

EFFECTO DE VIENTO EN POZAS SOLARES

G. Hannecke*, N. Salvo y G. Lesino**

INENCO#, Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177 - 4400 Salta.

RESUMEN.

Uno de los factores más importantes en el mezclado y crecimiento de la capa convectiva superficial de una poza solar es el viento. Este transfiere energía cinética a la masa de agua y parte de dicha energía aparece como energía potencial gravitatoria, levantando sal disuelta desde la zona de gradiente hacia la capa convectiva superior.

Es importante desarrollar una herramienta de predicción de este efecto para determinar si es necesario para el régimen de vientos de cada lugar, la utilización de medias de protección como, por ejemplo, redes superficiales, ya que éstas aumentan el costo del sistema.

Existe un programa de simulación del comportamiento termo-hidráulico de pozas solares, realizado por Atkinson (1) que se usa básicamente para predecir la evolución en el tiempo de los perfiles de temperatura y densidad de dichas pozas. En el programa la transferencia de energía del viento está modelizada como para lagos de gran tamaño.

Se ha puesto a punto este programa y se realizaron mediciones para validarlo en una poza pequeña, pretendiéndose evaluar la influencia del viento sobre el gradiente. Se utiliza para ello una subrutina del programa (WDMIX) en la cual se pueden elegir distintos modelos de simulación para el mezclado que produce el viento en la capa convectiva superficial de la poza.

Se cuenta con una poza solar de sulfato de sodio de 600 m^2 en la cual se realizaron mediciones del crecimiento de la capa convectiva superficial con vientos de hasta 70 Km/hora (2). Se armaron distintos archivos con los datos necesarios a fin de validar el modelo y predecir los distintos efectos del viento sobre esta poza.

Los resultados muestran un buen funcionamiento del modelo.

INTRODUCCION.

Se dispone de un programa en FORTRAN que modeliza el comportamiento termo-hidráulico de pozas solares en el tiempo. El modelo consiste en un programa principal que hace los balances de calor y masa de cada elemento de grilla de una columna de agua (se utiliza una técnica explícita de diferencias finitas). Se considera además el efecto de viento sobre la capa superficial. Este programa principal se encarga de leer un archivo inicial de datos meteorológicos y físicos de la poza.

* Becario del CONICET

** Investigador del CONICET

Instituto UNSa.-CONICET

Posee además, un conjunto de subrutinas y funciones.

Las funciones se utilizan para el cálculo de los parámetros físicos de la solución acuosa que constituye la poza (densidad, calor específico, viscosidad, etc.).

El programa fue desarrollado con las funciones programadas para la solución acuosa de ClNa ; se lo adaptó a la solución de SO_4Na_2 en agua.

Archivo de Datos: Los datos meteorológicos físicos de la poza, perfiles iniciales de temperatura y concentración y variables de selección (switching) que controlan las decisiones a hacer por el programa, entran desde un archivo independiente que se lee al comenzar la corrida del programa principal.

Subrutinas: El programa utiliza tres subrutinas que son:

AVERT: es la subrutina encargada de chequear y eliminar las inestabilidades hidrodinámicas que se pudieran presentar, en forma tal que se conserva la energía total y el contenido de sal.

SURSPD: hace los cálculos de los flujos de fluidos entrantes y salientes y realiza también el balance de agua. Determina la variación del nivel superficial con el tiempo.

WDMIX: estudia el mezclado que produce el viento sobre la capa superficial y su influencia sobre el gradiente, calculando los nuevos perfiles después del mezclado. Las tres subrutinas fueron modificadas al programarse las funciones para el uso del modelo en pozas con SO_4Na_2 , en lugar de ClNa .

Adaptación de las funciones a pozas de SO_4Na_2 : Se detallan a continuación las modificaciones realizadas:

Función DENSE: da la densidad de cada capa. Se usó una correlación de (3).

Función FDD(T): da la difusividad térmica. Se utilizó directamente la definición.

Función FDDS(T): da la difusividad salina. Se utilizó un valor medio medido por J. Mangussi (4).

Función FHCAP(S): da la capacidad calorífica. Se utilizó una correlación tomada (5).

Función FVIS(T,S,densidad): da la viscosidad cinemática. La correlación utilizada fue tomada del mismo trabajo (3).

EFFECTO DEL VIENTO EN LA POZA.

En una poza solar, el aporte de energía cinética realizado a través de la superficie, por efecto del viento, se utiliza parcialmente para homogeneizar la capa convectiva superior. Entre esta capa convectiva y la de gradiente existe una zona de transición, de gradiente muy intenso: es aquí donde el remanente de energía cinética aportada por el viento y que no se usó para homogeneizar la capa convectiva se disipa por efecto de la viscosidad o es reirradiada hacia la zona de gradiente a través de ondas internas, provocando el mezclado, o sea la erosión del mismo.

