

## **COMPARACIÓN DE DATOS ESPORÁDICOS DE IRRADIANCIA MEDIDOS SIMULTÁNEAMENTE EN DOS LOCALIDADES DE LA PROVINCIA DE SALTA.**

**G. A. Salazar<sup>1</sup>, L. R. Saravia<sup>1,2</sup>, G. G. Romero<sup>1</sup>**

Facultad de Ciencias Exactas<sup>1</sup> – INENCO<sup>2</sup>

Universidad Nacional de Salta

Avda. Bolivia 5150 - CP A4408FVY – Salta - Argentina

e-mail: [salazarg@unsa.edu.ar](mailto:salazarg@unsa.edu.ar)

**A. Palacios**

El Rosal (Dpto. de Rosario de Lerma)

Salta - Argentina

**RESUMEN:** En este trabajo se compararon irradiancias esporádicas, registradas en dos localidades de la provincia de Salta durante el último semestre de 2006. Las localidades son Salta Capital, situada a aproximadamente 1290 metros s.n.m y El Rosal, situado a aproximadamente 3350 metros s.n.m...La diferencia en altura entre estas dos localidades es de 2060 metros y están distantes 51 km. uno del otro. Se compararon los valores de irradiancia que estaban en condiciones similares de claridad de cielo, para cielo claro, homogeneizando los valores de  $k_t$  a través de valores máximos de los mismos. Se encontró que los valores de irradiancia en altura son mayores que en el sitio a menor altura, correlacionándose a través de una ecuación lineal tal que su pendiente es 1.1151 y la ordenada al origen es 44.47 W/m<sup>2</sup>, donde  $x$  es el valor de irradiancia sensado en Salta Capital, e  $y$  es el valor que se tendría en El Rosal. Se compararon los valores medidos de irradiancia con otros calculados a través del modelo de Hottel, encontrándose buenos resultados. Se realizó un exhaustivo análisis de errores.

**Palabras claves:** irradiancia, medidas en altura, índice de claridad, análisis de error.

### **INTRODUCCIÓN**

En el estudio de la radiación solar sobre superficies horizontales generalmente se realizan contrastes o análisis de valores provenientes de grandes bases de datos, con registros horarios o diarios de valores de radiación solar global, directa y/o difusa. Con estos se obtienen promedios mensuales que se comparan con otros datos que se consideren relevantes, generalmente datos climatológicos, para establecer correlaciones estadísticas con las que se establecen características o particularidades de la radiación en un lugar o zona.

El estudio de las características de la radiación solar en sitios de altura se realiza de la misma manera, con el objeto de obtener una relación que permita calcular o estimar cómo varía la radiación solar al aumentar la altitud. A partir de conocimientos básicos sobre física atmosférica, se sabe que a medida que subimos la atmósfera se hace más tenue, por lo que el valor de la radiación debería ser mayor que en sitios menos altos (Iqbal, 1983) para cielo claro. También se sabe que la fracción difusa debe disminuir precisamente por la disminución de la densidad atmosférica.

Nuestro país posee zonas geográficas que se encuentran a gran altura y donde el recurso solar es importante, pero no existen grandes bases de datos de radiación de esos sitios. Se han realizado muchos trabajos tratando de determinar las variaciones que experimenta el valor de la radiación solar cuando aumenta la altura, con el objeto de conocer las características del recurso. (R Righini, H. Grossi Gallegos y C. Raichijk, 2004).

El estudio de la radiación en sitios de altura debe realizarse teniendo en cuenta diversos factores; principalmente las características atmosféricas y climatológicas reinantes en los lugares de estudio. Cualquier correlación o modelo para sitios de altura que se desee determinar, debe contemplar los efectos de la nubosidad, la polución y/u otros factores que afecten a la radiación solar incidente. (Iqbal, 1983)

En este trabajo comparamos valores esporádicos de irradiancia obtenidos en un sitio de altura contra valores en otro sitio más abajo del primero. El primero es el paraje conocido como El Rosal (lat.-24.4, Long.-65.7, Altura 3350 metros) y el otro es la ciudad capital de Salta (lat.-24.7, Long.-65.4 Altura 1290 metros). La distancia (lineal) que separa estas dos localidades es de 57 Km... La diferencia en altitud es de 2060 metros.

