación y compresión de vapor (VC). Los procesos que no realizan un cambio de fases incluyen: ósmosis inversa (OI) y electro diálisis (ED).

Generalmente, los procesos de desalinización más antiguos estaban relacionados con el fenómeno de la evaporación, sin embargo, la dependencia energética primaria de ese tipo de plantas y su alto consumo motivó a la búsqueda de otras alternativas en el mundo de la desalinización, como las membranas. La primera experiencia de membranas con rechazos reales de sales aceptables para la desalinización fue 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 la década de los 70 el material de las membranas se sustituye por poliamida aromática que aumentaba el rechazo hasta el 99%; la primera membrana de este tipo para agua de mar data de 1972. A partir de esta fecha, la búsqueda de nuevos materiales ha contribuido a evitar de forma considerable los problemas derivados de la operación de las mismas así como disminuir la presión mínima necesaria para la obtención del permeado. Finalmente, en la década de los 90 los procesos de evaporación siguieron pesando considerablemente en el Medio Oriente, pero en el resto del mundo la ósmosis inversa fue el proceso predominante (Valero, 2001). En el año 2000, la

tecnología de ósmosis inversa fue usada para tratar más de 2 billones de agua al día. Se espera que este mercado siga creciendo durante la primera mitad del siglo XXI (El- Dessouky, 2002).

El sistema de OI es quizá el método más sencillo para desalar y que parece acercarse a los mejores rendimientos energéticos. El sistema toma su nombre por realizar el paso de las soluciones en forma contraria a los procesos osmóticos normales. El proceso de OI se basa en las propiedades de las membranas semipermeables de dejar pasar con más facilidad el agua dulce que el agua salada. La presión necesaria para la OI depende de la cantidad de sólidos disueltos y del grado de desalinización que se quiera obtener, el agua de mar en particular, se conforma normalmente por los mismos compuestos pero en diferentes proporciones para todos los océanos, fluctuando entre salinidades de 30 ppm a 45 ppm (partes por mil) en mares cálidos. Por ello, dependiendo del tamaño de la planta, de las características físicas y biológicas del agua, y de la calidad requerida para su uso, la instalación de una planta de ósmosis inversa será simple o compleja, ya que de ello dependerán los equipos auxiliares de tratamiento que se necesiten.

En el Mundo durante los últimos años, las técnicas de desalinización mejoraron decisivamente; simultáneamente los costos se redujeron de manera sostenida. El punto de partida tecnológico fue el desarrollo de una turbina de recuperación de energía (*Pressure Exchanger*), que desde 1998 es utilizada en plantas desalinizadoras de OI. Gracias a esto, el requerimiento de energía pura para la elaboración de 1 m³ de agua potable se pudo reducir a la mitad, a 3 KWh. En localidades con buenas condiciones de viento se recomienda la instalación de turbina eólicas simultáneamente. En este caso, la desalinización del agua es compatible con el medio ambiente (www.gtz.org.mx/cim/cna02.htm, se actualiza diariamente).

Se ha probado ya en varios países, que la OI puede funcionar con la energía del viento, ya que los requerimientos básicos de la misma son compatibles con las turbinas de viento que se han desarrollado durante los últimos 20 años (Unione *et. al.*, 1980; Habali & Saleh, 1995). Radhwan (1994) investigó el potencial de la energía del viento en áreas remotas de Arabia Saudita e indicó que puede ser viable económicamente colocar una pequeña turbina (2-6 Kw) en áreas remotas, y que la energía

producida es posible utilizarla para hacer funcionar pequeñas unidades de ósmosis inversa con el fin de desalinizar agua.

La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas. En la actualidad se utiliza, sobre todo, para mover aerogeneradores; los aerogeneradores son generadores eléctricos que transforman la energía mecánica del viento en energía eléctrica. La fuerza del viento hace girar unas palas que van acopladas al eje del generador, produciendo energía eléctrica que también puede ser almacenada en acumuladores eléctricos.

A finales de los 70s, los Gobiernos de Estados Unidos, el Reino Unido, Canadá, Holanda, Dinamarca, Alemania, Francia e Italia, patrocinaban investigación y desarrollo de aerogeneradores para interconectarse a la red eléctrica. La generación eléctrica a gran escala con energía eólica es la tecnología de energías renovables que tiene mayor tasa de crecimiento anual, está en el orden del 30%. Para finales del 2005 prácticamente se tenían en el mundo 50 MW gracias a este medio (Caldera, 2006). En la Unión Europea, el sector de la energía eólica ha crecido de manera importante en los últimos años. Actualmente, la industria eólica europea encabeza el mercado mundial, tanto por lo que hace referencia a su nivel tecnológico, como al volumen de producción, que representa el 50% del mercado internacional. Los tres países líderes en producción de energía eólica en el mundo (Alemania, EEUU y España) añadieron en 1999 unos 2.600 MW de nueva capacidad y contabilizaron casi el 64% del total de aumentos mundiales del año. A finales de 1999, estos tres países también poseían aproximadamente algo más del 60% de la capacidad energética eólica mundial: Alemania aumentó su producción con 1.200 MW al año; Estados Unidos logró generar 905 MW ese mismo año; y España aumentó su producción con 650 MW de nueva capacidad (www.ambientum.com/enciclopedia/energia/4.01.18.11/4.01.18.11.htm, se actualiza diariamente). En lo que respecta a capacidad instalada, para finales de 1997 a nivel mundial se tenían instalados alrededor de 7,700 MW.

En México, el desarrollo de la tecnología de conversión de energía eólica a electricidad, se inició con un programa de aprovechamiento de la energía eólica en el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) en febrero de 1977. Actualmente se cuenta con la central eólica de la Ventosa en Oaxaca, operada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), con una capacidad instalada de 1.5 MW y una capacidad adicional en aerogeneradores, según el Balance nacional de energía de 1997, de alrededor de 2.4 MW (www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_612_energia_eolica, última actualización: 24/10/2005).

En la actualidad, ya se ha comenzado a utilizar la energía eléctrica generada por los aerogeneradores para producir hidrógeno a partir del agua. De esta forma la energía del viento puede almacenarse en forma de tanques de hidrógeno y usarse sólo cuando haga falta, es decir, cuando no haya viento de modo que a la red eléctrica abastecida por energías renovables tendría energía ya en todo momento. A esto de la eólica se le sumarán en el futuro el resto de renovables para producir el hidrógeno que no sólo se emplearía para alimentar la red eléctrica sino que se podrá exportar a otros lugares como cualquier otra mercancía, para suministrar energía a medios de transporte, casas, fábricas, etc.

La tecnología del hidrógeno se basa en el uso de este elemento químico como combustible limpio para generar energía eléctrica o térmica. Su gran ventaja medioambiental radica en la reducción de emisiones contaminantes de CO₂, óxidos de nitrógeno y azufre, no consume recursos naturales y es abundante en el universo.

La fuente más común de hidrógeno es el agua. Se obtiene por la separación del agua en oxígeno e hidrógeno, esta reacción no se produce espontáneamente. Para que tenga lugar, es necesario aportar energía mediante la acción de una corriente eléctrica generada en este caso por un aerogenerador. El proceso realizado se denomina electrólisis, proceso por el cual la corriente eléctrica pasa a través de una sustancia para producir un cambio químico. En la electrólisis del agua se obtienen hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂) en estado gaseoso, según la siguiente reacción:

El hidrógeno obtenido puede ser comprimido y almacenado en tanques por varios meses hasta que se le necesite. El hidrógeno representa energía almacenada, se puede quemar como cualquier combustible para producir calor, impulsar un motor, o producir electricidad en una turbina. Lo novedoso de esta tecnología es que la producción de hidrógeno es realizada a partir de fuentes de energías renovables. La energía del hidrógeno es un vector energético, inicialmente se producirá utilizando los sistemas energéticos existentes basados en distintos vectores y fuentes primarias convencionales. A plazo más largo, las energías renovables se convertirán en la fuente más importante para la producción de hidrógeno. La tecnología de la celda de combustible, que utiliza el hidrógeno para producir electricidad y agua, ha avanzado rápidamente, y ya tiene uso en la industria automovilística. Países y compañías aumentan la inversión en tecnologías para extraer energía del hidrógeno, ya que creen que la economía del futuro funcionará gracias a este elemento no contaminante.

La compañía japonesa *Toyota* anunció que a partir de 2003 comenzará a vender en el mercado de Japón un automóvil dotado de la celda de combustible. Alemania también es un líder mundial en la construcción de prototipos de vehículos con celdas de combustible y estaciones de abastecimiento de hidrógeno. *General Motors* aspira a ser la primera compañía en vender un millón de automóviles con celdas de combustible y planea comenzar la producción en masa para el 2010. En junio anunció que ha invertido en dos compañías especializadas en el almacenamiento y el transporte de hidrógeno. *Texaco* también realiza fuertes inversiones en la tecnología de almacenamiento de hidrógeno. La firma petrolera tiene en su poder aproximadamente 70 por ciento de las plantas de producción de todo el mundo (www.tierramerica.net/2001/0805/noticias1.shtml, última actualización: 2001).

En México, ya existen antecedentes para su uso como fuente generador de energía eléctrica. El Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) cuenta con un laboratorio de desarrollo, generación y evaluación, por su parte, el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) también cuenta con un programa institucional del hidrógeno, lo cual motiva a que se den proyectos pilotos, como el que se pretende realizar en Bahía de los Ángeles.

Área de Estudio

Se eligió la comunidad rural de Bahía de los Ángeles, situada en el Mar de Cortés en el sur del Estado de Baja California (ver Figura 2) por estar considerada como la población detonante del desarrollo de la región sur del estado en el actual Plan de Desarrollo Municipal. Asimismo, esta localidad cuenta con el número de habitantes más alto (aproximadamente 1500, declarado por los habitantes de la misma) de la región sur (aunque INEGI reporta sólo 780). Bahía de los Ángeles está situada a los $28^{\circ}57'46''\text{N}$ de latitud y $113^{\circ}29'48''\text{W}$ de longitud.

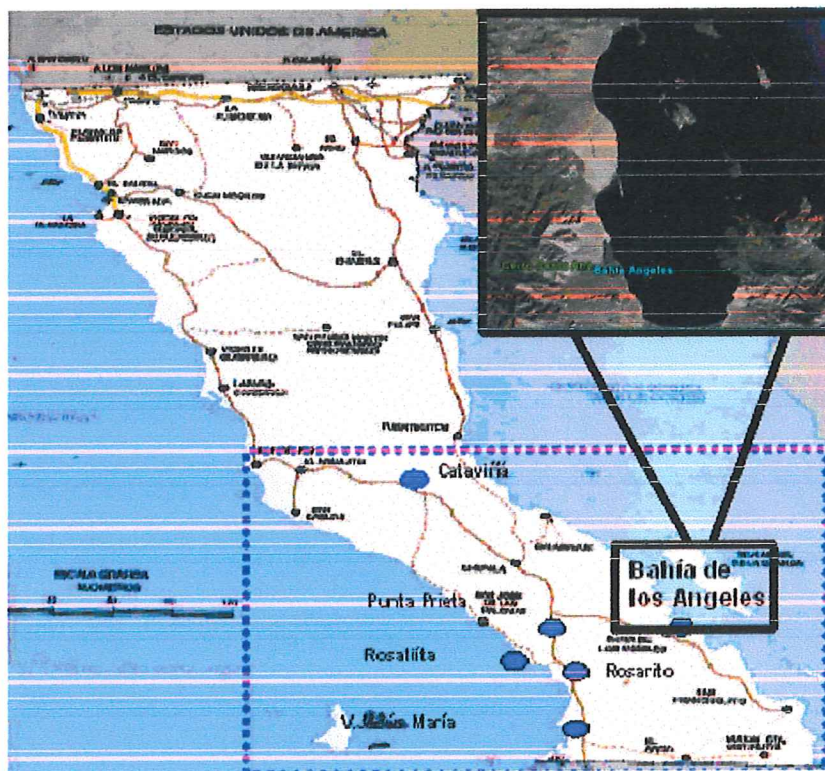


Figura 2. Localización del área de estudio.

La bahía está conformada por una angosta playa respaldada por islas y montañas de origen volcánico. Las principales actividades económicas de esta comunidad son la pesca y el turismo. Cabe señalar, que el ingreso de la población, por parte del turismo, sería mayor si en la localidad se tuviera el abastecimiento continuo de energía eléctrica y agua potable.

Existe un limitado suministro de agua potable extrapolado a un pozo, el agua es bombeada y transportada 12 km para que llegue al pueblo. El servicio es, en general, deficiente. Por otra parte, la electricidad es suministrada parcialmente a la comunidad por un motogenerador a diesel que normalmente está en servicio de 6:00 am a 12:00 pm.

Objetivo General

Evaluar el uso de la energía eólica, con soporte de un electrógeno de hidrógeno, como fuente generadora de electricidad para desalinizar agua de mar y abastecer de servicios a la comunidad de Bahía de los Ángeles, BC, México.

Objetivos Particulares

- 1) Analizar la actual problemática de abastecimiento de agua potable y electricidad en la comunidad de Bahía de los Ángeles, BC, México
- 2) Identificar las distintas tecnologías de ósmosis inversa (OI), aerogeneradores y grupos electrógeno de hidrógeno existentes, con el objetivo de evaluar aquellas que podrían operar en la comunidad.

- 3) Describir el proceso de generación de electricidad por medio de los recursos eólico e hidrógeno, y evaluar la combinación de estas tecnologías para el abastecimiento de una planta desalinizadora de agua de mar.
- 4) Evaluar el diseño y competitividad de la planta, con base en la cantidad y calidad de agua que pueda producir, el consumo eléctrico requerido para que esta opere.
- 5) Identificar y proponer los sitios para la instalación de la planta aerogenerador de electricidad y la desalinizadora, con base a los planos de riesgos e infraestructura que existe para la comunidad y con base en el recurso eólico regional.
- 6) Identificar las soluciones para contrarrestar el impacto ambiental.

Hipótesis

La región sur de la península de Baja California sufre de limitado acceso a servicios de agua potable y electricidad, pero cuenta con los recursos energéticos necesarios para generar electricidad mediante el uso de viento y el hidrógeno, así como para que, a partir de los mismos, se pueda operar una planta desalinizadora de agua de mar que pueda abastecer de agua potable a la comunidad de Bahía de los Ángeles, Baja California, México.

Metodología

En el área disciplinaria del Manejo de los Recursos Naturales no siempre es posible diseñar y controlar experimentos en sistemas cerrados (que no interactúen con el medio ambiente); muy frecuentemente es necesario enfrentar el problema científico con los aspectos técnicos, políticos y sociales (Quintanilla-Montoya, 1999). La metodología a seguir en el presente trabajo está enfocada en los requerimientos específicos de las tecnologías y de la población para así poder evaluar el potencial y emplear las herramientas necesarias para resolver la problemática de carencia de servicios y abastecer de agua en comunidades rurales.

