

ESTIMACIÓN DE COEFICIENTE DE TURBIDEZ EN EL ROSAL SALTA, ARGENTINA A TRAVÉS DE MODELO DE SIMULACIÓN SMART 2.9.

ESTIMATION OF TURBIDITY COEFFICIENT IN ROSAL SALTA, ARGENTINA THROUGH SMART SIMULATION MODEL 2.9.

Cristian Sarabia-Cruz^{1*}, Flavio Reyna-Soria¹, José González-Gomez¹.

¹Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta, Provincia de Salta – Argentina

Recibido (Received): 21/02/2020 Aceptado (Accepted): 05/03/2020

RESUMEN

En la actualidad, el uso de la energía solar está en auge a nivel mundial, y en Argentina, a través del programa RENOVAR. Por lo tanto, se requiere un análisis del recurso a los efectos de una posible instalación de una Planta Solar Fotovoltaica. Cuando los rayos solares alcanzan a la superficie terrestre se encuentran ciertos obstáculos que tienden a disminuir la energía solar incidente. En la atmósfera, se encuentran gases y aerosoles que ocasionan la atenuación solar. Existen técnicas para determinar el recurso solar disponible de un sitio, sin embargo, a veces no es aplicable por falta de equipos de medición adecuados, ya sea por razones económicas, de traslado, etc. En este trabajo se muestra que conociendo magnitudes medidas directamente, relacionadas con la energía solar como la Irradiancia Directa Normal (DNI), y haciendo uso de un modelo de simulación como el SMART 2.9 se consigue estimar el coeficiente de turbidez de Ångström (β), que indica el espesor óptico de los aerosoles y por consiguiente, la disminución de la potencia solar. Para conseguir el objetivo propuesto se decidió trabajar sobre un sitio de la Argentina, llamado El Rosal, ubicado en el municipio de Campo Quijano y en el paraje que lleva por nombre “Quebrada del Toro” y se encuentra ubicado a 3355 msnm. Se eligió este lugar, no solo por ser un sitio de altura en la provincia de Salta, sino también por el hecho de disponer de datos de DNI medidos con un pirheliómetro para tres épocas diferentes.

Palabras Clave: Turbidez, β de Ångström, El Rosal Salta.

ABSTRACT

At present, the use of solar energy applications is booming worldwide, particularly in Argentina, through the RENOVAR program. Therefore, an analysis of the solar resource is required for the purposes of a possible installation of a Photovoltaic Solar Plant. When the sun's rays reach the surface of the earth, certain obstacles are found in its path that tend to decrease the incident solar energy. In the atmosphere, there are gases and aerosols, such as atmospheric dust (volcanic ash, very fine earth, soot, etc ...) that cause solar attenuation. There are techniques to determine the available solar resource of a site, however, sometimes it is not applicable due to lack of adequate measuring equipment, whether for economic reasons, transfer, etc. Therefore, in this paper we want to show that knowing certain measured quantities directly and that are related to solar energy such as Normal Direct Irradiance (DNI), and using a simulation model such as SMART 2.9, the coefficient can be estimated of turbidity of Ångström, β , what will be the indicator of the optical thickness of the aerosols and consequently of the decrease of the solar power. To achieve the objective proposed in the previous paragraph, it was decided to work on a place in Argentina, called El Rosal, located in the municipality of Campo Quijano and in the place called “Quebrada del Toro”, which descends from the eastern face from the Puna de Atacama. It is located 3355 meters above sea level. The choice of this place was made, not only because it is a site of height in the province of Salta, but also because of the availability of DNI data measured with a pyrometer for three different times.

Keywords: Turbidity, β of Ångström, El Rosal Salta.

* Corresponding author.:

E-mail: sarabiacristian3@gmail.com

1. INTRODUCCION

Cuando se requiere el análisis de la potencialidad de un lugar a los efectos de posible instalación de una Planta Solar Fotovoltaica o Térmica, es fundamental conocer el dato de recurso solar de la zona.

La energía del Sol hasta llegar a la superficie de la Tierra atraviesa la atmósfera que contiene ciertos obstáculos que tienden a disminuirla, como ser mezcla de gases, junto con elementos no gaseosos en suspensión formando un “aerosol”, tales como el polvo atmosférico y seres microscópicos o partes de seres mayores (esporas, polen). [1]

Algunos componentes de la atmósfera son permanentes y casi constantes, pero otros no, entre ellos se encuentran *los aerosoles*, los cuales cambian según el lugar y varían con el tiempo [2]. Y en días claros, son los causantes de la mayor atenuación de la radiación solar (Szymler y Sellers, 1985) [1, p. 11. 57].

