

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**“Diseño de un Sistema Purificador de Agua de Canal
con Lechos Granulares y Energía Fotovoltaica”.**

TESIS
Que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería

Presenta:

SARA REBECA VILLARREAL SANTOSCOY

Directora:

Dra. GISELA MONTERO ALPIREZ

Mexicali, Baja California

Diciembre del 2008.

ÍNDICE

SIMBOLOGÍA

RESUMEN

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Justificación
- 1.3 Objetivos
- 1.4 Hipótesis

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

- 2.1 Caracterización del agua
- 2.2 Separación de coloides
- 2.3 Almacenamiento
- 2.4 Sedimentación
- 2.5 Filtración
- 2.6 Tiempo de ciclo del lecho empacado
- 2.7 Pérdidas de presión en el lecho granular fijo
- 2.8 Sistema de suministro de energía solar

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL MÉTODO

- 3.1 Caracterización del agua.
- 3.2 Sistema de lechos granulares.
 - 3.2.1 Dimensionamiento del sistema de lechos granulares
 - 3.2.2 Construcción del prototipo
 - 3.2.3 Corridas de prueba del prototipo con agua del sistema municipal.
 - 3.2.4 Determinación de la conductividad del agua de descarga para agua municipal.
 - 3.2.5 Determinación de la caída de presión de las pruebas.

- 3.3 Sistema de energía solar
 - 3.3.1 Paneles solares
 - 3.3.2 Baterías de recarga
 - 3.3.3 Inversor de corriente
- 3.4 Proceso de coagulación de coloides
 - 3.4.1 Construcción del sistema de coagulación
 - 3.4.2 Corridas de prueba del sistema con agua de canal

CAPITULO 4

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

- 4.1 Factibilidad legal
- 4.2 Factibilidad comercial
- 4.3 Factibilidad ecológica
- 4.4 Factibilidad económica
 - 4.4.1 Flujo neto de efectivo
 - 4.4.2 Valor presente neto
 - 4.4.3 Tasa interna de rendimiento
- 4.5 Sensibilidad y riesgo

CONCLUSIONES

APENDICE

- A.** Bibliografía
- B.** Referencias Bibliográficas
- C.** Anexos

SIMBOLOGIA

A	Área transversal en m ²
Bé	grados Baumé
D	Diámetro
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
Dp	Diámetro de partícula
DQO	Demanda química de oxígeno
Dr	Diámetro relativo
d ₁	Diámetro promedio de una partícula de arena
d ₂	Diámetro promedio de una partícula de antracita
f	factor de fricción
F	fuerza de sedimentación
FV	Fotovoltaico
g	gravedad
G	gasto en galones por minuto
GAC	Carbón activado granular
gal	galones
gpd	galones por día
gpm	galones por minuto
gpm/pie ²	galones por minuto por pie cuadrado
H	altura
Ht	Pérdidas de carga total del sistema de lavado

h_{1an}	Pérdida de carga a través del lecho expandido de antracita
h_{1ar}	Pérdida de carga a través del lecho expandido de arena
h_{1g}	Pérdida de carga a través del lecho expandido de gravilla
h_2	Pérdida de carga a través del lecho de granular sin expandir
H_2S	Sulfuro de hidrogeno
h_3	Pérdida de carga en la tubería, válvulas, controlador, etc.
I_{cc}	Intensidad de corriente en corto circuito
I_m	Intensidad de corriente máxima
I_p	Intensidad de corriente pico
L_m	Altura del medio filtrante
mmhos	milimhos
MSNM.	metros sobre el nivel del mar
N	Norte
NMP	número más probable
NUT	unidades nefralométricas
PAC	Carbón activado en polvo
pH	potencial de iones hidrógeno
PI	Potencia de la Radiación luminosa, Irradiancia.
PM	pasado meridiano
P_m	potencia máxima generada
P_p	potencia pico
ppm	partes por millón

ΔP	Pérdidas de presión
Q	Caudal, m ³ /s
R	resistencia eléctrica
s	segundos
SD	Sólidos disueltos
SPD	Subproductos de la desinfección
S _{DT}	Sólidos disueltos totales
SS	Sólidos suspendidos
S ₁	Angulo de Inclinación durante los 4 meses del Término del invierno e inicio del verano.
S ₂	Angulo de Inclinación durante 4 meses de invierno, Iniciando en el Solsticio de Invierno el 21 de diciembre
S ₃	Angulo de Inclinación durante 4 meses de verano iniciando en el Solsticio de Verano el 21 de junio.
t*	tiempo de saturación
t _s	tiempo promedio para la absorción
TCE	tricloroetileno
uv	luz ultravioleta
v	velocidad del fluído en el lecho, m/s
v _b	velocidad del lavado, m/s
v _o	velocidad superficial, m/s
V	voltaje, volts
V _{ca}	Voltaje a circuito abierto
V _{CD}	Voltaje de corriente directa

V _{ma}	Voltaje máximo
V _p	Voltaje pico
V _{pf}	Volumen de la partícula filtrante.
W	oeste
μW/cm ²	microwatts por centímetro cuadrado

Letras griegas

ε	porosidad adimensional
Φ	ángulo azimuth, grados
γ	gravedad específica del agua
μ _f	viscosidad del fluido, Pa. S
θ	ángulo de elevación, grados
Ø	latitud
ρ _a	densidad aparente de la partícula, g/cm ³
ρ _f	densidad del fluido, g/cm ³
ρ _p	densidad de la partícula, g/cm ³
ρ _s	densidad relativa de la partícula, g/cm ³
η	Eficiencia
η _b	Eficiencia de la bomb

RESUMEN

En este trabajo se propone la aplicación de un sistema de filtración a base de membrana de osmosis inversa y luz ultravioleta, incluyendo previamente la separación química por coagulación y floculación de las sustancias coloidales contenidas e introduciendo además un sistema fijo de lechos granulares, (tomando este nombre debido a que está constituido por gravilla, arena y antracita), en el que se retirarán la mayor parte de los sólidos en suspensión y disueltos, así como un lecho fijo de carbón activado, el cual es uno de los mejores adsorbentes para remoción y reducción de muchos compuestos orgánicos e inorgánicos caracterizados como productos químicos dañinos de origen ‘moderno”, tales como pesticidas, herbicidas, metilato de mercurio e hidrocarburos clorinados.

En el purificador de agua, la energía necesaria para accionar la bomba que alimentara el agua de canal al sistema y la lámpara de luz ultravioleta proviene del sol. La energía solar es captada y transformada en energía eléctrica por medio de los dispositivos llamados celdas solares, las cuales son la base de la construcción de los módulos fotovoltaicos. De esta manera, partiendo de las recomendaciones en tablas del dimensionamiento de equipos comerciales (Rangel, 1994) y como resultado de la experimentación en campo, se pueden establecer los parámetros reales de gasto másico, pérdidas de carga, potencia de los motores del sistema de agitación y de la bomba, de tal manera que el dimensionamiento y cálculo correcto de éstos parámetros, permita obtener la carga eléctrica mínima para llegar al arreglo más eficiente a fin de que el sistema de energía solar propuesto sea económicamente factible.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Las aguas que son contaminadas durante su empleo en actividades realizadas por las personas son consideradas como aguas residuales. Las labores domésticas contaminan el agua, sobre todo con residuos fecales y detergentes. También los trabajos agrícolas y ganaderos pueden producir una contaminación muy grave de las aguas de los ríos y los acuíferos. Los principales causantes son los vertidos de aguas cargadas de residuos orgánicos procedentes de las labores de transformación de productos vegetales o de los excrementos de los animales. Otra fuente de contaminación de las aguas son las industrias. Muchas de ellas como la papelera, textil y siderúrgica, necesitan agua para desarrollar su actividad. La consecuencia es el vertido de aguas residuales cargadas de materia orgánica, metales, aceites industriales e incluso radiactividad (Nordel, 1981).

Los materiales indeseables, orgánicos e inorgánicos, se extraen por métodos de criba y sedimentación que eliminan los materiales suspendidos. Otro método es el de la coagulación que al formar flóculos retiene este tipo de partículas en combinación con el tratamiento con ciertos compuestos como el carbón activado, que elimina los sabores y olores desagradables. También se puede purificar el agua por filtración por ósmosis inversa para separar las partículas mas pequeñas que no fueron retenidas en los filtros

granulares para finalmente usar la luz ultravioleta cuya función es destruir la acción de los microorganismos infecciosos.

En las Figuras 1 y 2, puede observarse que según el tamaño y el tipo de partícula, existe un elemento filtrante adecuado (AWWA, 2000).

Tecnología	Arsenico	Bacteria	Sabor y Olor	Cloro	Flúor	Metales Pesados	Nitratos	Radón	Sedimento	Virus	VOC
Carbón Activado	●	○	●	●	○	●	○	●	●	○	●
Osmosis Inversa	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●
Ultravioleta	○	●	○	○	○	○	○	○	○	●	○
Sistema Osmosis inversa con UV	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

● = Remoción Efectiva ● = Reducción Significativa ○ = Remoción Mínima

Figura 1 Comparación de tecnologías de purificación de agua

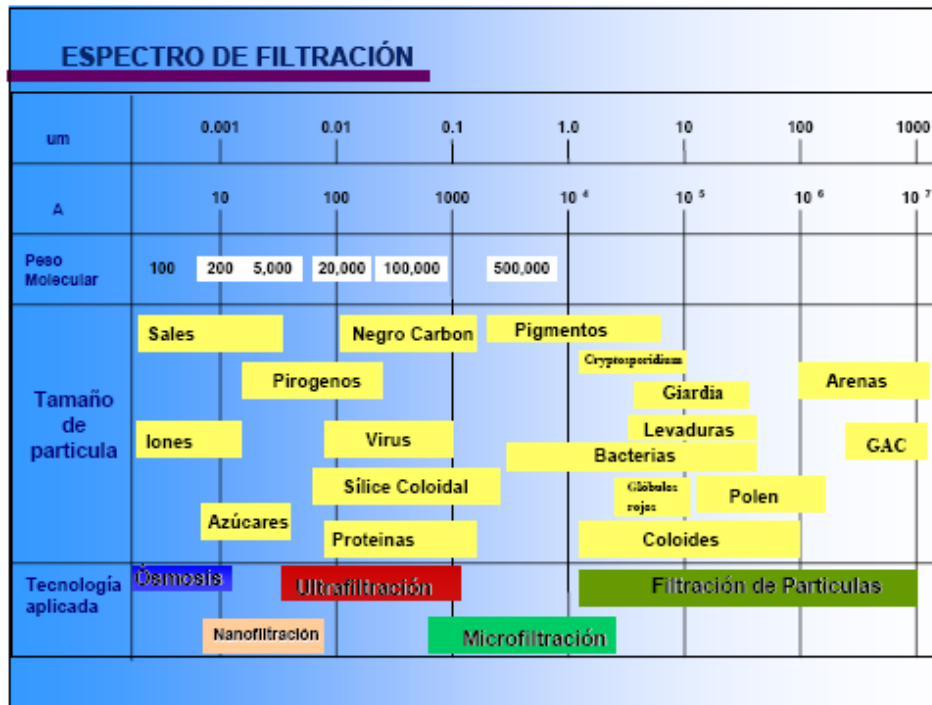


Figura 2 Espectro de filtración

El carbón activado es el mejor adsorbente de uso general para remoción/reducción de muchos compuestos orgánicos, (Rodríguez y Molina, 2002) y aún de algunos inorgánicos en aguas residuales. En los años 60, varias plantas de tratamiento de aguas empezaron a utilizar carbón activado en polvo (PAC) o carbón activado granular (GAC) (el tamaño medio del carbón en polvo es 0.3-3.0 mm., mientras que el granular suele ser 15-20 mm.) conformado para el tratamiento del sabor y del olor (Rodríguez,2005). Actualmente, el carbón activado se utiliza en cientos de aplicaciones diferentes, tanto para sistemas de vapor como para tratamiento de líquidos.

En los sistemas existentes para tratamiento de agua para beber, se propone iniciar el sistema de filtración a través del medio más ligero, en este caso la antracita,

continuando con la arena con mayor densidad que la antracita y finalmente con el lecho con gravilla de mayor tamaño, antes de pasar por el Carbón activado.

En estos lechos no hay ninguna barrera que divida cada una de las camas. Estos sistemas buscan hacer más cortos los períodos del lavado de lechos, a fin de tener disponible el sistema limpio lo más rápido posible, ya que al invertir el flujo del agua en el lavado, las camas más ligeras flotan en el agua y por tener menor peso que las camas más profundas, no existe el riesgo de que se mezclen los materiales de partículas pequeñas con las partículas más grandes, descomponiendo de esta manera el sistema de filtración. En este trabajo se utilizaron barreras que separan el lecho de antracita, arena y gravilla, del de carbón activado a fin de evitar la mezcla de los mismos y que al realizar el lavado no exista la posibilidad de que se mezclen.

Por otro lado se deben tomar en consideración varios factores al diseñar un sistema adsorbedor de GAC: la naturaleza de lo adsorbido: ¿Hay uno o varios elementos por adsorber?, ¿Es adsorción competitiva?, la capacidad de flujo, el tiempo de residencia o de contacto, la profundidad de la cama de GAC, la temperatura del afluente, el efluente deseado, un solo adsorbedor o en serie, la caída de presión, el procedimiento de muestreo, los requerimientos del pre-filtro, el lavado de los lechos, y los costos de operación.

La construcción y el diseño del adsorbedor es muy importante y puede evitar muchos dolores de cabeza durante la operación. Los adsorbedores deben ser seleccionados apropiadamente en cuanto al tamaño para la capacidad de flujo máximo, deben contener la cantidad correcta de GAC (para permitir un adecuado tiempo de contacto) y

permitir espacio libre para el retro lavado si se requiere. Los sistemas de pulido del agua potable (como la reducción de cloro en una planta embotelladora de refrescos o de cerveza) pueden fluir de 6 a 10 gpm/pie² y tener un tiempo de contacto total de 5 a 10 minutos, en tanto que los sistemas de aguas residuales tienen típicamente varios adsorbedores en serie y dan de 2 a 4 gpm/pie² y un tiempo de contacto de 10-30 minutos por adsorbedor (Nordel,1984).

El sistema de distribución afluente y el sistema de recolección efluente son de importancia crítica para una óptima operación. Los materiales de construcción, el tipo y calidad de la válvula, y/o el recubrimiento o revestimiento del tanque determinan la durabilidad y la vida de servicio del adsorbedor. Los sistemas adsorbedores típicos para aguas residuales son operados en serie con dos o tres tanques y se toman muestras del afluente, del sistema medio y del efluente. Cuando el nivel efluente del primer adsorbedor alcanza su concentración afluente, el carbón se ha desgastado y es intercambiado por nuevo GAC y el tanque se pone al final de la serie, quedando ahora el segundo tanque como primero. De este modo cada adsorbedor GAC está completamente saturado y funciona al máximo de su potencial.

Para poder determinar si el GAC es factible para una aplicación, uno necesita conocer varios factores:

- Capacidad de flujo (promedio y máximo)
- Horas de operación: 6, 8, 16, 24 hr/día
- Información del afluente: SDT, SS, DQO, DBO, coliformes totales (NMP), etc.
- Requerimientos del efluente: límites permitidos de SDT, SS, DQO, DBO,

coliformes totales (NMP), etc.

- Temperatura de la corriente: (el GAC funciona mejor a 40-90°F)
- PH de la corriente: (el GAC funciona mejor a un pH de 4-10)
- Pre-tratamiento disponible: filtro de arena, tratamiento biológico, ajuste de pH, etc.
- Índice estimado de uso de GAC: en lbs/día.

Tabla 1 Índice de rechazo de contaminantes por ósmosis inversa

Contaminante	%Rechazo	Contaminante	%Rechazo	Contaminante	%Rechazo
Sodio	85 – 93	Hierro	95 - 98	Potasio	87 - 94
Aluminio	96 – 99	Magnesio	96 - 98	Fluoruro	87 - 93
Plomo	96 – 99	Zinc	98 - 99	Níquel	98 - 99
Cobre	98 - 99	Cloruro	87 - 93	Plata	93 - 98
Arsénico	94 - 96	Nitrato	60 - 92	Bicarbonato	90 - 95
Mercurio	96 - 98	Silicato	85 - 90	Manganeso	95 - 98
Sulfatos	96 - 98	Cianuro	86 - 92	Amonio	86 - 92
Calcio	96 - 98	Sulfito	98 - 99	Bario	96 - 98
Fosfatos	96 - 99	Bacterias	99+	Cromo	96 - 98

Filtro de la membrana de por ósmosis inversa (OI).-La membrana de ósmosis inversa se basa en el principio de la presión osmótica, en el cual la presión al buscar el equilibrio impulsa a las moléculas del agua a través de una membrana permeable (AWWA, 1960) desde una solución diluida hacia otra concentrada. Este proceso se puede invertir al aplicarle al agua concentrada una presión mayor que la presión osmótica, como ocurre en este caso, por lo cual se le conoce como ósmosis inversa; los sólidos que no logran atravesar la membrana son retirados en el agua de drenaje. En esta membrana semipermeable se separan los sólidos disueltos, los orgánicos, la materia coloidal, micro-organismos, virus y bacterias del agua, que por ser tan

pequeños, menores a 1 micra, no alcanzan a ser retenidos en los filtros anteriores. En la purificación de agua por ósmosis inversa toda el agua purificada es pasa a través de la membrana, después de este paso se puede tener el agua limpia y cristalina. En la Tabla 1 se presenta el porcentaje de rechazo de algunos contaminantes por la membrana de osmosis inversa (AWWA, 1960).

Lámpara de luz ultravioleta

En función de la longitud de onda podremos distinguir tres tipos de radiación UV

- UV-A.- Con una radiación que va desde los 320 a los 400 nm. Es la más cercana al espectro visible y no es absorbida por el ozono.
- UV-B.- Va de los 280 a los 320 nm. La capa de ozono absorbe casi por completo este tipo de radiación que es muy dañino provocando alteraciones en el ADN.
- UV-C.- Para una longitud de onda menor de 280 nm. Este tipo de radiación es extremadamente peligroso y dañino ya que es el más energético, pero es absorbido completamente por el ozono y el oxígeno.

Este efecto dañino para los seres vivos puede usarse para la desinfección y eliminación de organismos vivos en un sinnúmero de aplicaciones, y por supuesto en todo tipo de tratamiento de aguas en el que tengamos un contenido biológico. Está demostrado que una lámpara que irradie UV-C, Figura 3, de 254 nm produce el rendimiento más alto de desinfección.



Figura 3. Esquema de una lámpara uv

Cuando la luz ultravioleta incide sobre la cadena de ADN de los seres vivos provoca una unión de varios nucleótidos adyacentes, destruyendo dicha cadena y produciendo la muerte o inactivación de los organismos.

El tratamiento mediante radiación ultravioleta es por tanto una alternativa muy eficaz para potabilización de aguas, tratamiento de aguas de piscinas o desinfección de aguas sanitarias o con alta carga biológica.

Es por lo anterior que una vez que el agua atraviesa la membrana de ósmosis inversa, se requiere de una lámpara germicida de luz ultravioleta en la cual todo microorganismo vivo que tenga contacto con ella será casi totalmente destruido, logrando una exterminación del 99.99%. Este es el último paso del proceso, y después de este proceso el agua debe estar lista para beber. A continuación en la Tabla 2 se señalan algunos contaminantes que se eliminan por este tipo de luz (Nordell, 1984).

Tabla 2 Tipos de contaminantes que se eliminan por luz ultravioleta

Ecoli	Poliovirus
Salmonella	Hepatitis
Legionella pneumophilia	Cholera
Mycobacterium tuberculosis	Streptococcus

1.1 Antecedentes

La estructura del agua es asimétrica. Una molécula de agua tiene dos átomos de hidrógeno en un extremo y un átomo de oxígeno en el otro. Debido a que el agua es una sustancia polar existe una atracción molecular que causa que el agua tenga una gran tensión superficial y debido a la diferencia de densidades entre el agua y las partículas los objetos flotan en ella. La acción polar del agua también permite que ésta disuelva sustancias y que las separe en iones. Esta propiedad hace que el agua sea un solvente casi universal.

El agua generalmente se clasifica en dos grupos: agua de superficie y agua de la tierra. El agua de superficie es tal y como lo dice su nombre: agua que se encuentra en un río, lago, canal de descarga o encerrado en otra superficie. Esta agua no tiene un alto contenido mineral motivo por el cual muchas veces es llamada "agua blanda". El agua de superficie está expuesta a muchos contaminantes tales como la excreción de animales, pesticidas, insecticidas, diferentes clases de desechos industriales, algas, y otros materiales orgánicos. Aún el agua de superficie que se encuentra en un arroyo

cristalino en la montaña posiblemente contiene giardia o bacterias coliformes de las heces fecales de animales salvajes y deben ser tratadas de algún modo antes de consumirse (Nordell, 1984).

La llamada agua de la tierra es aquella que está atrapada debajo de la tierra. La lluvia que se absorbe dentro de la tierra, los ríos que desaparecen debajo de ella, así como la nieve que se derrite son solo algunas de las fuentes que recargan la provisión de agua subterránea. Porque hay varias formas de recargar, el agua de la tierra puede contener alguno o todos los contaminantes que se encuentran en el agua de superficie así como los minerales que se han disuelto y que recoge durante su larga estadía subterránea. Las aguas que contienen minerales disueltos, tales como calcio y magnesio sobre ciertos niveles son consideradas "agua dura", (Nordell, 1984). Por ejemplo, en áreas del mundo donde son comunes minerales tales como la caliza, yeso, magnetita, pirita y magnesita, el agua de pozo tiene un alto contenido de calcio. Debido a las diferentes características de estos dos tipos de agua, es importante conocer la fuente de donde proviene el agua que se ingiere, de superficie o de tierra. Asimismo es importante destacar que de los 529 millones de kilómetros cúbicos de agua en el mundo, solamente 3% de ésta es agua fresca, y el 75% es agua congelada, es decir 393 millones de metros cúbicos. Solamente la mitad del 1% de toda el agua subterránea, se encuentra en lagos y arroyos. El cuerpo humano es aproximadamente 70% agua, por lo que el ser humano solamente puede sobrevivir 5 días o menos sin agua.

Durante el decenio internacional del agua potable y del saneamiento ambiental (1981-1990) se planificaron programas que permitieron el acceso al agua potable de cientos de millones de personas. En las zonas rurales, la disponibilidad de agua apta para el consumo aumentó a más del doble, y en las zonas urbanas aumentó una vez y media. Pero los progresos obtenidos se vieron socavados por el vertiginoso crecimiento de la población en los países en vías de desarrollo. En 1990, 20 países sufrían escasez de agua. En 1996, ya eran 26 (230 millones de personas), según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el número de países con problemas de agua puede elevarse a 41 en el año 2020 (Anundel, 2002). De acuerdo con datos de esta organización y del programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) se calcula que de aquí al año 2027, aproximadamente un tercio de los habitantes del mundo sufrirá escasez de agua. Las razones para ello son evidentes: la mayor demanda sobre los recursos de agua dulce provocada por las crecientes poblaciones humanas; el empeoramiento de la calidad de los recursos acuíferos existentes debido a la contaminación y las necesidades creadas por la dinámica expansión industrial y agrícola.

Las consecuencias de esta escasez se sentirán sobre todo en las regiones áridas y semiáridas del planeta, pero también se experimentarán en las regiones costeras en rápido crecimiento así como en las megalópolis del mundo en desarrollo. La escasez y mala calidad del agua ponen en peligro la salud, el bienestar social y económico, la

seguridad alimentaria y la diversidad biológica. Además, agrava las tensiones y conflictos, tanto dentro como entre las naciones. La escasez de agua podría llegar a ser además, en el futuro, la limitación más importante para asegurar una agricultura sostenible.

A la escasez de agua hay que sumar, como problema añadido, su contaminación. La FAO ha advertido en distintos informes de los efectos contaminantes de los plaguicidas y fertilizantes utilizados en la agricultura, que dañan las reservas de agua en superficie y subterránea. Aproximadamente un 80 por ciento de toda la contaminación marina tiene como origen las actividades humanas en tierra, tales como la urbanización, la agricultura, el turismo, el desarrollo industrial, el vertido de aguas residuales insuficientemente tratadas y desechos industriales, y la construcción de infraestructura costera.

Alrededor del 80 por ciento de todas las enfermedades y más de una tercera parte de todas las muertes en los países en desarrollo están relacionadas con el agua. Cada ocho segundos muere un niño por una enfermedad relacionada con el agua. Cada año, más de cinco millones de personas fallecen por dolencias vinculadas a su consumo, la falta de higiene en el hogar o defectos en la canalización. Y la diarrea, originada en un 30 por ciento de los casos por el agua causando una grave deshidratación y malnutrición, mata cada año a casi 3 millones de niños menores de cinco años, lo que representa la cuarta parte de muertes en este grupo de edad.

Es por esto que es importante que cada familia empiece a tomar medidas para asegurar que el agua que beba cumpla con los requerimientos para este fin, así mismo que se forme una cultura doméstica de tratamiento de agua, ya que no siempre es posible contar con el agua en condiciones adecuadas para consumo humano.

A continuación se describen los contaminantes principales y más dañinos que puede contener el agua, y dentro de los anexos se incluye una lista con la mayor parte de las sustancias químicas más peligrosas que pueden contaminar el agua:

Químicos orgánicos tóxicos—La mayor parte del problema de la contaminación es resultado de los químicos orgánicos creados por la industria. La sociedad química americana registró 4, 039,907 compuestos químicos distintos a partir de 1977. Esta lista comprende el reporte de químicos desde 1965. Esta lista puede crecer en un promedio de 6,000 químicos por semana. 70,000 químicos pueden estar en proceso de producción en los Estados Unidos. Solamente en diciembre de 1978, 50 químicos fueron producidos en grandes cantidades tales como 1, 300, 000,000 libras por año. 115,000 establecimientos están involucrados en la producción y distribución de químicos. De acuerdo con la EPA, cada año se generan en USA tantas como 77, 000, 000,000 libras de desechos peligrosos. El 90% de éstos no están siendo dispuestos adecuadamente. Esto sería igual a 19,192 libras de desechos peligrosos producidos cada año sobre una milla cuadrada de tierra y agua superficial. De acuerdo con la EPA, algunas de estas tierras están dentro de 1 milla de pozos o suministros de agua. Esta es la historia de terror del milenio.

Los químicos que contiene el agua para beber provienen de diferentes fuentes. Hay cientos de publicaciones subrayando este problema. Los efectos de exposición crónica por largo tiempo a éstas sustancias orgánicas tóxicas, aún en cantidades mínimas, son extremadamente difíciles de determinar, debido en gran parte a que el agua contaminada puede verse bien y tener un buen sabor. Los síntomas de los usuarios podrían incluir dolores de cabeza recurrentes, repentinos o fatiga, sin embargo es difícil de diagnosticar que éstos síntomas son producto del consumo de agua contaminada. Las consecuencias más serias de tomar agua contaminada son los altos índices de cáncer, defectos de nacimiento, crecimiento de anomalías, infertilidad y daño cerebral y orgánico. Alguno de estos desórdenes pueden ser ocultados por décadas. Un ejemplo de la manera en que éstos tóxicos afectan, puede ser ilustrado a continuación: TCE es un químico ampliamente utilizado que frecuentemente se encuentra en el agua. Sólo dos vasos de TCE pueden contaminar 27, 000,000 galones de agua para beber. Por otro lado, una libra de pesticida, Endrin, puede contaminar 5, 000, 000,000 de galones de agua.

VOC

Son compuestos orgánicos volátiles, como los componentes que se obtienen de la destilación del petróleo, tal como el benceno y el tricloroetileno. Las altas concentraciones de VOC son la causa principal del daño causado a los órganos internos y de la formación de cáncer.

Hierro-Manganeso

La presencia de hierro y/o manganeso es un problema de calidad del agua muy común, especialmente en aguas de pozos profundos. El agua conteniendo una pequeña cantidad de estos metales, se presenta en forma de bicarbonatos ferroso y/o manganeso, $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ y/o $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$. El bicarbonato de hierro, es soluble e incoloro, pero debido al proceso de oxidación del hierro a hidróxido férrico que es muy insoluble, el agua podrá rápidamente tornarse roja, después de su exposición al aire. En

aguas “rojas” el hierro puede estar presente, todo o en parte como hidróxido férrico y puede eliminarse por coagulación, asentamiento y filtración. También de esta forma pueden eliminarse el hierro y/o manganeso orgánicos. En aguas ácidas el hierro ó manganeso pueden estar parcial o totalmente presentes como sus sales del ácido sulfúrico, o sea como sulfato ferroso ó sulfato manganeso, y pueden eliminarse por aeración seguida de asentamiento y filtración.

Metales tóxicos o metales pesados. La presencia de altos niveles de metales tóxicos en el agua de beber causa graves daños a la salud. Estos metales tóxicos son el arsénico, cadmio, plomo, mercurio y plata. Los límites máximos para cada uno de éstos son establecidos por la EPA para la regulación del agua para beber. Otros metales tales como el cromo y selenio, mientras que en cantidades mínimas son esenciales en nuestras dietas, tienen ciertos límites establecidos de acuerdo con la forma en la cual existen, pues en algunos casos pueden ser muy peligrosos para la salud. Los metales tóxicos están asociados con daño cerebral, daños al nacer, retardo mental, ciertos cánceres, etc.

Asbestos. Los asbestos existen como fibras minerales microscópicas suspendidas en el agua. Su fuente primaria son las tuberías de asbesto-cemento las cuales fueron comúnmente usadas para la distribución del agua, después de la Segunda Guerra mundial. Debido a que estas tuberías todavía se están utilizando en algunas regiones, el asbesto que éstas contienen está mostrando un incremento frecuente en el agua para beber, lo cual ha estado ligado al cáncer gastrointestinal.

Radioactividad. Aún cuando cantidades mínimas de elementos radioactivos pueden ser encontrados en casi toda el agua para beber, es raro que los niveles que pueden causar serios daños se encuentren en esta agua. Los desechos radioactivos de las operaciones mineras existen en el agua obtenida a través del agua subterránea. El caso más dramático es el de las plantas de procesamiento nuclear y sitios de disposición de desechos radiactivos. Debido a que los contenedores de estos desechos se van deteriorando con el tiempo, el riesgo de contaminar los acuíferos crece como una bomba tóxica de tiempo.

Impurezas-orgánicas:

Sabores y olores—Si el agua tiene un sabor u olor desagradable, lo más probable es que sea debido a uno o más compuestos orgánicos producto de la descomposición vegetal hacia las algas, ó de los hidrocarburos a los fenoles. También podría ser por los TDS y otras sustancias.

Pesticidas y herbicidas—El continuo incremento en el uso de pesticidas y herbicidas en la agricultura se deriva en el agua de beber. La lluvia y el riego transportan estos peligrosos químicos hacia la tierra así como en las aguas superficiales. Estas sustancias contribuyen sustancialmente a la contaminación actual del agua causando desórdenes circulatorios, respiratorios y nerviosos.

Cloro-Trihalometanos (THM's) son formados cuando el cloro, usado para desinfectar el suministro de agua, interactúa con materiales orgánicos naturales, por ejemplo, vegetales en descomposición, algas, etc. Esto crea químicos orgánicos tóxicos tales

como el bromoformo, bromodichlorometano, dibromoclorometano y cloroformo. Los TMH's son absorbidos primordialmente por inhalación, y causan el cáncer vesicular y rectal. Científicos de la Universidad de Colombia encontraron que la persona que ingiere agua clorada corre un 44% de riesgo de contraer cáncer gastrointestinal o de las vías urinarias. El agua clorada también ha sido relacionada con alta presión de la sangre y anemia. La anemia es causada por el efecto del cloro sobre las células de la sangre.

1.2 Justificación

Las familias que viven en las zonas marginadas y rurales, normalmente se enfrentan a una carestía de servicios tales como electricidad y agua potable por tubería, ya que por lo general sus asentamientos son irregulares, motivo por el cual no tienen posibilidades de tomar agua purificada, por ello es necesario establecer un sistema de tratamiento de agua de canal, definiéndose como canal aquella corriente de agua que se tiene en un arroyo o conducto abierto en el cual se descargan las aguas residuales agrícolas.

Existen una serie de estándares de pureza química y biológica establecidos por las normas para que el agua sea considerada adecuada para consumo humano, requerimientos que se combinan para hacer del acondicionamiento del agua una ocupación altamente técnica.

Dentro de los sistemas que se utilizan comercialmente para tratar el agua existen diferentes componentes cuyas características especiales permiten retener parte de las impurezas del agua. Este es el caso de las membranas de ósmosis inversa que retienen partículas microscópicas de las sales, material orgánico e inorgánico, así como

algún material radioactivo, los cuales se encuentran disueltos en el agua en tamaños desde 1 micra hasta menos de .001 micras; los filtros de luz ultravioleta que eliminan en un 99% la acción de los microorganismos tales como virus y bacterias, pero que no eliminan minerales disueltos, ni sales. También los filtros pulidores a base de membranas de fibra de polipropileno plisado, que retienen ciertas partículas cuyo tamaño fluctúa desde 100 micras hasta 1 micra. Por tanto, según el tamaño y tipo de partícula, se tiene un elemento filtrante específico para su retención.

Por otro lado, se ha comprobado (Sanchez, 2003), que los sistemas activados por el sol representan una solución económicamente factible para muchos usuarios alejados de fuentes convencionales de energía eléctrica. Estos sistemas solares tienen algunas ventajas y desventajas que se deben considerar cuidadosamente durante el desarrollo de este trabajo. Las ventajas más importantes son que no consumen combustible, tienen larga vida útil (25 a 30 años), bajo costo de operación y mantenimiento, así como un mínimo impacto ambiental. Las desventajas más importantes son que tienen una inversión inicial relativamente alta, servicio técnico limitado y producción de agua variable.

La elaboración de un proyecto de bombeo fotovoltaico es un proceso que requiere de tiempo y recursos; la inversión inicial es relativamente alta y por tanto debe realizarse una evaluación económica del proyecto.