Para poder proponer nuevas ideas que ayuden a mejorar la calidad de vida de una población rural en cualquier aspecto (en nuestro caso suministro de agua potable y electricidad), es fundamental identificar en que situación atraviesa la comunidad en la actualidad, para así, poder realizar una evaluación y hacer los estudios necesarios conforme a sus necesidades. Basándose en datos obtenidos mediante encuestas y entrevistas con los habitantes de la comunidad; en documentos publicados de la región por instituciones gubernamentales, y en resultados de trabajos previos realizados por Hernández (2001) y por Hernández (2004), se obtuvieron datos de las problemáticas que se tiene en la comunidad de Bahía de los Ángeles en cuanto al abastecimiento de agua potable y energía eléctrica. La información recopilada de la comunidad actualizada e incluyo todos los sectores de la población, para que además de obtener información acerca del número de habitantes, cuotas y fuentes de abastecimiento, identificar los usos, consumos y las problemáticas que tubo cada sector. Una vez conociendo los datos de la población, se pudo hacer un análisis más específico de sus requerimientos y se calculo la producción necesaria para abastecer a la planta y así cumplir con la demanda de agua y electricidad de la población.

Antes de tomar alguna decisión sobre la instalación de una planta de ósmosis inversa se debe considerar detenidamente la fuente de suministro de agua de mar. Este paso es importante por que la calidad del agua de mar tiene una gran repercusión sobre la intensidad, costo y dificultad de pretratamiento que requiere dicha agua antes de poderla alimentar a las membranas de ósmosis inversa. El concepto básico es que, aunque la ósmosis remueve la sales del agua, así como algas, moluscos, bacterias, virus, etc., no es conveniente alimentarle a las membranas agua contaminada con materia que las pueda ensuciar (Arreguín, 1998). El desempeño de las membranas tiende a verse afectado con el tiempo debido a la combinación del ensuciamiento irreversible y la degradación del polímetro. La vida de las membranas se ha alargado pero sigue siendo relativamente corta, típicamente 5 años, sin embargo, algunas son usadas por mucho más tiempo, pero con tasas de producción más bajas y/o con un deterioro en la calidad del producto (Handbury, 2003). Debido a que las membranas son sensibles a daños y a que cada sistema de membranas tiene su manera de operar, se realizo un análisis de las especificaciones tecnológicas de distintos sistemas de ósmosis inversa y se determino cuál de ellos

producía el mayor volumen de agua con el menor requerimiento energético. Para tal fin, se hizo una búsqueda en los bancos de información de las compañías que las fabrican en el mercado actual para considerar aspectos como la calidad del agua a tratar, costos, facilidad de uso, producción, disponibilidad y requerimientos energéticos

Existen varios estudios que prueban la factibilidad de uso del recurso eólico en la región, ya que en la península se presentan valores que van desde 4.1 hasta 8.4 m/s. Estos valores equivalen a un intervalo entre 75 y 250 W/m² (NREL, 2003; Quintanilla-Montoya, 2003). Quintanilla-Montoya-Montoya (1999) reporta que para un promedio de velocidad anual de 5.5 m/s, suponiendo que el recurso se encuentre disponible el 70% del año y que las aspas de la turbina abarcaran un diámetro de 7 m, se generarían 129 kWh/mes, y utilizando diámetros de aspas de 14 y 20 m, se obtendría una generación de 643 kWh/mes y 1,574 kWh/mes respectivamente, pero, en el presente se sabe que las velocidades promedio anuales se encuentran alrededor de 6.7m/s. Para producir energía eléctrica a partir del viento se requiere de un generador eólico; la cantidad de energía teórica que es posible producir se obtiene multiplicando la cantidad de energía que la turbina puede producir para una determinada rapidez del viento (dato proporcionado por el fabricante), por la probabilidad de ocurrencia del viento estimada asociada a dicha rapidez (Gómez, 1999). Otro factor que influye en la cantidad de energía que es posible generar son las características del propio generador eólico, por lo que se obtuvo información de las compañías fabricantes acerca de la rapidez a la cual comienzan a girar las aspas, rapidez a la cual la turbina comienza a enviar energía eléctrica y la cantidad energía máxima que puede producir el aerogeneradores.

Un método generalizado para obtener energía del hidrógeno consiste en una química separación del agua en oxígeno e hidrógeno a partir de una corriente eléctrica (electrólisis), posteriormente almacenar el hidrógeno obtenido en forma de gas y producir energía eléctrica a partir del hidrógeno (pilas de combustible). La tecnología de la electrólisis disponible en el mercado actual es una tecnología comprobada y su proceso industrial es perfectamente entendido. La electrólisis es la manera más conveniente para producir hidrógeno de gran pureza a partir de energías renovables. El almacenamiento del hidrógeno es una práctica común en la industria, donde funciona de manera segura

y presta el servicio deseado. Además, el hidrógeno puede ser almacenado fácilmente a gran escala en depósitos o en cavernas subterráneas.

El estudio de la eficiencia del sistema se hizo con base en la capacidad para producir energía, la cantidad y calidad del agua desalada. Para conocer el volumen de agua que la planta puede producir, es necesario saber el número de horas que esta puede operar y el requerimiento energético del sistema. En casi todas las tecnologías de desalinización, el consumo de energía no depende de la salinidad del agua salvo en la de ósmosis inversa, en este proceso el factor de salinidad es vital para el óptimo desempeño de la planta (Marcel, 2004). El consumo eléctrico específico de una instalación de ósmosis inversa es el menor de los estudiados hasta ahora (6-8 kWh/m³), pero se puede aprovechar la energía contenida en la salmuera rechazada a alta presión para bajar esta cifra hasta por debajo de 3 kWh/m³ (Valero, 2001). La capacidad de producción varía de 25,000 a 60,000 l/m²/d; instalaciones típicas de sistemas de ósmosis inversa pueden separar el 98% de las sales en concentraciones de SDT hasta de 3,000 mg/l y flujos de 24 l/m²/d (Arreguín, 1998). El pretratamiento es necesario para el adecuado funcionamiento de la planta desalinizadora, la calidad del agua obtenida es apta para el consumo humano tan sólo con un pequeño postratamiento en algunos casos.

La selección del sitio óptimo para instalar el generador eólico es de vital importancia para el mayor aprovechamiento del recurso eólico. En el océano prevalece un patrón regular del comportamiento del viento debido a la regularidad de la superficie de el océano, pero cuando el viento llega a tierra este patrón pierde uniformidad, ya que el suelo actúa como freno y dependiendo de la topografía costera y de la orientación de la línea de costa el comportamiento del viento será de una u otra manera. Debido a lo anterior se tomara como base el mapa realizado por Rojas Caldelas de Bahía de los Ángeles (Rojas, 2004 en Quintanilla-Montoya-Montoya 2007 en prensa), donde se muestran las características geomorfológicas y la distribución de la población en Bahía de los Ángeles. También se tomará en cuenta el recurso eólico, es decir, hacer los estudios pertinentes de los distintos sistemas de vientos que se puedan presentar en la región y calcular la intensidad, magnitud y dirección de los mismos para ver el sitio donde el viento sopla con mayor frecuencia. Los datos del viento fueron registrados en una estación metereológica de la marca *Aanderaa Instruments*, antena autónoma automática con capacidad

de registro de hasta 11 sensores, el sistema funcionó con sensores para registrar presión atmosférica, así como rapidez y dirección del viento durante intervalos de 30 minutos, y la dirección del viento fue corregida por la desviación magnética y presenta el norte verdadero. La estación meteorológica se ubicó en los 28°58' de latitud N y los 113°35' de longitud O, al norte de la Bahía, sobre las montañas a una altitud de 130 m y libre de cualquier obstáculo físico que pudiera interferir en las mediciones. Con estos datos se obtuvo lo que se llama la rosa de los vientos, es decir, una representación gráfica del porcentaje de tiempo en el que el viento proviene de una determinada dirección. La rosa nos indica la dirección predominante del viento y, por lo tanto, la orientación que debiesen tener los aerogeneradores de manera que puedan captar la máxima energía del viento procurando evitar obstáculos delante del aerogenerador en la dirección predominante, tales como elevaciones del terreno, árboles, construcciones, otros aerogeneradores, etc. La disposición más habitual es situar alineaciones de aerogeneradores en dirección perpendicular a la dirección del viento predominante, obtenida de la rosa de los vientos (www.preneal.es). Dado que la zona costera en estudio se caracteriza por ser desértica, la diferencia entre los valores específicos del calor de la tierra y el mar asegura la formación del sistema de brisas. El comportamiento de los vientos asociados a los sistemas de brisas depende de las características geomorfológicas y termodinámicas de la localidad y parcialmente de los vientos de escala sinóptica, la representación hodográfica mensual en el dominio del tiempo nos proporcionara información sobre la rapidez y dirección promedio del viento a cada hora del día, durante el mes, y permite identificar el efecto de los vientos con escala sinóptica (Delgado-González, 1994).

El impacto ambiental asociado a la instalación de una planta desalinizadora es debido principalmente a la fase de construcción, al pretratamiento del agua y la tecnología utilizada para desalarla, al vertido de la salmuera y de los métodos de limpieza utilizados en la planta. Todos estos factores pueden afectar a la flora y fauna de la localidad y repercuten negativamente en la zona costera dependiendo de donde se realice la descarga de los residuos (tierra firme o mar). Sólo en el caso de que la energía eléctrica utilizada en el proceso desalinizador sea de origen renovable, no debe asignarse impacto en la calidad del aire al proceso desalinizador, aun así, las energías renovables presentan un impacto ambiental menor y por ello se realizó una evaluación preliminar y se mitigaron dichos impactos negativos como el impacto sobre la flora, fauna y patrimonio, y el impacto visual y auditivo.

RESULTADOS

I. Situación En Bahía De Los Ángeles.

-Servicio de abastecimiento de Agua Potable.

El agua es suministrada a través de un pozo conocido como “agua amarga”, los residentes de la localidad opinan que el agua que se suministra es de mala calidad (muy salada). Este pozo esta integrado a una red de tuberías del poblado, sin embargo, este suministro no cumple con las necesidades de las personas ya que el servicio no es continuo (una o dos veces a la semana y por pocas horas) y la instalación de la tubería es sobre la superficie y cercana a la carretera por lo cual se ve fracturada constantemente interrumpiendo el abastecimiento del vital liquido. Las personas que no están conectadas a las tuberías se ven en la necesidad de comprar agua en otro pozo llamado el “aguaje”. Las personas opinan que les conviene comprar el agua en el “aguaje” debido a la escasa cantidad que se les bombea del pozo agua amarga. Una limitante mas se da en la época de verano, donde se les raciona de 3 a 4 barriles de 200 lts por familia al día. El costo del agua esta en función de la forma de traslado, de tal manera que para las personas conectadas a la tubería se les cobra una cuota de 60 pesos mensuales por el servicio que es irregular, y las personas que compran agua en el aguaje pagan 4 pesos el tambo de 200 lts (20 pesos el m³). Por otra parte, los comercios y hoteles de la comunidad cuentan con medidor y se les cobra una cuota de \$5.5035 por metro cúbico.

Los usos que le dan al agua en la comunidad son los básicos: consumo y aseo personal, lavado de ropa y limpieza de la vivienda. Se destaca que existen diferencias en el consumo de acuerdo a la época del año, teniendo en verano un incremento del 100% en el consumo. Marcel Hernández (2004) encontró que en verano existe un consumo promedio por familia de 632 lts/día, lo que se traduce a un promedio anual de la comunidad de 31,682 m³. Cabe destacar que el promedio anterior corresponde a un valor de 124 lts/día por habitante, lo cual, según la CESPE este volumen esta muy por debajo de los litros de agua que cualquier persona requiere para sus necesidades diarias (250 lts). Los promedios presentados anteriormente, fueron calculados para una población de 700 habitantes, cifra que reporta

INEGI en su censo del 2000. Debido a la ascendente tasa de crecimiento poblacional superiores al 3% y al número de emigrantes americanos, actualmente se calculan 1,500 habitantes aproximadamente, con alrededor de 300 viviendas donde habitan de 4 a 5 personas por casa. Poniendo en contexto el nuevo número de habitantes, sería necesario desalinizar 186 m^3 al día para cumplir con las demandas de agua potable de la población.

-Abastecimiento del Servicio Eléctrico.

Actualmente existen diferentes opiniones por parte de la población acerca de proyectos donde se desea unir a Bahía de los Ángeles con la red eléctrica estatal, ya que esta situación podría ser contraproducente para el caso de Bahía de los Ángeles debido a que además de la pesca, el turismo es uno de los principales ingresos de la población por que se cuenta con una gran reserva de la biosfera (Valle de los Cirios) y por la presencia del tiburón ballena durante la mayor parte del año, las cuales podrían verse afectadas por las energías convencionales que estos proyectos planean instalar. Por el momento, la electricidad es suministrada parcialmente a la comunidad por un generador Diesel de 270 kW que generalmente trabaja de 6 de la mañana a 12 de la noche. Cabe señalar que además de ser caro, el servicio es muy problemático debido a las fallas del generador y a la falta de combustible ya que no se cuenta con suministro de gasolina en el poblado.

Los principales usos de electricidad de la comunidad son la iluminación de casas y la alimentación de aparatos electrodomésticos. El costo promedio de un Kilowatt es de \$3.05 para uso doméstico y de \$3.6 para los comercios, cada familia consume entre \$200 y \$400 pesos mensuales por el servicio de electricidad, lo que se traduce en un consumo de 64 a 129 kW hr mensuales respectivamente, pero existen casos en los que se registran gastos de \$800 pesos mensuales por habitación lo que representa un consumo de 258 kW hr mes; por otro lado, algunos hoteles cuentan con su propio motogenerador, estos hoteles tienen un promedio mensual de gasto que a de los 4,000 a los 5,000 pesos, lo que se traduce en un consumo de 1,290 a 1,615 kW respectivamente (Hernández, 2001). Los resultados anteriores son sólo promedios mensuales para usos domésticos de cada familia y comercios, si los resultados se traducen a los 300 hogares y a los 260 kW hr mes que es el consumo

máximo de algunas familias se necesitarían generar aproximadamente 78,000 kW al mes, a esto si se le suman los cerca de 40 comercios y suponiendo que estos consuman 1,500 kW al mes se necesitarían generar tan sólo para los comercios 60,000 kW mensuales, lo que se traduce a un consumo mensual de 138,000 kW al mes. Por ello se ha sugerido instalar un aerogenerador de 1MW de potencia y un grupo electrógeno de hidrógeno de 60 kW (Quintanilla-Montoya) para dar referencia de tensión al aerogenerador y como refuerzo para atender el consumo eléctrico de la comunidades durante los momentos de poco viento, procurando dejar el uso del actual grupo electrógeno Diesel como elemento de apoyo extremo.

