

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN (CICA)

**OBTENCION DE AGUA DESTILADA PARA LABORATORIOS DE LA UCSM UTILIZANDO
ENERGIA SOLAR.**

Percy Gutiérrez Salas; Gustavo Pacheco Pacheco; Nicolás Ognio Solís

Centro Interdisciplinario de Investigación e Innovación de la UCSM (CICA), Universidad Católica Santa María.

Arequipa, julio de 2011.

RESUMEN.

Se diseñó, construyó y operó el destilador solar, obteniendo agua destilada con conductividad no mayor a $6 \mu\text{S}/\text{cm}$ para uso en laboratorios, conformado por un concentrador solar cilíndrico parabólico cuyo eje focal fue constituido por una tubería de cobre en color negro dentro de la cual discurrió el agua de alimentación de modo que se llenó la mitad de la tubería para permitir el flujo del vapor hacia la placa condensadora localizada bajo la sombra generada por el colector parabólico; el rendimiento promedio logrado fue de 0.3 l de agua destilada/ $\text{m}^2 \cdot \text{día}$.

PALABRAS CLAVE: destilador solar, concentrador solar cilíndrico parabólico.

1. INTRODUCCIÓN

La energía solar es el recurso energético de amplia disponibilidad en la mayor parte del territorio peruano, lo que hace muy favorable su aprovechamiento como recurso energético renovable. CEPIS ha elaborado una Cuadro de Radiación Solar en el Perú (promedio diario anual) en el cual se establece para el Distrito de Characato, Provincia y Departamento de Arequipa un promedio diario anual de radiación solar de $7,09 \text{ KWh}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ ($6097 \text{ kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$) que constituye el mayor valor de radiación solar en el país. (1). Asimismo, el Atlas de Energía Solar del Perú (SENAMHI) presenta los valores de radiación solar a lo largo del territorio peruano. (2)

Actualmente los requerimientos de agua destilada para los laboratorios de la Universidad son resueltos mediante destiladores de agua accionados por electricidad; se ha desarrollado como alternativa energética renovable un módulo de destilación solar aprovechando la radiación solar que incide en Arequipa para obtener agua destilada con conductividad eléctrica no mayor a $6 \mu\text{S}/\text{cm}$ para ser utilizada en laboratorios.

Dentro de este contexto muchos investigadores han elaborado diferentes tipos de destiladores solares. (3), (4)

- Destilador solar de caseta, de una vertiente o de dos vertientes
- Destilador solar de poseta o bandeja
- Destilador solar de cascada
- Destilador solar multietapa.

Para el presente trabajo se ha desarrollado un destilador solar que emplea un concentrador solar cilíndrico parabólico que concentra la radiación solar en un eje focal conformado por una tubería de cobre, pintada de negro mate, en cuyo interior tiene lugar la vaporización del agua, los vapores formados se dirigen al extremo opuesto al de alimentación de agua ingresando a una placa condensadora que permite irradiar el calor de condensación hacia el aire del medio ambiente, sin consumo de agua de condensación, esta placa se ha localizado a la sombra generada por el concentrador solar parabólico.

El sistema de destilación solar opera bajo un flujo de agua de alimentación gobernado por una válvula de flotador que determina un nivel de agua líquida dentro de la tubería de cobre de modo que sólo se llena parcialmente para permitir el libre flujo de los vapores formados por acción de la energía solar concentrada en la tubería focal. Esta disposición de control de flujo y nivel determina que únicamente cuando la radiación solar genere vapor de agua que se condensa, se produzca una reposición o alimentación de agua al destilador.

Para lograr una conductividad no mayor de $6 \mu\text{S}/\text{cm}$ en el agua destilada se ha efectuado una serie de experimentos a diferentes relaciones de Purga/Destilado, de tal modo que se obtiene la conductividad establecida y, por consecuencia, la productividad de agua destilada vs agua purgada que permite eliminar la concentración de sales dentro del destilador.

Otro aspecto importante es la evaluación de los montos de inversión en el módulo de destilación solar, los costos de operación, consumo de agua, comparados con los costos de inversión, costos de operación y consumo de agua en los destiladores accionados por energía eléctrica.

