

ACUMULACION EN PLANTAS DE DESTILACION SOLAR

Jorge Luis Guerrero
Consultora Helioenergética
Poste Restante- 1663- San Miguel.

Resumen

Se analiza el dimensionamiento de la acumulación de agua destilada acorde con la necesidad de no interrupción en el suministro de su dotación diaria para ingestión. Se comparan distintos procedimientos y se muestran sus resultados.

Abstract

Storage sizing of distilled water in connection with the need of continuity in the daily drinking water supply, is analyzed for solar still plants. Several procedures are compared and its results are shown.

Introducción

Las plantas de destilación solar de agua aparecen como una solución apropiada al problema del suministro de agua potable para ingestión, en zonas donde las fuentes de aprovisionamiento locales son saladas, con un tenor salino superior al tolerable por las pautas fijadas por el Servicio Nacional de Agua Potable; donde la pequeña demanda no justifica la construcción de acueductos y donde las distancias hasta otras fuentes de aprovisionamiento de agua potable hagan desistir de la idea de su acarreo. Una de estas zonas en nuestro medio es la del Impenetrable chagüeno, donde en el paraje denominado Las Cuatro Bocas se plantea hacer un nuevo asentamiento humano, al que hay que proveer del agua potable para ingestión, ausente en la zona. Ante la necesidad de realizar un proyecto de planta de potabilización de agua por medio de la destilación solar en esta zona, se debió evaluar el dimensionamiento de todos los subsistemas para el servicio de la misma. Uno de los escollos encontrados en esta tarea fué precisamente el dimensionamiento de la capacidad necesaria de acumulación de agua destilada de modo tal que no hubiese en ningún caso interrupción del servicio de agua potable de ingestión. No existiendo ni a nivel local ni internacional estudios o experiencia en este sentido, el tema se transformó en base para una investigación cuyos procedimientos y conclusiones se presentan en este informe.

Necesidad del agua para ingestión

El primer inconveniente que aparece es el de determinar la cantidad de agua de ingestión necesaria a suministrar a cada individuo. En este aspecto, se encontraron dotaciones empleadas para el dimensionamiento de algunas plantas de destilación solar, que amén de ser muy dispares, en ningún caso se mostraba una base para su determinación. Por otro lado no se puede tomar como base la dotación asignada por el SNAP para los servicios reducidos, ya que el agua suministrada en este caso no es exclusivamente para ingestión. Por esta razón se ha debido seguir los siguientes pasos:

a) Análisis del balance de agua en un individuo.

El balance elemental del agua en un individuo promedio varía mucho según las condiciones a que está sometido (1). No obstante existe un balance básico para este individuo en reposo y a una temperatura de 20°C (dentro de las condiciones de bienestar higrótérmico). Este balance es el siguiente en un día, expresado en Kg:

Ingreso de agua		
Ingestión directa	1,6	
Ingestión por alimentos	0,6	
Producción endógena	0,6	
Pérdida de agua		
Por orina		1,4
Por las heces		0,2
Por sudación		0,1
Por difusión epitelial		0,35
Por vía pulmonar		0,35
TOTALES	2,4	2,4

Este balance se ve roto ante la influencia de tres factores fundamentales: tensión de vapor de agua, temperatura ambiente y actividad física. Por ejemplo, la pérdida por los pulmones no existe cuando la tensión de vapor es de $6,3 \times 10^3$ N/m² (o sea humedad relativa del 100 % a 37 °C). La pérdida por sudación puede alcanzar los niveles de 1 g/seg. en función del ejercicio físico y de la temperatura, claro está que por lapsos limitados. Todas las pérdidas adicionales de agua, generan necesidad de ingreso por ingestión directa adicional para restablecer el balance.

b) Efecto de la temperatura ambiente y la actividad en la pérdida de agua.

El cuerpo humano necesita para su funcionamiento normal mantener una temperatura casi constante en su interior. La generación interna de calor aumenta con el incremento de la actividad física y las posibilidades de evacuación del calor disminuyen con el aumento de la temperatura ambiente. La forma en que el cuerpo humano puede restablecer su equilibrio térmico (1) es eliminar por medio de la sudación el calor excedente. Es decir, que ambos efectos producen un incremento de la pérdida de agua. Esta pérdida adicional de agua es conocida (2) y se representa en la fig.1.