II. Selección Del Sistema Óptimo.

Se consultaron distintas compañías fabricantes de generadores eólicos y plantas desalinizadoras, de las cuales se obtuvieron los datos técnicos de distintas tecnologías de OI y de aerogeneradores (Tabla 1 y 2). Para seleccionar el sistema óptimo de una manera más analítica se evaluaron los sistemas con base en el método ASPID (*Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency*) desarrollado por el Prof. N.V. Hovanov (Afgan, 1999).

Tabla1. Fabricantes de turbinas eólicas

Fabricante	Diámetro del Rotor (m)	Velocidad de Arranque (m/s)	Velocidad Media (m/s)	Velocidad de Corte (m/s)	Potencial Nominal (kW)
Ecotecnia	62	3	14	25	1300
Enercon	44	3	16	27	905
Gamesa					

G52	52	4	16	25	850
G58	58	3	16	21	850
General					
Electric	70.5	4	13	25	1500
M. Torres					
TWT					
1,650/70	70	5	12	25	1650
TWT					
1,650/78	78	5	11	25	1650
Repower					
Systems	77	3.5	12.5	20	1500
WinWinD	60	3	12.5	20	1000
Acciona	77	3	11.8	18	1500
Siemens	62	4	13	25	1300

Tabla2. Fabricantes y datos técnicos de distintos sistemas de OI.

Fabricante	Agua a Tratar (ppm)	Producción (m3/dia)	Consumo Energético Kwh/m3	Importe (USD)
Desalación de México	36.000	360	2.16	287.500
<i>Applied Membranes Inc.</i>	36.000	350	2.71	248.564
<i>Severn Trent</i>	36.000	350	2.8	219.389
Grupo Agua de Mexico S.A de C.V	36.000	350	8.94	272.235
Asesoría y Coordinación	36.000	350	7	321.600

Ambiental S.A de C.V

HOH-USA & Carib Ltd.	36.000	500	2.8	268.750
<i>Aqua Lyng</i>	36.000	350	2.9	320.658
<i>Lifestream</i>	36.000	500	2.5	403.200
<i>Nascor</i>	36.000	359	2.49	198.602
<i>Sea Recovery</i>	36.000	333	2.85	282.136
<i>IDE Technologies Ltd.</i>	36.000	350	2.8	770.000
Ecoservicios de Occidente	36.000	490	2.8	396.038

En el método ASPID, se asume que un sistema $X = \{x^{(j)}, j=1, \dots, k\}$ las opciones de k son fijas. En nuestro caso hay 12 opciones (fabricantes) de planta de desalinización ($k = 12$) y 11 de los generadores eólicos ($k = 11$): $x^{(1)}$ opción 1, $x^{(2)}$ opción 2, $x^{(3)}$ opción 3, etc. Cada opción $x^{(j)}$ se identifica con un vector $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$. La componente $x_i^{(j)}$ del vector $x^{(j)}$ se trata como valor de una inicial x_i de la opción $x^{(j)}$. En nuestro caso inicial los atributos son 4 indicadores de la sustentabilidad de la planta desalinizadora: (x_1) agua a tratar, (x_2) producción, (x_3) consumo y (x_4) importe. Mientras que para los aerogeneradores son 5: (x_1) diámetro del rotor, (x_2) velocidad de arranque, (x_3) velocidad media, (x_4) velocidad de corte y (x_5) potencia nominal.

Así pues, el vector $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$ se puede tratar como un valor del atributo-vector $x = (x_1, \dots, x_m)$. Se supone que cada uno indica si x_i es necesario y si el atributo-vector completo x es suficiente para una calidad fija de la definición de la opción. En el contexto de tomar una decisión la calidad bajo consideración puede ser identificada por la preferencia a elegir de un tomador de decisiones (criterio personal). Una calidad fija de la opción $x^{(j)}, j = 1, \dots, k$, es definida por el criterio q_i, \dots, q_m cada uno de ellos son una función de un indicador correspondiente: $q_i = q_i(x_i), i = 1, \dots, m$.

Un valor $q_i^{(j)} = q_i(x_i^{(j)})$ de un nivel de calidad (índice de preferencia) de la opción j -th desde el punto de vista de i -th criterio específico (criterio personal). Sin la pérdida en generalidad puede ser supuesto que todos los criterios específicos están normalizados, es decir, cualquier criterio (ponderación) q_i resuelve la desigualdad $0 \leq q_i \leq 1$. Como esta correlación toma lugar en el valor mínimo

$q_i^{(i)} = 0$ del criterio i -th se correlaciona con un objeto $x^{(i)}$, que tiene grado mínimo de preferencia (desde el punto de vista i -th), y el valor máximo $q_i^{(i)} = 1$ con una opción $x^{(i)}$ que tiene grado máximo de preferencia (desde el mismo punto de vista). Así pues, todas las opciones $x^{(i)} \in X$ consiguen un indicador multicriterio $q^{(i)} = (q_1^{(i)}, \dots, q_m^{(i)})$, $0 \leq q_i^{(i)} \leq 1$, que se puede tratar como un valor del vector-criterio $q = (q_1, \dots, q_m)$.

Una vez siguiendo todos los pasos del método ASPID se procedió a calcular los índices de preferencia para cada sistema de cada compañía, todos los cálculos se realizaron en hojas de cálculo de Microsoft Excel® y se presentan en el Anexo I. Los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 3 y 4 donde se observa el sistema que resultó ser más eficiente con base en todos los criterios y sus respectivas ponderaciones.

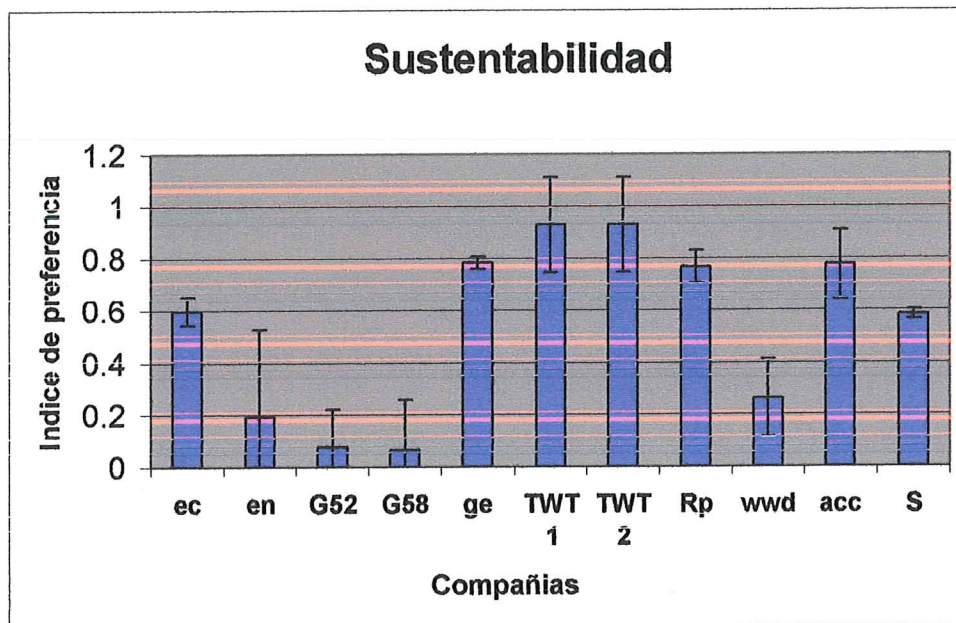


Figura 3. Compañías de Aerogeneradores vs. Índice de Preferencia

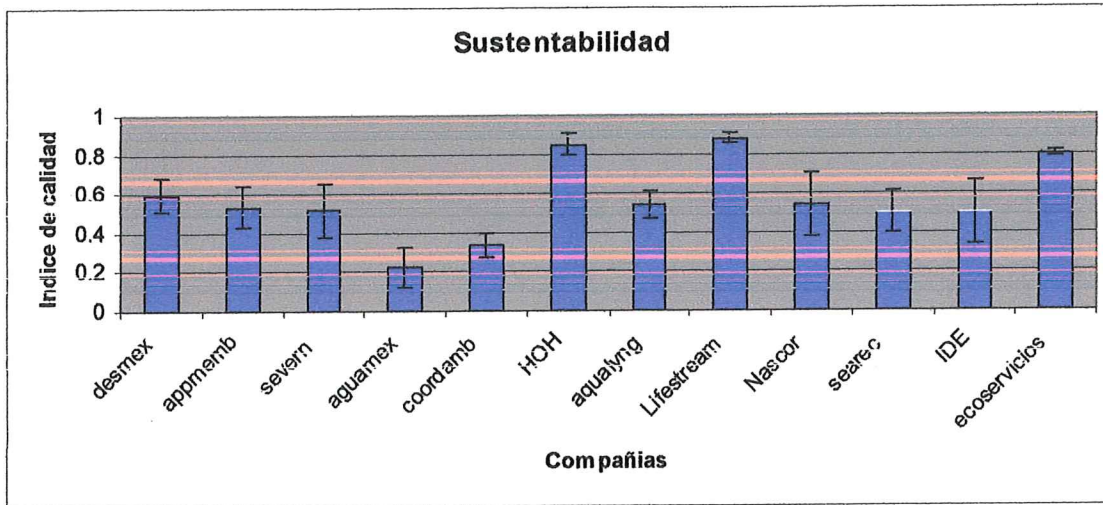


Figura 4. Compañías desalinizadoras vs. Índice de preferencia.

III. Proceso De Generación.

El primer proceso que ocurre en el sistema una vez acoplado se da en el aerogenerador (Figura 5), este se encarga de convertir la energía cinética del viento en energía mecánica. El viento hace girar las aspas, que a su vez hace girar un eje principal, cuyo rotor está conectado al multiplicador con un generador para crear electricidad (Figura 6). La corriente que sale es corriente directa, es decir los electrones fluye en una dirección solamente. La mayoría de las rejillas eléctricas en el mundo son rejillas de la corriente alterna, una razón de usar la corriente alterna es que es más sencilla la transformación. El inversor sirve para transformar la corriente continua en la corriente alterna, la electricidad se envía a través de líneas de la transmisión hacia el ciclo del hidrógeno o bien directamente a la planta desalinizadora. (http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/wind_how.html#inside, última actualización: 05/10/2007.)

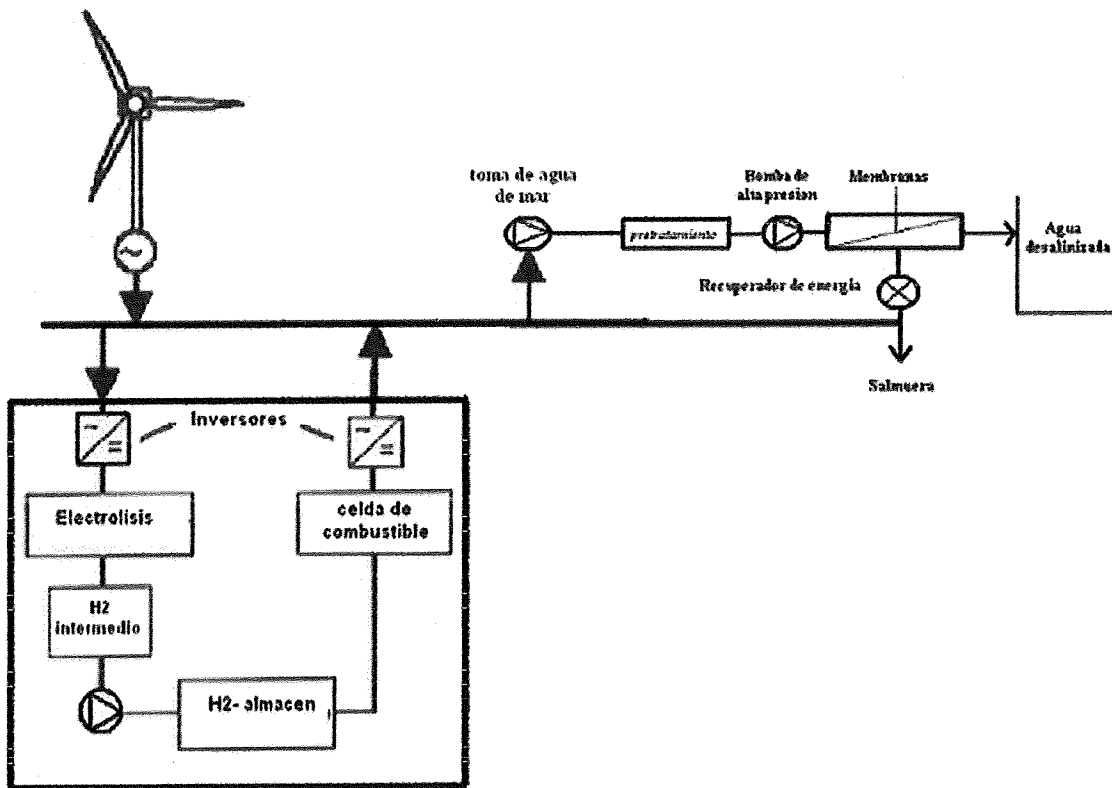


Figura 5. Diseño generalizado de un sistema tipo acoplado.

El primer proceso que ocurre en el sistema una vez acoplado se da en el aerogenerador (figura 5), este se encarga de convertir la energía cinética en el viento en energía mecánica, el viento da vuelta a las palas, que hacen girar un eje principal, el rotor está conectado con el multiplicador y hacen girar un generador para crear electricidad (figura 6). La corriente que sale es corriente directa, es decir los electrones fluye en una dirección solamente. La mayoría de las rejillas eléctricas en el mundo son rejillas de la corriente alterna, una razón de usar la corriente alterna es que es más sencilla la transformación. El inversor sirve para transformar la corriente continua en la corriente alterna, la electricidad se envía a través de líneas de la transmisión hacia el ciclo del hidrógeno o bien directamente a la planta desalinizadora.

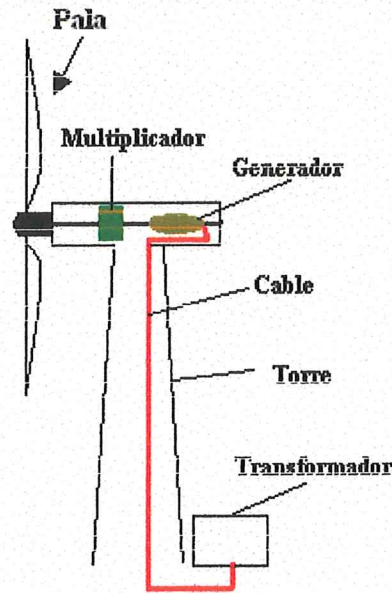


Figura 6. Componentes principales de una turbina eólica.