Es conveniente realizar este tipo de estudios, debido a que la demanda de agua purificada para consumo humano es cada día mayor, y dado que hay lugares donde es difícil tener acceso a este tipo de agua, es necesario el diseño de un sistema económico

que permita su abastecimiento a comunidades pequeñas. Este trabajo pretende resolver esta problemática social a través del desarrollo del diseño de un prototipo que permita seleccionar el mejor arreglo para que este sistema sea accesible a un mayor número de comunidades rurales.

1.3 Objetivos

El objetivo básico del diseño de esta planta de purificación de agua es el de integrar, de la manera más económica, los procesos y las operaciones de tratamiento para que, cuando sea operada adecuadamente, pueda proveer sin interrupción el caudal de diseño y satisfacer los requerimientos de calidad del agua potable.

En este trabajo se pretende establecer, por medios experimentales, para un tipo determinado de agua a tratar o sea para una cantidad máxima de contaminantes y de acuerdo con los requerimientos físicos y químicos del agua tratada que sea apta para beber por el ser humano, una metodología que permita diseñar un sistema de lechos granulares a base de carbón activado como principal medio filtrante, utilizando energía solar para accionar el sistema de bombeo por medio de paneles solares.

Se deberán establecer: La cantidad y tipo de sustancias químicas requeridas para la coagulación de sustancias coloidales, el tiempo de mezclado para esta reacción, el gasto volumétrico de alimentación al lecho granular, la cantidad de carbón activado por lecho, horas de operación recomendadas, las pérdidas de presión del sistema, la capacidad del sistema de bombeo, las especificaciones de los paneles solares, el número de etapas requeridas en el filtro según las características físico químicas del agua a tratar y la temperatura más adecuada del agua,

1.4 Hipótesis

Si se dimensiona de manera adecuada el sistema de lechos granulares para un agua de canal caracterizada, determinando la velocidad del fluido, el tiempo de residencia, el tipo, altura y tamaño más recomendables para los lechos granulares, así como las pérdidas de presión a través del mismo, se puede conocer el consumo mínimo requerido de potencia a suministrar por medio del sistema de energía solar por celdas fotovoltaicas y lograr un sistema eficiente al menor costo.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Caracterización del agua

Las características del agua residual se pueden dividir en físicas, químicas y microbiológicas, por tal motivo se deben determinar los parámetros más importantes para caracterizar el agua de canal para la cual se diseñará el equipo, tales como pH, turbiedad, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, conductividad, dureza, Demanda química de oxígeno DQO, demanda bioquímica de oxígeno DBO, coliformes totales.

Los componentes que definen las características estéticas del agua de beber incluyen: la turbidez, el sabor y olor, el color, la mineralización, dureza y espuma.

Olor y Sabor

La mayoría de los sabores y olores son causados por la presencia de material orgánico, cloro, sales (STD) y metales tales como el hierro, cobre, manganeso y zinc. En general el agua con STD menor que 1200 mg/l son aceptables para los consumidores aunque niveles menores que 650 mg/l son preferibles (Malleviablle y Suffet, 1987). Ciertas sales pueden ser más significativas en términos de sabor, tales como el cloruro de magnesio y el bicarbonato de magnesio. El fluoruro también puede causar un especial sabor cuando se encuentra en cantidades superiores a los 2.4 mg/l. Por otro lado, las sales de sulfato de magnesio y sulfato de calcio se ha encontrado que son

relativamente inofensivas. Pruebas en el agua con cierto contenido de metales mostró los resultados de la tabla 3, en la cual se muestran los niveles a los cuales uno o más individuos en un panel pueden sentir la presencia del componente químico, (Montgomery, 1985) :

Tabla 2 Concentración de metales que causa mal sabor en el agua.

Nombre del Metal	Concentración (mg /l)
Zinc	4-9
Cobre	2-5
Hierro	0.04 - 0.1
Manganeso	4-30

Por otro lado, excepto el olor a huevos podridos que se origina por la presencia de sulfuro de hidrógeno, H₂S, una gran mayoría de estos metales, puede ser removida por el paso del agua a través de un lecho de carbón activado (Bensal, 1998).

Turbidez

La turbidez es una medida de la presencia de partículas coloidales y en suspensión en el agua, tales como la arcilla, finamente dividida en materia orgánica e inorgánica, plancton y otros organismos microscópicos. El tamaño de las partículas puede variar desde grandes partículas que sedimentan rápidamente fuera de la solución (tales como arena), hasta sedimentos extremadamente finos, que pueden permanecer en suspensión, mismo después de reposar durante horas. La turbidez es un parámetro relacionado con el grado de transparencia y limpieza del agua, se mide mediante la absorción que sufre un haz de luz al atravesar un determinado volumen de agua. Para

eliminar esta turbidez y así mejorar la calidad del agua se usan los distintos tipos de filtros que hay en el mercado.

Color

La fuente de color en el agua puede incluir iones metálicos tales como el hierro y el manganeso así como ácidos producto de los desechos de los animales y el plancton. La remoción del color normalmente es alcanzada por los procesos de coagulación, sedimentación y filtración. Valores típicos del agua son del orden de 3-15 NTU y turbidez de 1 NTU (Mallevalle y Suffet, 1987).

Sólidos

Podemos distinguirlos en sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos disueltos, siendo los sólidos totales la suma de todos ellos. Estos sólidos, además de poder suponer la presencia de cuerpos u sustancias extrañas que pudieran en algún caso no ser recomendables, aumentan la turbidez del agua y disminuyen la calidad de la misma.

Los sólidos sedimentables

Son sólidos de mayor densidad que el agua, se encuentran dispersos debido a fuerzas de arrastre o turbulencias. Cuando estas fuerzas y velocidades cesan y el agua alcanza un estado de reposo, precipitan en el fondo. Suelen eliminarse fácilmente por cualquier método de filtración.

Los sólidos en suspensión

Se mantienen en el agua debido a su naturaleza coloidal que viene dada por las pequeñas cargas eléctricas que poseen estas partículas que las hacen tener una cierta afinidad por las moléculas de agua. Este tipo de sólidos como tales son difíciles de eliminar siendo necesaria la adición al agua de agentes coagulantes y floculantes que modifican la carga eléctrica de estas partículas consiguiendo que se agrupen en flóculos de mayor tamaño para así poder separarlos mediante filtración. Ciertos sistemas de tratamiento de agua como la ozonización ya suponen de por sí un buen método floculante ya que se produce la oxidación del hierro, manganeso y aluminio, óxidos que son los que verdaderamente ejercen un fuerte poder floculante en el agua aumentando la eficacia del filtro y mejorando la transparencia del agua.

Los sólidos disueltos

Están relacionados con el grado de mineralización del agua ya que son iones de sales minerales que el agua ha conseguido disolver a su paso. Están relacionados con la conductividad del agua ya que un aumento de estos iones aumenta la capacidad conductiva. Un tratamiento prolongado con compuestos del cloro en una piscina por ejemplo aumenta la cantidad de sólidos disueltos y la conductividad en el tiempo.

Sólidos Totales disueltos (STD). Las normas de la EPA para STD permite un nivel máximo de 500mg/l (500 ppm). Cuando los niveles de STD excede los 1000mg/l es generalmente inadecuada para consumo humano. Altos niveles de STD interfieren con el sabor de las comidas y bebidas y las hace menos deseables para el consumo humano. Los minerales existen en el agua en gran medida como sales inorgánicas. En contraste, los minerales que han pasado a través de un organismo vivo, son conocidos como minerales orgánicos. Estos se encuentran combinados con proteínas y azúcares. El agua con altos niveles de STD es considerada por algunos profesionistas de la salud, como mucho más débil para la limpieza del organismo que el agua con bajos niveles de STD. Lo anterior es debido a que el agua con bajos sólidos disueltos tiene una más grande capacidad de absorción que el agua con mayor cantidad de sólidos.

Conductividad

La conductividad es una medida de la capacidad que tiene el agua para conducir la corriente eléctrica. La conductividad está relacionada con la concentración y la carga de cada ión presente en el agua. Los valores de conductividad vienen expresados normalmente en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens por centímetro).

DQO o Demanda Química de Oxígeno

Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual. Es por tanto una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las

distintas normativas de vertidos y que nos da una idea muy real del grado de toxicidad del vertido. Existen distintas formas de disminuir la DQO como los tratamiento físico-químicos, la electrocoagulación y el ozono.

DBO o Demanda Biológica de Oxígeno

Es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual. Es por tanto una medida del componente orgánico que puede ser degradado mediante procesos biológicos. Se puede decir por tanto que la DBO representa la cantidad de materia orgánica biodegradable y la DQO representa tanto la materia orgánica biodegradable como la no biodegradable

pH. Se refiere al potencial de hidrógeno en el agua, o sea la concentración de protones, y es una medida para conocer la acidez y alcalinidad sobre una escala de catorce puntos (de cero a seis es ácido; siete es neutro; de ocho hasta catorce es alcalino) un bajo PH en el agua puede hacerla corrosiva. La acidez no puede ser removida del agua, sin embargo puede ser neutralizada elevando el pH por medio de la alcalinidad.

De acuerdo con la ecuación (1), el pH se define como:

$$pH = -\log[H^+] \quad (1)$$

El agua (H₂O) se encuentra disociada en protones (H⁺) e iones hidroxilo (OH⁻). El producto de la concentración de estas especies está relacionada por una constante de equilibrio Kw:

$$[H^+][OH^-] = K_w = 10^{-14} \quad (2)$$

En una situación de neutralidad la concentración de H⁺ será igual que la concentración de OH⁻ por lo que podremos expresar la ecuación anterior de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} [H^+]^2 &= 10^{-14} \\ [H^+] &= \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7} \end{aligned} \quad (3)$$

Si multiplicamos por -1 cada lado de la ecuación (3) y tomamos logaritmos tendremos:

$$-\log[H^+] = -\log(10^{-7}) = 7 \quad (4)$$

Y por la definición de pH tendremos que en condiciones de neutralidad el pH es igual a 7. De la misma forma cuando el agua esté totalmente disociado en protones el pH tendrá un valor máximo igual a 14 y será 0 cuando esté totalmente disociado en OH⁻.

El agua con un pH menor de 7 se dice que es un agua ácida y en cambio se dice que es básica si tiene un pH mayor que 7.

Dureza

Originalmente la dureza del agua se entendía como una medida de la capacidad del agua para precipitar el jabón. La dureza representa una medida de la cantidad de metales alcalinotérreos en el agua, fundamentalmente Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) provenientes de la disolución de rocas y minerales que será tanto mayor cuanto más elevada sea la acidez del agua. Es una medida, por tanto, del estado de mineralización del agua que suele expresarse como mg/l de CaCO_3 o como grados franceses, teniendo en cuenta que 10 mg/l es igual que un grado francés. En función de este estado de mineralización, podemos distinguir distintos tipos de aguas, como lo indica la Tabla 4:

Tabla 4. Clasificación de la dureza del agua

Clasificación	Dureza (mg CaCO_3 /l)
Suaves	0 – 100
Moderadamente duras	101 – 200
Duras	200 – 300
Muy duras	> 300

Alcalinidad

La alcalinidad del agua (TAC) es la suma de las concentraciones de los iones carbonato $(\text{CO}_3)^{2-}$, bicarbonato $(\text{HCO}_3)^{-}$ y e hidróxidos (OH^{-}) siendo estos últimos despreciables frente al resto.

$$TAC = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^{-}] + [\text{OH}^{-}] \quad (5)$$

Estas especies producen en el agua un efecto tampón ya que absorben protones manteniendo el pH en un valor muy estable. Esta propiedad es muy importante para los seres vivos en determinados medios como el flujo sanguíneo ya que mantienen el valor de pH a un valor muy constante y estable frente a posibles variaciones en el medio.

Cloro

El cloro es un elemento químico del grupo de los halógenos, al igual que el flúor, el bromo, el yodo y el astato. En la naturaleza se encuentra normalmente en forma de gas formando moléculas divalentes de cloro (Cl_2) . Puede convertirse en líquido a -35°C , resulta por tanto fácilmente licuable por lo cual se suele transportar en estado líquido mediante botellas presurizadas.

Como compuesto, en la naturaleza lo podemos encontrar en gran cantidad formando parte de la sal común o cloruro sódico (NaCl) , que en estado acuoso se encuentra disociado en sus iones Cl^{-} y Na^{+}

El cloro resulta un desinfectante bastante eficaz y económico para el tratamiento y potabilización de aguas, ya sea aportado en forma gaseosa disolviéndolo en el agua o bien aportándolo como hipoclorito sódico, hipoclorito cálcico o como derivados del cloroisocianurato.

Sin embargo, el aporte de cloro reacciona con la materia orgánica del agua formando una serie de compuestos derivados del cloro que pueden resultar muy molestos y malolientes. De estos compuestos, los más perjudiciales son los llamados trihalometanos, de carácter cancerígeno para la salud humana. De todos ellos el más importante es el triclorometano o cloroformo (CHCl_3), que tradicionalmente era usado como analgésico pero dejó de utilizarse debido a su toxicidad. Estos compuestos tóxicos traen asociados riesgos de cáncer de colon y vejiga y daños en el riñón y en el hígado. También pueden formarse otros subproductos perjudiciales como compuestos orgánicos volátiles, cloritos, ácidos cloroacéticos o cloruro de cianógeno.

El proceso de cloración puede comprenderse fácilmente en la Figura 4, en la que se aprecian unas fases bien definidas:



Figura 4. Distribución del cloro

En la fase AB todo el cloro que se añade es empleado en combinarse con la materia orgánica por lo que consecuentemente el nivel de cloro residual es cero.

Al llegar a la fase BB', el nivel de cloro residual aumenta, pero todo este cloro se encuentra combinado en forma de cloraminas, que son productos que tienen un bajo poder desinfectante y producen un olor desagradable. Estos compuestos son los causantes del llamado olor a piscina.

De B' a C el cloro añadido se emplea en destruir las cloraminas por lo que el cloro residual medido disminuye hasta llegar a un mínimo en C llamado punto de ruptura. A partir de este punto, todo el cloro añadido se emplea en aumentar el cloro residual que se encontraría como cloro libre y con mayor poder desinfectante que el cloro combinado que forma cloraminas.

Debe por tanto superarse este punto de ruptura para tener cloro libre residual en la piscina y que el cloro combinado sea el mínimo posible.

En la tabla 5 se muestran los tipos de procesos recomendados que deben realizarse en el agua en función de su contenido de materia orgánica e inorgánica.

Tabla 5

Crterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano y doméstico, mg/L

PARÁMETRO	Requiere tratamiento convencional: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección	Requiere sólo desinfección
Amoníaco (como N)	1,0	1,0
Arsénico	0,05	0,05
Bario	1,0	1,0
Cadmio	0,01	0,01
Cianuro	0,2	0,2
Cinc	15,0	15,0
Cloruros	250,0	250,0
Cobre	1,0	1,0
Color (unidades)	75	20
Fenoles	0,002	0,002
Cromo hexavalente	0,05	0,05
Difenil policlorados	ND	ND
Mercurio	0,002	0,002
Nitratos (como N)	10,0	10,0
Nitritos (como N)	1,0	1,0
pH (unidades)	5,0 - 9,0	6,5 - 8,5
Plata	0,05	0,05
Plomo	0,05	0,05
Selenio	0,01	0,01
Sulfatos	400,0	400,0
SAAM	0,5	0,5
Turbiedad	-	10
Coliformes totales NMP/100 mL	20000	1000
Coliformes fecales NMP/100 mL	2000	-

ND = No detectable

2.2 Separación de coloides

Coagulación-Floculación:

Cuando las partículas de una mezcla homogénea tienen aproximadamente un tamaño de 10 a 10 000 veces mayor que los átomos y moléculas tenemos un sistema coloidal, y en lugar de hablar de solvente y soluto, se acostumbra a usar los términos fase dispersora y fase dispersa. Un aerosol es una dispersión coloidal de un sólido en un gas (como el humo de un cigarro) o de un líquido en un gas (como un insecticida en spray). Una emulsión es una dispersión coloidal de partículas líquidas en otro líquido; la mayonesa, por ejemplo, es una suspensión de glóbulos diminutos de aceite en agua.

Las partículas de una dispersión coloidal real son tan pequeñas que el choque incesante con las moléculas del medio es suficiente para mantener las partículas en suspensión; el movimiento al azar de las partículas bajo la influencia de este bombardeo molecular se llama movimiento browniano. Sin embargo, si la fuerza de la gravedad aumenta notablemente mediante una centrifugadora de alta velocidad, la suspensión puede romperse y las partículas precipitarse.

La coagulación consiste en introducir en el agua un producto capaz de neutralizar la carga de los coloides, generalmente electronegativos, presentes en el agua y de formar un precipitado. Este producto se conoce con el nombre de coagulante.

La agrupación de las partículas descargadas, al ponerse en contacto unas con otras constituye la floculación, que da lugar a la formación de flóculos capaces de ser retenidos en una fase posterior del tratamiento del agua. Algunos productos pueden favorecer la formación del floculo; a éstos se les llama floculantes.

Las aguas residuales industriales presentan composiciones muy variables, según la industria considerada. En algunos casos, el agua contiene un constituyente capaz de flocular por simple agitación o que lo hace mediante la adición de un floculante; otras veces, es necesario utilizar un coagulante que dé origen a un precipitado que pueda flocularse a continuación.

Los flóculos que resultan de la coagulación total del agua, se eliminan en su mayor parte en el proceso de decantación; el agua que llega a los filtros sólo contiene trazas en forma de flóculos cuya cohesión depende de los reactivos utilizados. Con una buena decantación, los filtros se encuentran en la situación ideal que consiste en recibir un agua de calidad prácticamente constante y poco cargada. La filtración viene a ser, entonces, un tratamiento de acabado y de seguridad necesario cuando se destine el agua al consumo público, a tratamientos industriales de productos elaborados o a fabricaciones industriales de calidad (Romero, 1999).

Los coagulantes generalmente utilizados son el hidróxido de aluminio que es el más común, y algunas veces se utiliza el hidróxido de fierro.

La sal metálica actúa sobre los coloides del agua por medio del catión, que neutraliza las cargas negativas antes de precipitar.

En la Figura 5 se muestra un esquema de la acción del coagulante sobre los coloides (Romero, 1999).

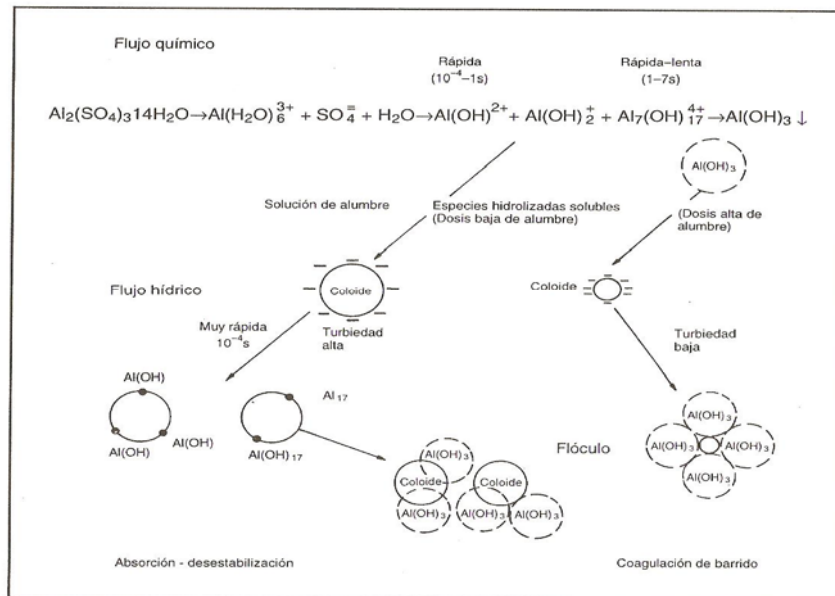
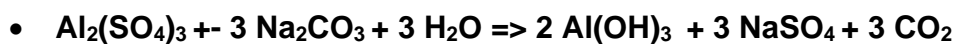


Figura 3.5 Mecanismos de coagulación (50).

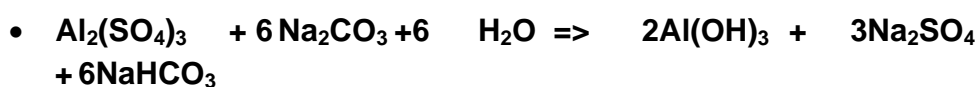
Figura 5 Mecanismos de Coagulación

Para las aguas que contienen poca o ninguna alcalinidad natural, como por ejemplo las aguas cenagosas, se usa preferentemente el carbonato de sodio debido a que no aumenta la dureza del agua. La reacción para obtener el hidróxido de aluminio, se representa mediante la ecuación química:

Sulfato de aluminio + carbonato sódico:



ó

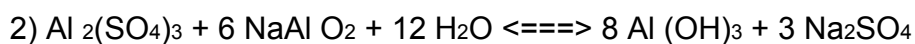
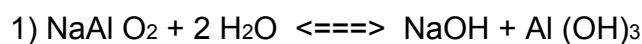


Se necesita de bicarbonato de sodio, entre el 50% y el 100% de la dosis de sulfato de aluminio comercial $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$.

Existen polímeros de la forma $\text{Al}_6(\text{OH})_{\sim 2}$ a $\text{Al}_{54}(\text{OH})_{\sim 4}$, cuyas propiedades coagulantes y floculantes son excepcionales.

En el caso de aguas ácidas, puede emplearse el aluminato sódico (NaAlO_2) como fuente de hidróxido de aluminio y se utiliza junto con el sulfato de aluminio.

La alcalinidad del aluminato de sodio se neutraliza con el sulfato de aluminio, por lo que se precipita hidróxido de aluminio por dos fuentes: la del aluminato de sodio con agua produce hidróxido de sodio y el hidróxido de aluminio, y a partir del sulfato de aluminio que con el aluminato de sodio y el agua produce hidróxido de aluminio y sulfato de sodio, de acuerdo a las ecuaciones químicas:



La elección del coagulante se efectúa después de un estudio del agua en laboratorio mediante la técnica de ensayos de floculación.

En esta elección deben tenerse en cuenta diversos factores:

- naturaleza y calidad del agua de uso.
- variación de la calidad del agua bruta (variaciones diarias o según las estaciones, en especial influencia de la temperatura).
- criterios de calidad y destino del agua tratada, tratamiento previsto después de la coagulación (floculación, decantación)

-grado de pureza del reactivo especialmente en el caso de aguas para abastecimiento publico.

Teniendo en cuenta que la neutralización de los coloides es el principal objetivo que se pretende en el momento de la introducción del coagulante, es conveniente que el reactivo utilizado se difunda con la mayor rapidez posible.

Dado que el tiempo de coagulación es extraordinariamente breve (inferior a un segundo) la utilización óptima del coagulante exige que la neutralización de los coloides sea total antes de que una parte del coagulante haya comenzado a precipitar (por ejemplo en forma de hidróxido metálico).

Para la mezcla de los reactivos se utiliza a veces únicamente la turbulencia creada por un vertedero pero conviene disponer de un sistema que permita esta mezcla rápida. Tal como un mezclador rápido o coagulador.

No son indispensables los mezcladores rápidos cuando se utiliza un decantador por contacto de fango, mientras que si lo son en caso de floculación difusa. Los mezcladores rápidos constan de un agitador rápido del tipo de hélice o de palas (turbina) colocado en una cámara de mezcla especial, Figura 6.

- 1 . *Entrada de agua.*
- 2 . *Salida de agua*
- 3 . *Reactivo*
- 4 . *Vaciado.*

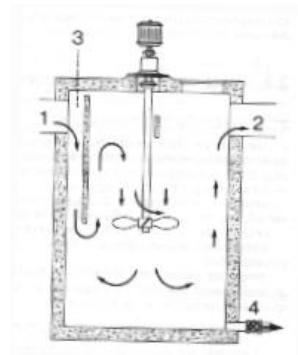


Figura 6. Cámara de mezclado con agitador rápido

Después del mezclado, usualmente en un solo tanque, se deja en reposo con un tiempo de retención que varía entre 15 y 45 minutos. Este lapso depende de las dimensiones de la unidad y de la velocidad a la que pasa el agua a través de ella. Teóricamente se puede calcular el tiempo de retención dividiendo el volumen del tanque entre el gasto en gal/min, el tiempo de retención que corresponde a un tanque de 6m x 3.5m x 10m, a través del cual pasa un gasto de 12000 m³/día, es de 25 minutos.

Durante este lapso, el agua es agitada suavemente para favorecer el que se pongan en contacto íntimo entre las partículas coaguladas, las bacterias y la materia suspendida hasta que se adhieran entre sí, formando grandes masas de flóculos.

Se favorecerá el engrosamiento del flóculo por medio de:

- una coagulación previa, tan perfecta como sea posible
- un aumento de la cantidad del flóculo en el agua; conviene poner el agua en contacto con los precipitados ya formados por el tratamiento anterior
- una agitación homogénea y lenta del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas coloidales descargadas eléctricamente se encuentren con una partícula de flóculo,

La sílice activada fue el primer floculante que se empleó, y sigue siendo, en la actualidad, el que mejores resultados puede dar, principalmente si se utiliza junto con sulfato de alúmina. Se introduce generalmente después del coagulante, y se prepara neutralizando parcialmente la alcalinidad de una solución de silicato sódico.

Para la preparación de la sílice activada en laboratorio se puede seguir el Método de Baylis, que consiste de:

- Partir de 25 ml o 35 gr de silicato sódico de 410 Bé (28 % de SiO₂).
Completar hasta 500 ml con agua.
- Añadir lentamente, y agitando, 170 ml de agua que contenga 2.4 ml de ácido sulfúrico de 66 Bé.
- Agitar lentamente durante 2 h.
- Completar hasta 2 l.
- La solución así obtenida contiene un 0.5 % de SiO₂.

2.3 Almacenamiento:

El almacenamiento del agua es el método más sencillo para mejorar su calidad.

Permite eliminar algunos organismos patógenos y que la materia sólida en suspensión se asiente (“sedimentación”), dejando que el agua repose en contenedores, tanques o depósitos y se mejore su calidad.

El almacenamiento de agua de superficie sin tratar durante un período de 12 a 24 horas mejorará considerablemente su calidad; cuanto más tiempo esté almacenada y más alta sea la temperatura, mayor será la mejora. Si se usan tanques de sedimentación, su capacidad debe equivaler a un día de consumo, dejando así que la redimensión se produzca de noche.

El almacenamiento prolongado puede contribuir a controlar la esquistosomiasis (bilharziasis), ya que los parásitos que la transmiten mueren si no consiguen introducirse en un caracol de agua dulce en las 24 horas siguientes a su evacuación en las heces de las personas infectadas, o si no consiguen introducirse en un huésped humano o animal antes de transcurridas 48 horas de haber abandonado a los caracoles infectados. Por tanto, dos días de almacenamiento proporcionan una barrera efectiva contra la transmisión de la enfermedad, siempre y cuando los caracoles no entren en el depósito. Hay que evitar con mucho cuidado la contaminación del agua almacenada. Los depósitos de almacenamiento deberán estar siempre cubiertos ya que los riegos de contaminación de un depósito abierto superan con mucho las ventajas de la exposición directa del sol.

2.4 Sedimentación.

Es la remoción de partículas más pesadas que el agua, por acción de la fuerza de la gravedad. La velocidad de sedimentación de las partículas depende de su tamaño, forma y densidad, así como de las características del fluido donde se encuentran. La ecuación (6) de sedimentación muestra la relación entre estos parámetros:

$$F = g[(\rho_p - \rho_f) / V_p] \quad (6)$$

Donde

F = fuerza de sedimentación
g = fuerza de gravedad
 ρ_p = densidad de la partícula
 ρ_f = densidad del fluido
 V_p = volumen de la partícula

Tipos de Sedimentación

-De partículas discretas (sedimentación tipo I): cuando los sólidos no cambian de densidad, tamaño o forma al descender en el líquido. La arena es una partícula discreta y su remoción es un ejemplo típico.

-De partículas aglomerables o floculantes (sedimentación tipo II): aquella en que los sólidos al descender en el líquido se adhieren o aglutinan entre sí, cambiando de tamaño, forma y peso específico durante la caída. El caso más evidente es el de la remoción de turbiedad la cual requiere desestabilización con floculantes para formar partículas más pesadas que permitan su sedimentación en tiempos económicamente aceptables.

-Sedimentación zonal y por compresión (tipo III y IV): Se observa, en este tipo de sedimentación, separación clara entre el lodo que sedimenta y el líquido clarificado.

Tipos de Sedimentadores:

Existen varias formas de clasificar los sedimentadores, una de ellas es diferenciarlos por su forma, sentido de flujo y condiciones de funcionamiento:

-Por su forma: rectangulares, circulares y cuadrados.

-Por el sentido del flujo: inclinados (ascendente a descendente) y verticales.

-Por las condiciones de su funcionamiento: convencionales, contacto de sólidos y laminares (tubos o placas paralelas).

2.5 Filtración:

El primer filtro de arena se inventó en Escocia en 1804. En 1829 la Compañía del Río Támesis, en Londres, emprendió la construcción de filtros lentos de arena y, en 1892, se demostró su eficiencia para control biológico con ocasión de la epidemia de cólera ocurrida en Hamburgo.

La producción de agua clara y cristalina es prerequisite para el suministro de agua segura y requiere de filtración

Mecanismo de remoción

Generalmente se piensa de los filtros como un tamiz o microcriba que atrapa el material suspendido entre los granos del medio filtrante. Sin embargo, la acción de cribar o tamizar el agua es la menos importante en el proceso de filtración, puesto que la mayoría de las partículas suspendidas pueden pasar fácilmente a través de los espacios existentes entre los granos del medio filtrante. El mecanismo por el cual un filtro retiene y remueve el material suspendido ha sido explicado de distintas maneras por diferentes autores. Posiblemente el fenómeno es el resultado de la acción conjunta de diferentes acciones físicas, químicas y biológicas que ocurren en el filtro con mayor o menor intensidad según el tipo de filtro y la cantidad de agua filtrada.

Un resumen de los mecanismos de remoción de partículas y las variables principales en el diseño de los filtros se indica en las Tablas 6 y 7 (Romero, 1999). Como puede observarse, la filtración comprende una combinación de mecanismos físicos y químicos; en aguas de consumo la absorción juega el papel más importante ya que a

medida que el agua pasa a través del lecho del filtro, las partículas suspendidas hacen contacto y son adsorbidas sobre la superficie de los granos del medio o sobre el material previamente depositado. Las fuerzas que atraen y retienen las partículas sobre los granos son las mismas que en la coagulación y floculación y, por lo tanto, es muy importante obtener una buena coagulación antes de la filtración.

Selección del tipo de material filtrante.

Lecho granular de antracita-arena-grava

Aunque cerca del 90% de la turbiedad y el color son removidos por la coagulación y la floculación, una cierta cantidad de flóculos pasa con el agua decantada y se requiere su remoción. Por ello, para lograr la clarificación final se usa la filtración por medios porosos; generalmente dichos medios son arena y antracita. La filtración remueve el material suspendido, compuesto de flóculos, metales oxidados y microorganismos.

La remoción de microorganismos es de gran importancia ya que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección y, sin embargo, son removibles mediante filtración. Lo anterior indica por qué en la práctica se considera que el propósito principal de la filtración es mover turbiedad e impedir la interferencia de la turbiedad con la desinfección, al proveer protección a los microorganismos de la acción del desinfectante. La filtración en medio granular se utiliza por lo general en la eliminación de sólidos suspendidos en el intervalo de 5 a 50 mg/l

Tabla 6 Variables principales en el diseño de filtros

VARIABLE	SIGNIFICADO
1. Características del medio filtrante a) Tamaño del grano b) Distribución granulométrica c) Forma, densidad y composición del grano.	Afecta la eficiencia de remoción de partículas y el incremento en pérdida de carga
2. Porosidad del lecho filtrante	Determina la cantidad de sólidos que Pueden almacenarse en filtro.
3. Porosidad del lecho filtrante	Afecta la pérdida de carga y la duración de la carrera.
4. Tasa de filtración	Determina el área requerida y la pérdida de carga. Afecta la cantidad del afluente.
5. Pérdida de carga disponible	Variable del diseño.
6. Características del afluente a) concentración de sólidos Suspendidos. b) Tamaño y distribución del flóculo c) Resistencia del flóculo. d) Carga eléctrica del flóculo e) Propiedades del fluido.	Afecta la características de remoción del filtro.

Tabla 7 Mecanismos de remoción en un filtro

MECANISMOS	DESCRIPCION
1. Cribado a. Mecánico	Partículas más grandes que los poros del medio son retenidas mecánicamente
b. Oportunidad de contacto	Partículas más pequeñas que los poros del medio son retenidas por oportunidad del contacto
2. Sedimentación	Las partículas se sedimentan por el medio filtrante, dentro del filtro.
3. Impacto Inercial	Las partículas pasadas no siguen las líneas de corriente.
4. Intercepción	Muchas partículas que se mueven a lo largo de una línea de la corriente son removidas cuando entran en contacto con la superficie del medio filtrante.
5. Adhesión	Las partículas floculentas se adhieren a la superficie del medio filtrante. Debido a la fuerza de arrastre del agua algunas son arrastradas antes de adherirse fuertemente y empujadas más profundamente dentro del filtro. A medida que el lecho se tapa la fuerza cortante superficial aumenta hasta un límite para el cual no hay remoción adicional. Algún material se fugará a través del fondo haciendo aparecer turbiedad en el efluente.
8. Floculación	Las partículas más grandes capturan a las pequeñas y forman partículas más grandes.
9. Crecimiento biológico	Reducen el volumen del poro y pueden promover la remoción de partículas.