El coeficiente de Turbidez de Armstrong, entendiendo al mismo como el espesor óptico de aerosoles, condiciona la radiación que puede llegar a incidir sobre la superficie terrestre. En este sentido el aumento de dicho coeficiente pone de evidencia mayor atenuación de la Irradiancia Directa Normal (DNI) que llega a la superficie. [3]

Una de las posibilidades de llevar a cabo la estimación de la turbidez es medirlo de manera indirecta. O sea, medir de forma directa alguna magnitud relacionada con la energía solar como la DNI y así ajustar el valor de turbidez con la comparación, de lo medido con lo obtenido teóricamente por algún modelo de simulación.

Los modelos de simulación permiten determinar en función de ciertos datos de entrada diferentes parámetros de la radiación solar. Entre los modelos que podemos citar se encuentran el Smart versión 2.9, el Espectral y el modelo híbrido de Young [4]. Con el objeto de estimar el coeficiente de turbidez se trabajó con el primero.

Finalmente desarrollar una función de la turbidez como función del tiempo para algunos días en diferentes épocas del año nos permite saber cuan atenuada o no termina de encontrarse la DNI.

Se trabajó sobre un lugar llamado El Rosal, ubicado en el municipio de Campo Quijano y en el paraje llamado Quebrada del Toro. Este lugar se encuentra a una altura de 3355 msnm. Se eligió este lugar, primero por ser un sitio de altura en la provincia y segundo por disponer de datos de DNI medidos con un pirheliómetro para tres épocas diferentes en el año.

2. METODOLOGÍA

El método de trabajo para lograr el objetivo planteado, pone en juego el procesamiento de los datos de DNI y β obtenidos con el modelo Smart 2.9,

como así también la comparación de los mismos con los datos medidos en el lugar.

El modelo citado fue desarrollado en Excel trabajando bajo el entorno de solver. Así mediante el llenado de diecisiete tarjetas fig.1, que componen los datos de entrada se puede obtener como dato simulado del orden de treinta variables de salida fig. 2. Entre las tarjetas más relevantes a los efectos de nuestro trabajo citamos la tarjeta diecisiete con el llenado de las características de ubicación (latitud y longitud) y hora en 57 la cual se desea la salida, la tarjeta dos, tres y cuatro con los datos de altura del sitio y valores de temperatura y presión, que brindan la concentración de vapor de agua en atmosfera, la tarjeta nueve, que será el valor de turbidez sugerido y que se puede modificar. La tarjeta once con el rango espectral y finalmente la tarjeta doce donde se selecciona las variables de salida que se desea arrojen el programa.

Los datos que se tienen medidos del lugar, corresponden a los provistos por una estación meteorológica instalada en la escuela de EL Rosal, la cual provee datos de temperatura ambiente, humedad relativa y radiación global. La medición de temperatura se toma con un sensor LM35, la humedad relativa por un sensor Hs 1101 y los valores de radiación por dos Piranómetro (un CM3 y un fotovoltaico). Por otro lado, se cuenta con los datos de Irradiancia Directa Normal medidos por un pirheliómetro con un seguimiento manual al sol durante las horas en que este se encuentra visible. Cabe aclarar que en función de los días en que se realizó la campaña de medición las muestras se analizan en tres épocas del año, donde cada época corresponde al menos a dos días bajo estudio. Esto es diciembre de 2017, abril y junio de 2018.

De los días analizados, el valor de turbidez estimada se tomó como referencia el mediodía solar con tres horas antes y tres horas después a intervalos de veinte minutos. Esto se hace a los efectos de encontrarse dentro de la campana de los valores representativos de DNI. Así entonces, para un día cualquiera se encontrará los valores de turbidez entre las 10 de la mañana y las 4 de la tarde, salvo en aquellos días en que no se cuenta con datos de DNI por razones determinadas.

El proceso de generación de los valores de turbidez del lugar es el siguiente. Utilizando el modelo Smart 2.9 se determina el valor de Irradiancia Directa Normal para un valor dado de turbidez. Esto queda determinado por el llenado de dicho valor del coeficiente en la tarjeta correspondiente del programa de simulación.

