

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En el proceso de formación académica del programa de Ingeniería Civil de la U.A.J.M.S., y particularmente en la mención de “Hidráulica” se busca de manera constante fomentar la investigación que permita consolidarse como una alternativa y un aporte al bienestar de la comunidad boliviana.

Así fue, cómo la necesidad de potabilizar el agua de las fuentes superficiales y/o subterráneas en pequeñas comunidades del país que por su situación económica, social y demográfica principalmente, no les permita contar con una planta de tratamiento de ósmosis inversa, electrodiálisis u otras; impulsó la preparación y el desarrollo de la investigación de un prototipo que sea económico, sostenible, sustentable, y a la vez, no degrade el medio ambiente.

Por tanto se hace necesaria la evaluación del rendimiento, productividad y eficiencia del prototipo, además de verificar, hasta qué punto el producto obtenido se aproxima a los parámetros establecidos por la norma.

Existen una diversidad de tecnologías para el tratamiento de agua potable: electrodiálisis, ósmosis inversa, compresión de vapor, etc, los cuales son efectivos, pero a la vez requieren personal calificado, preparación que es difícil de contar en las comunidades rurales, por el costo que ello implicaría.

1.1 Motivación.-

El agua, origen y base de la vida, se ha consolidado como medio indispensable para cualquier alternativa de futuro. No existe actividad humana: económica, industrial, social o política que pueda prescindir de este vital recurso. Sobre esta realidad, se han desatado todas las vocaciones, ideas y acciones para su control, uso y dominio.

La contaminación, el tratamiento inadecuado de los desechos y la insuficiencia y elevado costo de infraestructuras para la desinfección del agua plantean serias amenazas a la salud pública, al desarrollo económico y social de los países en vías de desarrollo, siendo mucho más notorias en las zonas rurales y pobres del país.

Esta creciente problemática del agua para consumo humano en regiones rurales en el departamento y el país, aunado el criterio y necesidad de conservación del medio ambiente y el desarrollo de tecnologías alternativas no degradantes del mismo, nos orienta a considerar el desarrollo de tecnologías que utilicen energías renovables y disponibles (sol, viento).

Durante los últimos años las políticas hídricas aplicadas, han estado orientadas al riego y al agua potable en comunidades rurales, sin embargo, el “agua potable”, que se provee, no reúne las características establecidas en la norma Boliviana, siendo aún duras, saladas, con alto contenido de colis, etc., reduciendo así estos proyectos, a solamente abastecimiento de agua.

Las enfermedades transmitidas por el agua, tales como: el cólera, la fiebre tifoidea, la disentería, la poliomielitis, la meningitis y las hepatitis A y B, entre otras, llegan a ser mortales en lugares que carecen de instalaciones de saneamiento y abastecimiento apropiadas, favoreciendo la rápida propagación de estas enfermedades debido a que las heces expuestas a cielo abierto contienen organismos infecciosos que contaminan el agua y los alimentos.

Como se menciona, la falta de agua adecuada para el consumo, es una fuente directa de enfermedades, por lo que para proteger la salud no basta con tener agua.

La capacidad del agua para transmitir enfermedades depende de su calidad microbiológica. Las enfermedades pueden ser causadas por virus, bacterias o protozoarios.

Nace ahí la necesidad de desarrollar una investigación que permita la aplicación de tecnologías de purificación de agua cruda para adecuarla a los estándares de calidad planeados en la norma boliviana.

1.2 Planteamiento del problema.-

La menor disponibilidad de agua dulce en el planeta, y el incremento de aguas contaminadas no tratadas, conlleva necesariamente a la optimización en el uso del agua y la reutilización de este elemento.

Además de la búsqueda y utilización de fuentes alternativas que anteriormente no eran consideradas por no poseer la calidad adecuada para consumo humano o porque implicaban el uso de tecnología demasiado costosa en su tratamiento, que hacían inviable su utilización.

La escasez de agua apta para el consumo humano, en nuestro país, es notoria, y mucho más en zonas rurales especialmente en las zonas áridas del departamento de Tarija.

La diversidad de tecnologías de desalinización que han sido desarrolladas en los últimos años; como los procesos de ósmosis inversa, electrodiálisis, compresión de vapor, etc., que aunque son eficientes, resultan muy costosas de operar y mantener, en especial en aquellas comunidades remotas donde no se cuenta con el adecuado soporte técnico que exigen estas tecnologías sofisticadas.

La carencia en el desarrollo y la investigación de tecnologías locales apropiadas para el tratamiento de aguas crudas, que presentan metales y sales en su composición que además posean facilidad y sencillez en su operación y mantenimiento, se ha convertido en una limitante para la factibilidad de proyectos de agua potable en zonas rurales del departamento y del país.

Esto ocasiona que no se tome en cuenta esta metodología como alternativa y no se haya explotado este conocimiento para lograr beneficios en la población rural que, a su vez tampoco posee la capacidad técnica ni económica para llevar adelante este tipo de investigaciones con sus propios recursos.

El poco interés y apoyo mostrado por instituciones en la investigación de estas tecnologías debido a que no se cuentan con los recursos e iniciativa para realizar este tipo de estudios, ocasiona que las comunidades rurales se vean afectadas por la falta de agua potable para su consumo, que a la larga trae consecuencias negativas a su salud.

Tomando en cuenta la sequía que sufren estas zonas áridas de nuestro país que no poseen la cantidad necesaria de precipitaciones, se ven en la necesidad de obtener agua por otros medios como ser: lagunas, riachuelos; los cuales poseen poca cantidad y poco caudal y una calidad deficiente, no apta para el consumo humano, por estar estancadas y acumular cantidad de microorganismos dañinos para la salud del ser humano.

Estos problemas continuarán si es que no se realizan investigaciones orientadas a mejorar la calidad del agua con tecnologías apropiadas.

La destilación solar, a partir de los principios de la desalinización solar se ha presentado como una prometedora alternativa para el tratamiento de aguas para consumo humano, cuya particularidad radica en que usa un recurso energético gratuito, es de simple tecnología y produce mínimo impacto ambiental.

El constante desarrollo de estos sistemas ha demostrado la factibilidad y la conveniencia de su utilización en aquellas zonas áridas que tienen un gran potencial de energía solar y en donde la demanda de agua potable no es muy alta (hasta 40 m³/día).

De tal modo, es necesario la realización de un estudio que permita corroborar los parámetros que afectan al proceso de *purificación*, realizado en nuestro medio, para lograr un mejor diseño de estos sistemas en los lugares que sean necesarios, asumiendo en primera instancia resultados positivos, y si no, en cambio se tendrá conocimiento de la efectividad de este método, para su posterior perfeccionamiento.

1.3 Formulación del problema.-

¿Cuál sería el rendimiento de un módulo de purificación utilizando el método de humidificación solar en nuestro medio?

1.4 Sistematización del problema.-

¿De qué manera influye la radiación solar en el proceso?

¿Qué calidad de agua se podría obtener con la utilización del método de humidificación solar?

¿Qué materiales locales podrían utilizarse en su diseño e implementación?

¿Cuáles tendrían que ser las características del módulo de purificación, utilizando tecnologías locales?

¿Qué rendimientos tendríamos con el uso de estos materiales?

¿Qué cantidad de agua se puede obtener con el proceso de humidificación solar?

1.5 Ubicación de la investigación.-

Los módulos se instalaron en los predios de la estación meteorológica “Las Barrancas”, perteneciente al SENAMHI-TARIJA, la cual se encuentra a 21°30'48" Latitud sur y 64°44'40" Longitud Oeste, a una altura media de 1924 m.s.n.m. en la ciudad de Tarija, Provincia Cercado.

1.6 Objetivos de la investigación.-

1.6.1 Objetivo general.-

Diseñar, construir y evaluar el rendimiento, productividad y eficiencia de un prototipo de purificación de agua con tecnología solar.

1.6.2 Objetivos específicos.-

- Establecer los subprocesos que influyen en el proceso.
- Determinar los aspectos climatológicos de la zona en la cual se llevará a cabo el ensayo.
- Realizar un análisis del agua en condiciones naturales.
- Realizar un análisis de la calidad agua, después de haber pasado por el proceso de humidificación y evaluar sus resultados.
- Establecer el rendimiento del proceso en bases a los resultados obtenidos.
- Proponer el modelo de la planta de acuerdo a los materiales existentes en el mercado local.
- Establecer los costos de implementación de este modelo, como su operación y mantenimiento.

1.7 Justificación de la investigación.-

1.7.1 Justificación teórica.-

En la actualidad, la utilización de las energías renovables, empieza a considerarse como una opción atractiva para el desarrollo, especialmente a pequeña y mediana escala, en zonas donde la disponibilidad de recursos renovables (sol y viento) es elevada.

Lamentablemente, por muchos años no se han aplicado de manera consecuente políticas de investigación y desarrollo en consonancia con la importancia que tienen estas zonas, prueba de esto, es que en la actualidad muchas de las zonas rurales tienen que habitar y sobrevivir con problemas de salud, por el consumo de aguas no tratadas.

En los últimos años se han intentado aplicar correctivos a esta problemática en algunas comunidades, por medio del abastecimiento de agua en camiones cisternas de las

entidades municipales. Pero el suministro depende de la disponibilidad de transporte, y tener camiones que se usan para entregar el agua permanentemente resulta muy costoso, además de considerar que estas aguas por su calidad solo sirven para consumo animal.

Tomando en cuenta que para diseñar métodos alternativos sin haber antes, desarrollado una investigación que permita establecer las cualidades y defectos de estas tecnologías en el medio local, se cree que es necesario ahondar en el tema del proceso de la desalinización solar, qué además, de acuerdo a otras experiencias e investigaciones, se observó, un proceso de purificación del agua, cuando nos referimos a metales, sólidos y microorganismos dañinos a la salud del ser humano.

La investigación del prototipo de desalinización solar, permitirá establecer los rendimientos con respecto a tiempo y calidad del agua resultante del proceso. Así como también la relación con otros parámetros.

1.7.2 Justificación metodológica.-

Para optar por investigar un método alternativo de purificación del agua, es preciso y necesario tomar en cuenta los recursos disponibles en la región. Es así que el sol y el viento, son recursos inagotables y gratuitos, que podemos explotar como energía renovable que permita realizar el proceso purificador.

Para llevar a cabo la investigación, necesitamos medir, las horas del sol, radiación solar, temperatura, lo que nos permitirá establecer su relación con el rendimiento del proceso que estamos investigando y evaluar sus resultados.

1.7.3 Justificación práctica.-

Una vez obtenidos los resultados de la investigación, podremos plantear el diseño de una planta de purificación en base al prototipo estudiado, y establecer su factibilidad técnica, y económica, que es necesaria, para llevar a cabo proyectos de inversión.

Posibilitará que personas del área rural obtengan agua purificada, apta para el consumo humano, que mejorará su calidad de vida.

Permitirá también proponer la metodología para su mantenimiento y operación, que prolongue la vida útil del sistema.

1.8 Consideraciones en el proceso de purificación del agua.-

1.8.1 Consideraciones de primer orden.-

- El sol se constituye en una fuente gratuita de energía.
- La radiación solar es un recurso de aprovechamiento intermitente.
- La nubosidad dificulta la recepción de radiación solar.
- El proceso de desalinización continúa en la noche.
- La intensidad de radiación neta solar (directa + difusa) que llega a la superficie de la tierra, varía sinusoidalmente con el tiempo y se puede determinar a través de la fórmula de Close.
- La intensidad de radiación solar difiere dependiendo de la ubicación geográfica y el clima
- El rendimiento de un destilador solar, está en función de la irradiación solar y de la temperatura.
- Las regiones cálidas y soleadas ofrecen mejores condiciones de funcionamiento para el destilador que las regiones frías y húmedas.
- El trabajo de purificación se realiza, considerando que las sales, los colorantes y los microorganismos y los metales, no se evaporan.
- La radiación solar provocara el sobrecalentamiento de las aguas.
- La hermeticidad de la unidad contribuye al rendimiento del destilador solar

- La temperatura y radiación son suficientes variables a ser medidas para evaluar el rendimiento del prototipo.

1.8.2 Consideraciones de segundo grado.-

- El prototipo funciona con energía gratuita proveniente del sol, obteniendo un mejor rendimiento en las intermitencias en las que esté presente y donde la nubosidad sea reducida.
- En horario nocturno el rendimiento será menor y se verá afectado por las condiciones atmosféricas que se presenten.
- Como la radiación solar y la temperatura son variables que dependen de la ubicación geográfica y el clima, se espera que en regiones áridas y secas el rendimiento del prototipo de purificación será superior al de zonas húmedas y frías.
- Con la fórmula de Close, se podrá comparar la radiación total diaria con la horaria, medida por el sensor de radiación.

$$I = \frac{\pi \cdot I_0}{7.2 \cdot t_x} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot t}{t_s}\right)$$

- Cuando una lámina de la superficie del agua contenida en el purificador se vaporice, las sales, los colorantes, los microorganismos y los metales quedarán depositados en el fondo, por ser estos más pesados, teniendo así un proceso de destilación funcional y adecuado.
- Como utiliza energía solar, y éste es un tipo de energía alternativa ecológica, no ocasionará degradación ambiental.
- El rendimiento del prototipo está en función de la radiación solar y la temperatura.

$$R = r + t$$

- Los resultados obtenidos permitirán el diseño de una planta de purificación de agua utilizando la radiación solar.

1.8.3 Consideraciones de tercer orden.-

- Como resultado del proceso de purificación tendremos que, el agua obtenida posee parámetros físicos, químicos y bacteriológicos enmarcados dentro de lo establecido por la O.M.S. para consumo humano.
- Además, en el rendimiento influye también la calidad del agua. Entonces:

$$R = r + t + c$$

El resultado del rendimiento del proceso de purificación de agua, proporciona una relación radiación-volumen de agua purificada, temperatura-volumen de agua purificada, para la elaboración de tablas que permiten explicar el desempeño del prototipo, su rendimiento y eficiencia, y la calidad que se llegará a obtener con las distintas muestras.

CAPÍTULO II
MARCO DE REFERENCIA

CAPITULO II

MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco teórico.-

2.1.1 Proceso de purificación por humidificación solar.-

2.1.1.1 Principio básico de funcionamiento.-

La humidificación solar, consiste básicamente en la evaporación del agua por radiación solar.

El dispositivo clave en este proceso es el *módulo de purificación solar*, el cual consiste esencialmente de un estanque poco profundo en el que se vierte cierto nivel de agua salobre.

El estanque va cubierto con un material transparente (vidrio o plástico) colocado con cierta inclinación. El estanque generalmente tiene su superficie interna pintada en negro con un esmalte impermeable que no es nocivo para la salud, para que pueda absorber la máxima radiación incidente.

La radiación solar que pasa a través de la cubierta es absorbida por el fondo negro y calienta la lámina de agua. Algo del vapor que se forma convecta desplazándose hacia arriba y entra en contacto con las superficies frías de la cubierta. *El calor latente* contenido en la masa de vapor es transferido a la cubierta y es disipado a la atmósfera por radiación y convección. Al ceder este calor ocurre la condensación de la

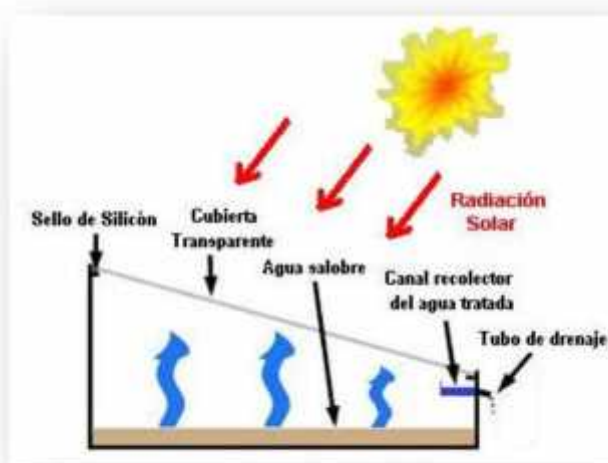


Fig. 2.1.- Proceso por radiación solar

masa de vapor, fluyendo el líquido a lo largo del lado interno de la cubierta, hasta caer en los canales de donde se recolecta.