Los datos de irradiancia que se disponen en este trabajo no tienen peso estadístico ya que son de un solo año, de solo 26 días, con pocos valores dentro de cada día. Sin embargo, al ser simultáneos permiten observar características relacionadas con la incidencia de la altura en los valores de irradiancia.

## DATOS REGISTRADOS Y METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

En El Rosal se sensó irradiancia con un piranómetro fotovoltaico LICOR LI250 conectado a un multímetro digital, donde se leía la diferencia de voltaje que entregaba el sensor. Dichos valores eran anotados con cierta periodicidad por un encargado. El piranómetro fotovoltaico fue calibrado varias veces contra un piranómetro K&Z CM21. Los datos de la ciudad de Salta fueron registrado por un piranómetro K&Z CM3 ubicado en la Universidad Nacional de Salta.

Para determinar el error relativo porcentual en las mediciones realizadas con el LI250, primero se calculó una recta de calibración, a partir de los valores, en milivoltios, que entregaba el sensor versus los valores de irradiancia que se obtenían del CM21, para mediciones instantáneas.

Con la recta de calibración se calcularon los valores de irradiancia del LI250 y se los comparó con los valores de irradiancia del CM21. Luego se determinó el error relativo porcentual absoluto de las mediciones de irradiancia del LI250 con la siguiente ecuación:

$$E.R. \%_{abs.} = (1 / N) \Sigma \text{Valor Absoluto } [((G_{Ri} - G_{Si}) / G_{Si}) * 100]$$

donde  $G_{Ri}$  es la  $i$ -ésima irradiancia medida con el LI250 (usando la ecuación de la recta de calibración),  $G_{Si}$  es la  $i$ -ésima irradiancia medida por el CM21 y  $N$  es la cantidad de mediciones realizadas. Se calculó un 1.9 % de E.R.  $\%_{abs}$  en las medidas respecto de las mediciones realizadas con el CM21. Para encontrar el error del CM3 se utilizó la misma fórmula. Se encontró un E.R.  $\%_{abs}$  del 0.8 % respecto a las medidas del CM21. El piranómetro CM21 tiene un error de aproximadamente 3 %, declarado por el fabricante, para medidas diarias y horarias. Supusimos este error para las medidas instantáneas.

De la localidad de El Rosal se disponen de datos de los meses de agosto (días 28,29 y 31), septiembre (días 1,5,6,21,22,25 y 26), octubre (días 2,4,5,10,11,12,13,18,23,24,25), noviembre (días 1,2,21,24) y diciembre (día 5). De la mayoría de los días se dispone de valores de mediodía (hora oficial) y/o cercanos a él. Se disponen de datos de irradiancia medidos en la ciudad de Salta para esos días a la misma hora oficial. Toda esta información se aprecia en la Tabla 1.