Debido a que la separación del hidrógeno y el oxígeno no se produce espontáneamente, es necesario aportar energía eléctrica, por ello parte de la energía de salida del aerogenerador será canalizada a este proceso (fase de electrólisis). Esta energía proporciona dos polos diferenciados, el polo positivo llamado ánodo y el negativo llamado cátodo. La producción de hidrógeno en el cátodo se realiza más rápidamente que la de oxígeno en el ánodo (Química del agua, 2005). El paso de carga eléctrica a través de moléculas de agua debilita los enlaces existentes entre el hidrógeno y el oxígeno, provocando con ello una reordenación de los elementos que la constituyen, creándose de esta forma nuevas moléculas en este caso hidrógeno gaseoso y oxígeno gaseoso (Figura 7).

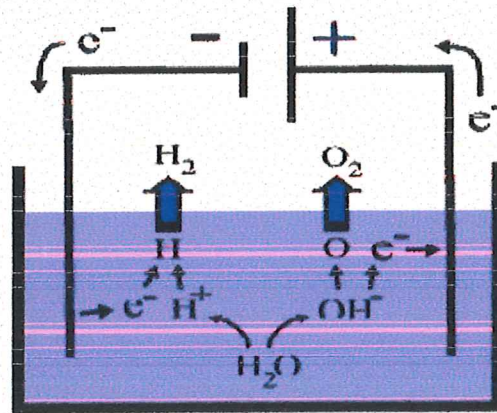


Figura 7. Esquema generalizado del proceso de electrólisis.

El siguiente paso se lleva a cabo en la celda de combustible. Esta utiliza de una manera limpia y eficiente el hidrógeno, recombina el hidrógeno y el oxígeno para producir energía eléctrica obteniendo como único subproducto agua pura. Actúa como un electrolizador funcionando al revés.

El ánodo, el lado negativo de la celda de combustible, tiene varias funciones. Conduce los electrones que se liberan de las moléculas del hidrógeno para poderlos utilizar en un circuito externo (Figura 8). Los canales grabados al agua fuerte en el ánodo dispersan el gas de hidrógeno igualmente sobre la superficie del catalizador. El cátodo, el lado positivo de la celda de combustible, también contiene los canales que distribuyen el oxígeno a la superficie del catalizador. Conduce los electrones detrás del circuito externo al catalizador, donde pueden recombinarse con los iones y el oxígeno de hidrógeno para formar el agua. La membrana del electrolito conduce solamente los iones positivamente cargados y bloquea los electrones. Esta es la esencia de la tecnología de la celda de combustible ya que debe permitir que solamente los iones necesarios pasen entre el ánodo y el cátodo, otras sustancias que pasan a través del electrolito interrumpirían la reacción química.

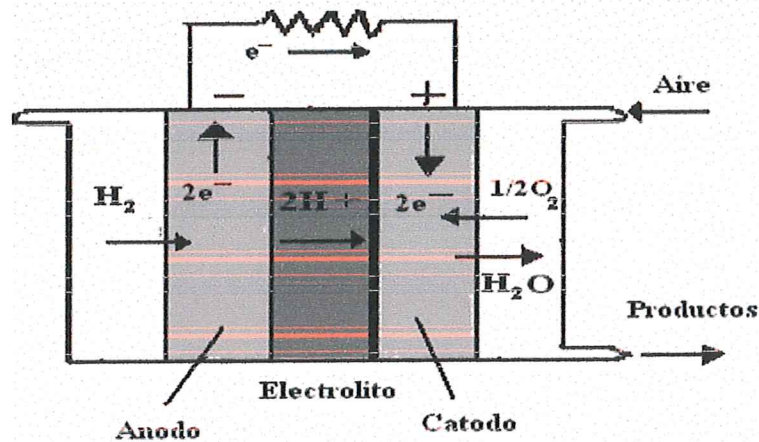


Figura 8. Diagrama generalizado de una celda de combustible.

El diseño de los sistemas de la celda de combustible es complejo y puede variar, dependiendo del tipo y del uso de la celda de combustible. La mayoría de estos sistemas también incluyen otros componentes y subsistemas para controlar humedad de la célula de combustible, temperatura, la presión de gas, y las aguas residuales. El apilado de la celda de combustible es la parte más importante del sistema ya que genera electricidad (corriente directa) como consecuencia de las reacciones químicas que ocurren en la celda. (http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuel_cells/current_technology.html, última actualización: 05/10/2007).

La agrupación de la celda de combustible, el electrolizador, el almacenaje de hidrógeno y la fuente de energía eólica constituyen el "ciclo de hidrógeno renovable".

Una vez desarrollados los procesos de generación eléctrica (eólica e hidrógeno) la energía de corriente continua generada tiene que ser transformada a corriente alterna por medio del inversor para que se lleve a cabo el ciclo de la desalinización.

El proceso de OI esta definido en términos de 3 variables principales como es la presión osmótica, el rechazo de sales y la recuperación del permeado. La presión osmótica de una solución

puede ser determinada experimentalmente mediante la concentración de sales disueltas en una solución, una membrana para realizar OI debe resistir presiones mucho mayores a la diferencia de presiones osmóticas de ambas soluciones. Por ejemplo, para un agua bruta de 35,000 ppm (partes por millón) de TDS a 25°C tiene una presión osmótica alrededor de 25 bar, pero son necesarios 70 bar para obtener permeado. Las membranas deben ser capaces de soportar las presiones diferenciales que garanticen la desalación del agua de mar. Las membranas deben de operar a presiones menores a 900 psi con el fin de controlar el consumo de electricidad. Además, deben ser permeables al agua para permitir el flujo y rechazar un porcentaje elevado de sales. El porcentaje de rechazo de sales de las membranas puede superar el 99%, con lo cual la concentración del permeado baja de las 500 ppm de TDS en cualquier caso, el porcentaje de paso de sales en una membrana de OI es siempre menor del 1%. 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 normal de filtración. Ello implica que tan sólo una parte del agua bruta de alimentación pase 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 ser arrastradas por el agua bruta que no pasa por la membrana. Así pues, el porcentaje de recuperación varía en función de la calidad del agua bruta introducida, siendo de un 35 a 50% en el caso de aguas marinas y mucho mayor en el caso de aguas salobres, hasta el 80% de conversión (Valero, 2001).

Un sistema de OI, consiste básicamente de los siguientes componentes: unidad de alimentación de agua, sistema de pretratamiento, unidad de bombeo de alta presión, módulos de membranas, unidad de tratamiento y almacenado de permeado y unidades de limpieza (Figura 9, Fariñas, 1999).

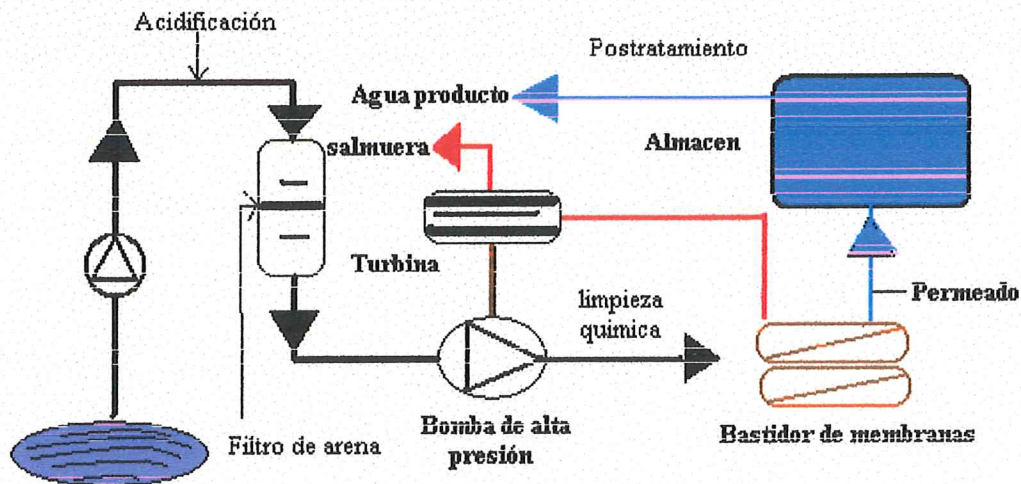


Figura 9. Componentes básicos de un sistema de OI.

Antes de que el agua (de mar o salobre) entre al proceso de desalinización se desarrolla la fase de pretratamiento:

- **Acidificación:** Reduce el pH y limita la formación de depósitos calcáreos.
- **Filtración gruesa:** Es un proceso de filtrado a través de una malla para eliminar residuos sólidos.
- **Sedimentación.** Es un proceso de separación y selección de materias sólidas según tamaño, mediante el empleo de agentes químicos que arrastran las partículas suspendidas hasta el fondo del estanque.
- **Filtración por arena:** El agua se filtra a través de un lecho de arena.
- **Aireación:** El agua es rociada al aire para acelerar la oxidación de sustancias orgánicas que están disueltas.
- **Esterilización:** Consiste en
 - **Cloración:** se utiliza el hipoclorito de sodio, NaClO como agente oxidante.
 - **Decloración:** se utiliza el bisulfito o metabisulfito de sodio como agente actuante.

- Ajuste de pH: se utiliza el ácido sulfúrico como agente para reducir el pH del agua de mar.
- Antiincrustante: se utiliza el hexametáfosfato de sodio.
- Coagulación: se utiliza el cloruro férrico como agente aglutinante o cualquier otro producto comercial, debidamente justificado.

La parte del permeado se almacena y se le aplica un postratamiento dependiendo de la calidad de agua que se requiere.

-Remineralización: para la regulación del pH, en situación de equilibrio, se opta por dosificar bióxido de carbono, CO_2 , e hidróxido de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, con el fin de obtener un solución equilibrada.

-Cloración: se utiliza el hipoclorito de sodio, NaClO , como agente desinfectante.

La salmuera rechazada se canalizará hacia un intercambiador de presión (PE) para tratar de reducir los costos energéticos del sistema. Las partes móviles y de acoplamiento de cerámica del PE han mostrado un desgaste excepcionalmente bajo, e incluso nulo, en el uso con salmuera a alta presión, y el material no es susceptible a la corrosión por picaduras y tensión que sufren los componentes de acero y bronce en usos similares.

Como el PE transfiere energía directamente de la salmuera al flujo de alimentación sin los problemas de rendimiento de los ejes giratorios de alta velocidad, el PE obtiene un rendimiento real de entre un 91 y un 95 por ciento con un amplio rango de flujos. El dispositivo de la recuperación de la energía de PX utiliza el principio del desplazamiento positivo y de los compartimientos isobáricos para alcanzar una transferencia eficiente de la energía de una corriente inútil de alta presión, como lo es la corriente de la salmuera de una unidad de desalación de la ósmosis inversa, a una corriente entrante de baja presión de la alimentación. El dispositivo de PX contiene un rotor cilíndrico con conductos estrechos. El rotor gira dentro de una manga entre dos aberturas a los extremos para ambas corrientes (Figura 10). La energía de la presión se transfiere directamente de la corriente de alta presión a la corriente de baja presión. La velocidad auto ajustable del rotor guarda el interfaz entre las corrientes

dentro del rotor y mezclarse de los límites. El lado de baja presión del rotor se llena de agua de mar mientras que el lado de alta presión descarga el agua (www.energyrecovery.com, última actualización: 03/03/2006).

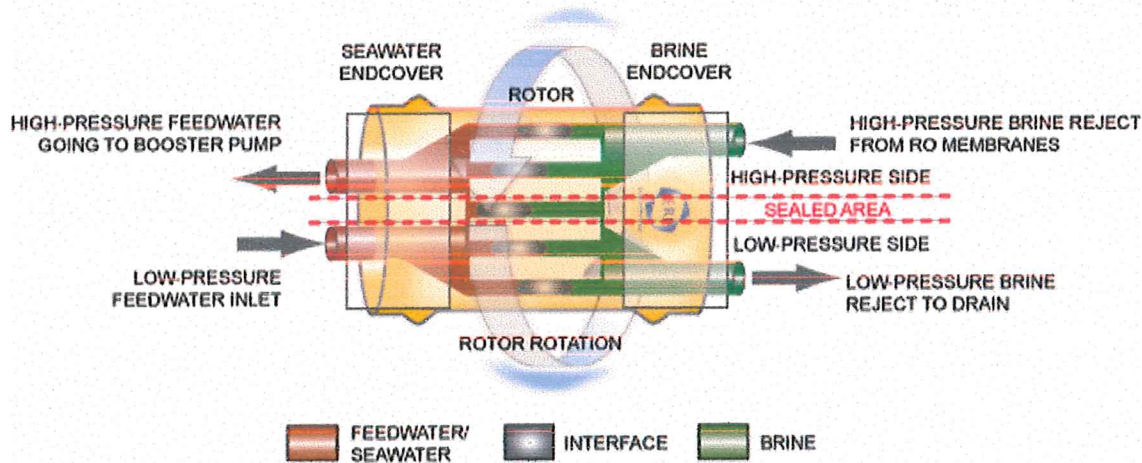


Figura 10. Se aprecia el flujo de los fluidos y el funcionamiento de un intercambiador de presión (www.energy-recovery.com).

IV. Eficiencia Del Sistema.

La velocidad promedio anual del viento en Bahía de Los Ángeles fue de 6.6 m/s (Figura 11), lo cual sirve para darnos una idea generalizada acerca de la viabilidad de emplear el recurso eólico de la región para la generación de electricidad.

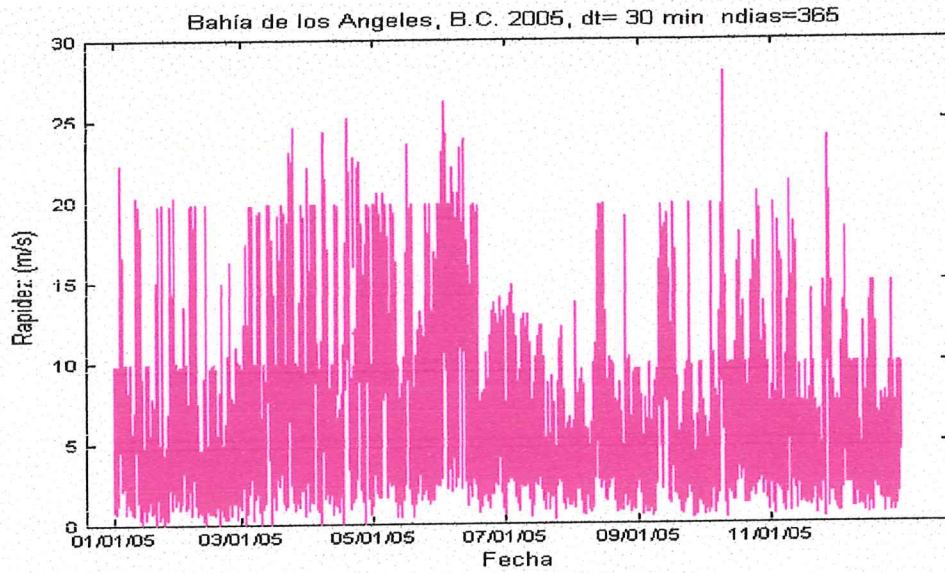


Figura 11. Promedios diarios de la rapidez del viento durante un año en Bahía de los Ángeles.

