

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ INGENIERÍA MECÁNICA



INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

Reutilización de agua salobre de drenaje agrícola utilizando energía solar

PRESENTA:

Alan de Jesús Morales García

No. de control: 09270734

Lugar de residencia:

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)



Periodo:

Agosto-Diciembre 2013

Asesores

Interno

M.I. Lorenzo Marciano Vázquez

Externos

Dr. José Javier Ramírez Luna (IMTA)

Dr. José Jassón Flores Prieto (CENIDET)

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

"2014, Año de Octavio Paz"

DIRECCIÓN
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 11 de julio del 2014

OFICIO NUM. DEP-CT-201-2014


C. ALAN DE JESÚS MORALES GARCÍA
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
EGRESADO DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.
P R E S E N T E.

Habiendo recibido la comunicación de su trabajo profesional por parte de los CC. M.I. LORENZO MARCIANO VAZQUEZ , ING. RUTILO MORALES ÁLVAREZ e ING. VICTOR MANUEL VAZQUEZ RAMÍREZ, En el sentido que se encuentra satisfactorio el contenido del mismo como prueba escrita, **AUTORIZO** a Usted a que se proceda a la impresión del mencionado Trabajo denominado:

" REUTILIZACIÓN DE AGUA SALOBRE DE DRENAJE AGRÍCOLA UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR."

Registrado mediante la opción:
X (MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL)

ATENTAMENTE
"CIENCIA Y TECNOLOGÍA CON SENTIDO HUMANO"


ING. JUAN JOSÉ ARREOLA ORDAZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE LA DIVISION DE
ESTUDIOS PROFESIONALES

C.c.p.- Departamento de Servicios Escolares
C.c.p.- Expediente
I'JLMN/I'JJA0/I'eeam

Vo. Bo.


M. en C. JOSÉ LUIS MÉNDEZ NAVARRO
DIRECTOR



Secretaría de Educ. Pública
Instituto Tecnológico
de Tuxtla Gutiérrez,
Div de Est Profesionales

ÍNDICE

Prólogo	_____	2
CAPÍTULO I	Antecedentes _____	3
	I.1 Generalidades _____	4
	I.2 Estado del arte _____	5
	I.3 Objetivos _____	8
CAPÍTULO II	Área de trabajo _____	9
	II.1 Características _____	10
	II.2 Historia _____	10
	II.3 Misión _____	12
	II.4 Visión _____	12
	II.5 Ubicación geográfica _____	13
CAPÍTULO III	Marco teórico y metodología _____	14
	III.1 Fundamentos teóricos _____	15
	III.2 Muestras _____	34
	III.3 Descripción del método _____	34
CAPÍTULO IV	Equipo experimental _____	37
	IV.1 Descripción _____	38
	IV.2 Manual de operación _____	38
CAPITULO V	Resultados _____	39
CONCLUSIONES	_____	42
REFERENCIAS	_____	44
ANEXOS	_____	46

Prólogo

En este documento se presenta el reporte de Residencias Profesionales, que consistió en estudiar el desempeño de una planta de ósmosis inversa, por nanofiltración, para la utilización de agua salobre operando con energía solar, para esto se trabajó en la puesta en operación y en la evaluación energética considerando su **Intensidad Energética**.

El estudio se realizó en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, en la Sub-coordinación de Riego y Drenaje Agrícola. Consistió en coadyuvar en la puesta en operación y evaluación del sistema de desalación solar en condiciones de laboratorio y campo.

En los resultados se observó que en condiciones de laboratorio el desalador presentó una Intensidad energética de 1.96 KWh/m^3 y una eficiencia de un 77.73% en promedio de las 3 pruebas realizadas en laboratorio. Por otro lado, se pudo apreciar que el desempeño en campo fue similar, pero adicionalmente se observó que hay factores que afectan el funcionamiento del sistema como lo es el lugar de suministro de agua y si está o no en movimiento el suministro.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

I.1 Generalidades

Este proyecto atiende una necesidad que se presenta no sólo en el país sino en varios lugares del mundo, la escases de agua para uso agrícola. En varias zonas del país podemos observar las grandes sequías y precipitaciones pluviales insuficientes, he aquí la importancia de usar las cuencas de agua que se logran formar durante los pequeños momentos de lluvia y los depósitos de aguas salobres para mermar un poco la gran necesidad que se tiene.

A diferencia de lo que comúnmente se piensa el agua para cultivos necesita tratamiento, no como el agua para consumo humano, pero sí se requiere remover varias partículas (como las sales y algunos metales) que aunque no lo parezca, dañan, retardan y/o estropean el crecimiento de las plantas. De ahí que los frutos que comúnmente consumimos y pueden causar daños a nuestra salud, como lo son las enfermedades gastrointestinales o envenenamiento por metales debido a bacterias que absorben del agua que se usó para regarlas.

Por otro lado, también el proyecto atiende la optimización de la demanda de energía. Hoy en día se demandan suministros de energía eléctrica óptimos para el funcionamiento de los aparatos. La opción de fuentes renovables de energía, como lo son la energía solar y la energía eólica, tienen la gran ventaja de que estas no contaminan el ambiente como lo hacen el petróleo y el gas natural durante el proceso de transformación a energía.

La ósmosis inversa y la nanofiltración, son las tecnologías probadas para el tratamiento de agua; sin embargo, la nanofiltración solar para lugares aislados aún se encuentra en etapa de prueba, teniendo de referencia tecnología utilizada en Túnez desde 2007.

Por lo anterior, la puesta en marcha de este proyecto tiene su sustento en la preservación de nuestros depósitos de agua limpia al utilizar aguas salobres, ahorrar energía eléctrica al utilizar una energía renovable, como lo es la solar y ayudar la gente en lugares en donde no tienen suficiente agua para sus cultivos al tener opciones para lograr tener cosechas rentables.

I.2 Estado del arte

En 1998, el Centro de Investigación en Energía y Agua del Instituto Tecnológico de Canarias, España, publicó la adaptación de un sistema fotovoltaico en un sistema de ósmosis inversa, para disminuir el problema de escases de agua en las zonas del Mediterráneo y en el Medio Oriente. Tomando en cuenta para los costos los factores: tiempo de operación de la planta de ósmosis inversa, costos de inversión de la planta de ósmosis inversa y consumo de energía específica. Como resultado del uso de este sistema combinado se determinó que el valor de la energía producida es de entre \$0.30 y \$0.35 por KWh. Además el costo de producción de agua utilizable fue de entre 16 y 17 \$/m³. Aunque puede reducirse los costos si se aumenta el tiempo de uso de la planta o los costos de inversión de la planta de ósmosis inversa disminuyen.

En 1998, el Instituto Nacional para la Investigación Científica y Técnica de Francia, investigó el uso e implementación de la desalación de fuentes de agua como una práctica desde 1927 en Túnez y regiones cercanas. Siendo estas áreas regiones de clima árido a semiárido y donde el promedio anual de lluvia es muy bajo. Además, al implementarse plantas de desalación se ha logrado avanzar en el desarrollo de la región, además de ayudar a otros sectores como lo es el turismo. Concluyendo en que el desarrollo de estas plantas será de gran ayuda en un futuro cercano debido a la creciente demanda de agua potable que hay no solo en esa región sino en el mundo entero, dando una opción muy eficiente para solucionarlo. Además que en la implementación de energía renovable se atacara otro gran problema que es la demanda energética.

En 2001, el Departamento de Ingeniería del Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Estambul, en Turquía, realizó la evaluación de 2 membranas (TFC-S y TFC-HR) para purificación de agua por medio de baja presión con fuente del lago Buykcemece de Turquía, la metodología fue usando 2 m² de cada membrana sometidas a 3, 4, 5 y 6 bares de presión, con temperatura controlada de entre 25 y 27°C. Los resultados obtenidos fueron que a medida de que el porcentaje de recuperación de agua subía los coeficientes de agua permeada disminuían pasando el tiempo, como muestra la membrana TFC-S con porcentaje de recuperación de 70% tenía un coeficiente de 39 l/m².h y al llegar al 80% este bajo a 30 l/m².h.

En 2005 la investigación y pruebas hechas a membranas de ULPRO y NF por el Departamento de ingeniería civil, ambiental e ingeniería arquitectónica de la Universidad de Colorado, se seleccionaron las membranas NF-90 y TMG10. Estas fueron sometidas a pruebas de concentración de: TOC (Total Organic Carbon), NH₄, productos farmacéuticos y de uso personal; en una máquina de 2 fases para la purificación de agua para obtener resultados y ser comparados con resultados ya conocidos de las membranas de ósmosis inversa.

Como resultado se obtuvo lo siguiente:

NF-90: TOC > 0.3 mg/L, NH₄ > 2.8 mg/N-L; TMG10: TOC > 0.3 mg/L,
NH₄ > 1.7 mg/N-L;

Siendo los valores aceptables: TOC > 0.5 mg/L, NH₄ > 5 mg/N-L;

En Noviembre de 2005, Andrea Schäfer y Andreas Broeckmann del departamento de Ingeniería ambiental de la Universidad de Wollongong y Bryce Richards, del Centro de energías sustentables de la Universidad Nacional de Australia, publicaron el artículo que nos habla del problema de escasas de agua potable y propone una solución de recuperación de agua utilizable mediante el uso de energía renovable y el uso del método híbrido de ultrafiltración y ósmosis inversa/nanofiltración. Aunque exponiendo las limitaciones del sistema como lo es la necesidad de un pretratamiento para evitar el exceso de fouling en las

membranas, se demuestra que es un avance para el desarrollo para las ciudades y poblaciones. Aunque todavía se necesita mejorar la tecnología para mayor eficiencia.

En 2007, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de tecnología de Sydney, realizó pruebas hechas con nanofiltración a contraflujo que fueron hechas con agua de desecho sintetizada y con agua biológicamente tratada (pretratamientos). Con lo que se midió los datos de limpieza del agua tras estos tratamientos y comparándolos con resultados obtenidos solamente una nanofiltración.

Así los resultados obtenidos fueron: eficiencia orgánica < 90%, la eficiencia de remoción de TOC incremento del 78 al 88% con el pretratamiento, con el pretratamiento de absorción se removió más del 65% de hidrofobia y 60% de material orgánico de aguas residuales hidrofilia.

Bart Van der Bruggen, en 2008 presentó un trabajo sobre la historia, los tipos de dispositivos, comparativos, membranas, áreas relacionadas y retos de la nanofiltración. En el documento se muestra la diferencia de la nanofiltración de otros métodos de filtración, parámetros para su utilización, así como problemas que llegan a presentar las membranas y formas de solucionarlo, además de los campos en los que se ha utilizado y retos que han surgido con base a su puesta a prueba. El documento muestra que la nanofiltración es un procedimiento recomendable para el tratamiento de agua, mejorando su eficiencia al tomar parámetros al utilizarla, como lo puede ser ponerlo antes o después de otro proceso de filtrado, así como la forma de colocar los filtros (ya sea un proceso en serie o en cascada). También, se observan el tipo de filtros que pueden utilizarse de acuerdo a la calidad de agua que se requiere tratar.

La empresa Nitto Denko en 2011 presenta los factores, valores y recomendaciones para un funcionamiento seguro de sistemas de membranas de ósmosis inversa y nanofiltración. Estos factores son el momento de tener abiertas o cerradas las válvulas, presencia de cloro menor a 5 ppm y ORP (Oxidation-

Reduction Potential) menor a 300 miliVolts, lubricación de la máquina evitando lubricantes a base de petróleo, tamaño de partículas en el agua y el sistema de tasa de presurización, a no más de 10 psi y usar las tablas de relación presión máxima-temperatura para la utilización de membranas para agua marina; además para aguas salobres no trabajar a más de 600 psi; esto debe tenerse en cuenta a la hora de utilizar el sistema de ósmosis inversa o nanofiltración, para que las membranas filtradoras no sufran oxidación y/o degradamiento, y la vida de estas sea lo más duradera posible.

Conclusión del estado del arte

Como conclusión general de los documentos consultados para los antecedentes al tema del proyecto podemos decir que el uso de los sistemas de desalación o filtración no es algo ajeno al pensamiento de las generaciones pasadas, ya que también buscaron la manera de aprovechar las fuentes de agua que tuvieran a su alcance aunque estas no fueran del todo aprovechables.

Hoy en día existen más métodos y formas de realizar la purificación del agua, así como la combinación de estos para la mejora de calidad que se desea tener, y la elección del método correcto; además de tomar en cuenta los inconvenientes, mantenimiento, recomendaciones y formas de manejo en la utilización de cada uno para resultados satisfactorios; también de que estos tienen una disposición a mejorar conforme se avance la tecnología para su uso.

I.3 Objetivo

Poner en operación una planta de ósmosis inversa para la reutilización de agua salobre de drenaje agrícola operando con energía solar para la evaluación de su desempeño.

CAPÍTULO II

ÁREA DE TRABAJO

II.1 Características

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) es un organismo público descentralizado que se aboca a enfrentar los retos nacionales y regionales asociados con el manejo del agua, y a perfilar nuevos enfoques en materia de investigación y desarrollo tecnológicos, para proteger el recurso y asignarlo de manera eficiente y equitativa entre los distintos usuarios.

Los objetivos del Instituto son:

- Contribuir a la gestión sustentable del agua a través del conocimiento, la tecnología la formación de recursos humanos y la innovación.
- Incorporar al sector hídrico en la sociedad del conocimiento.
- Crear un alto valor agregado para las instituciones del sector hídrico mediante el conocimiento, la creación y adaptación de tecnologías, y el suministro de servicios tecnológicos altamente especializados.
- Impulsar el desarrollo de la ciencia y la tecnología del agua, en especial mediante la formación de personal altamente capacitado, a nivel especialización y posgrado.

Para tal fin, el IMTA dispone de capacidades y competencias específicas que le dan una ventaja competitiva, y le permiten agregar valor a los productos y servicios que aporta a sus clientes y usuarios.

II.2 Historia

Mediante decreto presidencial, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 7 de agosto de 1986, el IMTA fue creado como un órgano desconcentrado de la entonces Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).