Día	hora oficial	El Rosal (W/m <sup>2</sup> )	R. Ext. (W/m <sup>2</sup> )	K <sub>t</sub>	Salta (W/m <sup>2</sup> )	R. Ext. (W/m <sup>2</sup> )	K <sub>t</sub>
28/08/2006	09:00	187	340	0.55	55	344	0.16
	10:00	486	618	0.78	122	620	0.20
	11:00	643	847	0.75	149	847	0.18
	12:00	764	1012	0.75	209	1011	0.21
	13:00	825	1102	0.74	290	1100	0.26
29/08/2006	08:30	93	194	0.48	49	199	0.25
	09:15	279	418	0.66	276	422	0.65
	09:30	347	489	0.71	321	492	0.65
	11:00	643	852	0.75	628	853	0.74
	12:00	771	1018	0.75	779	1017	0.77
	13:00	834	1108	0.75	875	1105	0.79
31/08/2006	09:30	232	500	0.46	337	503	0.67
	10:00	455	634	0.71	442	636	0.69
	11:00	648	863	0.75	628	864	0.73
	12:00	778	1029	0.75	764	1028	0.74
	13:00	838	1119	0.74	842	1116	0.75
	17:00	405	685	0.59	433	677	0.64
01/09/2006	10:15	517	702	0.74	503	704	0.71
	12:00	789	1035	0.76	783	1034	0.76
05/09/2006	09:00	259	382	0.68	251	386	0.65
	10:00	484	662	0.73	479	664	0.72
	11:00	690	892	0.77	672	893	0.75
	12:00	814	1057	0.77	820	1056	0.78
	18:30	41	281	0.15	106	274	0.39
06/09/2006	12:00	816	1063	0.77	808	1062	0.76
21/09/2006	09:00	327	474	0.69	299	479	0.62
	12:00	888	1146	0.78	879	1145	0.77
	13:00	987	1230	0.80	938	1228	0.76
22/09/2006	09:00	349	480	0.73	325	485	0.67
	12:00	919	1151	0.80	888	1151	0.77
25/09/2006	12:00	829	1166	0.71	882	1166	0.76
	17:01	455	769	0.59	481	762	0.63
26/09/2006	09:00	363	503	0.72	323	508	0.64
	12:00	928	1171	0.79	874	1171	0.75
02/10/2006	07:59	116	225	0.52	118	231	0.51
	09:02	403	537	0.75	338	542	0.62
	11:32	917	1130	0.81	471	1131	0.42
	12:01	1014	1200	0.85	567	1200	0.47
	18:48	39	270	0.15	55	264	0.21
04/10/2006	07:59	138	236	0.59	136	243	0.56
	10:04	650	826	0.79	611	830	0.74
	11:00	829	1052	0.79	794	1054	0.75
	13:00	1094	1288	0.85	982	1286	0.76
	17:30	428	656	0.65	438	649	0.67
05/10/2006	09:00	389	554	0.70	54	559	0.10
	10:02	645	832	0.78	100	835	0.12
	11:00	836	1057	0.79	206	1059	0.19
	12:00	928	1214	0.77	309	1214	0.25
	13:00	1070	1292	0.83	538	1290	0.42
10/10/2006	12:00	1092	1234	0.89	791	1235	0.64
	13:00	1238	1310	0.95	987	1309	0.75
11/10/2006	10:01	695	861	0.81	597	865	0.69

	11:00	861	1084	0.79	645	1086	0.59
	12:00	978	1238	0.79	420	1239	0.34
	13:00	1054	1314	0.80	620	1313	0.47
12/10/2006	08:00	178	208	0.86	38	287	0.13
	09:06	466	590	0.79	101	596	0.17
	10:01	679	866	0.78	278	870	0.32
	12:00	868	1242	0.70	865	1243	0.70
13/10/2006	09:00	493	595	0.83	401	601	0.67
	12:00	1054	1246	0.85	908	1247	0.73
18/10/2006	11:00	809	1112	0.73	890	1115	0.80
23/10/2006	09:00	504	640	0.79	419	646	0.65
	10:15	791	972	0.81	706	976	0.72
	11:00	933	1130	0.83	841	1132	0.74
	12:00	1056	1279	0.83	874	1280	0.68
24/10/2006	10:01	737	915	0.81	622	920	0.68
	11:01	922	1133	0.81	859	1136	0.76
	12:00	1034	1282	0.81	977	1283	0.76
	13:15	1061	1357	0.78	1031	1355	0.76
25/10/2006	07:44	134	262	0.51	46	109	0.42
	10:21	827	979	0.85	701	983	0.71
	11:00	933	1136	0.82	830	1139	0.73
	12:00	1054	1285	0.82	948	1286	0.74
	13:00	1032	1355	0.76	1001	1354	0.74
01/11/2006	10:00	812	941	0.86	391	945	0.41
	12:00	1058	1302	0.81	1012	1303	0.78
02/11/2006	07:33	107	213	0.50	130	221	0.59
	13:10	1220	1371	0.89	504	1374	0.37
	18:05	277	568	0.49	108	562	0.19
21/11/2006	10:05	728	977	0.75	707	983	0.72
	11:00	888	1187	0.75	875	1191	0.73
	12:00	993	1330	0.75	991	1331	0.74
	13:00	1045	1395	0.75	1048	1395	0.75
	15:15	558	1248	0.45	925	1245	0.74
24/11/2006	07:15	66	188	0.35	93	197	0.47
	10:04	737	980	0.75	700	985	0.71
	11:00	886	1189	0.75	870	1193	0.73
05/12/2006	07:14	134	196	0.68	29	205	0.14
	10:10	753	1041	0.72	598	1046	0.57
	12:00	951	1360	0.70	778	1338	0.58
			máximo	0.95		Máximo	0.80
			mínimo	0.15		Mínimo	0.10