La cantidad de energía cinética que aporta el viento en un instante de tiempo dt es:

$$dEc = A \rho u_f^3 dt$$

Esto surge de suponer que la velocidad de arrastre en la superficie y la velocidad de fricción del fluido son del mismo orden ($u \sim u_f$) y admitiendo además que la tensión de corte por el efecto del viento es continua a través de la superficie. La erosión en el gradiente que produce este aporte de energía cinética implica un aumento de energía potencial por efecto del aporte de sal debido al mezclado de un elemento de fluido de espesor dh. Esto se visualiza en la figura (1).

En una aproximación de primer orden: $dEp = A \Delta \rho dh g h/2$

Haciendo el cociente entre dEp/dEc e introduciendo el N^2 de Richardson se tiene:

$$\frac{dEp}{dEc} = \frac{1}{2} \frac{u_e}{u_f} \frac{Ri}{\rho}$$

con $Ri = \Delta \rho g h / (\rho u_f^2)$

Suponiendo que el cambio de energía potencial es una fracción constante del aporte de energía cinética en la superficie, la última ecuación queda:

$$\frac{u_e}{u_f} \propto Ri^{-1}$$

Si el Ri es grande u_f^2 es pequeño y el aporte de energía cinética también lo es. Esto produce poco mezclado. Inversamente, con Ri pequeños se deduce que $u_e = dh/dt$ es grande y hay mucho mezclado.

Para la simulación se utiliza una ecuación por Zeman y Tenekes (1977) en la cual mantiene la dependencia con el Ri incorporando además otras constantes provenientes de la parametrización de la energía cinética y de la elección de la escala de velocidades. Esta ecuación es:

$$\frac{u_e}{u_f} = \frac{c_1 c_f}{c_t + Ri/c_1} - \frac{c_p \sqrt{2Ri}}{c_1}$$

Transferencia de energía a través de la superficie. A los efectos de evaluar el cambio de la energía potencial en la zona mezclada, se deberá determinar la transferencia de energía en la interfase aire-agua.

La ecuación que da el aporte de energía cinética en un tiempo dt, puede ser utilizada si se determinan u y u_a . Para la deducción de esta ecuación se supuso que $u \sim u_a$ y $u_f = (\zeta_o / \rho_{\text{aire}})^{1/2}$

Suponiendo ahora que el flujo de momento a través de la superficie se utiliza para la producción de tensiones viscosas y como la tensión de corte a través de la misma es constante se tiene:

$$\zeta_o = \rho u_f^2 = \rho_{\text{aire}} u_{\text{aire}}^2$$

la tensión de corte del viento se relaciona con la velocidad del mismo, a partir del coeficiente de arrastre como:

$$\zeta_o = C_z \rho_{\text{aire}} W_z^2$$

en general se cumple que: $C_z = C_z(W_z)$

Usualmente se utiliza un perfil logarítmico para la velocidad del viento, del tipo:

$$W_z = u_{\text{aire}} \ln(z/z_o)/k$$

$z = z_o$ es un origen virtual para el perfil.

Relacionando las ecuaciones de ζ_o y la de W_z podemos determinar C_z como:

$$C_z^{-1/2} = 1/K \ln(gz/.011 C_z W_z^2)$$

Determinado C_z se calcula ζ_o o sea el aporte de energía cinética.

Vale aclarar que en la presente deducción se ha supuesto que el área de la poza es tal que el perfil logarítmico puede ser establecido sobre ésta.

Los datos experimentales de velocidades de viento fueron medidos a una altura de dos metros en la poza de 600 m² existente en la UNSA.

VALIDACION DEL PROGRAMA.

Se armaron distintos archivos a fin de validar el modelo y predecir efectos con la poza solar de 600 m². Al momento de realizarse las medidas para este trabajo, la poza se encontraba en vía de recuperación, ya que no se había realizado mantenimiento en un período prolongado.

Uno de los archivos de validación corresponde al período Agosto/set. de 1987.

Las figuras 2 y 3 muestran los perfiles reales y los simulados para este período. Los parámetros de más peso en esta simulación fueron los beta y etas que dan la absorción y trasmittancia de la solución salina. Como no se dispone aún de instrumental adecuado para medir estos parámetros se debe probar con distintos pares hasta ajustar adecuadamente las curvas.

