

**Planta de desalinización de
agua mar alimentada con paneles
fotovoltaicos para San Andrés**

CESEN

PLANTA DE DESALINIZACION DE AGUA DE MAR ALIMENTADA CON PANELES FOTOVOLTAICOS PARA SAN ANDRES

CESEN

1. SITIO DE INSTALACION

La planta fotovoltaica de demostración está instalada en San Andrés, en el área de la central diesel-eléctrica de la Sociedad Electrificadora de San Andrés y Providencia-Electrosan.

El equipo desalinizador, premontado en un contenedor de 20 pies, está instalado en un edificio construido con tal fin.

El edificio incluye también una cámara para baterías con equipo de ventilación para garantizar la seguridad del personal de manejo de la planta y un almacén.

Los paneles fotovoltaicos que suministran energía eléctrica al equipo desalinizador, están montados sobre siete estructuras de acero, dispuestas en dos hileras orientadas en dirección este-oeste. El campo fotovoltaico está situado cerca del edificio. El agua salada, para tratamiento de desalinización según el proceso de ósmosis inversa, se toma de una laguna situada en frente del área de la central eléctrica, por medio de un equipo de bombeo ya existente y, en el primer trecho, a través de la tubería del agua de enfriamiento de los grupos diesel- eléctricos de la central.

2. DESCRIPCION DE LA PLANTA DESALINIZADORA

La instalación está constituida esencialmente por los siguientes dispositivos:

- Un campo fotovoltaico (constituido por 112 paneles Ansaldo tipo AP 35, montados sobre siete estructuras de soporte),
- Un dispositivo para desalinización del agua de mar según el principio de ósmosis inversa, con un tablero de distribución y de mando conectado con el tablero de mando general,
- Un dispositivo de almacenamiento con acumuladores electroquímicos,
- Un cargador de baterías alimentado por la red.
- Un tablero para control general de la instalación.

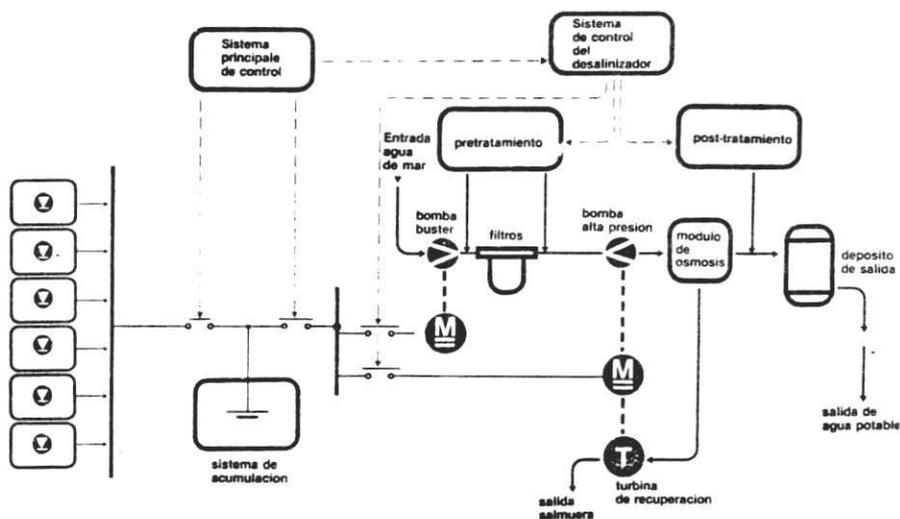


Figura 1. Descripción de Planta.

2.1 CAMPO FOTOVOLTAICO

El campo fotovoltaico está constituido por 112 módulos fotovoltaicos del tipo Ansaldo AP 35, conectados en una configuración serie-paralelo con diodos de protección, interruptores y otros equipos eléctricos montados sobre una estructura de sostén de acero galvanizado, inclinada en 20 grados respecto al plano horizontal. Las características técnicas de los componentes están descritas a continuación.

MODULO FOTOVOLTAICO

El módulo fotovoltaico adoptado es el módulo Ansaldo AP 35 fabricado en Génova - Italia por Ansaldo S.P.A. según su tecnología, basada en la metalización mediante vacuodeposición y encapsulación con plástico entre dos vidrios templados de elevada transmitancia.