En cierto sentido el destilador funciona como una trampa de calor, ya que la cubierta es transparente a la luz solar incidente, pero opaca a la radiación infrarroja emitida por el agua caliente, lo cual se denomina como “efecto invernadero”. Así mismo, impide que se escape el vapor y que el viento enfríe el agua.

Las principales variables de operación que afectan el rendimiento de estos aparatos son los siguientes:

- Intensidad de la insolación.
- Temperatura del ambiente.
- Nivel del agua a ser purificada.
- Inclinação de la cubierta transparente.
- Hermeticidad de la unidad.
- Pérdidas de calor a lo largo de la unidad.

2.1.1.2 Efecto del Viento.-

Se ha demostrado que el efecto de las velocidades del viento no es tan apreciable, menos que su intensidad resulte en problemas para la estabilidad estructural de la unidad. Sin embargo, es un hecho, que el viento ayuda a disipar el calor de la cubierta de vidrio, enfriándola, resultando que exista un mayor diferencial de temperatura entre la temperatura del agua de la bandeja y la cubierta, mejorando un poco la productividad del aparato.

2.1.1.3 Efecto de la profundidad.-

El efecto del nivel o la profundidad del agua tratada tienen relevancia; en general, mientras menor sea el nivel del agua sobre mayor será la productividad.

Claro está, existe un límite práctico recomendado para este nivel a manera de evitar la formación de incrustaciones de sal. Se recomienda que el nivel de agua no sea mayor a los 5 cm. (2 plg.)¹.

2.1.1.4 La energía solar.-

Para el diseño y construcción de una planta purificadora solar, es importante conocer los desafíos que representa el uso de energía solar. Se requiere conocer con precisión la dirección e intensidad con la que incide la radiación solar, un recurso de aprovechamiento intermitente.

Para esto es necesario referir la posición del sol a la posición del observador en la superficie de la tierra, es decir, se *asume el enfoque tolemaico* de considerar al Sol como un cuerpo que se mueve alrededor de la Tierra en una esfera celeste imaginaria concéntrica a esta.

2.1.2 Aspectos en la utilización de energía solar.-

2.1.2.1 Elementos de posición.-

Dado que el Sol se “mueve” en una superficie esférica, bastan dos ángulos para determinar su posición en cualquier instante, a través de los siguientes ángulos, también llamados coordenadas solares:

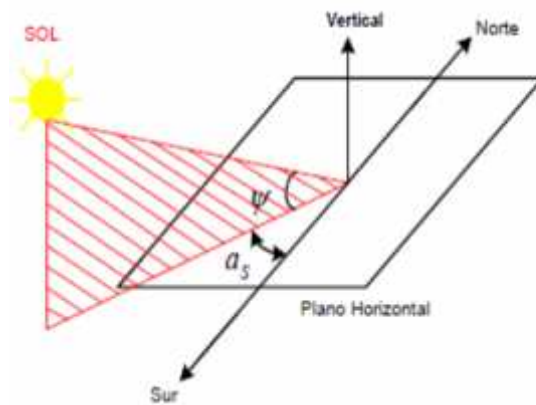
- Altitud Solar (Ψ): ángulo comprendido entre los rayos solares y la proyección de ellos sobre el plano horizontal.
- Azimut (as): ángulo del plano horizontal medido entre la dirección del eje norte-sur y la proyección de los rayos solares sobre el mismo plano.

¹ Fenton G. (1983), “Solar Distillation”, Desalination Technology, Essex, Editorial Applied Science Publishers, Inglaterra

El conocimiento de la altitud solar permite estimar la sombra que puede generar el sol en diversas horas del día, dato importante a la hora de ubicar convenientemente las superficies captadoras de radiación en relación a estructuras elevadas, a fin de evitar que estas últimas les produzcan sombra.

La altitud solar se puede estimar a partir de la siguiente relación:

$$\sin \Psi = \cos L \cos \delta \cos h + \sin L \sin \delta$$



Donde:

L: Latitud del sitio.
 δ : Declinación.
h: Ángulo horario

Fig. 2.2.- Elementos de posición

La latitud, se define como la distancia angular, norte o sur, a la que se encuentra del Ecuador un punto sobre la superficie terrestre y varía de 0–90°. *El ángulo horario* es definido como el número de horas de diferencia que existe entre el mediodía solar y la hora civil de interés. Su valor se basa en la rotación terrestre nominal de 360° que ocurre cada 24 horas, por tanto, una hora equivale a un ángulo de 15°. Este ángulo se mide respecto de su valor de cero en el mediodía solar, variando de 90° a –90°, siendo positivo antes del mediodía solar y negativo después. Se determina a partir de la siguiente expresión²:

$$h = 15(t - 12)$$

² González V. (1993), "Introducción a métodos prácticos de cálculo con Energía Solar", Caracas, División de Nuevas Energías, Ministerio de Energía y Minas, Venezuela.

La declinación se utiliza para caracterizar la posición del planeta en su órbita y básicamente es el ángulo que existe entre un punto sobre el Ecuador y la posición del Sol al mediodía de un determinado día. Varía sinusoidalmente desde +23.5° (en el solsticio de verano) a -23,5° (en el solsticio de invierno).

La declinación se puede calcular por medio de la fórmula de Cooper²:

Donde:

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin \frac{360 \cdot 284 + N}{365}$$

N= Día del año, contando a partir del primero de enero

2.1.2.2 La energía total.-

Hay que mencionar que de la energía total que recibe la Tierra del Sol, una parte incide directamente sin haber sufrido efectos de cambios de dirección, es la llamada *radiación directa*. Pero la otra parte, llamada *radiación difusa* ha sido dispersada por las nubes y el polvo en todas las direcciones. Esta última representa de un 10 a 20% de la radiación total incidente.

En general, se ha estimado que la radiación neta solar (directa + difusa) que llega a la superficie terrestre varía sinusoidalmente en el tiempo, por lo que se puede calcular con una aproximación razonable con la siguiente expresión recomendada por Close:

Donde:

$$I = \frac{\pi \cdot I_o}{7,2 \cdot t_s} \cdot \sin \frac{\pi \cdot t}{t_s}$$

I: Intensidad de radiación por hora sobre un plano horizontal.

Io: intensidad total diaria.

Ts: tiempo en horas desde la salida del sol, hasta la puesta del sol.

T: tiempo en horas después de la salida del sol.

2.1.3 Hidráulica del sistema.-

2.1.3.1 Importancia en el sistema.-

Uno de los factores que influye en sistemas hidráulicos es la pérdida de carga que se produce por la fricción y la transformación de la energía hidráulica en calor.

En el sistema hidráulico en la investigación, este hecho es válido para la aducción y la distribución del agua purificada; sin embargo, “no es aplicable” en la distribución de los módulos de purificación, debido a que el fluido posee baja velocidad y el principio aplicado para mantener el mismo nivel en los módulos de purificación es el de los “Vasos comunicantes”, explicado más a detalle en el siguiente subtítulo.

2.1.3.2 Principio de los vasos comunicantes.-

Este principio es una consecuencia de la ecuación fundamental de la hidrostática, demuestra, que si se tienen dos recipientes comunicados y se vierte un líquido en uno de ellos, en éste se distribuirá entre ambos de tal modo que, independientemente de sus capacidades, el nivel de líquido en uno y otro recipiente sea el mismo.

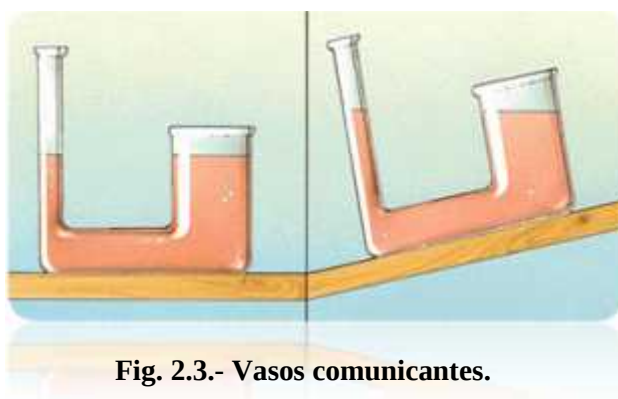


Fig. 2.3.- Vasos comunicantes.

En los vasos comunicantes el líquido alcanza la misma altura en todas las ramas, independientemente del plano horizontal o inclinado sobre el que se asienten.

Si se toman dos puntos *A* y *B* situados en el mismo nivel, sus presiones hidrostáticas han de ser las mismas, es decir:

$$P_A = P_o + \rho gh_A$$

$$P_B = P_o + \rho gh_B$$

Luego, si $P_A = P_B$ necesariamente las alturas h_A y h_B de las respectivas superficies libres son idénticas $h_A = h_B$.

Este principio, es utilizado en el sistema, de modo que el nivel de agua está dado por la tanquilla de nivelación que presenta una base nivelante, que le permite modificar la altura de la taquilla, y a la vez subir y bajar el nivel de agua en el sistema.

2.1.3.3 Pérdida de carga.-

Para este tipo de sistemas se recomienda la fórmula de Hazen-Williams (1905); por tratarse de tuberías que transportan agua entre 5 y 25°C, y los diámetros se encuentran entre los 50 - 3500 mm.³

$$H_f = 10,674 \left| \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} \times D^{4.871}} \right| \times L$$

Donde:

H_f = Pérdida de carga o energía, m.

Q = Caudal, m³/s

C = Coeficiente de rugosidad,
adimensional

D = Diámetro interno de la tubería, m

L = Longitud de la tubería, m

Las tuberías de cloruro de polivinilo (PVC) tienen un coeficiente de fricción $C = 150$, sin embargo es necesario tomar en cuenta que con el tiempo las tuberías y conducciones tienen a ser más rugosas y por lo tanto el coeficiente de fricción tenderá a ser menor, con la consecuente reducción de la capacidad de conducción; por ese motivo Calderón et Al. propone en sus apuntes usar $C = 140$.

Adicionalmente a las pérdidas de fricción por longitud de tramo recto, se debe incluir las pérdidas localizadas en los accesorios (codos, tees, válvulas) presentes en el tramo.

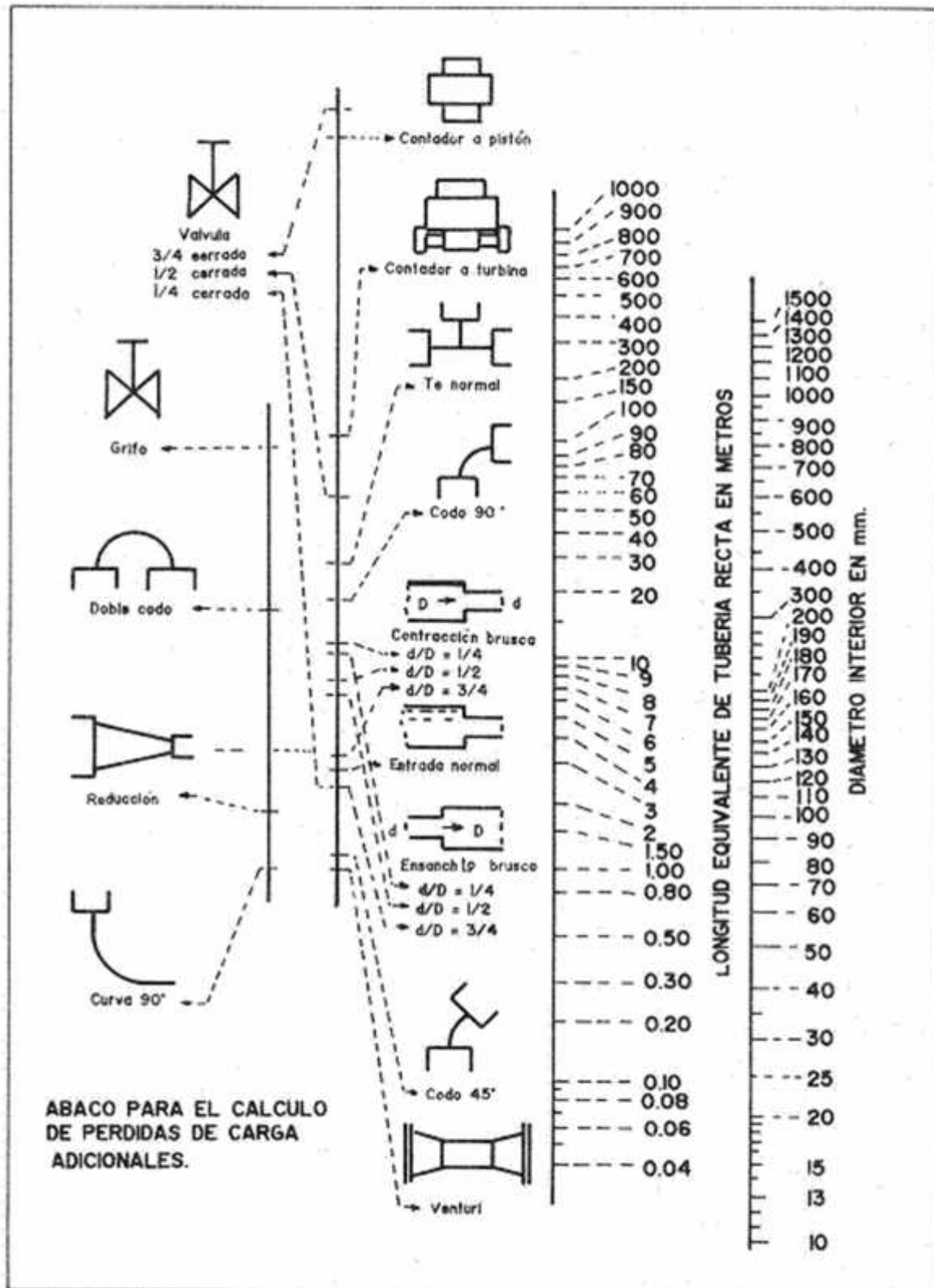
Para obtener la pérdida total se añade la longitud equivalente de los accesorios en el tramo seleccionado de la tabla o del monograma que se muestran a continuación:

³ Ing. Alberto Calderón et Al. (2011), Ingeniería Sanitaria "Apuntes de Clases"

Tabla 2.1.- Longitud equivalente de accesorios de PVC

TIPO DE ELEMENTO		Longitud de tubería equivalente en m										
		Diámetro interior de tubería en mm										
		25	40	50	80	100	125	150	200	250	300	400
Válvula de compuerta		0.3 5	0.5 8	0.6 10	1.0 15	1.3 20	1.6 25	1.9 30	2.6 40	3.2 50	3.9 60	5.2 80
Válvula de diafragma		1.5	2.5	3.0	4.5	6	8	10	-	-	-	-
Válvula acodada		4	6	7	12	15	18	32	30	36	-	-
Válvula esférica		7.5	12	15	24	30	36	45	60	-	-	-
Válvula anti retorno pivotante		2.0	3.2	4.0	6.4	8.0	10	12	16	20	24	32
Codo curvado R=2d		0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	1.5	1.6	2.4	3.0	3.6	4.8
Codo curvado R=d		0.4	0.6	0.8	1.3	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4
Ángulo 90°		1.5	2.4	3.0	4.6	6.0	7.5	9	12	15	18	24
T lado recto		0.5	0.8	1.0	1.6	2.0	2.5	3	4	5	6	8
T salida angular		1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9	12	15	18	24
Reductor		0.5	0.7	1.0	2.0	2.5	3.1	3.6	4.8	6.0	7.2	9.6

Gráfico 2.1.-Monograma para la determinación de pérdidas localizadas



2.1.4 Materiales.-

2.1.4.1 Fibra de vidrio.-

2.1.4.1.1 Historia.-

En 1713 se tiene la primera referencia precisa sobre fibras de vidrio, cuando en el transcurso de una conferencia dada por Réaumur en la Academia de las Ciencias de París, éste exhibe algunas muestras de un tejido de vidrio. Aproximadamente un siglo y medio más tarde, en 1893, Edward Drummond Libbey presenta, en la Exposición Colombiana de Chicago, un tosco vestido y otros artículos obtenidos con tejidos de vidrio, sin que ello logre despertar mayor interés debido al grosor, la fragilidad y la escasa flexibilidad de las fibras, obtenidas por rudimentarios procedimientos.