En el período Junio/Julio del año 1987 hubo una marcada actividad de viento Zonda (efecto Foehn: hasta 70Km/h). Se trata de un viento originado en un centro de alta presión sobre el Océano Pacífico que se transforma en un viento cálido y seco, luego de cruzar la Cordillera de los Andes.

Con el fin de validar los distintos algoritmos de viento se armó un archivo para este período y se probaron las distintas posibilidades que permite el programa. Los algoritmos de viento están incluidos en las subrutinas WDMIX. Desde la fig. 5 en adelante se muestran los resultados obtenidos utilizando los distintos algoritmos.

RESULTADOS, CONCLUSIONES Y APLICACIONES FUTURAS.

Los resultados muestran un buen funcionamiento del modelo. Durante el período Junio/Julio de 1987 se midieron los datos correspondientes a los perfiles que se grafican en la fig. 4. Se observa en los mismos una disminución global de la profundidad de la poza y de la temperatura mientras que en los perfiles de concentración se observa un claro aumento de la capa convectiva superficial, dando una diferencia de 20cm entre el primero y el último perfil.

En la fig. 5 se muestra la modelización de la poza sin considerar el efecto de viento, observándose que no ajusta a los perfiles reales.

La fig. 6 corresponde a la simulación realizada con el algoritmo de Bloss y Harleman (1979), sin efecto rasante, que comparada con los perfiles reales ajusta convenientemente.

En la fig. 7 se observa los resultados de emplear el algoritmo de Bloss y Harleman, pero con efecto rasante, ajustando con menor precisión que el anterior.

Por último la fig. 8 es el resultado de aplicar el algoritmo de Hurley Octavio (1977) el que, bajo las condiciones de la poza simulada, no ajusta a los perfiles medidos.

La aplicación inmediata prevista es utilizarlo en el diseño de un sistema de generación de energía eléctrica, bajo las condiciones climáticas de la Puna. Se trata de una meseta sub-andina con una altura promedio de 3500 m sobre el nivel del mar. Posee clima desértico y frío, con temperatura promedio de 14°C en verano y por debajo de 2°C en invierno, registrándose altas velocidades de viento.

Se pretende además predecir la influencia del viento sobre el gradiente en las condiciones climática de la Puna. En esta zona los vientos tienen velocidades por encima de los rangos con que se estuvo trabajando. En base a esta predicción se deberán tomar las precauciones correspondientes del caso, a fin de evitar una disminución del gradiente que se traducirá en una disminución del rendimiento global del sistema.

REFERENCIAS.

- 1.- J. Atkinson, E. Adams, A. Salhotra and R. Harleman. User's manual for Massachusetts Institute of Technology Solar Thermal Pond Program (MITSOL). SERI, June 1985.
- 2.- G. Lesino, L. Saravia, S. Cenzano, D. Blasco, C. Cadena y R. Caso.

Poza de Sulfato de Sodio de 600 m². Construcción y mantenimiento. Actas 8^a Reunión de Trabajo de ASADES, La Pampa 1983.

D. Blasco y H. Solimo. Densidad y Viscosidad de soluciones acuosas de sulfato de sodio. INENCO 1983.

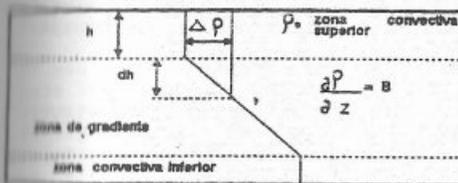
Mangussi J. Pozas solares saturadas. Tesis Doctoral UNSa. Salta 1985.

International Critical Tables .

J. Duffie and N. Beckman. Solar Energy Thermal Processes. A Wiley int. pub. 1980.

ABREVIATURAS.

área	S:	concentración
C_f, C_p, C_t : constantes de parametrización	T:	temperatura
Coefficiente de fricción	ua:	velocidad de arrastre
profundidad	uaire:	velocidad del aire
variación de altura	ue:	veloc. de propag. de la perturbación.
intervalo de tiempo	uf:	veloc. de fricción del fluido
aceleración de la gravedad	Wz:	veloc. del viento
espesor de la capa convectiva superior	z:	altura
constante de von Karman	Zc:	tensión del corte.
densidad		



Esquema de erosión de la zona de gradiente.

figura 1

figura 2.
Perfiles medidos en el período Agosto/Setiem. de 1987.