Los módulos fabricados según esta tecnología, aseguran rendimientos eléctricos, estabilidad y confiabilidad aún en condiciones ambientales desfavorables.

Los módulos responden ampliamente a las especificaciones del JPL (Jet Propulsion Laboratory) de Pasadena y del JRC (Joint Research Center) de la Comunidad Económica Europea.

El módulo AP 35 está constituido por 36 células solares de silicio semi-cristalino conectadas por medio de conexiones redundantes con el fin de asegurar la máxima confiabilidad posible.

Las células están encapsuladas entre dos vidrios templados de elevada transmitancia con material plástico estabilizado contra rayos UV y alta temperatura.

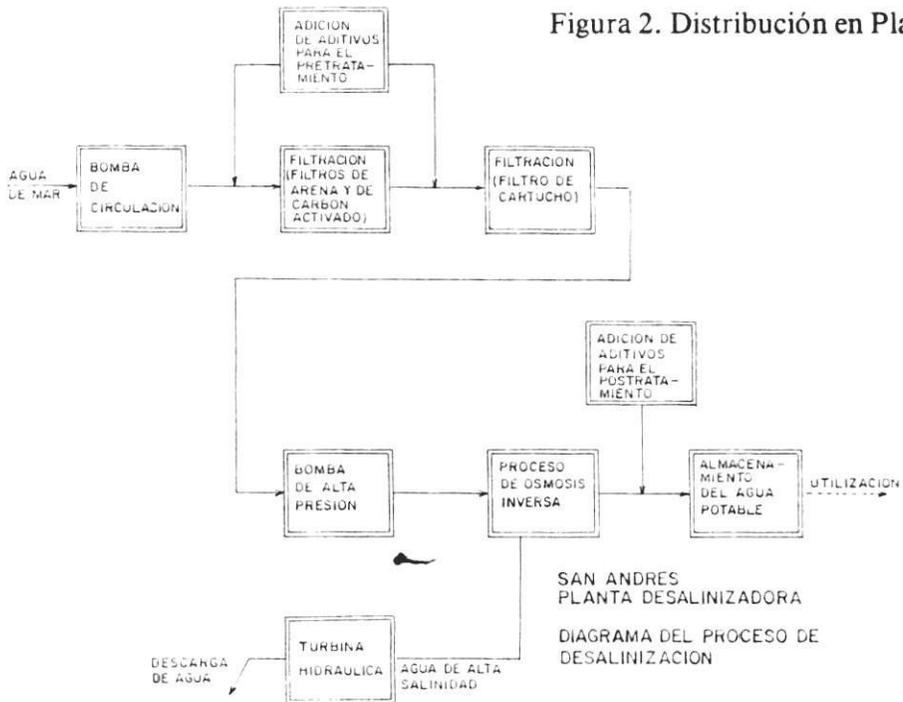
La estructura, de tipo autoportante, es de aluminio anodizado y está proyectada para un fácil montaje. Los conectores están alojados en una caja impermeable, con el diodo de desvío.

Subcampo y campo fotovoltaico

El campo fotovoltaico está constituido por 112 módulos fotovoltaicos AP 35. Los módulos están conectados en 28 hileras en serie de 4 módulos cada una, para alcanzar una tensión nominal de 48 V c.c.

Cada subcampo es una unidad mecánica y eléctrica autónoma, constituida por 4 hileras en serie, es decir, por 16 módulos fotovoltaicos. El campo fotovoltaico consiste, por lo tanto, de 7 subcampos.

Cada subcampo tiene una potencia instalada de 560 Wp, y el campo fotovoltaico completo, una potencia instalada de 3.920 Wp.



Estructura de sostén

Cada estructura de sostén puede alojar 16 módulos PV AP 35. El campo fotovoltaico completo está constituido por 7 estructuras de sostén.

Las estructuras son de acero galvanizado.

El ángulo de inclinación se puede regular de 0 hasta 85 G. Para la aplicación propuesta, hemos calculado que la mejor inclinación es la de 20 G. La estructura ha sido proyectada para operar en sitios donde hay peligro de huracanes y puede resistir, por lo tanto, velocidades del viento hasta 300 km/h.

La estructura ha sido planeada de manera que pueda manejarse y montarse muy fácilmente.