En 1994, con motivo de la modificación a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, el IMTA pasó a formar parte de la entonces Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap) (DOF, 28 de diciembre de 1994).

Actualmente, el IMTA es un organismo público descentralizado del gobierno federal, con personalidad jurídica y patrimonio propios, coordinado sectorialmente por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (DOF, 30 de octubre de 2001).

EL IMTA en la Actualidad

Entre otras actividades importantes el IMTA apoya la implementación del Programa Nacional contra la Sequía, participa en la puesta en marcha del Programa Nacional de Prevención contra Contingencias Hidráulicas y, en estrecha colaboración con la Conagua, trabaja en la elaboración del Programa Nacional Hídrico 2013-2018 (programa transversal del PND) con el fin de asegurar que los mexicanos gocemos, en los hechos, del acceso al recurso y transitemos hacia la política de Estado que, en materia de agua, ha propuesto el Gobierno de la República en los objetivos siguientes:

- Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua.
- Incrementar la seguridad de la población y áreas productivas ante sequías e inundaciones.
- Asegurar el abastecimiento de agua y el acceso a los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.
- Asegurar el agua para el riego agrícola, energía, industria, turismo y otras actividades productivas de manera adecuada y sustentable.
- Contribuir en la formación de una cultura mexicana del agua acorde con su realidad e incrementar las capacidades técnica, científica y tecnológica del sector.
- Consolidar la participación de México en materia de agua en el contexto internacional.

II.3 Misión

Producir, implantar y diseminar conocimiento, tecnología e innovación para la gestión sustentable del agua en México.

Cumpliremos nuestra Misión mediante:

- La investigación científica (básica y aplicada).
- El desarrollo, adaptación y transferencia de tecnología.
- La innovación en los diferentes aspectos de la gestión de los recursos hídricos.
- La formación de recursos humanos calificados.
- La prestación de servicios tecnológicos, de capacitación, de consultoría y asesoría especializadas, de información y de difusión del conocimiento, científica y tecnológica.

II.4 Visión

Ser una institución líder y de clase mundial que propicie la transformación del sector hídrico e impulse la gestión sustentable del recurso agua en el país.

Que propicie e impulse la transformación del sector por medio de:

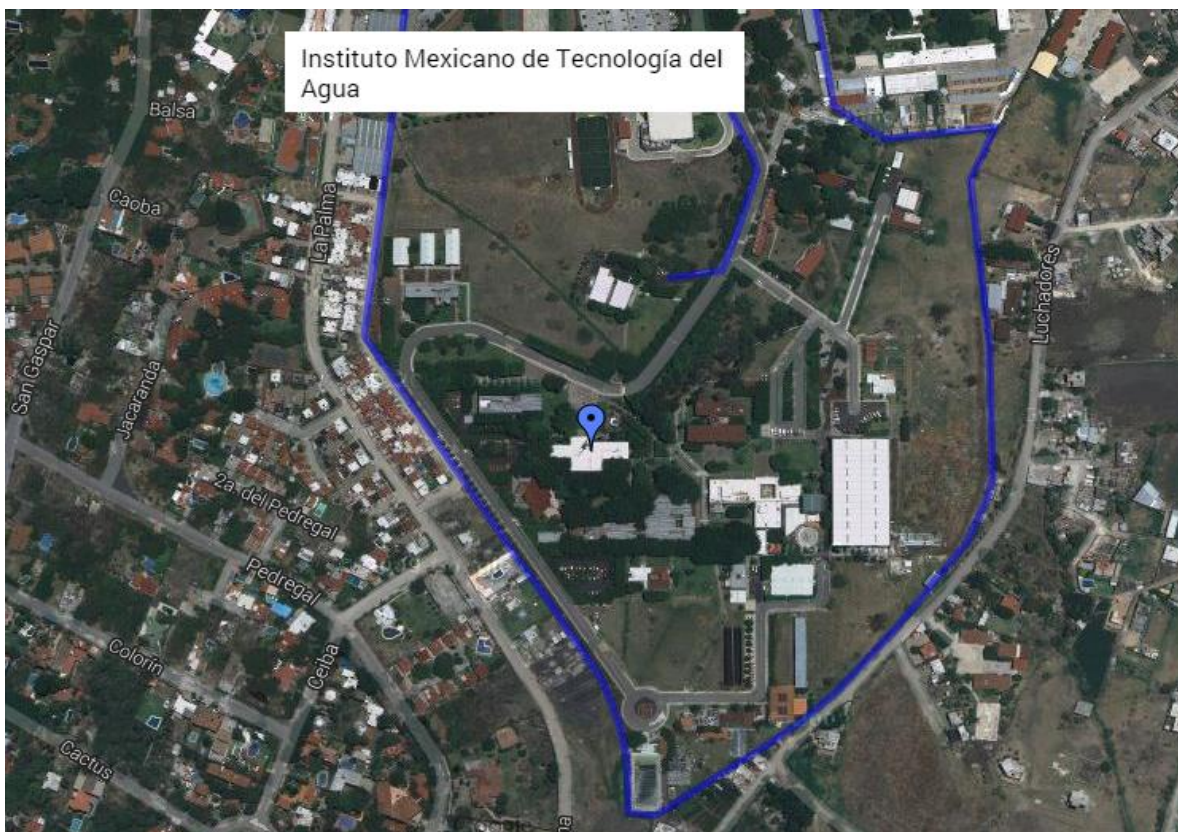
- La generación de conocimiento original y de frontera.
- Los resultados de impacto con pertinencia social y económica en su investigación.
- El desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos.
- El compromiso con la mejora continua, y la entrega de productos y servicios de calidad.
- La competitividad de acuerdo a parámetros internacionales.
- La unidad y colaboración en los equipos de trabajo.
- El diseño organizacional flexible y ágil en su adaptación al entorno cambiante.

- La capacidad de obtención de recursos complementarios para el cumplimiento de su misión.
- El liderazgo que encabece las sinergias en el Subsector de Ciencia y Tecnología del Agua para apoyar el cumplimiento de las metas nacionales.
- El respeto al medio ambiente.
- El impulso a la ética del agua.
- La investigación prospectiva para prever futuros escenarios de oportunidades y riesgos en el sector hídrico.

II.5 Ubicación

El IMTA se encuentra ubicado en:

Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos.



Mapa 1. Ubicación geográfica del IMTA

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y

METODOLOGÍA

III.1 Fundamentos teóricos

Para comprender el proyecto es necesario conocer el marco teórico que lo sustenta, por lo que a continuación se dan a conocer los siguientes conceptos: la filtración, la nanofiltración, la energía solar y celdas fotovoltaicas.

III.1.1 Filtración ^[1]

La filtración de los líquidos es una técnica que se ha utilizado desde el principio de la humanidad. El concepto de membrana y de selectividad en permeación (permselectividad) se ha utilizado en el siglo 18; particularmente fue el fraile NOLLET quien en 1748 había estudiado el transporte selectivo de ciertas especies a través de membranas naturales tales como pergaminos, vejiga de cochino, piel de manzana, etc. La asociación entre membranas y filtración permitió en adelante desarrollar técnicas de filtración de líquidos tales como las que conocemos hoy en día.

Aquí trataremos de las técnicas en las cuales la transferencia de materia se produce bajo el efecto de un gradiente de presión. Se trata de la microfiltración, de la ultrafiltración, de la nanofiltración y de la ósmosis inversa. La microfiltración y la ósmosis inversa fueron las primeras técnicas desarrolladas a nivel industrial con membranas artificiales. La ultrafiltración y luego la nanofiltración se desarrollaron gracias a los adelantos recientes en la fabricación de nuevas membranas.

Estas cuatro técnicas se llevan a cabo en un modo de filtración tangencial, es decir, cuando el líquido a filtrar circula de manera permanente y con cierta velocidad a lo largo de la superficie de la membrana (ver figura 1). La velocidad de circulación es por lo tanto, junto con la presión a través de la membrana, uno de los dos parámetros importantes en la operación de una planta de filtración por membrana.

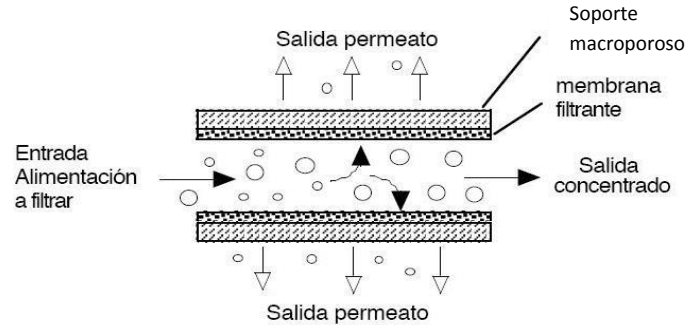


Figura 1: Principio de la filtración tangencial en tubo

La filtración tangencial permite evitar la acumulación de materia (torta en la superficie de la membrana). Veremos que juega un papel más importante en microfiltración o ultrafiltración que en nanofiltración u ósmosis inversa. Eso está relacionado con la naturaleza de las especies separadas y con la estructura de la membrana utilizada en cada técnica.

El propósito principal de esas técnicas de filtración de líquido es separar las especies en función de sus tamaños. Esas especies pueden estar bien sea en suspensión, bien sea en solución en el líquido a tratar. En la figura 2 se observa que las diferentes técnicas cubren cada una un campo particular, y corresponden cada una a especies clasificadas en función de su tamaño o de su masa molecular.

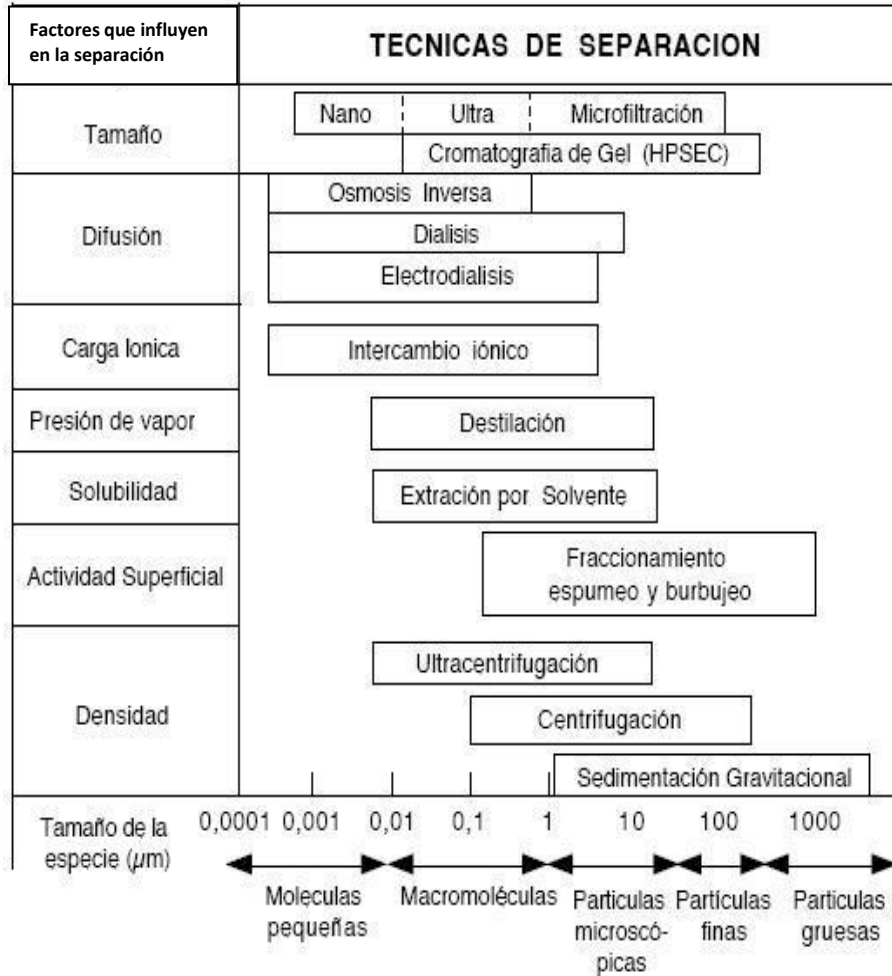


Figura 2. Clasificación de las técnicas de separación en base al tamaño de las especies a filtrar y a factores operacionales

La separación de partículas o de objetos macroscópicos se obtiene por filtración frontal. Las técnicas de filtración tangencial que utilizan membranas artificiales empiezan con la separación de partículas microscópicas o de especies biológicas tales como las bacterias, en cuyo caso se trata de microfiltración. Para especies o fragmentos de materias más pequeñas como los coloides, las macromoléculas o los virus, se trata de la ultrafiltración. En cuanto a las pequeñas moléculas de masa molecular inferior a 1000 se separan por una técnica llamada nanofiltración. Esa técnica permite también separar iones multivalentes de iones monovalentes. En cuanto a la ósmosis inversa es la técnica última que permite detener la casi totalidad de las especies contenidas en un líquido. Se utiliza principalmente en un medio acuoso para obtener agua ultra pura.

Los campos de aplicación de esas técnicas están ligados a la naturaleza de las especies separadas. Se comprueba que prácticamente todos los sectores industriales se benefician de las tecnologías de separación por membranas. Actualmente esas tecnologías se desarrollan más fuertemente en:

- El tratamiento de aguas y de efluentes industriales y domésticos.
- La filtración de líquidos agroalimentarios para operaciones de esterilización, separación, clarificación, concentración.
- La recuperación y la purificación de moléculas con alto valor comercial en el campo de la farmacia o como complemento de operaciones con reactores biotecnológicos a fin de separar productos tales como los antibióticos.

En el futuro se visualiza que esas técnicas se desarrollarán también en el campo de la química y de la petroquímica. Estos desarrollos están condicionados a la fabricación de nuevas membranas capaces de trabajar con solventes orgánicos y/o a temperaturas elevadas. Es en ese campo de aplicación que las membranas inorgánicas y las membranas híbridas inorgánicas-orgánicas jugarán un papel muy importante.