Tabla 1. Valores de irradiancia registrados en El Rosal y en Salta.

Entre el 28 de agosto y el 5 de diciembre existen 100 días, de los cuales de 26 se tienen datos. En esos 26 días se registraron 91 pares de valores de irradiancia. Estos valores de irradiancia son simultáneos para ambas localidades. La información que podemos obtener de estos datos es solo indicativa de las características que esperamos encontrar al comparar estos valores, es decir, que la radiación en altura es mayor que la registrada más cerca del nivel del mar. Sin embargo debe tenerse cuidado de comparar datos que se encuentren en condiciones climáticas similares. Si no tenemos esto en cuenta podemos obtener resultados erróneos. Por ejemplo, si el lugar de altura tuviera una alta tasa de días nublados respecto del lugar más bajo, podría llegar a inferir que la radiación solar medida en altura es menor que la sensada a más baja altura.

Para ello, utilizaremos el índice de claridad como el parámetro que indicará los valores de irradiancia que son comparables. El índice de claridad  $k_t$  se define como la razón entre la irradiancia sensada en tierra y la irradiancia extraterrestre. Este índice, que varía entre 0 y 1, nos indica cuán clara es la atmósfera, siendo sensible a la presencia de nubosidad y polución atmosférica. También se interpreta como un índice de turbidez, donde el valor de  $k_t$  (multiplicado por 100) es el porcentaje de radiación que dejó pasar la atmósfera.

A partir del número de día del año, la latitud, la longitud y la hora oficial se determinó el valor de la irradiancia extraterrestre sobre superficie horizontal. Con ello se calculó la fracción de esta última que llegaba a cada sitio a la hora oficial en que se tomaron los valores de irradiancia. A continuación se muestran las ecuaciones utilizadas para realizar este cálculo (H. Grossi Gallegos, 2004):

Ángulo diario	$\Gamma = (2\pi / 365) (d - 1)$
Declinación	$\delta = 24.45^\circ \text{ seno } ((2\pi / 365)(d - 81))$
Ecuación del Tiempo	$E_t (\text{minutos}) = 229.18 (0.000075 + 0.001868 \text{ coseno } (\Gamma) - 0.032077 \text{ seno } (\Gamma) - 0.014615 \text{ coseno } (2\Gamma) - 0.04089 \text{ seno } (2\Gamma))$
Hora solar	$TLA = TLE - 1 + 4^{\text{min}^\circ} (L_s - L_e) + E_t$
Angulo horario	$\omega = \pm 15^{\circ/\text{h}} (12 - TLA)$
Angulo Cenital	$\theta_z = \text{arco coseno } (\text{seno } \delta \text{ seno } \phi + \text{cos } \delta \text{ cos } \phi \text{ cos } \omega)$
Irradiancia extraterrestre (sup. horizontal)	$I_{on} = I_{cs} [1 + 0.033 \text{ coseno } (360 (d - 2)/365)] \text{ coseno } \theta_z$

donde

$d$  es el día del año, con  $d=1$  para 1 de enero.  
 TLA = Tiempo Local Aparente (hora solar)  
 TLE = Tiempo Local Estándar (hora oficial)  
 $L_s$  = Longitud oficial.  
 $L_e$  = Longitud del observador.  
 $\phi$  = Latitud del observador  
 $I_{cs}$  = constante solar ( $1367 \text{ W/m}^2$ ).

Para comparar los valores de irradiancia se determinará el máximo valor de  $k_t$  instantáneo para cada localidad. De esta manera se tiene un rango dentro del cual es representativo cada valor de  $k_t$  de cada localidad.