2. MATERIAL Y MÉTODOS.

2.1. Materiales.

2.1.1. Para la construcción del módulo destilador se han empleado los siguientes materiales:

- a) Colector cilíndrico parabólico:
 - Estructura soporte de varillas de fierro ángulo y te de $\frac{3}{4}$ pulg.
 - Colector parabólico de planchas de acero inoxidable brillante de 0.8 mm de espesor
- b) Sistema de destilación:
 - Hervidor de tubería de cobre de 1.5 pulgadas de diámetro
 - Condensador de planchas de acero inoxidable de 4 x 8 pies y 1 cm de espesor.
 - Tanque de alimentación y regulación de nivel de agua, de PVC.
 - Filtro de agua para eliminar impurezas sólidas en agua de alimentación.
- c) Sistema de control automático
 - Válvula de flotador

- Visores de vidrio para regulación de nivel de agua dentro de la tubería al ingreso y salida del eje focal tubería de cobre-hervidor
- Llave de paso para regulación de purga.



Fig 1. Sistema de control de nivel y alimentación por válvula de flotador



Fig 2. Tanque de alimentación de agua al destilador



Fig 3. Filtro previo al ingreso de agua



Fig. 4. Vista del colector parabólico y de la placa condensadora



Fig. 5. Vista general destacando detalle de conducción de vapores hacia la placa condensadora

2.1.2. Agua de alimentación: esta constituida por agua de subsuelo bombeada y utilizada en la Universidad.

2.2. Metodología para la evaluación experimental:

- Almacenaje de muestras.

Las muestras se toman en frascos de vidrio con tapa esmerilada o frascos de vidrio con tapa roscada.

- Medición de sólidos disueltos en agua destilada..

Mediante conductividad eléctrica se hace la medición cuantitativa de los constituyentes iónicos disueltos y presentes en el agua al ingreso y salida del destilador.

- Aparatos.

Conductímetro manual, fabricado por Schott Instruments, Germany. El conductímetro posee compensación automática de temperatura y emplea un electrodo LF613T para la medición. Precisión +- 0.5 % del valor medido.

- Reactivos.

Alcohol etílico de 95 %, para el lavado de electrodos.

Agua destilada ultra pura, especificación ASTM D1193 Tipo I

3. RESULTADOS.

Los resultados se han obtenido para las siguientes condiciones experimentales:

- Radiación solar incidente: determinada según observaciones de SENAMHI.
- Nubosidad: las mediciones se realizaron bajo cielo despejado.
- Flujo de purga: se han establecido tres niveles:
 - Flujo de agua de purga : 6 ml/min
 - Flujo de agua de purga : 9 ml/min
 - Flujo de agua de purga: 12 ml/min

Variables evaluadas:

- Producción de agua destilada.
- Producción de agua de purga.
- Conductividad eléctrica del agua destilada.
- Conductividad eléctrica del agua de alimentación

Indicadores:

- Conductividad eléctrica del agua de alimentación al destilador.
- Conductividad eléctrica del agua destilada producida por el destilador solar.
- Relación Agua de Purga/Agua Destilada

Tabla Nº 1. Resultados Experimentales obtenidos en la operación del destilador solar

Fecha	Radiación	Nubosidad	Flujo de	Producción de	Producción de	Conductividad	Conductividad	Relación Purga/D
-------	-----------	-----------	----------	---------------	---------------	---------------	---------------	------------------