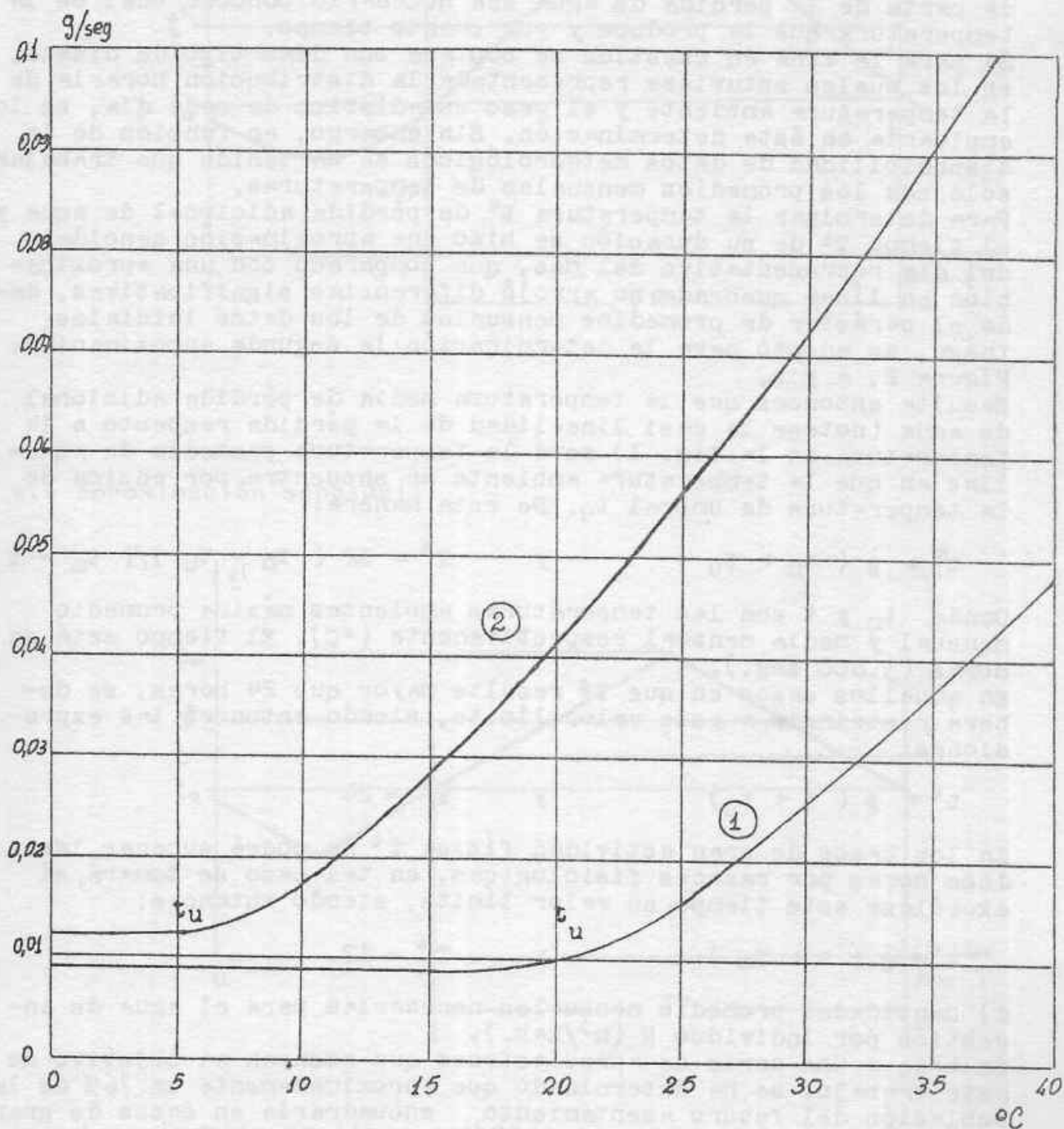


FIGURA 1

Pérdida Adicional de Agua (PAA) en función de la Temperatura.
 1. Velocidad de pérdida en reposo.
 2. Velocidad de pérdida en gran actividad.

c) Determinación de la temperatura de pérdida adicional de agua. De lo expuesto anteriormente se ve que la pérdida adicional de agua está constituida por una parte constante de 1.600 gramos diarios y otra variable según la temperatura y las horas en que ésta se mantiene. De aquí que para la determinación de la segunda parte de la pérdida de agua sea necesario conocer cuál es la temperatura que la produce y por cuanto tiempo.