A continuación, se simuló con Smart y se obtuvieron los valores de radiación espectral para una hora determinada dentro del rango de longitud de onda predeterminado. Se integró los valores de radiación obtenidos a los efectos de encontrar un valor de DNI para el día y la hora respectiva. Este valor finalmente se contrasta con el dato de DNI medido en el lugar y se

ajusta ambos valores corrigiendo el valor de turbidez para hacer converger con cierto error mínimo entre los valores de DNI medido y estimado por el programa.

Así se puede obtener entonces un valor de turbidez del lugar para un día en una hora determinada.

El dato implícito, pero al mismo tiempo relevante que se necesita para simular la DNI con Smart, es la humedad relativa, la temperatura ambiente y el promedio de temperatura en el día. Estos datos son solicitados por una de las tarjetas del modelo para poder introducir de manera indirecta el valor de agua precipitables de la atmósfera del lugar. En momentos de simular, se decidió albergar la posibilidad de variar el valor de humedad relativa tomada de la estación meteorológica debido a una posible no calibración correcta del instrumento en la estación. En este sentido la variación correspondiente se decidió no fuera más de un 10 % respecto al valor medida por la estación.

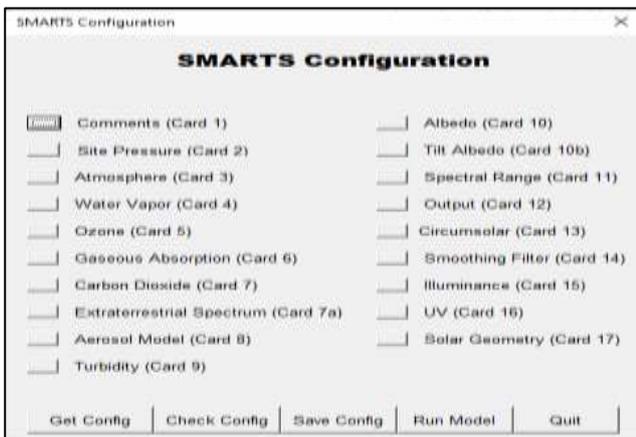


Fig. 1. Entorno del programa smart 2.9 – tipos de tarjetas para el cálculo de beta de Ångström.

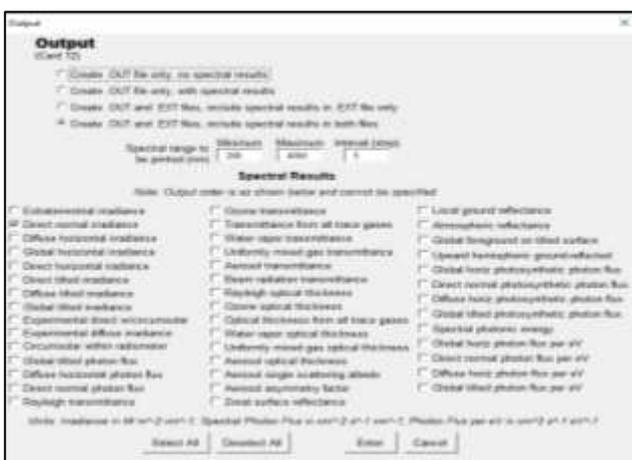


Fig. 2. Tarjeta de especificaciones de variables de salidas

3. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la variación del coeficiente de turbidez de Ångström en distintos horarios para diferentes días correspondiente a las tres muestras de datos analizadas. Se recuerda que cada muestra responde a un mes en el año. La estación meteorológica que se encuentra instalada en la localidad de El Rosal puede medir radiación global, temperatura ambiente y humedad relativa. De los tres sensores, el que proporciona la humedad relativa, tal cual como se mencionó en el apartado anterior, es el que podría presentar el mayor error en la medida. Teniendo en cuenta esto último se decide no solo ajustar la DNI simulada con la medida por el coeficiente de turbidez sino también disminuyendo los valores de humedad relativa hasta en un 10% del valor proporcionado por el sensor. Este ajuste se realiza a los efectos de acercar el dato simulado de DNI con el medido.

La primera muestra de datos corresponde al mes de diciembre de 2017, la segunda a abril de 2018 y la tercera a junio de 2018. A continuación, se presentan las figuras 3 y 4 con datos del día 6 de diciembre y el día posterior.