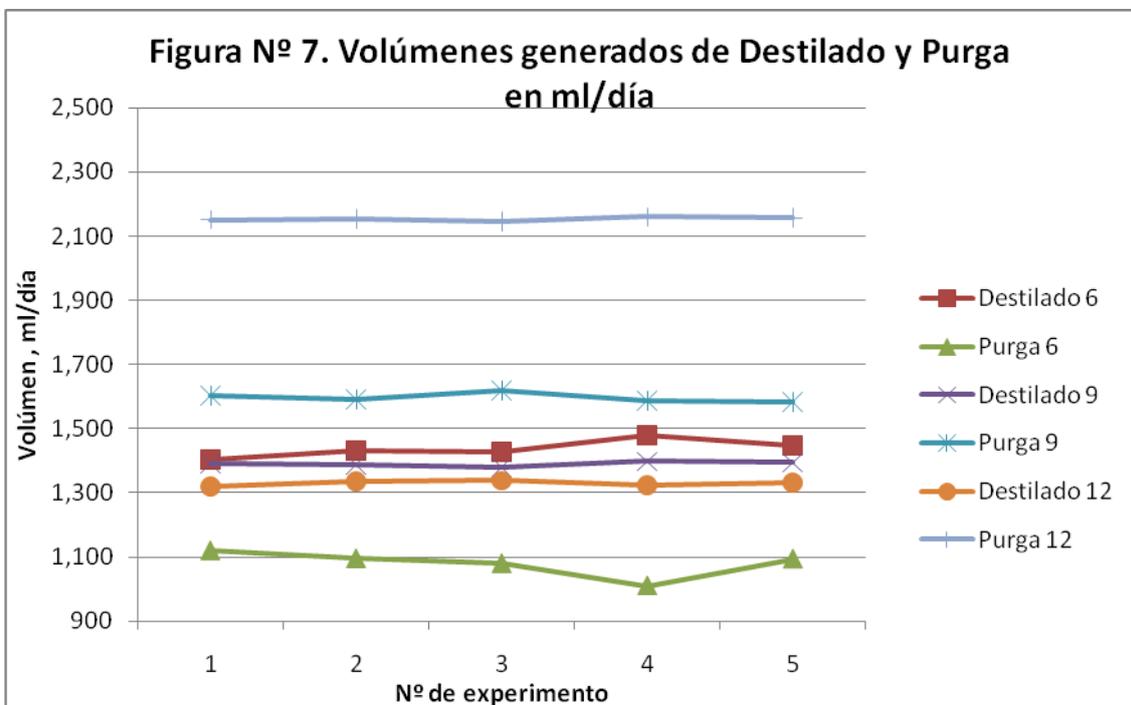
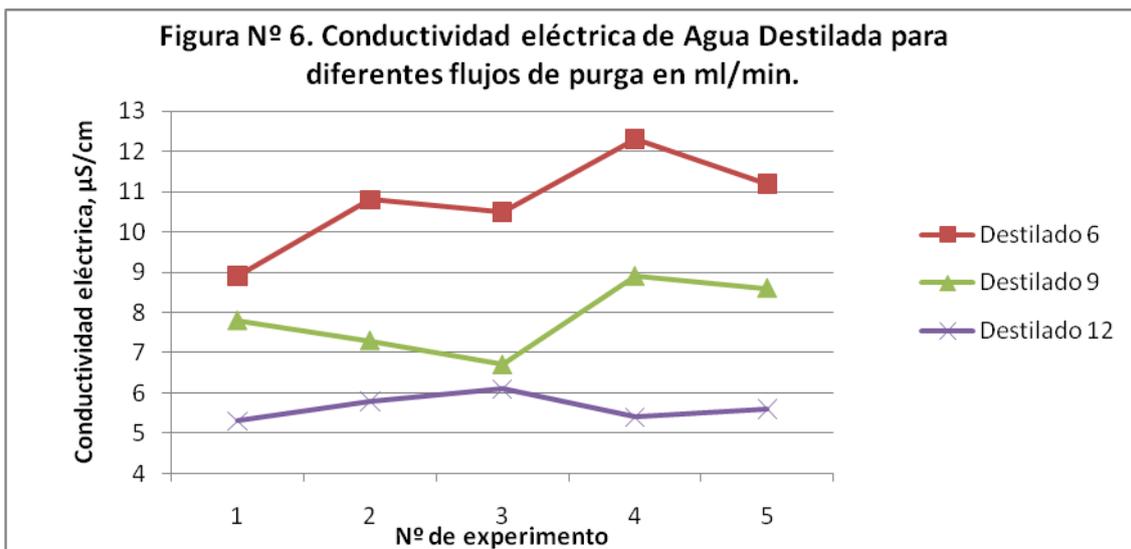
de experi mento	solar media mensua l, W/m ²	d	Purga, ml/min	Agua Destilada , ml/día	Agua de Purga, ml/día	eléctrica del Agua Alimentad a, μ S/cm	eléctrica del destilado, μ S/cm	estilado
29/04 al 13/05	5284	Cielo despejad o	6.00	1403	1120	586	8.9	0.798
			6.00	1432	1095	598	10.8	0.765
			6.00	1428	1080	625	10.5	0.756
			6.00	1480	1010	628	12.3	0.682
			6.00	1408	1060	568	11.2	0.753
17/05 al 10/06	5103	Cielo despejad o	9.00	1392	1603	583	7.8	1.152
			9.00	1387	1590	568	7.3	1.146
			9.00	1380	1620	560	6.7	1.174
			9.00	1398	1586	558	8.9	1,142
			9.00	1394	1582	531	8.6	1.135
21/06 al 15/07	4992	Cielo despejad o	12.00	1319	2151	492	5.3	1.631
			12.00	1335	2153	512	5.8	1.613
			12.00	1338	2145	508	6.1	1.600
			12.00	1323	2160	510	5.4	1.633
			12.00	1331	2157	516	5.6	1.621