Descripción de la filtración

El filtro rápido por gravedad es el tipo de filtro más usado en tratamiento de aguas. La operación de filtración requiere dos etapas: filtración y lavado. Las dos etapas se identifican en la Figura 7:

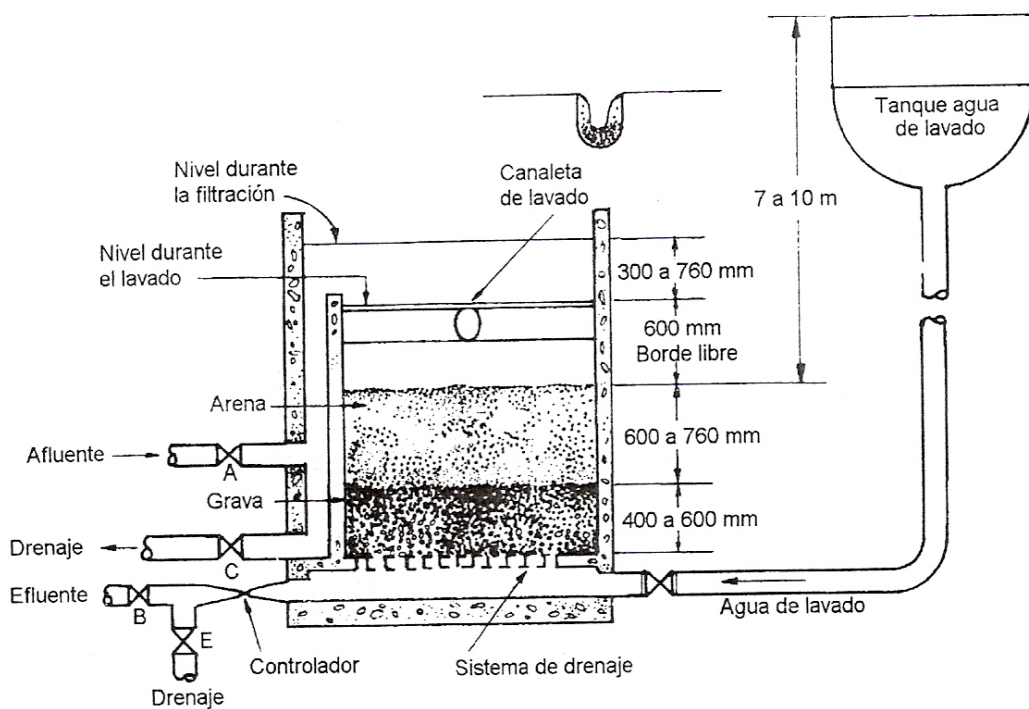


Figura 7. Operación de filtración y lavado

En un filtro rápido convencional el final de la etapa de filtración o carrera del filtro se alcanza cuando los sólidos suspendidos (o sea la turbiedad) en el efluente comienzan a

aumentar; cuando la pérdida de agua es tan alta que el filtro ya no produce agua a la tasa deseada, usualmente 2.4 m de pérdida, o cuando la carrera de filtro es de 36 horas o más (Romero,1999). Generalmente, cuando una de las condiciones anteriores se presenta, se procede a lavar el filtro para mover el material suspendido acumulado dentro del lecho filtrante y para recuperar su capacidad de filtración. Usualmente el lavado se hace invirtiendo el flujo a través del filtro, Figura 7, aplicando un flujo suficiente de agua para fluidizar el medio filtrante y producir el frote entre los granos del mismo, y desechar el material removido a través de las canaletas de lavados.

Los sistemas de filtración se pueden clasificar de acuerdo con la dirección de flujo, el tipo de lecho filtrante, la fuerza impulsora, la tasa de filtración y el método de control de la tasa de filtración.

Dirección del flujo

De acuerdo con la dirección del flujo, los filtros pueden ser de flujo hacia abajo, hacia arriba, o de flujo dual, como se esquematiza en la Figura 8.

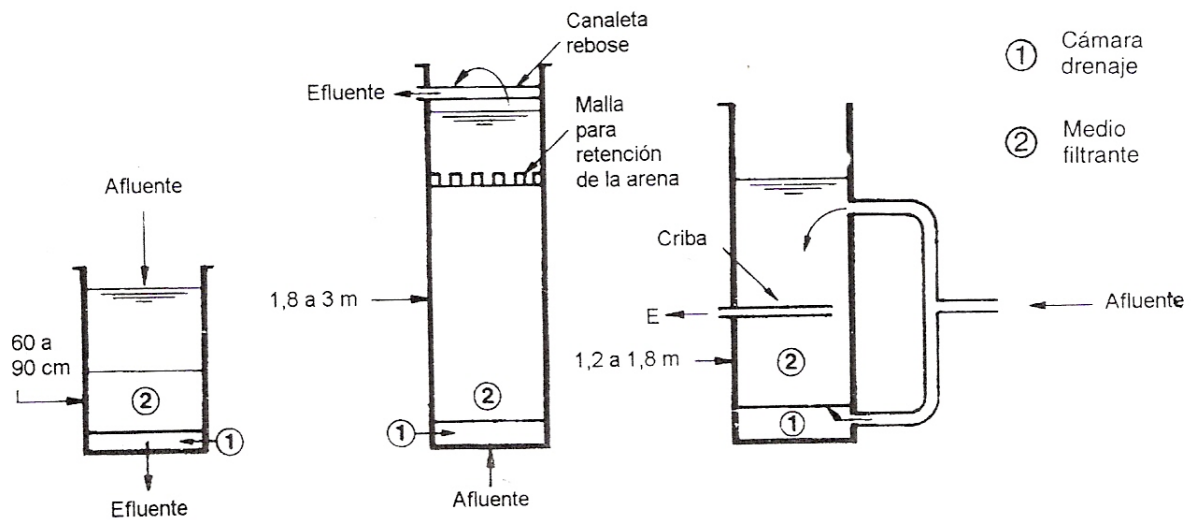


Figura 8. Tipos de Filtros

Tipo de lecho filtrante: Los filtros utilizan generalmente un solo medio, arena o antracita; un medio dual, arena y antracita, o un lecho mezclado: arena, antracita y granate, gravilla o grava. La Figura 9 permite comparar los tres tipos de medios filtrantes comúnmente usados en tratamiento de agua, (Romero,1999).

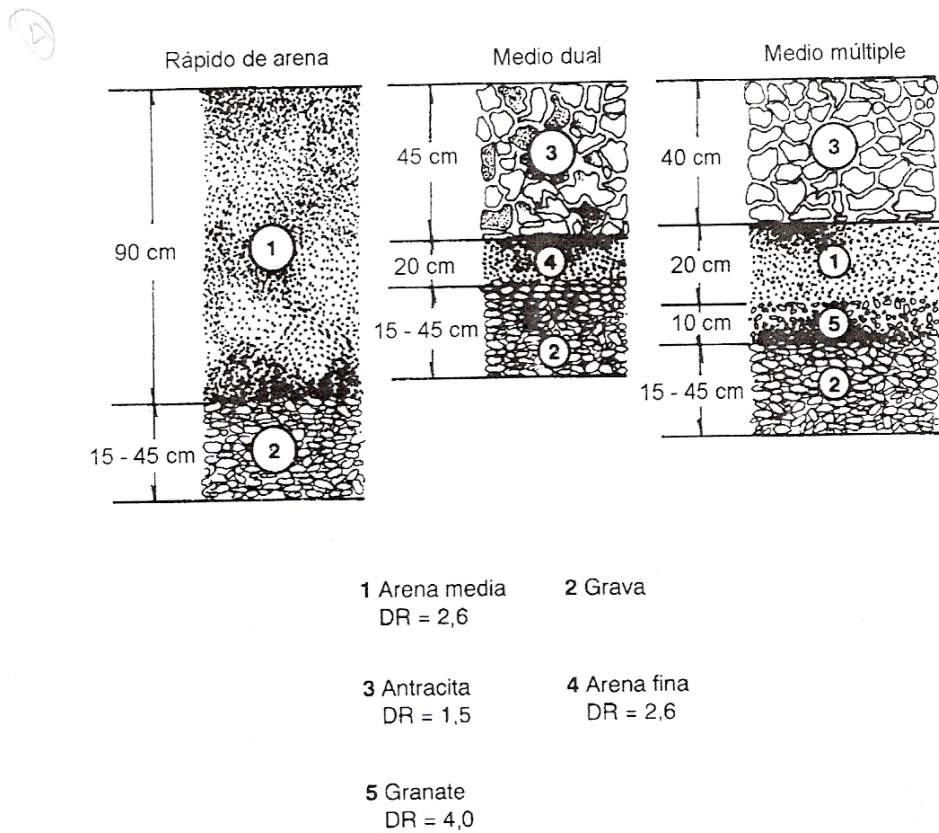


Figura 9. Medios de Filtración

De los diferentes tipos de medios de filtrado empleados para eliminar sólidos suspendidos, el más común es la arena de sílice, aunque también es muy usada la antracita. Cuando se emplea un solo medio como arena sílice, el recipiente del filtro se clasifica conforme al tamaño encontrándose en la parte superior las partículas mas pequeñas. Cuando el agua fluye por la arena hacia abajo, que es la forma tradicional, los sólidos forman un colchón en la superficie, y la filtración típica tiene lugar en las primeras pulgadas superiores del filtro. La arena se limpia lavándola hacia arriba con agua y esto clasifica al lecho hidráulicamente manteniendo el material mas fino en la parte superior.

Un lecho de medios apilados o de dos capas (medio dual) es una respuesta para proporcionar una filtración de gruesas a fina en un patrón de flujo descendente. Los dos materiales seleccionados tienen distintos tamaños de grano y diferente gravedad específica. Generalmente, se usa antracita molida con arena de sílice, los primeros con una gravedad específica de 1.4-1.6 y un tamaño de grano de 1 mm, se asienta más lentamente que la arena, la cual presenta una gravedad específica de 2.65 y tamaño de grano de 0.5 mm, de modo que la antracita de grano grueso descansa sobre la arena de grano fino después del enjuague. En un lecho típico de medio dual, se colocan 46 cm de antracita de 1 mm encima de 30 cm de arena, para una tasa de filtración típica de 350 m/día.

La antracita gruesa permite una penetración más profunda en el lecho y proporciona jornadas de filtro más largas a velocidades mayores de filtración. La arena fina puede al efluente.

En general para un medio dual, la combinación apropiada de arena y antracita está dada por la ecuación (7):

$$d_1/d_2 = \{(\rho_2 - 1)/(\rho_1 - 1)\}^{2/3} \quad (7)$$

Pueden lograrse mejoras posteriores introduciendo bajo la arena un tercer medio de grano más pequeño y más pesado. El granate, con una gravedad específica de 4.5 y un grano muy fino, se asienta más rápidamente que la arena de sílice y puede emplearse como capa de fondo. Este tipo de filtro opera con flujos grandes y ofrece una penetración más profunda y jornadas más largas para el filtro que los filtros de medio único o de medio dual.

El tamaño y la profundidad de la capa inferior de grava depende del sistema de drenaje usado; así mismo, el tamaño y la profundidad de la capa superior de grava depende del tamaño de la capa inferior de medio fino (arena-antracita) que soporte.

El lecho de grava ideal es uno en el cual ésta es casi esférica en forma y existe un incremento uniforme en tamaño desde el techo hasta el fondo. La profundidad del lecho de grava puede variar entre 15 y 60 cm; es usual una profundidad de 45 cm en lechos rápidos. El tamaño máximo recomendado para la grava es de 2.5 cm. La densidad relativa promedio no debe ser menor de 2.5.

Las tuberías de los filtros se diseñan con base en criterios de velocidad como se indica en la tabla 6:

Tabla 8. Velocidades de diseño para tuberías de filtros

Tuberías	velocidad m/s
Efluente	0.9-1.8
Agua de lavado	1.5-3.0
Drenaje de agua filtrada	1.8-3.6

La función del drenaje del filtro es proveer una distribución uniforme del agua de lavado; además sirve para recoger el agua filtrada. Comúnmente se usan drenajes de tubería perforada.

Fuerza impulsora

De acuerdo con la fuerza impulsora utilizada para vencer la resistencia friccional ofrecida por el lecho filtrante, los filtros se clasifican como filtros de gravedad o de presión. El filtro por gravedad es el filtro más usado en plantas de purificación de agua. El filtro de presión se ha usado principalmente en filtración para aguas de piscinas y en pequeñas plantas donde su instalación es ventajosa.

Tasa de filtración

Los primeros filtros usados para el tratamiento de agua fueron los filtros lentos, Figura 10, los cuales utilizan una capa de arena fina de 1 m soportada sobre un lecho de grava de aproximadamente 0.30 m.

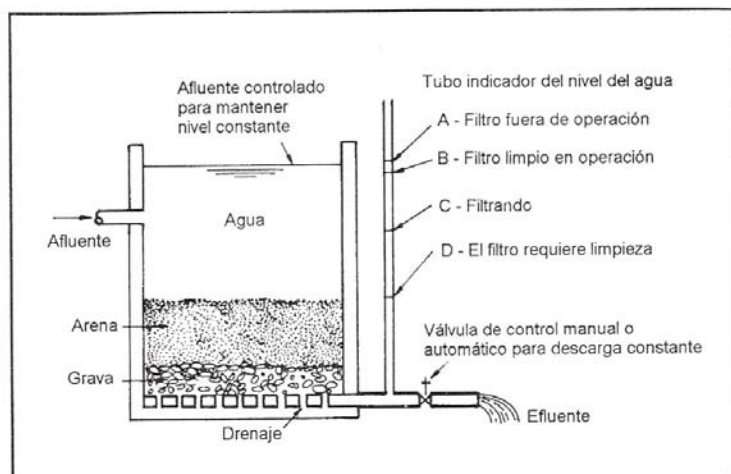


Figura 10. Filtro lento de Arena

Estos filtros luego fueron cambiados por filtros rápidos, filtros de arena generalmente con lavado ascendente, con tasas de filtración mucho mayores y, por consiguiente, con

requerimientos de área mucho menores. Posteriormente, con el uso de medios filtrantes duales o lechos mezclados se lograron diseños mucho más económicos en área al usar una tasa de filtración todavía mayor que la de los filtros rápidos convencionales Figura 11, (Romero, 1999).

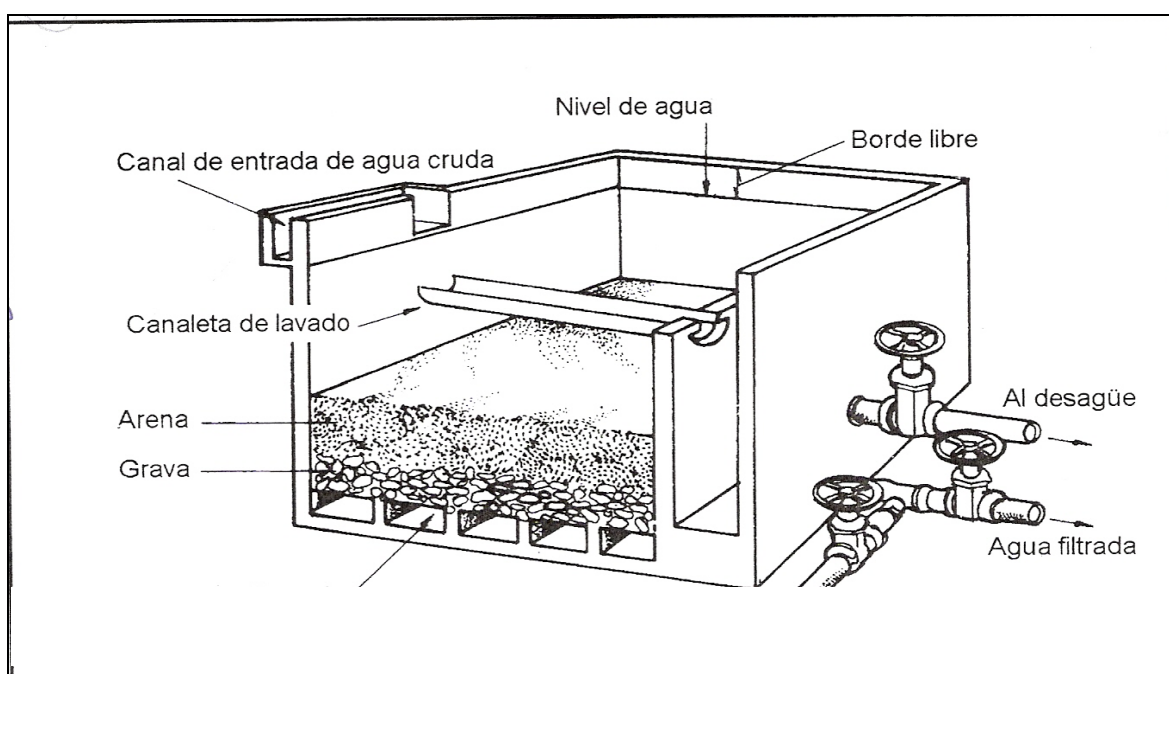


Figura 11 Filtro rápido de arena

La tabla 9 resume algunas de las principales características de los filtros por gravedad más utilizados en nuestro medio.

Tabla 9. Características de los filtros de gravedad

CARACTERISTICAS	FILTROS LENTOS DE ARENA	FILTROS RAPIDOS DE ARENA	FILTROS DE ALTA TASA
Tasa de filtración	2-5 (<12 m/d)	120 m/d	180-140 m/d
Medio	Arena	Arena	Arena y antracita
Distribución del medio	No estratificado	Estratificado: fino a grueso	Estratificado: grueso a fino
Duración carrera	20-60 días	12 -36 hrs	12-36 hrs
Pérdida de carga	Inicial: 0.6 m Final: 1.2 m	Inicial: 0.3 m Final: 2.4-6 m	Inicial: 0.3 m Final: 2.4-3 m
Agua de lavado	no usa	2-4% de agua filtrada	6% de agua filtrada
Profundidad del Medio	0.6- 1.0 m	0.60- 0.75 m	Antracita: 0.4-0.6 m Arena: 0.15- 0.3 m
Profundidad de la grava	0.30 m	0.30- 0.45 m	0.30- 0.45 m
Drenaje	Tubería perforada	Tubería perforada Falsos fondos	Tubería perforada Falsos fondos

$$\text{Tasa de filtración} = \text{fuerza impulsora/resistencia del filtro.} \quad (8)$$

En la Ecuación 8 la fuerza impulsora representa la pérdida de presión en el filtro. Al comenzar la carrera de filtración, el filtro esta limpio; la fuerza impulsora es mínima pues sólo se requiere romper la resistencia del lecho filtrante limpio y del sistema de drenaje. A medida que se efectúa la filtración, los sólidos removidos suspendidos se acomodan dentro del medio filtrante; la fuerza impulsora debe romper la resistencia ofrecida por el lecho taponado y el sistema de drenaje por lo tanto si se quiere tener una tasa constante de filtración, la fuerza impulsora debe aumentar proporcionalmente al aumento en la resistencia del filtro; de lo contrario el caudal a través del filtro declina. La eficacia de un filtro depende, fundamentalmente, del sistema de regulación de su caudal, para asegurar una buena filtración, un filtro debe reunir numerosas condiciones.

No existe un filtro universal, sino filtros adaptados especialmente a cada uno de los problemas que se plantean.

Las velocidades de filtración dependen de la calidad del filtrado que se desee; pueden variar entre 5 y 20 m/h según la calidad del agua decantada y la naturaleza de los filtros utilizados.

Lecho granular de Carbón activado

La adsorción es la transferencia de un soluto en un gas o líquido (adsorbato) hacia la superficie de un sólido (adsorbente) en donde el soluto es retenido como resultado de atracciones intermoleculares con las moléculas del sólido. Este proceso es muy semejante al de absorción, con la diferencia de que en lugar de mezclarse completamente en la otra fase para estar en forma homogénea en su nuevo estado, simplemente se adhiere a la superficie del sólido adsorbente. Como regla general, los solutos más fáciles para adherirse son los compuestos más complejos, molecularmente hablando y los sólidos más usados son el carbón activado, alúmina activada, gel de sílice, algunas tierras o arcillas especialmente activadas, entre otras.

El carbón activado se fabrica a partir de cualquier material carbónico como la madera, el carbón mineral, la cáscara de coco, etc., el cual es clasificado según el tamaño, carbonizado y activado para crear la enorme área de superficie y la estructura interna del poro que define al carbón activado.

Son las altas temperaturas (1,800-2,000 °F = 982-1,093 °C), la atmósfera especial del horno y la inyección de vapor del proceso de fabricación del carbón activado lo que "activa" y crea la porosidad, dejando mayormente una "esponja" de esqueleto de carbón. Los poros varían en tamaño desde "microporos" de <20 angstroms y "mesoporos" de 20- 100 angstroms, hasta "macroporos" de >100 angstroms en un rango de hasta más de 100,000 angstroms.

El grado típico de carbón para tratamiento de agua tiene un área de superficie de 900 a 1,100 m²/g. No hay un solo tipo de carbón activado que resulte ser el mejor para todas las aplicaciones. Para la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas/aguas residuales industriales, comerciales y muchas municipales, el GAC se utiliza en una operación de columna y la corriente del líquido se pasa a través de la cama de GAC en un flujo descendente o, en situaciones especiales, en el modo de flujo ascendente. El GAC típico tiene una densidad de 22 a 30 lbs/pie³, y su tamaño puede ser de: 8×30 o de 12×30 o 12×40 US Malla (12×30 quiere decir que el 90% del GAC es más grande que una malla #30 y más pequeño que una malla #12; un 5% puede ser más grande que una malla 12 y un 5% más pequeño que una malla 30).

Las propiedades adsorbentes de un carbón activado no sólo están definidas por su estructura porosa, sino también por su naturaleza química. El carbón activado presenta en su estructura átomos de carbono con valencia insaturada y, además, grupos funcionales (principalmente de oxígeno y nitrógeno) y componentes inorgánicos responsables de las cenizas, todos ellos con un efecto importante en los procesos de adsorción. Los grupos funcionales se forman durante el proceso de activación por

interacción de los radicales libres de la superficie del carbón con átomos tales como oxígeno y nitrógeno, que pueden en parte provenir del precursor o de la atmósfera. Estos grupos funcionales hacen que la superficie del carbón se haga químicamente reactiva y esa es la razón por la que afectan las propiedades adsorbentes, especialmente para moléculas de cierto carácter polar. Así, el carbón activado puede ser considerado en principio como hidrófobo por su poca afinidad por el agua, lo que es muy importante en aplicaciones como la adsorción de gases en presencia de humedad, o de especies en disolución acuosa; pero la presencia de grupos funcionales en la superficie del carbón activado hace que puedan interaccionar con el agua, haciendo que la superficie sea más hidrófila. Más aún, la oxidación de un carbón, que es inherente a la fabricación del carbón activado, resulta en la formación de grupos de hidroxilo, carbonilo, carboxilo, etcétera, que le dan al carbón activado un carácter anfotérico, por lo que puede ser ácido o básico. Además de influir en la adsorción de muchas moléculas, los grupos superficiales de oxígeno contribuyen a la reactividad de los carbones activados hacia ciertos disolventes en aplicaciones como la recuperación de disolventes.

En el caso del cloro, no es la capacidad de adsorción del GAC la que interviene, sino el efecto catalítico del área de superficie, pues en este caso el GAC reduce el cloro de la molécula Cl_2 a iones de cloruro (Cl^-). Esta es una reacción rápida y es la razón de por qué los pequeños filtros de agua residenciales y al extremo de la llave del agua pueden reducir efectivamente el cloro con un tiempo de contacto mínimo.

La remoción de cloro y de cloramina no es un proceso de adsorción, sino más bien un proceso de reacción catalítica de superficie. La molécula del cloro, Cl_2 , es catalizada en dos iones de cloruro Cl^- al hacer reacción con la superficie del carbón. El mismo tipo de reacción se aplica al ozono y a las cloraminas. Por lo tanto, para la decloración el carbón no es saturado con cloro, sino que convierte el cloro en cloruro y puede durar mucho tiempo. El GAC utilizado para remoción de cloro usualmente es reemplazado porque también ha estado adsorbiendo y removiendo compuestos orgánicos que sí llenan los poros disponibles en el carbón. Los compuestos problema como son los trihalometanos (THM's), el cloroformo y el bromoformo, entre otros, los cuales son adsorbidos y pueden "llenar" los poros del carbón con el tiempo.

La capacidad del GAC para adsorber un compuesto depende de la polaridad, del peso molecular, la solubilidad y la concentración del compuesto. Algunos compuestos-como el benceno, un componente de la gasolina-son adsorbidos a porcentajes superiores al 40% por peso sobre el GAC, mientras que otros, como el metanol, cargan a menos del 1% por peso.

El GAC tiene afinidad con unos cuantos compuestos inorgánicos (el yodo se adsorbe tan bien, que se utiliza como una medida de área de superficie), como el plomo, el mercurio y el arsénico, pero estas reacciones dependen mucho del pH, de la concentración y de la valencia del compuesto.

Por todo lo anterior podemos ver que el carbón activado es un excelente adsorbente y se utiliza en muchos procesos y sistemas diferentes para remover compuestos no

deseados, Sin embargo es necesario conocer el tipo de contaminantes que se encuentran en el agua a tratar a fin de recomendar el arreglo más eficiente.

2.5 Tiempo de ciclo del lecho empacado

El problema principal que tiene la adsorción en una cama empacada es que el adsorbente se va “gastando”, dado que se satura del soluto, y es por este motivo que resulta importante predecir el tiempo en que tarda en saturarse para poder acabar el ciclo de adsorción y empezar el ciclo de regeneración del sólido.

En un lecho fijo las partículas permiten el paso tortuoso del fluido sin separarse una de otras, esto hace que la altura del lecho se mantenga constante y por tanto la fracción de vacío en el lecho (porosidad) se mantiene constante. En esta etapa el fluido experimenta la mayor caída de presión del proceso.

El tiempo promedio para la adsorción, t^* , se obtiene con la ayuda de un espectrofotómetro mediante el cual se miden las concentraciones del afluente y del efluente a fin de determinar la diferencia de concentraciones, para determinar la capacidad de adsorción a través del tiempo del lecho.

El tiempo de saturación (t_s) es aquel en el que ya la cama completó su función y está completamente agotada. Un valor típico para t_s es, por ejemplo, el tiempo que tarda en llegar a la salida y registrar el 95% de la concentración de alimentación.

El tamaño de la zona de adsorción indica la rapidez del proceso, por tanto, el tiempo que se requiere para saturar la cama es una función de:

1. la capacidad adsorbente
2. el flujo del fluido

3. la concentración del adsorbato en el fluido

2.6 Pérdidas de presión en el lecho granular fijo

Un lecho consiste en una columna formada por partículas sólidas, a través de las cuales pasa un fluido (líquido o gas) el cual puede ser librado de algunas impurezas y sufre una caída de presión. Si el fluido se mueve a velocidades bajas a través del lecho no produce movimiento de las partículas, pero al ir incrementando gradualmente la velocidad llega un punto donde las partículas no permanecen estáticas sino que se levantan y agitan, dicho proceso recibe el nombre de fluidización.

En este trabajo se mantuvo una velocidad del fluido dentro de los parámetros de lechos fijos o sea sin llegar a la fluidización.

Para el estudio de lechos, un elemento importante es conocer la caída de presión en el mismo. En este sentido, Mc Cabe y Smith, (2000), señalan que existe una ecuación que permite calcular este valor para lechos fijos, y esta es la ecuación de Ergun, Ecuación (9), que es utilizada para lechos fijos :

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150 \cdot \mu_f \cdot v_o \cdot (1 - \varepsilon)^2}{D_p^2 \cdot \varepsilon^3} + \frac{1.75 \cdot \rho_f \cdot v_o^2 \cdot (1 - \varepsilon)}{D_p \cdot \varepsilon^3} \quad (9)$$

Siendo el primer término de la derecha para flujo laminar y el segundo termino para flujo turbulento.

donde:

μ_f : Viscosidad de fluido, [Pa·s]

v_o : Velocidad superficial, [m/s]

d_p : Diámetro de la partícula, [m]

ε : Porosidad, [adimensional]

ρ_f : Densidad del fluido, [kg/m³]

ΔP : Caída de presión, [Pa]

L: Longitud del lecho, [m].

Para el cálculo de la ecuación de Ergun es necesario conocer el valor de la velocidad de flujo en el lecho para poder calcular el número de Reynolds. En este sentido, se tiene que la velocidad del fluido en el lecho puede ser calculada a partir del caudal y el área transversal del lecho por la siguiente relación (10):

$$Q = v \cdot A \quad (10)$$

donde :

Q=Caudal, [m³/s].

A= Área transversal, [m²].

v = Velocidad del fluido en el lecho, [m/s]

La porosidad ε se calcula con la siguiente expresión (11):

$$\varepsilon = \left\{ 1 - \frac{\rho_a}{\rho_v v} \right\} \quad (11)$$

la densidad aparente ρ_a se obtiene agregando 100 cm^3 de cada material filtrante a una probeta y pesar el sólido agregado, y la densidad verdadera ρ_v se determina pesando el producto y determinando el volumen de la muestra; el tamaño medio de partícula d_p puede determinarse a partir de la media geométrica de la luz de los tamices entre los que queden retenidas las partículas o a partir de datos del fabricante. También existen algunas tablas de proveedores que indican estos parámetros para cada tipo de material filtrante.

Lámpara de luz Ultravioleta (uv).

Aunque la radiación ultravioleta (uv) no es popular en el tercer mundo, es el único método físico práctico que puede usarse para la desinfección del agua en comunidades pequeñas (con sistema centralizado de agua). Las aplicaciones prácticas de la radiación ultravioleta comenzaron en 1901 cuando se consiguió producir esta luz artificialmente. Esta técnica se consideró para la desinfección del agua de bebida cuando se comprobó que el cuarzo era uno de los pocos materiales casi totalmente transparente a la radiación ultravioleta, lo que permitió la envoltura protectora de los tubos. Los primeros intentos experimentales se llevaron a cabo en Marsella, Francia, en 1910. Entre 1916 y 1926, se usó UV en los Estados Unidos para la desinfección del agua y para proveer agua potable a los barcos. Sin embargo, la popularidad del cloro y sus derivados, asociados a su bajo costo de aplicación, hicieron que se retardara la producción de equipos hasta la década de 1950 y más aún hasta la de 1970 en que las lámparas comienzan a ser confiables y de vida prolongada.

La aparición de los subproductos de la desinfección, (SPD), sobretodo aquéllos asociados a la desinfección con cloro, hicieron que numerosos sistemas pasaran de éste a la uv. Al comienzo del siglo XXI, en Europa existen unos 2,000 sistemas de aguas desinfectados con UV, y una planta en Alemania (Wahnachtalsperrenverband), trata nada menos que un caudal de 329,000 m³/día.

La gran ventaja de la luz UV, en relación con la desinfección con cloro de los SPD se contrabalancea con su notoria desventaja: la radiación UV no otorga ningún residual al agua tratada para hacer frente a eventuales futuras contaminaciones en las redes de distribución o en las viviendas. A pesar de esto último, la desinfección con radiación ultravioleta se ha venido utilizando ampliamente en los sistemas de abastecimiento de agua de pequeños establecimientos, como hospitales, industrias de alimentos y bebidas y hoteles. Recientemente se ha incrementado su uso para la desinfección de efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas y ha vuelto a recibir atención como desinfectante de pequeños sistemas de agua, debido a su capacidad de desinfectar sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada. Existe en el mercado una gama de equipos para grandes plantas de tratamiento de agua hasta un pequeño artilugio que cabe en una mano y que los caminantes usan para desinfectar aguas de lagos y ríos.

Mecanismos de la desinfección por radiación ultravioleta

El mecanismo de desinfección se basa en un fenómeno físico por el cual las ondas cortas de la radiación ultravioleta inciden sobre el material genético (ADN) de los

microorganismos y los virus, y los destruye en corto tiempo, sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada.

Se cree que la inactivación por luz ultravioleta se produce mediante la absorción directa de la energía ultravioleta por el microorganismo y una reacción fotoquímica intracelular resultante que cambia la estructura bioquímica de las moléculas (probablemente en las nucleoproteínas) que son esenciales para la supervivencia del microorganismo. Está demostrado que independientemente de la duración y la intensidad de la dosificación, si se suministra la misma energía total, se obtiene el mismo grado de desinfección. En la Tabla 10 (Solsona, 2001) se muestran valores reportados por varias fuentes de dosis de energía ultravioleta para eliminar algunos micro-organismos. Estos dan una idea del rango y orden de la magnitud de la exposición.

Tabla 9 Concentración de luz ultravioleta para eliminar micro-organismos

TIPO DE BACTERIA	ENERGIA $\mu\text{W}/\text{cm}$	OTROS ORGANISMOS	ENERGIA $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
<i>S. enteritidis</i>	7.600		
<i>B. Megatherium sp.(veg)</i>	2.500	LEVADURA	
<i>B. Megatherium sp.(sporas)</i>	5.200		
<i>B. peratyphosus</i>	6.100	<i>Saccharomyces ellipsoideus</i>	13.200
<i>B. subtilis</i>	11.000	<i>Saccharomyces sp.</i>	1.600
<i>B. subtilis spores</i>	22.000	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13.200
<i>Clostridium tetani</i>	22.000	Levadura para cerveza	660
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	6.500	Levadura para panadería	800
<i>Eberthella typosa</i>	4.100	Levadura para repostería	13.200
<i>Escherichia coli</i>	6.600		
<i>Micrococcus candidus</i>	12.300	ESPORAS	
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	10.000		
<i>Neisseria catarrhalis</i>	8.500	<i>Penicillium roqueforti</i>	26.400
<i>Phytomonas tumefaciens</i>	500	<i>Penicillium expansum</i>	22.000
<i>Proteus vulgaris</i>	6.600	<i>Mucor racemosus A</i>	35.200
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10.500	<i>Mucor racemosus B</i>	5.200
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	6.600	<i>Oospora lactis</i>	1.100
<i>S. typhimurium</i>	15.200		
<i>Salmonella</i>	10.000	VIRUS	
<i>Sarcina lutea</i>	26.400		
<i>Serratia marcescens</i>	6.160	Bacteriophage (<i>E. coli</i>)	6.600
Dysentery bacilli	4.200	Virus de la influenza	6.600
<i>Shigella paradysenteriae</i>	3.400	Virus de la hepatitis	8.000
<i>Spirillum rubrum</i>	6.160	Poliovirus(Poliomyelitis)	1.000
<i>Staphylococcus alous</i>	5.720	Rotavirus	24.000
<i>Staphylococcus aureus</i>	6.600		
<i>Streptococcus hemolyticus</i>	5.500	ALGAS	
<i>Streptococcus lactis</i>	8.800		
<i>Streptococcus viridans</i>	3.800	<i>Chlorella vulgaris</i>	2.000
<i>Vibrio cholerae</i>	6.500		

Tabla 10. Cantidad de Energía necesaria para destruir Ciertos microorganismos.