Si para la zona en cuestión se contara con días tipo de diseño, en los cuales estuviese representada la distribución horaria de la temperatura ambiente y el peso estadístico de cada día, se los emplearía en esta determinación. Sin embargo, en función de la disponibilidad de datos meteorológicos se ha tenido que trabajar sólo con los promedios mensuales de temperaturas.

Para determinar la temperatura t^* de pérdida adicional de agua y el tiempo T^* de su duración se hizo una aproximación senoidal del día representativo del mes, que comparado con una aproximación en líneas quebrada no arrojó diferencias significativas, dado el carácter de promedios mensuales de los datos iniciales. Luego, se adoptó para la determinación la segunda aproximación. Figura 2, a y b.

Resulta entonces que la temperatura media de pérdida adicional de agua (notese la casi linealidad de la pérdida respecto a la temperatura en la fig. 1) será la temperatura promedio de aquellas en que la temperatura ambiente se encuentra por encima de la temperatura de umbral t_u . De esta manera:

$$t^* = \frac{1}{2} (t_m + t_u) \quad \text{y} \quad T^* = 12 (t_m - t_u) / (t_m - t)$$

Donde t_m y t son las temperaturas ambiente máxima promedio mensual y media mensual respectivamente ($^{\circ}\text{C}$). El tiempo está en horas (3.600 seg.).

En aquellos casos en que T^* resulte mayor que 24 horas, se deberá restringir a este valor límite, siendo entonces las expresiones:

$$t^* = \frac{1}{2} (t + t_u) \quad \text{y} \quad T^* = 24$$

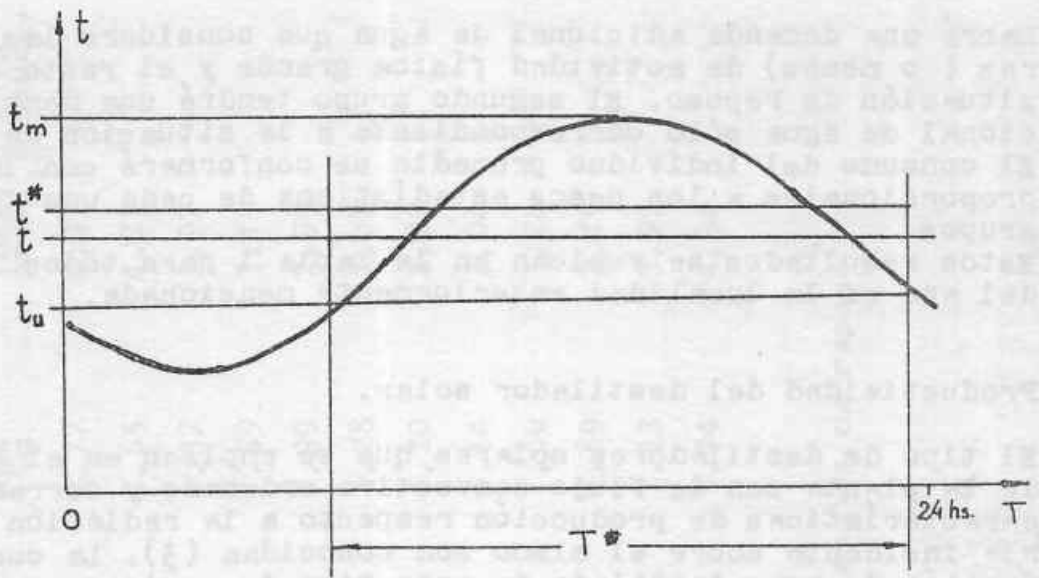
En los casos de gran actividad física T^* no podrá superar las doce horas por razones fisiológicas, en tal caso se tomará, si excediese este tiempo, su valor límite, siendo entonces:

$$t^* = \frac{1}{2} (t + t_m) \quad \text{y} \quad T^* = 12.$$

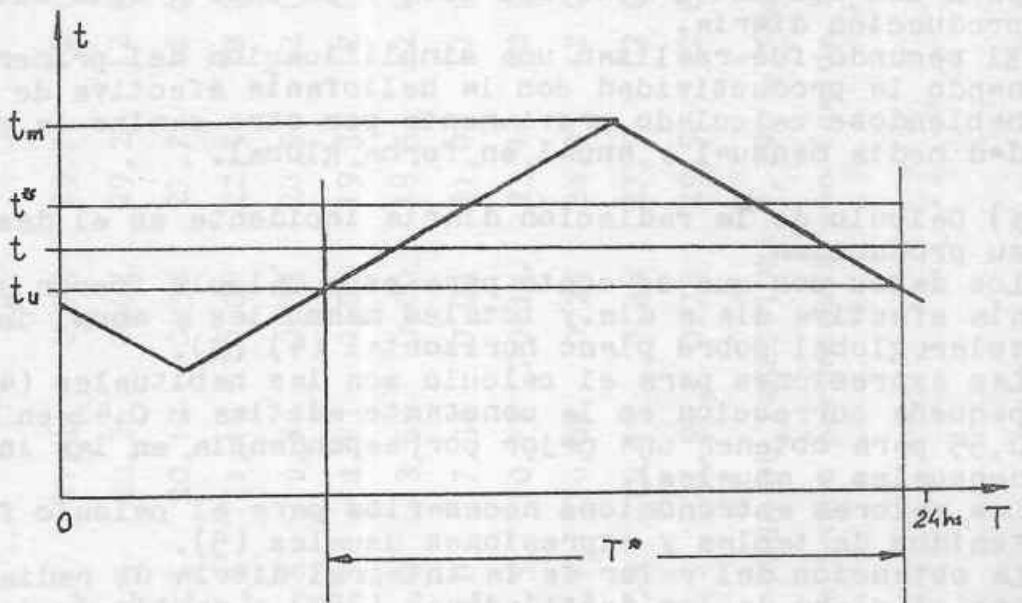
c) Cantidades promedio mensuales necesarias para el agua de ingestión por individuo N ($\text{m}^3/\text{hab.}$).

En base a una serie de apreciaciones que escapan al objetivo de este trabajo, se ha determinado que aproximadamente un 76% de la población del futuro asentamiento encuadraría en casos de gran actividad física, mientras que el resto se lo podría encuadrar en reposo, si dividimos sus actividades sólo en dos grandes grupos.

El consumo de agua constará de una parte que será independiente de la actividad física o de la temperatura y en el primer grupo



a.- Aproximación senoidal.



b.- Aproximación en línea quebrada.

FIGURA 2

Determinación de la temperatura t^* y del tiempo T^* de pérdida adicional de agua.

habrá una demanda adicional de agua que considere las doce horas (o menos) de actividad física grande y el resto según una situación de reposo. El segundo grupo tendrá una demanda adicional de agua sólo correspondiente a la situación de reposo. El consumo del individuo promedio se conformará con las partes proporcionales a los pesos estadísticos de cada uno de los dos grupos.

Estos resultados se vuelcan en la tabla 1 para todos los meses del año en la localidad anteriormente mencionada.

Productividad del destilador solar.

El tipo de destiladores solares que se emplean en el proyecto de la planta son de flujo convectivo ordenado y cerrado, cuyas características de producción respecto a la radiación solar diaria incidente sobre el mismo son conocidas (3). La curva de producción de agua destilada de este tipo de equipos es casi lineal con la radiación solar, con un rendimiento de alrededor del 65% en la zona de radiación diaria entre 4.000 KJ/m² y 27.000 KJ/m².