Para obtener una rapidez media representativa de cada mes se promediaron las variaciones diarias mensuales (Figura 12).

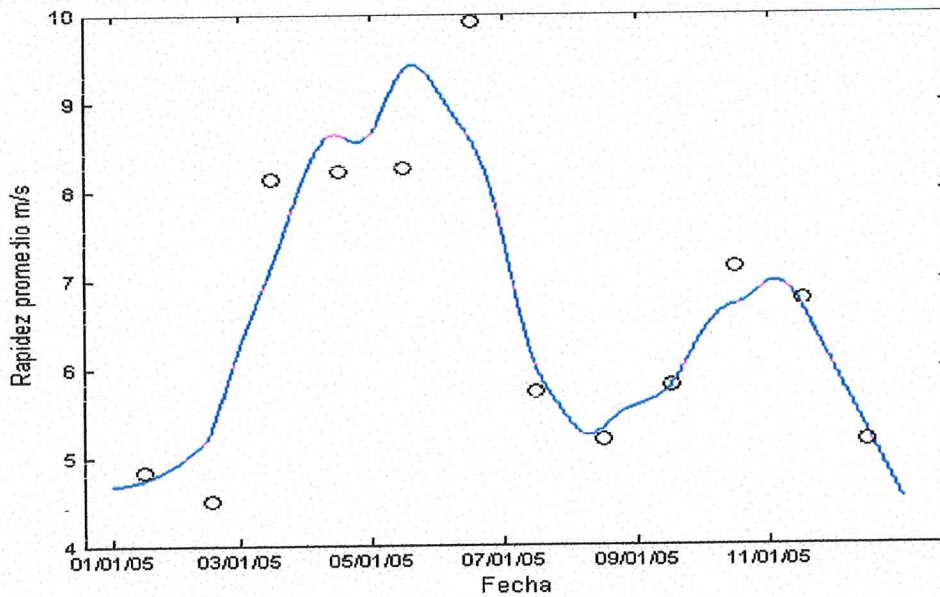


Figura 12. Promedios mensuales de la rapidez del viento.

En un día típico del año (Figura 13), podemos observar que la rapidez del viento se incrementa por las mañanas alrededor de las 8:00 a.m. hasta las 16:00 p.m

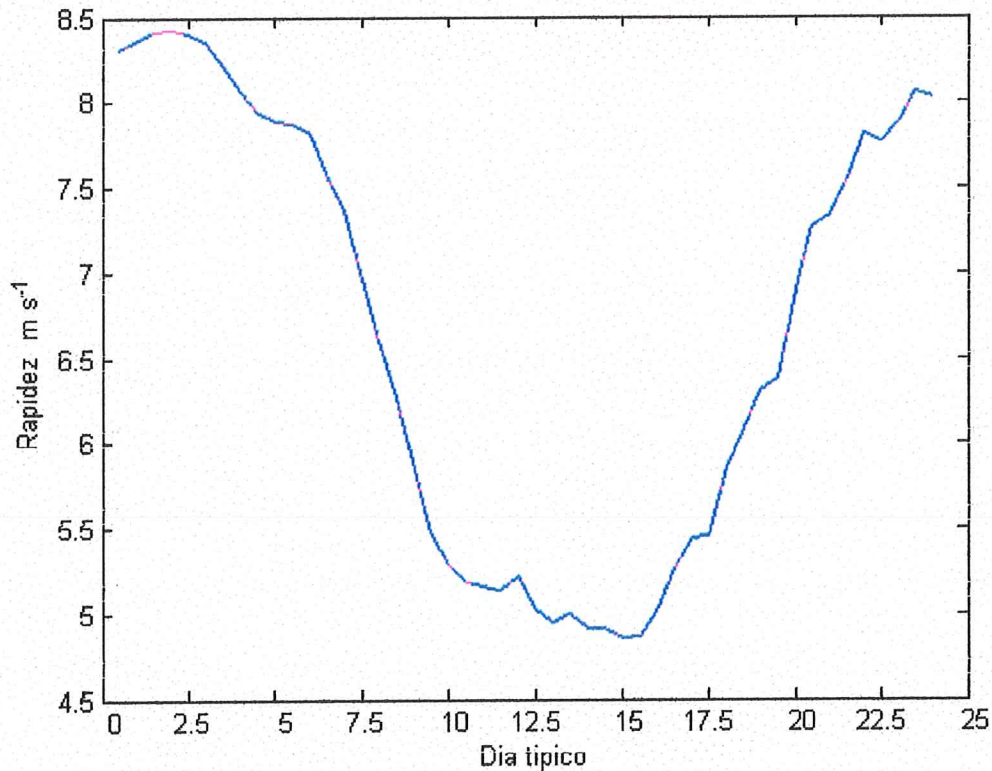


Figura 13. Comportamiento del viento en un día típico del año en Bahía de los Ángeles

NOTA: Debido a un error de medición, los valores del eje x corresponden a la misma hora más 12, es decir, las 12:00 p.m. son las 12:00 a.m.

Para la industria eólica es muy importante ser capaz de describir la variación de las velocidades del viento. Como se observa en la Figura 11, el viento a lo largo del año tiene un comportamiento irregular. La variación del viento en un emplazamiento típico suele describirse utilizando la llamada

distribución de *Weibull*. Este grafico muestra la distribución de probabilidad de ocurrencia bajo el área de una curva que siempre vale 1. La función de densidad de *Weibull* contiene 2 parámetros, el parámetro de forma α y el parámetro de escala β . Se calcularon ambos parámetros y se obtuvieron distribuciones de probabilidad de ocurrencia del viento para un año (Figura 14) y para cada mes (Anexo II)

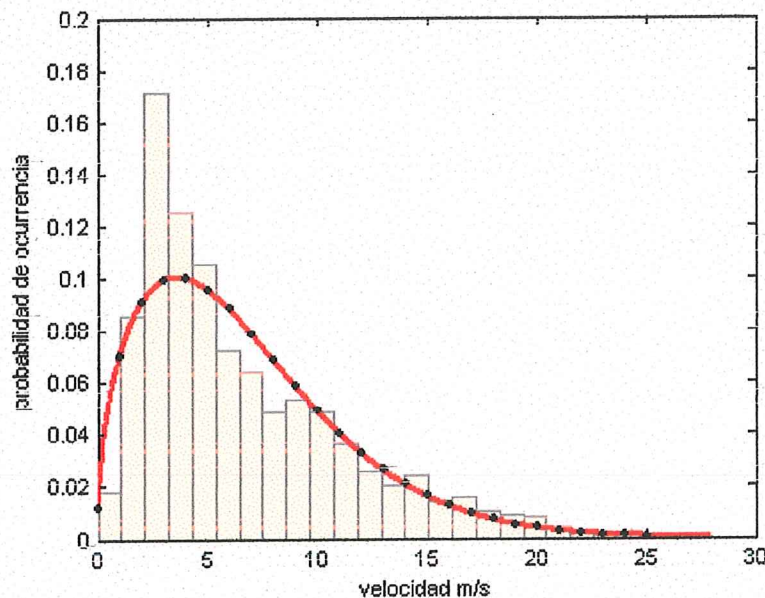


Figura 14. Distribución de probabilidad de ocurrencia del viento para un año en Bahía de los Ángeles.

Con base en la distribución y probabilidad de la ocurrencia de la rapidez del viento se estimó la cantidad de energía teórica que es posible producir mediante el aerogenerador elegido. Para la estimación anual de energía se multiplicó la probabilidad de ocurrencia de una determinada marca de clase de velocidad de viento por la cantidad de energía que puede producir esa misma marca de clase en la curva de potencia de la compañía (Figura 15).

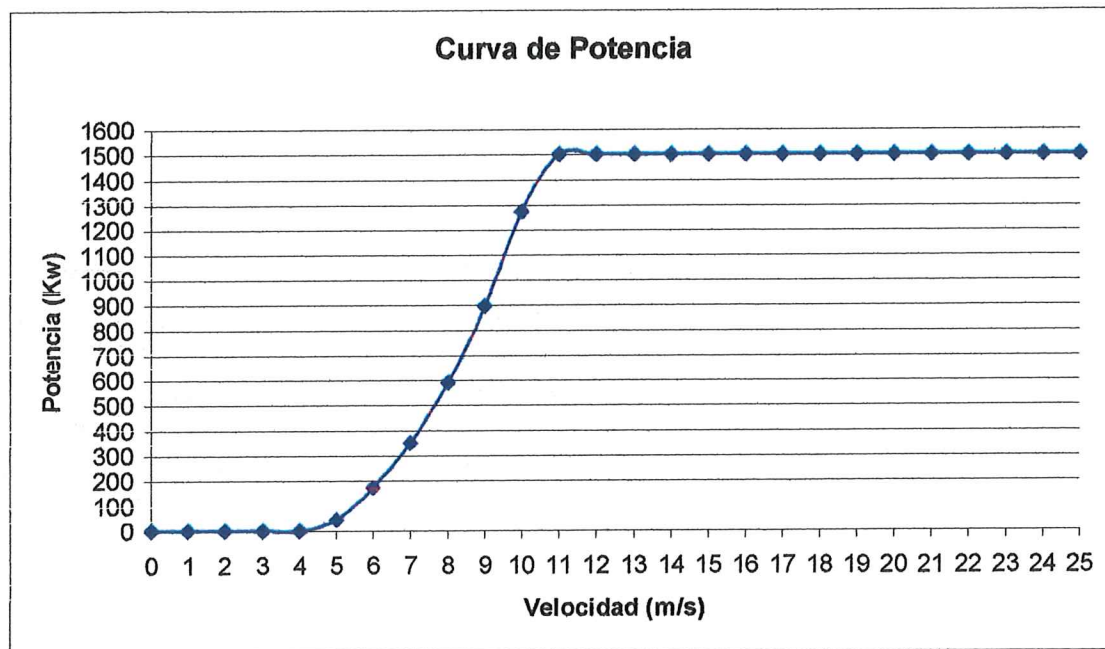


Figura 15. Curva de potencia de la compañía *General Electric* para un aerogenerador de 1.5 MW (www.gepower.com/prod_serv/productos/wind_turbines/en/downloads/ge_15_brochure)

Para calcular los Kw/hr anuales se multiplicó la probabilidad obtenida en la Figura 15 por 8760 que es el total de horas en un año y así se obtuvieron las horas correspondientes al año para cada marca de clase. Una vez contando con las respectivas horas para cada marca de clase, estas se multiplicaron por la potencia correspondiente a esa misma marca de clase en la curva de potencia de la compañía (Tabla 3).

Tabla 3. Kw/hr anual para cada marca de clase.

Marca de clase (m/s)	Potencia (Kw)	Probabilidad	Horas anuales	kW/hr annual
0	0	0.011588808	101.51	0
1	0	0.070164821	614.64	0
2	0	0.090798379	795.39	0

3	0	0.099193127	868.93	0
4	0	0.099939418	875.46	0
5	46	0.095638067	837.78	38538.31564
6	174	0.088142728	772.13	134350.6724
7	352	0.07884994	690.72	243135.3659
8	590	0.068805184	602.73	355612.7147
9	895	0.058763946	514.77	460721.0912
10	1275	0.049241333	431.35	549976.4525
11	1500	0.040558077	355.28	532933.1364
12	1500	0.032883528	288.06	432089.5516
13	1500	0.026274516	230.16	345247.1347
14	1500	0.020708972	181.41	272115.8861
15	1500	0.016113686	141.15	211733.8366
16	1500	0.012386177	108.5	162754.3695
17	1500	0.009411063	82.44	123661.3682
18	1500	0.007071633	61.94	92921.25689
19	1500	0.005257445	46.05	69082.83148
20	1500	0.003868803	33.89	50836.07275
21	1500	0.002818903	24.69	37040.38123
22	1500	0.002034346	17.82	26731.30229
23	1500	0.001454579	12.74	19113.17002
24	1500	0.001030703	9.02	13543.43787
25	1500	0.000723968	6.34	9512.940596
TOTAL ANUAL		0.993722151	8704.9	4181651.288

De esta misma manera se obtuvieron las graficas de distribución de probabilidad para cada mes (Anexo II) y se calculó la producción de agua mensual con base en la energía generada mensualmente (Tabla 4).

Tabla 4. Energía y agua generados mensualmente.

Mes	Energía Producida (Kwhmes)	Agua desalinizada (m³/mes)
Enero	197,607	39,043
Febrero	131,528	12,611
Marzo	481,811	137,524
Abril	449,910	124,764
Mayo	480,618	137,047
Junio	547,227	163,691
Julio	255,664	47,066
Agosto	203,610	26,244
Septiembre	265,176	50,870
Octubre	395,677	103,071
Noviembre	350,777	85,111
Diciembre	184,149	33,660
TOTAL		
ANUAL	3,943,754	960,702

A cada valor de energía producida mensualmente se le restó la demanda energética mensual de la población, la cual es de 138,000 Kw h para todos los meses, excepto en invierno (Diciembre, Enero y Febrero) donde se les atribuye una demanda menor (100,000 Kw). La energía restante se dividió entre 2.5 Kw h/m³ que es el consumo energético de la planta desalinizadora elegida (*lifestream*, ver Tabla 2).

V. Sitio Óptimo Elegido Para La Instalación De Las Tecnologías.

En un promedio anual la dirección media del viento fue de 204° (figura 16), este análisis sirvió para darnos una idea generalizada de la dirección hacia donde sopla el viento en el año.

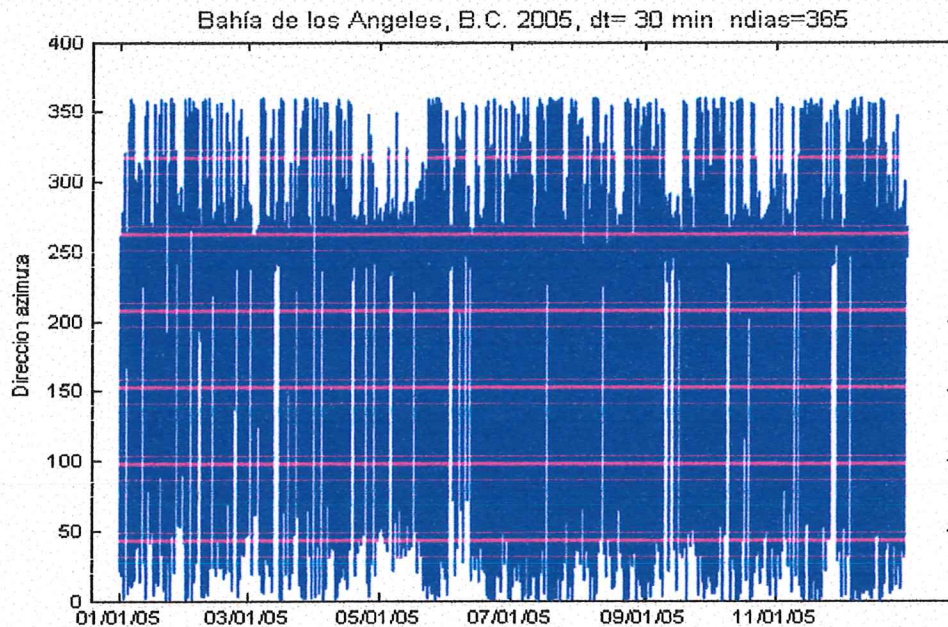


Figura 16. Promedios diarios de la dirección del viento durante un año en Bahía de los Ángeles.