En 1931, finalmente, empiezan a producirse en escala industrial las primeras partidas de fibras de vidrio de pequeño diámetro, aptas para ser tejidas, como resultado de las intensas investigaciones iniciadas algunos años antes por la Owens-Illinois Glass en Norteamérica, Modigliani en Italia, la SaintGobain en Francia y otros en Alemania, Inglaterra, etc.

A poco de terminar la segunda guerra mundial, su fabricación se extendió a las principales naciones del mundo.

2.1.4.1.2 Métodos de formación.-

Los distintos métodos de producción de los PRFV (plásticos reforzados en fibra de vidrio) actualmente en uso, dentro de las numerosas variantes de detalle que presentan para adaptarlos mejor a las necesidades específicas o a los particulares exigencias de una determinada producción, pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Formación a mano por contacto, sobre un solo molde.
- Con saco elástico, en vacío o bajo presión.
- Moldeo con un pistón flexible.

- Fabricación con doble molde, sin presión.
- Fabricación con matrices metálicas acopladas, bajo presión.
- Formación por centrifugado.
- Formación por envolvimiento (winding).

Básicamente, la formación de los plásticos reforzados con fibra de vidrio (PRFV) es bastante sencilla: consiste en impregnar el elemento reforzante por medio de una resina líquida previamente preparada, y mantenerlo en el molde del que reproducirá la forma, hasta su endurecimiento.

El método utilizado en esta área del país es “**A mano por contacto en un solo molde**” (**HAND LAY-UP**). Este método es el primer sistema usado para la fabricación de los plásticos reforzados y todavía uno de los más difundidos por su sencillez y versatilidad. Su esquema simple ha contribuido poderosamente a fijar en la mente del público la noción, no siempre totalmente exacta, de una extremada facilidad de los estratificados vidrio - resina.

Se trata de un método esencialmente de tipo artesanal y por lo tanto lento y que requiere, como todos los de su clase, una cierta habilidad manual para lograr resultados satisfactorios; pero muy valioso en otros aspectos, porque permite realizar prácticamente cualquier pieza pequeña, mediana o de grandes dimensiones, en un único o muy pocos ejemplares y también en serie de cierta importancia.

Para la formación a mano será en solo molde (molde abierto), los moldes u hormas pueden fabricarse con materiales comunes como yeso, madera, chapa, etc., pero para trabajos en serie de hasta algunas centenares de unidades, se prefiere moldes de resina poliéster o epoxi reforzada con fibras de vidrio.

Hecho esto, ya puede iniciarse la laminación propiamente dicha, que consiste en la colocación y adaptación sobre el molde de las distintas capas de refuerzo previstas y su impregnación con resina.

Para ello puede procederse a la aplicación con pistola o pincel de una primera mano de resina debidamente preparada, y a continuación colocar encima el refuerzo (mat, tejido, etc.).

No ahondamos más en el tema constructivo de la pieza, por tratarse este aspecto fuera de nuestros propósitos y que implican más al constructor del modelo.

2.1.4.1.3 Características útiles en la investigación.-

De la fibra de vidrio se pueden apreciar sus propiedades tales como su resistencia, flexibilidad, no se corroe, como es un material dieléctrico no es susceptible tampoco a la corrosión química y lo más importante es que no afecta la calidad del agua, al no proporcionarle olor, ni sabor, ni otros contaminantes.

Fibra de vidrio, es vidrio en forma de filamentos. Los filamentos pueden ser hechos con diversos tipos de vidrio, designados con las letras A, E, C, AR y S. Los más comúnmente utilizados para refuerzo de productos son los tipos E (eléctrico), AR (Álcali Resistente) y C (con resistencia química) que es el que se recomienda para esta investigación.

Tabla 2.2.- Propiedades de la fibra de vidrio

Propiedad	E	C	S	R
Gravedad específica	2,56	2,45	2,49	2,58
Resistencia a la tracción de la fibra GN/m ²	3,6	-----	4,5	4,4
Punto ablandamiento °C	850	690	-----	990
Conductividad térmica W/m °C	1,04			
Índice de Refracción	1,545	1,549		
Módulo de Young de elasticidad GN/m ²	75,9	-----	86,2	84,8

2.1.4.2 Acrílico o plexiglás.-

El acrílico es material noble, fácil de trabajar, con una transparencia 5% mayor que el vidrio común, buena resistencia al impacto, moldeable por calentamiento y con excelente tolerancia a los rigores de la intemperie y la radiación ultra violeta.

Nombres comunes:

A muchas láminas acrílicas se las conoce por su nombre comercial: Plexiglás o Lucite en EEUU y Perpex, en Inglaterra. El acrílico tiende a ser confundido en el mercado local por un simple plástico; pero sus propiedades físicas y químicas son totalmente diferentes.

Propiedades físicas:

Resistencia a la intemperie: El acrílico puede ser expuesto a la lluvia y luz solar sin perder sus propiedades físicas.

Claridad: Se mantiene claro con el tiempo, a diferencia del policarbonato o los acetatos que se tornan amarillos.

Peso liviano: Solo la mitad del peso del vidrio y 43% del peso del aluminio.

Resistencia al impacto: Es un material mucho más rígido que los plásticos comunes y su resistencia al impacto le ofrece la seguridad que no le da el vidrio.

Transmisión de luz: El acrílico es un excelente transmisor de luz, su transmisión luminosa es de 92%.

Propiedad aislante: El acrílico tiene la particularidad de aislar el calor y el ruido. Una lámina acrílica de ¼'' de espesor puede aislar el ruido tanto como una pared de concreto.

El acrílico se obtiene a partir de la polimerización del metacrilato de metilo y gracias a sus propiedades ópticas, mecánicas, físicas y químicas, resulta insustituible, en los campos más diversos como el de la arquitectura, publicidad, diseño y muchos otros.

Es la razón por la que se evalúa su utilización en la construcción de módulos de purificación, colocándolos en las paredes y la base del prototipo.

2.1.4.3 Perfiles de aluminio.-

Los perfiles de aluminio serán la estructura y armazón sobre el cual estarán montadas las partes de acrílico (base y paredes laterales).

Los perfiles anodizados forman una capa protectora de óxido de aluminio (alumina) sobre la superficie del aluminio base. La vida útil de este acabado es proporcional al espesor de la capa anódica obtenida.

Este material será utilizado por ser liviano, resistente y no corrosible en el tiempo.

2.1.4.4 Vidrio.-

El vidrio será utilizado para conformar las cubiertas de ambos módulos, será un vidrio doble para no sobrecargar la estructura, ni tampoco muy frágil que pueda romperse.

El vidrio crudo, tiene las siguientes características:⁴

Tabla 2.3.- Propiedades del Vidrio

Propiedad	Valor	Unidades	Fuente
Densidad a 25 °C ⁽¹⁾	2,49	g/cm ³	Gilard & Dubrul
Coefficiente de dilatación lineal a 25 °C ⁽²⁾	8,72•10 ⁻⁶	°C ⁻¹	Wilkelman & Schott
Conductividad térmica a 25 °C	0,002	cal/cm.s.°C	Russ
Tensión superficial a 1200 °C	319	dinas/cm	Rubenstein
Índice de refracción (a 589,3 nm) ⁽³⁾	1,52	-	Gilard & Dubrul
Módulo de elasticidad a 25 °C	719	kbar	Appen
Módulo de Poisson a 25 °C	0,22	-	Wilkelman & Schott
Resistencia a la tracción a 25 °C ⁽⁴⁾	~ (900)	bar	Wilkelman & Schott
Constante dieléctrica (4.5,18 ⁸ Hz)	7,3	-	Appen & Bresker
Resistencia eléctrica a 1100 °C	1,06	Ω.cm	

⁴ William F. Smith. *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*. Tercera edición. Ed. Mc-Graw Hill

2.1.4.5 P.V.C..-

La denominación de tuberías PVC proviene del policloruro de vinilo, que es un polímero termoplástico. “Termoplástico” implica que a temperatura ambiente los materiales presentan características más rígidas que cuando la temperatura es aumentada. En esos casos, el material se vuelve mucho más blando y maleable, es decir, son más fáciles de manejar. A pesar de esto, no importa cuánto se fundan o moldeen, los materiales termoplásticos no alteran sus propiedades tan fácilmente.

En el caso del policloruro, éste comienza a tornarse más blando cuando está expuesto a una temperatura superior a los treinta grados. Además de tratarse de un material – de color blancuzco – el policloruro de vinilo es una resina resultante de un proceso químico denominado polimerización, sufrido por el cloruro de vinilo, de ahí su nombre. Entre sus características principales se encuentra su gran resistencia a todo lo que sea eléctrico así como también al fuego. Este material, también presenta distinciones, es decir, no hay un solo tipo de tuberías PVC. Por un lado, tenemos al flexible utilizado con distintas funciones, que van desde juguetes hasta pavimentos.

Entre los puntos a favor para utilizar tuberías PVC se encuentra su capacidad para hacer fluir fácilmente los desechos que normalmente se arrojan —característica importante, considerando nuestra situación en la cual transportaremos agua cruda en distintas condiciones y tal vez con metales y otros desechos—. Esto se debe a que los tubos y las conexiones que se dan entre ellos tienen una superficie bastante lisa, lo cual impide que se produzcan obstrucciones o atascamientos. Otra de las ventajas de las tuberías PVC es su peso ligero y sus distintas longitudes, constituyéndose en un punto a favor si tenemos en cuenta el proceso de instalación.

El sistema de acoplamiento (o de unión, como se lo conoce normalmente) que se utilizará, no es más que un anillo de empaque realizado en hule. Dicho anillo asegura que la unión sea óptima, casi perfecta, pero además cumple una tarea extra. El sistema de unión absorbe la dilatación que se produce dentro de las tuberías cuando el clima fluctúa. Este sistema permitirá realizar la instalación de manera rápida y sin fallas en las uniones.

2.1.4.6 Silicona.-

La silicona es uno de los materiales descubiertos más recientemente, apenas nombrado oficialmente a principios de la década de 1940. La silicona se obtiene del silicón, que es un elemento químico presente en la naturaleza. La característica útil para nosotros es la capacidad de resistir temperaturas extremas. También es resistente al agua, oxígeno e incluso rayos ultra violeta.

Adhesivo

La silicona también es extremadamente maleable y tiene propiedades autoselladoras y curativas. Debido a su capacidad autoselladora y curativa, la silicona es usada como un adhesivo. Es muy flexible cuando se compara con otros adhesivos porque es más durable. Los adhesivos de silicona son capaces de adherirse a las superficies haciéndolos más útiles como adhesivos de alta resistencia.

Vidrio

Los adhesivos de silicona son usados para pegar vidrio en vidrio y ampliamente usado en acuarios, decoraciones de vidrio y también para adherir vidrio a otros objetos. La mayoría de los fabricantes de tanques de vidrio usan silicona para unir las varias piezas de vidrio que son usadas para crear un tanque de vidrio o un acuario.

Construcciones

La silicona tiene la capacidad de soportar temperaturas extremas, por lo que es usado en uniones de alta resistencia en la industria de la construcción. Los adhesivos de silicona son usados para unir objetos y materiales que deben soportar temperaturas extremas como rayos de sol, lluvia e inviernos fríos. La mayoría de los selladores y adhesivos tradicionales fallarían bajo tales fluctuaciones extremas de temperatura.

Arte

Los adhesivos de silicona son usados a veces en el arte. Este tipo de adhesivo es perfecto para aplicar acrílico y vidrio a otros objetos. La silicona es transparente e

incolora y por lo tanto es usada en cualquier adhesivo que se necesite, por su transparencia. Este requiere una pistola de calafatear especial.

Todas estas aplicaciones de la silicona que están completamente relacionada con las características de pegamento que necesitamos, es la que se utilizará en la construcción de los módulos de purificación.

2.1.4.7 Goma Esponjosa.-

La plancha de **goma esponjosa** se emplea en aquellas aplicaciones donde se requiera estanqueidad, aislamiento, capacidad de amortiguación y capacidad de recuperación a la compresión, tal como la que necesitamos en nuestros módulos. Sus principales

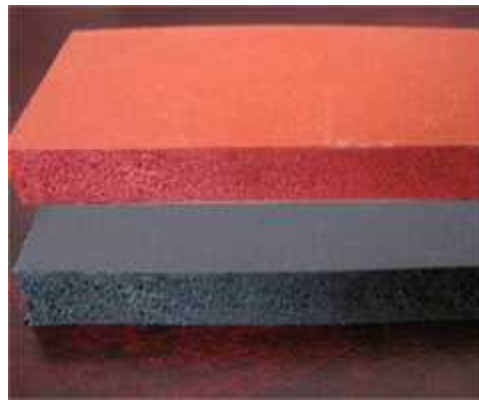


Fig. 2.4.- Goma esponjosa

características son una buena absorción de la vibración, baja conductividad térmica y gran resistencia al ozono. Existen distintas calidades, ya sea en SBR / NBR Y EPDM.

Aplicaciones

Juntas para estanqueidad, mantenimiento industrial, cerramientos de compuertas ideales para la industria naval y la industria química y petroquímica. De manera que es la goma adecuada para proveer de un adecuado aislamiento entre las cubiertas y los módulos de purificación.

2.1.4.8 Teflón.-

El teflón es un material que utilizaremos para evitar fugas. Es una especie de cinta adhesiva que se emplea en las roscas. Consigue que las uniones entre tuberías y las juntas de los grifos, las llaves de paso, las llaves excéntricas u otras queden estancas. Basta con dar varias vueltas sobre la rosca para que la cinta de teflón se fije y actúe de barrera frente al agua.