La mayoría de los equipos de desinfección ultravioleta utilizan una exposición mínima (en el agua) de 30000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$. Esto es adecuado para inactivar las bacterias y virus patógenos, pero quizá no sea suficiente para ciertos protozoos patógenos, quistes de protozoos y huevos de nemátodos, que pueden requerir hasta 100000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ para su inactivación total.

Subproductos de la desinfección con rayos ultravioleta

Como se ha expresado, la luz ultravioleta tiene la capacidad de tratar el agua sin producir cambios físicos o químicos considerables en el agua tratada. No se conoce que haya efectos directos adversos sobre la salud de los consumidores de agua desinfectada con luz ultravioleta. En el proceso de desinfección no se le agrega ninguna sustancia al agua, por lo que no hay riesgos de formación de SPD y la luz ultravioleta no altera el sabor ni el olor del agua tratada. A la dosificación y frecuencia utilizada para la desinfección, no se conoce que exista la formación de derivados. La sobredosis de luz ultravioleta tampoco resulta en ningún efecto nocivo. No obstante, el operador del equipo de desinfección con luz ultravioleta debe usar anteojos y ropa protectora para evitar exponerse a la radiación de alta energía, característica de la luz ultravioleta.

Propiedades de la radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta se caracteriza por longitudes de onda muy cercanas a las de la luz del sol. Los parámetros más importantes de la radiación UV relacionados con la desinfección del agua son:

Longitud de onda: El rango germicida se encuentra entre 240 y 280 nm y se obtiene la máxima eficiencia desinfectante cerca de los 260 nm. Estos límites se encuentran dentro del rango denominado *ultravioleta - C* (100-280 nm), que se diferencia del *ultravioleta - A* (315-400 nm) y del *ultravioleta - B* (280-315 nm).

Calidad del agua: La temperatura del agua tiene poca o ninguna influencia en la eficacia de la desinfección con luz ultravioleta, pero afecta el rendimiento operativo de la lámpara de luz ultravioleta, cuando la misma está inmersa en el agua. La energía

ultravioleta es absorbida por el agua, pero en mucho mayor grado es absorbida por los sólidos en suspensión o disueltos, turbiedad y color. En el agua para consumo humano, la concentración de los sólidos en suspensión es generalmente inferior a 10 ppm, nivel al que empieza a experimentar problemas con la absorción de la luz ultravioleta. La turbiedad debe ser tan baja como sea posible y en todo caso, deben evitarse turbiedades mayores de 5 NTU.

Intensidad de la radiación: A menor distancia del agua respecto al punto de emisión de los rayos, mayor será la intensidad de los mismos y por tanto la desinfección será más eficiente. Con respecto a esta condición, existe una regla general que dice que no debe haber más de 75 mm de profundidad de agua para asegurar que cada porción de la misma sea alcanzada por los rayos adecuadamente.

Tipo de microorganismos: La radiación ultravioleta se mide en microwatts por centímetro cuadrado ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) y la dosis en microwatts segundo por centímetro cuadrado ($\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ radiación x tiempo). La resistencia al efecto de la radiación dependerá del tipo de microorganismo. No obstante, la dosificación de luz ultravioleta requerida para destruir los microorganismos más comunes (coliformes, pseudomonas, etc.) varía entre 6,000 y 10,000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$. Las normas para la dosificación de luz ultravioleta en diferentes países varían entre 16000 y 38000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$.

Tiempo de exposición: Como cualquier otro desinfectante, el tiempo de exposición es vital para asegurar un buen desempeño. No es fácil determinar con exactitud el tiempo de contacto (ya que éste depende del tipo de flujo y de las características del equipo),

pero el período debería estar relacionado con la dosificación necesaria. De cualquier modo, las exposiciones normales son del orden de 10 a 20 segundos.

Para un grado determinado de inactivación de microorganismos, el tiempo requerido de exposición del agua a la luz ultravioleta es inversamente proporcional a la intensidad de la luz que penetra el agua, teniendo en cuenta la capacidad de absorción del agua y la dispersión de la luz debido a la distancia.

El método de desinfección es sencillo, consiste en poner en contacto el flujo de agua con una lámpara ultravioleta, de tal manera que la radiación UV actúe sobre los microorganismos del agua bajo las condiciones arriba expuestas con el consecuente efecto desinfectante.

Equipos

La luz ultravioleta se produce por medio de lámparas de vapor de mercurio de alta y baja presión, siendo más populares las últimas. Se asemejan a las conocidas lámparas fluorescentes. En realidad, las lámparas ultravioletas son elaboradas por las grandes empresas que fabrican las lámparas fluorescentes estándar. En consecuencia, las lámparas, los balastos y los arrancadores para los sistemas ultravioletas pueden comprarse en tiendas comerciales, salvo las que tengan dimensiones excepcionales.

Las lámparas raras veces se queman, pero generalmente se cambian después de que han perdido 25% a 30% de la luz ultravioleta que emitían cuando eran nuevas. Estas lámparas tienen una duración de 10000 horas, lo que en términos prácticos y teniendo en cuenta el recambio cuando ha descendido su intensidad a 70-75 % , significa una vida útil de nueve meses a un año de trabajo sin interrupción.

Como se ha mencionado, la desinfección del agua con luz ultravioleta puede lograrse con longitudes de onda de luz entre 240 y 280 nm y se obtiene la máxima eficiencia germicida a los 260 nm. Las lámparas de arco de mercurio a baja presión que se encuentran en el mercado, Figura 12, producen una longitud de onda de luz ultravioleta cerca de 254 nm.

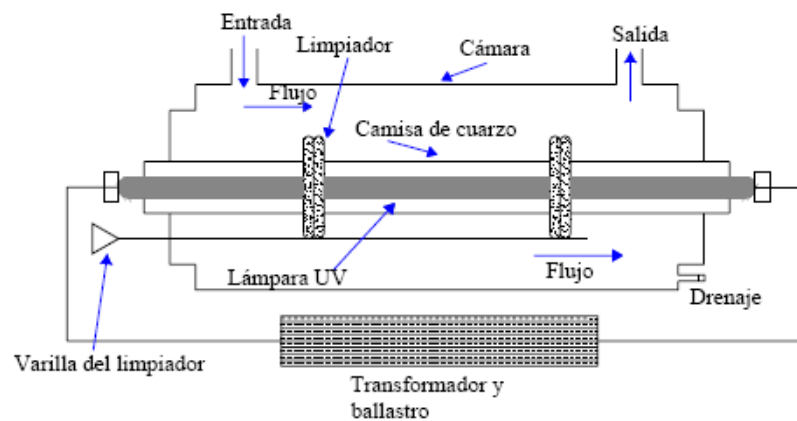


Figura 12. Instalación típica de una equipo de radiación uv

2.7 Sistema de suministro de energía solar

Disponibilidad del Recurso Solar

México cuenta con un excelente recurso solar en casi todo su territorio. En la mayor parte del país, los días son largos y despejados durante el verano. En el campo hay una relación directa a favor del uso de la energía solar: los días de mayor necesidad de agua son aquéllos en los que el sol es más intenso.

Existen en la actualidad mapas y tablas que indican la insolación mensual promedio para diferentes zonas geográficas. La insolación es la energía proveniente del sol. Una unidad común de insolación es el kWh/m². En esta guía se recomienda que los sitios de

aplicación del sistema deben contar con al menos 3 kWh/m² de energía solar para justificar el éxito de un proyecto de purificación de agua. En las Figuras 13 y 14 se muestra la insolación en los meses de Enero y Junio promedio de 10 años para la República Mexicana. (Sánchez, 2001).

RADIACIÓN SOLAR DIARIA PROMEDIO MENSUAL EN MÉXICO

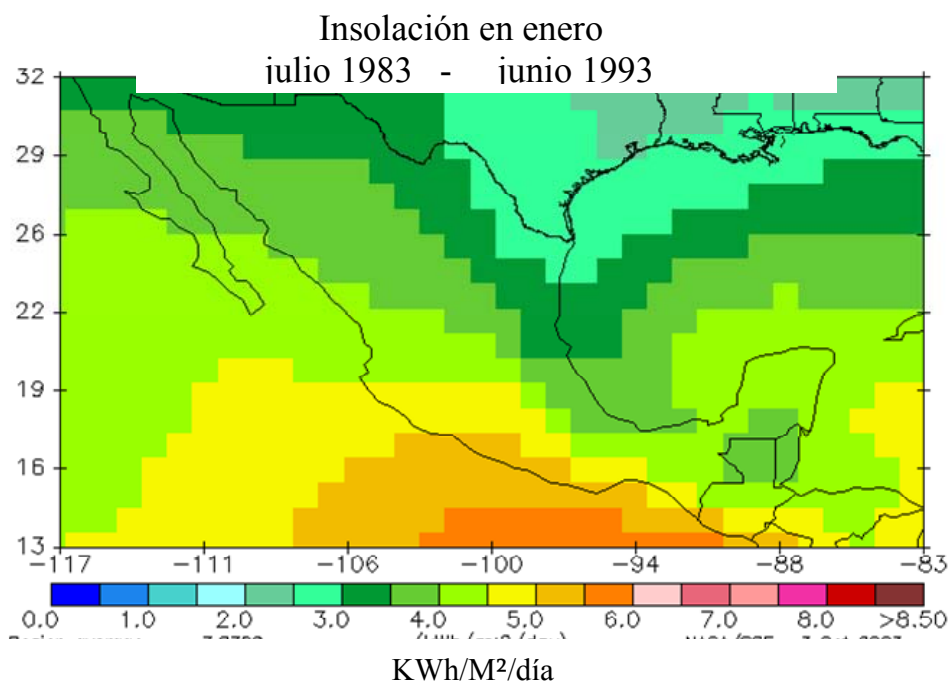


Figura 13 Radiación solar diaria promedio del mes de enero en México.

Insolación en junio
julio 1983 - junio 1993

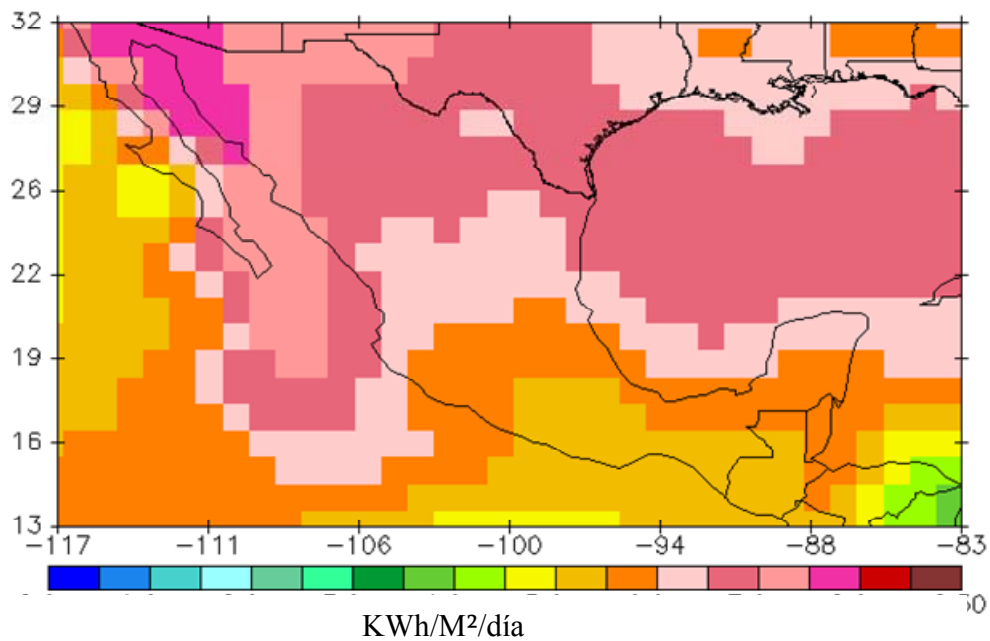


Figura 14 Radiación solar diaria promedio de junio en México.

El diagrama de flujo de la Figura 15 muestra una alternativa para llevar a cabo la selección del tipo de tecnología que se puede utilizar para un sistema de purificación de agua, ya sea un sistema convencional o un sistema solar. El dato más importante que se debe conocer para diseñar un sistema de esta naturaleza, es la demanda que se va a satisfacer. Para la selección se consideran parámetros como la distancia a la red y el recurso solar que posee el sitio.

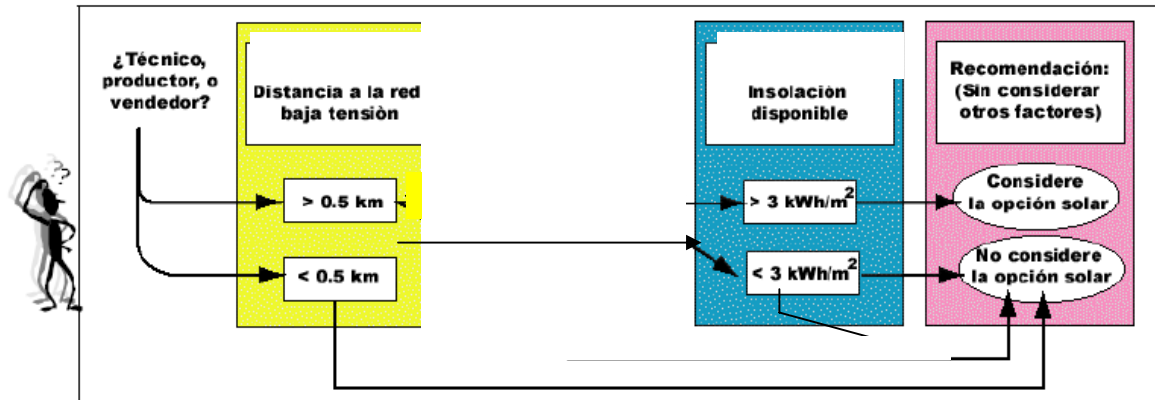


Figura 15. Diagrama de flujo de decisiones para bombeo considerando dos tecnologías de generación de energía.

En este trabajo se definirán algunos conceptos necesarios para entender la naturaleza de la fuente energética, el Sol, así como también de la electricidad, con los que se debe contar para el buen entendimiento de la operación de los módulos fotovoltaicos.

La radiación solar

El sol proporciona energía suficiente para mantener la vida y provocar fenómenos meteorológicos en nuestro planeta. Aproximadamente la tierra recibe suficiente energía como para abastecer las necesidades energéticas de la humanidad durante un año. En este sentido es interesante tener conocimiento de las características que proporciona la energía que proviene del sol, para así poder captarla y convertirla en energía eléctrica. La energía que recibimos del sol es debida a una reacción termonuclear de fusión, que proviene de la conversión de hidrógeno en helio. En la fusión hay una integración de núcleos, no de desintegración como ocurre con la fisión, es decir que estamos ante un proceso inverso de la fisión. La reacciones se producen a altísimas temperaturas, en su

interior, pero en su superficie la temperatura es de menor intensidad, la cual alcanza alrededor de 6,000 °C (Freux, 2002).

La potencia de la radiación solar que se recibe en un instante dado sobre un captador de una superficie determinada se le conoce como Irradiancia y se mide en unidades de W/m^2 . Dado que la distancia Tierra-sol es "relativamente" fija, el valor de la irradiancia fuera de la atmósfera terrestre, llamada la constante solar, es de 1353 W/m^2 .

Se sabe que la atmósfera terrestre está constituida por gases, nubes, vapor de agua, partículas contaminantes y sólidos en suspensión, que constituyen lo que se conoce comúnmente como masa de aire. A medida que la luz solar la atraviesa, ésta sufre procesos de absorción, reflexión y refracción, y en consecuencia, la irradiancia se atenúa disminuyendo su valor con respecto a fuera de la atmósfera. Bajo condiciones de atmósfera limpia, sin ningún proceso óptico y estando el sol en el cenit, la irradiancia máxima que un captador podría recibir es de 1,000 W/m^2 como un valor promedio normalizado.

La radiación que llega a la superficie terrestre se puede clasificar en directa y difusa. La radiación directa es aquella que se recibe en la superficie terrestre sin que haya sufrido ninguno de los procesos antes mencionados al pasar por la atmósfera. La radiación difusa es la que se recibe después de que la luz solar cambió su dirección debido a los procesos de refracción y reflexión que ocurren en la atmósfera. Un captador de la energía solar "ve" la radiación como si viniera de la bóveda celeste con esas dos componentes (radiación directa y difusa), por lo que en muchas ocasiones se podrían tener valores de irradiancia mayores de 1,000 W/m^2 . Para un día despejado, la

componente recibida mayormente en el captador es la directa; mientras que en un día nublado, es la componente difusa, ya que la radiación directa es obstruída por las nubes.

A lo largo del día y bajo condiciones atmosféricas iguales, la irradiancia recibida en un captador varía a cada instante, presentando valores mínimos en el amanecer y atardecer, y adquiriendo valores máximos al mediodía; es decir, se espera que a las 10:00 A.M. el valor de la irradiancia sea diferente y menor al que se obtiene a la 1:00 P.M. Lo anterior se explica debido al movimiento de rotación de la tierra (movimiento sobre su propio eje) que hace que la distancia que recorre la luz solar hacia el captador, dentro de la masa de aire, sea mínima al medio día solar (rayos de luz cayendo perpendicularmente sobre el captador) con respecto a otras horas del día.

Otro concepto importante es el de Insolación, éste corresponde al valor acumulado de la irradiancia en un tiempo dado. Si el tiempo se mide en horas (h), la insolación tendrá unidades de Watts-hora por metro cuadrado ($W\cdot h/m^2$). Generalmente se reporta este valor como una acumulación de energía que puede ser horaria, diaria, estacional o anual. La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora solar pico es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de $1,000 W/m^2$, (Figura 16). La energía que produce el arreglo fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que recibe.



Figura 16. Irradiancia y horas solares pico (insolación) durante un día soleado.

Geometría solar

Además de las condiciones atmosféricas hay otro parámetro que afecta radicalmente a la incidencia de la radiación sobre un captador solar, este es el movimiento aparente del sol a lo largo del día y a lo largo del año, ver Figuras 17 y 18. Se dice "aparente" porque en realidad la Tierra es la que está girando y no el Sol. La Tierra tiene dos tipos de movimientos: uno alrededor de su propio eje (llamado movimiento rotacional) el cual da lugar al día y la noche y el otro; alrededor del sol (llamado movimiento traslacional) siguiendo una trayectoria elíptica, el cual da lugar a las estaciones del año.

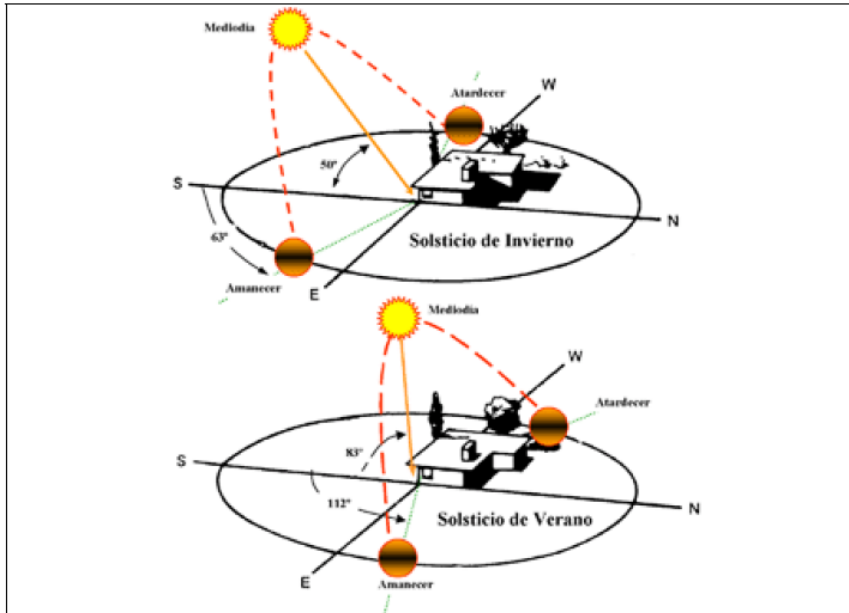


Figura 17. Movimiento aparente del sol en la bóveda celeste en función de a hora del día y la época del año (21 de Diciembre y 21 de Junio respectivamente) para una latitud de 16°N.

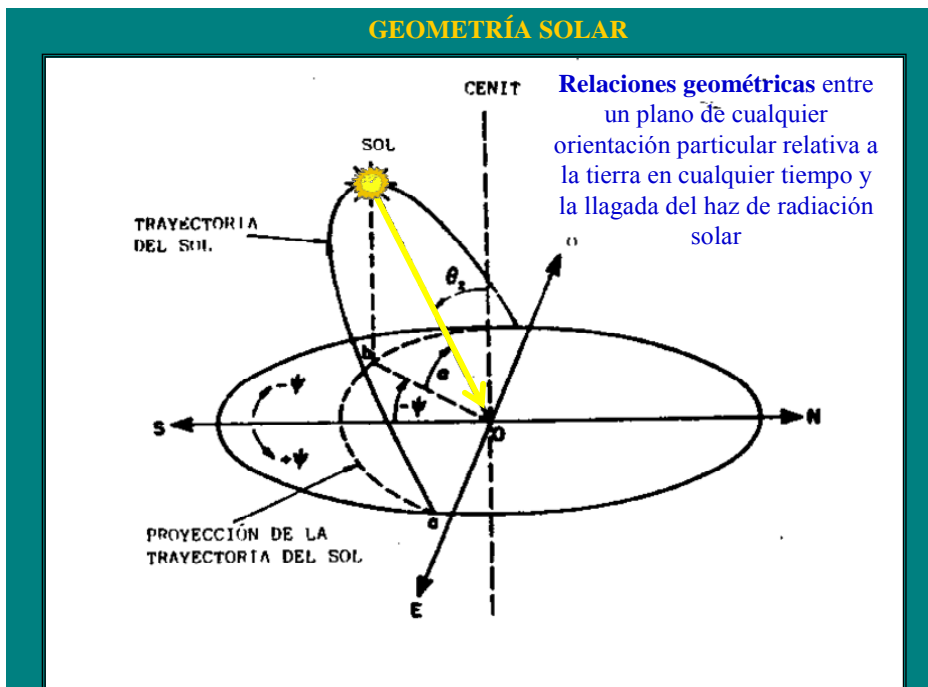


Figura 18 Geometría Solar

Un arreglo fotovoltaico recibe la máxima insolación cuando se mantiene apuntando directamente al sol; es decir, cuando los rayos inciden perpendicularmente en él. Para esto se necesita seguir al sol durante el día y durante todo el año, requiriéndose el ajuste de dos ángulos del arreglo: el azimut (Φ) para seguir el movimiento diario del sol de este a oeste, y el ángulo de elevación (θ) para seguir el movimiento anual de la trayectoria solar en la dirección norte-sur Figura 19. Así, para que el arreglo fotovoltaico siga al sol se necesita de estructuras de montaje que estén diseñadas para tal propósito.

Caracterización del seguidor solar para los 365 días del año.

La insolación es un parámetro clave en el diseño de sistemas solares. Los factores principales que afectan la insolación que recibe la superficie de un captador son su orientación, el ángulo de la superficie respecto de la horizontal y las condiciones climáticas.

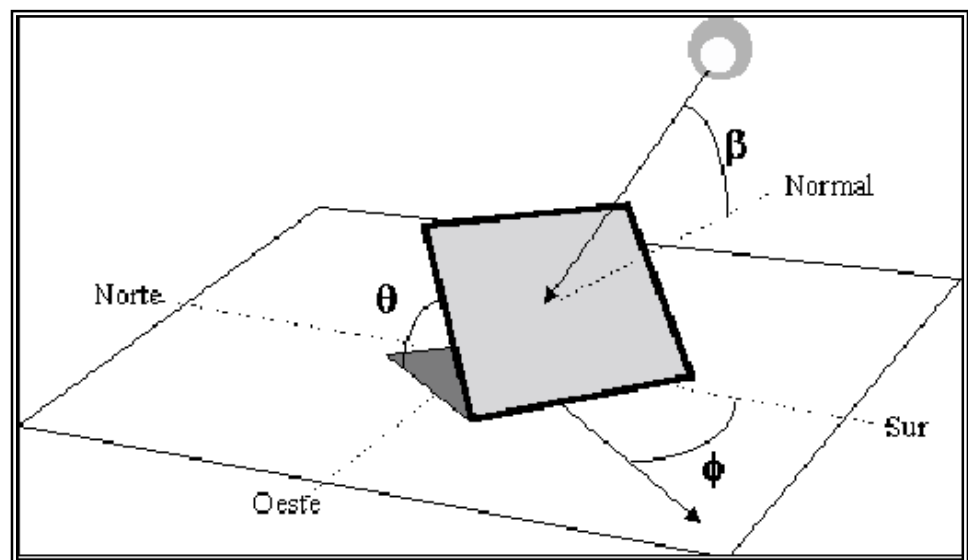


Figura 19. Angulos de la Trayectoria Solar

En lugares donde los días nublados son relativamente más frecuentes, la insolación promedio es menor. Cuando la latitud del lugar sobrepasa los 15 grados, los días de invierno son apreciablemente más cortos que los días de verano. Esto resulta en una mayor insolación promedio en el verano. Por ejemplo, en las regiones lluviosas del sur de México, la insolación en el plano horizontal alcanza 4 kW-h/m² por día en el invierno, 5.2 kW-h/m² por día en el verano y 4.5 kW-h/m² por día como promedio anual. En las regiones áridas del norte de México, la insolación en el plano horizontal alcanza 5 kW-h/m² por día en el invierno, 8 kW-h/m² por día en el verano y 6.5 kW-h/m² por día como promedio anual. Esta diferencia es básicamente porque en el Sureste del país las lluvias son mas frecuentes y la nubosidad acumulada es mayor durante el verano, lo que no ocurre en las zonas áridas.

Debido a que la insolación recibida en el captador depende de su orientación e inclinación, con respecto a la posición aparente del sol, el recurso solar de un lugar determinado se especifica por el valor de la insolación medida horizontalmente. A partir de los datos de la insolación en el plano horizontal se puede estimar el valor de la insolación a un azimut y elevación determinado. Existen tablas y mapas de insolación horizontal para diferentes regiones y épocas del año provenientes de varias fuentes. El Instituto de ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, cuenta con una metodología basada en el modelo de Liu-Jordan para conocer la insolación promedio diaria sobre un plano inclinado en una localidad determinada a partir de los siguientes datos de la tabla 11:

Tabla 11 Altura Solar

ciudad:	Mexicali, B.C.			
latitud:	32,48	°n		
longit.:	115.5	°w		
altura:	4	m.s.n.m.		
altura solar max. anual:			80.62	grados
altura solar min. anual:			34.42	grados

La máxima energía se obtiene cuando los rayos solares llegan perpendiculares a la superficie del captador. En el caso de arreglos fotovoltaicos la perpendicularidad entre las superficies de los módulos y los rayos solares sólo se puede conseguir si las estructuras de montaje del arreglo se mueven siguiendo al Sol.

Existen estructuras de soporte del arreglo que ajustan automáticamente el azimut y/o la elevación. Estas estructuras de montaje se llaman seguidores (Figuras 20, 21, 22 y 23). Generalmente el ángulo de elevación del arreglo es fijo. En algunos casos se usan seguidores azimutales.



Figura 20. Seguidor Azimutal



Figura 21. Seguidor Azimutal



Figura 22. Seguidor Azimutal



Figura 23. Seguidor Azimutal

Dependiendo de la latitud del lugar, los seguidores azimutales pueden incrementar la insolación promedio anual hasta en un 25%.

En el caso de que no se tenga un seguidor solar, el arreglo se monta en una estructura fija como se muestra en la Figura 24. Este montaje tiene la ventaja de ser muy sencillo.

Debido a que el ángulo de elevación del Sol cambia durante el año, se debe tener un criterio de selección del ángulo óptimo del arreglo que garantice la máxima producción de energía eléctrica. En el hemisferio Norte el Sol se declina hacia el Sur, por lo cual se requiere que los arreglos fijos se coloquen inclinados (respecto de la horizontal) viendo hacia el Sur. La inclinación del arreglo se selecciona para satisfacer la demanda de agua durante todo el año. Si se desea bombear la máxima cantidad de agua al año, la inclinación del arreglo deberá de ser igual al valor de la latitud del lugar.

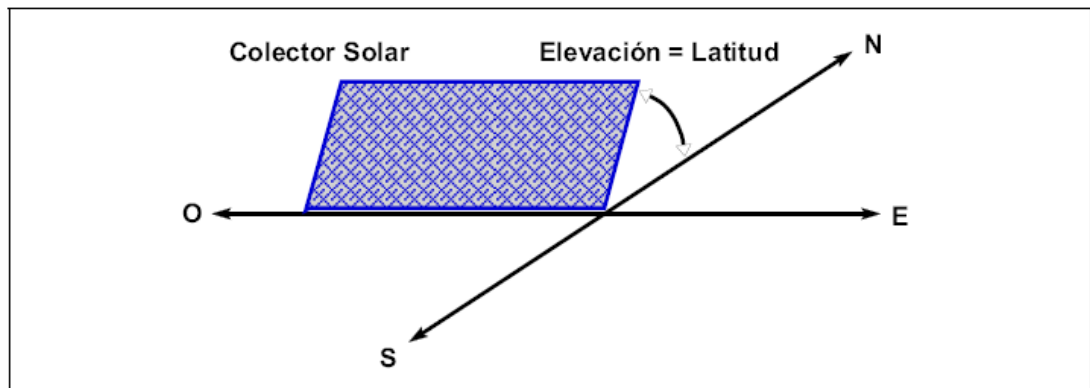


Figura 24. Orientación de una estructura fija para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año

Requerimientos para el diseño del sistema de energía solar

Para el diseño de un sistema fotovoltaico se ha de tener información sobre el número de módulos necesarios, su configuración (serie-paralelo), y la capacidad de almacenamiento necesaria. El procedimiento para el diseño depende de la irradiación del lugar y del consumo de la carga asegurable. Una instalación es autónoma cuando la energía suministrada a la carga iguala la energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico en un periodo de tiempo.

La información para hacer el diseño se compone de la información de los elementos individuales del sistema como son los módulos fotovoltaicos, baterías, equipamiento electrónico de adaptación así como la información de la carga que debe soportar el sistema.

Un sistema fotovoltaico consta de los siguientes elementos:

- Un generador solar, compuesto por un conjunto de paneles fotovoltaicos, que captan la radiación solar y la transforman en corriente continua a baja tensión (12 ó 24 V).
- Un acumulador o batería de recarga, que almacena la energía producida por el generador y permite disponer de corriente eléctrica fuera de las horas de luz o días nublados.
- Un regulador de carga, cuya misión es evitar sobrecargas o descargas excesivas al acumulador, que le produciría daños irreversibles; y asegurar que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia.
- Un inversor (opcional), que transforma la corriente continua de 12 o 24 V almacenada en el acumulador, en corriente alterna de 110 o 220 V.

Antes de iniciar con la determinación de los parámetros de diseño de un sistema fotovoltaico deben explicarse algunos principios básicos de estos sistemas.

Principios básicos de Sistemas fotovoltaicos

Cuando en un dispositivo se observa una diferencia de voltaje debido a la absorción de la luz solar, se dice que se está llevando a cabo el Efecto Fotovoltaico (FV). Bajo estas condiciones, si se le conecta una carga, se producirá una corriente eléctrica que será capaz de realizar un trabajo en ella. La corriente producida es proporcional al flujo

luminoso recibido en el dispositivo. A la unidad mínima en donde se lleva a cabo el efecto fotovoltaico se le llama celda solar. En una celda solar el efecto fotovoltaico se presenta como la generación de voltaje en sus terminales cuando está bajo iluminación. Si a las terminales de la celda solar se le conecta un aparato eléctrico, por ejemplo, una lámpara, entonces ésta se encenderá debido a la corriente eléctrica que circulará a través de ella. Esto representa la evidencia física del efecto fotovoltaico. En la Figura 25 se representa este efecto.

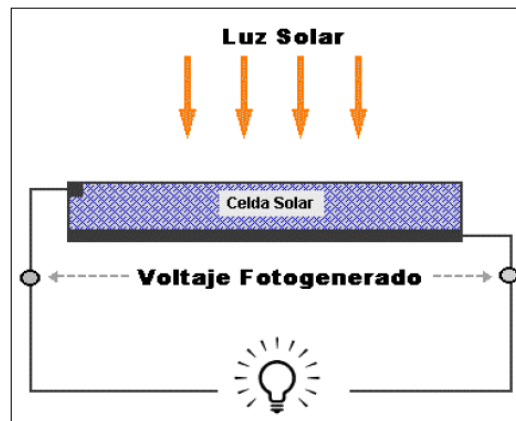


Figura 25. Representación física del efecto fotovoltaico en una celda solar.

Materiales de fabricación

El efecto fotovoltaico se puede llevar a cabo en materiales sólidos, líquidos o gaseosos; pero es en sólidos, especialmente en los materiales semiconductores, en donde se han encontrado eficiencias aceptables de conversión de energía luminosa a eléctrica. Existen diferentes materiales semiconductores con los cuales se pueden elaborar celdas solares, pero el que se utiliza comúnmente es el silicio en sus diferentes formas de fabricación Figura 26 (Sánchez, 2001).

Silicio Mono cristalino: Las celdas están hechas de un solo cristal de silicio de muy alta pureza. La eficiencia de estos módulos ha llegado hasta el 17%. Los módulos con estas celdas son los más maduros del mercado, proporcionando con esto confiabilidad en el dispositivo de tal manera que algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años.

Silicio Policristalino: Su nombre indica que estas celdas están formadas por varios cristales de silicio. Esta tecnología fue desarrollada buscando disminuir los costos de fabricación. Dichas celdas presentan eficiencias de conversión un poco inferiores a las mono cristalinas pero se ha encontrado que pueden obtenerse hasta del orden del 15%. La garantía del producto puede ser hasta por 20 años dependiendo del fabricante.