Se siguieron dos procedimientos para obtener la productividad a lo largo del año, teniendo en cuenta los accidentes meteorológicos que la hacen variar día a día.

El primero de los caminos fue el de calcular la radiación solar para los distintos días del año, y en base a esto determinar la producción diaria.

El segundo fue realizar una simplificación del primero relacionando la productividad con la heliofanía efectiva de cada día, habiéndose calculado previamente por otro camino la productividad media mensual y anual en forma global.

a) Cálculo de la radiación diaria incidente en el destilador y su producción.

Los datos con que se contó para este cálculo fueron la heliofanía efectiva día a día y totales mensuales y anual de radiación solar global sobre plano horizontal (4) (*).

Las expresiones para el cálculo son las habituales (4) con una pequeña corrección en la constante aditiva (0,41 en lugar de 0,55 para obtener una mejor correspondencia en las integrales mensuales y anuales).

Los valores astronómicos necesarios para el cálculo fueron obtenidos de tablas y expresiones usuales (5).

La obtención del valor de la integral diaria de radiación sobre el plano de los destiladores (25°) a partir de la horizontal, se realizó por medio de correlaciones mensuales halladas por el procedimiento de Liu y Jordan con sus posteriores modificaciones.

La determinación de la producción diaria del destilador se realizó tomando los valores de gráficos experimentales en función de la radiación que en cada día incide sobre el equipo (3).

(*) La fuente original de los datos de heliofanía es el S.M.N.

TABLA I

Mes	EN REPOSO (tu=20°C)				ACTIVO (tu= 5 °C)				INDIVIDUO PROMEDIO	
	t* °C	T* Hs.	PAA Kg		t* °C	T* () Hs.	PAA Kg		PAA Kg	Total Diario prom. mensual. Kg.
ENERO	26,7	21,44	0,75		29,7	12 (+ 9,44)	3,41		2,77	4,37
FEBRERO	26,5	20,26	0,68		29,2	12 (+ 8,26)	3,28		2,65	4,25
MARZO	25,5	20,12	0,50		27,7	12 (+ 8,12)	2,96		2,37	3,97
ABRIL	22,6	11,16	0,09		22,5	12 (+ 0)	2,06		1,59	3,19
MAYO	21,8	6,86	0,03		20,5	12 (+ 0)	1,82		1,39	2,99
JUNIO	21,5	4,83	0,02		19,3	12 (+ 0)	1,68		1,28	2,58
JULIO	21,0	3,50	0,00		18,5	12 (+ 0)	1,58		1,20	2,80
AGOSTO	22,6	7,34	0,03		21,0	12 (+ 0)	1,88		1,44	3,04
SEPTIEMBRE	23,5	10,77	0,14		23,1	12 (+ 0)	2,14		1,66	3,26
OCTUBRE	24,1	16,67	0,25		24,9	12 (+ 2,91)	2,41		1,89	3,49
NOVIEMBRE	25,5	19,13	0,48		27,5	12 (+ 7,13)	2,92		2,33	3,93
DICIEMBRE	26,5	21,97	0,73		29,5	12 (+ 9,97)	3,37		2,74	4,34

TOTAL ANUAL DE AGUA DE INGESTION: 1,296 m³/Habitante.

() Los valores entre paréntesis son los de las horas adicionales de reposo

La determinación de las cantidades medias mensuales y anuales de producción de destilado se hizo (dada la casi linealidad de la curva de producción respecto a la radiación diaria incidente) en base al promedio anual y mensual de radiación incidente sobre el equipo.

b) Determinación de la productividad diaria en función de la heliofanía efectiva.

Se definió un sistema de cómputo de la producción del destilador tal que para los días con heliofanía efectiva menor al 50% del promedio mensual se consideró que el equipo no produce y en los restantes días produce lo necesario para cubrir la producción del mes. Este sistema de cómputo de la productividad representa, en principio, un límite al cual nunca puede llegar un sistema real y por ende las capacidades de acumulación requeridas por este tipo de cálculo de la intermitencia de la producción, también serán extremas.

Producción de destilado, agua para ingestión y márgenes de seguridad.

