



## ANÁLISIS DE RANGO REESCALADO PARA EFICACIAS LUMINOSAS GLOBALES HORIZONTALES PARA LA CIUDAD DE SAN LUIS

L. A. Odicino; P. A. Velasco  
Laboratorio de Energía Solar.-Departamento de Física Universidad Nacional de San Luis  
Chacabuco y Pedernera 5700 San Luis  
Tel (02652) 423370 int 119. [odicino@unsl.edu.ar](mailto:odicino@unsl.edu.ar)

**RESUMEN:** De una serie de 730 datos de una serie temporal correspondientes a valores de eficacias luminosas globales horizontales de la ciudad de San Luis, se realiza un análisis de rango reescalado (R/S) para determinar la persistencia de las eficacias. Este tipo de análisis permite conocer el grado de correlación existente entre un valor particular y los subsiguientes. Se pueden manifestar así ciclos no periódicos de ocurrencia. Se determina que existe un alto grado de correlación  $H = 0.86$ . Se puede apreciar la existencia de un ciclo de los valores de eficacias que es de alrededor de 180 días y una fuerte persistencia en ciclos de 2 a 6 días. Para la determinación de otros ciclos se debe contar con una base de datos mayor que la actual.

**Palabras Claves:** Eficacias Luminosas, Persistencia, Análisis Reescalado, Iluminación

### INTRODUCCIÓN

En trabajos anteriores (Odicino, 2008, 2001) propusimos un método para conocer las eficacias luminosas globales horizontales para la ciudad de San Luis considerando todo tipo de cielos.

Básicamente, a partir del conocimiento de la curva de visión fotópica, la máxima eficiencia espectral luminosa, las medidas de los valores de radiación solar, humedad relativa ambiente, temperatura, y posición del sol, se calculan los valores del coeficiente de atenuación de la atmósfera para un dado intervalo de tiempo. Este se usa para determinar los valores de iluminación, y posteriormente las eficacias luminosas (global, difusa, o directa), pudiendo hacerse en cualquier intervalo de tiempo  $\Delta t$ . (Odicino, 2008) Se determinaron de esta manera las eficacias luminosas globales horizontales para los años 2001 y 2002 y cuyos datos son utilizados en este trabajo.

Con la medida de la radiación solar y los valores de eficacias luminosas promedios, podemos conocer los valores de iluminación en la región de interés. Estos valores de iluminación constituyen uno de los parámetros para elaboración de diseños. Estos cálculos, llevados a cabo para los años ya indicados y para la ciudad de San Luis, nos permiten contar con una serie de aproximadamente 730 datos de eficacias luminosas globales horizontales para el mediodía solar que constituyen una base de datos de una serie temporal. Este conocimiento constituye, en esencia, una fuente de recursos energético ya que su aplicación nos permite ahorrar energía convencional.

Como todo recurso energético, es necesario además de cuantificarlo, conocer la disponibilidad del mismo. Por lo tanto, queremos conocer la cantidad de días consecutivos en el que el recurso está disponible, pues esto decide los sistemas de acumulación cuando esto es posible, o bien para cuantificar el ahorro de energías convencionales con el uso del recurso propuesto, este tipo de requerimiento son generales y válidos tanto para energía eólica, solar térmica, nuclear, etc, en particular, para iluminación natural.

Es necesario conocer la cantidad de días consecutivos en el que el recurso está disponible o bien podemos preguntar que, si partimos de un día con un cierto valor de eficacia luminosa, que posibilidades existe para que el día siguiente tenga un valor similar o igual o menor, estamos preguntando cuan correlacionados están los valores de iluminación natural a lo largo de un periodo de tiempo.

Para lograr este cometido aplicamos el método de estadística conocido como Análisis de Rango Reescalado (R/S), este es un método estadístico utilizado para evaluar la ocurrencia de eventos, en particular, los pocos comunes. Es también conocido como estadística de Hurst.

### ESTADÍSTICA DE HURST

Harold Edwin Hurst era constructor de presas en los inicios del Siglo XX, por un tiempo trabajó en el proyecto de la presa del río Nilo. En el momento del diseño de la presa se le presentó un problema interesante de hidrología, determinar la capacidad de almacenamiento dependiente del flujo que entra al río proveniente de diferentes elementos como lluvias y riachuelos y un flujo controlado de salida del río utilizado primordialmente en el riego.