Silicio Amorfo: La palabra amorfo significa carencia de estructura geométrica. Los átomos de silicio que forman al sólido no tiene el patrón ordenado característico de los cristales como es el caso del silicio cristalino.

La tecnología de los módulos de silicio amorfo ha estado cambiando aceleradamente en los últimos años. En la actualidad su eficiencia ha subido hasta establecerse en el rango de 5 a 10% y promete incrementarse. La garantía del producto puede ser hasta por 10 años dependiendo del fabricante.

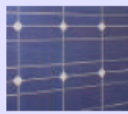


CÉLULAS		RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
	MONOCRISTALINO	24 %	15 - 18 %	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralsky).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	POLICRISTALINO	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	AMORFO	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Figura 26. Tecnología de las celdas solares

Conversión fotovoltaica.

La materia está constituida por átomos, los cuales a su vez están formados por dos partes bien diferenciadas: el núcleo, dotado de una carga eléctrica positiva y los electrones, con carga eléctrica negativa que compensa la del núcleo, formando de esta manera un conjunto eléctricamente neutro. Los electrones más externos se conocen como electrones de valencia. Los semiconductores son utilizados en la fabricación de las celdas solares porque la energía que liga a los electrones de valencia al núcleo es similar a la energía que poseen los fotones que constituyen a la luz solar. Por lo tanto, cuando la luz solar incide sobre el semiconductor (generalmente silicio), sus fotones suministran la cantidad de energía necesaria a los electrones de valencia para que se rompan los enlaces y queden libres para circular por el material. Por cada electrón que se libera, aparece un hueco. Dichos huecos se comportan como partículas con carga positiva (+). Cuando en el semiconductor se generan pares electrón-hueco debido a la

absorción de la luz, se dice que hay una foto generación de portadores de carga negativos y positivos, los que contribuyen a disminuir la resistencia eléctrica del material. Este es el principio básico de operación de las fotorresistencias.

En la Figura 27, se muestra una estructura simple de una celda solar en donde se ilustra el principio básico de la conversión fotovoltaica. La celda solar consiste en una unión de dos capas de materiales semiconductores uno tipo p y el otro tipo n con contactos eléctricos en la parte superior y en la inferior. El espesor de éste “sándwich” puede variar, desde menos de una micra para el caso de semiconductores muy absorbentes (caso del silicio amorfo), hasta unos cientos de micra para el caso de semiconductores de baja absorción (caso del silicio cristalino). La unión entre las capas n (lado negativo) y p (lado positivo) es la responsable de que se forme un campo eléctrico interno que radica principalmente en la unión.

Cuando la radiación luminosa en forma de fotones es absorbida por los semiconductores se generan, en exceso de su concentración en equilibrio, pares de portadores de carga eléctrica, electrones y huecos, los cuales deben de ser separados para poder usar la energía que cada uno representa. Estos portadores foto-generados viajan bajo un gradiente de concentración hacia la unión en donde son separados por efecto del campo eléctrico. Esta separación envía electrones foto-generados a la capa n y huecos foto-generados a la capa p, creándose una diferencia de potencial entre las superficies superior e inferior de las capas.

La acumulación de cargas en las superficies del dispositivo da como resultado un voltaje eléctrico medible externamente. La unidad de medición es el Volt. Este voltaje foto generado es lo que se conoce como el efecto fotovoltaico. Si se establece un circuito eléctrico externo entre las dos superficies, los electrones acumulados fluirán a través de él regresando a su posición inicial. Este flujo de electrones forma lo que se llama una corriente foto-generada o fotovoltaica.

La celda solar de silicio cristalino

Las celdas solares comerciales se fabrican con lingotes de silicio de alta pureza (El silicio es un elemento muy abundante en la arena, pero para fabricar las celdas solares se requiere de silicio metalúrgico). El lingote es rebanado en forma de placas delgadas llamadas obleas. El espesor típico usado es del orden de 400 nm ($0.4 \lambda\text{m}$). Una fracción muy pequeña de tal espesor (del orden de 0.5 nm) es impregnado con átomos de fósforo. A esta capa se le conoce como tipo-n. El resto de la oblea es impregnada con átomos de boro y se forma la capa conocida como tipo-p. Estas capas unidas forman el campo eléctrico (voltaje interno construido) que se necesita para la separación de los portadores de la energía fotovoltaica.

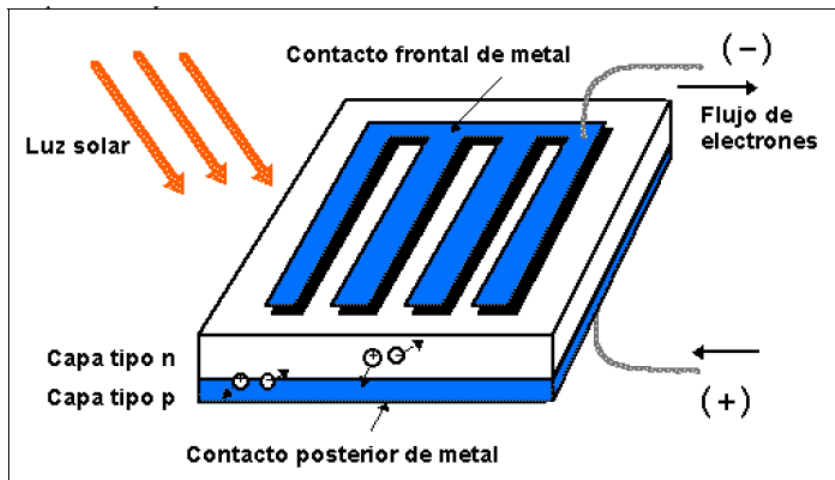


Figura 27. Generación eléctrica en una celda fotovoltaica.

La celda solar presenta ciertas características eléctricas que son de gran importancia conocer. El voltaje a circuito abierto, la corriente a corto circuito y la potencia máxima generada, la que permite evaluar la eficiencia de conversión de luz a electricidad. Estos se especifican de la manera siguiente:

Corriente a corto circuito, (I_{cc}): Es la máxima corriente generada por la celda solar y se mide cuando se conecta un circuito exterior a la celda con resistencia nula. Su valor depende del área superficial y de la radiación luminosa. Normalmente se especifica en unidades de densidad de corriente: corriente entre área (Amp/cm^2).

El valor típico para la densidad de corriente a corto circuito en celdas solares de silicio cristalino comerciales bajo condiciones estándares de medición (irradiancia de $1000 W/m^2$ a una temperatura de celda de $25^{\circ}C$) es del orden de $40 mA/cm^2$; es decir, una celda solar de $100 cm^2$ de área producirá una I_{sc} del orden de $4.0 A$.

Voltaje a circuito abierto (V_{ca}): Es el voltaje máximo que genera la celda solar. Este voltaje se mide cuando no existe un circuito externo conectado a la celda. Bajo condiciones estándares de medición, el valor típico del voltaje a circuito abierto que se ha obtenido en una celda solar de silicio cristalino es del orden de 0.600 V.

Máxima potencia generada (P_m): Su valor queda especificado por una pareja de valores I_m y V_m cuyo producto es máximo. La eficiencia de conversión de la celda, se define como el cociente entre el valor de la máxima potencia generada, P_m , y la potencia de la radiación luminosa o irradiancia, P_I . Para una celda solar de silicio cristalino comercial con una eficiencia del 17%, la potencia máxima generada en 100 cm^2 de captación cuando sobre la celda incide 1000 W/m^2 es de 1.7 W ($V_m= 0.485 \text{ V}$; $I_m=3.52 \text{ A}$).

Módulo fotovoltaico

El bajo voltaje producido por la celda solar no es suficiente para todas las aplicaciones en donde se pueda usar. Para que se pueda generar una potencia útil, las celdas se agrupan en lo que se denomina el módulo solar o fotovoltaico, Figura 28. Este conjunto de celdas deben estar convenientemente conectadas, de tal forma que reúnan las condiciones óptimas para su integración en sistemas de generación de energía, siendo compatibles con las necesidades y los equipos estándares existentes en el mercado. Las celdas se pueden conectar en serie o en paralelo. Comercialmente, las celdas solares se conectan en serie, se agrupan, se enlaminan y se empaquetan entre hojas de plástico y vidrio, formando la unidad del módulo solar. El módulo tiene un marco (usualmente de aluminio) que le da rigidez y facilidad en el manejo y transportación.

Además, en éste se encuentran las cajas de conexiones eléctricas para conectar el cableado exterior.

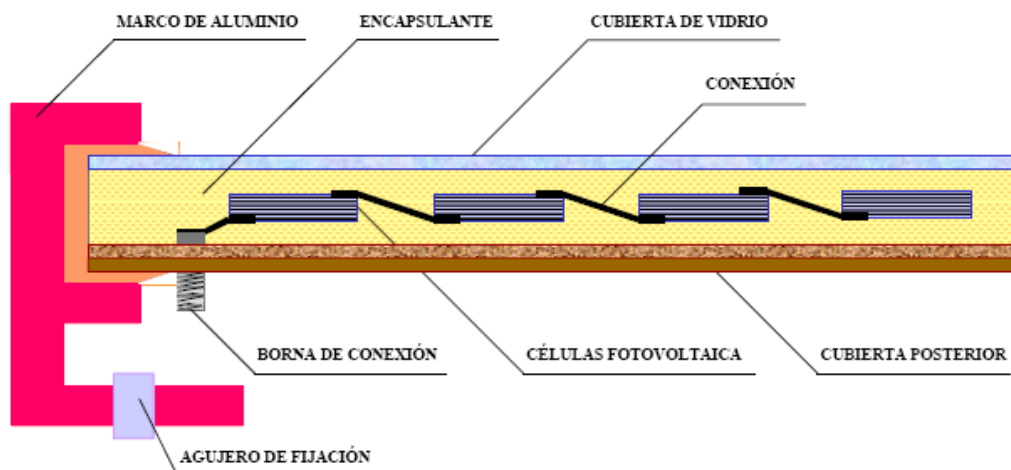


Figura 28 Corte transversal de un panel fotovoltaico

El número de celdas que contienen los módulos depende de la aplicación para la que se necesite. Es costumbre configurar el número de celdas conectadas en serie para tener módulos que sirvan para cargar acumuladores (o baterías) de 12 Volts. Se pueden encontrar módulos de 30, 33 y 36 celdas, Figura 29, conectadas en serie disponibles comercialmente. Estos módulos proporcionan un voltaje de salida que sirve para cargar baterías a 12 Volts más un voltaje extra que sirve para compensar las caídas de tensión en los circuitos eléctricos así como en los sistemas de control y manejo de energía.

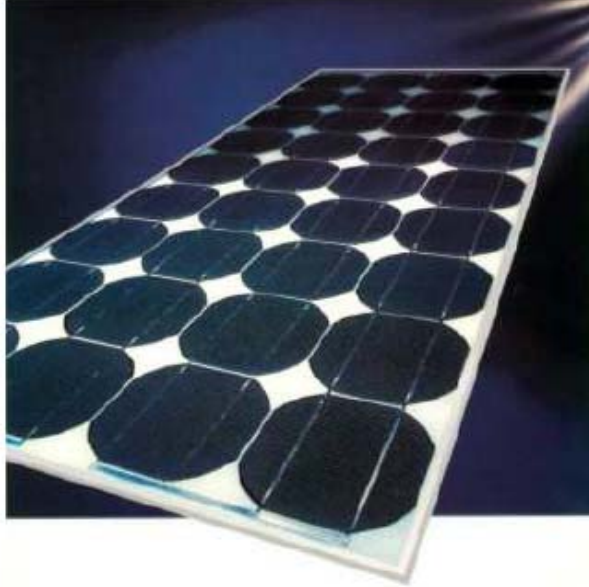


Figura 29 Panel fotovoltaico

El comportamiento eléctrico de los módulos está dado por las curvas de corriente contra voltaje (curva I vs V) o potencia contra voltaje (curva P vs. V) que los caracteriza. La curva de potencia se genera multiplicando la corriente y el voltaje en cada punto de la curva I vs. V . La Figura 30 muestra curvas I vs. V y P vs. V para un módulo fotovoltaico típico.

Bajo condiciones estándares de prueba cada modelo de módulo tiene una curva I vs. V característica (o P vs. V).

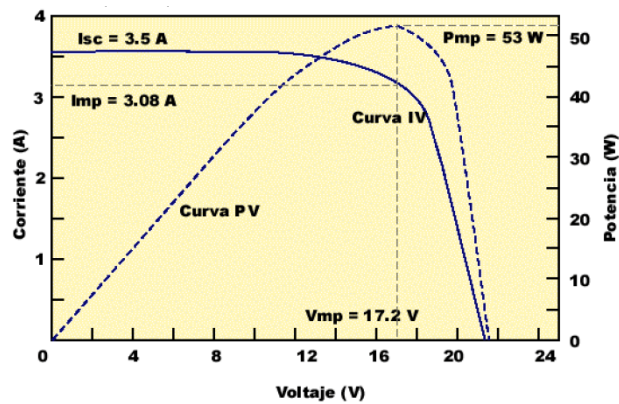


Figura 30. Curva I vs V y P vs V para un módulo fotovoltaico típico a $1,000 \text{ W/m}^2$ y 25°C

En la curva de potencia contra voltaje, existe un valor de voltaje, el V_p para el cual la potencia es máxima. La potencia máxima del módulo se le simboliza por P_p y representa la capacidad nominal de generación o potencia pico del módulo, y con su valor se evalúa la eficiencia de conversión del módulo.

La potencia pico es la potencia de salida, en Watts, que produce un panel fotovoltaico en condiciones de máxima iluminación solar, con una radiación de aproximadamente 1 kW/m^2 (la que se produce en un día soleado al mediodía solar).

La potencia pico queda definida por una pareja de valores de corriente y voltaje, I_p y V_p , los que definen una resistencia de carga R_L . Cuando una carga eléctrica con resistencia R_L se conecta al módulo, la transferencia de energía del módulo a la carga es máxima, y se dice que I_p y V_p corresponden a la corriente y voltaje de operación de la carga eléctrica.

La potencia máxima o tamaño de los módulos comerciales varía entre 25 y 300 Watts. El voltaje V_p de la mayoría de los módulos fluctúa entre los 15 Volts (30 celdas en serie) y 17.5 Volts (36 celdas en serie). Cada módulo tiene en su parte posterior una placa del fabricante con el modelo y las especificaciones eléctricas. Por ejemplo, las características del módulo VLX-53, se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Placa del fabricante de un módulo Solarex VLX-53

Modelo	VLX-53
P_p	53 W
V_p	17.2 V
I_p	3.08 A
V_{ca}	21.5 V
I_{cc}	3.5 A
Condiciones	1000 W/m ² , 25° C

El funcionamiento del módulo fotovoltaico se ve afectado por la intensidad de la radiación y de la temperatura. La Figura 31 muestra el comportamiento de la corriente producida en función del voltaje para diferentes intensidades de la radiación solar. Se presenta un aumento proporcional de la corriente producida con el aumento de la intensidad. También se debe observar que el voltaje a circuito abierto V_{ca} , no cambia lo cual demuestra un comportamiento casi constante a los cambios de iluminación.

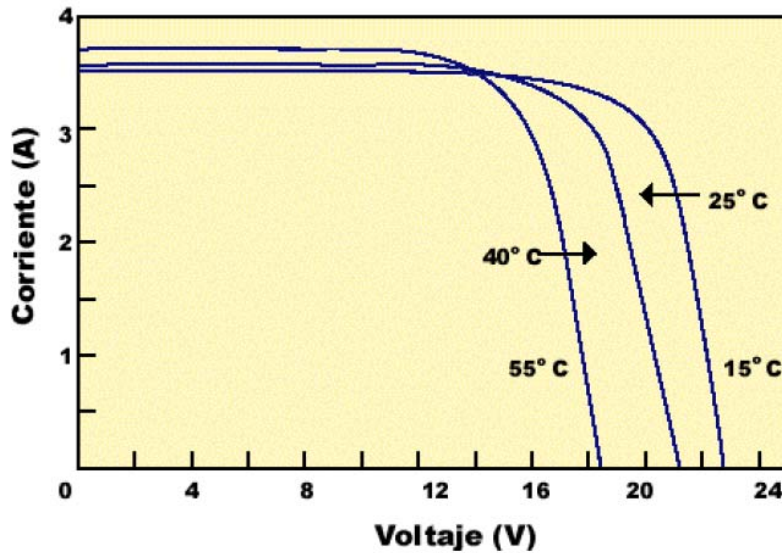


Figura 31. Dependencia de la corriente producida en función del voltaje para diferentes intensidades de radiación (temperatura constante de 25 °C)

En la Figura 32 se muestra el efecto que produce la temperatura sobre la producción de potencia en el módulo. Esta vez, el efecto se manifiesta en el voltaje del módulo. La potencia nominal se reduce aproximadamente 0.5% por cada grado centígrado por encima de 25 °C; es decir, un módulo de 50 W pico bajo condiciones estándares de medición perderá 12.5% de su potencia nominal cuando este operando a 50°C.

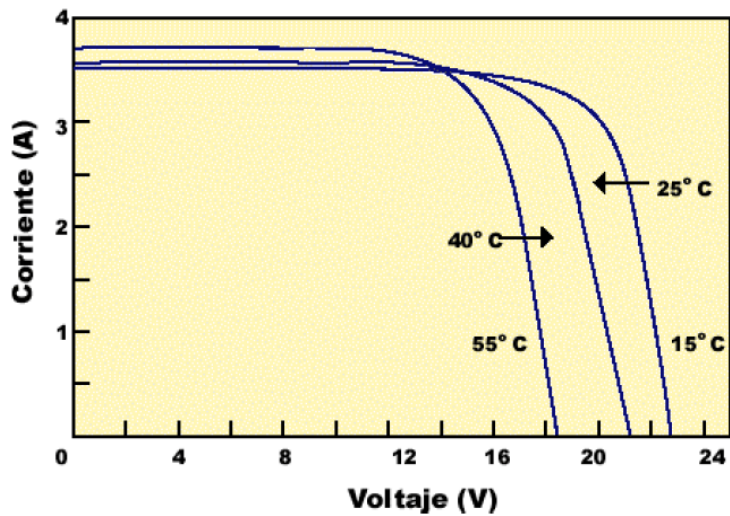


Figura 32. Dependencia de la corriente producida en función del voltaje para diferentes temperaturas de operación (irradiancia constante 1,000 W/m²)

El módulo FV es el componente más confiable del sistema. Es la calidad de la instalación, especialmente las interconexiones entre los módulos, lo que determina la confiabilidad del arreglo FV en su conjunto.

El mejor diseño para un sistema FV es aquel que, incorporando el menor número de paneles y baterías (si se requieren), satisface las condiciones impuestas por la carga eléctrica, con un determinado grado de confiabilidad para el sistema.

Baterías:

El subsistema de almacenamiento está constituido por un conjunto de baterías, la Figura 33 nos muestra los componentes de una batería, la cual permite almacenar la energía excedente generada durante el día por los paneles solares, para poderla utilizar en los momentos de nula o baja radiación solar.

Las características que definen el comportamiento de una batería, son fundamentalmente dos: la capacidad en Amperes hora y la profundidad de la descarga.

-Capacidad en Amperes hora

Los Amperes hora de una batería son simplemente el número de Amperes que proporciona multiplicado por el número de horas durante las que circula esa corriente.

Sirve para determinar, en una instalación fotovoltaica, cuanto tiempo puede funcionar el sistema sin radiación luminosa que recargue las baterías. Esta medida de los días de autonomía es una de las partes importantes en el diseño de la instalación.

Teóricamente, por ejemplo, una batería de 200 Ah puede suministrar 200 A durante una hora, ó 50 A durante 4 horas, ó 4 A durante 50 horas, o 1 A durante 200 horas.

No obstante esto no es exactamente así, puesto que algunas baterías, como las de automoción, están diseñadas para producir descargas rápidas en cortos períodos de tiempo sin dañarse. Sin embargo, no están diseñadas para largos períodos de tiempo de baja descarga. Es por ello que las baterías de automoción no son las más adecuadas para los sistemas fotovoltaicos.

-Profundidad de descarga

La profundidad de descarga es el porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga/descarga.

Las baterías de "ciclo poco profundo" se diseñan para descargas del 10 al 25% de su capacidad total en cada ciclo. La mayoría de las baterías de "ciclo profundo" fabricadas para aplicaciones fotovoltaicas se diseñan para descargas de hasta un 80% de su capacidad, sin dañarse. Los fabricantes de baterías de Níquel-Cadmio aseguran que pueden ser totalmente descargadas sin daño alguno.

La profundidad de la descarga, no obstante, afecta incluso a las baterías de ciclo profundo. Cuanto mayor es la descarga, menor es el número de ciclos de carga que la batería puede tener.

En el mercado podemos encontrar varios tipos de baterías como: plomo-ácido, níquel-cadmio, níquel-hierro, etc.

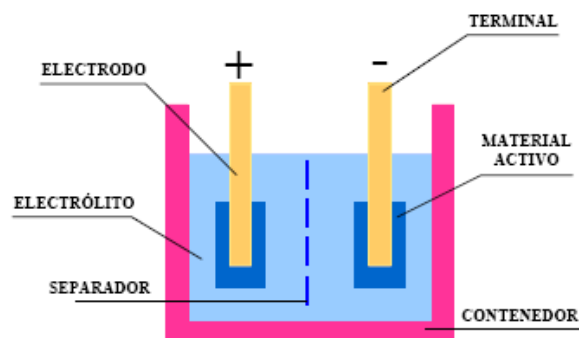


Figura 33 Elementos principales de una batería.

Baterías Plomo-Acido.

Las baterías a utilizar pueden ser de Pb-Acido. Estas baterías se componen de varias placas de plomo en una solución de ácido sulfúrico. La placa consiste en una rejilla de

aleación de Plomo con una pasta de óxido de Plomo incrustada sobre la rejilla. La solución de ácido sulfúrico y agua se denomina electrolito.

El material de la rejilla es una aleación de Plomo porque el Plomo puro es un material físicamente débil, y podría quebrarse durante el transporte y servicio de la batería. Normalmente la aleación es de Plomo con un 2-6% de Antimonio. Cuanto menor es el contenido en Antimonio, menos resistente será la batería durante el proceso de carga. La menor cantidad de Antimonio reduce la producción de Hidrógeno y Oxígeno durante la carga, y por tanto el consumo de agua. Por otra parte, una mayor proporción de Antimonio permite descargas más profundas sin dañar las placas, lo que implica una mayor duración de vida de las baterías. Estas baterías de Plomo-Antimonio son del tipo de "ciclo profundo".

Las placas positiva y negativa están inmersas en una solución de ácido sulfúrico y son sometidas a una carga de "formación" por parte del fabricante. La dirección de esta carga da lugar a que la pasta sobre la rejilla de las placas positivas se transforme en dióxido de Plomo. La pasta de las placas negativas se transforman en Plomo esponjoso. Ambos materiales son altamente porosos, permitiendo que la solución de ácido sulfúrico penetre libremente en las placas.

Un grupo de placas positivas y negativas, con separadores, constituyen un "elemento". Un elemento en un contenedor inmerso en un electrolito constituye una "celda" de batería. Placas más grandes, o un mayor número de ellas, suponen una mayor cantidad de Amperios hora que la batería puede suministrar. Independientemente del tamaño de las placas, una celda suministrará sólo una tensión nominal de 2 voltios (para Plomo-

ácido). Una batería está constituida por varias celdas o elementos conectados en serie, interna o externamente, para incrementar el voltaje a unos valores normales a las aplicaciones eléctricas. Por ello, una batería de 6 V se compone de tres celdas, y una de 12 V de 6 celdas.

Las placas positivas por un lado, y las negativas por otro, se interconectan mediante terminales externas en la parte superior de la batería.

Baterías de Níquel-Cadmio.

Las baterías de Níquel-Cadmio tienen una estructura física similar a las de Plomo-ácido. En lugar de Plomo, se utiliza hidróxido de Níquel para las placas positivas y para las negativas se utiliza óxido de Cadmio. El electrolito es hidróxido de Potasio.

El voltaje nominal de un elemento de batería de Ni-Cd es de 1.2 V, en lugar de los 2 V de los elementos de batería de Plomo-ácido.

Las baterías de Ni-Cd aguantan procesos de congelación y descongelación sin ningún efecto sobre su comportamiento. Las altas temperaturas tienen menos incidencia que en las de Plomo-ácido. Los valores de autodescarga oscilan entre 3 y 6% al mes. Les afectan menos las sobrecargas. Pueden descargarse totalmente sin sufrir daños. No tienen peligro de sulfatación. Su capacidad para aceptar un ciclo de carga es independiente de la temperatura.

El costo de una batería de Ni-Cd es mucho más elevado que el de una de Plomo-ácido; no obstante tiene un mantenimiento más bajo y una vida más larga. Esto las hace aconsejables para lugares aislados o de acceso peligroso.

Las baterías de Ni-Cd no pueden probarse con la misma fiabilidad que las de Plomo-ácido. Por tanto, si es necesario controlar el estado de carga, las baterías de Ni-Cd no son la mejor opción.

El Ni-Cd presenta el llamado "efecto memoria": la batería "recuerda" la profundidad de descarga y reduce su capacidad efectiva. Esto se debe a que el compuesto químico que se forma en una placa cargada tiende a cristalizar, por lo que si se le deja el tiempo suficiente queda inutilizada, perdiéndose capacidad. Este proceso no es irreversible pero si de difícil reversión. Si el mercado local sólo ofrece baterías de Pb-ácido con electrolito líquido, éstas deberán ser colocadas dentro de un cobertizo con buena aislamiento ambiental. La Tabla 13 resume las características de dos modelos, uno de 6V, el otro de 12V.

Tabla 13. Baterías de Pb-ácido con electrolito líquido

	6V	12V
Ah	217	117
Wh	1.302	1.404

Puede observarse que para un grado de confiabilidad del 100% el número de baterías continúa siendo el mismo (2), independientemente del voltaje elegido. El uso de una sola batería de 12V (PD del 80%) aumenta el grado de confiabilidad al 99% (1.123/1.135).

El costo de una batería de electrolito líquido es menor que la del tipo hermético, sin embargo esta última requiere un lugar térmicamente aislado, con ventilación al exterior,

en lugar de una doble caja con aislamiento. Estos costos, así como otros factores (seguridad) deben ser estimados y comparados al elegir un modelo en particular.

Las baterías pueden conectarse en serie para incrementar el voltaje, o en paralelo para incrementar la capacidad en Amperios hora del sistema de acumulación. Al conectar en serie/paralelo se incrementan tanto el voltaje como la capacidad.

Inversores.

Los inversores, Figura 34, transforman la corriente continua en corriente alterna. La corriente continua produce un flujo de corriente en una sola dirección, mientras que la corriente alterna cambia rápidamente la dirección del flujo de corriente de una parte a otra. La frecuencia de la corriente alterna en México es de 50 ciclos normalmente. Cada ciclo incluye el movimiento de la corriente primero en una dirección y luego en otra. Esto significa que la dirección de la corriente cambia 100 veces por segundo.



Figura 34. Inversor

La corriente alterna suministrada por una compañía eléctrica o por un generador diesel o gasolina es (o debería ser) como la que se muestra en la figura en color negro. Los

cambios en la magnitud de la tensión siguen una ley senoidal, de forma que la corriente también es una onda senoidal.

La conversión de corriente continua en alterna puede realizarse de diversas formas. La mejor manera depende de cuanto ha de parecerse a la onda senoidal ideal para realizar un funcionamiento adecuado de la carga de corriente alterna.

Inversores de onda cuadrada: La mayoría de los inversores funcionan haciendo pasar la corriente continua a través de un transformador, primero en una dirección y luego en otra. El dispositivo de conmutación que cambia la dirección de la corriente debe actuar con rapidez. A medida que la corriente pasa a través de la cara primaria del transformador, la polaridad cambia 100 veces cada segundo. Como consecuencia, la corriente que sale del secundario del transformador va alternándose, en una frecuencia de 50 ciclos completos por segundo. La dirección del flujo de corriente a través de la cara primaria del transformador se cambia muy bruscamente, de manera que la forma de onda del secundario es "cuadrada".

Los inversores de onda cuadrada son más baratos, pero normalmente son, también, los menos eficientes. Producen demasiados armónicos que generan interferencias (ruidos). No son aptos para motores de inducción. Si se desea corriente alterna únicamente para alimentar un televisor, un ordenador o un aparato eléctrico pequeño, se puede utilizar este tipo de inversor. La potencia de éste dependerá de la potencia nominal del aparato en cuestión (para un TV de 19" es suficiente un inversor de 200 W).

Los Inversores de onda senoidal modificada: son más sofisticados y caros, y utilizan técnicas de modulación de ancho de impulso. El ancho de la onda es modificada para

acercarla lo más posible a una onda senoidal. La salida no es todavía una auténtica onda senoidal, pero está bastante próxima. El contenido de armónicos es menor que en la onda cuadrada. En el gráfico se representa en color azul. Son los que mejor relación calidad/precio ofrecen para la conexión de iluminación, televisión o variadores de frecuencia.

Inversores de onda senoidal: Con una electrónica más elaborada se puede conseguir una onda senoidal pura. Hasta hace poco tiempo estos inversores eran grandes y caros, además de ser poco eficientes (a veces sólo un 40% de eficiencia). Ultimamente se han desarrollado nuevos inversores senoidales con una eficiencia del 90% o más, dependiendo de la potencia. La incorporación de microprocesadores de última generación permite aumentar las prestaciones de los inversores con servicios de valor añadido como telecontrol, contaje de energía consumida, selección de batería. Sin embargo su costo es mayor que el de los inversores menos sofisticados.

Puesto que sólo los motores de inducción y los más sofisticados aparatos o cargas requieren una forma de onda senoidal pura, normalmente es preferible utilizar inversores menos caros y más eficientes. Dentro de poco tiempo el costo de los inversores senoidales se acercará al de los otros, popularizándose su instalación.

Vida útil de un panel solar fotovoltaico.

Teniendo en cuenta que el panel carece de partes móviles y que las células y los contactos van encapsulados en una robusta resina sintética, se consigue una muy buena fiabilidad junto con una larga vida útil, del orden de 30 años o más. Además si

una de las células falla, esto no afecta al funcionamiento de las demás, y la intensidad y voltaje producidos pueden ser fácilmente ajustados añadiendo o suprimiendo células.

Por otro lado, Los paneles van protegidos en su cara exterior con vidrio templado, que permite aguantar condiciones meteorológicas muy duras tales como el hielo, la abrasión, cambios bruscos de temperatura, o los impactos producidos por el granizo. Una prueba estándar para su homologación consiste en lanzar (con un cañon neumático) una bola de hielo de dimensiones y consistencia preestablecidas al centro del cristal.

Mantenimiento de un sistema fotovoltaico.

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 o 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 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.

- Acumulador: es el elemento de la instalación que requiere una mayor atención; de su uso correcto y buen mantenimiento dependerá en gran medida su duración. Las operaciones usuales que deben realizarse son las siguientes:

- Comprobación del nivel del electrolito (cada 6 meses aproximadamente): debe mantenerse dentro del margen comprendido entre las marcas de "Máximo" y "Mínimo". Si no existen estas marcas, el nivel correcto del electrolito es de 20 mm por encima del protector de separadores. Si se observa un nivel inferior en alguno de los elementos, se deben rellenar con agua destilada o desmineralizada. No debe rellenarse nunca con ácido sulfúrico.

- Al realizar la operación anterior debe comprobarse también el estado de los terminales de la batería; debe limpiarse de posibles depósitos de sulfato y cubrir con vaselina neutra todas las conexiones.

- Medida de la densidad del electrolito (si se dispone de un densímetro): con el acumulador totalmente cargado, debe ser de 1,240 +/- 0,01 a 20 grados centígrados. Las densidades deben ser similares en todos los vasos. Diferencias importantes en un elemento es señal de posible avería.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL MÉTODO

3.1 Resultados esperados.

Con este trabajo se pretenden determinar los siguientes parámetros:

- Gasto volumétrico más adecuado del sistema
- Cantidad de antracita, arena, gravilla y carbón a alimentar por lecho.
- Dimensiones del sistema purificador
- composición del afluente (agua de canal contaminada).
- Determinación del efluente (agua tratada) límites permitidos
- Determinar el pH que funciona mejor con el GAC
- Registrar la presión de operación a la entrada y salida del sistema
- Establecer los parámetros óptimos de la bomba.
- Establecer la insolación máxima y la inclinación de los paneles solares.
- Determinar el número de paneles solares, baterías de recarga e inversor requeridos para el sistema más económicamente factible.
- Determinar la eficiencia del sistema de purificación de agua
- Cantidad de sustancias químicas necesarias para eliminar las sustancias coloidales del agua de canal .

3.2 Caracterización del agua.

Determinación de parámetros más importantes

Los resultados de las pruebas iniciales para caracterizar el agua de canal del proyecto realizadas en los laboratorios de química del Instituto Tecnológico de Mexicali (por la Química Lidia Toscano Palomar) basada en las técnicas de la NOM-127-SSA-1994, se muestran en la Tabla 14.

Fecha de Muestreo: 19 de Octubre, 2006
Muestra Simple: Agua de canal Ej. Chihuahua
Solicito : Ing. Sara Rebeca Villarreal S.

Tabla 14. Caracterización de una muestra de Agua.

pH	7.8
Turbiedad	3.2 NTU
Sólidos disueltos totales	1620 ppm
Sólidos Suspendidos	588 ppm
Sólidos Disueltos	1032 ppm
Conductividad	350 mmhos/cm
Dureza	292 ppm
DQO	180 ppm
DBO (5 días)	33 ppm
Coliformes Totales	25 000 colonias/100 ml.