3.1.5 Esquemas de los prototipos.

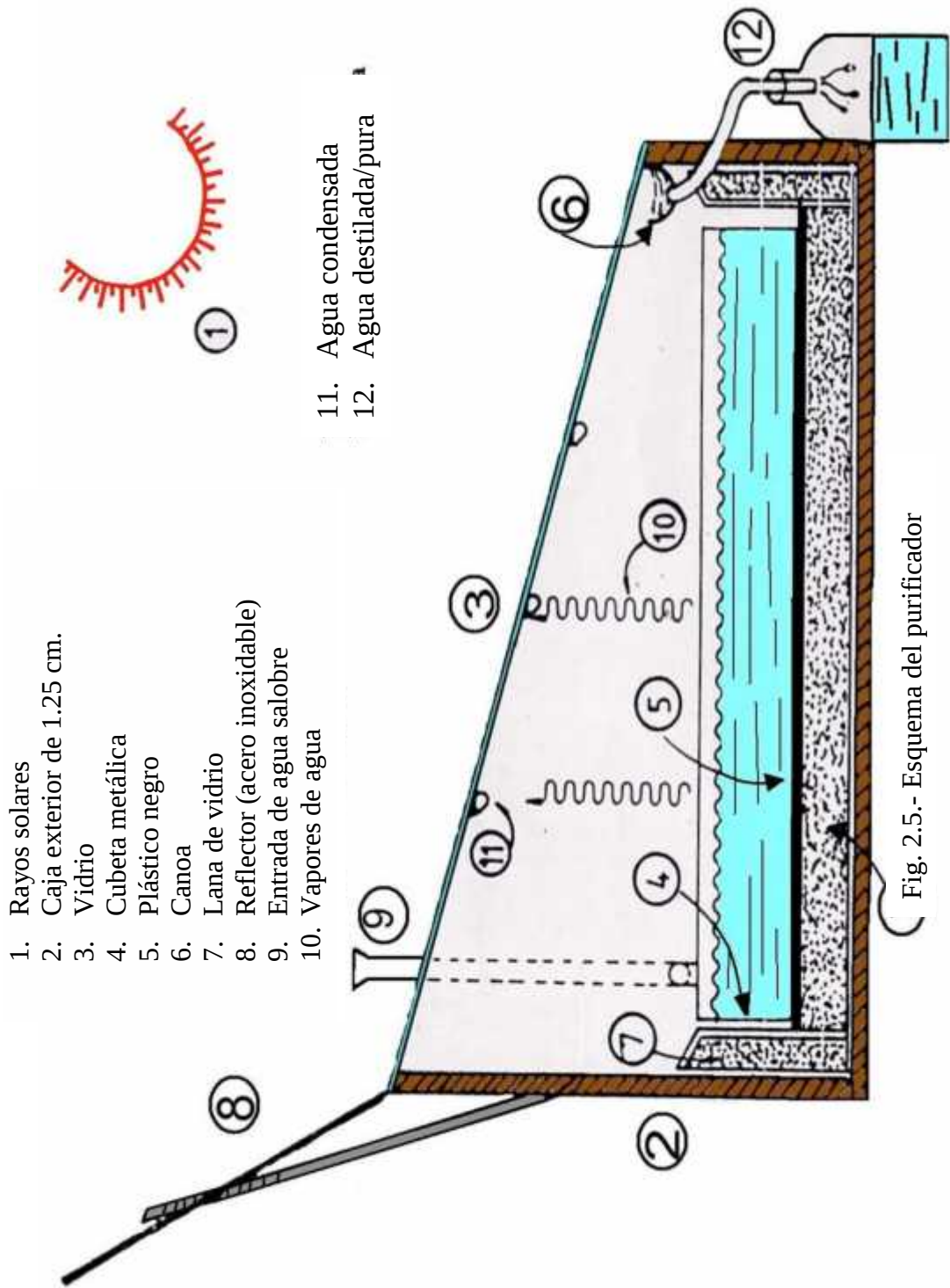


Fig. 2.5.- Esquema del purificador

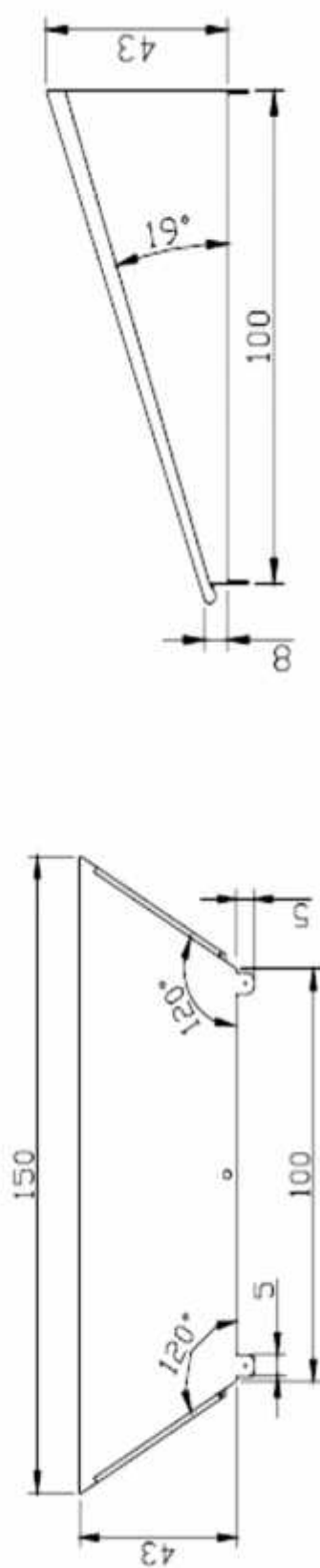
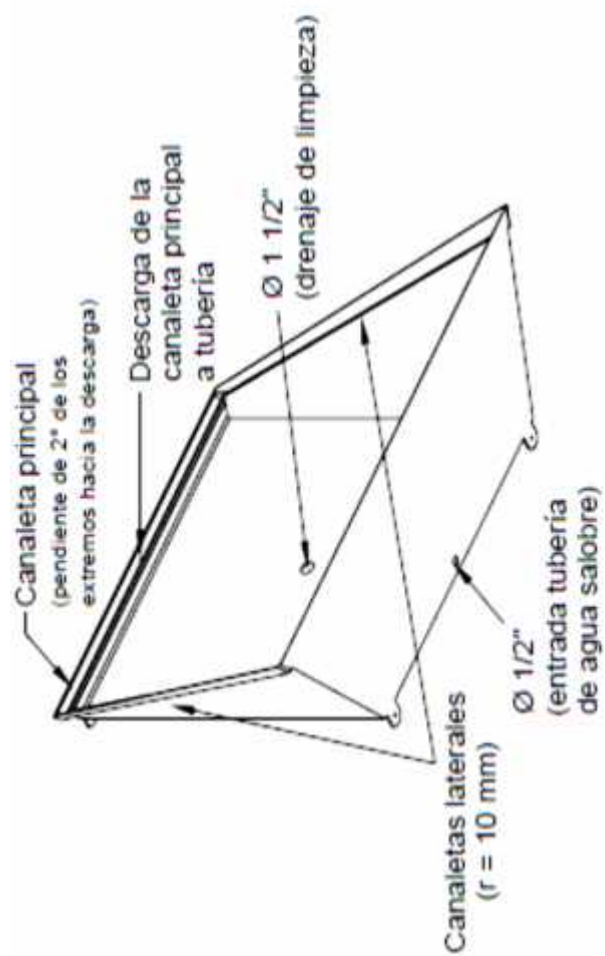


Fig. 2.6.- Módulo trapecial de fibra de vidrio

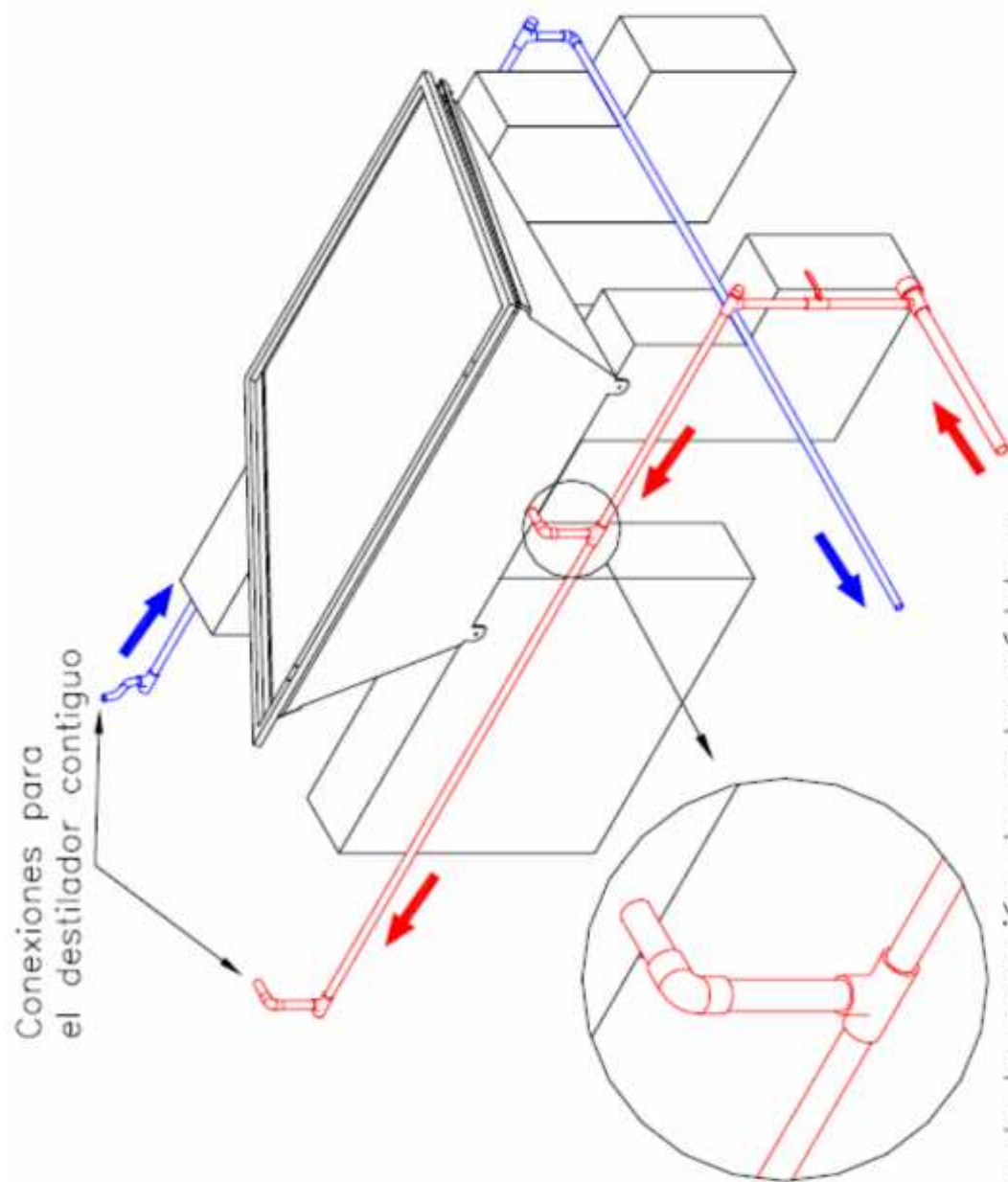


Fig. 2.7.- Isometría del montaje final

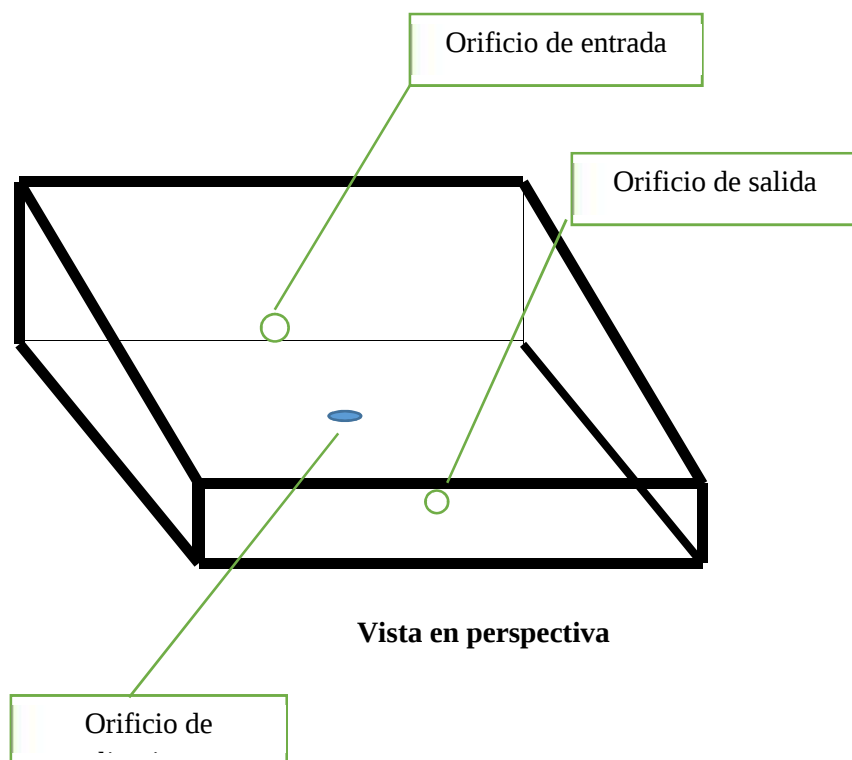
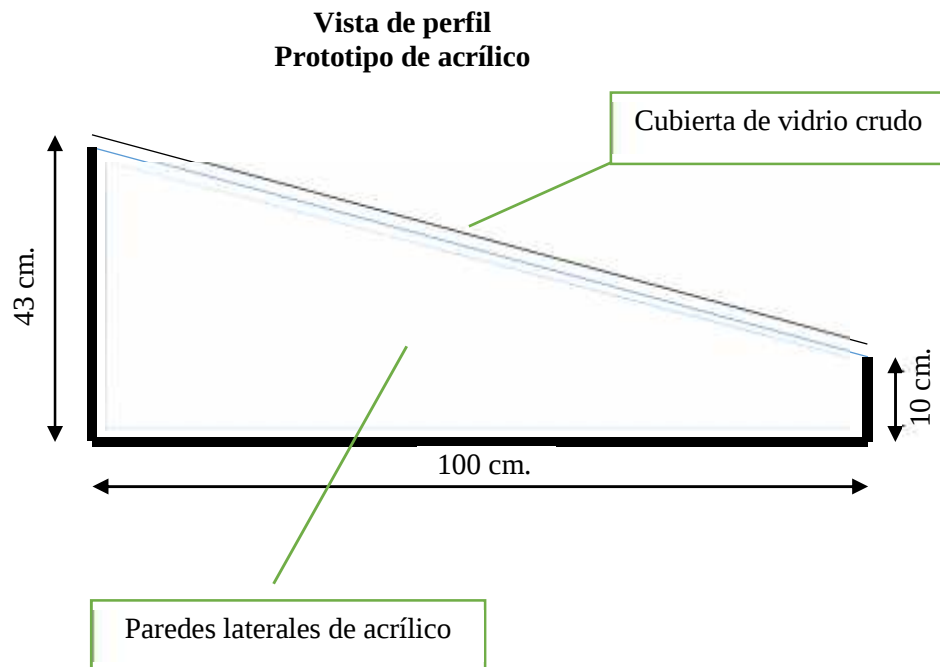


Fig. 2.8.- Módulo rectangular de acrílico

2.2 Marco conceptual.-

Desalinización.- Acción y efecto de desalinizar.

Purificación.- En nuestra investigación este término hacer referencia a la purificación del agua.

Humidificación.- Acción y efecto de humidificar.

Humidificar.- Transmitir humedad al ambiente.

Temperatura.- Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente. Su unidad en el Sistema Internacional es el kelvin (K).

Calor latente.- Es la energía requerida por una cantidad de sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización). Se debe tener en cuenta que esta energía en forma de calor se invierte para el cambio de fase y no para un aumento de la temperatura; por tanto al cambiar de gaseoso a líquido y de líquido a sólido se libera la misma cantidad de energía.

Radiación infrarroja.- O radiación IR es un tipo de radiación electromagnética y térmica, de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas.

Consecuentemente, tiene menor frecuencia que la luz visible y mayor que las microondas.