Con anterioridad, muchos hidrólogos habían supuesto este comportamiento como un proceso aleatorio, una suposición razonable cuando se trabaja en un ecosistema complejo. Sin embargo, a H. Hurst no le pareció que se explicara de forma convincente este comportamiento. Estudió los registros históricos (de 622 D.C. a 1469 D.C.) que mantenían los egipcios y observó que en el proceso, flujos de agua mas grandes del promedio eran seguidos por sobre flujos todavía mas grandes. Inesperadamente el proceso cambiaba a flujos menores que el promedio y eran seguidos por flujos todavía menores que los anteriores

Parecían ciclos, pero cuya longitud no era periódica. Un análisis estándar revelaba la no existencia de correlación estadísticamente significativa entre las observaciones, por lo que H. Hurst desarrollo su propia metodología.

Por otra parte Hurst estaba enterado del trabajo de Einstein sobre el movimiento browniano. Este ultimo había encontrado que la distancia que cubre una partícula errática suspendida en un fluido, se incrementa con la raíz cuadrada del número de colisiones que esta sufre, por consiguiente se puede poner en función del tiempo que esta partícula está en esa situación, luego:

$$R \propto \tau^{0.5} \quad (1)$$

Donde R = distancia y  $\tau$  = Período de tiempo.

Esta ecuación es conocida en estadística e implica fundamentalmente que si la aplicamos a una serie temporal, la dispersión de esta, se incrementa con la raíz cuadrada del tiempo.

Aplicó estos conceptos de caminos erráticos dependientes del tiempo a la serie temporal que estaba estudiando.

Para aplicar este concepto a series de tiempo que no sean movimientos brownianos, se debería considerar una ecuación en la cual los componentes de las series de tiempo no son independientes. Hurst al resolver su problema relacionado con la capacidad de la presa encontró la siguiente ecuación que generaliza la idea anterior que solo era aplicable a movimientos del tipo brownianos:

$$\left( \frac{R/S}{\tau} \right) = C(\tau/2)^H \quad (2)$$

Con R/S Rango Reescalado, H coeficiente de Hurst.

Es posible conocer el coeficiente de Hurst si se conoce (R/S) y si se presenta la ecuación de la siguiente manera:

$$\ln \left( \frac{R/S}{\tau} \right) = \ln(C) + H \ln(\tau/2) \quad (3)$$

Luego con una regresión lineal es posible conocer la pendiente que corresponde al exponente de Hurst, H. Los valores que este exponente puede tomar tienen un significado preciso.

Si  $H = 0.5$  implica un proceso independiente. Tendríamos el equivalente a un movimiento browniano puro. Es importante notar que un análisis (R/S) no requiere que el proceso subyacente se distribuya normalmente, solo independiente.

Si  $0.5 < H < 1.0$  implica series de tiempo persistentes, En el caso del movimiento browniano la partícula cubriría una distancia mayor, es decir caracterizadas por efectos de memoria de largo plazo. Teóricamente lo que suceda hoy impactaría en el futuro, como por ejemplo, si nuestro tiempo de estudio es una semana, cambios semanales de ahora están correlacionados con los cambios semanales futuros. Además se ha encontrado que las series persistentes son las mas comunes encontradas en la naturaleza.

Si  $0.0 < H < 0.5$  significa anti persistencia en la serie de tiempo. Un sistema anti persistente cubre menos distancia que uno aleatorio, en el caso de una partícula errática de un movimiento browniano. Para que ocurra debe dar marcha atrás con mayor frecuencia que en un proceso aleatorio.

Además este tipo de análisis permite observar la existencia de ciclos cuya longitud de onda es el  $\tau$  correspondiente al punto donde se manifiesta un cambio en la pendiente de la curva, es necesario para ello contar con una base de datos adecuada.

## DATOS Y METODOLOGÍA

Como dijimos anteriormente para este trabajo seleccionamos los años 2001 y 2002, contamos por lo tanto con 730 datos y realizamos la siguiente histograma que se indica en la figura 1.