Conexiones eléctricas del campo fotovoltaico

Las conexiones eléctricas entre módulos, y las conexiones del subcampo terminan en 7 cajas de conexión impermeable, una para cada subcampo

Las cajas de conexión están provistas de interruptor de seccionamiento de mando manual, accionable en caso de que se necesiten intervenciones para mantenimiento de un subcampo. Las secciones transversales de los cables, están ampliamente calculadas con el fin de minimizar las caídas de voltaje. Las estructuras de sostén están todas conectadas a tierra. Se han adoptado también todas las medidas necesarias para garantizar condiciones de seguridad de los equipos eléctricos, para eliminar la posibilidad de averías y de situaciones peligrosas durante el funcionamiento y el mantenimiento o en caso de que se produzcan errores.

2.2 DESALINIZADOR

El desalinizador está proyectado para tratamiento del agua de mar con un grado de salinidad nominal de 25.000- 35.000 p.p.m. (partes por millón) de TDS (Sólidos Disueltos Totales). Según algunos análisis químicos efectuados con muestras de agua de la laguna de donde se tomará el agua a tratar, el grado de salinidad es de 25.000 p.p.m. de TDS. Eventualmente, la planta ha sido proyectada para grados de salinidad aún mayores, con la finalidad de prever posibles variaciones imprevistas de la cantidad de sal.

Todos los valores de funcionamiento que se indicarán a continuación, están basados en los resultados de las pruebas de recepción efectuadas sobre el desalinizador.

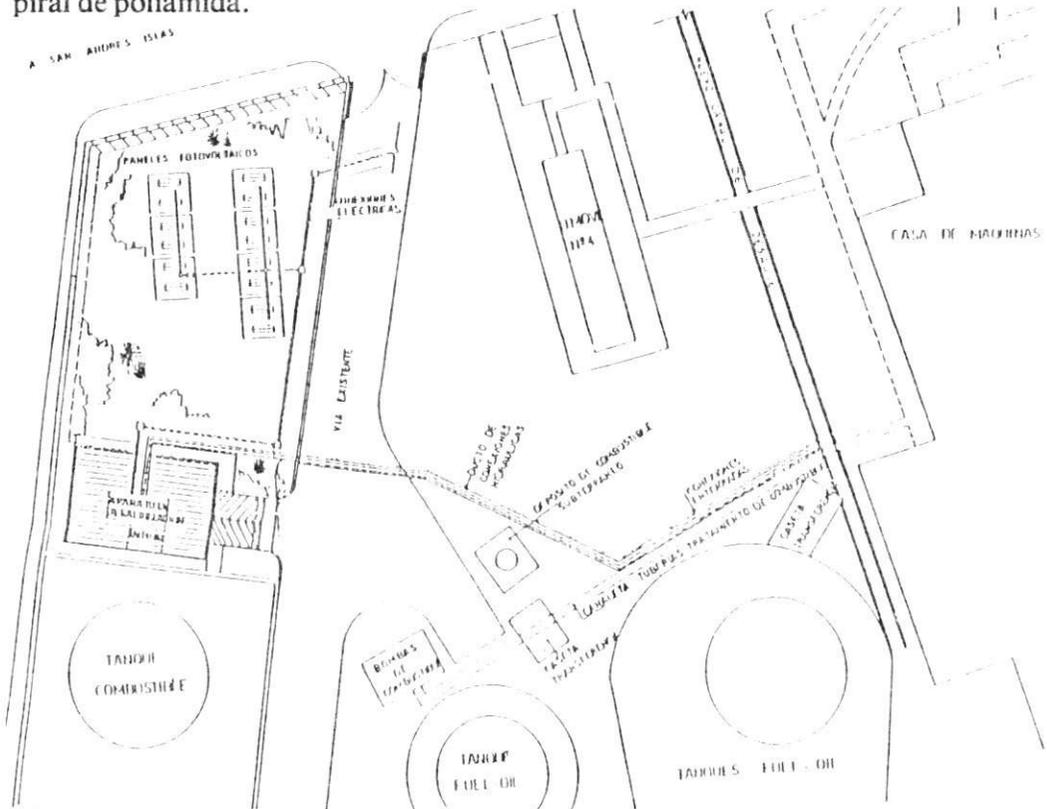
El procesamiento del agua no tratada, se efectuará según el procedimiento siguiente.

- Bombeo de agua de la laguna por medio de una bomba ya existente, que se emplea para bombear agua de enfriamiento de los motores diesel de la Central Eléctrica de San Andrés.