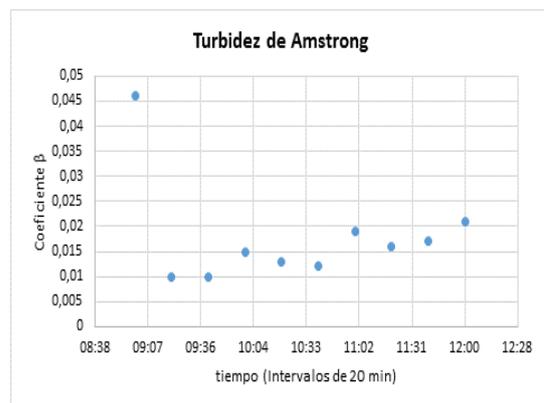


Fig. 3. Coeficiente de Ångström para el 6 de diciembre.

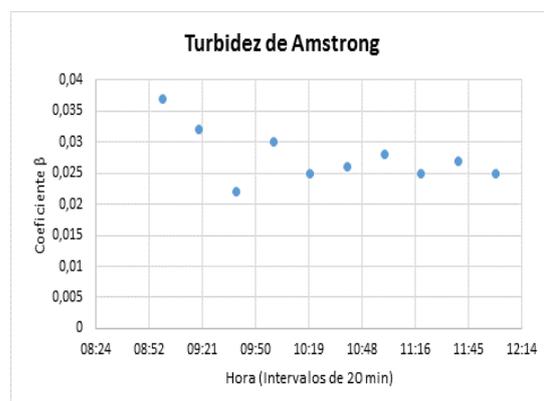


Fig. 4. Coeficientes de Ångström para el 7 de diciembre

En la siguiente tabla I y II, se muestra los valores de Irradiancia Directa Normal sobre plano horizontal simulados y medidos para los días 6 y 7 de diciembre, como así también los valores de turbidez que permitieron hacer el ajuste entre estos dos valores. En la última columna cabe observar la diferencia entre los valores medidos y simulados. Se aprecia un

TABLA I
DNI simulado y medido. Diferencias. Coeficiente de Ångström.
(6 diciembre)

Hora	DNI simulado [W/m ²]	DNI medido [W/m ²]	Turbidez	Diferencia de DNI [W/m ²]
09:00	917	919	0.046	2
09:20	1039	1068	0.01	29
09:40	1051	1091	0.01	40
10:00	1067	1100	0.015	33
10:20	1080	1111	0.013	31
10:40	1089	1127	0.012	38
11:00	1091	1115	0.019	24
11:20	1101	1125	0.016	24
11:40	1103	1125	0.017	22
12:00	1104	1127	0.021	23

salto no mayor a los 70 W/m² para el día 6 de diciembre, mientras que para el día 7 el salto no supera los 20 W/m². Resulta aceptable en ambos casos esta diferencia en virtud de los errores en juego, incluyendo los errores en el proceso de medición con el pirheliómetro.

TABLA II
DNI simulado y medido. Diferencias. Coeficiente de Ångström.
(7 diciembre)

Hora	DNI simulado [W/m ²]	DNI medido [W/m ²]	Turbidez	Diferencia de DNI [W/m ²]
09:00	946	951	0.037	5
09:20	977	987	0.032	10
09:40	1018	1020	0.022	2
10:00	1032	1040	0.03	8
10:20	1052	1058	0.025	6
10:40	1058	1067	0.026	9
11:00	1072	1080	0.028	8
11:20	1083	1088	0.025	5
11:40	1084	1093	0.027	9
12:00	1097	1104	0.025	7

A continuación, se presentan las figuras 5 y 6 de seguimiento de la Irradiancia Directa Normal para los días de diciembre. Estas gráficas se presentan desde el momento de la salida del Sol hasta el mediodía. El corte de las medidas tiene que ver con la presencia

de nubosidad en ambos días a partir de las 12 horas, esta particularidad que se nos presentó al momento de tomar los datos en el lugar se debía a las lluvias que suelen presentarse en la zona por ser época favorable de verano.

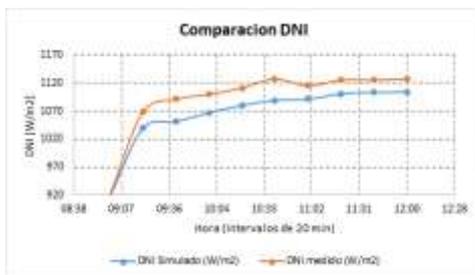


Fig. 5. DNI simulado y medido para el día 6/12/17.