4. DISCUSIÓN.

En la Tabla N° 1 se aprecia que para los diferentes flujos de agua purgada experimentados (6 , 9 y 12 ml/min) se obtienen diferentes flujos de destilado y diferentes conductividades eléctricas (composición o contenido de sólidos disueltos). La siguiente Figura N° 6 muestra que para un flujo de purga de 12 ml/min, el flujo promedio de destilado obtenido es del orden de 1329 ml/día y que se halla ligado a un volumen promedio de agua de purga de 2153 ml/día. Para estas condiciones de operación la conductividad eléctrica promedio es de 5.64 μ S/cm que corresponde con la conductividad límite establecida para el agua destilada.

Para el flujo de agua de purga de 9 ml/min, el volumen de agua destilada obtenida es de 1390 ml/día, que se corresponde con un volumen de agua purgada de 1596 ml/día. Para estas condiciones de operación la conductividad eléctrica promedio del agua destilada es de 7.9 μ S/cm, valor que se halla por encima del límite establecido para agua destilada.

Para el flujo de agua de purga de 6 ml/min, la conductividad eléctrica del agua destilada esta muy por encima de lo establecido para agua destilada.



En la Figura N° 7 se aprecia claramente que para un flujo de agua de purga de 12 ml/min, se obtiene agua destilada con una conductividad que corresponde al agua destilada, es decir, en el rango de 3 a 6 $\mu\text{S/cm}$.

Las oscilaciones en las conductividades eléctricas observadas se explican en consideración a la conductividad eléctrica (composición variable) del agua de subsuelo que es alimentada al destilador solar. Para el caso de estos experimentos se emplea como agua de alimentación el agua de subsuelo que utiliza la universidad. En la Tabla N° 1 se muestran las conductividades del agua de alimentación a los largo de los experimentos realizados, el término promedio se ha registrado una conductividad eléctrica para el agua de alimentación a destilación de 560 $\mu\text{S/cm}$. Si bien esta conductividad eléctrica es bastante elevada, con respecto al agua potable, tiene la contraparte de ser un agua mucho más estable en composición que el agua potable de origen superficial.

4. CONCLUSIONES

Para las condiciones de construcción del prototipo de destilador solar empleado, que opera con un concentrador solar cilíndrico parabólico y las condiciones de radiación solar que incide en Arequipa bajo cielo despejado, se obtiene un volumen de 1390 ml/día de agua destilada cuando se aplica un flujo de agua de purga de 12 ml/min. Menores flujos de agua de purga darán lugar a agua destilada con una conductividad mayor a la establecida para el agua destilada (3 a 6 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

El concentrador solar cilíndrico parabólico ha sido localizado con una orientación Este-Oeste del eje focal, siendo necesario ajustar periódicamente el plano perpendicular del colector parabólico para que coincida con el ángulo de inclinación de la radiación solar incidente. Para el 23 de junio, el ángulo de inclinación fue de 64° con respecto al plano horizontal de la Tierra.