Aquí se hará referencia a la nanofiltración únicamente ya que es el método seleccionado para el sistema.

III.1.2 Nanofiltración ^[1]

La **nanofiltración** es una técnica de membrana que llega actualmente a su madurez. Los esfuerzos realizados por los fabricantes de membranas para desarrollar materiales membranarios específicos a esa técnica demuestran el interés cada vez creciente de los usuarios en ese campo. Sin embargo, se debe reconocer que la nanofiltración se inició en una forma relativamente confusa; primero se clasificó en el campo de la ósmosis inversa, llamándola hiperfiltración, ya que algunos autores veían simplemente en este el caso de membranas en las cuales la selectividad era inferior a las membranas de ósmosis inversa.

Esas membranas presentaban fugas de retención de iones y por lo tanto al principio tuvieron un interés limitado.

En realidad el término nanofiltración ha sustituido al término hiperfiltración, al mismo tiempo que se definieron características específicas, diferentes de aquellas de las membranas de ósmosis inversa y de ultrafiltración. La nanofiltración puede, por tanto, clasificarse como un proceso intermedio entre la ósmosis inversa y la ultrafiltración en base a dos características propias:

1. Una estructura microporosa con un diámetro de poro típicamente inferior a 2 nm.

2. Materiales membranarios que llevan en la mayoría de los casos cargas eléctricas; en consecuencia los mecanismos de transferencia y los campos de utilización de esas membranas son bien particulares:
 - Punto de corte para solutos de masa molecular inferior a 1000 uma.
 - Presiones de trabajo inferiores y flujo de solvente más elevado que en el caso de la ósmosis inversa.
 - Toma en cuenta a la vez los fenómenos de difusión y de convección para describir el flujo de solvente y de soluto.
 - Intervención del mecanismo de Donnan para la retención de solutos eléctricamente cargados.

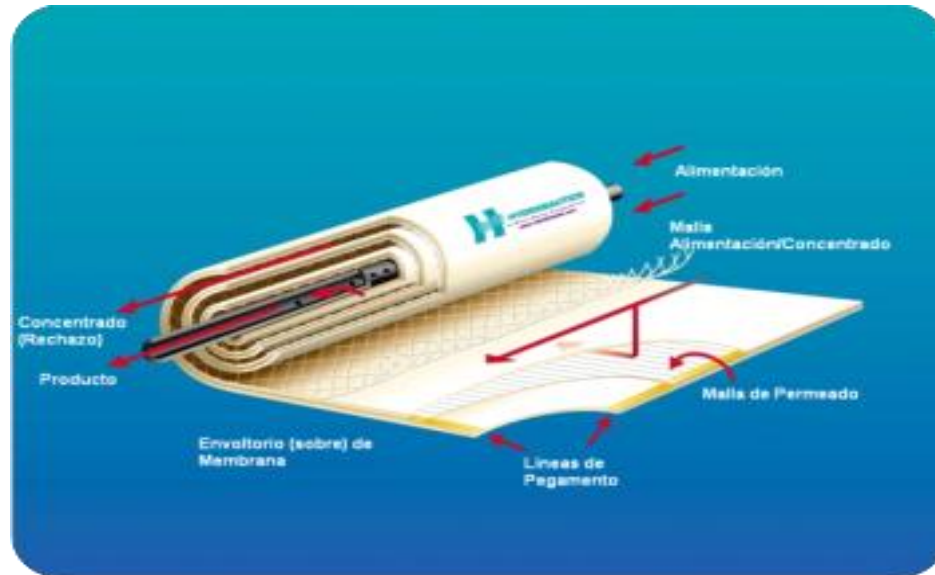


Figura 3. Estructura de la membrana de nanofiltración.

Cuando se examinan en forma muy detallada esos mecanismos de transporte, es posible darse cuenta que estas membranas presentan igualmente un desempeño bien específico tal como una selectividad de separación entre iones monovalentes e iones multivalentes, así como también entre moléculas del mismo tamaño, pero presentando carga eléctrica o no.

Actualmente se está comercializando la primera generación de membranas orgánicas que se desarrollaron de acuerdo a los criterios anteriormente definidos. Se han instalado aparatos industriales en prácticamente todos los campos de aplicación de las membranas. Pueden citarse específicamente algunos sectores como la biotecnología, el agroalimentario, la producción de agua potable, y el campo de las ciencias ambientales que constituye hoy en día el mercado potencial más importante para este tipo de membranas.

Sin embargo, el crecimiento del mercado de nanofiltración todavía está ligado a la puesta en práctica de nuevas membranas con mejores prestaciones, en particular los nanofiltros de cerámica que deben poder trabajar en condición de utilización muy severas (temperaturas elevadas, solventes orgánicos).

La tabla No. 1 da una idea de las principales características de las membranas orgánicas de nanofiltración que están actualmente disponibles a nivel comercial.

Esta lista no es exhaustiva y existen algunas otras membranas que están en desarrollo, en particular las membranas mixtas orgánicas e inorgánicas, o las membranas puramente inorgánicas.

Tabla 1. Características de utilización de las principales membranas de nanofiltración en el mercado

Membrana	Fabricante	Características de utilización		
		P máx (MPa)	pH	T máx (°C)
DRC-1000	Celfa	4,0	3-8	40
Desal 5	Desalination	4,2	2-11	50
HC 50	DDS	6,0	2-10	60
NF 45	Filmtec	4,1	2-10	45
NF 70	Filmtec	1,7	3-9	35
SU 600	Toray	1,0	3-8	35
SU 200HF	Toray	1,5	3-10	40
NTR 7410	Nitto	3,0	1-13	80
NTR 7450	Nitto	3,0	1-13	80
NF-PES-10/PP60	Kalle	6,0	1-14	90
NF-CA-50/PET100	Kalle	4,0	2-8	40
MPT-10	MPW	4,0	3-13	60
MPT-30	MPW	4,0	0,5-12	70
MPT-20*	MPW	3,0	2-10	50
MPT-40**	MPW	-	0,5-11	70

Estas membranas poseen una buena (*) o excelente (**) resistencia a los solventes orgánicos.

La organización estructural de las membranas de nanofiltración, tanto las orgánicas como las inorgánicas, se fundamenta sobre el mismo principio. Se trata de la estructura asimétrica que tiene 3 niveles.

- Un soporte macroporoso que ofrece una buena resistencia mecánica que permite un flujo elevado de solventes.
- Una capa intermedia mesoporosa, como enlace entre el soporte y la capa activa.
- Una capa final activa en nanofiltración, cuyas características principales son de un lado un espesor muy bajo, inferior a la micra, y de otra parte un diámetro de poro del orden del nanómetro, con una distribución de tamaño muy estrecha con el fin de asegurar a la vez un flujo elevado y una buena separación con los solutos de masa molecular inferior a 1000 uma.

Los módulos actualmente propuestos son de tipo tubular o espiral. La escogencia de la geometría de los módulos para una utilización precisa se hace en función del líquido a tratar. Por ejemplo, en el caso de un fluido que contiene muchos materiales en suspensión, los módulos en espiral necesitan un pretratamiento, que requiere instalaciones a veces tan importantes como el proceso membranario en sí mismo.

Al contrario esos módulos son mucho más compactos y requieren una energía de bombeo mucho más baja, comparados con lo que se necesita en los módulos tubulares.

Las membranas orgánicas presentan una resistencia adecuada al pH entre pH 2 y pH 11, en la mayoría de los casos; sin embargo, su resistencia a la temperatura es por el momento inferior a los 100 °C, y estas membranas todavía son demasiado sensibles a los solventes orgánicos y en algunas moléculas como los surfactantes. Estos son los factores que limitan actualmente el desarrollo de la nanofiltración en la industria química o la petroquímica, sectores que constituyen un mercado potencial muy importante. Esto es lo que justifica el esfuerzo actual de investigación para llevar a la práctica membranas inorgánicas de nanofiltración que pueden trabajar en condiciones más severas.

Se distinguen los materiales que conducen a membranas eléctricamente neutras, de aquellos que conducen a membranas cargadas. Esas dos categorías de membranas tienen aplicación específica en nanofiltración.

La primera categoría está constituida por membranas orgánicas que presentan un comportamiento neutro respecto a los electrólitos disociados. La última generación de estas membranas presenta en realidad una estructura química compuesta a la vez de grupos orgánicos cargados positivamente y negativamente, lo que da a la membrana una estructura anfótera. Los electrólitos disociados no son retenidos por la membrana mientras que los compuestos orgánicos neutros sufren una tasa elevada de rechazo.

Este modo de funcionamiento presenta las ventajas de no llegar a un factor de concentración elevado en sal en el líquido retenido, y así evita una elevación de la presión osmótica que se opondría a la presión de trabajo ΔP . Recordamos que una de las ventajas de la nanofiltración es poder trabajar con una presión intermedia entre las utilizadas en la ósmosis inversa y la ultrafiltración.

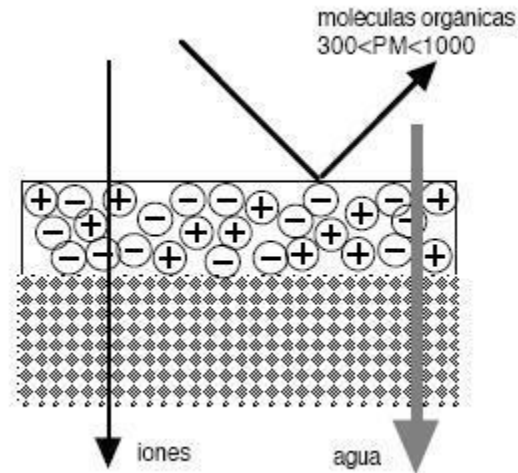


Figura 4. Esquema del funcionamiento de una membrana orgánica anfótera de nanofiltración.

La segunda categoría de membrana de nanofiltración comprende las membranas orgánicas e inorgánicas eléctricamente cargadas. Como se discutirá en el capítulo sobre los mecanismos de transferencias, se debe esperar que haya tasas de rechazo diferentes para diferentes electrolitos en solución de acuerdo a su naturaleza, a su estado de disociación, y a la composición de las mezclas filtradas.

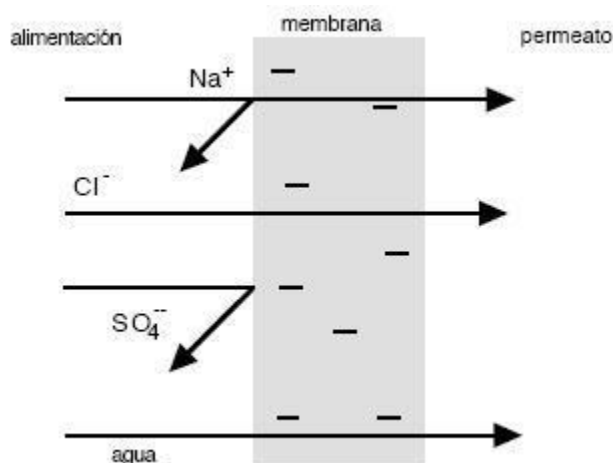


Figura 5. Principio de funcionamiento de una membrana de nanofiltración cargada negativamente, en el caso de una mezcla de iones monovalentes y divalentes.

Las membranas de nanofiltración utilizadas actualmente se conciben de manera a reducir la salinidad total (50 a 70% de rebaja) y para eliminar una parte importante de iones divalentes (hasta 95%) principalmente los sulfatos, el calcio y el magnesio que contribuyen a endurecer las aguas. Los resultados de pruebas efectuadas sobre diferentes aguas se indican en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Tratamiento de aguas de superficie: reducción de salinidad por nanofiltración (80% de conversión)

Características	Ensayos pilotos de agua de superficie cargada de materias orgánicas con muchos electrolitos			Simulación: agua del río Sena aguas abajo de Paris		
	Agua cruda	Permeato	% de eliminación	Agua cruda	Permeato	% de eliminación
Sodio (mg/l)	150	82	45	24	12	50
Calcio (mg/l)	120	20	85	93	14	85
Cloruro (mg/l)	150	80	48	30	17	43
Sulfato (mg/l)	180	5	97	40	4	90
ACT	30	0,4	98	22	0,6	97
HT	40	5,2	85	26	4	84
Reactivos necesarios para equilibrar con NaOH	9,11 mg/l (pH equilibrio > 9)			3,88 mg/l Co2		
Reactivos necesario para demineralizar	26 mg/l CO2 30 mg/l Ca(OH)2 pH final = 8,34			37 mg/l CO2 34 mg/l Ca(OH)2 pH final = 8,3		

Tabla 3. Eliminación de materia orgánica por nanofiltración

Parámetros	Ensayos sobre el agua del delta San-Joaquim			Ensayo sobre el agua del río Mokelumne	
	Agua cruda	% eliminación		Agua cruda	% eliminación Zenon
		NF70*	Zenon		
COD (mg/l)	2,2-11	90	60	1,1-1,6	80
UV (DO/m)	0,9-2,6	99	80	0,4	90
PFTHM** (µg/l)	200-460	99	40	40-60	85

* Ensayo con 70% de conversión

** THM formados después de la cloración en simulación de la red: 0,5 mg/l de cloro libre después de 72h.

En esos resultados se comprueba que la nanofiltración es un proceso de tratamiento de agua que garantiza una buena eliminación de la materia orgánica global, pero que sin embargo, debe estar asociado con un tratamiento oxidante (adsorción-oxidación) para asegurar la total eliminación de los pesticidas.

Se asocia a esa purificación un endulzamiento que es particularmente interesante cuando las aguas a tratar producen un depósito de caliza; en este caso la eliminación de la materia orgánica y el endulzamiento se realizan en una sola etapa.

Sin embargo en la mayoría de los casos de agua de río, la nanofiltración produce un agua que necesita una remineralización y que por lo tanto requiere la adición de reactivos químicos durante el tratamiento, lo que puede tener como consecuencia la puesta en suspensión de partículas presentes como impureza de la cal.