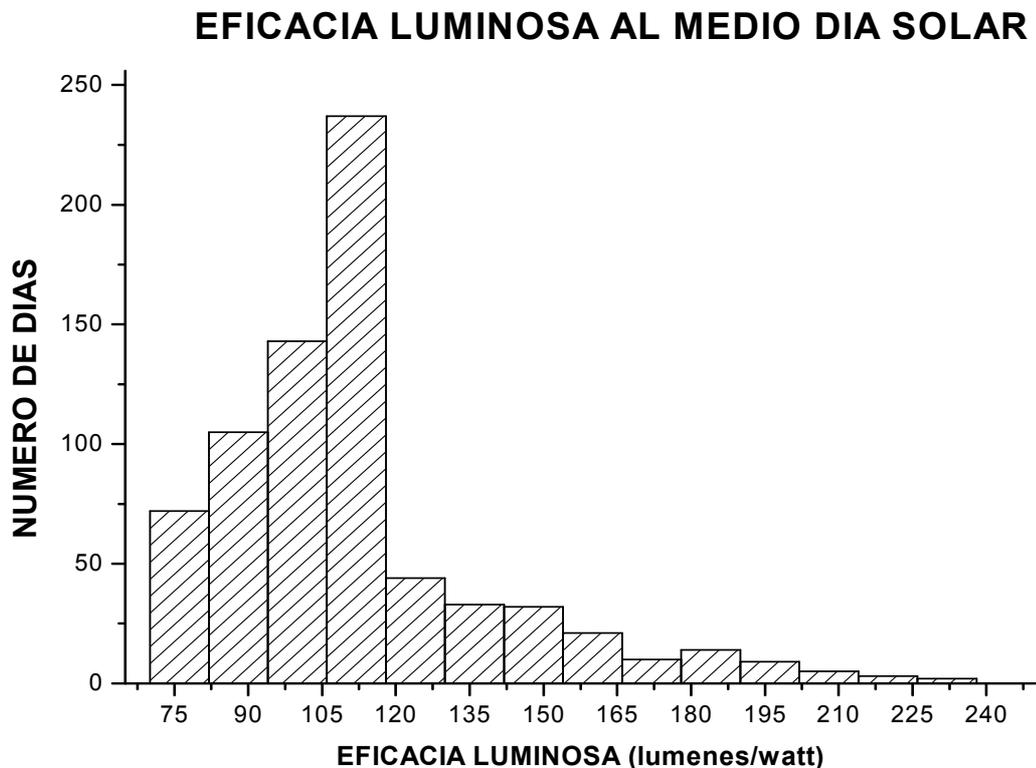


Figura 1: Histogramas de datos correspondientes a las eficacias luminosas globales horizontales. La media es de aproximadamente 108 lm/W.

Tabla 1: Análisis de estadística de Rangos Reescalado de los años 2001 y 2002 de las eficacias luminosas globales horizontales para la Ciudad de San Luis. Base de 730 datos.

$\tau$	S	R	$\ln(\tau/2)$	$\ln(R/S)$
2	21.69	8.44	0.00	-0.94
3	22.81	16.72	0.41	-0.31
4	22.97	23.91	0.69	0.04
5	23.85	32.45	0.92	0.31
6	25.05	41.75	1.10	0.51
7	24.87	48.93	1.25	0.68
14	25.45	91.26	1.95	1.28
21	26.42	128.58	2.35	1.58
28	25.72	154.53	2.64	1.79
30	26.08	161.58	2.71	1.82
60	26.19	247.45	3.40	2.25
90	27.00	380.02	3.81	2.64
120	26.71	536.22	4.09	3.00
170	27.75	754.61	4.44	3.30
180	27.25	782.60	4.50	3.36
190	29.05	927.17	4.55	3.46
200	29.04	907.36	4.61	3.44
240	27.56	1014.26	4.79	3.61
365	27.36	1343.11	5.21	3.89
730	27.51	2044.75	5.90	4.31

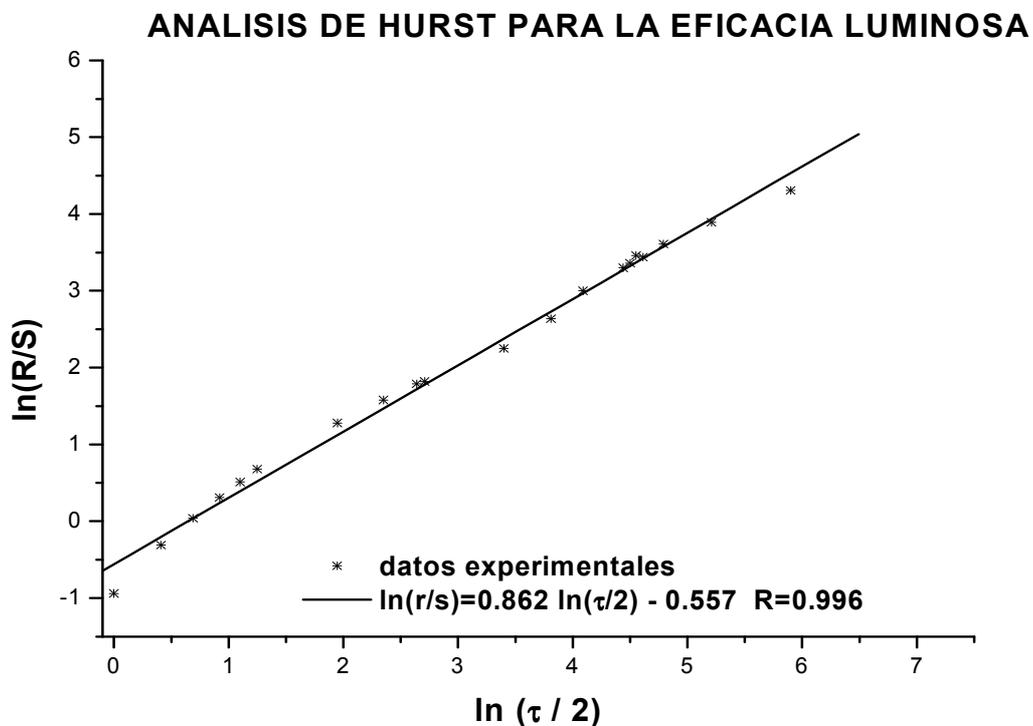
Además realizamos el cálculo para conocer el coeficiente de H, los resultados están indicados en la tabla 1