La producción de agua destilada es menor en correspondencia al área del colector solar cilíndrico parabólico del destilador. Las distorsiones superficiales de la plancha de acero inoxidable brillante empleada como superficie reflectora causadas por las labores mecánicas del fijado de la plancha de 0.5 mm de espesor han determinado una baja eficiencia de concentración. Es más conveniente planchas de mayor espesor de para reducir estas distorsiones y aumentar la eficiencia de concentración solar.

REFERENCIAS.

1. Red Panamericana de Información en Salud Ambiental (REPIDISCA)- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Diseño de sistemas de calentamiento de agua por energía solar.
2. Atlas de Energía Solar del Perú. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Ministerio de Energía y Minas. Lima-Perú, junio 2003.
3. Álvarez M. La Destilación Solar [en línea]. Cuba, 2000. [citado el 8 de diciembre del 2004]. Disponible para World Wide Web: <http://www.eyt.cubasolar.cu/energia/Energia16/HTML/articulo03.htm>
4. Roig Rassi, Alina; Corp Linares, Sergi. La destilación solar: una solución para la industria farmacéutica y la biotecnología vegetal. Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA). Calle 20 No. 4111, e/ 18A y 47, Miramar, Playa, Ciudad de La Habana , Cuba. Tel.: 2031412.
e-mail: sergio@cubaenergia.cu y arrassi@cubaenergia.cu
5. Mello Garcias, Carlos y da Rocha Freitas, Amadalu F. Potabilizacion del agua de mar por destilación solar.
www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/.../hdt030.html
6. Fasulo, Amilcar; Esteban, Carmen; Odicino, Luis y Follari, Jorge. Pequeña planta experimental de destilación solar. Laboratorio de Energía Solar - Departamento de Física. Universidad Nacional de San Luis Chacabuco y Pedernera 5700 – San Luis.
afasulo@unsl.edu.ar, cesteban@unsl.edu.ar, odicino@unsl.edu.ar, jfollari@unsl.edu.ar.

ANEXOS.

Anexo 1.

Tabla 1. Ubicación geográfica, récord histórico y tipo de instrumento de medición de irradiación solar en las estaciones base.

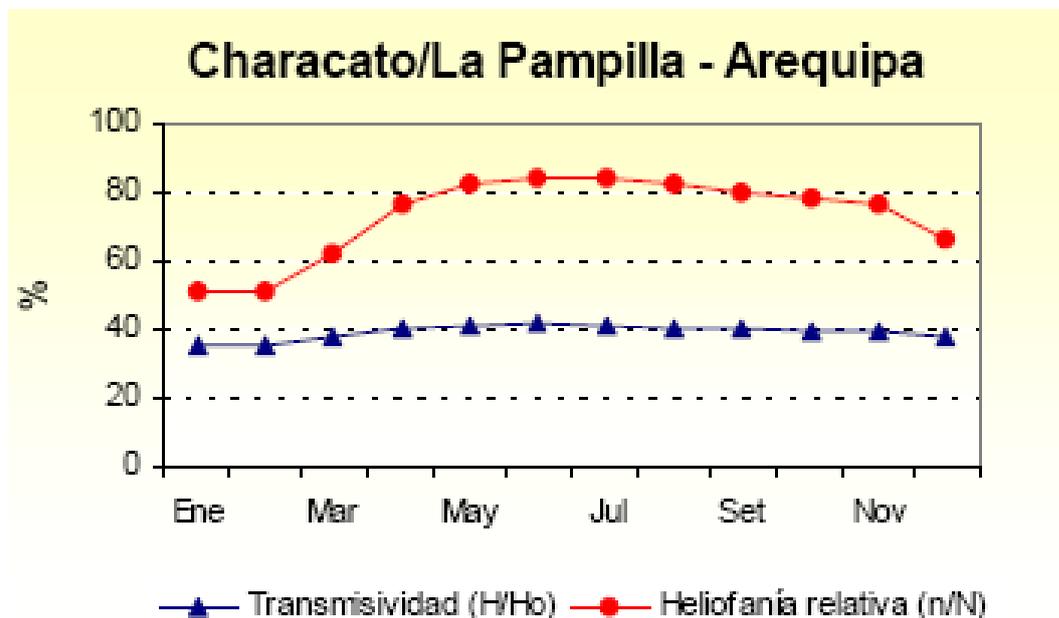
Estación meteorológica	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Altitud (m.n.m)	Récord histórico	Instrumento de medición
Miraflores	5,17	80,62	30	1 979-1 992	Piranómetro
San Ramón SM	5,56	76,05	184	1 972-1 982	Actinógrafo
El Porvenir	6,35	76,19	230	1 964-1 971	Actinógrafo
Bambamarca	6,40	78,31	2 536	1 967-1 977	Actinógrafo
Bellavista	7,03	76,33	247	1 971-1 973	Actinógrafo
Weberbauer	7,17	78,50	2 536	1 980-1 985	Piranómetro
Huayao	12,03	75,32	3 308	1 977-1 996	Piranómetro
A. Von Humboldt	12,08	76,95	238	1 968-1 999	Piranómetro
Cosmos	12,15	75,57	4 575	1 986-1 988	Piranómetro
Granja Keayra	13,55	71,87	3 219	1 980-1 988	Piranómetro
San Camilo	14,07	75,72	398	1 978-1 988	Piranómetro
Chaquibambilla	14,78	70,73	3 971	1 980-1 984	Piranómetro
Puno	15,83	70,02	3 820	1 977-1 993	Piranómetro
Characato-La Pampilla	16,45	71,48	2 451	1 978-1 987	Piranómetro
La Joya	16,58	71,92	1 295	1 967-1 993	Actinógrafo