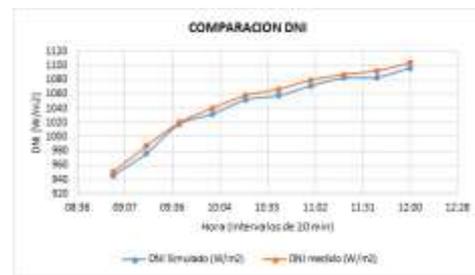


Fig. 6. DNI simulado y medido para el día 7/12/17

En relación a esta primera entrega de resultados correspondiente cronológicamente a la primera muestra cabe mencionar que los datos llegan solo hasta el mediodía debido a que los datos restantes presentan irregularidades en concordancia con la nubosidad constante que tuvo el resto de la tarde en esos días.

mencionados por la tabla, a su vez el crecimiento de los mismos en el tiempo resulta esperado por el movimiento del sol cuando se acerca al mediodía solar.

En la tabla I para el día 6 de diciembre el salto entre los valores medidos y simulados de Irradiancia Directa Normal es del orden de 40 W/m², mientras que para el día siguiente según tabla 2 desciende a no más de 10 W/m². En ambos casos esta diferencia resulta aceptable y puede ser atribuido a los errores propios asociados con las medidas realizadas. Las gráficas correspondientes, según se puede observar de la fig. 5, muestran un acompañamiento de los valores simulados con los valores medidos, ya

Si se analiza la variación del coeficiente de turbidez de Ångström que se presenta en la figura 5 y 6, en ambos días se ve que Beta parece oscilar alrededor de un valor promedio en el caso del día 6 de diciembre este valor corresponde a 0,015, mientras que para el día 7 es de 0,027.

Datos de variación del Coeficiente de Turbidez abril 2018

Los valores de turbidez que a continuación se representa son del mes de abril, aquí las variaciones fueron entre 0.01 y 0.025 aproximadamente para los cuatros días, (figuras 7, 8, 9 y 10). Una de las apreciaciones que se pueden determinar de las

siguientes gráficas es que a medida que aumentan los valores de la radiación solar sucede lo mismo con

los valores de la turbidez.



Fig. 7. Valores del Beta de Ångström para el día 3 de abril de 2018

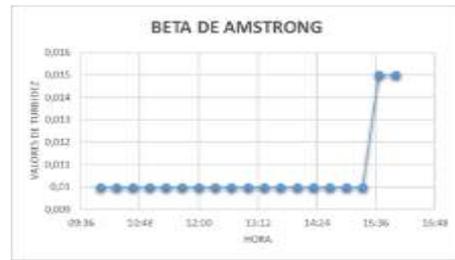


Fig. 8. Valores del Beta de Ångström para el día 4 de abril de 2018



Fig. 9. Valores del Beta de Ångström para el día 5 de abril de 2018

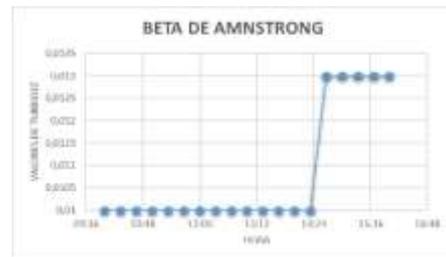


Fig. 10. Valores del Beta de Ångström para el día 6 de abril de 2018

TABLA III
DNI simulado y medido. Diferencias. Coeficiente de Ångström.
(3 de abril)

Hora	DNI simulado [W/m ²]	DNI medido [W/m ²]	Turbidez	Diferencia de dni [W/m ²]
11:00	1039	1048	0.01	9
11:20	1046	1055	0.01	9
11:40	1051	1070	0.01	18
12:00	1064	1070	0.01	5
12:20	1068	1078	0.01	10
12:40	1071	1072	0.01	1
13:00	1076	1076	0.01	0
13:20	1066	1069	0.015	3
13:40	1055	1068	0.015	12
14:00	1062	1066	0.015	3
14:20	1061	1061	0.016	0
14:40	1049	1050	0.02	1
15:00	1030	1047	0.02	17
15:20	1025	1039	0.02	13
15:40	1020	1034	0.02	14
16:00	999	1022	0.02	23

TABLA IV
DNI simulado y medido. Diferencias. Coeficiente de Ångström.
(4 de abril)