3.3 Sistema de lechos granulares

3.3.1. Dimensionamiento del sistema de lechos granulares.

Construcción del prototipo

Se requiere:

- 1) Establecer el caudal requerido para alimentar a las familias de la zona rural.
- 2) Establecer las dimensiones de los filtros en base a los parámetros recomendados por la literatura, para dar una capacidad igual a la requerida

- 3) Establecer el gasto requerido en cada uno de los lechos así como el del sistema de retro lavado.
- 4) Definir las dimensiones del tanque coagulador, el tanque de agua a la salida del lecho de carbón activado, el tanque para el drenaje de la osmosis inversa, y el tanque de agua purificada.
- 5) Determinar las pérdidas en el sistema de lavado, y por tanto la potencia de la bomba para lavar los lechos.
- 6) Construir el prototipo
- 7) Probar el sistema para observar el funcionamiento hidráulico general del equipo.
- 8) Determinar la cantidad de sulfato de aluminio a alimentar al tanque de coagulación.
- 9) Establecer el tiempo de agitación y reposo del sistema de coagulación, así como la altura de la canaleta de descarga del agua tratada en este sistema.
- 10) Determinar la potencia de la bomba de alimentación al tanque de coagulación y el tiempo de llenado, en base al consumo requerido por el sistema de filtración

Cálculo del gasto requerido. Se establece un gasto volumétrico inicial de 1.8 gal/min de entrada a los lechos granulares y da alimentación al tanque de almacenamiento de agua filtrada. El gasto de la bomba de alimentación a la membrana se establece de 1.8 gal/min, para dar un gasto de salida de la membrana de osmosis inversa de 0.05 gal/min para el sistema purificador de agua de lechos granulares. Para este trabajo se considera una operación diaria de 10 horas, en las horas de luz solar en cualquier época del año, que son de las 7 AM a las 5 PM., lo que resulta en 113.0 litros/día. Para un consumo humano de agua mínimo de 2 litros por persona considerando

asentamientos rurales de 4 integrantes por familia, se tiene que se pueden abastecer 14 familias.

Dimensiones de los filtros: El prototipo de lechos granulares consta de un tanque de coagulación de 55 gal, una bomba de agua de 12 VCD, de 1.8 gal/min y una presión de hasta 100 psi, un tanque receptor de agua pre-purificada de 55 galones, un filtro en etapas con lechos de antracita, arena y gravilla con una altura total del lecho de 1.2 m x 0.203 m de diámetro y carbón activado de 1.0 m x 0.203 m de diámetro; el lecho granular tiene una altura de 40 cm para la antracita con una densidad relativa de 1.6, un tamaño efectivo de 3.0 mm, 30 cm para la arena con una densidad relativa de 2.5 y tamaño efectivo de 0.5 mm y 45 cm para la gravilla con una densidad relativa de 5.0 y un tamaño efectivo de 6.0 mm. El filtro de carbón activado tiene una altura real de 1.2 m, y una altura de lecho granular de 1 m. También se tiene un filtro pulidor de 10 “ y 1 micra, una membranas de ósmosis inversa 2.5”x21” para 100 psi, y una lámpara con luz ultravioleta de 12 Watts en funda de cuarzo con un balastro de 12 V.

Otro factor a considerar es el de las dimensiones de los lechos. En la práctica se recomienda 1 pie³ de Carbón Activado el cual equivale a 33 lbs, y 1 pie³ de medio filtrante a base de arena #40, antracita y gravilla de 1/8” x 1/4” c/u que equivale a 33 lbs. en el volumen indicado.

Materiales de construcción de los lechos granulares. Se utilizó en un inicio fibra de vidrio para los cuerpos de los filtros, pero al realizar las pruebas hidráulicas se encontró que no sellaban correctamente las uniones de los cuerpos por las irregularidades

presentadas al trabajar con esta fibra, Figuras 47, 48, 49, 50, 51 y 52). Por lo anterior se utilizó PVC para hacer los cuerpos de los filtros, Figuras 53, 54, 55, 56, 57 y 58.

La tubería y accesorios tales como tes, codos, válvulas de mariposa son de PVC de ½” de diámetro.

Se construyeron 2 lechos, uno de carbón activado y un lecho combinado de antracita, arena y gravilla.

Determinación de la potencia de la bomba para el sistema de osmosis inversa.

De acuerdo con las membranas de osmosis inversa existentes en el mercado para un gasto de entrada a la membrana de 1.8 gal/min se requiere una presión de la bomba de 100 psi y se obtiene un agua purificada de 0.05 gal/min.

Cálculo de la potencia de la bomba del sistema de lavado

Las pérdidas de carga durante el lavado para el sistema antracita-arena-grava se calculan a partir de la ecuación (12):

$$H=h_1 + h_2 + h_3 \quad (12)$$

Siendo h_1 igual a las pérdidas a través del lecho expandido, para cada material filtrante, y se determina por la ecuación (13):

$$h_1 = L(1-e)(Ss-1) \quad (13)$$

Donde:

L= altura del medio filtrante

e= Porosidad del medio filtrante

Ss= densidad relativa del medio filtrante.

Por lo que las pérdidas del lecho expandido son:

$$H_{1an}=.45 (1-0.4)(1.6-1)= 0.162 \text{ m}$$

$$H_{1ar} = .3 (1-0.4)(2.5-1) = 0.27 \text{ m}$$

$$H_{1g} = .45(1-0.4)(5.0-1) = 1.08 \text{ m}$$

Y de la ecuación (12):

$$H_{1t} = 0.162 + 0.27 + 1.08 = 1.512 \text{ m}$$

b) Las pérdidas del lecho poroso sin expandir se determinan por la ecuación 14:

$$H_2 = v_b L/3 \quad (14)$$

Donde:

v_b = velocidad de lavado en m/min

L = Altura del lecho granular en m

Por tanto:

$$H_2 = (1.5 \text{ m /min} \times 1.2 \text{ m}) / (3 \times 60 \text{ seg/min}) = 0.01 \text{ m}$$

c) Y de la ecuación (15) se pueden calcular las pérdidas de carga por la tubería, las válvulas, los accesorios, etc.

$$H_3 = (f L / (D \cdot 2g)) \{ (4A v_b) / \pi \cdot D \}^2 \quad (15)$$

Para

g = aceleración de la gravedad, m/s²

f = factor de fricción

L = longitud equivalente de la tubería de lavado, m

D = Diámetro de la tubería, m

A = Area del lecho filtrante, m²

v_b = Velocidad de lavado en m/s

Donde f se determina de gráficas a partir del No. de Reynolds (NRe) y la longitud equivalente. Por tanto si se tienen:

6 codos de 1/2" x 90 grados → 6 x 32 = 192

1 Te de 1/2" → 1 x 90 = 90

2 válvulas globo de 1/2" → 2 x 300 = 600

Total de accesorios = 192 + 90 + 600 = 882

Long. Equivalente = 2.5 m + 882 = 884.5 m

Y

$$NRe = 0.5 \times 2.54 \times 1.1 \times 1.5 \times 100 / .01 = 20955.0$$

De gráficas con NRe, se obtiene f = .00025, por lo que de la ecuación (15):

$$H_3 = \left\{ \frac{.00025 \cdot 884.5}{.5 \cdot .0254 \cdot 9.8} \right\} \left\{ \frac{4 \cdot .0081 \cdot 1.5}{(3.1416 \cdot .5 \cdot .0254)} \right\}$$

$$H_3 = 2.14 \text{ m}$$

Y de la ecuación (12):

$$H = 1.512 \text{ m} + 0.01 \text{ m} + 2.14 \text{ m} = 3.66 \text{ m}$$

Para la potencia de la bomba tenemos:

$$\text{Potencia} = G \times H / 60 \times \eta \quad (16)$$

Donde

G= gasto volumétrico en m³/h

H= pérdidas de carga en KN/m²

γ = gravedad específica del agua

η = eficiencia de la bomba

Si

$$H = 3.66 \text{ m} \rightarrow 3,586 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Potencia} = \frac{1.8 \text{ gal/min} \cdot 3.785 \text{ lxm}^3 \cdot 60 \text{ min} \cdot 3.586 \text{ KN}}{1000 \text{ l} \cdot 60 \cdot \text{hr} \cdot 0.80 \text{ M}^2} = 0.03 \text{ KW}$$

$$= 30.53 \text{ W} = .04 \text{ Hp}$$

Por lo que podemos observar que la potencia requerida de la bomba se debe basar en los requerimientos de gasto y presión para la osmosis inversa y no para el sistema de lavado.

3.3.2 Construcción del prototipo

Proceso de producción de agua purificada para consumo humano.

En la Figura 40 se muestra el prototipo y el recorrido del agua de canal desde que ingresa al tanque de coagulación hasta que sale purificada de la lámpara de luz ultravioleta.

El proceso detallado es el siguiente: el agua del sistema de distribución municipal se coloca en un tambo con un filtro tipo cedazo, para retener partículas grandes que

puedan dificultar el trabajo de la bomba. Se enciende la bomba de suministro de agua de canal al tanque coagulador, en donde se agrega el coagulante, se agita 30 seg y se reposa durante 30 min. Posteriormente se abre la válvula de alimentación de agua clarificada al sistema de filtros granulares.

A la salida de los filtros el agua es almacenada en un tanque para permitir una presión de agua constante a la bomba de alimentación de agua a la membrana de osmosis inversa. Una vez que el agua se encuentra en una altura determinada, se enciende la bomba y se arranca el proceso de purificación por la membrana de osmosis inversa y luz ultravioleta.

Antes de entrar el agua filtrada a la bomba, esta agua pasa por el filtro pulidor cuya función es retener cualquier partícula de carbón que pueda llevar el agua y evitar que éstas lleguen a la bomba y a la membrana, de este filtro pulidor entra el agua a la bomba para ser enviada a la membrana de ósmosis inversa. En esta membrana se regula su presión interna por medio de un regulador.

Una vez que el agua sale de la membrana pasa por el conducto donde se encuentra la lámpara de luz ultravioleta para terminar el proceso de purificación del agua. Tanto la membrana de osmosis inversa como el filtro pulidor son de tamaño comercial en la especificación requerida de acuerdo al gasto volumétrico establecido.

3.3.3 Corridas de prueba del prototipo (Tabla 15):

Se realizo el siguiente procedimiento:

3.3.3.1 Ajuste de la posición de las válvulas de alimentación y salida del agua contaminada y tratada respectivamente, en el sistema de coagulación.

3.3.3.2 Ajuste de la posición de las válvulas de alimentación y salida de cada lecho a fin de alcanzar el equilibrio en el lecho, gasto de entrada = gasto de salida, y se midió el gasto volumétrico a la salida de cada lecho.

3.3.3.3 Se midió el gasto volumétrico de salida en la osmosis inversa, del agua purificada

3.3.3.4 Se midió el gasto volumétrico de salida del agua de drenaje de la ósmosis inversa.

Tabla 15 Corridas de Prueba

Filtro Antracita-arena-gravilla	D cm	H m	Pr	TE mm	
Lecho total	20.32	1.20			
Antracita		0.40	1.6	3.0	
Arena		0.30	2.5	0.5	
Gravilla		0.45	5.0	6.0	
a) salida del filtro de antracita-arena y gravilla		Lectura		prom	Prom
	1	2	3	4	
tiempo en seg	2,09	1,75	2,7	1,96	
volumen en ml	40	50	50	45	
gasto (ml/seg)	19,14	28,6	18,5	22,959	
gasto (gal/min)	0,303	0,45	0,29	0,364	0,37
área (m ²)	.0081				
v (m/h)	10,38				
v (m/día)	249,1				
Filtro de Carbón activado					
Diámetro (cm)	20.32				
altura del lecho (m) para 1 pie ³	1,067				
b) Salida del Filtro de Carbón Activado		Lectura		prom	Prom
	1	2	3	4	
tiempo en seg	1.81	1,75	2,09	2,22	
volumen en ml	50	50	50	50	
gasto (ml/seg)	27.62	28,6	23,9	26.71	
gasto (gal/min)	0.438	0,45	0,38	0,357	0.4062
no.garrafrones por día	41.43				
área del tanque de filtración (m ²)	.0081				
v (m/h)	8,34				

v (m/día)	200,1				
Osmosis Inversa			membrana		
c) Salida de la Osmosis inversa		Lectura			Prom
(membrana de 600 gpd)	1	2	3	4	
volumen (ml)	145	147	131	130	
Tiempo (seg)	6	6	5	5	
gasto (ml/seg)	24.2	24.5	26.2	26	
gasto (gpm)	0,383	0,388	0.415	0,41	.412
prod. diaria de agua, gpd	209				
no.garrafones por 8.5 hs	42				
presión a la salida de la bomba (psi)	85	85	100	100	100
en psi					
d) Salida del agua de drenaje		Lectura			Prom
	1	2	3	4	1
volumen (ml)	100	95	110	140	43
Tiempo (seg)	3	3	3	4	5
gasto (ml/seg)	33.3	31.7	36.6	35	8.6
gasto total drenaje gal/min	0.528	0.50	0.58	0.55	0.565
Presión en Psi	85	85	100	100	100
Total drenaje + producto					0.98
Eficiencia del sistema	42%				
Retro lavado					
c) Salida del filtro de carbón activado		Lectura			Prom
	1	2	3	4	
Volumen (ml)	47	40	41	40	
Tiempo (seg)	0,68	1	0,81	0,95	
gasto (ml/seg)	69,12	40	50,6	42,11	50,46
gasto (gal/min)	1,1	0,63	0,8	0,67	0,8
área del tanque de filtración (m2)	.0081				
v (m/h)	22,43				
v (m/día)	538,2				

En base a las lecturas de los manómetros determinar la pérdida de carga real del sistema agua filtrada-osmosis inversa.

3.3.4 Determinación de la conductividad del agua purificada.

Se midió la conductividad a la salida de la lámpara uv con un conductímetro portátil y se obtuvo una lectura de 95 ppm.

3.3.5 Mantenimiento de los filtros y lámpara de luz UV:

Repuestos de Filtros:

Se recomienda reemplazar los elementos de filtro de acuerdo a la siguiente Tabla 16:

Tabla 16. Períodos de Mantenimiento de Filtros

Descripción	3 Meses	6 Meses	1 Año
Filtro fibra poliéster	x		
Carbón Activado		X	
Membrana			X
Lámpara UV			X

3.4 Sistema de energía solar

3.4.1 Secuencia de diseño del sistema fotovoltaico

Para realizar el diseño del sistema fotovoltaico se requiere:

- 1) Determinación de los datos de la localidad en donde se desea instalar el prototipo. Estos datos incluyen la latitud, la altura sobre el nivel del mar, uso del equipo, diario, mensual, anual; horas de uso.
- 2) Estimación de la carga. En esta etapa se establece la carga requerida por cada uno de los equipos que serán accionados con energía fotovoltaica.
- 3) Determinar la potencia suministrada por los paneles solares en base a la irradiación recibida por el sol en un plano inclinado en 3 posiciones.
- 4) Determinación de la potencia máxima. Selección del panel fotovoltaico. No. de paneles.
- 5) Determinación del banco de baterías.
- 6) Selección del inversor.

A continuación se detalla cada uno de estos procedimientos que se siguieron.

3.4.2 Metodología para dimensionar el sistema de suministro de energía

La Figura 34 muestra el procedimiento para dimensionar el sistema de suministro de carga.

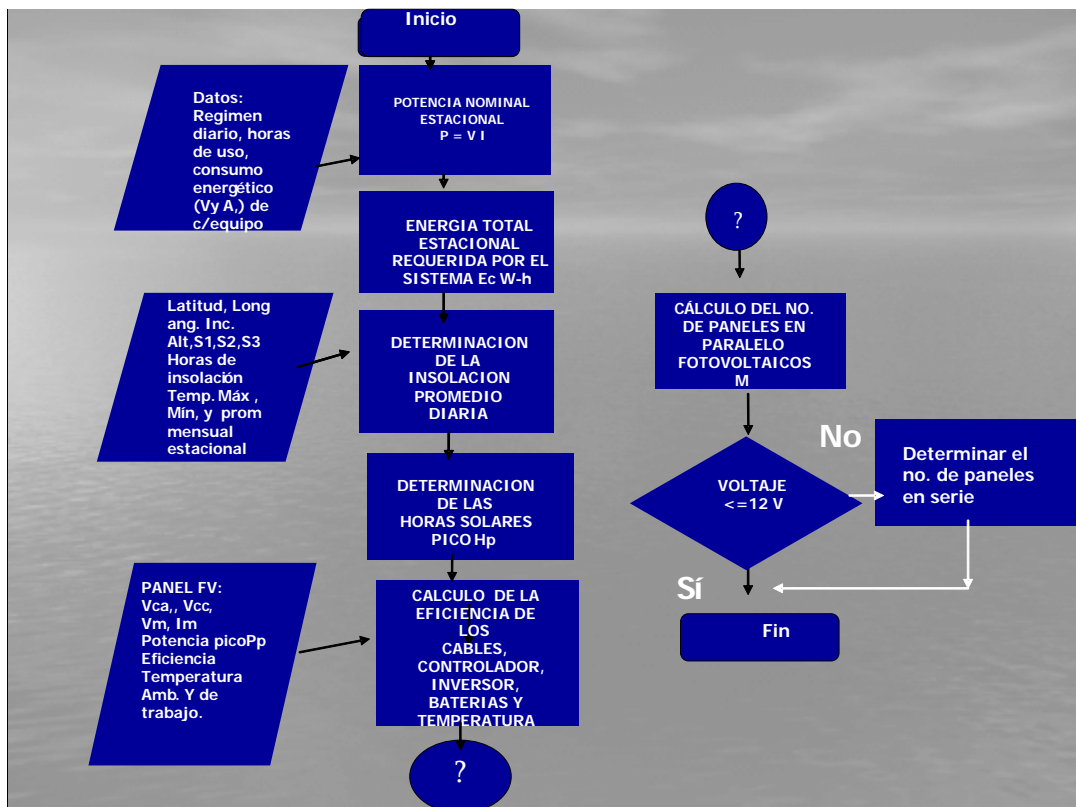


Figura 35. Algoritmo de cálculo del número de paneles fotovoltaicos.

3.4.3 Paneles Solares

Estimacion de la energía total estacional requerida por el sistema

Cuando la carga es intermitente, la evaluación de la energía a consumirse implica la duración del período promedio activo y el número de tales periodos durante el tiempo

considerado (noche, día, etc.). El valor del consumo más desfavorable es siempre un valor estacional, ya que el tiempo de uso varía entre el verano y el invierno.

Insolación promedio diaria y horas solares pico.

Para seguir el movimiento anual de la trayectoria solar en la dirección norte-sur, se requiere el ajuste de dos ángulos del arreglo: el azimut (Φ) que sigue el movimiento diario del sol de este a oeste, y el ángulo de elevación (θ), Figura 24. Así, para que el arreglo fotovoltaico siga al sol se necesita de estructuras de montaje que estén diseñadas para tal propósito.

De los datos de la insolación en el plano horizontal, se puede estimar el valor de la insolación a un azimut y elevación determinado. Existen tablas y mapas de insolación horizontal para diferentes regiones y épocas del año provenientes de varias fuentes. Dependiendo de la latitud del lugar, los seguidores azimutales pueden incrementar la insolación, por lo que es necesario conocer los datos de insolación y clima de la locación. El Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California cuenta con una metodología basada en el modelo de Liu-Jordan para conocer la insolación promedio diaria sobre un plano inclinado en una localidad determinada. Basados en las ecuaciones (17, 18 y 19):

$$S1 = \text{inclinación durante 4 meses entre el término} \quad (17)$$

del invierno y el inicio del verano = latitud (Φ)

$$S2 = \text{inclinación durante 4 meses de invierno iniciando en} \quad (18)$$

el solsticio de invierno el 21 de Diciembre = latitud ($\Phi + \Phi/2$)

S3= inclinación durante 4 meses del verano iniciando en el solsticio de verano el 21 de Junio= latitud ($\Phi - \Phi/2$) (19)

Determinación de los datos de la localidad en donde se desea instalar el equipo

Estos datos incluyen la latitud, la altura sobre el nivel del mar, uso del equipo, diario, mensual, anual; horas de uso. De la base de datos de archivos del Instituto de Ingeniería, en la tabla 17, se muestran los datos geográficos para Mexicali, B.Cfa.

Tabla 17. Datos geográficos de Mexicali, Baja California, México.

CIUDAD	MEXICALI, B.C.	
Latitud	32.48	°N
Longitud	115.5	°W
Altura	4	M.S.N.M.
Altura solar max. Anual	80.62	Grados
Altura solar min. Anual	34.42	Grados

Y cuyos resultados, del programa en EXCEL (Tablas 18 y 19) son los que se enumeran a continuación:

Día solar promedio:

Invierno: 11 h

Verano: 11.5 h

Tabla 18. Insolación e irradiación promedio diaria en Mexicali.

Mes	prom.	horas de insolación			dia prom.	irradiación global diaria mj/m ² dia		
		para s1	para s2	Para s3		s1	s2	s3
Enero	17	12.0	12.85	11.15	17	24.64	27.1	20.46
Febrero	16	12.0	12.51	11.49	16	21.64	22.56	19.33
Marzo	16	12.0	12.09	11.91	16	20.91	20.5	20.05
Abril	15	12.0	11.63	12.37	15	20.05	18.41	20.59
Mayo	15	12.0	11.24	12.76	15	21.68	18.89	23.4
Junio	11	12.0	11.05	12.95	11	22.54	19.11	24.96
Julio	17	12.0	11.14	12.86	17	22.18	19.04	24.28
Agosto	16	12.0	11.47	12.53	16	20.93	18.79	21.95

Septiembre	15	12.0	11.91	12.09	15	24.41	23.36	23.94
Octubre	15	12.0	12.38	11.62	15	26.66	27.52	24.02
Noviembre	14	12.0	12.76	11.24	14	25.8	28.12	21.68
Diciembre	10	12.0	12.95	11.05	10	24.31	27.09	19.83
SUMA		144.00	143.99	144.01	177	275.74	270.49	264.5
MAX.		12.00	11.05	11.05	10	20.05	18.41	19.33
MIN.		12.00	12.95	12.95	17	26.66	28.12	24.96
PROM.		12.00	12.00	12.00	14,75	22.98	22.54	22.04

De acuerdo con los datos anteriores de la irradiación global diaria/m² (Hg,l,d) en Mexicali, considerando el Ejido Chihuahua con los mismos datos de Mexicali, para fines de diseño se consideran los valores mínimos de cada estación considerada:

- Invierno (mes de Abril): 18.41 MJ/m²/día
- Verano (mes de Agosto): 18.79 MJ/m²/día

Tabla 19. Inclinación óptima para dos estaciones del año.

Preferencia anual (s1):	32,48	Grados
Preferencia invierno (s2):	48,72	Grados
Preferencia verano (s3):	16,24	Grados
Reflectividad del suelo:	0,26	Albedo
constante solar (h _{cs}):	4,9212	mj/m ² -hr
ángulo azimutal:	0	Grado

Estimación de la carga. En esta etapa se establece la carga requerida por cada uno de los equipos que serán accionados con energía fotovoltaica.

Cuando la carga permanece conectada sin interrupción, y se conoce su consumo, el cálculo de la energía que ésta ha de consumir se reduce a un simple proceso de multiplicación. Esta situación se presenta cuando una luz, de consumo conocido, es activada durante todo el período de utilización del sistema. Cuando la carga es

intermitente, la evaluación de la energía a consumirse implica la estimación aproximada de dos variables: la duración del período promedio activo y el número de éstos durante el tiempo considerado (noche, día, etc.). El valor del consumo más desfavorable es siempre un valor estacional, ya que el tiempo de uso varía entre el verano y el invierno. En el sistema que nos ocupa, las horas de trabajo son mayores en verano, puesto que en esta temporada se consume más agua, y este sería el caso más desfavorable, mientras que el más favorable sería el invierno que es cuando se consume menos agua.

La carga eléctrica del sistema purificador tiene las siguientes características:

Régimen: Diurno

Uso: Diario, durante todo el año

Carga 1- Motor del sistema de coagulación (12V/8 A) =96 Watts.

Uso diario: 5 min cada 30 min =2 h/día

Carga 2.-Luz Ultravioleta (12 W).

Uso diario: 5.5 h/día (invierno y verano).

Carga 3- Motor de Bomba (12 V x 8.8 A)=105.6 Watts.

Uso diario: 5.5 h/día (invierno y verano).

Energía requerida por la carga

Este procedimiento consiste en convertir los valores de consumo de potencia y las estimaciones de tiempo de uso para cada carga, a un valor energético dado en Watt-hora por día (Wh/d), en verano/invierno, Tabla 20:

Tabla 20. Energía requerida por la carga.

Carga	Potencia (W)	Tiempo (h)	Potencia tiempo/día
1	96.0	2.0	192
2	12.0	5.5	66
3	105.6	5.5	580.8
Total			838.8 (3.02)

$$\text{Este requerimiento de energía equivale a} = \frac{0.705\text{KWh} \times (3.6 \times 10^6) \text{ joul} \times \text{MJ}}{(1 \times 10^6) \text{joul} \text{ día} \quad \text{K Wh}} = 2.54$$

$$= 2.54 \text{ MJ/día}$$

Los valores de insolación corresponden a la inclinación óptima para la locación para ambas estaciones. Ello implica que se usará un soporte ajustable, cuya inclinación se modificará dos veces por año.

Locación geográfica: Norte del Ecuador. Para esta locación los paneles deberán orientarse hacia el sur

Temperatura amb. máxima de verano: 49.6°C
 Temperatura amb. máxima de invierno: 30.5°C
 Temperatura mínima de invierno: 18.5°C

Vientos

Verano: moderados, con excepción del pico del verano, donde son inexistentes o de muy baja velocidad.

Invierno: moderados a alta velocidad.

Número de días consecutivos sin sol: 4

Selección del panel fotovoltaico (FV).

Conocemos ahora los valores estacionales de la carga y de la insolación promedio. Con estos datos se establecen el número de paneles y baterías que logran el balance energético entre la generación y el consumo, durante todo el año. Este proceso comienza con la selección del panel FV. Desde un punto estrictamente técnico, los

parámetros eléctricos (voltaje a circuito abierto, potencia de salida, degradación de la misma con la temperatura, etc) son los más importantes.

Existen en la actualidad paneles fotovoltaicos con potencias de salida de 70, 80 y 100 W. A fin de reducir el costo del sistema optaremos por un panel de menor potencia de salida, como el Siemens SM55. Si esta solución resultare inadecuada, podrá considerarse paneles con mayor potencia de salida. Las especificaciones eléctricas de este panel son:

Potencia pico de Salida: 55W mínimo.

Voltaje a Circuito Abierto: 21V a 25°C

Factor de deterioro de la Potencia de Salida: 0,6%/°C sobre 25°C.

Potencia de salida estacional

Para la mayoría de los paneles FVs, cuando la temperatura de trabajo aumenta, el valor de la potencia de salida disminuye. En la práctica, debido a la disipación de calor dentro de las células del panel, salvo en climas muy fríos, la temperatura de trabajo excede los 25°C. Cuando ello ocurre, la potencia de salida nunca alcanza el valor pico especificado por el fabricante. El diseño de un sistema FV debe tener en cuenta esta degradación del panel, a fin de asegurar que los requerimientos eléctricos del sistema pueden ser satisfechos durante los días más calurosos del verano. Para el período invernal, si el mínimo para la temperatura promedio es menor a los 25°C, no se considera ninguna degradación para la potencia de salida pico. La temperatura de trabajo que alcanza un panel FV obedece una relación lineal dada por la Ecuación (20):

$$T_t = T_a + kR \quad (20)$$

donde T_t es la temperatura de trabajo del panel, T_a es la máxima temperatura ambiente, R es el valor de la radiación solar en mW/cm^2 , y k es un coeficiente que varía entre 0.2 y 0.4 $^{\circ}C \cdot cm^2/mW$, dependiendo de la velocidad promedio del viento. Cuando ésta es muy baja, o inexistente, el enfriamiento del panel es pobre o nulo, y k toma valores cercanos o iguales al máximo (0.4). Si la velocidad promedio del viento produce un enfriamiento efectivo del panel, el valor de k será el mínimo (0.2). El valor de R varía entre 80 y 100 mW/cm^2 . Para locaciones con alto valor de insolación diaria se usa el valor máximo. Si existen nubes pasajeras que reducen el valor de irradiación, el valor de R se reduce a 80 mW/cm^2 . El producto kR representa el incremento de temperatura que sufre el panel sobre la máxima temperatura ambiente.

$$P_t = P_p - (P_p \times \delta \times \Delta T) \quad (21)$$

La Ecuación (21) da el valor de la potencia de salida de un panel trabajando a una temperatura T_t . Donde P_t es la potencia de salida a la temperatura de trabajo (T_t); P_p es la potencia pico del panel a 25 $^{\circ}C$; δ es el coeficiente de degradación (0.6%/ $^{\circ}C$) y ΔT es el incremento de temperatura respecto a 25 $^{\circ}C$.

Estimación de las pérdidas:

El valor energético a generarse debe tomar en consideración las pérdidas de energía anticipadas en el sistema (cableado, control de carga y baterías). Estas pérdidas deben ser compensadas por el bloque generador. Enseguida se calculan las pérdidas en el cableado, pues las pérdidas en el controlador y en las baterías son establecidas por el fabricante.

Pérdidas en el cable de conexión:

La norma define para cada calibre, el valor de la corriente máxima, en amperes, permitido por el código eléctrico, cuyo valor no debe ser sobrepasado, por razones de seguridad. El valor de la resistencia eléctrica de un cable conductor a una temperatura superior a los 25°C está dado por la Ecuación (22), donde R_t es la resistencia a la temperatura t , c es un coeficiente de proporcionalidad cuyo valor, para el cobre, es 0.00043 1/°C, y ΔT es la diferencia entre la temperatura de trabajo del conductor y 25°C y el coeficiente R está reportado en tablas.

$$R_t = R_{@25} \times (1 + c \times \Delta T) \quad (22)$$

Un circuito activo (corriente circulando) sufre una pérdida de potencia en los cables que interconectan el sistema. John Davey y Windy Dankoff dedujeron una fórmula que permite calcular un llamado “Índice de Caída de Voltaje” (ICV) que puede ser utilizado para determinar el calibre adecuado del cable a usarse El valor del ICV está dado por la Ecuación (13):

$$ICV = \frac{A \times D}{\%CV \times V_{nom}} \quad (23)$$

Donde:

A = Corriente en el circuito, (A)

D = distancia (en una sola dirección) entre los dos puntos a conectarse (m),

%CV = porcentaje de caída de voltaje (potencia disipada/potencia del panel)

V_{nom} = valor nominal del voltaje del sistema

Y la potencia disipada se calcula como lo indica la ecuación (24):

$$\text{Potencia disipada} = VI = RI \quad (24)$$

El valor energético a generarse debe tomar en consideración las pérdidas de energía anticipadas en el sistema (cableado, control de carga y baterías). Estas pérdidas deben ser compensadas por el bloque generador. Se procederá a calcular las pérdidas en el cableado, pues las otras pérdidas son establecidas por el fabricante.

Pérdidas en el cable:

Suponiendo unas pérdidas por caída del voltaje del 3%, el calculo del ICV por la ecuación (25):

$$ICV = \{(A \times D) / (\%CV \times Vnom)\} \times 3,281 \quad (25)$$

Donde :

A= amperes circulando en el circuito,

D= distancia (en una sola dirección) entre los dos puntos a conectarse, cuando esta en metros usar 3,281

Vnom=valor nominal del voltaje del sistema.

%CV= porcentaje de caída de voltaje

Se tiene para una corriente máxima del circuito de corriente directa para la bomba y el agitador, o sea Amp= de 8.8A + 8A = 16.8A, y para una longitud máxima de los paneles a las baterías de 5 metros, un voltaje nominal de 12 V, tenemos de la ecuación (25).

$$ICV = \{(16.8 \text{ A} \times 5 \text{ m}) / (3 \times 12)\} \times 3,281 = 7.66$$

El calibre que se elige es de 8 AWG. Comprobando el porcentaje de pérdida:

Para el calibre 8 AWG, la resistencia es de 0.2102/100 m, o sea

$$R = 0.2102 \times 5 \text{ m} / 100 \text{ m} = 0.0105$$

y de la ecuación 26:

$$\text{Potencia disipada} = VI = R I^2 \quad (26)$$

Se tiene

$$\text{Potencia disipada} = .0105 \times (16.8)^2 = 2.96$$

Y

$$\begin{aligned} \%CV &= \text{Potencia disipada} / \text{potencia del panel} = \\ &= 2.96 / (5 \times 51.12) = .02895 \end{aligned}$$

O sea aproximadamente 3%, por lo que el calibre seleccionado es el correcto.

Potencia de salida estacional:

Para determinar el valor de la potencia de salida del panel durante el verano debemos calcular primero la máxima temperatura de trabajo para el mismo. Durante esta estación los vientos llegan a desaparecer, de manera que k toma el valor 0,4. La insolación es abundante, de manera que R toma el valor máximo. El producto kR (exceso sobre la temperatura ambiente) será de 40°C , los que sumados a una máxima ambiente de 49.6°C elevará la temperatura del panel a 89.6°C .

Esto representa un aumento de 64.6°C por sobre los 25°C . La potencia de salida del panel se verá reducida a 51.12 W.

Para el Invierno, asumiendo un valor para k de 0,2 y el mismo valor para R , la máxima temperatura de trabajo durante el invierno es de $55 - 0.06 \times 25.5$, lo que es igual a 53.5 W de potencia de trabajo en invierno. Esto implica que la potencia de salida del panel más desfavorable es la de verano y es la que tomaremos para fines de diseño.

Determinación del número de paneles fotovoltaicos (M):

Una vez conocida la potencia de trabajo del panel elegido, y con la Energía requerida por la carga, la relación entre ambos valores dá una indicación del número de paneles requeridos en el sistema.

De acuerdo con la ecuación (27):

$$M = \frac{E_c \times F_s}{P_t \times H_s \times E_{fc} \times E_{fct} \times E_{fp} \times E_b} \quad (27)$$

Donde:

Ec= Energía requerida por la Carga
Fs= Factor de sobredimensionamiento (5 a 10%)
Efc= Eficiencia de las conexiones
Efct=Eficiencia del Controlador
Efp =Eficiencia de la bomba
Efb= Eficiencia de la Batería
Efi= Eficiencia del Inversor

Se puede calcular el No. De paneles solares de 55 W (M) en base a una energía requerida por el sistema de 838.8 W-h/d. Se asumen pérdidas en el cableado del 3%, en la batería una eficiencia del 84%, en la bomba una eficiencia del 85%, en el controlador del 97%, en el inversor del 95% y se desprecian las pérdidas del controlador por ser mínimas, por tanto:

$$M = \frac{705.6 \text{ Wh/día} \times 1.10}{51.12 \text{ W} \times 5.5 \text{ h/día} \times 0.97 \times 0.84 \times 0.85 \times 0.97 \times 0.95} = \frac{776.16 \text{ W-h/día}}{179.4398 \text{ W-h/(día} \times \text{panel)}} \\ = 4.33 \text{ Paneles de 55 W pico.} = 5 \text{ paneles de 55 W}$$

Considerando paneles solares de .938 m x .50 m, o sea 0.469 m, se tiene para los cinco paneles = $5 * 0.469 \text{ m}^2 = 2.345 \text{ m}^2$.