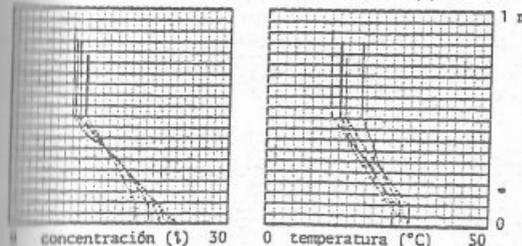
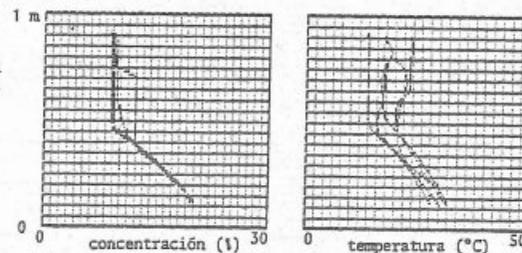
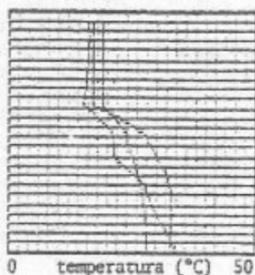
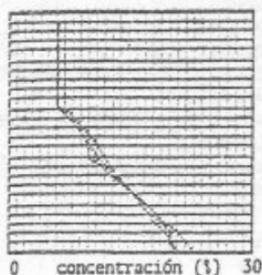
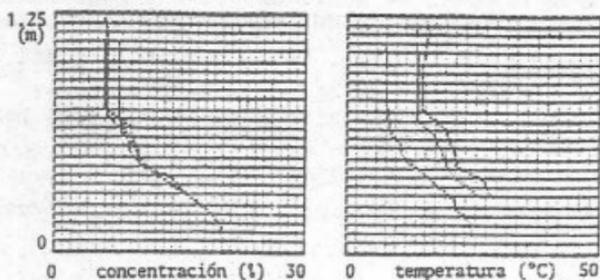


figura 3.
Perfiles simulados en el período Agosto / Setiembre de 1987.

figura 4.
Perfiles medidos en el
período Junio/Julio de
1987.



1.25 m

figura 5.
Modelización de la poza
sin considerar el efec-
to de viento.

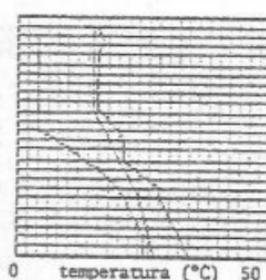
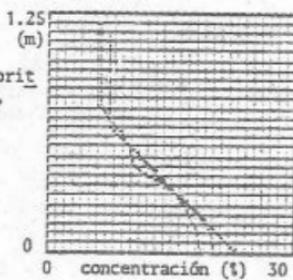
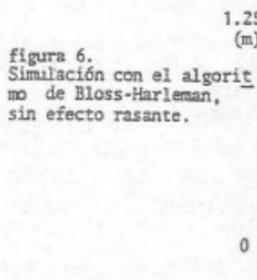
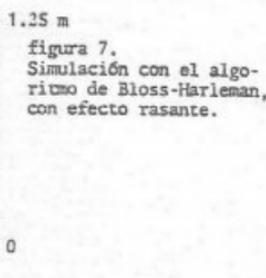
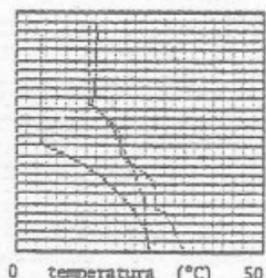
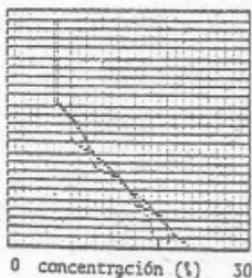


figura 6.
Simulación con el algorit-
mo de Bloss-Harleman,
sin efecto rasante.



1.25 m

figura 7.
Simulación con el algorit-
mo de Bloss-Harleman,
con efecto rasante.

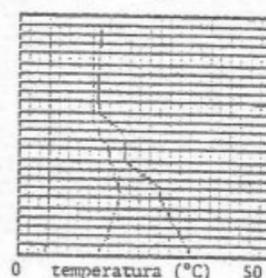
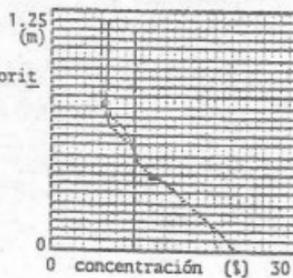
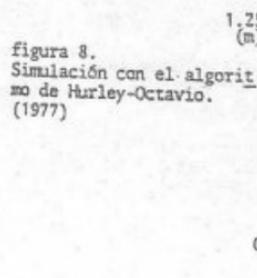


figura 8.
Simulación con el algorit-
mo de Hurley-Octavio.
(1977)