En un día típico (Figura 17) la dirección del viento no es asociado totalmente a un sistema de brisas ya que no presenta un comportamiento bien definido de brisas donde el viento sople de mar a tierra en el día y de tierra a mar en la noche.

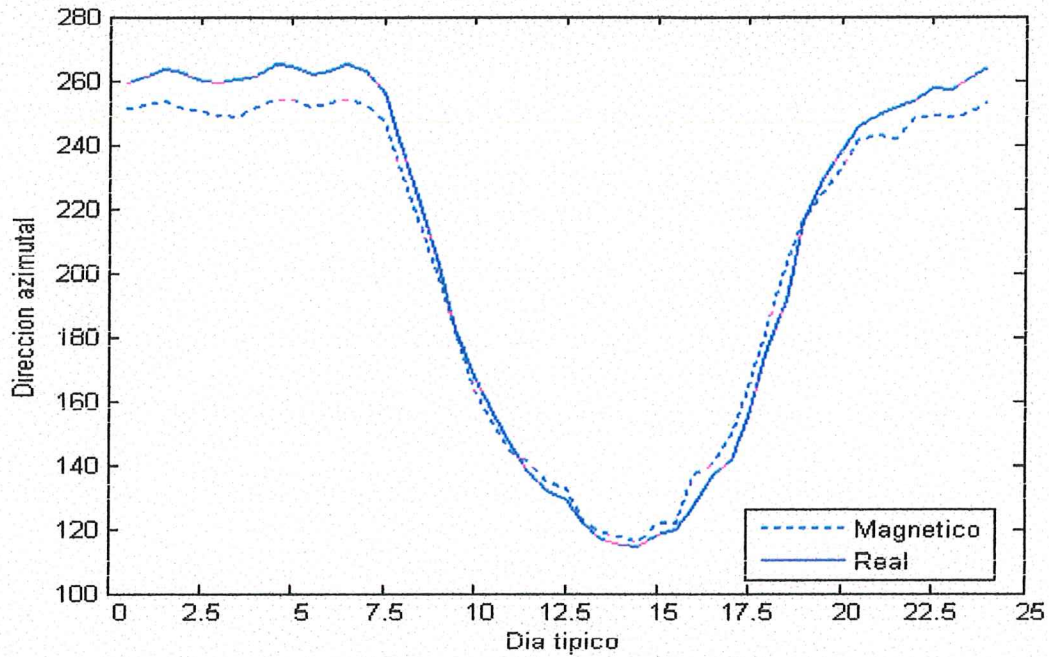


Figura 17. Se muestra el comportamiento del viento en un día típico del año en Bahía de los Ángeles.

NOTA: Debido a un error de medición, los valores del eje x corresponden a la misma hora más 12, es decir, las 12:00 p.m. son las 12:00 a.m.

A diferencia de las dos figuras anteriores, al calcular las componentes u y v se encontró que para la mayor parte del año, la dirección predominante del viento es el oeste.

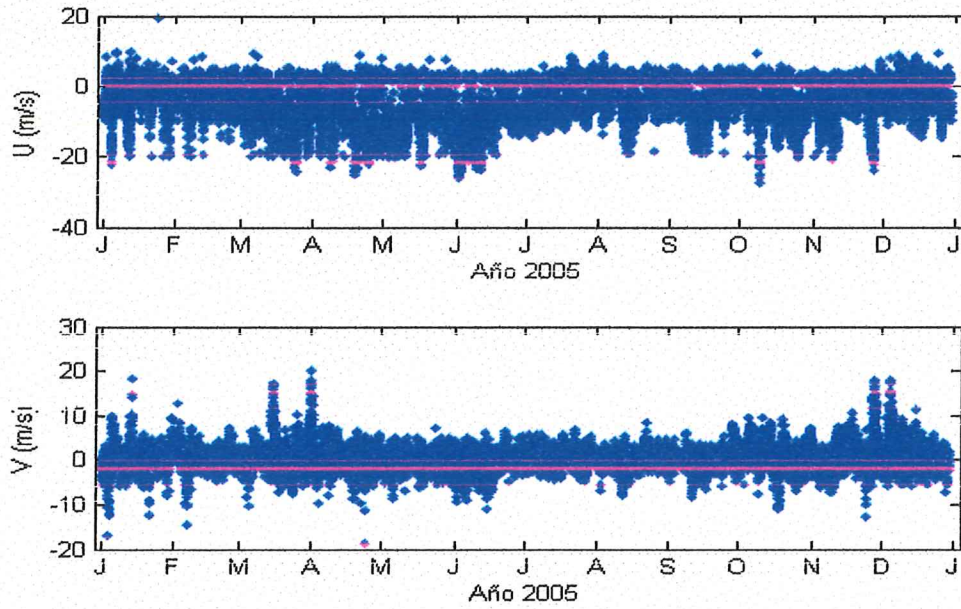
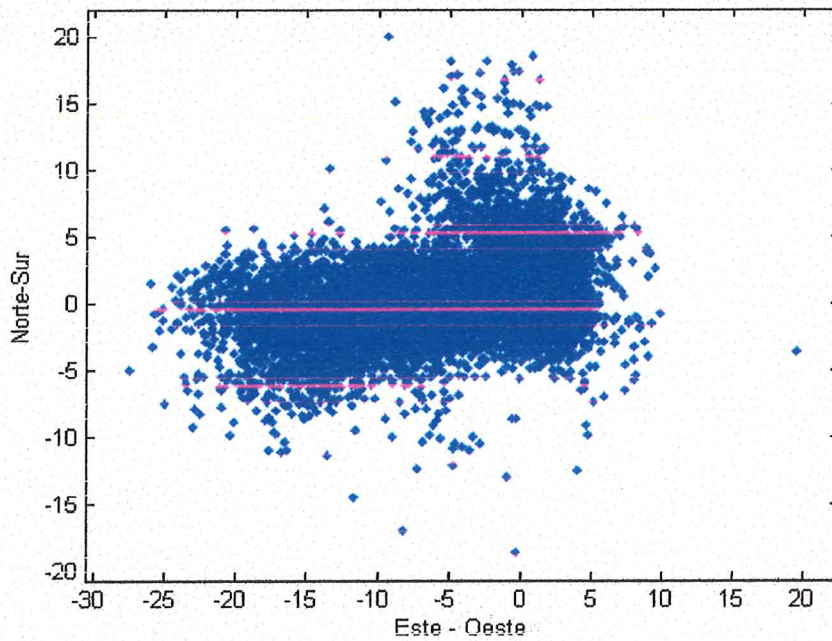


Figura 18. Componentes u y v de la velocidad del viento a lo largo de un año en Bahía de los Ángeles..

Una forma más sencilla de entender lo explicado anteriormente se puede ver en la Figura 19, donde se observa la dispersión de las componentes u y v a lo largo de un eje cartesiano.



• **Figura 19.** Dispersión de las componentes de velocidad del viento en Bahía de los Ángeles.

Por su parte, La utilidad de los hodógrafos en el dominio del tiempo (Figura 20) consiste en que proporciona información sobre la rapidez y dirección del viento estacional.

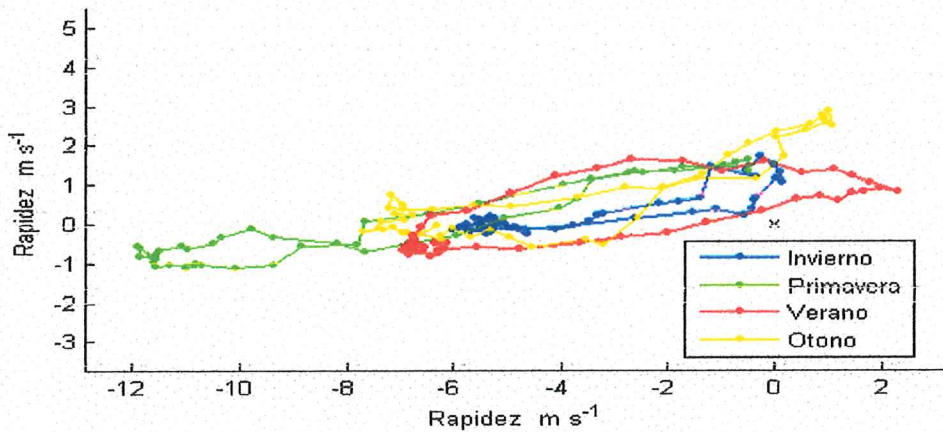


Figura 20. Representación hodográfica estacional para las componentes u y v del viento en Bahía de los Ángeles.

El diagrama de la rosa de los vientos nos muestra la información sobre las distribuciones de velocidades del viento y la frecuencia de variación de las direcciones del viento (Figura 21), en este caso los datos presentados son los del todo año y la rosa anual presenta un comportamiento muy similar con las rosas estacionales (anexo III).

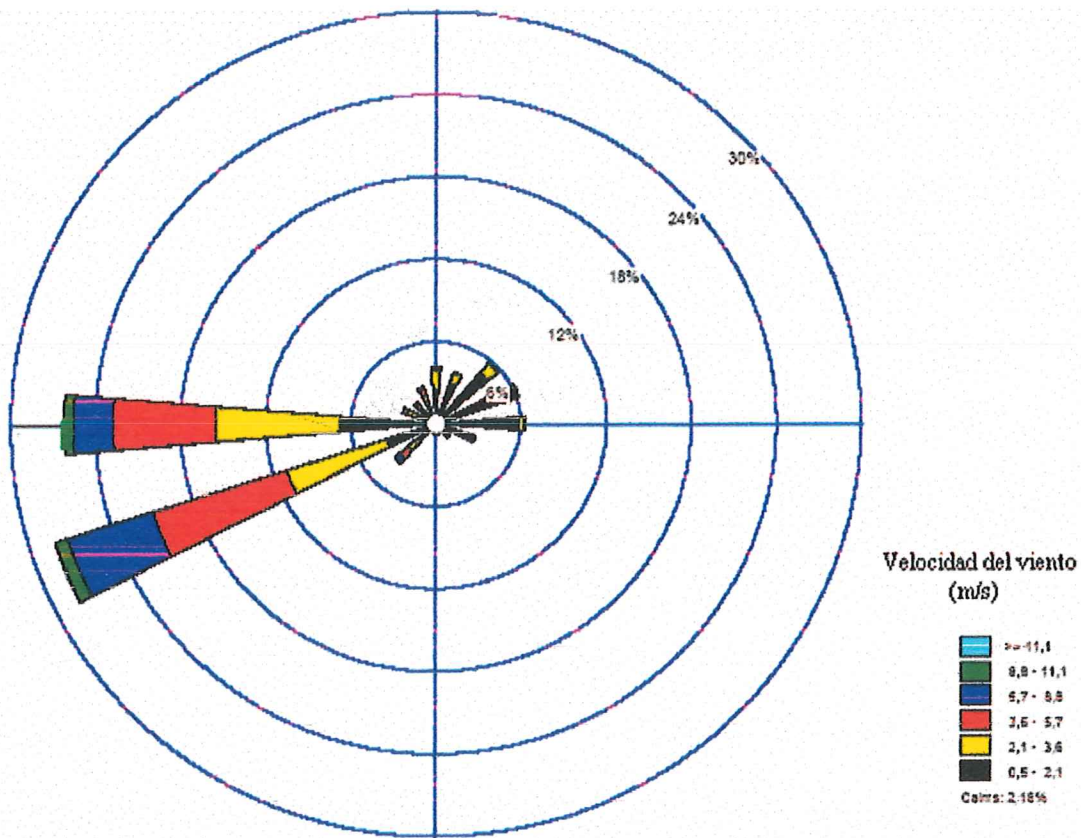


Figura 21. Diagrama de la rosa de los vientos para el año del 2005 en Bahía de los Ángeles.

VI. Impacto Ambiental.

6.1. Impacto del aerogenerador.

En el caso de los parques eólicos, los impactos negativos habitualmente descritos son los siguientes:

- Impacto visual.
- Impacto sobre el patrimonio (arqueológico, histórico-cultural, etc.).
- Ruido.
- Impacto sobre la flora y la fauna.

A continuación se comentan las estrategias de mitigación de dichos impactos:

1). El impacto visual: Los aerogeneradores de un parque eólico son siempre elementos altamente visibles en el paisaje, ya que su lugar lógico y habitual de instalación son colinas, cumbres montañosas, zonas altas cerca del litoral, etc., que son visibles a grandes distancias. Para reducir este impacto, los fabricantes de aerogeneradores utilizan pinturas mate y de colores neutros y, por otro lado, el impacto visual es evidente pero tiene un gran componente subjetivo. La percepción estética de los parques eólicos por las personas es una cuestión en gran medida subjetiva. Respecto del tamaño, los grandes aerogeneradores permiten una producción igual de energía con un menor número de unidades, con una mayor distancia entre sí y con una velocidad de rotación menor que las turbinas más pequeñas. En general, se puede decir que las grandes turbinas no presentan un impacto visual negativo.

2). Impacto sobre el patrimonio: La minimización o eliminación de este tipo de impacto se resuelve a la hora de seleccionar la implantación del parque eólico y de todos sus elementos, preservando una distancia mínima, fijada por las autoridades competentes, entre dichos elementos y los bienes patrimoniales afectados (arqueológicos, histórico-culturales, etc).

3). Ruido: El ruido proveniente de los aerogeneradores de un parque eólico tiene su origen en dos fuentes distintas:

a). El ruido aerodinámico de las palas del aerogenerador en su interacción con el viento, tanto mayor cuanto más viento haga.

b). El ruido mecánico proveniente de los componentes giratorios

No obstante, debido a que la distancia mínima que se debe respetar entre los aerogeneradores y las zonas habitadas más próximas es de unos 300 metros (www.preneal.com), el ruido no representa un problema real ya que, a esas distancias, resulta inapreciable. Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) se establece la barrera de tolerancia al ruido en 69 decibelios, se establece en 70 decibelios el nivel máximo permitido de ruido.

4. Impacto sobre la flora y la fauna: En la fase de construcción de un parque eólico se genera un cierto impacto transitorio sobre la flora y la fauna locales, este movimiento de tierras y la intervención de la maquinaria asociada (camiones, grúas, excavadoras, etc.) puede producir el desplazamiento temporal de ciertas especies animales y vegetales. Por ello, es recomendable hacer los estudios pertinentes de la flora local y de las rutas migratorias de la fauna para conservar el ambiente como el del tiburón ballena y la biosfera del valle de los sirios.