De lo expuesto hasta ahora se puede conocer la cantidad de agua destilada que obtendremos de la planta, no así la de agua de ingestión, que resultará de la mezcla del agua destilada con el agua salada del lugar, que en este caso no presenta iones perjudiciales. La proporción de mezcla admisible en lugar es del orden del 18%. Es decir que se obtendrá un 18% más de agua de ingestión que de destilada. Por otra parte siendo necesario dejar un margen de seguridad cercano al 20% en el dimensionamiento, resulta que para los cálculos concretos se puede considerar que la cantidad de agua de ingestión es la misma que la cantidad de agua destilada.

El primero de los porcentajes se basa en los análisis del agua del lugar y el segundo en normas generales para instalaciones de suministro de agua con las presentes características.

Determinación del volumen de acumulación y de la dotación anual de agua de ingestión.

Para todos los cómputos de productividades de los equipos destiladores se tomaron los datos del año más desfavorable en la zona (1940) y para determinar las necesidades de agua de ingestión los datos medios mensuales de veinte años en la zona. De esta manera se coloca al análisis en una situación suficientemente segura ante las variaciones casuales desfavorables.

a) Procedimientos seguidos.

Para la determinación del volumen de acumulación se realizó una suma algebraica de lo producido cada día y consumido ese mismo día prorrateado a la unidad de área del destilador (aunque con el mismo peso se podría haber hecho el cómputo respecto a un individuo), es decir, el volumen de acumulación necesario V (en

m^3/m^2) será:

$$V = (\max.; \sum_{i=1}^{365/6} P_i - C_i) - (\min.; \sum_{i=1}^{365/6} P_i - C_i)$$

donde: P_i es la producción del día por metro cuadrado (m^3/m^2),
 C_i es el consumo del día para el mismo área (m^3/m^2), e
 i es número de día, del año.

Para la determinación del área de destilador necesaria para un individuo se busca el valor máximo de la relación entre el consumo medio mensual y la producción media mensual de un metro cuadrado, es decir:

$$A = N/P \quad (\text{en } m^2/\text{hab.}),$$

donde: N es el consumo promedio mensual necesario por individuo ($m^3/\text{hab.}$), y

P es la producción media mensual de un metro cuadrado de destilador (m^3/m^2).

El producto de la productividad media anual de la unidad de área de un destilador y el área necesaria por individuo dará la dotación de agua anual entregada por la planta, D ($m^3/\text{hab.}$).

b) Procedimientos no seguidos.

Una de las formas más difundidas para la evaluación de la acumulación en sistemas térmicos solares se basa en la consideración de las rachas de "días buenos" y "días malos", es decir, en la determinación de la probabilidad de ocurrencia de días sucesivos con, por ejemplo, heliofanía relativa mayor o menor al 50%. Este procedimiento da una solución sólo aparente al problema, ya que es fácilmente demostrable que para periodos con iguales probabilidades de ocurrencia de las mismas rachas, tanto buenas como malas, se obtendrán valores del volumen de acumulación necesario totalmente arbitrarios, discordantes e independientes, en función de la ubicación relativa que demos a las rachas entre sí.

c) Comparación de los resultados según el procedimiento seguido. Se han realizado seis modelos diferentes en función de dos formas de evaluación de la productividad y tres formas de suministro del agua al usuario a través del año, estas son:

Productividad:

- 1 - Según cálculo diario de la integral diaria de radiación solar sobre el equipo.
- 2 - Según determinación en función de la heliofanía efectiva.

Suministro o consumo:

- A - Según el promedio mensual de necesidad de agua de ingestión N .
- B - Según una división en dos cantidades fijas en el año, una estival y otra invernal, ninguna menor a N .
- C - Constante durante todo el año, en ningún mes menor a N .

En la tabla 2 se muestran los resultados de los modelos.