III.1.3 Energía solar ^[2]

La energía solar está constituida por la fracción de luz que emite el sol, y que es interceptada por la tierra en su superficie, y por tanto, se encuentra condicionada por factores del tipo astronómico y geográfico (posición relativa sol-tierra y el lugar donde se encuentre ubicado el sistema) así como el tipo de climatología.

Debido a estas condicionantes, el total de la radiación procedente del sol que incide en la superficie terrestre está compuesto por:

- Radiación directa: en la que llega a la Tierra directamente en línea con el disco solar.
- Radiación difusa: es originada por los efectos de dispersión de componentes de la atmósfera, incluidas las nubes.
- Radiación reflejada: es la radiación incidente en la superficie que procede de la reflejada por el suelo. Al cociente entre la radiación reflejada y la incidente en la superficie de la Tierra es llamada albedo.

Este flujo de radiación solar que llega a la tierra es la fuente primaria de todas las formas de energía conocidas, siendo muy variadas sus aplicaciones.

Una de las aplicaciones de la energía solar es directamente como fuente de iluminación, como por ejemplo la iluminación de recintos.

Otra aplicación, es el secado de la ropa y algunos productos en procesos de producción con tecnología simple.

Pero existen otras formas de aprovechar la energía proveniente del sol menos cotidianas, como por ejemplo la energía solar térmica. Cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio, y que se utiliza en aplicaciones térmicas de climatización de viviendas, refrigeración, secado, etc.

Finalmente, otra forma, es la denominada energía solar fotovoltaica, que es pieza clave de este proyecto, y que consiste en el aprovechamiento de la radiación solar incidente sobre células fotovoltaicas, capaces de convertir la luz solar recibida en energía eléctrica, y que se explicará en el siguiente segmento.

III.1.4 Tecnología fotovoltaica [2] [3]

La disponibilidad de energía en el mundo se está convirtiendo en un problema crucial, ya que en la sociedad, sin importar el nivel de desarrollo, se ve afectada por la creciente demanda requerida para satisfacer las metas y necesidades de esta.

La oferta de energía está sufriendo una transición, empezando desde su inicial dependencia de hidrocarburos hacia aplicaciones energéticas más diversificadas, lo cual implica un mayor aprovechamiento de las diferentes fuentes de energía renovables de las que se disponen.

Dentro de las variadas fuentes naturales de energía existentes, el sol es una fuente inagotable de recursos para el hombre, y concretamente, la energía solar fotovoltaica ocupa un papel preponderante. Esta tecnología se basa en la obtención directa de energía eléctrica a partir de la energía lumínica que recibimos del sol. Los elementos capaces de realizar esta conversión se conocen como célula solar.

Los principales problemas técnicos que se plantea en el aprovechamiento de la energía solar son:

- Gran dispersión de la energía sobre la superficie terrestre.
- Carácter aleatorio y variable en el tiempo de la intensidad de la radiación solar.

La radiación solar que recibe una superficie horizontal es del orden de 1kWh/m² al mediodía, fuertemente dependiente de la latitud del lugar, la nubosidad, la humedad y otros factores como la intermitencia de radiación. En el caso de los países en donde es marcado el cambio de estaciones, es en invierno que se necesita más la energía solar, pero esta es menor, de modo que no siempre la disponibilidad de dicha energía es un factor proporcional a la demanda. Por ello se requieren de sistemas de almacenamiento para un tiempo de autonomía determinada, y en caso de superarse el mismo, es necesario el apoyo de un sistema de respaldo suplementario.

La primera experiencia donde se encontró la relación entre la luz del sol y su conversión a electricidad la reportó el físico Francés Edmund Bequerel en 1839, sin embargo el desarrollo de la celda fotovoltaica moderna tal y como se conoce ahora, se dio hasta mediados del siglo pasado en los laboratorios Bell en los Estados Unidos, quienes en 1955 presentaron la primera patente de celdas fotovoltaicas de silicio.

Los elementos principales de un sistema fotovoltaico son: las celdas fotovoltaicas, (algunas veces referidas como celdas solares), interconectadas y encapsuladas para formar un módulo fotovoltaico, la estructura de montaje para el módulo o módulos, el inversor (esencial para sistemas conectados a red y necesario para sistemas fuera de red que requieren suministro de corriente alterna), batería de almacenamiento y un controlador de carga (requerido únicamente para sistemas fuera de red).

Celdas fotovoltaicas. Representan la unidad básica y más pequeña de un dispositivo fotovoltaico. En general se clasifican como cristalinas (mono o policristalinas) o películas delgadas. La mayoría de las celdas están hechas de silicio, típicamente fabricadas de forma cuadrada con tamaños de 10, 12.5 y 15 centímetros.

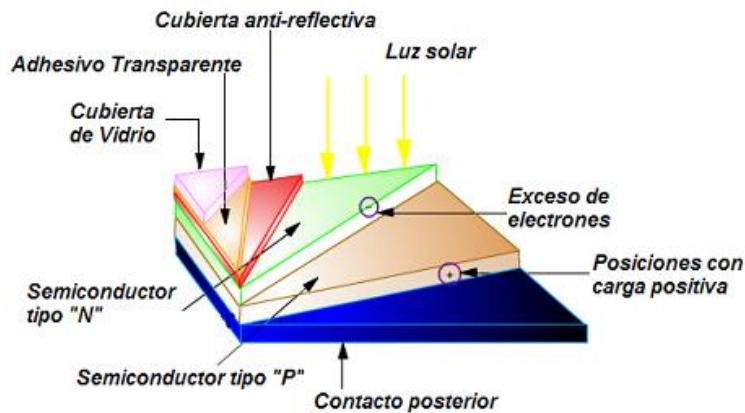


Figura 6. Celda fotovoltaica (configuración).

Módulos Fotovoltaicos. La mayoría son fabricados con potencias que van desde los 50 W hasta 200 W, aunque algunos fabricantes tienen modelos de hasta los 300W. Los módulos FV de silicio cristalino consisten en celdas conectadas eléctricamente y encapsuladas entre un material transparente y un material plástico para la parte trasera. Los módulos de película delgada se construyen de hojas películas de material delgado encapsuladas para formar módulos flexibles con material transparente en la parte frontal. Los módulos FV se garantizan para una vida útil de por lo menos 20 años y deben cumplir con la norma IEC 6215 para el caso de módulos de silicio cristalino, y la IEC 61646 para los módulos de película delgada.



Figura 7. Módulo fotovoltaico.

Arreglo fotovoltaico. Consiste de un número de módulos agrupados y conectados en serie y posteriormente dichos grupos de módulos se conectan en paralelo con el fin de producir la potencia necesaria con las características de corriente y voltaje requeridas en una aplicación dada.



Figura 8. Arreglo fotovoltaico.

Se ha desarrollado un número importante de estructuras de montaje para sistemas que se integran a edificios que incluyen fachadas, y otras para el montaje en los techos de edificios y en casas habitación.

Los dispositivos FV son únicos en muchos sentidos, teniendo las siguientes características principales:

- No tienen partes móviles que se desgasten.
- No contienen fluidos o gases que puedan derramarse o fugarse.
- No consumen combustible para operar.
- Tienen una respuesta rápida, alcanzando plena producción eléctrica instantáneamente.
- No producen contaminación al generar electricidad.
- Requieren poco mantenimiento si están correctamente fabricados e instalados.
- El 85% de las celdas FV se fabrican de silicio, el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre.
- Son modulares, por lo que permiten un amplio rango de aplicaciones solareléctricas.
- Tienen una eficiencia de conversión de luz solar a electricidad relativamente alta.

- Tienen amplio rango de capacidad de generación, de microwatts a Megawatts.
- Tienen alta relación de potencia a peso.
- Se prestan para instalaciones locales, esto es, potencia descentralizada o dispersa.

Limitaciones de los Sistemas FV:

- No son aún económicamente competitivos para la mayoría de las aplicaciones, especialmente en aplicaciones de escala intermedia y grande.
- Para la manufactura de cierto tipo de celdas requiere el manejo de sustancias que pueden ser nocivas para el ambiente en caso de descargas accidentales.
- Las tecnologías de producción están controladas por los países industrializados.

Sistemas FV Autónomos

Los pequeños sistemas fotovoltaicos autónomos son utilizados principalmente para electrificación rural de pequeñas comunidades aisladas carentes de infraestructura básica donde el grado de dispersión de la población es muy alto, características que comparten muchas comunidades de los países en desarrollo. Los componentes básicos de éste tipo de sistemas son: el generador fotovoltaico que convierte la luz del sol directamente en energía eléctrica en corriente directa; la batería que almacena la energía producida por el módulo fotovoltaico además de proporcionar autonomía durante los días de poca insolación y establecer el voltaje de operación del sistema; el controlador de carga cuya función es proteger a la batería, proporcionar información sobre el estado operativo del sistema, y albergar protecciones del sistema. En los casos donde se requiere suministrar corriente alterna, los sistemas incluyen un inversor de corriente.

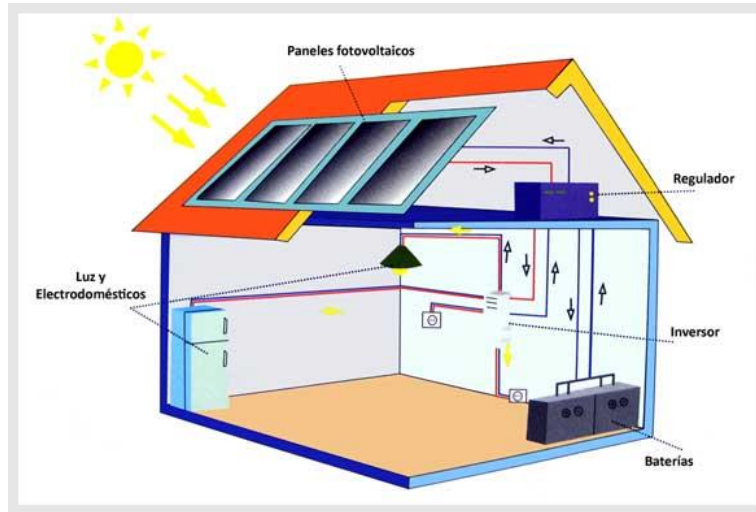


Figura 9. Sistema fotovoltaico autónomo

Sistemas Conectados a Red

Un sistema conectado a red, tiene una configuración más o menos similar a la de los sistemas autónomos. Las dos grandes diferencias entre ellos se refieren a la ausencia de baterías pues la red eléctrica convencional se utiliza como respaldo y la otra es que invariablemente requieren de un inversor de corriente que les permite inyectar electricidad a la red. Este tipo de sistemas puede intercambiar energía eléctrica con la red cuando la generación excede las necesidades de energía del usuario y tomar energía de la red cuando la demanda es mayor a la energía generada por el arreglo fotovoltaico.

La eficiencia de conversión de los sistemas fotovoltaicos con la tecnología actual fluctúa entre el 6 y 15 % dependiendo del tipo de tecnología y la aplicación. La vida útil de los módulos actuales es de entre los 20 y 30 años.

La tecnología de silicio cristalino se espera continúe siendo la dominante en el mercado en los próximos años, y la tecnología de película delgada sea cada vez menos cara en el mediano y largo plazo.



Figura 10. Sistema fotovoltaico conectado a red.

Tecnología fotovoltaica en México

La investigación y desarrollo en la tecnología fotovoltaica tiene una gran tradición en el país y se remonta hasta la década de los 70's. El CINVESTAV del Instituto Politécnico Nacional inició la manufactura de celdas FV y su ensamble en módulos. En 1978 se puso en operación una planta piloto para fabricar 4 kWp por año. La capacidad de la planta posteriormente fue incrementada hasta los 20 kW. Algunas otras instituciones como el Laboratorio de Energía Solar de la UNAM han realizado investigación en materiales para celdas fotovoltaicas.

El Instituto de Investigaciones Eléctricas inició en 1979 investigación relacionada con la ingeniería de plantas fotovoltaicas. A partir de los 90's, la investigación se dirigió hacia pequeñas aplicaciones FV en zonas aisladas. Actualmente, los trabajos de investigación se han dirigido hacia dos campos principales: sistemas fuera de red, que incluye los sistemas fotovoltaicos domiciliarios para electrificación rural y los sistemas híbridos, solar-eólico-diesel. En lo que respecta a sistemas FV conectados a la red eléctrica las investigaciones se han enfocado sistemas que pueden ser utilizados para dar soporte y alivio térmico a líneas de distribución en zonas con grandes picos de demanda durante el verano, el cual es motivado principalmente por el uso de aire acondicionado.

III.2 Muestras

Las muestras y datos recolectados se observan en el anexo 1.

III.3 Descripción del método

Esta primera campaña experimental se realizó durante los días 4 -14 de Septiembre de 2013, en el laboratorio del IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua), en condiciones de cielo abierto, bajo cielo medianamente nublado con diferentes condiciones insolación y con una insolación de 4.1 kW_ pico promedio en el plano de los módulos fotovoltaicos.

El desempeño del SDASANS_v1 (Sistema Desalador de Agua Salobre a partir de Nanofiltración Solar) se evaluó en términos del permeado en relación a la disponibilidad del recurso solar y a la Intensidad Energética (IE). Para esto, al mismo tiempo se verificó el contenidos de sales del permeado y la relación de flujos al que debe trabajar la membrana de nanofiltración (1:5) y de acuerdo a los requerimientos de reducción de sales del agua salobre para su uso en actividades agrícolas. Adicionalmente, se analizó el desempeño del SBFV (Sistema de Bombeo Fotovoltaico) considerando la relación entre la potencia a la que trabaja bomba respecto el punto de máxima potencia.

La IE se calcula con la relación del flujo del permeado (f_p) y la potencia que genera el SFV (P_{sbfv}), de acuerdo a la Ec. 1, a su vez, el f_p se obtiene a partir de mediciones y la P_{fv} se calcula con los datos medidos del voltaje (V_{fv}) y amperaje (I_{fv}).

$$IE = f_p / P_{sbfv} \quad (1)$$

El desempeño del SBFV se determina a partir de la potencia P_{sbfv} en relación al punto de máxima potencia del SFV (Sistema Fotovoltaico) de acuerdo a las curva I-V del SFV, considerando la radiación solar (G) y la caída de la potencia máxima de los módulos debido a la temperatura de los módulos fotovoltaicos (T_m), que es de 0.47%/°C de acuerdo al fabricante.