Por lo que la potencia requerida en $\text{MJ/m}^2 \text{ día} = 2.54 \text{ MJ}/2.345 \text{ m}^2 \times \text{día} =$

$$= 1.08 \text{ MJ/m}^2 \text{ día}$$

Comparando el valor anterior con los resultados del método de Liu-Jordan, podemos ver que en cualquier mes del año habrá la irradiación solar necesaria para cubrir los requerimientos de nuestro sistema en la localidad de Mexicali, B.C.

3.4.4 Banco de baterías.

Para establecer un banco de reserva, la capacidad de generación deberá incrementarse, ya que las pérdidas asociadas con el proceso de carga deben compensarse. La capacidad de reserva dependerá de la cantidad de días consecutivos sin sol y el grado de confiabilidad que se considera tolerable para el sistema. El número de baterías de Pb-ácido del banco de reserva estará determinado por el máximo valor elegido para la Profundidad de Descarga (PD), así como el tipo de batería de Pb-ácido a usarse (voltaje nominal y capacidad de reserva de la unidad).

Para este diseño con 5 paneles de 51.12 W y las 5.5 horas de uso permitirán generar 1405.80 W. Y si se suponen 4 días sin sol, para calcular el banco de reserva debemos entender el régimen de uso del mismo durante los períodos que preceden y suceden a los cuatro días sin sol. La energía consumida durante la noche es restituida por los paneles al día siguiente. Al comenzar el período sin sol, que consideraremos de Insolación nula, las baterías no pueden ser cargadas. Durante cuatro días se repite este

régimen. Esto significa que el mínimo nivel de reserva al retornar los días de sol estará dado por el consumo energético durante los cuatro días sin sol más uno, ya que la descarga durante la noche anterior es inevitable. Siendo el consumo de 1405.8 W/día, el banco de reserva deberá acumular 7029 Wh. Para abaratar costos, se permite que las baterías se descarguen un máximo del 80% durante las cinco noches de utilización de la reserva. Esto significa que la reserva mínima del banco de baterías deberá ser de 8786.25 Wh ($7029/0.8$). Con el valor en Wh de la reserva, se hace la selección más económica para las baterías. Si se elige un factor de confiabilidad del 100% (5 noches consecutivas sin recarga), el banco de reserva, independientemente del tipo de batería, requiere 8.13 de ellas para poder satisfacer los 8786.25 Wh requeridos. Con 8 baterías se excede el nivel mínimo de almacenaje. Si reducimos el banco de reserva a una batería, la versión de 12V con 1320 W, es la única que puede ser considerada, debido a los requerimientos para el voltaje. Asumiendo nuevamente una PD del 80%, se obtienen 1056 Wh (1320×0.8) disponibles por batería para cubrir los 8786.25 Wh requeridos. Este nivel de reserva no cubre nuestras necesidades, por lo que agregaremos más baterías de 12V en paralelo hasta 9 ($8786.25/1056=8.36$), para tener el máximo número de Wh en reserva. El sistema entonces requerirá de 9 baterías de 12 V (4 días totalmente nublados), si se utiliza un banco de reserva para compensar los días nublados, aunque en este trabajo también se puede considerar el uso de una cisterna para almacenar el agua purificada y que no falte este recurso en días sin sol.

Hay que almacenar (Sistema 12 V) la cantidad de-----

$$=(705.6 \text{ Kwh/dia}/12 \text{ V}) * 2 * 1.15 / 0.9 * .70 = 214 \text{ Ah}$$

Se necesitan Baterías de 12 V 100 Ah de carga----- (214 Ah/100 Ah) /Batería

La cantidad (con 2 días de autonomía o respaldo)-----2.14 Baterías de 12 V

3.4.5 Selección del inversor.

El control de carga deberá manejar 22A como mínimo ya que la corriente del sistema es de 21.3 A. Se requiere un inversor capaz de soportar los 117 Watts de la bomba y la lámpara UV, por lo que uno de 200 Watts es suficiente.

3.5 Proceso de coagulación de sustancias coloidales.

3.5.1 Tipo de coagulantes a utilizar:

En caso de que la solución presente turbiedad, en base a su pH determinar el tipo de proceso de coagulación a realizar. Debido a que el agua es turbia y a que el pH de la muestra del agua de canal fué de 8.6, se determinó que el sistema a utilizar es a base de sulfato de aluminio y bicarbonato de calcio.

3.5.2 Cantidad de coagulantes:

Establecer la dosificación de las sustancias químicas del proceso de coagulación para determinar las cantidades mínimas requeridas para llevar a cabo las reacciones completas.

En la Tabla 21 se presentan las pruebas de laboratorio que se realizaron para determinar la cantidad de sulfato de aluminio y de bicarbonato de sodio a utilizar para el sistema:

Tabla 21. Dosis de coagulante para volúmenes diferentes de agua.

Reacciones de Coagulación								
		Vol. = 100 ml			vol: 1 litro		vol: 5 gal	vol: 10 gal
Sust. Quím.	1	2	3	4	5	6	7	8
sulfato de aluminio gr	.25	.25	.35	2.0	3.5	2.0	38	76
Bicarbonato de Sodio gr	.25	.25	.5	4.0	5	4	76	152
Tiempo de agitacion, min	1	1	1	.5			1	1
tiempo de reposo min	15/30	15/30	15/30	15/30	15/30	15/20/30	30/60	30/60
Agua clara ml	no se separa	No se separa	30/70	770/800	330/770	650/700/750	3.35/4.0 gal	7.0/8.0 gal
Precipitado ml	no se separa	No se separa	70/30	230/200	770/330	350/300/250	1.65/1.0 gal	3.0/2.0 gal

De acuerdo con las pruebas anteriores se pudo ver que el agua turbia y con olor de la muestra se coloreaba de blanco al agregar las sustancias químicas y después de 10-15 minutos se empezaba a obtener un precipitado blanco y en la parte superior el agua se presentaba clara y sin olor. El 15-20% del agua se desperdicia con el precipitado y el 85 al 80% es agua clarificada para continuar con el proceso de filtrado.

3.5.3 Construcción del sistema de coagulación:

En base a los resultados obtenidos de la reacción de coagulación se propone para el sistema de purificación un tanque de 55 galones, de los cuales se obtendrán un máximo de 46 galones de agua clarificada por batch para el proceso, y para el prototipo un recipiente de 10 galones con un máximo de 8 galones de agua clarificada. El suministro de los químicos y la agitación se realizarán de manera manual.

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Los sistemas de purificación con energía fotovoltaica tienen un alto costo inicial comparado con otras alternativas de suministro de energía; sin embargo, no necesitan combustible y requieren menos mantenimiento. Debido a esta característica de los sistemas solares, el análisis de flujo de efectivo a largo plazo debe usarse para determinar si el sistema solar es económicamente viable, comparándolo con los sistemas convencionales de energía eléctrica. En este trabajo se estima el costo inicial de un sistema de purificación de agua a partir de las características del equipo. También se determina el flujo de efectivo a largo plazo del sistema solar comparado con la alternativa más viable de suministrar la energía eléctrica del sistema mediante un generador de gasolina. Se consideran los gastos de reemplazo de equipo, combustible, operación y mantenimiento, de esta manera se establece si el proyecto es económicamente factible o no.

Descripción de las Alternativas.

Alternativa A:

Esta alternativa contempla el equipo fabricado en taller, el cual debe colocarse preferentemente a orillas del canal que suministrara el agua, la cual a través de una bomba de diafragma de corriente directa, succiona agua del canal y la alimenta al tanque de coagulación de partículas coloidales, a partir de la reacción del sulfato de aluminio con el bicarbonato de calcio, de la cual se obtienen iones de aluminio los cuales atrapan a los coloides de carga contraria; después el agua se separa por

decantación y en flujo vertical descendente pasa a un filtro con antracita, arena y gravilla para separar las partículas de mas de una micra, y continua hacia un filtro con carbón activado para separar las partículas volátiles y microorganismos, donde el agua se acumula en un tanque llamado de agua prepurificada, de allí se acciona nuevamente la bomba de diafragma, en donde antes de pasar el agua por esta, es filtrada en un prefiltro de fibra polyester para separar los residuos del carbón activado y que no danen las partes internas de la bomba. A la salida de la bomba y a una presión de 80 a 100 psig se alimenta esta agua un filtro de osmosis inversa cuya función consiste en eliminar las partículas menores a una micra y posteriormente a un filtro de luz ultravioleta el cual inactiva las células de virus y bacterias que no fueron retenidas en el carbón activado. Este sistema de filtración considera la operación con corriente directa proporcionada por paneles solares.

Alternativa B:

Esta alternativa contempla equipo de fabricación comercial. En la Figura 35 se observa que este equipo consta de un sistema modular a base de filtros granulares de antracita, arena y gravilla, así como carbón activado en tanques de fibra de vidrio reforzada, así como una membrana de osmosis inversa y un filtro de luz ultravioleta, pero el agua a purificar es suministrada por una bomba centrifuga de corriente alterna, la cual es producida por un generador portátil de energía eléctrica a base de gasolina.



Figura 36. Sistema comercial de purificación de agua

4.1 Factibilidad Técnica

El equipo purificador de Agua demostró, en base a las pruebas realizadas, que es factible técnicamente pues el agua que se obtuvo cumplió con las características requeridas por la Norma oficial mexicana 127-SSA1-1994, que dicta los parámetros físicos y químicos del agua para beber, de tal manera que si se cumple con esta norma, se puede producir el agua para su venta para consumo humano.

4.2 Factibilidad comercial

Debido a que no hay ninguna objeción legal para su producción y venta, la producción de agua purificada para beber, puede ser comercializada una vez que se cuente con los permisos requeridos por el gobierno.

4.3 Factibilidad ecológica

Los sistemas de purificación de agua que se utilizan actualmente requieren de energía eléctrica generada a partir de combustibles fósiles tales como gasolina, diesel, combustóleo, etc. los cuales son la principal causa de la alta concentración de dióxido de carbono en la atmósfera lo que provoca el conocido efecto invernadero, en el cual este gas impide que los rayos solares que ingresan a la atmósfera terrestre sean regresados fuera de esta, ocasionando el calentamiento gradual de la tierra. Es por lo anterior que el uso de sistemas que sustituyan la energía producida a partir de combustibles fósiles por energía solar, la cual es un recurso limpio y renovable que no contamina el medio ambiente, deriva en un beneficio tangible y permanente para la sociedad.

4.4 Factibilidad económica,

4.4.1 Cálculo del flujo neto de efectivo para cada alternativa

A continuación se detallan las características de diseño de la Alternativa A:

-Capacidad	0.41 galón por minuto de agua purificada
-Horas de uso	8.5 Horas diarias
-Costo del sistema	45,657.50 pesos (Tabla 21)
-Vida útil	25 años en los paneles 5 años en el resto del sistema eléctrico
-Costo de la energía	0.00

Tabla 22. Costos del Equipo y Suministros de la alternativa A
(Inversión inicial año 0)

CANTIDAD	DESCRIPCION	C.U M.N.	TOTAL M.N.
	Modulo de energía solar		
4	Paneles solares de 50 watts	350	1400
2	Batería para recarga 12 v- 110ah	75	150
12	mts cable no.12	0.40	24
1	Inversor de 800 watts		75
1	Seguidor en 1 eje para los paneles		150
	Subtotal		1799
	Sistema de coagulación		
12 SACOS	Sulfato de aluminio (sacos de 55 kg)	24	288
23 SACOS	Bicarbonato de sodio (sacos de 55 kg)	14	322
1	Tanque de 55 gal.		125
	Subtotal		735
	Modulo de bombeo de agua		
1	Bomba shurflo de 1.8 gpm, 7 amp x 12 v , 100 psi		110
4	Interruptor de presión ts-8006		7.50
1	Manómetro de presión 0-100 psi		16
50	Pies de tubería pvc 1/2"	.6	3
5	Válvulas 1/2"	2.5	12.5
	Conectores: niples, coples, te's		25
	Subtotal		173.7
	Modulo de filtración		
2	Tubo de pvc 8" x 1.3 mts/ 8" x 1.7 mts		150
4	Pie3 de arena #40	16	32
2	Pie3 de antracita	16	32
2	Pie3 de grava 1/8"x1/4"	16	32
2	Pie cubico de carbón activado	50	100
10	Válvulas de globo	2.5	25.00
	Conectores: niples, coples, tes, tornillos		100
4	Filtro pulidor 10"x 1 micra c/portamemb	12	48
1	Estructura para soporte del sistema		125
2	Tapas de pvc	45	90
	Subtotal		734
	Modulo osmosis inversa		
1	Membrana filmtec 4"x24" 600 gpd		305
1	Porta membrana		200
1	Capilar		7.80
1	Válvula de control de producto y rechazo		15
2	Válvulas		10
	Subtotal		537.80
	Modulo filtro de luz ultravioleta		
1	Lámpara uv de 12 watts	27	27

1	Funda de cuarzo	24	24
1	Balastro 12 v dc	50	50
1	Conector 4 pins	1.80	1.80
1	Kit tuerca y empaque pva	9.6	9.60
1	Porta lampara de acrilico	40	40
	Subtotal		152.40
	Total		4131.90
	Tipo de Cambio		11.05
	Total en Moneda Nacional		45657.50

COSTOS DE PRODUCCIÓN ANUAL:

Sistema de Coagulación:

Sulfato de Aluminio (12 sacos de 50 kgs)	\$3182.40/año
Bicarbonato de Sodio (23 sacos de 50 kgs)	\$3575.16/año
<u>Costo total del sistema de coagulación</u>	<u>\$6,757.56/año</u>

Costo de mantenimiento anual de los filtros:

Cambio de filtros de arena cada 6 meses	\$1060.80/año
Cambio de carbón activado cada 6 meses	\$1105.00/año
Cambio de filtro pulidor cada 3 meses	\$442.00/año
Cambio membrana de osmosis Inversa cada año	\$3370.00/ año
Cambio lámpara U.V. cada año	\$ 298.35/ año
<u>Costo total de mantenimiento de filtros</u>	<u>\$6276.15/año</u>

Costo de mano de obra para operación y mantenimiento del equipo:

Se considera un trabajador con un sueldo de \$500.00 semanales x1.35 de Prestaciones x 4 semanas x12 meses	<u>\$32,400.00</u>
--	--------------------

<u>Costo de producción anual</u>	<u>\$45,433.71</u>
----------------------------------	--------------------

COSTOS DE COMERCIALIZACIÓN:

Publicidad por año:

Lona de 2 m x 4 m (1 C/6 Meses).2 X2x3 m2 x\$99.00/m2	\$1188.00/año
Volantes promocionales 1000 c/6 meses \$500x2	\$1000.00/año
<u>-Costo total de publicidad</u>	<u>\$2188.00/año</u>

Costo de Envases:

Se considera la compra anual de los garrafones que se deben llenar en un día, pues normalmente se estarán cambiando por los de los clientes.

$$= (76,322 \text{ galones/año}) / ((5 \text{ gal/garrafón}) \times 365 \text{ días})$$

$$= 42 \text{ garrafones diarios}$$

Costo de garrafones a precio de mayoreo

$$= 42 \text{ garrafones} \times \$25.00/\text{garrafón} = \underline{\$1,050.00/\text{año}}$$

Tapones: $(76,322 \text{ galones/año}) / 5 \text{ gal/garrafón} =$

$$= 15,264 \text{ garrafones} = 15,264 \text{ tapones}$$

Considerando un costo de \$0.30 por tapón a mayoreo y un porcentaje

De desperdicio del 5%:

Costo anual de Tapones = $15,264 \text{ tapones} \times \$0.30 \times 1.05 = \underline{\$ 4,808.16/\text{año}}$

Transporte de los garrafones llenos a la tienda de distribución

Se considera 1 viaje de 42 garrafones por viaje

$$= 1 \text{ viajes} \times \$30.00/\text{viaje} \times 365 \text{ días del año} = \underline{\$10,950.00/\text{año}}$$

Costo total anual de comercialización = $\underline{\$18,996.16/\text{año}}$

Determinación del costo unitario del servicio

Tomando como base los conceptos anteriores, se determina el costo unitario del servicio el cual se calcula mediante la ecuación (28):

$$CS = (CP+CC)/\text{Producción anual} \quad (28)$$

Donde:

CS= Costo del Servicio por venta de agua purificada

CP= Costo de producción por 12 meses.

CC=Costo de comercialización por 12 meses

$CS = (45433.71 + 18996.16) / 76,322 = \0.844 PESOS/galón ó $\$0.223$ pesos /litro.

Lo que resulta en el precio del garrafón de 18 lts en $\$4.01$ /garrafón, y se vendería a precio del mercado de $\$10.00$ o sea a $\$0.55$ / litro, lo cual representa una utilidad del 149%.

Cálculo de los ingresos por ventas anuales:

Ingresos = $76,322 \text{ GALONES} * 3.785 \text{ lt/galón} * \text{Año} * \$0.55 / \text{lt} = \underline{\underline{\$158,883.32}}$ M.N.

Cálculo de la Depreciación:

Costo del equipo quitando materiales reemplazables: $45,657.15 - 13,105.3 =$

$32,551.85$ MN

Depreciación del equipo a 10 Años dando una tasa del 10%

(De acuerdo a tablas de la ley del ISR)

Tasa anual por depreciación: Costo del equipo x tasa= $32,551.85 * .10 = \underline{\underline{\$3,255.19}}$

Tabla 23. Flujo neto de efectivo para la Alternativa A

Año 1:

CONCEPTO	TOTAL
a) Ingresos	\$158,883.32
Total de ingresos	\$158,883.32
b) Costos de producción	\$ 45,433.71
c) Costos de comercialización	\$ 18,996.16
Total de egresos	\$ 62,012.91
d) Depreciación	\$ 3,255.19
FLUJO NETO DE EFECTIVO	\$ 97,708.64

A continuación se detallan las características de diseño de la Alternativa B:

-Capacidad	0.41 galón por minuto de agua purificada
-Horas de uso	8.5 Horas diarias
-Costo del sistema nuevo	69,560.08 pesos (tabla 26)
-Vida útil	5 años todo el sistema.
-Costo de la energía	7.10 pesos /litro
-Consumo de gasolina	1.24 litros/ hora

Tabla 24. Costo de Equipo y Suministros de la alternativa B
(inversión inicial año 0)

CANTIDAD	DESCRIPCION	C.U. m.n.	TOTAL M.N.
	MODULO DE ENERGIA		
1	GENERADOR DE ENERGIA DE GASOLINA	1200	1200
3847 lts	GASOLINA (\$1.24 LITROS/HR)	0.6425	2471.83
1	MODULO COAGULACION		735
	MODULO DE BOMBEO		
1	BOMBA CENTRIFUGA 1.2 GPM, 1/3 HP , 120 V, AC, 100 PSI		350
1	TANQUE HIDRONEUMATICO DE 40 GAL		50.0
1	INTERRUPTOR DE PRESION TS-8006		7.50
1	MANOMETRO DE PRESION 0-100 PSI		16
50	PIES DE TUBERIA PVC 1/2"	.6	3
5	VALVULAS 1/2"	2.5	12.5
	CONECTORES:NIPLES,COPLES,TE'S		25
	SUBTOTAL		464
	MODULO DE FILTRACION		
2	TUBO DE PVC 8" x 1.3 mts/ 8" x 1.7 mts		150
4	PIE CUBICO DE ARENA #40	16	32
2	PIE CUBICO DE ANTRACITA	16	32
2	PIE CUBICO DE GRAVA 1/8"X1/4"	16	32
2	PIE CUBICO DE CARBON ACTIVADO	50	100
10	VALVULAS DE GLOBO	2.5	25.00
	CONECTORES:NIPLES,COPLES,TES,TORNILLOS		100
4	FILTRO PULIDOR 10"X 1 MICRA C/PORTAMEMB	12	48
1	ESTRUCTURA PARA SOPORTE DEL SISTEMA		125
2	TAPAS DE PVC	45	90
	SUBTOTAL		734
	MODULO OSMOSIS INVERSA		
1	MEMBRANA FILMTEC 4"X24" 600 GPD		305
1	PORTAMEMBRANA		200
1	CAPILAR		7.80
1	VALVULA DE CONTROL DE PRODUCTO Y RECHAZO		15

2	VALVULAS		10
	SUBTOTAL		537.80
	MODULO FILTRO DE LUZ ULTRAVIOLETA		
1	LAMPARA UV DE 12 WATTS	27	27
1	FUNDA DE CUARZO	24	24
1	BALASTRO 12 V DC	50	50
1	CONECTOR 4 PINS	1.80	1.80
1	KIT TUERCA Y EMPAQUE PVA	9.6	9.60
1	PORTA LAMPARA DE ACRILICO	40	40
	SUTOTAL		152.40
	TOTAL		6295.03
	Tipo de cambio		11.05
	Total en Moneda Nacional		69560.08

COSTOS DE PRODUCCIÓN ANUAL:

Sistema de Coagulación

Sulfato de Aluminio (12 sacos de 50 kgs)	\$3182.40/año
Bicarbonato de Sodio (23 sacos de 50 kgs)	\$3575.16/año
<u>Costo total del sistema de coagulación</u>	<u>\$6,757.56/año</u>
<u>Gasolina para el Generador Eléctrico</u>	<u>\$27,314.41/año</u>

Costo de mantenimiento anual de los filtros:

Cambio de filtros de arena cada 6 meses	\$1060.80/año
Cambio de carbón activado cada 6 meses	\$1105.00/año
Cambio de filtro pulidor cada 3 meses	\$442.00/año
Cambio membrana de osmosis Inversa cada año	\$3370.00/año
Cambio lámpara U.V.	\$ 298.35/año
<u>Costo total de mantenimiento de filtros</u>	<u>\$6276.15/año</u>

Costo de mano de obra de operación y mantenimiento del equipo:

Se considera un trabajador con un sueldo de \$500.00 semanales x1.35 de Prestaciones x 4 semanas x12 meses	\$32,400.00
<u>Costo de producción anual</u>	<u>\$72,748.12</u>

COSTOS DE COMERCIALIZACIÓN:

Publicidad por año:

Lona de 2 m x 4 m (1 C/6 Meses).2 X2x3 m2 x\$99.00/m2	\$1188.00/año
Volantes promocionales 1000 c/6 meses \$500x2	\$1000.00/año
<u>-Costo total de publicidad</u>	<u>\$2188.00/año</u>

Envases:

Se considera la compra anual de los garrafones que se deben llenar en un día, pues normalmente se estarán cambiando por los de los clientes.

$$= (76,322 \text{ galones/año}) / ((5 \text{ gal/garrafón}) \times 365 \text{ días}) = 42 \text{ garrafones diarios}$$

Costo de garrafones

$$= 42 \text{ garrafones} \times \$25.00/\text{garrafón} = \underline{\$1,050.00/\text{año}}$$

$$\text{Tapones: } (76,322 \text{ galones/año}) / 5 \text{ gal/garrafón} =$$

$$= 15,264 \text{ garrafones} = 15,264 \text{ tapones}$$

Considerando un costo de \$0.30 por tapón a mayoreo:

$$\underline{\text{Costo anual de Tapones}} = 15,264 \text{ tapones} \times \$0.30 \times 1.05 = \underline{\$4,808.16/\text{año}}$$

Transporte de los garrafones llenos a la tienda de distribución

Se considera 1 viaje de 42 garrafones por viaje

$$= 1 \text{ viajes} \times \$30.00/\text{viaje} \times 365 \text{ días del año} = \underline{\$10,950.00/\text{año}}$$

$$\underline{\text{Costo total anual de comercialización}} = \underline{\$18,996.16/\text{año}}$$

Determinación del precio unitario del servicio

Tomando como base los conceptos anteriores, se determina el precio unitario del servicio el cual se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$CS = (CP + CC) / \text{Producción anual} \quad (29)$$

Donde:

CS= Precio del Servicio por venta de agua purificada

CP= Costo de producción por 12 meses.

CC=Costo de comercialización

$CS = (72,748.12 + \$ 18,996.16) / 76,322 = \1.20 PESOS/Galón ó \$0.317 pesos /litro.

Lo que resulta en el precio del garrafón de 18 lts en \$5.70 /garrafón, vendiéndose al precio del mercado de \$10.00 ó sea \$0.55 pesos/litro.

Cálculo de los ingresos por ventas anuales:

Ingresos = 76,322 GALONES*3.785 lt/galón*Año X \$0.55 /lt = \$158,883.32 M.N.

Cálculo de la depreciación

Costo del equipo quitando materiales reemplazables: 69560.05 – 40419.01=

29,141.04

Depreciación del equipo a 10 Años dando una tasa del 10%

Tasa anual por depreciación: Costo del equipo x tasa= 29,141.04*.10=

\$2,914.10

Tabla 25. Flujo neto de efectivo para la alternativa B
Año 1

CONCEPTO	TOTAL
a) Ingresos	\$158,883.32
Total de ingresos	\$158,883.32
b) Costos de producción	\$ 72,748.12
c) Costos de Comercialización	\$ 18,996.16
Total de egresos	\$ 91,806.52
c) Depreciación	\$ 2,914.10
FLUJO NETO DE EFECTIVO	\$ 70,053.14

DETERMINACION DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE INVERSION.

Para poder seleccionar la mejor alternativa, se aplican 2 métodos:

A) Método del Valor Presente Neto Acumulado, VPNA

B) Método de la Tasa Interna de Rendimiento, TIR

4.4.2 Método del Valor Presente Neto Acumulado (VPNA).

El VPNA es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados, o flujo de efectivo neto al valor presente con una tasa de descuento i , a la inversión inicial.

En este método se calcula el beneficio económico total de la inversión con:

$$VPNA = -S_0 + \sum_{t=1}^n \{ S_t / (1+i)^t \} \quad (30)$$

Donde S_0 es el valor de la inversión inicial, y la sumatoria representa los flujos netos de efectivo, S_t , durante el periodo de tiempo t a analizar, acumulados a su equivalente en el presente, con una tasa de descuento i , que también se le conoce como TREMA o Tasa de Rendimiento Mínima Aceptable, para el caso que nos ocupa consideramos una TREMA del 20%, ya que un 15% es el mínimo que cualquier inversionista acepta para invertir actualmente en algún proyecto. Dado que el VPNA, es el resultado de restar las ganancias acumuladas de cada año a la inversión inicial, si el VPNA es mayor que cero considera que si hay utilidades. A fin de determinar cual es la mejor alternativa, se comparan los valores del VPNA para ambas alternativas y la que resulte un valor mayor es la que se considera como mejor, aunque ambas sean factibles si resultan con un VPNA mayor que cero.

4.4.3 Método de la Tasa Interna de Rendimiento (TIR)

TIR es la tasa de descuento por la cual el VPNA es igual a cero. De acuerdo al diagrama de flujos netos de efectivo para el cálculo de la tasa interna de rendimiento se requiere i^* de tal forma que cumpla con la ecuación (31):

$$VPNA = -S_0 + \sum_{t=1}^n \left\{ \frac{S_t}{(1+i^*)^t} \right\} = 0 \quad (31)$$

La TIR encontrada para una alternativa debe ser mayor o igual que la propuesta, además si esto se cumple, debe compararse con la de la otra alternativa y la que sea mayor es la más aceptable.

Alternativa A.

Valor de Reposición:

Se considera un horizonte de evaluación de 25 años (1ro. Enero 2009 al 1ro de Enero del 2034), debido a que este tiempo corresponde a la vida promedio del equipo más costoso de la alternativa A, que considera a los 4 paneles solares con un costo actual de \$15,099.28 M.N. No se considera valor del salvamento de los paneles pues estos después de 25 años no tendrán ningún valor comercial.

Para el resto del equipo se considera una vida útil de 5 años, y una inversión inicial de \$17,452.92 pesos, que equivale a restarle al costo total del equipo \$45,657.50 los reemplazables con un costo de \$13105.30 y 15099.28 que es el costo de los paneles solares, por lo que se calcula el valor futuro de reposición de este equipo por la ecuación (32):

$$F = P (1 + i)^n \quad (32)$$

Donde:

P= valor actual del equipo

i= inflación anual

n= período de tiempo de la proyección

El valor de Reposición del equipo con vida útil de 5 años es de \$17,452.92 M.N.

Flujos Netos de Efectivo para la alternativa A.

Inflación pronosticada: Se considera una inflación constante del 4%.

TABLA 26. RESULTADOS DEL ANALISIS ECONOMICO DE LA
ALTERNATIVA A

Gpm 0.41
Gpa 76322
Costo por litro 0.55
Prod x Año 158,883
Vinicial e/A 17452.92

	Año	Produccion	Comerc.	Egresos	Ingresos	Deprec.	Vsalv	F.efect.	VPN
2009	1	45433.00	18996.16	64429.16	158883.32	3255.19	0.00	97,709	97,709
2010	2	49140.33	20546.25	69686.58	171848.20	3520.81	0.00	105,682	171099.93
2011	3	51105.95	21368.10	72474.04	178722.13	3661.65	0.00	109,910	234705.1
2012	4	53150.18	22222.82	75373.00	185871.02	3808.11	0.00	114,306	289829.59
2013	5	55276.19	23111.73	78387.92	193305.86	3960.44	21234.15	97,644	329070.61
2014	6	57487.24	24036.20	81523.44	201038.09	4118.85	0.00	123,634	370475.22
2015	7	59786.73	24997.65	84784.38	209079.61	4283.61	0.00	128,579	406359.21
2016	8	62178.20	25997.56	88175.75	217442.80	4454.95	0.00	133,722	437458.68
2017	9	64665.33	27037.46	91702.78	226140.51	4633.15	0.00	139,071	464411.54
2018	10	67251.94	28118.96	95370.90	235186.13	4818.48	25834.59	118,799	483598.27
2019	11	69942.02	29243.72	99185.73	244593.58	5011.22	0.00	150,419	503842.87
2020	12	72739.70	30413.46	103153.16	254377.32	5211.66	0.00	156,436	521388.18
2021	13	75649.28	31630.00	107279.29	264552.41	5420.13		162,693	536594.13
2022	14	78675.26	32895.20	111570.46	275134.51	5636.94		169,201	549772.61
2023	15	81822.27	34211.01	116033.28	286139.89	5862.41	31431.72	144,537	559153.87
2024	16	85095.16	35579.45	120674.61	297585.49	6096.91		183,008	569052.38
2025	17	88498.96	37002.63	125501.59	309488.90	6340.79		190,328	577631.08
2026	18	92038.92	38482.73	130521.66	321868.46	6594.42		197,941	585065.96
2027	19	95720.48	40022.04	135742.52	334743.20	6858.19		205,859	591509.52
2028	20	99549.30	41622.93	141172.22	348132.93	7132.52		214,093	597093.94
2029	21	103531.27	43287.84	146819.11	362058.24	7417.82	39771.16	182,886	601069.28
2030	22	107672.52	45019.36	152691.88	376540.57	7714.54		231,563	605263.79
2031	23	111979.42	46820.13	158799.55	391602.20	8023.12		240,826	608899.04
2032	24	116458.60	48692.94	165151.53	407266.28	8344.04		250,459	612049.59
2033	25	121116.94	50640.65	171757.60	423556.94	8677.80	46526.63	213,951	614292.35

Alternativa B.

Valor de Reposición :

Para fines del análisis, se considera un horizonte de evaluación de 25 años (1ro. Enero 2009 al 1ro de Enero del 2034), por lo que si se considera una vida útil de 5 años para el sistema completo de la alternativa B, se deberá adquirir todo el equipo cada 5 años.

El Valor de Reposición del equipo con vida útil de 5 años y es de \$24364,47 M.N.

TABLA 27. RESULTADOS DEL ANALISIS ECONOMICO DE LA ALTERNATIVA B

Gpm	0.41
Gpa	76322
Costo por litro	0.55
Prod x Año	158,883
Vinicial e/B	24364.47

	Año	Produccion	Comercializ.	Egresos	Ingresos	Deprec.	Vsalv.	F efec.	VPN
2009	1	72748.00	18996.16	91744.16	158883.32	2914.00	0.00	70053.16	70053.16
2010	2	78684.24	20546.25	99230.48	171848.20	3520.81	0.00	76138.53	122927.14
2011	3	81831.61	21368.10	103199.70	178722.13	3661.65	0.00	79184.07	168751.26
2012	4	85104.87	22222.82	107327.69	185871.02	3808.11	0.00	82351.44	208465.50
2013	5	88509.07	23111.73	111620.80	193305.86	3960.44	29643.10	56002.39	230971.60
2014	6	92049.43	24036.20	116085.63	201038.09	4118.85	0.00	89071.31	260801.40
2015	7	95731.41	24997.65	120729.06	209079.61	4283.61	0.00	92634.17	286653.90
2016	8	99560.66	25997.56	125558.22	217442.80	4454.95	0.00	96339.53	309059.40
2017	9	103543.09	27037.46	130580.55	226140.51	4633.15	0.00	100193.11	328477.49
2018	10	107684.81	28118.96	135803.77	235186.13	4818.48	36065.37	68135.47	339481.75
2019	11	111992.20	29243.72	141235.92	244593.58	5011.22	0.00	108368.87	354066.90
2020	12	116471.89	30413.46	146885.36	254377.32	5211.66	0.00	112703.63	366707.36
2021	13	121130.77	31630.00	152760.77	264552.41	5420.13		117211.77	377662.43
2022	14	125976.00	32895.20	158871.20	275134.51	5636.94		121900.24	387156.82
2023	15	131015.04	34211.01	165226.05	286139.89	5862.41	43879.03	82897.22	392537.30
2024	16	136255.64	35579.45	171835.09	297585.49	6096.91		131847.30	399668.65
2025	17	141705.87	37002.63	178708.49	309488.90	6340.79		137121.20	405849.14

2026	18	147374.10	38482.73	185856.83	321868.46	6594.42		142606.04	411205.58
2027	19	153269.06	40022.04	193291.11	334743.20	6858.19		148310.29	415847.82
2028	20	159399.83	41622.93	201022.75	348132.93	7132.52		154242.70	419871.09
2029	21	165775.82	43287.84	209063.66	362058.24	7417.82	55520.98	104891.43	422151.08
2030	22	172406.85	45019.36	217426.21	376540.57	7714.54		166828.90	425173.01
2031	23	179303.13	46820.13	226123.26	391602.20	8023.12		173502.06	427792.01
2032	24	186475.25	48692.94	235168.19	407266.28	8344.04		180442.14	430061.82
2033	25	193934.26	50640.65	244574.91	423556.94	8677.80	64951.69	122708.14	431348.12

Análisis de la evaluación económica:

De acuerdo con los resultados de las Tablas 28, 29 y 30:

Tabla 28. Flujo Neto de Efectivo (Ingresos Netos Anuales) y Valor Presente Neto de la Alternativa A.