6.2. Impacto de la desalinizadora.

El impacto en el ambiente marino debido a un proceso desalinizador es más una consecuencia de la colocación de las pipas de alimentación y de las pipas de descarga de la salmuera. La severidad del impacto es una función del nivel del disturbio al ambiente y de la sensibilidad natural, que alternadamente es dependiente en la naturaleza específica del hábitat y en las comunidades específicas (Einav *et. al.*, 2002).

El impacto principal es debido a la descarga de la salmuera concentrada al mar, y su magnitud depende de los factores geológicos ambientales e hidráulicos característicos del mar: batimetría, mareas, corrientes, profundidad de la columna del agua, etc. Estos factores determinarían el grado de mezcla de las salmueras y por lo tanto de la gama geográfica del impacto. En mares abiertos la descarga de la salmuera es viable ya que debido a la dinámica del océano en ese tipo de mares permite la dispersión casi inmediata de la salmuera, mientras que para el caso de Bahía de los Ángeles no es conveniente debido a sus tranquilas aguas y estas descargas pudiesen afectar la ruta del tiburón ballena. Una opción es dirigir las salmueras concentradas a una planta de producción de sal, esta opción, presenta muchas mas ventajas ambientales y económicas que el del vertido hacia mar.

La mayoría del ruido en el proceso desalinizador es producido por las bombas de alta presión y por las turbinas usadas para la restauración de la energía. El impacto del ruido no permite la operación de una planta grande de la desalación en la vecindad de un centro de la población sin el uso de medios tecnológicos. Los medios para disminuir el nivel de ruidos incluyen la estructura sobre las bombas y el planeamiento acústico apropiado de la planta.

Las plantas desalinizadoras consumían gran cantidad de energía y emitían gran cantidad de gases a la atmósfera. No fue sino hasta que se integró a las plantas de OI el intercambiador de energía, solo en el caso que la energía utilizada en el proceso desalinizador sea de origen renovable no debe asignarse impacto por emisiones al proceso desalinizador.

DISCUSIONES

Marcel Hernández (2004), encontró que la comunidad de Bahía de los Ángeles consume en promedio 2,604 m³/mes de agua y que existe un incremento del 100% en la época de verano. Estos valores los calculó para una población de 700 personas, cifra que reportaba INEGI (2000). Tomando en

consideración el incremento en el consumo para la época de verano y la ascendente tasa de crecimiento, todos los cálculos se realizaron con base en el consumo (de agua y energía) que existe en verano extrapolado a las 1,500 personas que se calcula habitan actualmente según los habitantes de la Bahía. Poniendo en contexto lo anterior, entonces se necesita desalinizar 5,580 m³ al mes para satisfacer la demanda de agua. Tomando en cuenta las mismas consideraciones, se obtuvo que para satisfacer la demanda energética de la población se necesitan generar 138,000 kW/mes.

Los datos de los aerogeneradores (Tabla 1), muestran una gran variabilidad en cada uno de los atributos (diámetro, potencia, velocidad media, etc.) siendo unos más eficientes que otros sin que haya un sistema superior a otro. Sin embargo, una vez desarrollando el método ASPID, en la Figura 3, se observa que la turbina de la compañía *General Electric* es más eficiente, ya que además de tener un gran índice de preferencia cuenta con poca desviación estándar. Estos índices pueden cambiar dependiendo del criterio de ponderación de la persona, es decir, qué ponderación se le va a asignar a cada atributo. En nuestro caso, la ponderación fue de 0.05 para cada atributo excepto por la potencia nominal, el cual se ponderó con un valor de 0.8, dándonos un total de 1. Por ello, las turbinas TWT 1,650/70 y TWT 1,650/78 de la compañía M. Torres resultaron ser las de mayor índice de preferencia pero la diferencia con respecto al aerogenerador de *General Electric* es la velocidad a la cual las aspas comienzan a girar.

A diferencia de los datos de los aerogeneradores, los datos de las compañías fabricantes de sistemas de OI (Tabla 2) muestran gran similitud, siendo el sistema de *Lifestream* de las más caras (400, 000 USD aproximadamente) pero el más eficiente. Esto se debe a que al costo no se le dió la misma importancia que a la producción diaria y al consumo energético, por ello no se ponderó de la misma manera (0.15 para costo y calidad, y 0.35 para consumo y producción). Las compañías que tuvieron mejor índice de preferencia fueron *Lifestream* y HOH, pero debido al requerimiento energético del sistema, fue escogido el sistema *Lifestream*.

De acuerdo con las características de los diferentes procesos de desalinización, las plantas de ósmosis inversa son las más adecuadas para ser acopladas a sistemas eólicos en poblaciones rurales

coasteras, debido al desarrollo tecnológico de las plantas de OI y a que el recurso eólico en la costa normalmente es abundante. Por ello, se ha decidido instalar un sistema híbrido, que consta de un aerogenerador y un electrógeno de hidrógeno que podrá dar soporte al aerogenerador cuando no haya el recurso del viento. De esta manera habrá la energía suficiente para alimentar a la planta desalinizadora y así cumplir con las demandas de agua potable y electricidad de la comunidad. Los elementos principales que componen a un sistema como este son: sistema de generación eléctrica, sistema de almacenamiento de energía eléctrica y la planta desalinizadora (Zarza, 1998). En el presente trabajo, el sistema de generación eléctrica será constituido por un sistema híbrido eólico-hidrógeno. El sistema de almacenamiento será por medio de pilas de combustible y la planta desalinizadora funcionara con la tecnología de ósmosis inversa.

Las plantas de desalinización de mayor tamaño normalmente tienen menores costos de inversión y de operación por metro cúbico de agua producida que las pequeñas. Arreguín (2000) afirma que el costo de desalinizar agua de mar es decreciente con el aumento de la capacidad de producción de la planta. El consumo de energía por unidad de agua desalada decrece también con el incremento de la producción. Con base en una evaluación de tecnologías de desalinización en los últimos 10 años, los costos de construcción de las plantas de OI han probado una mejor relación costo-eficiencia, seguida por compresión de vapor, MSF y electrodiálisis a alta temperatura (APEC 2000).

Basándose en lo señalado por el Director Ejecutivo de la *European Wind Energy Assosiation* (EWEA), a nivel mundial se espera un crecimiento hasta de 40,000 MW en la capacidad de energía eólica instalada para el año del 2010, y de 100,000 MW para el año 2020. La capacidad de energía eólica se ha incrementado en un 25.7 % durante los 90's, doblando la cantidad cada tres años, mientras los costos de producción disminuyen. Tanto los gobiernos de la Comunidad Europea como los de EUA, mencionan que el alcanzar 40,000 MW de generación en el año 2010, involucrará la contratación de 1,000,000 de empleados, de acuerdo a la EWEA. En términos de costos de generación, la energía eólica es la que menores costos tiene, de hecho, en el presente son casi equivalentes a los costos de generación de energías convencionales. Esto se debe en gran parte a la amplia gama de industrias que se dedican a la innovación de estas tecnologías (Quintanilla-Montoya-Montoya, 2007 en prensa). También es la

tecnología de mas bajo costo de inversión (4-23 US dlls/watt instalado), seguida por la fotovoltaica (23-35 dlls/watt instalado) y la hibrida (10-30 dlls/watt instalado); la energía eólica es, en el presente, equivalente a las anteriores (alrededor de de 10 centavos de dola por kW/h). Estas tecnologías pueden ser diseñadas para usos en la pequeña y gran escala, y la instalación de las mismas toma solamente meses, no años como las convencionales.

Ya se ha comenzado a utilizar la energía eólica para producir hidrógeno a partir del agua. De esta forma la energía del viento puede almacenarse en forma de tanques de hidrógeno y usarse más adelante (en pilas de combustible que convierten el hidrógeno otra vez en electricidad) cuando haga falta, es decir, cuando no haya viento de modo que a la red eléctrica abastecida por energías renovables tendría energía en todo momento (www.gamesa.com). Actualmente, el hidrógeno y las pilas de combustible no ofrecen al usuario final suficientes ventajas a corto plazo como para compensar costos superiores a los de las tecnologías convencionales. En este momento el problema de transportación y almacenamiento del hidrógeno no es gran problema. El problema principal radica en los métodos para

- separar el hidrógeno del oxígeno (como la electrólisis) por que se necesita de un gran gasto energético para separarlos debido a la estabilidad del enlace. Por lo tanto, la estrategia de despliegue debería tratar de definir formas de aumentar la infraestructura y la producción. En resumen, la combinación del hidrógeno y la electricidad representa una de las vías más prometedoras para hacer realidad la energía sostenible, mientras que las pilas de combustible constituyen el dispositivo más eficiente para convertir el hidrógeno, y posiblemente otros combustibles, en electricidad. Se pueden utilizar en sistemas descentralizados para suministrar electricidad y calor con diferentes usos finales, incluso en unidades domésticas de suministro de energía a hogares individuales. Pueden alimentarse directamente de gas natural, así como de biogás e hidrógeno (Comisión Europea, 2003). Se producirá y almacenará hidrógeno de acuerdo a la disponibilidad de energía eólica y estará listo para la retransformación de electricidad que requieren las horas de consumo pico. Se analizaran todos los componentes que conforman al grupo electrógeno de hidrógeno, y se seleccionara el grupo indicado dependiendo de la eficiencia del sistema, en cuanto a la corriente resultante, el consumo de hidrógeno, la seguridad y la sencillez del sistema

Para poder desarrollar un análisis más detallado de los datos del viento (rapidez y dirección) se sugiere que cada dato sea registrado en intervalos de tiempo de 10 minutos, sin embargo, debido a la lejanía de la estación meteorológica y a la capacidad del sensor, se optó por hacer mediciones con intervalos de cada 30 minutos. Los datos utilizados en el presente trabajo fueron los de un solo año ya que la estación fue reubicada de la playa a las montañas de donde se tienen apenas registros de dos años, siendo los datos del 2005 los más completos.

El viento en Bahía de los Ángeles presenta una gran variabilidad, en un promedio anual la rapidez media del viento fue de 6.6 ± 4 m/s (Figura 11). Este análisis sirve para darnos una idea generalizada de si es viable el recurso eólico de la región. La NREL reporta que una velocidad de 4.9 - 6.7 m/s puede producir una potencia de $150 - 250$ W/m² por lo que el recurso eólico en Bahía de los Ángeles podría ser considerado como bueno para cubrir las necesidades energéticas de la población. Con la media de rapidez anual obtenida se generarían 176 Kw/m². Ahora bien, calculando el perfil vertical del viento, donde se toma en cuenta la altura del rotor (70.5 m) y la rugosidad de la superficie (0.4 m) la rapidez media anual tiende a incrementar considerablemente a 10.8 m/s, y este nuevo valor generaría 771.57 Kw/m². Esto se debe a que en la superficie existen obstáculos que pueden alterar la velocidad y dirección del viento, mientras que en las alturas el viento tiende a fluir uniformemente a velocidades más altas que no se ven afectadas por el cizallamiento de la superficie.

Para obtener una rapidez media representativa de cada mes se promediaron las variaciones diarias mensuales. En la Figura 12 se aprecia una variabilidad estacional bien definida de la rapidez del viento, sin embargo, los meses correspondientes a la estación de primavera presentan una menor variabilidad con los valores más intensos de ~8.5 m/s; durante las demás estaciones del año los vientos son más calmados y sus valores fluctúan de 4.5 - 7 m/s. Así pues, tenemos que Febrero es el mes crítico, donde la media es de 4.5 m/s, mientras que el mes donde el recurso fue más abundante fue Junio, con una media de 9.8. Estos valores son sin considerar el perfil vertical del viento, por lo que se asume las velocidades se incrementarían casi el doble.

La Figura 13 muestra el comportamiento típico del viento durante un día del año, pudiéndose observar que la rapidez del viento se incrementa por las mañanas alrededor de las 8:00 a.m. hasta las 16:00 p.m., teniendo al mediodía la máxima rapidez (~8.5 m/s). A estas horas del día los vientos asociados con las brisas en esta región tienen su máxima rapidez, brisa marina, y su mínima intensidad en las primeras horas de la madrugada (brisa terrestre). Estos valores pudieran cambiar dependiendo de la estación del año, por ello se recomienda un análisis de días tipos estacionales o mensuales para conocer más a detalle el patrón del viento durante un día.

En la distribución de *Weibull* (Figura 14), se observa que para las mediciones del viento a lo largo del año los vientos frescos y moderados son bastante comunes. El área bajo la curva siempre vale exactamente 1, ya que la probabilidad de que el viento sople a cualquiera de las velocidades, incluyendo el cero, debe ser del 100 por cien. La distribución de los datos presentó un sesgo positivo, se decidió usar la media de esta distribución ya que el ajuste tuvo poca asimetría. Los 5.14 m/s son la mediana de la distribución. Esto significa que la mitad del tiempo el viento soplará a menos de 5.14 m/s y la otra mitad soplará a más de 5.14 m/s. La velocidad media del viento con este ajuste fue de 6.7 m/s, esta diferencia radica en que la media es el promedio de las observaciones de cada dato de la velocidad del viento, y la mediana es solo el valor central. Por otro lado, las velocidades del viento de 3.6 m/s son las más comunes, este es el llamado valor modal de la distribución.

En la curva de potencia (Figura 15) vemos la potencia instantánea que debe entregar el aerogenerador para cada una de las velocidades de viento posibles. Como se puede apreciar, entre la velocidad de viento de arranque del aerogenerador y la velocidad entre 11 y 12 m/s, la curva crece, siguiendo el comportamiento típico ya que la potencia del viento es directamente proporcional al cubo de la velocidad del viento. Al alcanzarse velocidades de viento entre 11 y 12 m/s la curva se aplanó debido al sistema de regulación de potencia para mantener estable la potencia en torno a los valores nominales del aerogenerador, a los 25 m/s el aerogenerador cortará el trabajo por seguridad, la potencia calculada anualmente se muestra en la tabla 3.

Se desarrolló la misma distribución de *Weibull* para obtener los valores mensuales, y en este análisis más detallado se observa (Tabla 4) que la cantidad de energía disponible es demasiado alta, ya que además de cubrir totalmente los 138,000 kW mensuales de la demanda energética de la población, sobrepasa inclusive la cantidad de agua desalinizada requerida (5,580 m³/mes).