TABLA 2

MODELO Prod.- -Cons.	V m^3/m^2	A $m^2/hab.$	D (anual) $m^3/hab.$
1 - A	0,040	0,72	1,296
1 - B	0,049	1,09	1,959
1 - C	0,143	1,23	2,229
2 - A	0,056	1,12	1,296
2 - B	0,069	1,25	1,959
2 - C	0,221	1,29	2,229

Conclusiones

Se concluye que lo aconsejable para una planta de potabilización de agua por destilación solar es de dividir el suministro de la dotación de agua de ingestión en dos cantidades, una estival y otra invernal. De esta manera se reducen significativamente los volúmenes necesarios de acumulación frente a un suministro constante, con el consiguiente derroche de agua en el período frío. Realizar mas subdivisiones de la dotación no tiene objeto, ya que los inconvenientes que aparecerían en el suministro no justificarían la reducción del volumen de acumulación ni la reducción del área de destiladores.

En lo referente al procedimiento de determinación de la productividad de los destiladores a lo largo del año, se concluye que no es necesario seguir el camino tedioso del modelo 1 pero tampoco se puede emplear para el dimensionamiento la simplificación extrema del modelo 2. Una suficiente aproximación se obtendrá si se prorratea la producción total mensual por las horas de heliofanía efectiva de cada día del mes.

Agradecimientos

Agradezco la colaboración de la Dra R. V. Piterberg, especialista en nutrición, cuyos consejos y sugerencias fueron muy valiosos en la determinación de las cantidades necesarias del agua de ingestión.

Referencias

1. A.C. Guyton, Tratado de Fisiología Médica, 2º Edición, Editorial Interamericana S.A., México, 1964.
2. C. Rumor y G. Strohmerger, Acondicionamiento e Instalaciones Sanitarias, Editorial Científico Médica, Barcelona, España.

3. J.L. Guerrero, Experimentación de Modelos de Destiladores Solares, E-14, 1º Congreso Latinoamericano de Energía Solar. San Miguel, Buenos Aires, Argentina, 1975.
4. E.S. Crivelli, J.L. Guerrero y M.A. Pedregal, Solar Radiation and Solar Energy in Argentina, E-24, Congreso Internacional de la ISES "El Sol al Servicio del Hombre", París, Francia, 1973.
5. Cahiers de L'AFEDDES N°1, París, Francia, -1968.

Se muestran los detalles de la construcción de un destilador de flujo convectivo simple, diseñado para ser usado en viviendas en el país de origen. Se dan curvas de productividad y se discuten los resultados de experiencias anteriores del mismo tipo. Se indican las mejoras técnicas y los inconvenientes a resolver en el futuro.

Abstract

Internal isotherms and yield of a simple convective flow solar still designed to be used in family dwellings are given on the basis of field trials. Performance of the still are shown and compared with similar past experiments. Submerged improvements and their bearings to be overcome in later designs are pointed.

Introducción

El estudio de los procesos de transferencia de masa y de calor dentro de los equipos destiladores solares de flujo convectivo se ha realizado en el país de origen y en otros países. Los resultados obtenidos se han publicado en forma de artículos y de tesis de grado. En el presente trabajo se describen los detalles de la construcción de un destilador de flujo convectivo simple, diseñado para ser usado en viviendas en el país de origen. Se dan curvas de productividad y se discuten los resultados de experiencias anteriores del mismo tipo. Se indican las mejoras técnicas y los inconvenientes a resolver en el futuro.

En algunos trabajos se han presentado estos destiladores y en algunos casos se les ha usado como fuente de agua potable. El presente trabajo se refiere al estudio de los procesos de transferencia de masa y de calor dentro de un destilador de flujo convectivo simple, diseñado para ser usado en viviendas en el país de origen. Se dan curvas de productividad y se discuten los resultados de experiencias anteriores del mismo tipo. Se indican las mejoras técnicas y los inconvenientes a resolver en el futuro.

El estudio de los procesos de transferencia de masa y de calor dentro de los equipos destiladores solares de flujo convectivo se ha realizado en el país de origen y en otros países. Los resultados obtenidos se han publicado en forma de artículos y de tesis de grado. En el presente trabajo se describen los detalles de la construcción de un destilador de flujo convectivo simple, diseñado para ser usado en viviendas en el país de origen. Se dan curvas de productividad y se discuten los resultados de experiencias anteriores del mismo tipo. Se indican las mejoras técnicas y los inconvenientes a resolver en el futuro.