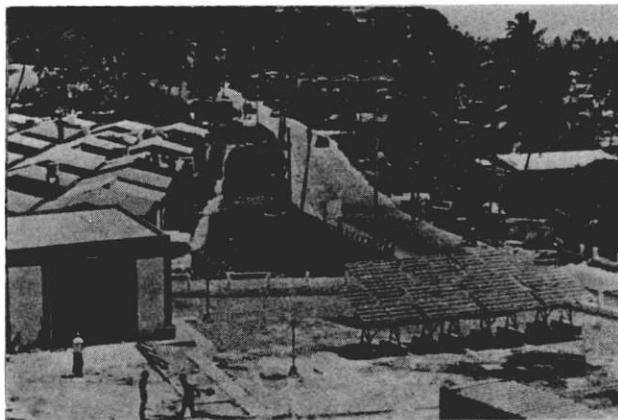
- Bombeo del agua por medio de una bomba de circulación.
- Pretratamiento del agua mediante inyección de aditivos.
- Bombeo a elevada presión en el permeador de ósmosis inversa por medio de una bomba accionada por un motor de corriente continua.
- Osmosis inversa.
- Postratamiento del agua mediante inyección de aditivos.
- Almacenamiento del agua potable.
- Descarga de la salmuera después de ser accionada una turbina hidráulica.

La bomba de circulación tiene una potencia de 500 W y puede bombear de 1.3 a 3.5 m³ de agua por hora, con una altura de elevación de 10 - 30 metros.

La bomba de alta presión es una bomba volumétrica de tres etapas, con amortiguador incorporado; tiene una capacidad de 1.5 m³/h a 56 atm, y una potencia de 3 kw. Las membranas son de tipo compuesto de capas delgadas enrolladas en espiral de poliamida.



Todas las bombas existentes en el desalinizador, así como los equipos auxiliares, están alimentados con corriente a 48 V c.c. El desalinizador está provisto de tuberías y válvulas para regeneración y mantenimiento, de válvulas de seguridad, medidor de conductividad, manómetros, medidores de caudal y de todo lo que necesita para asegurar el correcto funcionamiento, el mantenimiento y la instrumentación de la planta.



Paneles solares

2.3 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

El sistema de almacenamiento está calculado para una capacidad nominal aproximada, con referencia a una descarga de 10 horas, de 528 Ah a 48 V.

Las baterías adoptadas son de acumuladores de plomo para instalación fija, con gran eficiencia amperimétrica y energética de carga/descarga y muy baja descarga espontánea.

El mantenimiento es también muy simple (carga de agua) si el equipo se emplea con una correcta regulación de carga como en este caso. Las baterías están protegidas contra sobrevoltaje y excesiva descarga, por el equipo de control. La tensión de carga máxima es de 2.4 V/elemento (a 25 G.C.) según las instrucciones del fabricante. La regulación está compensada según la temperatura.

2.4 EQUIPO DE GENERACION ALTERNA

El equipo fotovoltaico puede trabajar sólo en condiciones de brillo solar, aunque el sistema de almacenamiento asegure una cierta autonomía. Para hacer frente, eventualmente, a largos períodos de falta de radiación solar, asociados con muy bajas condiciones de carga de las baterías, la planta está provista de un equipo de generación alterna consistente en un grupo rectificador, que se emplea como cargador de baterías conectado con la red.

El grupo rectificador-cargador de baterías, tiene las siguientes características:

- Potencia: 6 kVA
- Ingreso: 440 V- 60 Hz
- Salida: 48 V
- Corriente máxima suministrada: 80 A
- Rendimiento: 94%

2.5 TABLERO GENERAL DE MANDO

La conexión de las cargas eléctricas de la planta de ósmosis inversa, es efectuada por el tablero de mando, según las condiciones de carga de las baterías, el valor de radiación solar y la hora del día.

El tablero de mando garantiza, además, programas de seguridad y contiene todos los interruptores, monitores y el equipo de señalización y protección necesarios para el funcionamiento de la planta fotovoltaica, a saber:

- Diodos de bloqueo, en cada fin de subcampo, montados sobre disipadores de calor de dimensiones convenientes;
- Contactores de exclusión del conjunto;
- Voltímetros y amperímetros de detección;
- Seccionadores con fusibles, interruptores, disyuntores;
- Fusibles, supresores de sobrevoltajes, protecciones etc.
- Tableros electrónicos del equipo de mando y relés auxiliares.

3. FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DESALINIZADORA

Después de una fase de pretratamiento, el agua salada se encauza a la sección de alta presión para la ósmosis inversa y, antes de ser enviada al tanque de almacenamiento para el consumo, se somete a otro tratamiento adicional.

3.1 PRETRATAMIENTO

El agua sacada de la laguna entra en la planta desalinizadora y si al entrar en ella su presión es suficiente, no pasa por la bomba de circulación; si, por el contrario, dicha presión no es suficiente, se necesita accionar la bomba para que pueda compensar las pérdidas de carga que ocurren en las fases de pretratamiento y filtración.

Después de traspasar el medidor de caudal, el agua se somete a un pretratamiento que consiste en las siguientes fases:

- Adición de hipoclorito sódico por medio de una bomba dosificadora con control proporcional, para asegurar la esterilización preliminar del agua.
- Adición de cloruro férrico por medio de una bomba dosificadora con control proporcional para asegurar, en el filtro de arena, la clarifloculación del agua. La floculación consiste en la formación de flóculos eléctricamente neutros, constituidos por hidróxido férrico, electropositivo, y sustancias coloidales, electronegativas, en suspensión en el agua, con eliminación de metales pesados, bacterias patógenas, materiales en suspensión y coloides varios. Los flóculos se aglomeran debido a la turbulencia que se obtiene en un mezclador.
- Filtración a través de un filtro de arena constituido por un recipiente de resina con fibra de vidrio, parcialmente llena de arena. En él se retiran los flóculos que se han formado precedentemente, con eliminación de las materias orgánicas y de las partículas en suspensión que causan impurezas.
- Filtración a través de un filtro de carbón activado, constituido por un recipiente de resina con fibra de vidrio llena de carbón activado, mediante el cual se elimina el cloro que se había añadido al inicio del tratamiento y que podría causar daños a las membranas de ósmosis inversa.
- Adición de carboxil por medio de una bomba dosificadora con control proporcional; el carboxil se emplea como desincrustante, es decir, para impedir la combinación del calcio con el magnesio del agua y la formación, por consiguiente, de depósitos e incrustaciones sobre las membranas.

3.2 PROCESO DE OSMOSIS INVERSA

En el proceso de ósmosis inversa, el agua sale selectivamente de una solución salina concentrada y se propaga, a través de una membrana polimérica, en una solución salina de baja concentración.

Según el proceso natural de ósmosis, se encauza el agua en dirección opuesta, hasta cuando se establezca un desequilibrio de presión igual a la presión osmótica diferencial. La presión osmótica es proporcional a la actividad del soluto y es, por lo tanto, más o menos proporcional a la concentración salina. La presión osmótica del agua de mar, alcanza unas 25 atmósferas; esto significa que, en defecto de otras fuerzas, el agua pura tiende a correr hacia el agua salada —a través de una membrana permeable solo por el agua— hasta cuando se establezca una carga de agua de 25 atmósferas de presión al lado del agua de mar.

En este punto, el sistema se encuentra en equilibrio, si la diferencia de presión a través de la membrana es inferior a la presión osmótica, el agua entra en la solución salina por ósmosis, pero cuando la diferencia de presión a través de la membrana supera la presión osmótica, el agua corre de la solución salina hacia el agua pura por ósmosis inversa. Para que el agua que atraviesa la membrana se torne pura durante un proceso de ósmosis inversa, se necesita que la membrana

sea permeable para el agua, pero relativamente impermeable para la sal porque, de lo contrario, la sal pasaría a través de la membrana con el agua.

El proceso de desalinización de ósmosis inversa, permite purificar el agua de las sales y materias orgánicas para transformarla en agua potable, mediante membranas semi-permeables de material sintético. Con este proceso, se necesita que el agua entre en las membranas con una presión de 55-60 atmósferas, lo cual se efectúa por medio de una bomba de pistones. De esta manera, debido al efecto de la presión, sólo agua pura y una pequeña cantidad de sales atraviesan las membranas, mientras que la parte sobrante, de alta concentración, es eliminada. Tres presostatos aseguran el flujo regular de agua a las membranas, controlando respectivamente la mínima presión del agua de alimentación a la bomba de alta presión, la máxima presión de envío a las membranas y la mínima presión del agua a la salida de las membranas.