Su rango de longitudes de onda va desde unos 0,7 hasta los 1000 micrómetros.¹ La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0 Kelvin, es decir, -273,15 grados Celsius (cero absoluto).

Los infrarrojos son clasificados, de acuerdo a su longitud de onda, de este modo:

- * infrarrojo cercano (de 800 nm a 2500 nm)
- * infrarrojo medio (de 2.5 μ m a 50 μ m)
- * infrarrojo lejano (de 50 μ m a 1000 μ m)

Efecto invernadero.- Es el fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera terrestre, retienen parte de la energía que la superficie planetaria emite por haber sido calentada por la radiación solar. Afecta a todos los cuerpos planetarios rocosos dotados de atmósfera. Este fenómeno evita que la energía

recibida constantemente, vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero. En el sistema solar, los planetas que presentan efecto invernadero son Venus, la Tierra y Marte.

Si no fuera por el efecto invernadero, la vida en la Tierra, tal como la conocemos, no sería posible, ya que la temperatura en la superficie estaría en torno a los -18°C .

Rendimiento.- El rendimiento de cualquier dispositivo que dependa de la radiación solar depende de la estación del año, y de las condiciones meteorológicas, se refiere a la cantidad producida aprovechable en una determinada superficie y en determinado tiempo.

Productividad.- es la cantidad producida por el módulo en una determinada superficie y en determinado tiempo.

Eficiencia.- Radica en las características del producto que se espera y los resultados obtenidos. —En nuestro caso particular la purificación del agua—

2.3 Marco espacial.-

La realización de esta investigación, comprende en su marco espacial, la provincia cercado del departamento de Tarija. Debido a la necesidad de contar con los equipos para medir las variables tomadas en cuenta se instalará el prototipo en la estación meteorológica de “Las Barrancas”, pero necesariamente será realizada, con muestras de agua de zonas de la provincia.

2.4 Marco temporal.-

De acuerdo a la investigación realizada por “Energética” en el proyecto: “El Sol”, con colaboración de la WinCkraft Simonsfeld A.G. se registró el mínimo de la radiación solar en los meses de Junio-Julio.

Sin embargo el periodo en el que se desarrolló esta investigación; Diciembre, es el mes en donde se tiene mayor radiación solar y temperatura según los datos correspondientes a dicha investigación.

CAPÍTULO III

**CONSTRUCCIÓN DE LOS MÓDULOS
DE PURIFICACIÓN Y EQUIPOS
UTILIZADOS**

CAPITULO III

CONSTRUCCIÓN DE LOS MÓDULOS DE PURIFICACIÓN Y EQUIPOS UTILIZADOS

3.1 Construcción de los módulos de purificación

3.1.1 Alternativas y sus características.-

La selección de los materiales principales utilizados en el estudio y las propiedades de los mismos nos permitió realizar dos modelos cuyo diseño presenta variaciones respecto a su forma de captar la radiación solar.

3.1.1.1 Modelo 1.-

Fabricado en base a fibra de vidrio casi en un 90% y una cubierta de aluminio de dos partes, que permitió proveer de rigidez necesaria para su funcionamiento.

El fondo, de color negro con el objetivo de absorber los rayos solares y reducir el reflejo que implica una pérdida de la energía infrarroja.



Foto 3.1. Base de prototipo de fibra de vidrio

Los laterales inclinados 120° para evitar la obstrucción de los rayos solares provenientes del amanecer y atardecer.

En la parte de adelante posee una altura de 10 cm., para mantener un nivel de agua, 43 cm de altura en la parte posterior, para proveer de una inclinación.

La cubierta compuesta por una lámina de vidrio de 3,5 mm de espesor que descansa sobre un marco de aluminio con una separación central. Este descansa a su vez sobre un marco que posee abisagrado en la parte superior para permitir el mantenimiento del equipo.

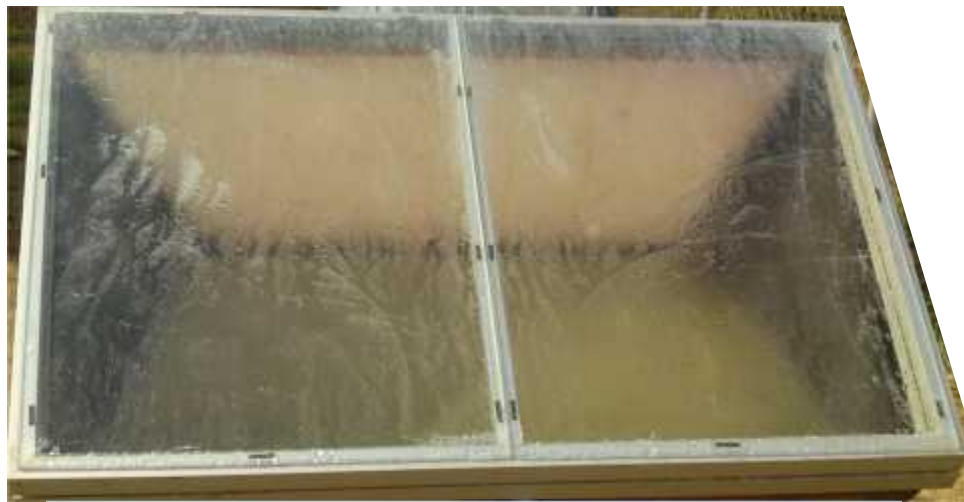


Foto 3.2.- Cubierta del módulo de fibra de vidrio

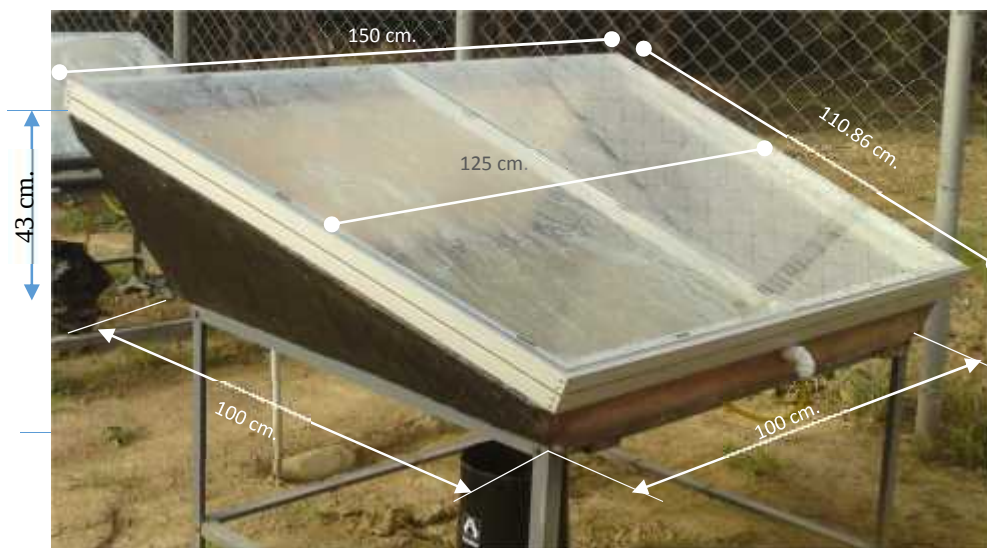


Foto 3.3.- Dimensiones del prototipo de fibra de vidrio

Posee además un niple de entrada de fluido, otro de salida y uno de limpieza en el fondo de su base.

3.1.1.2. Modelo 2.-

Este modelo tiene un armazón de perfil de aluminio en toda su estructura y está cubierto con paneles de acrílico en la parte frontal, trasera y los laterales y un fondo de plexiglás de 4 mm de espesor con un esmalte de color negro para evitar la reflexión solar.

Su cubierta, descansa sobre un marco de aluminio dividido en su parte media y está cubierto por vidrio doble.



Foto 3.4.- Prototipo de acrílico

Posee un niple de entrada, otro de salida y en el fondo uno de limpieza.

En el interior se tienen perfiles en un “u”, para la recepción del líquido purificado, que rodea todo interior del módulo purificador a excepción de la parte trasera.



Foto 3.5.- Perfil en u (aluminio)

3.1.2 Resumen de las características y materiales.

3.1.2.1 Modelo 1 (Acrílico)

- ✓ Plexiglás.
- ✓ Perfil de aluminio.
- ✓ Goma esponjosa.
- ✓ Poxilina.
- ✓ Silicona de alta resistencia.
- ✓ Espiga de gas.
- ✓ Manguera plástica.
- ✓ Niple.
- ✓ Cupla.
- ✓ Llave de paso.
- ✓ Codo.

3.1.2.2 Modelo 2 (Fibra de Vidrio)

- ✓ F. de vidrio.
- ✓ Llave de paso.
- ✓ Niple.
- ✓ Cupla.
- ✓ Espiga.
- ✓ Manguera plástica.
- ✓ Codo.
- ✓ Llave de purga.
- ✓ Vidrio crudo.
- ✓ Perfil de aluminio.

3.2 Equipos utilizados

3.2.1 Tanque de abastecimiento.-

Se constituye en la parte inicial del sistema, el cual está construido de plástico con una tapa y una salida con una llave de paso, para permitir el mantenimiento y controlar el suministro de agua al sistema.



Foto 3.6.- Tanque de abastecimiento

3.2.2 Tanquilla de nivelación.-

La tanquilla de nivelación se compone de un tanque de plástico de color negro con una tapa transparente en la parte superior, una entrada de agua con un flotador y una salida al sistema.

Tiene el objetivo de permitir fijar el nivel de agua en los prototipos, entendiendo que el nivel al que se encuentre el flotador, será el nivel en el que se encuentre el líquido en los módulos.

Se utiliza aquí el principio de los vasos comunicantes.



Foto 3.7.- Tanquilla de nivelación

3.2.3 Base de nivelación.-

Este artefacto, fue construido básicamente de fierro, cuadrado para sus patas, con unas puntas torneadas para penetrar y fijar las patas, un gusano sin fin que permite subir y bajar la tanquilla niveladora mediante una llave tipo mariposa. Su objetivo: fijar el nivel de agua en los módulos.



Base de apoyo de tanquilla

Gusano de rosca simple

Foto 3.8. Base y tanquilla de nivelación

3.2.4. Contador de datos.-

Se utilizó dos modelos de dispositivos de medición que en realidad son adaptaciones de pluviómetros manuales y automáticos que fueron calibrados y adecuados para los propósitos del proyecto de investigación.

Tipo 1: TRu chek

Es un indicador de lluvia, conocido como pluviómetro, que posee las características de graduación para medir la cantidad de agua producida por el prototipo. Su capacidad máxima es de 6 plg. A través de él se puede identificar la cantidad de producción de cada módulo y registrarlo de manera manual en una planilla de registro.



Foto 3.9.- Pluviómetro manual

Tipo 2 Pluviómetro RainLogger

El RainLogger es un paquete completo que contiene un datalogger de datos de RainLog, un software del RL-2 y un pluviómetro de polypropylene acoplado a un mástil. El pluviómetro tiene una resolución calibrada a 0.01 pulg./0.25 mm. por extremidad.

En nuestro caso lo utilizamos para contabilizar de manera automática la cantidad de agua producida.



Foto 3.10.- Pluviómetro automático

CAPÍTULO IV

INSTALACIÓN DEL SISTEMA

CAPITULO IV

INSTALACIÓN DEL SISTEMA

4.1. Imágenes del área de instalación del sistema.



Foto 4.1.-. Estación meteorológica “Las Barrancas”



Foto 4.2.- Instrumentos de la estación meteorológica

4.2 Esquema de la instalación.-

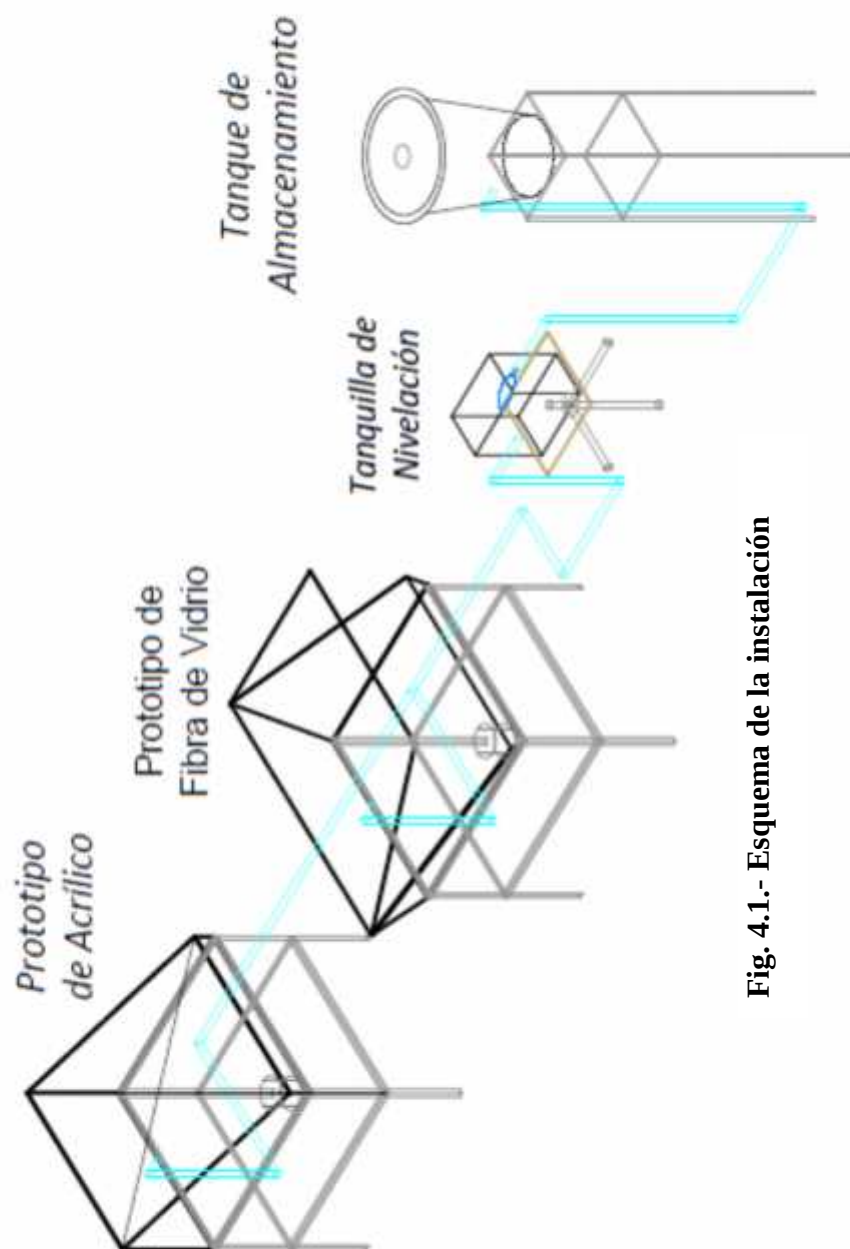


Fig. 4.1.- Esquema de la instalación

4.3 Instalación del módulo rectangular de acrílico.-



Foto 4.3.- Módulo de acrílico preparado para la instalación



Foto 4.4.- Ubicación de la estructura base del módulo



Foto 4.5. Módulo de acrílico instalado

4.4 Instalación del módulo trapecial de Fibra de Vidrio



Foto 4.6.- Módulo de fibra de vidrio terminado



Foto 4.7.- Bisagras fijadas al módulo trapecial para mejorar su funcionalidad



Foto 4.8.- Instalación del módulo de fibra de vidrio en el lugar

4.5 Instalación de la tanquilla niveladora.-



Foto 4.9.- Instalación de la tanquilla niveladora

4.6 Instalación del tanque de abastecimiento en el sistema.-



Foto 4.10.- Tanque de abastecimiento instalado

4.7 Instalación final del sistema.-



Foto 4.11.- Instalación de la red de tuberías



Foto 4.12.- Vista frontal de la instalación

Foto 4.13-. Módulos de Purificación
Estación Meteorológica “Las Barrancas””



CAPÍTULO V

PROCESO DE LA INFORMACIÓN

CAPITULO V

PROCESO DE LA INFORMACIÓN

5.1 Datos.-

Los datos se obtuvieron del registrador automático que se instaló, de manera que hablamos de una información de tipo “primaria”.