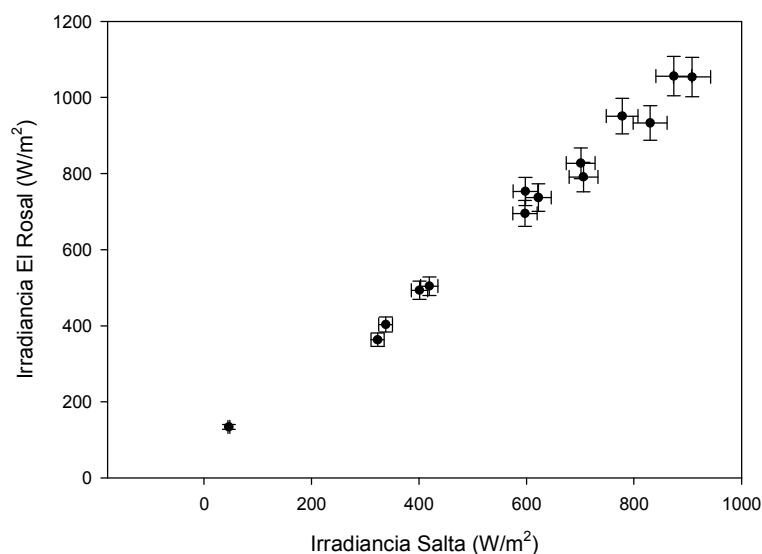
Vemos que existen diferencias entre las máximas transmitancias atmosféricas en El Rosal y Salta. La máxima de El Rosal es mayor que la máxima de Salta, lo que era de esperarse. Compararemos ahora los datos de mayor transmitancia en Salta con los de mayor transmitancia en El Rosal. Para ello seguiremos la siguiente metodología: consideramos ahora a cada valor máximo como el 100% del  $k_t$  para esa localidad. En otras palabras, decimos que ese valor es lo “más clara” que la atmósfera estuvo para la localidad, dentro la serie de datos que se disponen. Transformando cada valor de  $k_t$  de cada localidad, según este método, obtenemos porcentajes que representan valores, que ahora tienen un “peso” dentro de cada serie de valores. Esta homogenización de datos se hace para comparar los datos de manera de considerar la calidad de cielo y la diferencia en altura.

Aquellos pares de datos que tengan porcentajes de  $k_t$  similares ( $\pm 5 \%$ ) se considerarán como registrados bajo las mismas condiciones climáticas y de atmósfera, y son útiles para comparar valores de irradiancia. Encontramos 14 pares de datos cuyos porcentajes difieren en menos del 5 % (Tabla 2).

Salta ( $\text{W/m}^2$ )	El Rosal ( $\text{W/m}^2$ )
46	134
323	363
338	403
401	493
419	504
597	695
622	737
598	753
706	791
701	827
830	933
778	951
908	1054
874	1056

Tabla 2. Pares de valores registrados bajo las mismas condiciones climáticas y de atmósfera

Con los valores de irradiancia de los 14 pares de datos construimos una gráfica, donde en las abscisas se encuentran los valores de irradiancia medidos en Salta y en el eje de las ordenadas los valores de irradiancia medidos en El Rosal. La gráfica 1 muestra los valores de irradiancia para cada par de datos que cumplen la premisa de estar tomados bajo condiciones similares de claridad de cielo. En esta gráfica también están los correspondientes errores (promedios) de medición directa, donde se suma el error de cada sensor con el del piranómetro patrón: 4.9 % para las mediciones realizadas en El Rosal y 3.8 % para las realizadas en Salta.