Hora	DNI simulado [W/m ²]	DNI medido [W/m ²]	Turbidez	Diferencia de dni [W/m ²]
10:00	984	992	0.01	8
10:20	997	1008	0.01	11
10:40	1008	1023	0.01	15
11:00	1034	1038	0.01	4
11:20	1041	1051	0.01	10
11:40	1047	1061	0.01	14
12:00	1060	1068	0.01	8
12:20	1066	1067	0.01	1
12:40	1066	1067	0.01	1
13:00	1063	1067	0.014	4
13:20	1063	1067	0.014	4
13:40	1064	1066	0.014	2
14:00	1062	1065	0.014	3
14:20	1056	1056	0.016	0
14:40	1049	1049	0.018	0
15:00	1040	1040	0.018	0
15:20	1013	1022	0.025	9
15:40	1008	1015	0.025	7
16:00	995	996	0.025	1

TABLA V
DNI simulado y medido. Diferencias. Coeficiente de Ångström.
(5 de abril)

Hora	DNI simulado [W/m ²]	DNI medido [W/m ²]	Turbidez	Diferencia de dni [W/m ²]
10:00	997	1024	0.01	47
10:20	990	1047	0.01	57
10:40	1002	1064	0.01	62
11:00	1026	1076	0.01	50
11:20	1033	1086	0.01	53
11:40	1038	1088	0.01	50
12:00	1051	1102	0.01	51
12:20	1055	1104	0.01	49
12:40	1057	1106	0.01	49
13:00	1062	1113	0.01	51
13:20	1063	1106	0.01	43
13:40	1063	1105	0.01	42
14:00	1061	1108	0.01	47
14:20	1060	1103	0.01	43
14:40	1058	1086	0.01	28
15:00	1049	1074	0.01	25
15:20	1044	1066	0.01	22
15:40	1030	1039	0.015	9
16:00	1010	1020	0.015	10

TABLA VI
DNI simulado y medido. Diferencias. Coeficiente de Ångström.
(6 de abril)

Hora	DNI simulado [W/m ²]	DNI medido [W/m ²]	Turbidez	Diferencia de dni [W/m ²]
10:00	974	1026	0.01	52
10:20	987	1051	0.01	64
10:40	998	1068	0.01	70
11:00	1025	1080	0.01	55
11:20	1031	1090	0.01	59
11:40	1037	1090	0.01	53
12:00	1050	1090	0.01	42
12:20	1053	1094	0.01	41
12:40	1056	1095	0.01	39
13:00	1061	1099	0.01	38
13:20	1062	1069	0.01	7
13:40	1062	1068	0.01	6
14:00	1060	1066	0.01	6
14:20	1058	1061	0.01	3
14:40	1050	1050	0.013	0
15:00	1041	1047	0.013	6
15:20	1032	1039	0.013	7
15:40	1031	1034	0.013	3
16:00	1011	1022	0.013	11

Los datos de DNI Medidos y DNI estimados, se puede ver en las siguientes figuras 11, 12, 13 y 14. Se estimó un valor de DNI con el programa Smart 2.9

modificando fechas, horas, posición y datos meteorológicos en cada una de las tarjetas.



Fig. 11. DNI estimado en comparación del DNI medido para el 3 de abril de 2018.



Fig. 12. DNI estimado en comparación del DNI medido para el 4 de abril de 2018.



Fig. 12. DNI estimado en comparación del DNI medido para el 5 de abril de 2018.



Fig. 13. DNI estimado en comparación del DNI medido para el 6 de abril de 2018.

Las diferencias que presenta de los valores de DNI medido con los de DNI Estimado van desde 0 a 70 W/m², que es lo que anteriormente se había determinado como valores a obtener. Se puede apreciar que los crecimientos de las gráficas de

radiación presentan algunas atenuaciones debido a los datos que se tomaron in situ.

A continuación, se muestran las gráficas correspondientes a los valores temporales de Beta de Ångström correspondientes a los días 26 y 27 de junio de 2018 figura 15 y 16.



Fig. 15. Coeficiente de Turbidez de Ångström estimado para el día 26 de junio.



Fig. 16. Coeficiente de Turbidez de Ångström estimado para el día 27 de junio.

Con respecto a la época invernal, se muestran también las tablas VII y VIII con datos pertinentes a DNI con los mismos contenidos que las anteriores. Se puede observar que para la fecha 26, la diferencia entre los valores medidos y simulados no superan los

50 W/m², en cuanto al día siguiente ese límite se sitúa en 40 W/m². Además, las medidas tomadas del pirheliómetro siempre están por encima de los simulados.