A los fines de calcular una regresión lineal es posible ver los datos de la tabla 1 en un gráfico como el que se indica en la figura 2.

En esta podemos apreciar que la pendiente de la regresión lineal corresponde a una recta con pendiente  $H = 0.86$  y con un índice de confianza  $R^2$  bastante alto de 0.996. Esto implica que existe una fuerte correlación entre los datos de un día particular y los siguientes días.

De la grafica de la figura 2, podemos apreciar que existe una estructura más fina en la disposición de los puntos. Podemos apreciar que si enfocamos nuestra atención en los primeros puntos, estos tienen una pendiente más pronunciada que los puntos siguientes. Luego podemos asumir que existe un alto grado de correlación en los valores que corresponden a periodos de tiempos cortos y este tiene una tendencia a perderse cuando los periodos de tiempos son más largos, aparece una nueva correlación para periodos más largos aún, alrededor de los 180 días, pero este comportamiento es atribuible a un período anual el cual es esperable.

Por lo tanto la grafica 2 muestra una tendencia a manifestar una estructura interna que podría indicar la existencia de ciclos más definidos y con periodos de tiempo que no son los observados anteriormente, esto implica trabajar con una base de datos más amplia que la actual,



Grafica 2: Analisis Reescalado (R/S) para las eficacias luminosas globales horizontales. La pendiente de la recta, que corresponde al coeficiente de hurst arroja un valor que permite afirmar el alto grado de correlación existente, en particular para periodos de tiempos cortos, de dos a 6 días.

## CONCLUSIONES

Existe un alto grado de correlación entre los valores de eficacia luminosa global horizontal para un día determinado y los días siguientes, esto debe ser así ya que en general la iluminación natural tiene un comportamiento mucho más regular que otros procesos más estocásticos como por ejemplo los relacionados con la energía eólica o el régimen de lluvia.

Del análisis de la grafica 2, se puede observar que existe una perturbación y que es donde esta tiende a cambiar de pendiente, esto determina la existencia de un ciclo. Esto se produce aproximadamente para valores de  $\tau$  comprendidos entre los 2 días y los 6 días y se puede apreciar una nueva perturbación en la pendiente para  $\tau$  de alrededor de 180 días. En ambos casos son indicativos de ciclos que pueden ser o no periódicos.

Es necesario extender la base de datos para precisar la existencia de ciclos

El método se especialmente adecuado para calculo de recursos energéticos con perturbaciones no cíclicas como por ejemplo la energía eólica y aplicado a otros procesos como por ejemplo el régimen de lluvia o la energía hídrica, para la cual fue explícitamente aplicado.

## **BIBLIOGRAFIA**

Odicino, Luis Antonio. Estudio de Iluminación Natural Cenital de Cielos Claros para la Ciudad de San Luis. Tesis de Maestría. Publicación interna. Universidad Nacional de Salta . 2008.

Odicino L. A.; Fasulo A. ; Lesino G. Eficacias Luminosas Globales a Partir de Valores de Radiación Solar para la Ciudad de San Luis. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 5 2001 ISSN 0329-5184

Sierra Juarez, Guillermo. Proceso Hurst y movimiento Browniano Fraccional el Mercado Fractal: Valuación y Aplicaciones a los Derivados y Finanzas. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. 2007

## **ABSTRACT**

Of a series of 730 data of a temporal series corresponding to values of global horizontal luminous efficacy. A reescalado rank analysis (R/S) is realized to determine the persistence of the luminous efficacy in the city of San Luis. This type of analysis allows to know the degree existing correlation between a particular value and the subsequent ones. One determines that exist a high degree of correlation  $H = 0.86$ . It is possible to be appreciated the existence of a cycle of the values of effectivenesses that is of around 180 days and one strong persistence in cycles of 2 to 6 days. For the determination of other cycles one is due to count on a data base greater than the present.

**Keyword:** luminous efficacy. Persistence. Reescalado Analysis. daylighting