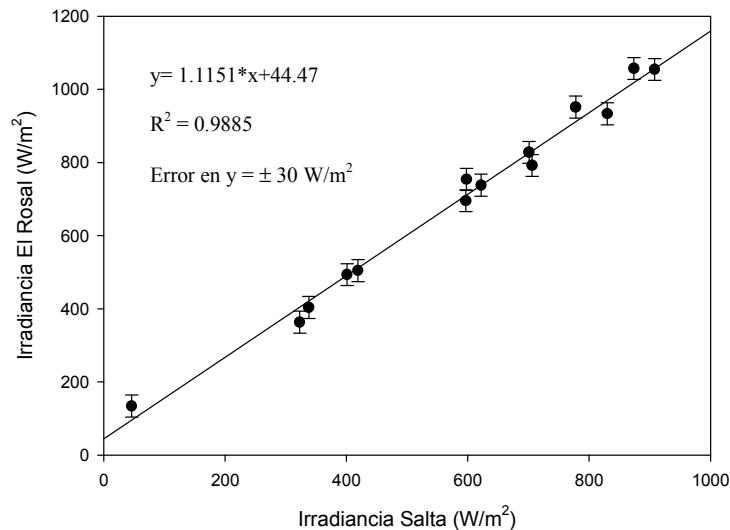
Gráfica 1: Irradiancias para Salta y El Rosal, tomadas bajo condiciones similares de claridad de cielo.

Los datos se correlacionan mejor entre sí mediante una recta. La ecuación de la recta de regresión lineal es  $y = 1.1151 \cdot x + 44.47$  con  $R^2 = 0.9885$ . Vemos que la pendiente es casi 1, por lo que podemos sospechar que existe una relación entre altura de las localidades y los valores de radiación sensados en las dos localidades, bajo condiciones similares de atmósfera.

Usando la ecuación de regresión lineal podemos estimar los valores de irradiancia esperados, para El Rosal, a partir de los valores medidos en Salta. Utilizando la ecuación (J. Taylor, 1997)

$$\sigma_{\text{Rosal}} = [(1/N-2) \Sigma(G_{\text{Ri}} - 1.1151 G_{\text{Si}} - 44.47)^2]^{1/2}$$

donde  $G_{\text{Ri}}$  es la irradiancia medida en El Rosal y  $G_{\text{Si}}$  es la irradiancia medida en Salta, se calcula el error en las irradiancias estimadas para El Rosal. Resulta ser de  $\pm 30 \text{ W/m}^2$ . En la grafica 2 se muestran los puntos con el error, para las medidas realizadas en El Rosal, obtenidas mediante la recta de regresión lineal.



Gráfica 2: Error para las mediciones de El Rosal obtenidas a través de la recta de regresión lineal.

Observamos que, bajo condiciones similares de claridad atmosférica, los valores de irradiancia en El Rosal tienden a ser mayores que los registrados simultáneamente en Salta. Sin embargo, dado la poca cantidad de datos, no podemos inferir nada que tenga peso estadístico.

### INCERTIDUMBRE DE LOS PARAMETROS a Y b DE LA RECTA DE REGRESIÓN.

Se calcularon las incertidumbres de los parámetros a y b utilizando las siguientes fórmulas estadísticas (ver Referencias)

$$\sigma_a = [(a^2/(N-2)).((1/R^2)-1)]^{1/2}$$

$$\sigma_b = \sigma_a * [ <G_S^2 > ]^{1/2}$$

donde  $<G_S^2 > = (\Sigma G_{S_i}^2)/N$   
 $N$  = cantidad de datos  
 $G_{S_i}$  = valores medidos en Salta.  
 $R^2$  = coeficiente de correlación

A partir de estas ecuaciones se calculan las siguientes incertidumbres para los valores de a y b (Tabla 3):

	Incerteza
Coficiente a	$\pm 0.03$
Coficiente b	$\pm 21 \text{ W/m}^2$

Tabla 3. Incertidumbre de los coeficientes de la recta de regresión.