Anexo 2.

Tabla 2. Valores de las principales variables climáticas de las estaciones base

Estación meteorológica	Energía solar diaria (kW h/m ²)	Heliofanía relativa (%)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación total (mm/año)
COSTA					
Miraflores	5,75	56	30,7	19,3	216
A. Von Humboldt	4,06	40	23,3	15,5	16
San Camilo	5,92	61	28,7	13,4	11
La Joya	7,03	75	27,0	10,1	77
SIERRA					
Bambamarca	4,56	44	19,4	9,5	737
Weberbauer	4,92	49	21,3	7,6	644
Cosmos	4,92	46	9,2	-0,7	1 047
Huayco	6,00	56	19,6	-4,4	765
Ortega Kenya	5,44	53	20,7	3,7	674
Chuqubambilla	6,08	59	16,8	-2,4	715
Puno	6,36	70	14,7	2,0	753
Characato	6,50	73	22,8	-6,8	78
SELVA					
San Ramón SM	4,67	41	31,3	20,8	2 158
El Porvenir	3,89	41	32,5	20,4	1 041
Bellavista	4,78	40	32,2	20,9	928

Anexo 3.



Fuente: Atlas de energía solar del Perú. Senamhi. Ministerio de Energía y Minas
Junio 2003.

Anexo 4.

Radiación solar en el Perú (promedio diario anual)

Lugar	Departamento	Altitud (m)	Rad. Solar (/d) (kWh/m²-día)
Zorritos	Tumbes	5	4,93
Guayabamba	Iquitos	122	4,46
Tablazo	Piura	147	5,12
Tarapoto	San Martín	356	4,43
Lambayeque	Lambayeque	18	5,00
Cajamarca	Cajamarca	2750	6,58
Cartavio	La Libertad	51	4,86
Huaraz	Ancash	3207	5,79
Huánuco	Huánuco	1800	5,15
Atacocha	Cerro de Pasco	4023	5,45
Fdo. Iberia	Madre de Dios	180	4,52
Huancayo	Junín	3350	6,78
La Molina	Lima	251	4,09
Tunel Cerro	Huancavelica	4600	5,87
Kayra	Cusco	3219	5,28
Abancay	Apurímac	2398	5,21
Ica	Ica	398	5,28
Cachapampa	Ayacucho	2450	6,62
Puno	Puno	3825	6,80
Characato	Arequipa	2461	7,09
Moquegua	Moquegua	1420	6,14
Calana	Tacna	590	5,43

Fuente. Red Panamericana de Información en Salud Ambiental (REPIDISCA)- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente (CEPIS).