**Tabla 5.1.- Registro de producción
Módulo de Acrílico (Rectangular)**

Nº	RADIACIÓN cal/cm²/día	TEMPERATUR A. MEDIA °C	TEMP. MAX. °C	TEMP. MIN. °C	TEMP. DEL DÍA °C	TEMP. DE LA NOCHE °C	REGISTRO PLUVIOMÉTRICO mm/día	PRODUCCIÓN l/día
1	373.66	18.70	25.70	13.20	20.38	16.67	122.25	4.06
2	443.27	22.37	31.30	14.00	24.91	19.06	133.5	4.44
3	456.55	24.07	31.80	18.90	26.54	20.96	181.5	6.03
4	348.23	22.04	33.40	15.60	25.11	18.01	91.5	3.04
5	403.73	24.08	37.00	13.60	27.21	19.98	126.75	4.21
6	368.06	24.83	35.40	17.30	27.43	21.57	113.25	3.76
7	204.72	20.23	27.00	18.10	21.35	18.83	34.5	1.15
8	309.81	22.12	30.30	16.20	24.28	19.42	65.25	2.17
9	393.00	21.22	30.70	13.60	22.62	19.46	124.5	4.14
10	361.13	21.81	30.40	15.60	25.15	17.95	100.5	3.34
11	192.41	16.32	21.00	14.00	16.92	15.56	28.5	0.95
12	319.55	18.07	22.90	13.90	19.70	16.02	74.25	2.47
13	236.29	18.59	23.50	16.10	20.13	16.67	43.5	1.45
14	241.07	18.13	24.40	14.30	19.34	16.66	44.25	1.47
15	445.54	21.22	28.90	16.00	23.55	18.30	177.75	5.91
16	304.74	20.08	27.20	15.90	21.94	17.75	58.5	1.94
17	251.01	18.36	23.80	15.70	19.59	16.81	48.75	1.62
18*								
19	251.70	19.31	25.40	16.20	20.85	17.32	48.75	1.62
20	440.28	20.50	28.40	14.20	23.06	17.28	130.5	4.34
21	379.73	20.18	28.50	14.50	23.07	16.54	124.5	4.14
22	324.01	20.04	26.70	16.30	22.28	17.22	87.75	2.92
23	300.12	19.81	26.40	14.40	21.99	17.19	56.25	1.87
24	354.21	19.55	26.30	15.30	21.16	17.51	95.25	3.16

* Este valor corresponde al día que no se tuvo registro de la estación meteorología y no se tomó en cuenta su producción.

**Tabla 5.2.- Registro de producción
Módulo de Fibra de vidrio (Trapezial)**

Nº	RADIACIÓN cal/cm ² /día	TEMPERATURA. MEDIA °C	TEMP. MAX. EXTREMA °C	TEMP. MIN. EXTREMA °C	TEMP. DEL DÍA °C	TEMP. DE LA NOCHE °C	REGISTRO PLUVIOMÉTRICO mm/día	PRODUCCIÓN l/día
1	373.66	18.70	25.70	13.20	20.38	16.67	158.25	5.26
2	443.27	22.37	31.30	14.00	24.91	19.06	182.25	6.05
3	456.55	24.07	31.80	18.90	26.54	20.96	201	6.68
4	348.23	22.04	33.40	15.60	25.11	18.01	129.75	4.31
5	403.73	24.08	37.00	13.60	27.21	19.98	171	5.68
6	368.06	24.83	35.40	17.30	27.43	21.57	154.5	5.13
7	204.72	20.23	27.00	18.10	21.35	18.83	76.5	2.54
8	309.81	22.12	30.30	16.20	24.28	19.42	107.25	3.56
9	393.00	21.22	30.70	13.60	22.62	19.46	169.5	5.63
10	361.13	21.81	30.40	15.60	25.15	17.95	153.81	5.11
11	192.41	16.32	21.00	14.00	16.92	15.56	72.75	2.42
12	319.55	18.07	22.90	13.90	19.70	16.02	111	3.69
13	236.29	18.59	23.50	16.10	20.13	16.67	84	2.79
14	445.54	21.22	28.90	16.00	23.55	18.30	195	6.48
15	304.74	20.08	27.20	15.90	21.94	17.75	102.75	3.41
16	251.01	18.36	23.80	15.70	19.59	16.81	95.34	3.17
17*								
18	251.70	19.31	25.40	16.20	20.85	17.32	97.5	3.24
19	440.28	20.50	28.40	14.20	23.06	17.28	177	5.88
20	379.73	20.18	28.50	14.50	23.07	16.54	167.64	5.57
21	324.01	20.04	26.70	16.30	22.28	17.22	120.75	4.01
22	300.12	19.81	26.40	14.40	21.99	17.19	101.28	3.36
23	354.21	19.55	26.30	15.30	21.16	17.51	143.25	4.76
24	484.95	21.00	29.10	12.50	23.74	17.30	201.75	6.70

* Este valor corresponde al día que no se tuvo registro de la estación meteorología y no se tomó en cuenta su producción.

5.2 Proceso de la información

En el proceso de tabulación de los datos se realizó la conversión de los valores de producción obtenida en los pluviómetros en mm. a lts.; de acuerdo a la calibración y correlación que se expone en el anexo A-2. Se tienen los siguientes resultados:

Tabla 5.3.- Conversión de la producción de los módulos

Nº	Reg. Pluviométrico (mm)	Factor de conversión	Producción (lts)
1	122.25	x 0.033222591	4.06
2	133.5	x 0.033222591	4.44
3	181.5	x 0.033222591	6.03
4	91.5	x 0.033222591	3.04
5	126.75	x 0.033222591	4.21
6	113.25	x 0.033222591	3.76
7	34.5	x 0.033222591	1.15
8	65.25	x 0.033222591	2.17
9	124.5	x 0.033222591	4.14
10	100.5	x 0.033222591	3.34
11	28.5	x 0.033222591	0.95
12	74.25	x 0.033222591	2.47
13	43.5	x 0.033222591	1.45
14	44.25	x 0.033222591	1.47
15	177.75	x 0.033222591	5.91
16	58.5	x 0.033222591	1.94
17	48.75	x 0.033222591	1.62
18			
19	48.75	x 0.033222591	1.62
20	130.5	x 0.033222591	4.34
21	124.5	x 0.033222591	4.14
22	87.75	x 0.033222591	2.92
23	56.25	x 0.033222591	1.87
24	95.25	x 0.033222591	3.16

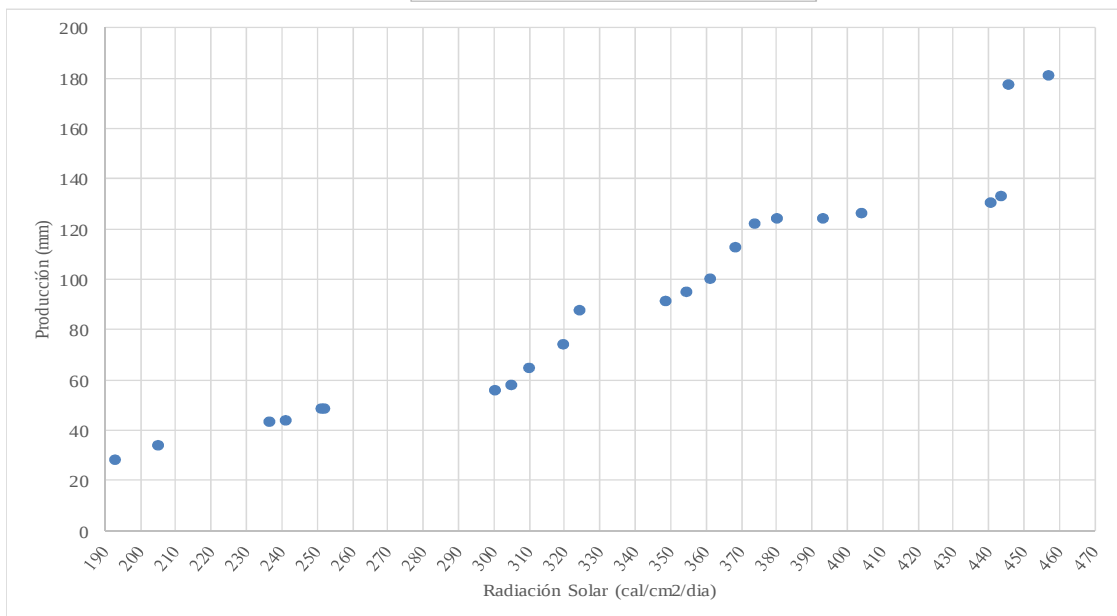
Nº	Reg. Pluviométrico (mm)	Factor de conversión	Producción (lts)
1	158.25	x 0.033222591	5.26
2	182.25	x 0.033222591	6.05
3	201	x 0.033222591	6.68
4	129.75	x 0.033222591	4.31
5	171	x 0.033222591	5.68
6	154.5	x 0.033222591	5.13
7	76.5	x 0.033222591	2.54
8	107.25	x 0.033222591	3.56
9	169.5	x 0.033222591	5.63
10	153.81	x 0.033222591	5.11
11	72.75	x 0.033222591	2.42
12	111	x 0.033222591	3.69
13	84	x 0.033222591	2.79
14	195	x 0.033222591	6.48
15	102.75	x 0.033222591	3.41
16	95.34	x 0.033222591	3.17
17			
18	97.5	x 0.033222591	3.24
19	177	x 0.033222591	5.88
20	167.64	x 0.033222591	5.57
21	120.75	x 0.033222591	4.01
22	101.28	x 0.033222591	3.36
23	143.25	x 0.033222591	4.76
24	201.75	x 0.033222591	6.70



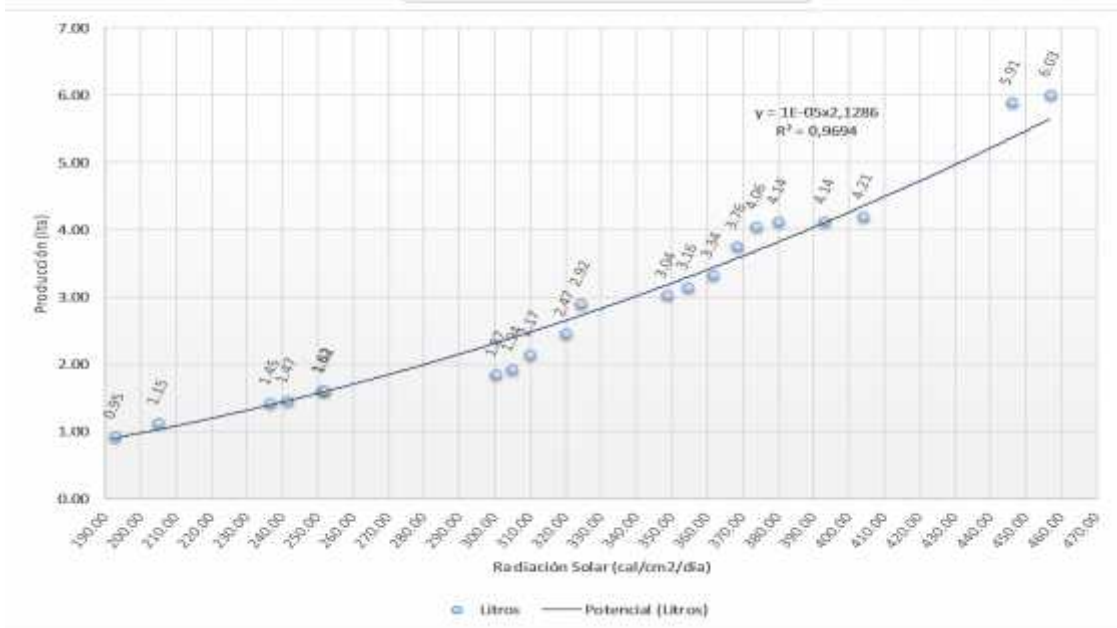
5.3 Gráficas

5.3.1 Módulo Rectangular

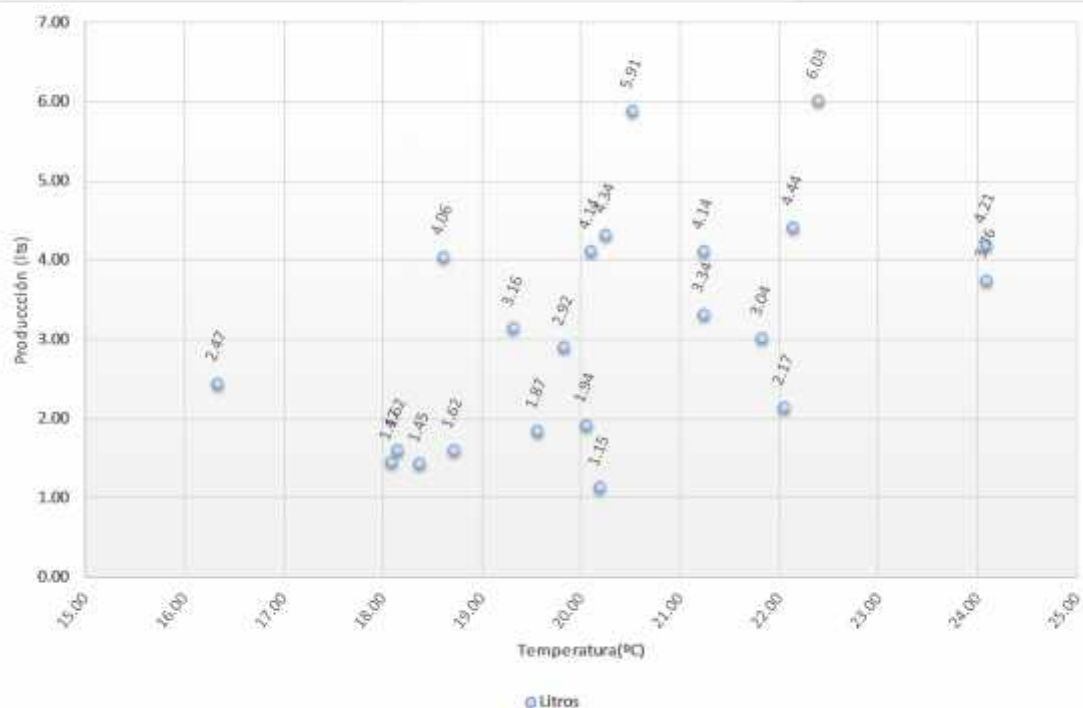
**Gráfico 5.1.- Módulo Rectangular
Radiación Solar vs. Producción (mm)**