Dos pulmones equilibradores instalados respectivamente sobre la bomba de alta presión y sobre la descarga del concentrado, permiten amortiguar respectivamente las pulsaciones de la bomba durante su funcionamiento y los cambios bruscos de presión causados por la válvula motorizada principal ROEW 2 durante las fases de arranque y de parada del desalinizador.

Existe además un dispositivo de control de la temperatura del agua a su entrada en las membranas, constituido por un termostato situado después de la bomba. En efecto, una temperatura excesiva (más de 45 G.C) puede estropear las membranas irreversiblemente.

Las membranas semipermeables, que aseguran el proceso de desalinización, son poliamídicas y tienen forma de hojas delgadas enrolladas en hélices en muchas capas, que constituyen módulos cilíndricos en espiral.

El agua empujada a presión coaxialmente respecto al cilindro, sale desalinizada a través del tubo central (portador del permeado); el agua sobrante, con más alta concentración de sal, sale de la parte periférica del cilindro.

Antes de su descarga, se encauza el agua a una pequeña turbina hidráulica, conectada directamente con el eje del motor eléctrico de la bomba de alta presión; de esta manera, se explota la fuerte presión del agua de descarga para suministrar una parte de la energía necesaria para la planta. Se ha establecido que este sistema de conversión de la energía permite ahorrar cerca de un cuarto de la energía necesaria para el funcionamiento de la planta.

3.3 POSTRATAMIENTO

El agua desalinizada que sale de las membranas, se encauza al tanque de almacenamiento para su utilización.

Antes de llegar al tanque, el agua atraviesa un medidor de caudal y un conductímetro para la lectura del caudal y del grado de salinidad.

En función del grado de salinidad, si la conductividad supera un valor prefijado, una válvula motorizada automática descarga toda el agua antes de su entrada en el tanque. Las lecturas antes mencionadas en salida sirven, además, para la dosificación en el postratamiento, que se efectúa con el fin de restituir al agua sus correctos contenidos de cloro y de sal. Las fases de postratamiento son:

- Adición de hipoclorito de sodio, por medio de una bomba dosificadora, para asegurar el suministro de un correcto porcentaje de cloro al agua desalinizada;
- Adición de alcalit, por medio de una bomba dosificadora, que permite asegurar, con este compuesto salino, un sabor agradable del agua y que regula al mismo tiempo su pH.

La cantidad de agua encauzada al tanque se mide por medio de un contador de litros, situado aguas abajo de un pequeño tanque utilizado para impedir que las membranas se desequen durante las paradas de la planta.

El tanque de almacenamiento está dotado de un indicador de nivel visual y de los contactos eléctricos de nivel que paran la planta cuando el agua alcanza el nivel superior y lo rehabilitan cuando el agua desciende bajo el nivel inferior.

3.4 TABLERO DE MANDO DEL DESALINIZADOR

Como se ha dicho antes, además del tablero general de mando, existe un tablero eléctrico del desalinizador, dotado de un circuito lógico interno especial para la resolución de los problemas de funcionamiento de la planta desalinizadora, desconectado, por lo tanto, de los problemas relativos al campo fotovoltaico y a las baterías de alimentación.

3.5 PRODUCCION DE LA PLANTA

La producción de la planta desalinizadora depende de varios factores, es decir: radiación solar incidente sobre los paneles fotovoltaicos, grado de salinidad del agua a tratar, temperatura del agua, etc.

Según tales factores, es posible prever la cantidad de agua potable que puede producir la planta diariamente. Para definir la energía solar incidente sobre los paneles, se han utilizado los datos determinados por el Aeropuerto Sesquicentenario de San Andrés en el período 1973-1983 según los cuales hemos establecido los valores de las horas de brillo solar promedio al día en todos los meses del año (cuadro 1).

Según las horas promedio al día y utilizando códigos de cálculo elaborados por el CESEN, hemos establecido los valores de insolación media diaria sobre superficies inclinadas, según ángulos distintos respecto al plano horizontal (cuadro 2).

Del análisis de los valores del cuadro, se puede establecer la inclinación de los paneles, que asegura la mejor explotación posible de la energía solar. La inclinación

de los paneles fotovoltaicos, se escoge buscando un compromiso entre la necesidad de suministrar la máxima cantidad posible de energía por año y la necesidad de asegurar las mínimas variaciones posibles de producción de energía en los varios meses del año.