Partiendo de un almacén con capacidad de 1100 litros, el agua salobre se bombea hacia el pre filtrado y luego al SNF (Sistema de Nanofiltración). Una vez que se trata el agua, el permeado y el agua de rechazo se envían a contenedores de 450 litros por separado. Tanto el flujo de permeado como el del agua de rechazo se determinan por duplicado y se mide su conductividad eléctrica a intervalos de tiempo fijos. Las presiones de trabajo a la entrada del SNF y la presión de salida del agua de rechazo se miden de manera continua y se registran a pasos de tiempo establecidos.

Seguido, el permeado y el agua de rechazo se drenan por gravedad al almacén de alimentación donde se mezclan para nuevamente ser bombeada para alimentar al SNF y tener un circuito continuo. En la Figura 11a y 11b se muestran el diagrama experimental y fotografías del equipo experimental respectivamente.

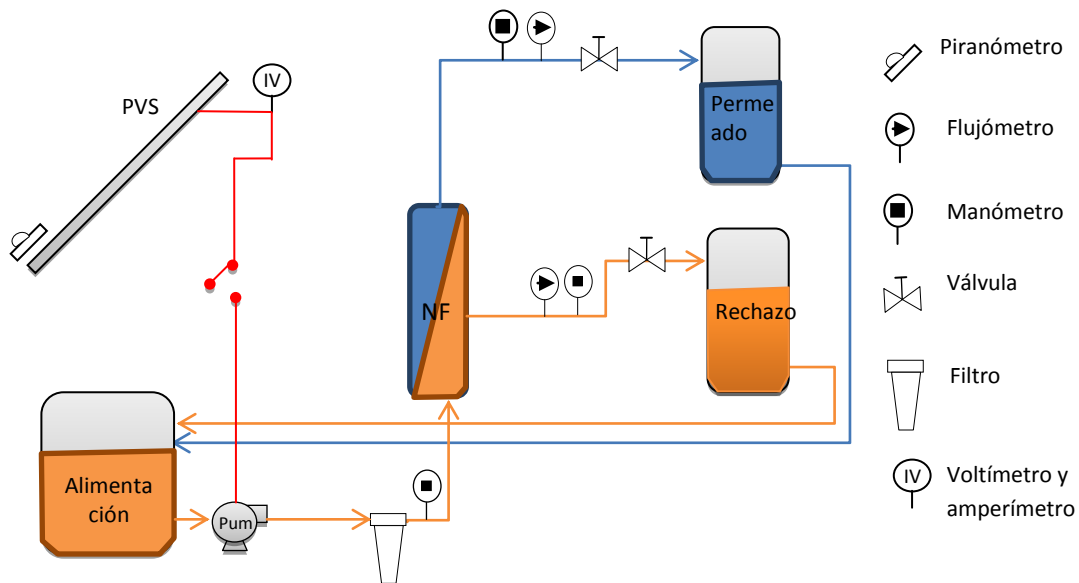


Figura 11a. Diagrama experimental.



Figura 11b. Equipo experimental.

CAPÍTULO IV

EQUIPO EXPERIMENTAL

IV.1 Descripción del sistema

El SDASANS_v1 está compuesto por a) Sistema nanofiltración (SNF), b) Sistema de suministro eléctrico fotovoltaico (SFV) y c) Sistema de bombeo de agua a corriente directa (SB) que involucra el acoplamiento con el SFV y un sistema de filtrado con capacidad de remover partículas del orden de una decena de micra.

El SNF tiene capacidad de permeado de 12 l/min con un suministro de agua salobre de 60 lpm, con cuatro membranas de poliamida, dispuestas en un arreglo paralelo, con un área equivalente total de $7.7 \times 4 = 30.6 \text{m}^2$. El SFV se conforma de ocho módulos de silicio policristalino con potencia nominal de 240W cada uno, con una potencia nominal del SFV de 1.92 kW de acuerdo al gráfico I-V que se muestra en la Figura 1.

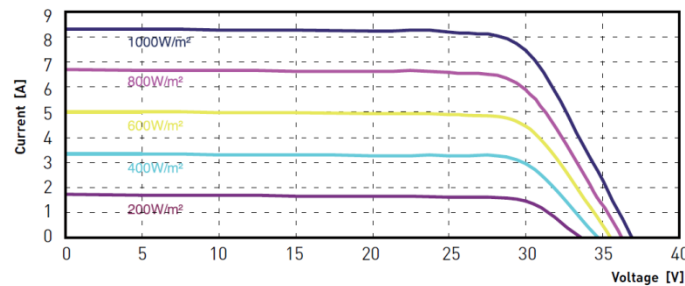


Figura 1. Gráfica I-V para diferentes niveles de irradiancias de los módulos del SFV.

El suministro de agua a tratar se realiza mediante una bomba sumergible centrífuga, modelo de 1440 W, (2 Hp). La bomba opera en el intervalo de 30-300 VDC y tiene una operación óptima por arriba de los 100 VDC. La bomba puede suministrar agua con una carga nominal de 62 mca, a un caudal máximo de 96 lpm, trabajando a una potencia entre los 400-1440W. El acoplamiento entre el SFV y SB se realiza maximizando el voltaje de salida del SFV mediante una cadena en serie de ocho módulos que pueden entregar un voltaje de salida nominal de 240 VDC en total, esto de acuerdo a las curvas I-V del SFV y a la recomendación del fabricante de la bomba que sugiere trabajarla entre los 100-300 VDC.

IV.2 Manual de operación

El manual de instalación del sistema fue realizado y puesto en el Anexo 2.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Durante las puestas en marchas del sistema se han monitoreado los parámetros de radiación solar, voltaje y amperaje de la bomba, presiones de entrada y salida de agua en el sistema de nanofiltración, así también como los flujos de entrada del sistema y de agua tratada y de desecho que arroja, también se monitoreaba el nivel de salinidad tanto en el agua tratada y el agua de desecho, aquí más que nada se debía obtener presiones de entrada 4 veces mayor a la de salida de agua tratada y que el agua tratada tuviera una salinidad menor a 500 ppm.

A partir de los datos recabados se hizo el análisis del funcionamiento del sistema fotovoltaico y de la bomba, además de pruebas posteriores con el sistema fotovoltaico con 7 y 6 paneles en funcionamiento; y los resultados obtenidos en términos del Índice energético y calidad del agua fueron los siguientes:

Índice energético:

Se obtuvo un promedio de IE de 1.96 KWh/m³ de agua permeada.

Calidad del agua:

Mediante el análisis de muestras en el laboratorio se obtuvieron los siguientes resultados:

Primera toma de muestra					
19/08/2013					
	Unidades	Agua Cruda	Rechazo	Permeado	% Eficiencia
C.E.	µS/cm	2080	5890	531	74.47
TDS	mg/lts	1107	3007	282	74.53
pH		7.86	7.91	7.49	
Cl ⁻	mg/lts	288	800	115	60.07
SO ₄	mg/lts	520	1900	13	97.50

Segunda toma de muestra								
25/09/2013								
	Unidades	Agua Cruda	Rechazo	Permeado	Porcentaje de eficiencia	ΔT 3.2	TEMPERATURA INICIAL	HORA DE LECTURA INICIAL
C.E.	μS/cm	2360	2770	414	82.46		25.3°C	10:22
TDS	mg/lts	1180	1390	197	83.31		TEMPERATURA FINAL	HORA DE LECTURA FINAL
pH		8.29	8.19	8.3			28.5°C	12:34
Cl ⁻	mg/lts	300	840	107.2	64.27			
SO ₄	mg/lts	440	1800	8	98.18			
Hay modificaciones en cuanto a la alimentación de las membranas								

Tercera toma de muestra						
04/10/2013						Observaciones
	Unidades	Agua cruda	Rechazo	Permeado	Porcentaje de eficiencia	Al parecer se quedó un día sin tapa y le cayó agua pluvial al tanque.
C.E.	μS/cm	3690	4140	892	75.83	
TDS	mg/lts	1843	2090	446	75.80	
pH		8.54	8.48	8.74		
Cl ⁻	mg/lts	626	698	312	50.16	
SO ₄	mg/lts	740	880	8	98.92	
Se agrego 400gr de NaCl y 400gr de CaSO4						

CONCLUSIONES.

Como se logra apreciar en los resultados, en condiciones de laboratorio el desalador presentó una Intensidad energética de 1.96 KWh/m^3 y una eficiencia de un 77.73% en promedio durante las 3 pruebas realizadas. Por otro lado, el desempeño en campo fue similar, pero adicionalmente se observó que hay factores que afectan el funcionamiento del sistema como lo es el lugar de suministro de agua y si está o no en movimiento el agua del suministro.

A partir de los datos recabados en las primeras pruebas se concluyó que el sistema funcionaba de manera satisfactoria, mostrando que los resultados del sistema son lo suficientemente aceptables para el uso en regiones en las que no se cuenta con la energía eléctrica necesaria y la fuente de agua son demasiado salinas para su uso agrícola; además de tener la ventaja de ser un sistema de bajo mantenimiento y de fácil operación.

Además, este sistema es una gran utilidad para lugares en donde no hay revisión continua en el uso de riego continuo, ya que si es usado directamente a riego, la capacidad del sistema estará sujeta a la radiación solar, por lo tanto, si el clima es lluvioso el sistema trabajará a una capacidad mínima, además que es un ambiente que no es necesaria mucha agua; en cambio, si es un clima soleado el sistema operará a capacidades mayores, y dará mucha más agua ya que la necesidad en ese ambiente es mucho mayor.

REFERENCIAS

[1] <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S451B.pdf>

Christian Guizard, Técnicas membranarias de filtración de líquidos, Universidad de los Andes, 1999.

[2] http://dspace.unia.es/bitstream/10334/2508/1/0447_Raboso.pdf

Antonio Manuel Raboso López, Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una potabilizadora desalinizadora autónoma, Universidad Internacional de Andalucía, 2012, ISBN 978-84-7993-3.

[3] http://www.sener.gob.mx/webSener/res/168/A7_Fotovol.pdf

Ing. Jaime Agredano Díaz, Prospectiva de las Tecnología Solar Fotovoltaica para la Generación de Electricidad, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS

[4] <http://www.bombas-ideal.com/pdf/MANUAL-0054-SUM-SD-3-IDIOMAS.pdf>

(Septiembre, 2013)

[5] <http://www.energiasverdes.com/preguntas-frecuentes/que-mantenimiento-requiere-un-sistema-fotovoltaico.html>

(Septiembre, 2013)

[6] http://www.facsa.com/sites/default/files/publicaciones/Mantenimiento_257.pdf

(Septiembre, 2013)

[7] <http://www.quimicadelagua.com/Documentos/Guia%20desalacion/6.Mantenimiento.pdf>

(Octubre, 2013)

Anexos

Anexo 1

Datos de las pruebas

Hora	dt	Voltaje sensor	Radiación solar	Energía de radiación recibida	flujo de permeado			Agua permeada obtenida	Voltaje	Amperaje	Potencia	Energía requerida	Índice Energético	
					tiempo (s)	cantidad (ml)	l/min							m ³ /h
		mV	W/m ²	MJ					V	A	W	MJ		
23/09/2013		8 módulos												
14:15	60.00	4.13	445.95	1.61	10.14	570.00	3.37	0.20	0.20	210.50	4.22	887.68	3.20	4.39
15:15	20.00	9.39	1015.14	1.22	4.62	900.00	11.69	0.70	0.23	225.30	6.40	1441.24	1.73	2.06
15:35	20.00	5.87	634.92	0.76	5.43	950.00	10.50	0.63	0.21	201.30	6.59	1326.57	1.59	2.11
15:55	20.00	3.29	355.57	0.43	6.68	780.00	7.01	0.42	0.14	208.80	3.58	747.09	0.90	1.78
16:15	20.00	1.92	207.78	0.25	9.52	780.00	4.92	0.29	0.10	200.00	2.22	444.00	0.53	1.51
16:35	20.00	2.28	246.92	0.30	10.82	840.00	4.66	0.28	0.09	217.80	2.52	548.20	0.66	1.96
16:55	20.00	1.91	206.81	0.25	9.75	840.00	5.17	0.31	0.10	212.90	2.11	448.79	0.54	1.45
17:15	20.00	1.04	112.00	0.13	15.35	790.00	3.09	0.19	0.06	214.70	1.22	262.58	0.32	1.42
17:35	3.33 horas			4.94 MJ				1.14 m ³				9.46 MJ	2.30 KWh/m ³	
				1.37 KWh								2.63 KWh		

24/09/2013		8 módulos												
10:50	20.00	2.743	296.54	0.36	11.72	920	4.709897611	0.28	0.09	220.6	2.913	642.61	0.77	2.27
11:10	20.00	7.367	796.43	0.96	4.35	920	12.68965517	0.76	0.25	219.7	6.593	1448.48	1.74	1.90
11:30	15.00	1.82	196.76	0.18	7.43	900	7.267833109	0.44	0.11	203	1.966	399.10	0.36	0.92
11:45	25.00	8.063	871.68	1.31	4.3	890	12.41860465	0.75	0.31	230.4	6.25	1440.00	2.16	1.93
12:10	10.00	8.46	914.59	0.55	3.69	740	12.03252033	0.72	0.12	217	6.651	1443.27	0.87	2.00
12:20	10.00	9.044	977.73	0.59	3.75	750	12	0.72	0.12	214.2	6.729	1441.35	0.86	2.00
12:30	20.00	9.101	983.89	1.18	3.86	790	12.27979275	0.74	0.25	213.3	6.775	1445.11	1.73	1.96
12:50	27.00	9.344	1010.16	1.64	4.49	920	12.29398664	0.74	0.33	217	6.621	1436.76	2.33	1.95
13:17	60.00	9.675	1045.95	3.77	4.25	860	12.14117647	0.73	0.73	226.9	6.358	1442.63	5.19	1.98
14:17	38.00	10.409	1125.30	2.57	4.57	900	11.81619256	0.71	0.45	230.8	6.257	1444.12	3.29	2.04
14:55	10.00	1.25	135.14	0.08	14.55	690	2.845360825	0.17	0.03	210	1.512	317.52	0.19	1.86