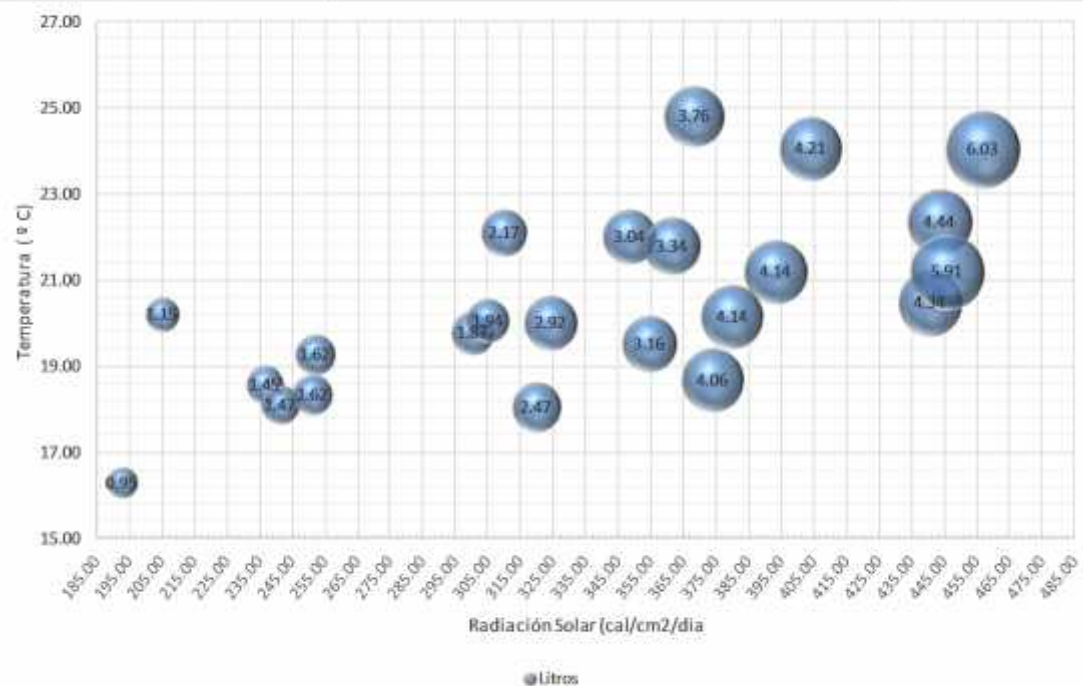
**Gráfico 5.2.- Módulo Rectangular
Radiación Solar vs. Producción (lts)**



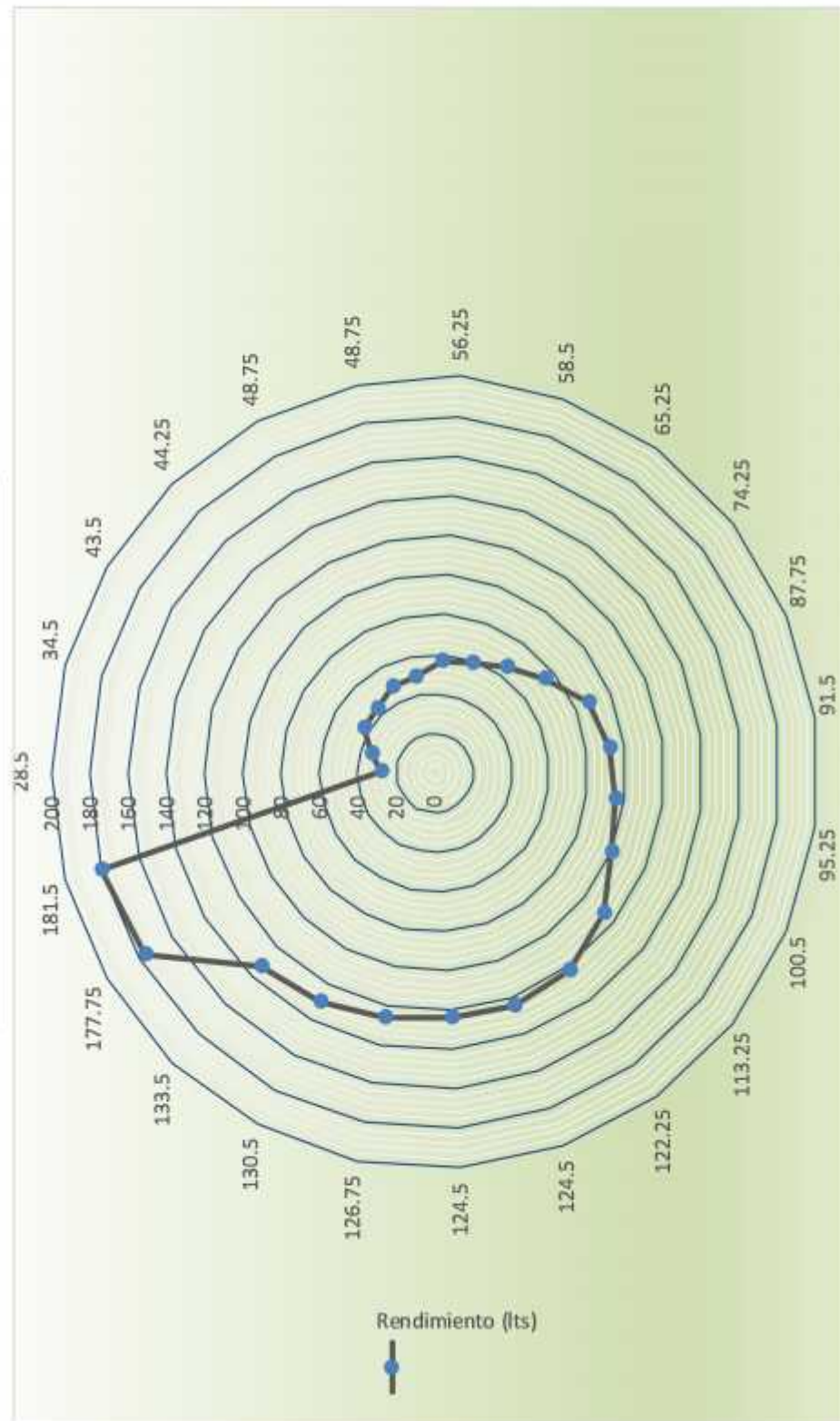
**Gráfico 5.3.- Módulo Rectangular
Temperatura vs. Producción**



**Gráfico 5.4.- Módulo Rectangular
Relación: Radiación - Temperatura - Producción**



**Gráfico 5.5.- Módulo Rectangular
Rendimiento vs. Radiación (General)**



5.3.2 Módulo Trapecial

Gráfico 5.6.-Módulo Trapecial
Radiación Solar vs. Producción (mm)

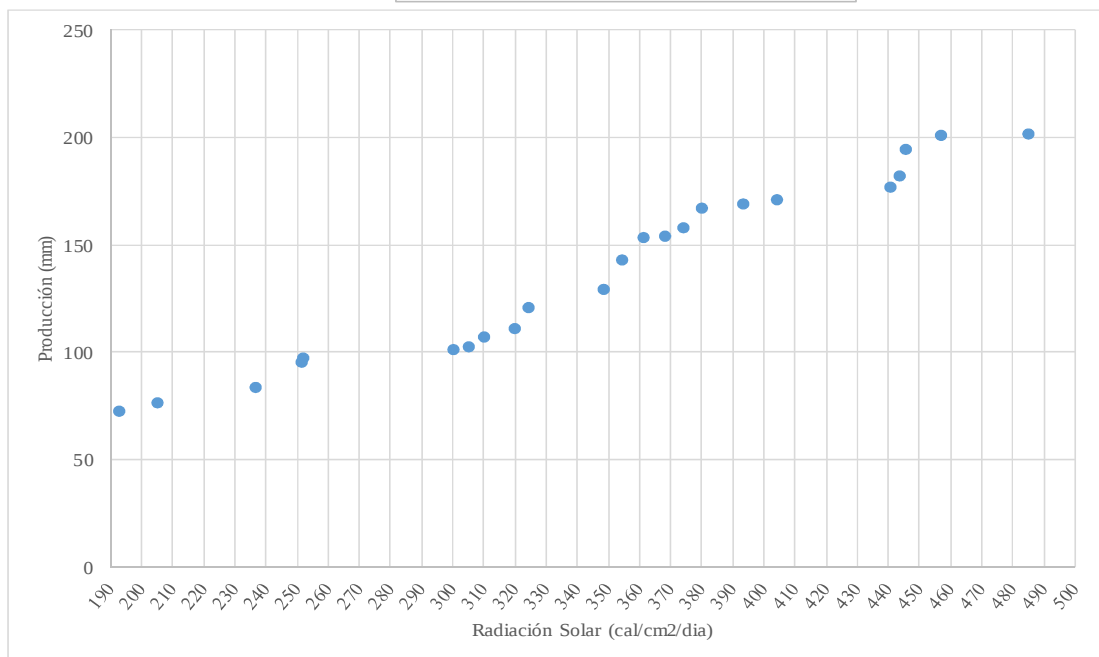
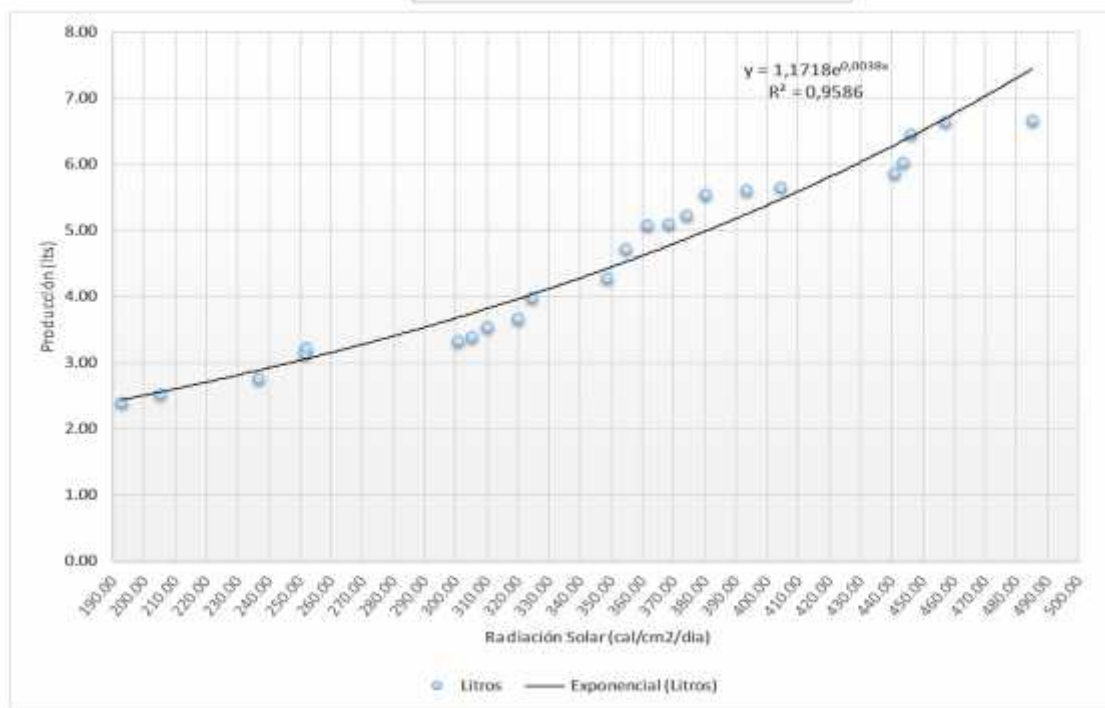
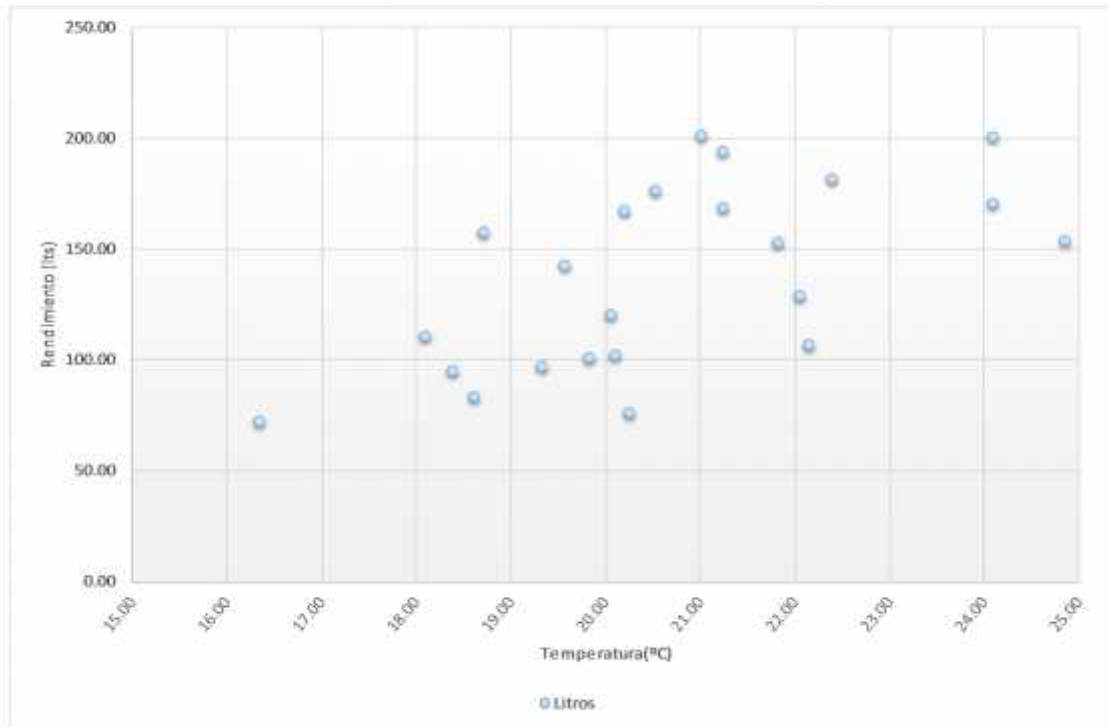


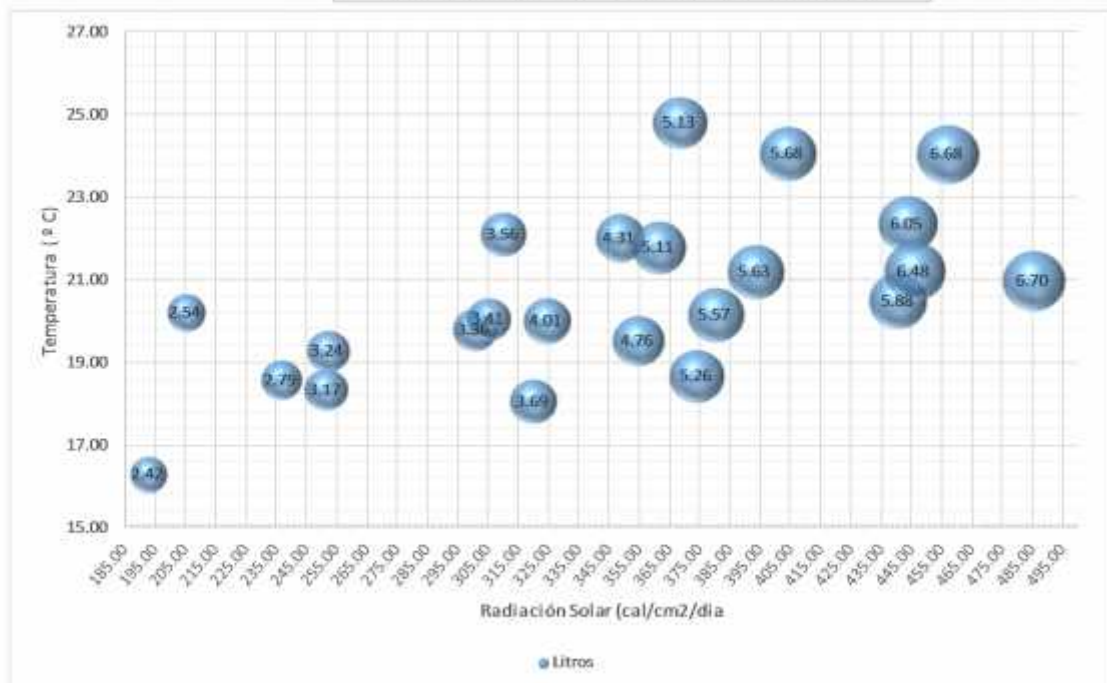
Gráfico 5.7.- Módulo Trapecial
Radiación Solar vs. Producción (lts)