	Año	F.efect.	VPN
2009	1	97,709	97,709
2010	2	105,682	171099.93
2011	3	109,910	234705.1
2012	4	114,306	289829.59
2013	5	97,644	329070.61
2014	6	123,634	370475.22
2015	7	128,579	406359.21
2016	8	133,722	437458.68
2017	9	139,071	464411.54
2018	10	118,799	483598.27
2019	11	150,419	503842.87
2020	12	156,436	521388.18
2021	13	162,693	536594.13
2022	14	169,201	549772.61
2023	15	144,537	559153.87
2024	16	183,008	569052.38
2025	17	190,328	577631.08
2026	18	197,941	585065.96
2027	19	205,859	591509.52
2028	20	214,093	597093.94
2029	21	182,886	601069.28
2030	22	231,563	605263.79
2031	23	240,826	608899.04
2032	24	250,459	612049.59
2033	25	213,951	614292.35

Tabla 29. Flujo Neto de Efectivo (Ingresos Netos Anuales) y Valor Presente Neto de la Alternativa B.

	Año	F efec.	VPN
2009	1	70053.16	70053.16
2010	2	76138.53	122927.14
2011	3	79184.07	168751.26
2012	4	82351.44	208465.50
2013	5	56002.39	230971.60
2014	6	89071.31	260801.40
2015	7	92634.17	286653.90
2016	8	96339.53	309059.40
2017	9	100193.11	328477.49
2018	10	68135.47	339481.75
2019	11	108368.87	354066.90
2020	12	112703.63	366707.36
2021	13	117211.77	377662.43
2022	14	121900.24	387156.82
2023	15	82897.22	392537.30
2024	16	131847.30	399668.65
2025	17	137121.20	405849.14
2026	18	142606.04	411205.58
2027	19	148310.29	415847.82
2028	20	154242.70	419871.09
2029	21	104891.43	422151.08
2030	22	166828.90	425173.01
2031	23	173502.06	427792.01
2032	24	180442.14	430061.82
2033	25	122708.14	431348.12

Tabla 30. Resultados del Análisis Económico

	Alt A	Alt B
TREMA (%):	20	20
TREMA:	0,2	0,2
VPNA:	614692	431348
TIR:	311,36%	243,46%

Se puede observar que al evaluar la alternativa A, esta resulta factible desde el punto de vista económico, ya que su Valor presente neto acumulado resulta positivo, además la tasa interna de rendimiento resulta superior a la tasa de rendimiento mínima aceptable (TREMA).

Lo mismo sucede con la Alternativa B, en la cual el valor presente neto acumulado resulta positivo y la tasa interna de rendimiento también es superior a la tasa de rendimiento mínima aceptable (TREMA), sin embargo comparando ambas alternativas la mejor alternativa en los 2 métodos es la Alternativa A

4.5 SENSIBILIDAD Y RIESGO

Se realiza la evaluación de sensibilidad y riesgo considerando que las ventas disminuyen un 25% de lo esperado en la alternativa A, con lo que los ingresos cambiarán a:

$$\text{INGRESOS POR VENTAS} = 76322 \text{ gal} \cdot .75 \cdot 3.785 \text{ lt/gal} \cdot \$.55 /\text{lt} = 119,162.48$$

El flujo neto de efectivo del año 1 para la Alternativa A lo indica la Tabla 31:

Tabla 31. Flujo neto de efectivo de la Alternativa A el primer año

CONCEPTO	TOTAL
a) Ingresos	\$119,162.48
total de ingresos	\$119,162.48
b) Costos de producción	\$ 44,549.63
c) Costos de comercialización	\$ 17,360.00
Total de egresos	\$ 61,909.63
d) Depreciación	\$ 3,255.19
FLUJO NETO DE EFECTIVO	\$ 60508,04

Y para la alternativa B consideramos que de igual manera bajan las ventas un 25% y además se incrementa el precio de la gasolina se incrementa en un 10%, por lo que los costos de energía quedarían:

Ingresos por ventas= 76,322 gal *.75*3.785 lt/gal *\$.55/lt =119,162.48

-Costo de energía: 1.24 l/hr x8.50 hrx 365 días

Del año x 7.10 \$/litro*1.10 **\$30,045.85/ AÑO**

Por lo que el flujo neto de efectivo del primer año para la Alternativa B se tiene en la Tabla 32:

Tabla 32. Flujo neto de efectivo de la Alternativa B el primer año

CONCEPTO	TOTAL
a) Ingresos	\$119,162.48
total de ingresos	\$119,162.48
b)Costos de producción	\$ 74,595.48
c)Costos de comercialización	\$ 17,360.00
Total de egresos	\$ 91,955.48
c)Depreciación	\$ 2,914.10
FLUJO NETO DE EFECTIVO	\$ 30,121.10

Tabla 33. Flujo Neto de efectivo para las alternativas A y B

		Alt. A	Alt. B
Año 0		-32551,85	-29141,09
Año 1	ene-08	60508,04	30121,1
Año 2	ene-09	62928,36	31325,944
Año 3	ene-10	65445,50	32578,9818
Año 4	ene-11	68063,32	33882,141
Año 5	ene-12	49551,70	6096,38667
Año 6	ene-13	51533,77	6340,24214
Año 7	ene-14	53595,12	6593,85182
Año 8	ene-15	55738,92	6857,6059
Año 9	ene-16	57968,48	7131,91013
Año 10	ene-17	34452,63	-28648,1835
Año 11	ene-18	35830,73	-29794,1108
Año 12	ene-19	37263,96	-30985,8752
Año 13	ene-20	38754,52	-32225,3102
Año 14	ene-21	40304,70	-33514,3227
Año 15	ene-22	10485,17	-87335,8956
Año 16	ene-23	10904,58	-90829,3314
Año 17	ene-24	11340,76	-94462,5046
Año 18	ene-25	11794,39	-98241,0048
Año 19	ene-26	12266,17	-102170,645
Año 20	ene-27	-51094,80	-159643,021
Año 21	ene-28	-53138,59	-166028,742
Año 22	ene-29	-55264,13	-172669,891
Año 23	ene-30	-57474,70	-179576,687
Año 24	ene-31	-59773,69	-186759,754
Año 25	ene-32	-62164,63	-194230,145

Tabla 34. Resultados del Análisis Económico

	Alt A	Alt B
TREMA	0,2	0,20
VPNA:	226772,41	4839,74
TIR:	188,94%	19,25%

Se puede observar que aún con una disminución en las ventas de la Alternativa A esta sigue siendo aceptable como propuesta de inversión pues su valor es positivo en el Valor Presente Neto Acumulado. Del mismo modo la TIR es mayor que la TREMA, por lo que esta alternativa es un buen proyecto de inversión.

Por otro lado comparando la Alternativa A con la Alternativa B se puede ver la única que cumple con los dos métodos el VPN y la TIR, es la Alternativa A, pues la alternativa B aunque cumple con el VPNA, la TIR queda por debajo de la esperada.

CONCLUSIONES

Una vez realizadas todas las evaluaciones se concluye que aunque tanto la Alternativa A como la Alternativa B resultaron aceptables, pues dieron resultados positivos en el método del Valor Presente Neto y así mismo la TIR en ambos casos fue mayor que la TREMA, se puede ver que la alternativa B es menos confiable a través del tiempo dado que los resultados de los métodos de análisis empiezan a dar flujos netos de efectivos negativos, lo cual significa que se empiezan a tener pérdidas a partir del año 20, lo que conlleva a que si la gasolina se sigue incrementando cada año, si no se ajusta el precio de venta, esta opción deja de ser rentable.

Lo anterior nos lleva a que es más atractiva la alternativa A, pues no implica ningún costo de energía y se puede considerar que es más segura y a través de los 25 años del análisis no existe riesgo de que pierda rentabilidad aunado a que el sistema es limpio. Además La energía solar y su tecnología no contribuyen al deterioro de la calidad del aire ni del agua, no producen ruido y no son peligrosos para la fauna y flora local. Esto en sí mismo es para muchos usuarios de gran valor.

Se recomienda la producción de agua purificada por medio del sistema que contiene la filtración del agua a través de lechos granulares de antracita, arena, gravilla, y carbón activado, así como membrana de ósmosis inversa y luz ultravioleta, cuya energía de operación es suministrada por paneles solares.

APENDICE

A. BIBLIOGRAFIA

American Water Works Association, 1985.

“Agua, su calidad y tratamiento”

Mc Graw Hill

American Water Works Association, 1998.

“Tratamiento del agua para procesos de membrana:

Principios, procesos y aplicaciones”

Mc Graw Hill

Anundel, 2002.

“Tratamiento de aguas negras y efluentes industriales”

Arboleda, Valencia Jorge, 1993.

“Teoria y practica de la purificación del Agua”

Editorial Cepis

Arellano Ortiz, Roberto, 1990.

“Tratamiento de Agua Residual Domestica mediante

Cultivo de lirio acuatico”

Tesis

Bennett, C.O., and J.E. Myers, 1982.

"Momentum, Heat and Mass Transfer"

McGraw-Hill Book Company, New York, Third Edition

Bensal, R.C., Donet J.B. and Stoeckl;F., 1998.

“Active Carbon”

Marcel Dekker, New York

Casas Jose Vicente, 1998.

“Coagulacion-Floculacion”

Publicaciones Universidad Nacional Bogota

Cristes Ronald W, 2000

“Tratamiento de Agua Residual en pequeñas poblaciones”

Degremont, 1979.
"Manual técnico del Agua"

Duffie, John A y Beckman, William, 1980.
Solar Engineering of thermal processes
Wiley Interscience

Eskel Nordell, 1963
"Tratamiento de agua para la industria y otros usos"
CECSA

Gordon Moskew Fair
Geger John Charles
Okon Daniel Alexander
"Ingeniería Sanitaria y Aguas Residuales"
Edic. Ciencia y técnica

Gomella C- Guerrie Herri H.
"Tratamiento de aguas para abastecimiento público"
Edit. Técnicos Asociados S.A.

HAWLEY
"Diccionario de Química y productos químicos",
Ed. Omega, 2ª ed.

Herman E. Hilleboe M.O, 1980
"Muestreo y análisis"
Manual de tratamiento de aguas negras
Depto. De Sanidad del Edo. de New york
Limusa

Instituto Mexicano del Tratamiento de Agua
"Tratamiento de Aguas y lodos Residuales"

Letterman Raymond D., 1987
American Water Works Association
Fifth Edition, McGraw Hill

Mallevalle, J and Suffet, F.H., 1987
"Identification and threatment of tastes and
Odors in drinking water"
Denver, Co.
American Water Works Association
Research Foundation & Lyonnaise, Eaux

Manrique Jose Antonio, 1984.
"Energía Solar, Fundamentos y aplicaciones foto térmicas"
Editorial Harla

Medina San Juan, José
"Desalación de aguas salobres y de mar
Por Osmosis inversa"

Metcalf & Eddy, 1996
"Ingenieria Sanitaria:tratamiento, vertido y reutilización"
Universidad de California

Mc Cabe, W. L. y J. C. Smith, 2000
"Operaciones Unitarias de Ingeniería Química"
Editorial Mc Graw Hill, Mexico, Sexta Edición,

NORMA OFICIAL MEXICANA 127-SSA -1994
"Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano.
Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su uso
y potabilización".

NORMA OFICIAL MEXICANA 201-SSAI -1994
"Productos y servicios. Agua y Hielo purificado para consumo humano, envasados y a
granel. Especificaciones Sanitarias".

Perry, R. y D. Green, 1984
"Manual del Ingeniero Químico",
Editorial Mc Graw Hill,New York, Sexta Edición

Ramos Olmos, Raudel
"El agua en el medio ambiente, muestreo y análisis"

Rodríguez Reinoso F. y Molina Sabio M., 2002
“El carbón activado en procesos de descontaminación”
Depto. De Química Inorgánica, Universidad de Alicante, España.
Excel Water Technologies Inc.

Rodríguez Reinoso Francisco
“Carbón Activado: Estructura, Preparación y Aplicaciones”
Depto. De Química Inorgánica, Universidad de Alicante, España.
Excel Water Technologies Inc.

Ramalho, Ruben Sette, 1996.
“Tratamiento de Aguas Residuales”
Tesis

Romero Rojas Jairo Alberto, 1999
“Potabilización del Agua”
Alfaomega Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería
3ra. Edición

Romero Rojas Jairo Alberto, 1999
“Tratamiento de Aguas Residuales por lagunas de estabilización”
Alfaomega Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería
3ra. Edición

Schaeffer Kenneth E.,
“Comprendiendo los estándares del carbón activado”
Hawley Editorial Omega, 2da edición

Sherwood, T.K., R.L. Pigford y C.R. Wilke., 1975.
“Mass Transfer”
McGraw-Hill; Tokyo; 1a. edición

Seoanez Calvo, Mariano, 2004
“Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo”

Southwest Technology Development Institute
“Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo con Energía Fotovoltaica”
New Mexico State University

Tchobanoglous y Shroeder, 1987.
“Gestión Integral de Residuos Peligrosos”
Directiva de Agua Potable en la Unión Europea.

Tchobanoglous y Shroeder, Theisen G.H., Eliassen, R., 1977.
"Solid Wastes: Engineering principles and management issues"
Mc Graw Hill, New York

Treybal, R.E., 1980.
"Mass Transfer Operations"
McGraw-Hill Book Company, New York, Third Edition

Villalobos Moreto, Francisco
"Estudio monográfico para el muestreo y caracterización ambiental de agua residual"
Tesis UABC

C. ANEXOS.

ANEXO C.1 IMÁGENES DEL PROTOTIPO

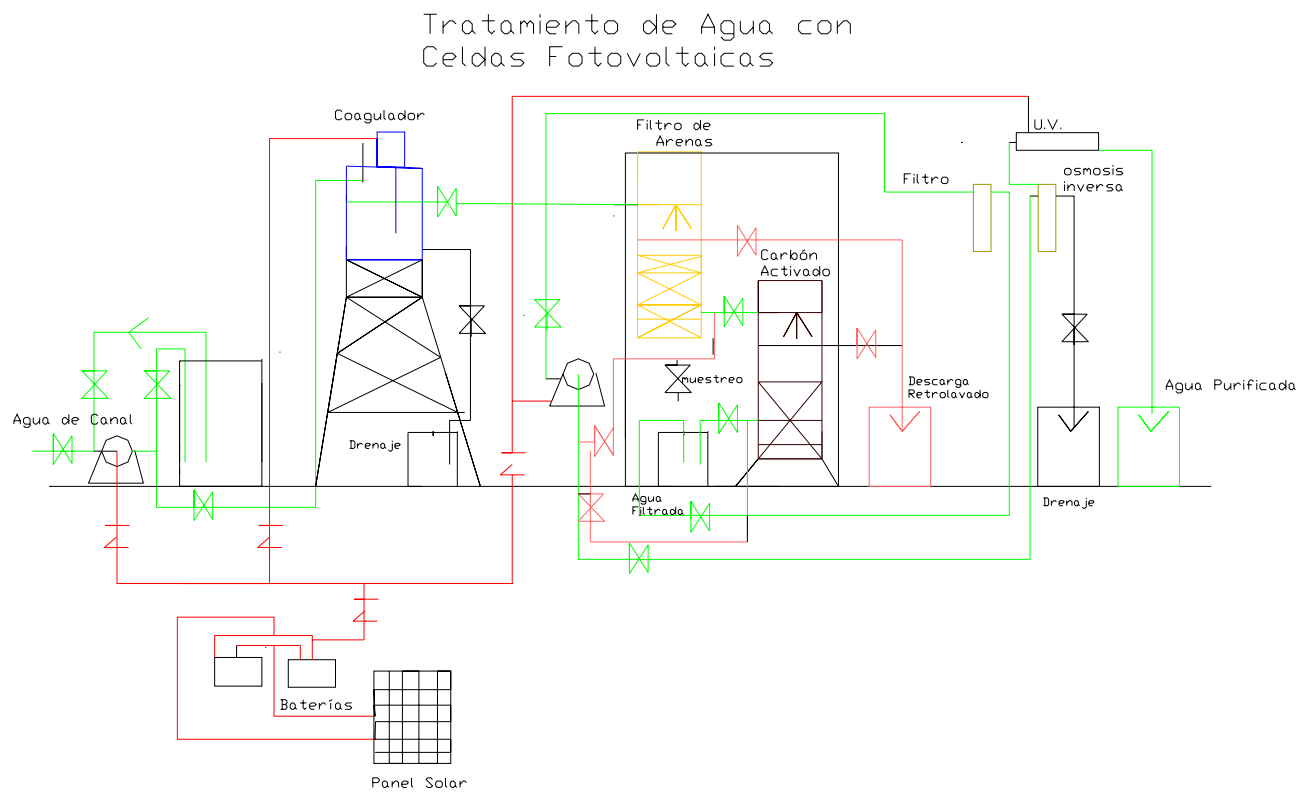


Figura 37. PROTOTIPO DEL PROYECTO CONSTRUIDO PARA PRUEBAS HIDRAULICAS

PRIMERA ETAPA
Material: fibra de vidrio



Figura 38. Equipo de fibra de Vidrio



Figura 39. Vista del Equipo y sus conexiones



Figura 40. Sistema de Osmosis Inversa y Luz UV



Figura 41. Bomba centrífuga de corriente alterna para pruebas



Figura 42 Inversor de Corriente

SEGUNDA ETAPA
Material: PVC



Figura 43. Sistema en PVC



Figura 44. Vista de las conexiones de flujo de agua



Figura 45. Sistema completo mostrando suministro de energía por paneles solares



Figura 46. Filtros granulares en tanques de PVC

C2. Estándares de Calidad del Agua Potable

Contaminante	MNMC ¹ (mg/l) ⁴	NMC ² o TT ³ (mg/l) ⁴	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC	Fuentes de contaminación comunes en agua potable
Químicos Inorgánicos				
Antimonio	0.006	0.006	Aumento de colesterol en sangre; descenso de azúcar en sangre (aumento de colesterolhemia; hipoglucemia).	Efluentes de refinerías de petróleo; retardadores de fuego; cerámicas; productos electrónicos; soldaduras.
Arsénico	ninguno ⁵	0.05	Lesiones en la piel; trastornos circulatorios; alto riesgo de cáncer.	Erosión de depósitos naturales; agua de escorrentía de huertos; aguas con residuos de fabricación de vidrio y productos electrónicos.
Asbestos (fibras >10 micrómetros)	7 millones de fibras por litro (MFL)	7 MFL	Alto riesgo de desarrollar pólipos intestinales benignos.	Deterioro de cemento amiantado (fibrocemento) en cañerías principales de agua; erosión de depósitos naturales.
Bario	2	2	Aumento de presión arterial.	Aguas con residuos de perforaciones; efluentes de refinerías de metales; erosión de depósitos naturales.
Berilio	0.004	0.004	Lesiones intestinales.	Efluentes de refinerías de metales y fábricas que emplean carbón; efluentes de industrias eléctricas, aeroespaciales y de defensa.
Cadmio	0.005	0.005	Lesiones renales.	Corrosión de tubos galvanizados; erosión de depósitos naturales; efluentes de refinerías de metales; líquidos de escorrentía de baterías usadas y de pinturas.
Cromo (total)	0.1	0.1	Dermatitis alérgica.	Efluentes de fábricas de acero y papel; erosión de depósitos naturales.
Cobre	1.3	Nivel de acción=1.3; TT ⁶	Exposición a corto plazo: molestias gastrointestinales. Exposición a largo plazo: lesiones hepáticas o renales. Aquellos con enfermedad de Wilson deben consultar a su médico si la cantidad de	Corrosión de cañerías en el hogar; erosión de depósitos naturales; percolado de conservantes de madera.

			cobre en el agua superara el nivel de acción.	
Cianuro (como cianuro libre)	0.2	0.2	Lesiones en sistema nervioso o problemas de tiroides	Efluentes de fábricas de acero y metales; efluentes de fábricas de plásticos y fertilizantes
Flúor	4.0	4.0	Enfermedades óseas (dolor y fragilidad ósea) Los niños podrían sufrir de dientes manchados	Aditivo para agua para tener dientes fuertes; erosión de depósitos naturales; efluentes de fábricas de fertilizantes y de aluminio.
Plomo	Cero	Nivel de acción=0.015; TT ⁶	Bebés y niños: retardo en desarrollo físico o mental; los niños podrían sufrir leve déficit de atención y de capacidad de aprendizaje. Adultos: trastornos renales; hipertensión	Corrosión de cañerías en el hogar; erosión de depósitos naturales.
Mercurio (Inorgánico)	0.002	0.002	Lesiones renales	Erosión de depósitos naturales; efluentes de refineras y fábricas; lixiviados de vertederos y tierras de cultivo.
Nitrato (medido como nitrógeno)	10	10	Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitratos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).	Aguas contaminadas por el uso de fertilizantes; percolado de tanques sépticos y de redes de alcantarillado; erosión de depósitos naturales.
Nitrito (medido como nitrógeno)	1	1	Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitritos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).	Aguas contaminadas por el uso de fertilizantes; percolado de tanques sépticos y de redes de alcantarillado; erosión de depósitos naturales.
Selenio	0.05	0.05	Caída del cabello o de las uñas; adormecimiento de dedos de manos y pies; problemas circulatorios.	Efluentes de refineras de petróleo; erosión de depósitos naturales; efluentes de minas.
Talio	0.0005	0.002	Caída del cabello; alteración de la sangre; trastornos renales, intestinales o	Percolado de plantas procesadoras de minerales; efluentes de

			hepáticos.	fábricas de vidrio, productos
Químicos Orgánicos				
Acrilamida	cero	TT ⁷	Trastornos sanguíneos o del sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.	Se agrega al agua durante el tratamiento de efluentes y de agua de alcantarillado.
Alaclor	cero	0.002	Trastornos oculares, hepáticos, renales o esplénicos; anemia; alto riesgo de cáncer.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas para cultivos.
Atrazina	0.003	0.003	Trastornos cardiovasculares o del sistema reproductor.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas para cultivos.
Benceno	cero	0.005	Anemia; trombocitopenia; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas; percolado de tanques de almacenamiento de combustible y de vertederos para residuos.
Benzo(a)pireno	cero	0.0002	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.	Percolado de revestimiento de tanques de almacenamiento de agua y líneas de distribución.
Carbofurano	0.04	0.04	Trastornos sanguíneos, del sistema nervioso o del sistema reproductor.	Percolado de productos fumigados en cultivos de arroz y alfalfa.
Tetracloruro de carbono	cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas químicas y de otras actividades industriales.
Clordano	cero	0.002	Trastornos hepáticos o del sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.	Residuos de termiticidas prohibidos.
Clorobenceno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos o renales.	Efluentes de plantas químicas y de plantas de fabricación de agroquímicos.
2,4-D	0.07	0.07	Trastornos renales, hepáticos o de la glándula adrenal.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas para cultivos.
Dalapon	0.2	0.2	Pequeños cambios renales.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas utilizados en servidumbres de paso.
1,2-Dibromo-3-cloropropano (DBCP)	cero	0.0002	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.	Aguas contaminadas/percolado de productos fumigados en huertos y en campos de cultivo de soja, algodón y piña (anana).

o-Diclorobenceno	0.6	0.6	Trastornos hepáticos, renales o circulatorios.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
p-Diclorobenceno	0.075	0.075	Anemia; lesiones hepáticas, renales o esplénicas; alteración de la sangre.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
1,2-Dicloroetano	Cero	0.005	Alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
1-1-Dicloroetileno	0.007	0.007	Trastornos hepáticos.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
cis-1, 2-Dicloroetileno	0.07	0.07	Trastornos hepáticos.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
trans-1,2-Dicloroetileno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
Diclorometano	Cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas químicas y farmacéuticas.
1-2-Dicloropropano	Cero	0.005	Alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
Adipato de di-(2-etilhexilo)	0.4	0.4	Efectos tóxicos generales o dificultades para la reproducción	Efluentes de plantas químicas.
Ftalato de di-(2-etilhexilo)	Cero	0.006	Dificultades para la reproducción; trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer	Efluentes de plantas químicas y de fabricación de goma.
Dinoseb	0.007	0.007	Dificultades para la reproducción	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas utilizados en soja y vegetales.
Dioxina (2,3,7,8-TCDD)	Cero	0.00000003	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer	
Diquat	0.02	0.02	Cataratas	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Endotal	0.1	0.1	Trastornos estomacales e intestinales.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Endrina	0.002	0.002	Trastornos hepáticos.	Residuo de insecticidas prohibidos.
Epiclorohidrina	Cero	TT ⁷	Alto riesgo de cáncer y a largo plazo, trastornos estomacales.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial; impurezas de algunos productos químicos

				usados en el tratamiento de aguas.
Etilbenceno	0.7	0.7	Trastornos hepáticos o renales.	Efluentes de refinerías de petróleo.
Dibromuro de etileno	Cero	0.00005	Trastornos hepáticos, estomacales, renales o del sistema reproductor; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de refinerías de petróleo.
Glifosato	0.7	0.7	Trastornos renales; dificultades para la reproducción.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Heptacloro	cero	0.0004	Lesiones hepáticas; alto riesgo de cáncer	Residuos de termiticidas prohibidos.
Heptacloropóxido	cero	0.0002	Lesiones hepáticas; alto riesgo de cáncer	Descomposición de heptacloro.
Hexaclorobenceno	cero	0.001	Trastornos hepáticos o renales; dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de refinerías de metales y plantas de agroquímicos.
Hexacloro-ciclopentadieno	0.05	0.05	Trastornos renales o estomacales.	Efluentes de plantas químicas.
Lindano	0.0002	0.0002	Trastornos hepáticos o renales.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en ganado, madera, jardines.
Metoxicloro	0.04	0.04	Dificultades para la reproducción.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en frutas, vegetales, alfalfa, ganado.
Oxamil (Vidato)	0.2	0.2	Efectos leves sobre el sistema nervioso.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en manzanas, papas y tomates.
Bifenilos policlorados (PCB)	cero	0.0005	Cambios en la piel; problemas de la glándula tímica; inmunodeficiencia; dificultades para la reproducción o problemas en el sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.	Agua de escorrentía de vertederos; aguas con residuos químicos.
Pentaclorofenol	cero	0.001	Trastornos hepáticos o renales; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas de conservantes para madera.
Picloram	0.5	0.5	Trastornos hepáticos.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Simazina	0.004	0.004	Problemas sanguíneos.	Aguas contaminadas por la aplicación de

				herbicidas.
Estireno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos, renales o circulatorios.	Efluentes de fábricas de goma y plástico; lixiviados de vertederos.
Tetracloroetileno	cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas y empresas de limpieza en seco.
Tolueno	1	1	Trastornos renales, hepáticos o del sistema nervioso.	Efluentes de refinerías de petróleo.
Trihalometanos totales (TTHM)	ninguno ⁵	0.10	Trastornos renales, hepáticos o del sistema nervioso central; alto riesgo de cáncer.	Subproducto de la desinfección de agua potable.
Toxafeno	Cero	0.003	Problemas renales, hepáticos o de tiroides; alto riesgo de cáncer.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en algodón y ganado.
2,4,5-TP (Silvex)	0.05	0.05	Trastornos hepáticos.	Residuos de herbicidas prohibidos.
1,2,4-Triclorobenceno	0.07	0.07	Cambios en glándulas adrenales.	Efluentes de fábricas de textiles.
1,1,1-Tricloroetano	0.20	0.2	Problemas circulatorios, hepáticos o del sistema nervioso.	Efluentes de plantas para desgrasar metales y de otros tipos de plantas.
1,1,2-Tricloroetano	3	5	Problemas hepáticos, renales o del sistema inmunológico.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
Tricloroetileno	Cero	5	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas para desgrasar metales y de otros tipos de plantas.
Cloruro de vinilo	Cero	2	Alto riesgo de cáncer.	Percolado de tuberías de PVC; efluentes de fábricas de plásticos.
Xilenos (total)	10	10	Lesiones del sistema nervioso.	Efluentes de refinerías de petróleo; efluentes de plantas químicas.
Radionucleidos				
Emisores de partículas beta y de fotones.	ninguno ⁵	4 milirems por año (mrem/año)	Alto riesgo de cáncer.	Desintegración radiactiva de depósitos naturales y artificiales de ciertos minerales que son radiactivos y pueden emitir radiación conocida como fotones y radiación beta.
Actividad bruta de partículas alfa	ninguno ⁵	15 picocuries por litro (pCi/l)	Alto riesgo de cáncer.	Erosión de depósitos naturales de ciertos minerales que son radiactivos y pueden emitir radiación.

				conocida como radiación alfa.
Radio 226 y Radio 228 (combinados)	ninguno ⁵	5 pCi/l	Alto riesgo de cáncer.	Erosión de depósitos naturales.
Microorganismos				
<i>Cryptosporidium</i>	Cero	TT ⁸	Trastornos gastrointestinales (diarrea, vómitos, retortijones).	Desechos fecales humanos y de animales.
<i>Giardia lamblia</i>	Cero	TT ⁸	Trastornos gastrointestinales (diarrea, vómitos, retortijones).	Desechos fecales humanos y de animales.
Conteo de placas de bacterias heterotróficas(HPC)	N/A	TT ⁸	El HPC no tiene efecto sobre la salud; es sólo un método analítico usado para medir la variedad de bacterias comúnmente encontradas en el agua. Cuanto menor sea la concentración de bacterias en el agua potable, mejor mantenido estará el sistema.	Con el HPC se determinan las diversas bacterias que hay en forma natural en el medio ambiente.
<i>Legionella</i>	cero	TT ⁸	Enfermedad de los legionarios, un tipo de neumonía ⁹ .	Presente naturalmente en el agua; se multiplica en los sistemas de calefacción.
Coliformes totales (incluye coliformes fecales y <i>E. coli</i>)	cero	5.0% ¹⁰	Por sí mismos, los coliformes no constituyen una amenaza para la salud; su determinación se usa para indicar si pudiera haber presentes otras bacterias posiblemente nocivas ¹¹ .	Los coliformes se presentan naturalmente en el medio ambiente; los coliformes fecales y la <i>E. coli</i> proviene de heces fecales de humanos y de animales.
Turbidez	N/A	TT ⁸	La turbidez es una medida del enturbiamiento del agua. Se utiliza para indicar la calidad del agua y la eficacia de la filtración (por ejemplo, para determinar si hay presentes organismos que provocan enfermedades). Una alta turbidez suele asociarse a altos niveles de microorganismos causantes de enfermedades, como por ejemplo, virus, parásitos y algunas bacterias. Estos organismos pueden provocar síntomas tales como náuseas, retortijones, diarrea y dolores de cabeza asociadas.	Agua de escorrentía por el terreno.
Virus (entéricos)	cero	TT ⁸	Trastornos gastrointestinales (diarrea, vómitos, retortijones).	Heces fecales de humanos y de animales.

C3. EXTRACTO DE LA NORMA OFICIAL NOM-201-SSA1-1994.

6.6.1 La materia prima al inicio del proceso de los productos objeto de esta Norma, debe cumplir como mínimo con las especificaciones sanitarias que se establecen en la NOM-127-SSA1-1994. En caso de no ser así, el producto terminado además de cumplir con las especificaciones que se establecen en esta norma, debe cumplir con los límites máximos para bario, cromo y plaguicidas que se establecen en la norma arriba citada.

6.6.2 Organolépticas y físicas.

Especificación	
Olor	Inodoro
Sabor	Insípido
	Límite Máximo
Color	15 unidades de color verdadero * en la escala de platino cobalto
Turbiedad	5 Unidades de UNT

*Únicamente el producido por sólidos disueltos en el agua.

6.6.3 Microbiológicas.

Especificación	Límite máximo
Coliformes totales	< 1,1NMP/100mL

6.6.4 Contaminantes

6.6.4.1 Metales pesados o metaloides

Elemento	Límite máximo (mg/L)
Arsénico	0,025
Boro	0,3
Cadmio	0,005
Fluoruros como F ⁻	1,5
Níquel	0,02
Plata	0,1
Plomo	0,01
Selenio	0,01

6.6.4.2 Otros contaminantes

Sustancia	Límite máximo (mg/L)
Cianuros como CN ⁻	0,05
Nitratos como N	10,00
Nitritos como N	0,05

Sustancias activas al azul de metileno	0,5
--	-----

6.6.5 Desinfectantes.

Desinfectante	Límite Máximo (mg/L)	
	Hielo a granel	Agua o hielo envasados
Cloro residual libre después de un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos	1,5	0,1 *

* Cuando se utilice para desinfectar el producto.

6.6.6 Subproductos de desinfección del agua.

Desinfectante utilizado	Subproducto	Límite máximo (mg/L)
Cloro	Formaldehído	0,9
	Trihalometanos totales	0,10
Ozono	Formaldehído	0,9

6.6.7 Coadyuvantes de proceso.

Cuando se utilice poliacrilamida para realizar floculación su concentración no debe ser mayor a 1mg/L.

6.6.8 Aditivos.

Aditivo	Límite máximo
Anhídrido carbónico	BPF