15:05	10.00	0.757	81.84	0.05	16.31	650	2.391171061	0.14	0.02	210	0.921	193.41	0.12	1.35		
15:15	10.00	0.43	46.49	0.03	15.91	470	1.772470145	0.11	0.02	200	0.624	124.80	0.07	1.17		
15:25	15.00	0.339	36.65	0.03	32.49	690	1.274238227	0.08	0.02	202.4	0.509	103.02	0.09	1.35		
15:40	10.00	0.564	60.97	0.04	30.04	870	1.737683089	0.10	0.02	202.4	0.67	135.61	0.08	1.30		
15:50	10.00	0.87	94.05	0.06	20.33	810	2.390555829	0.14	0.02	202.4	0.924	187.02	0.11	1.30		
16:00	15.00	1.148	124.11	0.11	16.47	830	3.023679417	0.18	0.05	210.9	1.135	239.37	0.22	1.32		
16:15	10.00	3.844	415.57	0.25	5.91	840	8.527918782	0.51	0.09	219.1	3.729	817.02	0.49	1.60		
16:25	10.00	4.682	506.16	0.30	5.12	890	10.4296875	0.63	0.10	211.7	4.697	994.35	0.60	1.59		
16:35	10.00	2.186	236.32	0.14	8.96	870	5.825892857	0.35	0.06	205.9	2.284	470.28	0.28	1.35		
16:45	15.00	1.728	186.81	0.17	11.09	890	4.815148783	0.29	0.07	116.5	1.896	220.88	0.20	0.76		
17:00	10.00	1.902	205.62	0.12	8.83	820	5.57191393	0.33	0.06	203.1	2.026	411.48	0.25	1.23		
17:10	10.00	1.805	195.14	0.12	10.88	940	5.183823529	0.31	0.05	219	1.932	423.11	0.25	1.36		
17:20	10.00	1.915	207.03	0.12	9.96	930	5.602409639	0.34	0.06	212.8	1.957	416.45	0.25	1.24		
17:30	10.00	1.285	138.92	0.08	12.83	830	3.88152767	0.23	0.04	213.1	1.364	290.67	0.17	1.25		
17:40	20.00	0.617	66.70	0.08	20.28	760	2.24852071	0.13	0.04	204.4	0.792	161.88	0.19	1.20		
18:00	7.17	horas			14.87	MJ			3.51	m3			22.88	MJ	1.81	KWh/m3
					4.13	KWh							6.35	KWh		

25/09/2013																
10:34	20.00	5.765	623.24	0.75	5.02	920	10.99601594	0.66	0.22	213	5.931	1263.30	1.52	1.91		
10:54	20.00	6.433	695.46	0.83	4.7	869	11.09361702	0.67	0.22	209	6.551	1369.16	1.64	2.06		
11:14	20.00	4.261	460.65	0.55	6.38	940	8.840125392	0.53	0.18	212	4.454	944.25	1.13	1.78		
11:34	20.00	3.691	399.03	0.48	7.12	1030	8.679775281	0.52	0.17	218	3.921	854.78	1.03	1.64		
11:54	20.00	6.511	703.89	0.84	5.19	1030	11.90751445	0.71	0.24	203.3	6.638	1349.51	1.62	1.89		
12:14	20.00	6.592	712.65	0.86	3.28	710	12.98780488	0.78	0.26	202.7	6.74	1366.20	1.64	1.75		
12:34	20.00	6.848	740.32	0.89	4.21	830	11.82897862	0.71	0.24	207.1	7.164	1483.66	1.78	2.09		
12:54	20.00	8.211	887.68	1.07	3.24	620	11.48148148	0.69	0.23	220.9	6.546	1446.01	1.74	2.10		

13:14	20.00	8.124	878.27	1.05	3.14	650	12.42038217	0.75	0.25	208.9	6.829	1426.58	1.71	1.91
13:34	3.00 horas			7.32 MJ					2.00 m3				13.80 MJ	1.91 KWh/m3
				2.03 KWh									3.83 KWh	

26/09/2013														
10:50	20.00	2.747	296.97	0.36	5.93	660	6.677908938	0.40	0.13	191.7	2.937	563.02	0.68	1.41
11:10	20.00	2.41	260.54	0.31	7.07	660	5.601131542	0.34	0.11	194.9	2.653	517.07	0.62	1.54
11:30	20.00	3.027	327.24	0.39	3.3	750	13.63636364	0.82	0.27	181.5	3.257	591.15	0.71	0.72
11:50	20.00	5.879	635.57	0.76	6.12	930	9.117647059	0.55	0.18	186.3	5.581	1039.74	1.25	1.90
12:10	12.00	1.5	162.16	0.12	11.17	650	3.491495076	0.21	0.04	188.4	1.693	318.96	0.23	1.52
12:22	28.00	1.081	116.86	0.20	16.58	620	2.243667069	0.13	0.06	175.3	1.291	226.31	0.38	1.68
12:50	20.00	2.67	288.65	0.35	8.75	870	5.965714286	0.36	0.12	195.9	2.911	570.26	0.68	1.59
13:10	20.00	1.542	166.70	0.20	5.98	510	5.117056856	0.31	0.10	196.4	1.821	357.64	0.43	1.16
13:30	2.67 horas			2.68 MJ					1.03 m3				4.98 MJ	1.35 KWh/m3
				0.75 KWh									1.38 KWh	

27/09/2013														
09:50	20.00	3.228	348.97	0.42	7.39	700	5.683355886	0.34	0.11	199.5	2.999	598.30	0.72	1.75
10:10	20.00	5.573	602.49	0.72	5.75	870	9.07826087	0.54	0.18	190.4	5.339	1016.55	1.22	1.87
10:30	20.00	5.421	586.05	0.70	6.39	980	9.201877934	0.55	0.18	187	5.059	946.03	1.14	1.71
10:50	20.00	5.558	600.86	0.72	6.67	970	8.725637181	0.52	0.17	185.1	5.369	993.80	1.19	1.90
11:10	20.00	2.107	227.78	0.27	9.84	710	4.329268293	0.26	0.09	186.7	2.218	414.10	0.50	1.59
11:30	20.00	5.658	611.68	0.73	4.54	710	9.383259912	0.56	0.19	188.2	5.89	1108.50	1.33	1.97
11:50	20.00	8.32	899.46	1.08	3.93	740	11.29770992	0.68	0.23	164.1	8.283	1359.24	1.63	2.01
12:10	15.00	8.835	955.14	0.86	5.06	1000	11.85770751	0.71	0.18	172.2	8.281	1425.99	1.28	2.00
12:25	25.00	9.393	1015.46	1.52	4.21	850	12.11401425	0.73	0.30	177.7	8.219	1460.52	2.19	2.01
12:50	20.00	7.25	783.78	0.94	3.68	710	11.57608696	0.69	0.23	183.1	7.435	1361.35	1.63	1.96
13:10	15.00	9.723	1051.14	0.95	4.93	990	12.04868154	0.72	0.18	179	8.129	1455.09	1.31	2.01

13:25	25.00	9.832	1062.92	1.59	4.87	960	11.8275154	0.71	0.30	173.6	8.289	1438.97	2.16	2.03	
13:50	20.00	9.223	997.08	1.20	3.86	780	12.12435233	0.73	0.24	172.1	8.277	1424.47	1.71	1.96	
14:10	20.00	8.98	970.81	1.16	4.03	830	12.3573201	0.74	0.25	170.1	8.274	1407.41	1.69	1.90	
14:30	20.00	5.057	546.70	0.66	5.23	860	9.866156788	0.59	0.20	167.5	5.284	885.07	1.06	1.50	
14:50	20.00	6.291	680.11	0.82	4.63	850	11.01511879	0.66	0.22	179.3	6.72	1204.90	1.45	1.82	
15:10	20.00	7.657	827.78	0.99	3.55	690	11.66197183	0.70	0.23	175.8	7.733	1359.46	1.63	1.94	
15:30	20.00	7.833	846.81	1.02	4.88	910	11.18852459	0.67	0.22	174.9	7.561	1322.42	1.59	1.97	
15:50	20.00	6.777	732.65	0.88	4.12	760	11.06796117	0.66	0.22	176.3	6.655	1173.28	1.41	1.77	
16:10	20.00	6.088	658.16	0.79	3.75	620	9.92	0.60	0.20	179	5.973	1069.17	1.28	1.80	
16:30	20.00	5	589.95	0.71	4.67	780	10.02141328	0.60	0.20	182.6	5.561	1015.44	1.22	1.69	
16:50	7.00 horas			18.74 MJ					4.33 m3			29.33 MJ		1.88	KWh/m3
				5.20 KWh								8.15 KWh			

30/09/2013															
09:40	20.00	4.246	459.03	0.55	5.22	670	7.701149425	0.46	0.15	191.5	4.335	830.15	1.00	1.80	
10:00	20.00	4.797	518.59	0.62	6.86	980	8.571428571	0.51	0.17	188.4	4.612	868.90	1.04	1.69	
10:20	20.00	5.701	616.32	0.74	5.79	910	9.430051813	0.57	0.19	185.1	5.618	1039.89	1.25	1.84	
10:40	20.00	6.325	683.78	0.82	4.59	790	10.32679739	0.62	0.21	182.7	6.408	1170.74	1.40	1.89	
11:00	20.00	6.699	724.22	0.87	3.76	650	10.37234043	0.62	0.21	181.6	6.616	1201.47	1.44	1.93	
11:20	20.00	7.088	766.27	0.92	3.75	720	11.52	0.69	0.23	181.2	7.01	1270.21	1.52	1.84	
11:40	20.00	7.607	822.38	0.99	3.9	750	11.53846154	0.69	0.23	177.4	7.325	1299.46	1.56	1.88	
12:00	20.00	7.913	855.46	1.03	4.2	810	11.57142857	0.69	0.23	166.1	7.753	1287.77	1.55	1.85	
12:20	20.00	8.352	902.92	1.08	4.19	790	11.31264916	0.68	0.23	161.6	8.27	1336.43	1.60	1.97	
12:40	20.00	8.503	919.24	1.10	4.64	940	12.15517241	0.73	0.24	164.1	8.272	1357.44	1.63	1.86	
13:00	20.00	8.316	899.03	1.08	3.8	770	12.15789474	0.73	0.24	164.2	8.264	1356.95	1.63	1.86	
13:20	90.00	8.337	901.30	4.87	3.22	670	12.48447205	0.75	1.12	167.8	8.268	1387.37	7.49	1.85	
14:50	20.00	7.263	785.19	0.94	3.6	750	12.5	0.75	0.25	170.8	7.427	1268.53	1.52	1.69	
15:10	20.00	7.267	785.62	0.94	3.59	730	12.2005571	0.73	0.24	175.9	7.48	1315.73	1.58	1.80	

15:30	20.00	7.304	789.62	0.95	3.86	760	11.8134715	0.71	0.24	177.2	7.035	1246.60	1.50	1.76	
15:50	20.00	6.564	709.62	0.85	3.88	730	11.28865979	0.68	0.23	177.9	6.296	1120.06	1.34	1.65	
16:10	20.00	5.809	628.00	0.75	3.7	660	10.7027027	0.64	0.21	181.2	5.732	1038.64	1.25	1.62	
16:30	20.00	5.453	589.51	0.71	3.39	570	10.08849558	0.61	0.20	180.6	5.554	1003.05	1.20	1.66	
16:50	25.00	4.517	488.32	0.73	4.34	660	9.124423963	0.55	0.23	184.8	4.7	868.56	1.30	1.59	
17:15	20.00	3.819	412.86	0.50	4.8	660	8.25	0.50	0.16	191.2	3.891	743.96	0.89	1.50	
17:35	7.92 horas			21.04 MJ					5.22 m3				33.70 MJ	1.79	KWh/m3
				5.84 KWh									9.36 KWh		

01/10/2013															
10:10	20.00	5.12	553.51	0.66	4.66	670	8.626609442	0.52	0.17	187.1	4.885	913.98	1.10	1.77	
10:30	20.00	5.743	620.86	0.75	4.58	710	9.301310044	0.56	0.19	185.8	5.378	999.23	1.20	1.79	
10:50	20.00	6.201	670.38	0.80	4.69	790	10.10660981	0.61	0.20	183	5.798	1061.03	1.27	1.75	
11:10	20.00	6.803	735.46	0.88	3.9	700	10.76923077	0.65	0.22	182	6.772	1232.50	1.48	1.91	
11:30	20.00	7.258	784.65	0.94	3.31	620	11.23867069	0.67	0.22	178.4	7.341	1309.63	1.57	1.94	
11:50	20.00	8.297	896.97	1.08	4.11	730	10.65693431	0.64	0.21	165.3	8.276	1368.02	1.64	2.14	
12:10	20.00	8.67	937.30	1.12	3.81	800	12.5984252	0.76	0.25	187.3	7.732	1448.20	1.74	1.92	
12:30	12.00	8.677	938.05	0.68	3.56	740	12.47191011	0.75	0.15	169	8.276	1398.64	1.01	1.87	
12:42	8.00	9.19	993.51	0.48	3.49	720	12.3782235	0.74	0.10	175.3	8.287	1452.71	0.70	1.96	
12:50	13.00	9.25	1000.00	0.78	3.6	760	12.66666667	0.76	0.16	180.3	8.101	1460.61	1.14	1.92	
13:03	12.00	9.351	1010.92	0.73	3.58	810	13.57541899	0.81	0.16	184.8	7.792	1439.96	1.04	1.77	
13:15	5.00	9.219	996.65	0.30	4.19	950	13.60381862	0.82	0.07	175	8.234	1440.95	0.43	1.77	
13:20	10.00	9.637	1041.84	0.63	3.52	740	12.61363636	0.76	0.13	180.3	7.99	1440.60	0.86	1.90	
13:30	20.00	8.811	952.54	1.14	3.09	650	12.62135922	0.76	0.25	184.4	7.816	1441.27	1.73	1.90	
13:50	115.00	8.704	940.97	6.49	3.22	670	12.48447205	0.75	1.44	169.2	8.271	1399.45	9.66	1.87	
15:45	20.00	6.735	728.11	0.87	3.28	620	11.34146341	0.68	0.23	177.5	6.322	1122.16	1.35	1.65	
16:05	15.00	4.453	481.41	0.43	4.28	750	10.51401869	0.63	0.16	182.4	4.718	860.56	0.77	1.36	
16:20	20.00	4.959	536.11	0.64	3.92	610	9.336734694	0.56	0.19	182.9	5.096	932.06	1.12	1.66	