A la luz de estas consideraciones, hemos establecido una inclinación óptima de 20 G.C. respecto al plano horizontal. Las características fundamentales para la definición de las producciones de la planta desalinizadora son:

- Cantidad de sales en el agua de entrada (P.P.M. de TDS);
- Temperatura del agua a su entrada;
- Caudal del agua a su entrada;
- Presión de funcionamiento;
- Cantidad de sales en el agua potable producida;
- Caudal del agua potable producida;
- Tensión de funcionamiento;
- Corriente absorbida;
- Potencia eléctrica.

Los valores de estas características en las condiciones de funcionamiento nominales, están indicados en el cuadro 3. Estos valores han sido calculados experimentalmente, según pruebas de la planta desalinizadora efectuadas en Italia.

Considerando los valores de disponibilidad promedio al día en los varios meses del año, con una inclinación de los paneles de 20 G.C. y el consumo de energía de la planta desalinizadora en condiciones nominales, se puede definir, en promedio, por cuántas horas al día puede funcionar la planta, siendo alimentada con energía eléctrica producida por los paneles fotovoltaicos y la cantidad de agua potable producida al día (cuadro 4).

Claramente, los valores indicados en el cuadro 4 son valores estimados; se podrán establecer los valores efectivos sólo mediante pruebas de producción "in situ", es decir, en las reales condiciones de servicio.

CUADRO 1

Número de horas de insolación medias diarias en San Andrés

MES	No. DE HORAS DE INSOLACION
Enero	7.7
Febrero	8.5
Marzo	9.1
Abril	8.5
Mayo	8.2
Junio	5.6
Julio	6.1
Agosto	6.8
Septiembre	6.5
Octubre	6.2
Noviembre	6.0
Diciembre	6.6

CUADRO 2

Insolación global media diaria (kwh/m² d) sobre superficies con diferentes inclinaciones respecto al plano horizontal.

MES	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
Enero	4.825	5.035	5.216	5.366	5.485	5.571	5.623
Febrero	5.495	5.662	5.796	5.895	5.959	5.988	5.980
Marzo	6.139	6.203	6.232	6.225	6.183	6.105	5.994
Abril	6.137	6.099	6.026	5.920	5.781	5.609	5.406
Mayo	6.041	6.029	5.984	5.907	5.800	5.661	5.490
Junio	5.085	5.083	5.053	5.004	4.930	4.831	4.708
Julio	5.290	5.280	5.242	5.179	5.092	4.977	4.837
Agosto	5.524	5.493	5.432	5.342	5.224	5.079	4.906
Septiembre	5.221	5.270	5.291	5.272	5.234	5.169	5.078
Octubre	4.732	4.852	4.947	5.014	5.053	5.064	5.047
Noviembre	4.299	4.461	4.600	4.713	4.900	4.859	4.892
Diciembre	4.258	4.461	4.640	4.792	4.917	5.013	5.080
Media	5.254	5.327	5.372	5.386	5.372	5.327	5.253

CUADRO 3

Características de la planta en condiciones nominales de funcionamiento

Agua a su entrada:

Caudal	1500 l/h
Temperatura	25 °C
Salinidad (TDS)	25000 p.p.m.
Presión	55 — 60 bares

Agua potable:

Caudal	400 l/h
Salinidad (TDS)	400 p.p.m.

Condiciones de funcionamiento:

Tensión	48 V
Corriente	69 A
Potencia	3.3 kW

CUADRO 4

Evaluación de las producciones de la planta en condiciones de insolación media, valores medios diarios.

MES	PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA DEL CAMPO FOTOVOLTAICO (Ah/día)	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO (horas/día)	AGUA POTABLE PRODUCIDA (m3/día)
Enero	297	4.3	1.72
Febrero	323	4.7	1.88
Marzo	335	4.9	1.96
Abril	313	4.5	1.80
Mayo	315	4.6	1.84
Junio	367	3.9	1.56
Julio	276	4.0	1.60
Agosto	283	4.1	1.64
Septiembre	284	4.1	1.64
Octubre	274	4.0	1.60
Noviembre	260	3.8	1.52
Diciembre	266	3.9	1.56