El campo de vientos para el Golfo de California, además del sistema de brisas, presenta normalmente eventos de escala sinóptica, que se manifiestan como vientos persistentes con duración de varios días (dos a cinco), con alta coherencia lo largo y ancho del golfo y un marcado comportamiento monzónico (vientos del norte durante el invierno y del sur durante verano). Sin embargo, en primavera y otoño, los vientos asociados con estos eventos presentan alta variabilidad, por lo que a estas estaciones se les llamado de transición (Merrifield, 1989). El comportamiento de los vientos asociados con el sistema de brisas depende de las características termodinámicas y geomorfológicas de la localidad y parcialmente de los vientos de escala sinóptica. En lugares donde los eventos de escala sinóptica están ausentes, los efectos en las diferencias en temperatura determinan la generación de brisas y estas son fácilmente detectables, mientras que, en las localidades donde los vientos se combinan, el sistema de brisas puede ser modificado y tiende a desaparecer (Delgado-González, 1994). En Bahía de los Ángeles el patrón del viento es afectado de forma casi permanente por las condiciones sinópticas del centro de alta presión del Pacífico Norte (Anexo IV), el cual cambia estacionalmente tanto en intensidad como en posición. La cadena montañosa que se extiende a lo largo de la Bahía canaliza regularmente el campo de vientos sinópticos provenientes del Pacífico norte y Pacífico sur hacia el oeste. Se encontró que para un promedio anual (Figura 16) la mayor parte del año la dirección dominante de los vientos es del suroeste (~204°). A los datos se les corrigió la declinación magnética (11.2° este) y están referenciados al norte verdadero, lo anterior indica que son poco frecuentes los vientos provenientes de regiones continentales. Tomando en cuenta la misma corrección, en un día típico (Figura 17) del año en promedio el viento sopla con una dirección de 208°, y presenta una desviación estándar de 98°. La dirección del viento no presenta un comportamiento bien definido de brisas donde el viento sopla de mar a tierra en el día y de tierra a mar en la noche, en la figura se observa como el viento tiene una tendencia de soplar hacia el suroeste durante el día y hacia el sureste durante la noche.

Al igual que los resultados anteriores, al calcular las componentes u y v (Figura 18), se encontró que para la mayor parte del año la dirección predominante del viento es hacia el Oeste, teniendo velocidades casi nulas en la dirección norte sur, siendo en primavera y en el verano donde se presentaron las mayores velocidades en la componente u . Las componentes de la velocidad en promedio son: del Oeste (u) -4.51 y del Norte (v) 0.28 con una desviación de 6.2 y 2.6 respectivamente. En general, en la Figura 18 se observa cómo a lo largo de un eje cartesiano tanto u como v tienen un patrón del viento que resulta prácticamente sólo en el cuadrante de los negativos, por lo que en la mayor parte del año dominan vientos sinópticos provenientes del oeste.

En los hodógrafos de la Figura 20 se observa que el patrón del viento resulta sólo en el cuadrante del oeste oscilando entre el norte y el sur. La componente sinóptica de los vientos del oeste predomina. Durante la mayor parte del día los vientos soplan hacia el suroeste y son de mayor velocidad que los vientos que soplan de noche por noreste.

La representación hodográfica puede adquirir formas geométricas características, una forma elíptica indica un sistema de brisas bien definido, y su posición en relación con el origen refleja la posible influencia del campo sinóptico. En el verano, las brisas comprenden una oscilación diurna que implica variación en las características del viento durante intervalos de tiempo menores. Esto es, el viento cambia en intensidad y dirección a lo largo del día y de hora a hora, lo cual se puede observar en el hodógrafo de verano. Para las demás estaciones, los vientos son asociados a escalas sinópticas tanto por las formas alargadas como por el desplazamiento del origen. El sistema de brisas para estas estaciones es casi nulo. A finales de verano principios de otoño se presenta el clásico comportamiento monzónico con vientos moderados soplando hacia el noroeste en la mayor parte del día y vientos hacia el suroeste a finales de invierno principios de primavera.

Para comparar los resultados obtenidos con anterioridad, se confeccionaron las llamadas "rosas de los vientos". La rosa está dividida en 16 secciones (4 gajos por cuadrante) de 22.5° c/u (360° en

total). El 54 % de la frecuencia de los vientos esta entre 230 y 280°, por lo que al igual que todos los distintos análisis desarrollados la rosa marco el mismo patrón del comportamiento del viento.

Para corroborar los resultados obtenidos se consultaron los mapas de aptitud territorial y distribución de la mancha urbana, elaborados por Rojas Caldelas (2004) para Bahía de los Ángeles (anexo V). En ellos se observa como la mancha urbana, los comercios y servicios se dispersan sobre las faldas de las montañas y se concentran principalmente cerca de la costa. Debido a esto, a la presencia de fallas costeras y de material no consolidado sobre la mayoría de la costa, se recomienda ubicar el aerogenerador en lo alto de las montañas del oeste y orientado hacia esa misma dirección. La energía puede ser canalizada hacia donde se desee instalar la planta desalinizadora y el grupo electrógeno de hidrógeno.

CONCLUSIONES

- 1) La comunidad de Bahía de los Ángeles cuenta con los recursos suficientes para satisfacer sus demandas de agua y electricidad a través del recurso eólico.
- 2) En un promedio anual sin el ajuste de *Weibull* la media fue de 6.6 m/s, con el ajuste fue de 6.7 m/s; se usó la media del ajuste para calcular el perfil vertical del viento el cual fue de 10.8. Debido a este ajuste y al gran tamaño del aerogenerador la potencia se incremento exageradamente. Según el método ASPID, la turbina de *General Electric* fue la que tuvo un mejor índice de sustentabilidad y dará su máximo rendimiento para la marca de clase de 11 m/s generando, 500 kW al instante. Con este turbina y con el ajuste de *Weibull* se calculó la energía que es posible generar, la cual fue de 4,000 MW al año, y con la planta desalinizadora elegida (*Lifestream*) la cual requiere de 2.5 kW h se puede desalinizar casi 1,000,000 m³ al año. Esta cifra es demasiada alta en comparación con la demanda actual existente (70,000 m³/año). Sin embargo, a largo plazo esta producción resultaría favorable ya que Bahía de los Ángeles esta

considerada como la población detonante del desarrollo de la región sur del estado en el actual Plan de Desarrollo Municipal. Asimismo, esta localidad cuenta con el número de habitantes más alto. Para tener un cálculo más exacto de la potencia aprovechable en el viento es necesario trabajar con más de 3 años y manejar intervalos de tiempo menores a 10 minutos.

- 3) Los promedios mensuales mostraron que la máxima velocidad del viento (~ 9.8 m/s) se presentó en Junio; por su parte, Febrero es el mes crítico con velocidades de 4.5 m/s. En un día típico las velocidades mayores se registran al mediodía (~ 8 m/s). Comparando el análisis anterior con el ajuste de distribución mensual de *Weibull* se observa que precisamente para Junio se obtendría la mayor producción mensual de agua desalinizada ($163,000$ m³), mientras que en Febrero la producción sería de sólo $12,000$ m³ aprox.
- 4) El comportamiento del viento en Bahía de los Ángeles no presenta un patrón regular de un sistema de brisas a lo largo del año. Todas las estaciones se ven afectadas por vientos provenientes del centro alta presión del Pacífico el cual cambia estacionalmente en intensidad y posición, a excepción del verano, en donde se presenta un comportamiento clásico de un sistema de brisas. Tanto el promedio anual como la rosa anual y las rosas estacionales muestran una clara tendencia de vientos hacia el suroeste, mientras que en el análisis de dispersión u y v , se muestra un patrón de vientos que soplan casi exclusivamente hacia el oeste en la componente u y la componente v fluctúa entre el norte y el sur. Por lo tanto, se asume que los vientos sinópticos están siendo canalizados y desviados por la cadena montañosa que se expande a lo largo y ancho de Bahía de los Ángeles. Se compararon los resultados de los análisis con los mapas realizados por Rojas Caldelas (2004) y se encontró que el mejor lugar para ubicar el aerogenerador es en lo alto de las montañas del oeste orientadas hacia esa misma dirección.
- 5) Debido a que el almacenamiento y transporte de hidrógeno aún no ofrecen al usuario ventajas sobre las energías convencionales, y a que la separación por electrólisis tiene un gasto energético muy grande, se recomienda usar sistemas híbridos con base al recurso eólico y solar ya que existe una relación inversa natural entre los recursos solar y eólico, puesto que cuando

uno de los dos recursos se encuentra en un punto bajo, el otro esta en un punto alto. La combinación de ambos puede producir la energía suficiente para desalinizar agua de mar.

- 6) Es necesario llevar a cabo investigaciones sobre los aspectos técnicos de las tecnologías a implementarse en la comunidad y sobre el mantenimiento requerido. También es necesario hacer un estudio de los sólidos disueltos totales para diseñar la planta, que tenga las características de pretratamiento adecuadas y puesto que es una tecnología en la que el consumo de energía tiene relación con la salinidad del agua, se debe conocer con mayor precisión este valor para determinar los requerimientos de energía.

Bibliografía.

1. Afgan, N., Carvalho, M., Darwish, M. (1999). *Sustainability assessment of desalination plants for water production*. Instituto Superior Técnico. *Desalination* 124 (1999) 19-31, 1096, Portugal.
2. Alcocer, S. (2006). *Local actions for sea and brackish water desalination, including the use of renewable energies*. IMPULSA Project. Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. *4th World Water Forum*. México 2006.
3. Arreguín et. al., F., Martín, A., Hansen, P., Martín, I. (1998). Estado del arte de la desalinización de agua y eliminación de sales y desinfección de agua para consumo humano en zonas rurales, utilizando energía solar. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Informe final. 130pp.
4. Arreguín, F., Domínguez, M. (2000). Desalinización del agua. Ingeniería Hidráulica en México. Volumen XV. Número 1. 27-49 pp.
5. Caldera, E. (2006). La Energía del Viento y sus Posibilidades en México. Asociación Nacional de Energía Solar, A. C. Revista Solar No 56. 4- 10 pp. México.
6. Comisión Europea. (2003). La energía del hidrógeno y las pilas de combustible. Una visión para nuestro futuro. Dirección General de Investigación. 36 pp. Bélgica.
7. Comisión Nacional del Agua (CNA). (2001). Programa Nacional Hidráulico 2001-2006 . PND-CNA-SEMARNAT. México. 128 pp.
8. Consejo Nacional de Población (CONAPO). (1999). La Situación Sociodemográfica de las Zonas Costeras. 17 pp.

9. Delgado-González, O.E., Larios-Castillo, S.I., Ocampo-Torres, F.J. (1994). Las brisas durante algunos meses de primavera y verano en el noroeste del Golfo de California. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Ciencias Marinas 20(3). 421-440.
10. Einav, R., Harussi, K., Perry, D. (2002). *The Footprint of the Desalination Processes on the Environment. Blue Ecosystems, Nature Conservation, Environmental Consulting, EIA*, Hagat 177, Zichron Yaakov 30900. 141-154 pp. Israel
11. El-Dessouky, H. Ettouney, M. (2002). *Fundamentals of Salt Water Desalination. Elsevier Science*. Holanda. 670pp.
12. Fariñas, M. (1999). Ósmosis Inversa. Fundamentos. Tecnología y aplicaron. McGraw Hill. 248 p. U.S.A.
13. Formación General. (2005). Química del agua 1º medio bitácora del estudiante. 39 p. 2005 Chile
14. García-Rodríguez, L. (2002) *Seawater desalination driven by renewable energies: a review. Desalination* (143) 103-113
15. Gómez, S. (1999). Factibilidad de uso de la Energía Eólica para Desalinizar Agua de Mar en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada, Baja California. 31pp.
16. Habali, S.M., Saleh, I.A. (1994). *Design of stand-alone brackish water desalination wind energy system for Jordan. Solar Energy*. 52(6): 525-532.
17. Handbury, W. (2003). *Trends in Desalination Technology*. www.worldbank.org

18. Hernández, Marcel. (2004). Evaluación de tecnologías de desalinización de agua de mar mediante el uso de fuentes renovables de energía, para su posible uso en las comunidades rurales del sur de la Península de Baja California. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada, Baja California. 54 pp.
19. Hernández, Ricardo. (2001). Evaluación del potencial Eólico y Solar para su posible uso en el abastecimiento de electricidad a la comunidad de Bahía de los Ángeles, Baja California. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada, Baja California. 59 pp.
20. Hodgkiess, T., Handbury, W. T., Morris, R. (1993). *Desalination Technology 93. An Intensive Course*. Porthan Ltd., Easter Auchinloch. Liense, Glasgow, UK.
21. Huacuz, J. (1995). *Non-fossil fuel based energy sources*. In: *Energy and Environmental in the California-Baja California Border Region*. Ed. Sweeder, a., Ganster, P., Bennet, P. Institute of Regional Studies of the Californias. San Diego State University. Pp 133-139.
22. Medina, J.A. (2000). Instalaciones de desalación para la agricultura, su futuro. I Congreso Nacional. La Desalación y Reutilización como Alternativa Real a la Sequía. AEDyR, Murcia.
23. Merrifield, M. A. (1989). *Shelf circulation in the Gulf of California*. Tesis de Doctorado. SIO-UCSD. San Diego. 107 pp.
24. National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2003). Wind Resource Map of Baja California Norte Border Region of Mexico – 50 Meter Wind Power. U.S Department of Energy.
25. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1993). El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Las Políticas de Recursos Hídricos y la Agricultura. 193-196 pp. Roma.

26. Quintanilla-Montoya, A.L. (1999). Sistema de evaluación tecnológico de las fuentes alternativas de energía (eólica y solar) para las comunidades rurales de la zona costera Pacífico de Baja California, México. Tesis Doctoral. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California. 128 pp.
27. Quintanilla-Montoya, A.L., Rojas, A.L. (2004). Diseño participativo de un estrategia de desarrollo rural sustentable para la comunidad de Bahía de los Ángeles, B.C., México.
28. Quintanilla Montoya, A.L. (Coordinadora y Compiladora) (2007). (Aceptado en Abril de 2005 actualmente en prensa, Editorial Porrúa, México, D.F.)
29. Radhwan, A. M. (1994). *Wind energy applications in remote areas of Saudi Arabia. International Journal of Ambient Energy.* 123-130 pp.
30. Rodale, R. (1982). *The new wind power.* Penguin. EUA. Pag 19-59
31. Shiklomanov, I. (1999). *World Water Resources: Modern Assesment and Outlook for 21-st Century.* Hidrological Institute. San Petersburgo. 40 pp.
32. Unione, A., McLlymont, A. et. al., (1980). *Wind Powered Reverse Ósmosis for Self Contained Village Applications. A Design Study. In: Preceedings of the International Symposium on Fresh Water from the Sea.* Vol. 2, 319-330.
33. Valero, A., Uche, J., Serra, L. (2001). La desalación como alternativa al PHN. CIRCE-Universidad de Zaragoza. España. 108pp
34. Wangnick, K. (1998). *IDA Worldwide Desalting Plants Inventory Report N° 15.* 11-12 pp.

35. Watermark, W. (MEDRC Newsletter) (2000). *The Changing Image of Desalination*. Issue 10, September 2000.

36. Zarza, E. (1998). Desalación. Encuentro Medioambiental Almeriense: en busca de soluciones. Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). España. 26 pp.