16:40	20.00	4.335	468.65	0.56	4.21	620	8.836104513	0.53	0.18	185.6	4.552	844.85	1.01	1.59
17:00	6.83 horas			19.97 MJ					4.67 m3				30.82 MJ	1.83 KWh/m3
				5.55 KWh									8.56 KWh	

02/10/2013		8 módulos												
09:30	22.00	3.826	413.62	0.55	5.97	810	8.140703518	0.49	0.18	225	3.736	840.60	1.11	1.72
09:52	18.00	1.418	153.30	0.17	10.76	700	3.903345725	0.23	0.07	220.1	1.541	339.17	0.37	1.45
10:10	20.00	5.053	546.27	0.66	3.72	610	9.838709677	0.59	0.20	219.7	5.091	1118.49	1.34	1.89
10:30	20.00	5.885	636.22	0.76	3.96	720	10.90909091	0.65	0.22	213.3	5.57	1188.08	1.43	1.82
10:50	20.00	6.186	668.76	0.80	3.62	670	11.10497238	0.67	0.22	211.6	6.318	1336.89	1.60	2.01
11:10	20.00	6.717	726.16	0.87	3.69	730	11.8699187	0.71	0.24	209.5	6.785	1421.46	1.71	2.00
11:30	20.00	7.17	775.14	0.93	3.48	700	12.06896552	0.72	0.24	206.4	6.674	1377.51	1.65	1.90
11:50	20.00	7.931	857.41	1.03	3.11	680	13.11897106	0.79	0.26	208.2	6.931	1443.03	1.73	1.83
12:10	20.00	8.599	929.62	1.12	2.87	610	12.75261324	0.77	0.26	215.4	6.628	1427.67	1.71	1.87
12:30	20.00	8.382	906.16	1.09	2.86	640	13.42657343	0.81	0.27	213	6.657	1417.94	1.70	1.76
12:50	20.00	8.818	953.30	1.14	3.42	740	12.98245614	0.78	0.26	212	6.838	1449.66	1.74	1.86
13:10	60.00	9.156	989.84	3.56	3.31	730	13.2326284	0.79	0.79	218.1	6.549	1428.34	5.14	1.80
14:10	20.00	7.968	861.41	1.03	3.21	700	13.08411215	0.79	0.26	207.8	6.911	1436.11	1.72	1.83
14:30	20.00	7.693	831.68	1.00	3.74	810	12.99465241	0.78	0.26	206.6	6.938	1433.39	1.72	1.84
14:50	20.00	7.477	808.32	0.97	2.61	570	13.10344828	0.79	0.26	200.7	7.074	1419.75	1.70	1.81
15:10	20.00	7.086	766.05	0.92	3.65	760	12.49315068	0.75	0.25	190	7.095	1348.05	1.62	1.80
15:30	20.00	6.383	690.05	0.83	4.44	750	10.13513514	0.61	0.20	204.1	5.997	1223.99	1.47	2.01
15:50	20.00	5.521	596.86	0.72	3.61	710	11.80055402	0.71	0.24	208.7	5.343	1115.08	1.34	1.57
16:10	40.00	4.735	511.89	1.23	3.95	680	10.32911392	0.62	0.41	210.2	4.479	941.49	2.26	1.52
16:50	20.00	4.349	470.16	0.56	4.22	700	9.952606635	0.60	0.20	214.6	4.124	885.01	1.06	1.48
17:10	7.67 horas			19.93 MJ					5.29 m3				34.13 MJ	1.79 KWh/m3
				5.54 KWh									9.48 KWh	

03/10/2013															
09:30	37.00	3.484	376.65	0.84	7.91	790	5.992414665	0.36	0.22	166.3	3.235	537.98	1.19	1.50	
10:07	23.00	4.834	522.59	0.72	7.53	940	7.490039841	0.45	0.17	161.8	4.525	732.15	1.01	1.63	
10:30	20.00	5.045	545.41	0.65	5.54	750	8.122743682	0.49	0.16	160.7	4.839	777.63	0.93	1.60	
10:50	20.00	6.06	655.14	0.79	5.09	740	8.722986248	0.52	0.17	156.7	5.788	906.98	1.09	1.73	
11:10	20.00	6.737	728.32	0.87	4.57	700	9.190371991	0.55	0.18	154.5	6.652	1027.73	1.23	1.86	
11:30	23.00	7.145	772.43	1.07	3.34	570	10.23952096	0.61	0.24	152.5	6.941	1058.50	1.46	1.72	
11:53	22.00	8.072	872.65	1.15	3.73	680	10.9383378	0.66	0.24	143.5	8.286	1189.04	1.57	1.81	
12:15	22.00	8.127	878.59	1.16	4.28	760	10.65420561	0.64	0.23	154.9	7.451	1154.16	1.52	1.81	
12:37	13.00	8.006	865.51	0.68	4.12	710	10.33980583	0.62	0.13	154.2	7.766	1197.52	0.93	1.93	
12:50	20.00	8.022	867.24	1.04	3.99	680	10.22556391	0.61	0.20	133	8.277	1100.84	1.32	1.79	
13:10	20.00	8.241	890.92	1.07	3.45	640	11.13043478	0.67	0.22	139.9	8.276	1157.81	1.39	1.73	
13:30	100.00	8.312	898.59	5.39	3.42	610	10.70175439	0.64	1.07	139.7	8.272	1155.60	6.93	1.80	
15:10	20.00	7.441	804.43	0.97	3.86	670	10.41450777	0.62	0.21	148.9	7.212	1073.87	1.29	1.72	
15:30	20.00	7.029	759.89	0.91	3.69	620	10.08130081	0.60	0.20	150.2	6.727	1010.40	1.21	1.67	
15:50	20.00	6.196	669.84	0.80	4.73	750	9.513742072	0.57	0.19	151.8	5.996	910.19	1.09	1.59	
16:10	20.00	5.211	563.35	0.68	4.22	630	8.957345972	0.54	0.18	153.9	4.978	766.11	0.92	1.43	
16:30	7.00 horas			18.78 MJ				4.04 m3				25.10 MJ		1.73	KWh/m3
				5.22 KWh								6.97 KWh			

04/10/2013					2000 TDS										
11:55	20.00	8.006	865.51	1.04	5.1	670	7.882352941	0.47	0.16	177.7	7.322	1301.12	1.56	2.75	
12:15	27.00	8.578	927.35	1.50	5.73	700	7.329842932	0.44	0.20	167.1	8.283	1384.09	2.24	3.15	
12:42	22.00	9.169	991.24	1.31	5.09	650	7.662082515	0.46	0.17	176.5	8.196	1446.59	1.91	3.15	
13:04	21.00	9.271	1002.27	1.26	4.18	570	8.181818182	0.49	0.17	182.1	7.947	1447.15	1.82	2.95	
13:25	62.00	9.146	988.76	3.68	5.38	720	8.029739777	0.48	0.50	171.2	8.271	1416.00	5.27	2.94	
14:27	20.00	8.872	959.14	1.15	4.94	710	8.623481781	0.52	0.17	191.2	7.56	1445.47	1.73	2.79	
14:47	20.00	8.073	872.76	1.05	3.95	550	8.35443038	0.50	0.17	174.2	7.279	1268.00	1.52	2.53	

15:07	20.00	7.814	844.76	1.01	4.29	610	8.531468531	0.51	0.17	175.5	7.103	1246.58	1.50	2.44
15:27	20.00	7.615	823.24	0.99	4.52	620	8.230088496	0.49	0.16	174	7.087	1233.14	1.48	2.50
15:47	3.87 horas			12.99 MJ					1.87 m3				19.04 MJ	2.83 KWh/m3
				3.61 KWh									5.29 KWh	

07/10/2013		7 módulos	salinidad 2000 TDS											
10:25	20.00	5.364	579.89	0.70	6.62	800	7.250755287	0.44	0.15	186.6	5.02	936.73	1.12	2.15
10:45	20.00	5.766	623.35	0.75	6.54	820	7.52293578	0.45	0.15	183.9	5.391	991.40	1.19	2.20
11:05	26.00	6.407	692.65	1.08	4.89	670	8.220858896	0.49	0.21	183.1	5.952	1089.81	1.70	2.21
11:31	20.00	8.421	910.38	1.09	4.47	760	10.20134228	0.61	0.20	182.3	7.907	1441.45	1.73	2.35
11:51	20.00	7.574	818.81	0.98	5.01	720	8.622754491	0.52	0.17	182.3	7.04	1283.39	1.54	2.48
12:11	23.00	7.878	851.68	1.18	5.53	830	9.005424955	0.54	0.21	178.1	7.231	1287.84	1.78	2.38
12:34	96.00	9.075	981.08	5.65	4.7	760	9.70212766	0.58	0.93	176.9	8.188	1448.46	8.34	2.49
14:10	20.00	1.805	195.14	0.23	9.97	620	3.731193581	0.22	0.07	190.9	1.837	350.68	0.42	1.57
14:30	20.00	1.887	204.00	0.24	8.56	540	3.785046729	0.23	0.08	192.7	1.881	362.47	0.43	1.60
14:50	20.00	1.611	174.16	0.21	10.51	530	3.025689819	0.18	0.06	188.4	1.919	361.54	0.43	1.99
15:10	4.75 horas			12.11 MJ					2.24 m3				18.69 MJ	2.32 KWh/m3
				3.36 KWh									5.19 KWh	

Anexo 2

Manuales

MANUAL DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA.

Este es un manual simple en el cual se da una guía rápida para la instalación, uso y mantenimiento del sistema de nanofiltración por energía solar, esperando que sea de ayuda para quienes obtengan este sistema, a continuación se pasa a la descripción del manual:

A._ Instalación.

El sistema cuenta con las siguientes partes:

- 8 paneles solares
- Cables de conexión de paneles
- Caja de conexión
- Perilla de encendido/apagado
- Bomba de agua sumergible
- 4 membranas de nanofiltración espiral
- 2 medidores de presión (entrada y desecho)
- 2 medidores de caudal (permeado y desecho)
- 2 llaves de salida
- Tubería de PVC
- Mangueras de conexión
- Conexiones de PVC
- Estructura metálica para las membranas
- Estructura metálica para los paneles
- Filtro de agua
- Cable eléctrico

Las herramientas y suministros que se necesitaran para la instalación son:

- Pinzas
- Pinzas de corte
- Desarmadores (cruz y plano)
- Juego de llaves
- Llave stillson
- Cinta de aislar
- Uniones tubulares para empalme pre-aisladas

Una vez con todas las herramientas y accesorios necesarios para la instalación se procederá al armado de la siguiente manera:

A.1.- Para el armado de los paneles:

- 1.- Verificar el lugar y orientación en la cual se colocaran el armazón de los paneles, este debe ser en un lugar donde se pueda sujetar y afianzar la estructura para evitar movimientos que puedan cambiar la orientación o daño a los paneles, y se tenga la mayor exposición a la luz solar orientado de este a oeste.
- 2.- Colocar la estructura metálica en donde se colocaran los paneles, además de ganchos de sujeción para afianzar la estructura.
- 3.- Mediante cables o alambre sujetar la estructura a los ganchos de manera que no se mueva por acción externa, como lo es por el viento o movimientos de terceros.
- 4.- Una vez sujeta la estructura se procede a colocar los paneles en sus respectivos lugares, asegurándolos mediante tornillos de sujeción.
- 5.- Ya sujetos los paneles se procederá la conexión de los cables, tomando en cuenta la necesidad eléctrica de la máquina se determinara y conectara los paneles necesarios en serie y en paralelo (en nuestro caso se conectaron todos en serie).

6.- Una vez conectado todos los paneles se hará una extensión de los cables hasta la caja de conexiones mediante el uso de cable eléctrico, conectores tubulares (empalmes) y cinta de aislar.

7.- Ya en la caja de conexiones, ubicada en un lugar fuera del alcance de la humedad y del sol, se hará las conexiones hacia los switch de la caja y los cables a la perilla de on/off.

8.- Por último se conectara la perilla on/off y la conexión a tierra de la caja de conexiones y la bomba; además de dejar los cables para la conexión de la perilla hacia la bomba.

A.2.- Para la bomba sumergible ^[4]:

Antes de proceder a la instalación del grupo sumergido conviene verificar el diámetro del depósito. Este debe ser superior al diámetro máximo del cuerpo de la bomba. No debe existir ninguna rugosidad que pueda dañar al grupo o al cable.

El aislamiento del motor se debe revisar antes de realizar el empalme del cable de alimentación y después de haberlo realizado. Para las correctas verificaciones del llenado y del aislamiento del motor.

Instrucciones para efectuar el empalme

Empalme con Cinta Aislante.

Para asegurar un buen resultado, el empalme del cable de alimentación del motor sumergido debe hacerse con mucho cuidado. En el caso de manguera tripolar proceder como sigue:

1-Preparar los extremos de los cables a empalmar quitándoles la cubierta exterior que envuelve los tres conductores en un tramo de 150 mm aproximadamente.

2-Cortar los extremos de los conductores en tres longitudes diferentes de forma que los tres empalmes no caigan en el mismo sitio.

3-Pelar el aislamiento de los conductores en aproximadamente 20 mm del extremo.