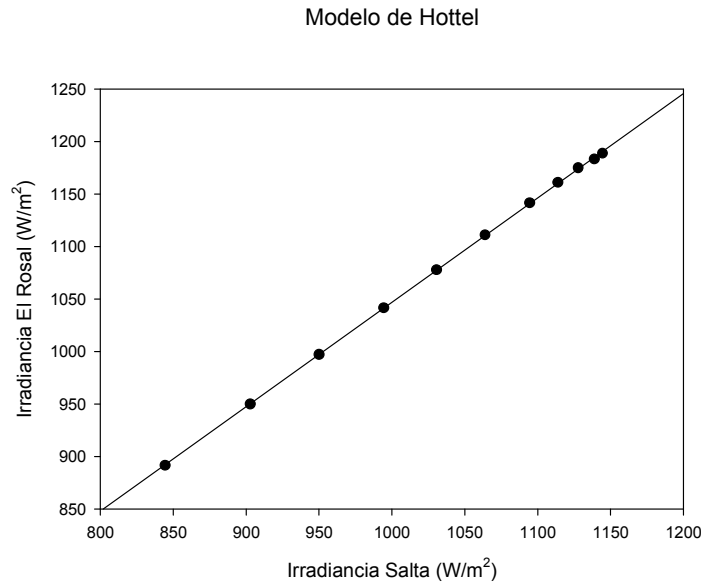
El error o incerteza calculado tanto para a como para b solo representa eso: el error en la determinación de la ordenada al origen y de la pendiente de la recta que mejor ajusta con los valores experimentales.

### COMPARACIÓN CON SIMULACIONES COMPUTACIONALES

Dado que los datos de los que se disponen son pocos y a pesar de obtener incertezas aceptables, es conveniente comparar los datos medidos con algún modelo, con el objeto de establecer que los datos de los que se disponen son consistentes. Hacemos

esto ya que intuimos que existe una relación lineal en las irradiancias medidas a diferente altura para distintos sitios, bajo condiciones de cielo claro.

Utilizando el programa GEOSOL (A. Hernández, 2003), seleccionamos el modelo de Hottel (Duffie y Beckman, 1991), que es un modelo para día claro. Calculamos el valor de irradiancia al mediodía solar para días de agosto (día 20), septiembre (días 1, 11, 21 y 30), octubre (días 10, 21 y 31) y noviembre (días 10, 21 y 30). Esto se hace tanto para Salta como para El Rosal. Con esos valores realizamos la Grafica 3.



Grafica 3. Valores de irradiancias para Salta Capital y para El Rosal, usando el modelo de Hottel, simuladas con Geosol.

La recta de regresión lineal de los pares de valores de irradiancia calculados con GEOSOL, usando el modelo de Hottel, tiene la ecuación  $y = 0.9944 \cdot x + 52.48$ , con  $R^2 = 0.9999$ .

Vemos entonces que los valores medidos son comparables a los valores simulados, por lo que podemos decir que los datos medidos son consistentes e indican una tendencia real. Recordemos que los valores de irradiancia medidos en El Rosal no estaban medidos todos en el mediodía solar, que es el caso de los estimados con Hottel.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### a) Análisis de los errores:

El análisis de error de los 14 pares de valor de radiación resulta importante para entender cabalmente qué se está analizando. Es importante destacar que los errores instrumentales son siempre los más importantes. El error en las medidas en El Rosal, obtenidas a través de la recta de regresión lineal ( $\pm 30 \text{ W/m}^2$ ) es un estimador, ya que se calcula a partir de los valores estimados para la irradiancia de El Rosal calculados con la ecuación de la recta de regresión.

Cabe destacar que este error, el de la regresión lineal, es muy apreciable sobre todo en las medidas de irradiancias menores a  $100 \text{ W/m}^2$ . Sin embargo no debemos olvidar que es un estimador surgido de un promedio.

La construcción de la recta de regresión lineal, basada en el método de cuadrados mínimos, requiere que exista una relación lineal entre los datos del eje de las abscisas con los datos del eje de las ordenadas. A partir de esa premisa se explica de manera contundente el significado tanto de la pendiente y la ordenada al origen como de sus errores o incerteza (J. Taylor, 1997). Suponemos que dicha relación existe entre los datos experimentales de este trabajo.

### b) Análisis de las mediciones:

El método propuesto para comparar los valores registrados de irradiancia en Salta Capital y en El Rosal, que difieren en altura en 2060 metros, parece indicar que existe una relación entre la altura y los valores de irradiancia medidos bajo condiciones similares de cielo. La mejor correlación entre los datos ( $R^2 = 0.9885$ ) ocurre para una recta, por lo que es lógico suponer que la relación, que vincula las irradiancias a distintas alturas, es lineal.