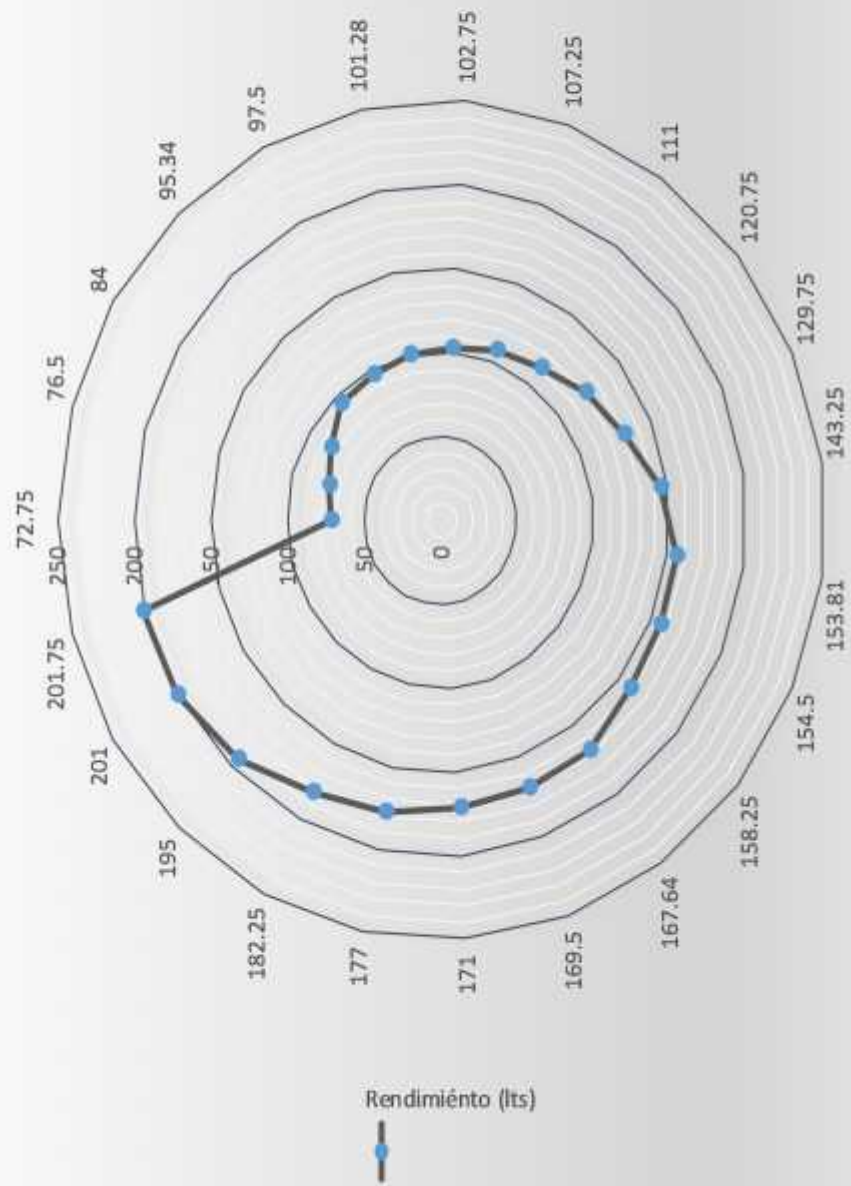
**Gráfico 5.8.- Módulo Trapecial
Temperatura vs. Producción**



**Gráfico 5.9.- Módulo Trapecial
Relación: Radiación - Temperatura - Producción**



**Gráfico 5.10.- Módulo Trapecial
Rendimiento vs. Radiación (General)**



CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPITULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Identificación de variables.-

En la investigación se identificaron tres variables; la radiación solar, la temperatura, y la cantidad de agua producida.

6.2 Verificación de las preguntas de investigación.-

¿De qué manera influye la radiación solar en el proceso?

De acuerdo a los resultados, la radiación solar es el parámetro más importante en el proceso.

¿Qué calidad de agua se podría obtener con la utilización del método de humidificación solar?

La calidad de agua que obtuvimos en todos los análisis, muestra que es apta para el consumo humano, sin importar la calidad que ingreso en la purificación. Se obtuvo una gran reducción de contaminantes donde se eliminan completamente los coliformes fecales y la E. Coli, de manera que se obtiene un PH de 6.5 que es aceptable dentro de los parámetros de la norma.

¿Qué materiales locales podrían usarse en su diseño e implementación?

Todos los materiales utilizados, se encuentran en el mercado local.

¿Cuáles tendrían que ser las características de módulos, utilizando tecnologías locales?

La existencia de los materiales, nos permite construir ambos modelos, de acuerdo al criterio de tiempo de duración y periodo de diseño del proyecto.

De acuerdo a las observaciones en su desempeño, se sugiere que se utilicen módulos mixtos.

Se debe tomar en cuenta que todos los materiales metálicos que intervienen en el sistema deben de ser inoxidable.

¿Qué rendimientos tendríamos con el uso de estos materiales?

Los rendimientos que obtuvimos en los módulos oscilan entre los 0.95 y 6.70 lts de acuerdo a la radiación.

El rendimiento de los módulos contruidos con acrílico son menos eficientes que los contruidos con fibra de vidrio.

6.3 Resumen de resultados.-

El gráfico 5.1 del prototipo de acrílico, genera una ecuación y una correlación cuyo valor es:

$$R = 0,00001r^{2,1286}$$

$$R^2 = 0.97$$

Donde:

r = Radiación, Cal/m²/día

R= Rendimiento, lts

El gráfico 5.4 (relación entre Radiación – Temperatura – Producción) para el prototipo de acrílico nos presenta un incremento del rendimiento con poca variación en la radiación y un incremento en la temperatura ambiente.

La gráfica 5.5 (radial) del prototipo de acrílico, observamos que el rendimiento en función de la radiación no sufre cambios muy grandes respecto de la radiación.

En el gráfico 5.6 se observa una relación entre el rendimiento y la radiación, de manera que se obtiene una línea de tendencia de tipo exponencial cuya ecuación y valor de correlación es:

$$R = 1,172 e^{0.0038H}$$

$$R^2 = 0.96$$

La gráfica 5.8 de rendimiento vs temperatura no presenta una relación que nos permita concluir algún análisis adecuado.

Según el gráfico 5.9 de burbujas del módulo trapecial, podemos observar que para un mismo valor de radiación tenemos rendimientos mayores, a mayores temperaturas; es decir que dentro del criterio que planteamos de que la temperatura ambiente al ser más fría, tendería a aumentar el rendimiento al condensar más rápidamente el vapor de agua. Sin embargo, estos resultados sugieren que el valor de la temperatura interna, tendría que ser mucho mayor porcentualmente a la temperatura ambiente.

El gráfico 5.10 (radial), presenta el crecimiento del rendimiento en función de la radiación, algo similar, sucede con los valores de la temperatura.

El costo de un módulo construido de fibra de vidrio es de 917.06 Bs. y el costo de un módulo construido de acrílico es de 870.21 Bs.

6.4 Análisis del agua.-

Los resultados de los análisis de laboratorio se encuentran en el anexo D donde se puede verificar la calidad del agua que ingresa y la que sale producto de la purificación. En la siguiente tabla se presenta un resumen de tales análisis.

Tabla 6.1.- Resultados de laboratorio

Muestra /Parametro	PH	SOLIDOS DISUELTOS	DUREZA	C. TOTALES	C. FECALES	BACTERIAS AERÓBIAS MESÓFILAS
Unidades		mg/l	Como CaCO ₃	NMP/100ml	NMP/100ml	UFC/100ml
Valores de la NB-512	6,5 - 9	1000	500	<2	<2	<1000

Pozo “Las Barrancas”

ENTRADA	7,90	104,5	147	1,50E+01	9,00E+00	4,00E+01
SALIDA	6,70	5,78	10,6	0	0	0

Río Erquiz

ENTRADA	7,60	73,17	58,80	2,7E+01	7,00E+00	1,40E+0,1
SALIDA	6,80	5,61	7,84	0	0	0

Represa San Jacinto

ENTRADA	6,70	30,87	19,60	2.50E+01	9,00E+01	7,00E+00
SALIDA	6,60	1.71	2,94	0	0	0

Río Mena

ENTRADA	7,20	43,53	24,50	3,4E+01	1,60E+01	9,00E+00
SALIDA	6,70	25,67	9,80	0	0	0

6.5 Presupuesto de los módulos

De acuerdo al anexo F, se obtienen los siguientes resultados para cada módulo:

Tabla 6.2.- Presupuesto módulo de acrílico (rectangular)

Presupuesto General (Bs)	
Material	Costo
Acrílico	259.9
Vidrio de 4 mm.	115.5
Vidrio de 2 mm.	445.06
Goma Esponjosa	28.75
Pegamento	1
Silicona	20
Total	870.21

Tabla 6.3.- Presupuesto módulo de fibra de vidrio (trapezoidal)

Presupuesto General (Bs)	
Material	Costo
Fibra de vidrio	86.92
Resina	273.76
Catalizador	3.20
Acelerador	12.05
Vidrio	131.62
Perfil cuadrado	300.56
Goma esponjosa	10.35
Bisagra de 2''	20.00
Pegamento	5.00
Silicona	73.60
Total	917.06

Glaick demostró en The Wather Debate, organizado por la BBC News que una persona necesita 15 lts/día de agua potable, como se muestra a continuación:

Tabla 6.4.- Cantidad de agua potable recomendada por persona

Uso	Volumen (litros)	
Bebida	5	 Total Agua Potable requerida = 15 lts
Limpieza personal	20	
Baños	15	
Cocinar	10	
Total	50	

Teniendo una media mensual de radiación solar de 334.91 cal/cm²/día; la producción media para el módulo de acrílico es de 2.47 lts/día; entonces se necesitarían 6 módulos por persona, y para el módulo de fibra de vidrio con una producción media de 4.18 lts/día se necesitarían 4 módulos.

Para una familia tipo conformada por 5 miembros, se necesitarían 30 módulos de acrílico ó 20 módulos de fibra de vidrio.

El costo por familia para cada módulo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6.5.- Presupuesto de módulos para una familia tipo

Presupuesto General (Bs)		
Módulo	Costo Unit.	Costo Flia.
Acrílico	870.21	26106.3
Fibra de Vidrio	917.06	18341.14

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

7.1 Conclusiones.-

Se ejecutó el diseño y construcción de dos módulos de purificación, el uno construido con fibra de vidrio en su integridad y el otro con paneles laterales de acrílico.

La resistencia de estos materiales no falló durante las pruebas, a pesar de ser sometidas varias veces a funcionar sin nada de contenido de agua. Sin embargo en la primera etapa, la cubierta de la fibra de vidrio se rompió debido a la manipulación. En esta situación se cambió por una cubierta con marco de aluminio, que le otorga la rigidez necesaria al módulo. Por tanto se garantizó su funcionamiento.

El módulo construido con acrílico y con un marco de perfiles de aluminio no tuvo inconvenientes, si se evidenció que al tener una vaporización en todo el módulo; es necesario que la parte de atrás del módulo posea un canal en U para incrementar la recepción de cantidad de agua. Lo mismo se recomienda para el módulo de fibra de vidrio.

El módulo de acrílico por excesivo calor al que fue sometido en su base por recibir mayor cantidad de radiación solar, se fue deteriorando a tal punto que provocó fugas en el sistema. De modo que se usó una base de vidrio, al realizar este cambio, no se detectó mayores problemas. La utilización de una base de acrílico de 4 mm solucionaría el problema.

Se recomienda también que los canales de recepción en ambos tipos de prototipo, deben ser de perfiles de aluminio, ya que constructivamente no presentan fallas como los contruidos con fibra de vidrio.

Con respecto a la calidad del agua obtenida, ésta se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la norma. Esto significa que ambos son eficientes en su propósito.

Las aguas tratadas se encuentran dentro del rango de aguas muy blandas a blandas, sin embargo se evidencia una significativa reducción de su dureza, lo que nos inclina a pensar que podría tratarse de un método eficaz para el tratamiento de aguas duras. Una

investigación con aguas duras utilizando este proceso nos permitiría corroborar este planteamiento.

La cantidad del agua máxima es de 6,7 lts. en el prototipo de fibra de vidrio y de 6,03 en el prototipo de acrílico. Como se planteó, el módulo de fibra de vidrio es el que purifica mayor cantidad de agua.

A saber, según los cálculos y resultados presentados se establece una relación de superficie de productividad y rendimiento por m^2 del prototipo de acrílico de 6.03lt/ m^2 como máximo y para el prototipo de fibra de vidrio de 5.37 lt./ m^2 .

En cuanto a la eficiencia de los módulos ambos presentan la misma calidad de agua, por ser parte de un mismo proceso de purificación, cumpliendo con los parámetros establecidos en la norma.

La relación de costos entre el módulo de fibra de vidrio y el módulo de acrílico es 1.05, evidenciándose que el de fibra de vidrio es 5% más caro.

Al final, de acuerdo al desempeño de los módulos una construcción mixta, llevaría a tener mejores resultados respecto al rendimiento y funcionalidad de los módulos.

Esta estructura mixta comprendería esencialmente una base de fibra de vidrio, paneles laterales de acrílico y una cubierta con marco de aluminio con bisagras para facilitar el mantenimiento.

Como resultado del funcionamiento de los módulos se estableció que éstos necesitan mantenimiento semanal y mensual para garantizar su buen desempeño y durabilidad. Se sugiere en el anexo E el tipo de mantenimiento a realizar de acuerdo al tiempo, el cual puede adecuarse de acuerdo a la zona.

Es necesaria también la instalación de un desarenador para reducir el ingreso de partículas sólidas al sistema.

La instalación de un tanque de abastecimiento construido de fibra de vidrio llevaría el agua del sistema pre-calentada, aumentando la eficiencia de los mismos.

Se apreció que además de la eliminación de contaminantes se produjo una apreciable reducción de la dureza en el agua, lo cual ayudaría en gran medida a tratar aguas duras que poseen iones de calcio y magnesio y que pueden precipitar combinados con iones como carbonatos, sulfatos e hidróxidos. Estos precipitados se acumulan con el tiempo llegando a obstruir tuberías, calentadores y equipos industriales de gran costo, reduciendo la vida útil de los artefactos por donde hace su paso. Lo que es interesante conocer, es que esta reducción de dureza, se realiza normalmente con un sistema de ósmosis inversa, el cual mencionamos que es muy caro.

Los resultados sobre la reducción de la dureza son importantes y nos inclina a pensar en la utilización del sistema con fines industriales de acuerdo a un análisis económico que no se encuentra dentro de los alcances de esta investigación.

En síntesis, se puede concluir que a partir de los resultados obtenidos respecto a los rendimientos y a la calidad del agua obtenida, este sistema es adecuado, productivo y eficiente para proveer de agua, que por sus características es apta para el consumo humano en zonas rurales del departamento y también de manera individual en zonas alejadas, que era el objetivo final buscado.