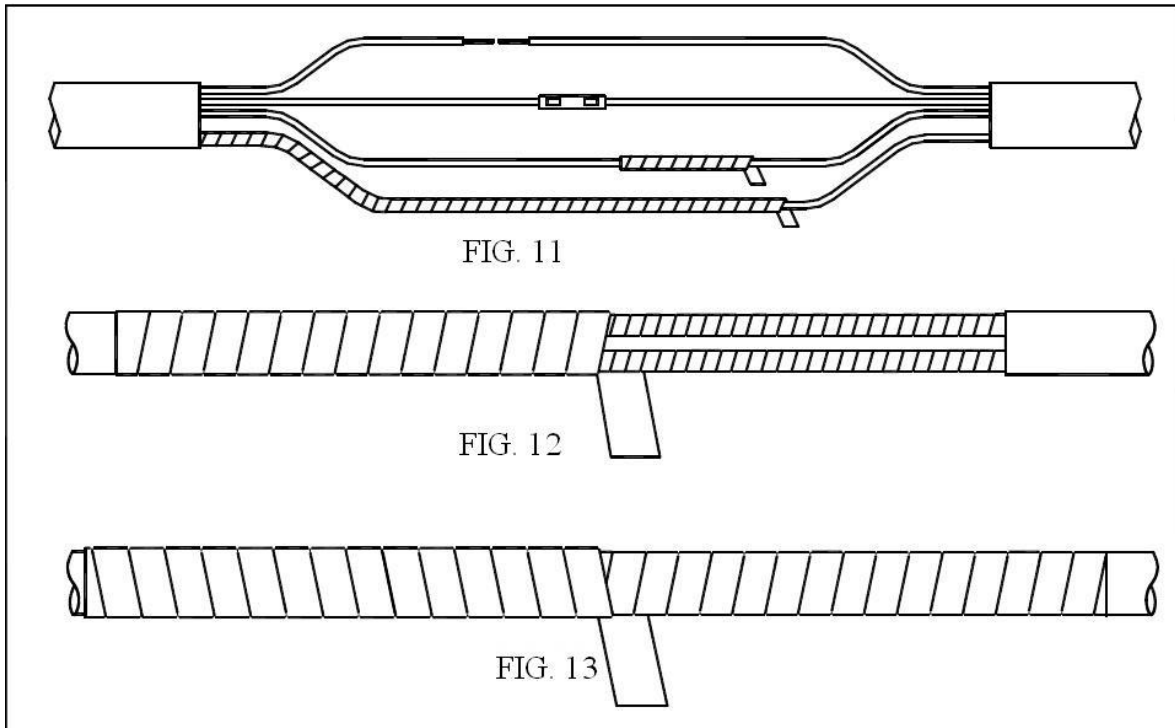
4-Efectuar la conexión eléctrica por medio de casquillos y alicates especiales para empalmes.

5-Limpiar las superficies a aislar.

6-Encintar cada empalme con una capa de cinta aislante adhesiva de PVC, que cubra la conexión desnuda más un cm. aproximadamente a ambos lados. Tres capas de cinta en toda la longitud posible en cada uno de los empalmes (figura 11).

7-Rehacer la operación del encintado con los tres cables juntos procurando igualar el escalón que forma la cubierta de la manguera y cubriéndola también aproximadamente 4 cm. por cada lado (figura 12).

8-Recubrir todo el empalme con triple arrollamiento inverso de cinta aislante adhesiva de PVC, sobrepasando el encintado anterior por ambos lados. Todos los encintados se efectuaran a medio solape y manteniendo la cinta tensa para eliminar la retención de aire (figura 13).



Figuras 11, 12 y 13. Esquema para realizar el empalme

Antes de realizar el conexionado de los cables al cuadro eléctrico, comprobar que el suministro eléctrico está desconectado y no puede reponerse automáticamente. Así mismo se cumplen las condiciones de seguridad requeridas.

Los cables de tierra (color amarillo-verde) deben conectarse al circuito de tierra de la instalación antes de conectar los restantes conductores.

No dejar jamás sumergidas las extremidades libres de los cables en el agua

Para la conexión de tubería hacia el sistema de nanofiltración se usara la llave stillson, cinta de teflón, tubos y conexiones de PVC, teniendo en cuenta el tamaño de salida de la bomba y el caudal que se requerirá en el proceso, esto implicará de ser necesaria alguna reducción en la tubería ya que esta ira conectada al filtro anterior al sistema de nanofiltración.

A.3.- Para el sistema de nanofiltración:

- 1.- Determinar el lugar en donde se colocara el sistema de nanofiltración, debe ser un lugar lejos de los efectos de humedad para proteger a la estructura y sus componentes de la acción de la oxidación.
- 2.- Colocar la estructura metálica del sistema de nanofiltración, de manera tal que no se balancee y pueda caer dañando las membranas.
- 3.- Colocar las membranas, los instrumentos de medición y el filtro en sus respectivos lugares asegurándolos con los tornillos de sus respectivos lugares.



Figura 14. Colocación de instrumentos de medición y salidas.

- 4.- Hacer las conexiones de las tuberías, empezando con tubería de PVC desde el filtro hacia las membranas, tomando en cuenta si estas estarán conectadas en serie o en paralelo (en nuestro caso será una conexión en paralelo).



Figura 15. Conexiones de tuberías y mangueras.

5.- Para las salidas de las membranas se usaran tanto la tubería de PVC para el flujo de rechazo, como las mangueras de grado alimenticio para el flujo de permeado; así como también los conectores de PVC y las llaves de salida para las conexiones hacia los instrumentos de medición como para la salida de los flujos a sus respectivos depósitos.



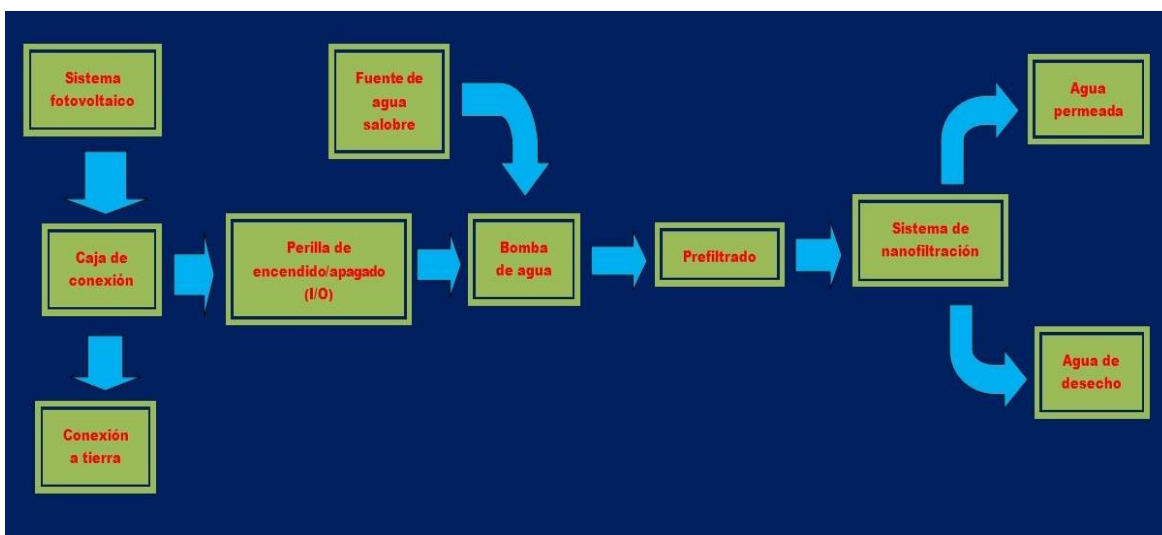
Figura 16. Armado final del sistema de nanofiltración.

B._ Operación.

Una vez instalado por completo el sistema puede ponerse en marcha la máquina, asegurándose antes de que las llaves de salida estén completamente abierta, además de vigilar que la presión del rechazo sea 4/5 de la presión de entrada.

Una vez apagada la máquina debe asegurarse de que se ha vaciado las mangueras de salida y cerrar las llaves de salida para evitar que entren insectos o basura que puedan dañar las membranas por dentro.

El ciclo de operación de la máquina se ilustra en la siguiente figura:



También se da una hoja de registro para monitorear el progreso y desarrollo del funcionamiento del sistema:

Anexo 1.TABLA DE CONTROL DEL SISTEMA DE NANOFILTRACIÓN POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA.

Empresa: _____ Área: _____

Jefe de área: _____ Encargado del departamento: _____

Fecha	Hora	Irradiación	Deposito		Permeado			Desecho			Presión	
			TDS	Conductividad	Flujo	TDS	Conductividad	Flujo	TDS	Conductividad	Entrada	Desecho

Realizó

Revisó

Recibió

ENCARGADO DEL DEPARTAMENTO

JEFE DE ÁREA

C._ Mantenimiento.

El mantenimiento del sistema se estima hacerlo cada 6 meses para evitar fallas graves en el sistema, a continuación se mencionará las partes y el tipo de mantenimiento que debe tener el sistema.

C.1._ Sistema fotovoltaico. ^[5]

Las instalaciones fotovoltaicas requieren un mantenimiento mínimo y sencillo, que se reduce a las siguientes operaciones:

Paneles: requieren un mantenimiento nulo o muy escaso, debido a su propia configuración: no tienen partes móviles y las células y sus conexiones internas están encapsuladas en varias capas de material protector.

Es conveniente hacer una inspección general 1 ó 2 veces al año: asegurarse de que las conexiones entre paneles y al regulador están bien ajustadas y libres de corrosión.

En la mayoría de los casos, la acción de la lluvia elimina la necesidad de limpieza de los paneles. En caso de ser necesario, simplemente se puede utilizar agua y algún detergente no abrasivo.

Regulador: la simplicidad del equipo de regulación reduce sustancialmente el mantenimiento y hace que las averías sean muy escasas.

Las operaciones que se pueden realizar son las siguientes: observación visual del estado y funcionamiento del regulador; comprobación del conexionado y cableado del equipo; observación de los valores instantáneos del voltímetro y amperímetro: dan un índice del comportamiento de la instalación.

Inversor: en la actualidad la mayoría de los inversores no requieren de ningún tipo de mantenimiento específico.

C.2._ Sistema de bombeo ^[6]

La parte más crucial en el mantenimiento del sistema de bombeo es la revisión del estado de las conexiones eléctricas, poniendo atención a los empalmes y los cables que no estén flujos o deteriorados y que sigan bien aislados, de ser necesario se hará un cambio de empalme.

Por su parte la bomba sumergible no es un dispositivo que requiera un mantenimiento minucioso a menos de que se detecte un fallo, si se puede poner atención a las partes que son sometidas a desgaste, a las holguras, deformaciones y envejecimientos de aislamientos y sellos plásticos o de goma. Las partes más usuales de revisión son, en la bomba:

- Anillos de cierre hidráulico
- Cojinetes radiales
- Casquillos y camisas del eje

En la parte del motor:

- Cierre mecánico
- Cojinetes radiales
- Membrana y válvula de compensación
- Cojinete axial
- Medida de aislamiento del devanado

C.3._ Membranas y filtro ^[7]

Las membranas deben limpiarse de forma periódica como se ha indicado, cuando la presión diferencial (ΔP), el caudal de permeado o el paso de sales (conductividad del permeado) varíen en un 10-15% respecto a los valores de diseño. La operación de limpieza de membranas se realiza siempre con la planta fuera de producción.

En el proceso de limpieza de membranas debe realizarse en las siguientes etapas y respetando las siguientes consideraciones:

Las soluciones de limpieza deben prepararse con agua de buena calidad y sin cloro. Se recomienda el empleo de agua permeada. Los productos químicos de limpieza deben añadirse en el agua y asegurarse que los cambios de pH y temperatura se realizan gradualmente. En ocasiones, la suciedad que se debe eliminar requiere una solución química a una temperatura del agua superior a la del medio ambiente. El intervalo frecuentemente oscila entre 15°C y 35°C.

Una vez más, se verificarán estas prácticas con las recomendaciones del fabricante de la membrana empleada.

Antes de bombear la solución de limpieza, se debe comprobar la mezcla completa y la total disolución de los productos químicos empleados.

Para calcular el volumen de solución de limpieza requerida (y las dimensiones del sistema de limpieza) debe tenerse en cuenta el número de membranas que serán limpiadas (volumen de las cajas de presión) y el volumen del circuito de limpieza.

Habitualmente se emplean de 1,2 a 1,5 volúmenes de solución de limpieza por volumen de caja de presión.

La limpieza de la membrana debe realizarse a baja presión (<4 bar) y el flujo no debe exceder los límites establecidos. Deben intercalarse periodos de recirculación y reposo, con el fin de favorecer el contacto de la solución de limpieza con la suciedad y facilitar su eliminación.

Si la solución de limpieza muestra un fuerte cambio de color y/o aparecen precipitaciones, habría que desecharla y hacer una nueva, repitiendo el proceso. Durante toda la fase de limpieza, las válvulas de concentrado y permeado de retorno al tanque de limpieza, deben mantenerse abiertas, pero la válvula de permeado al tanque de agua producto estará cerrada durante todo el proceso y sólo se abrirá una vez comprobada que la calidad del agua permeada es óptima.

Al lavar químicamente, se atenderá a los manuales de operación y las recomendaciones del fabricante.

Cuando el ensuciamiento es muy grande, suele recomendarse limpiar recirculando a bajo caudal durante 10-15 horas.

En el caso de limpiezas a elevada temperatura 35-45°C (según el pH de la solución de limpieza), se recomienda también la aplicación de un caudal bajo.

Una vez finalizada la limpieza (o entre etapas de limpieza), deben aclararse las membranas y el circuito de limpieza con agua de calidad apropiada para cada tipo de membrana.

El proceso de aclarado finaliza cuando se tiene evidencia que se ha desplazado completamente la solución de limpieza del interior de las membranas.

Para el filtro de pretratamiento únicamente es necesario lavar con agua no clorada y revisar el estado en el que se encuentra, de encontrarse necesario deberá cambiarse.