Esta sospecha surge de la ecuación de la recta de regresión, cuya pendiente difiere de 1 en un 11%. Es decir, la variación más destacada que existe, en la relación lineal, está en la ordenada al origen. Podríamos interpretar que el efecto de variar la altura produce, sobre los valores de irradiancia, un efecto principal de “desplazamiento” de su valor: la diferencia entre los valores de irradiancia entre Salta y El Rosal, bajo condiciones similares de transmitancia de atmósfera, es de  $44 \text{ W/m}^2$ . Pero el error relativo es importante ( $\pm 30 \text{ W/m}^2$ ) y esto se debe, muy posiblemente, a la poca cantidad de datos analizada. Sin embargo

queda claro que existe una diferencia en los valores de irradiancia medidos a distinta altura, siendo mayor la irradiancia a mayor altura.

#### *c) Aportes*

Este trabajo aporta, entonces, nueva información sobre valores de radiación solar medidos en altura. Además, inicia y/o continua, una tarea exploratoria en la búsqueda de una expresión que brinde la posibilidad de estimar, con el menor error posible, valores de radiación solar para sitios en altura. Dicha expresión sería, en principio, solo de aplicación local.

### CONCLUSIONES

En este trabajo se compararon valores esporádicos de irradiancia medidos simultáneamente en dos localidades de la provincia de Salta, cuyas alturas al nivel del mar difieren en 2060 metros.

Se comparan los pares de datos de irradiancia que estén en condiciones similares de claridad de cielo, para cielo claro, homogeneizando los valores de  $k_t$  a través de valores máximos. Se encuentra 14 pares de valores de irradiancia que son comparables entre sí. Los valores de irradiancia en altura presentan una marcada tendencia a ser mayores que en el sitio a menor altura. La diferencia entre los valores de irradiancia es prácticamente una constante ( $44 \text{ W/m}^2$ ) pero el error calculado es apreciable ( $\pm 30 \text{ W/m}^2$ ). Se sospecha que este error se debe a la poca cantidad de datos disponible.

La comparación con valores de irradiancia obtenidos mediante el modelo de Hottel indican consistencia en los valores de irradiancia medidos.

### REFERENCIAS

Iqbal M. (1983) An Introduction to Solar Radiation. Academic Press Canada.

R. Righini, H. Grossi Gallegos y C. Raichijk (2004). Trazado de nuevas cartas de irradiación global para Argentina a partir de horas de brillo solar (heliofanía). Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 14 pp 23-31.

A. Hernández (2003) Geosol: una herramienta computacional para el cálculo de coordenadas solares y la estimación de irradiación solar horaria. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol.7 N° 2.

H. Grossi Gallegos (2004) Notas sobre Radiación Solar. Universidad Nacional de Lujan – Departamentos de Ciencias Básicas.

J. Duffie y W. Beckman (1991) Solar Engineering of the Thermal Processes. John Wiley & Sons .pp 73-74.

J. Taylor (1997) An introduction to error analysis. The study of uncertainties in physical measurements. 2ª Edición. University Science Books.

<http://www.cienciaredcreativa.org/guias/regresion.pdf>.

**ABSTRACT:** Sporadic irradiances, registered in two different sites at the province of Salta (Argentina) over the last semester of the year 2006, are compared. The sites are Salta City, sited at 1290 meters o.s.l., and El Rosal, sited at 3350 meters o.s.l.. The difference in height between these two localities is 2060 meters, and they are distant 51 km one of the other. The values of irradiance are compared for similar sky clarity (clearness index) conditions, processing the values of  $k_t$  through maximum values. It found that the values of irradiance at high altitudes are greater than the values for the site with smaller height, with the best data correlation obtained through a linear equation, so that the slope is 1,1151 and the Y intercept value is  $44,47 \text{ W/m}^2$ , where x is the value of irradiance taken in Salta City and y is the value that would be measured in El Rosal. The measured values of irradiance are compared with others obtained through the model of Hottel, being good results. An exhaustive analysis of errors was made

**Keywords:** irradiance, high altitudes, clearness index, error analysis.