TABLA VII
DNI medido y simulado. Diferencias y Coeficiente de Ångström. (26 junio)

Hora	DNI simulado [W/m ²]	DNI medido [W/m ²]	Turbidez	Diferencia de dni [W/m ²]
10:00	886	932	0.01	46
10:20	918	964	0.01	46
10:40	944	983	0.01	38
11:00	964	1007	0.01	43
11:20	980	1011	0.01	31
11:40	992	1023	0.01	31
12:00	1001	1034	0.01	33
12:20	1008	1035	0.01	27
12:40	1013	1042	0.01	29
13:00	1016	1049	0.01	33
13:20	1012	1043	0.012	31
13:40	1012	1041	0.013	29
14:00	1013	1043	0.011	30
14:20	1006	1035	0.012	29
14:40	1006	1039	0.01	33
15:00	998	1032	0.01	34
15:20	987	1024	0.01	37
15:40	974	1020	0.01	46
16:00	957	1002	0.01	45

TABLA VIII
DNI medido y simulado. Diferencias y Coeficiente de Ångström. (27 junio)

Hora	DNI simulado [W/m ²]	DNI medido [W/m ²]	Turbidez	Diferencia de dni [W/m ²]
10:00	909	949	0.01	40
10:20	940	974	0.01	34
10:40	964	992	0.01	28
11:00	980	1007	0.012	27
11:20	995	1022	0.012	27
11:40	1003	1030	0.015	27
12:00	1012	1038	0.015	26
12:20	1013	1041	0.02	28
12:40	1024	1058	0.015	34
13:00	1021	1049	0.02	28
13:20	1022	1049	0.02	27
13:40	1017	1046	0.025	29
14:00	1015	1044	0.025	29
14:20	1011	1041	0.025	30
14:40	1010	1041	0.02	31
15:00	1003	1029	0.02	26
15:20	993	1019	0.02	26
15:40	983	1011	0.017	28
16:00	972	1001	0.013	29

A continuación, se muestran las figuras 17 y 18 con las representaciones de los datos de DNI estimados y medidos para los días 26 y 27 de junio.



Fig. 17. DNI simulado y medido para el día 26 de junio.



Fig. 18. DNI simulado y medido para el día 27 de junio

Todos los datos mostrados se trabajaron como en las dos muestras anteriores, cada 20 minutos. En cuanto a la humedad relativa, se tomó el valor medido por la estación sin ninguna modificación (HR 24%).

CONCLUSIONES

- Como primera conclusión central del trabajo, se puede decir, que se cumplió con el objetivo de estimar el valor del Beta de Ångström en el tiempo, lo cual mostro un comportamiento de la turbidez, acorde a lo esperado para una zona de altura. Es decir, para días de cielo claro, el coeficiente de turbidez β , se comportaba en promedio con valores bajos, al comienzo de la salida del sol, y valores menores hacia la tarde, con la puesta del mismo. Por otro lado, el mostrar cómo evoluciona dicho coeficiente, a intervalos de 20 minutos, nos habla de comportamiento de aerosoles presentes.
- La calidad de la atmósfera para los años 2017 y 2018, según las 3 muestras analizadas para el paraje de El Rosal, correspondió a una atmósfera relativamente prístina, según la clasificación de Ångström, esto debido, a que es una zona rural de clima seco con baja densidad demográfica y de difícil acceso por camino condicionado. Además, las actividades que allí se realizan son de carácter agropecuario de bajo impacto.
- Aunque los días de datos disponibles son escasos, se puede apreciar que el mes de menor turbidez atmosférica fue en junio, época seca. Mientras que el mes de mayor turbidez

atmosférica corresponde a diciembre, temporada de nubosidad y de lluvia.

- La estimación mencionada se pudo realizar, gracias al uso del modelo Smart 2.9 para simulación de valores de radiación. Así, se aprendió a usar este modelo presentado, quedando claro la potencialidad del mismo, al contrastar sus resultados con los datos medidos.
- Si bien el objetivo central no fue comparar los resultados de Irradiancia Directa Normal simulados con los valores correspondientes medidos, se pudo analizar cuanto se acercan los mismos sin necesidad de salirse del rango de valores de Beta sugeridos, entre 0.01 y 0.05.
- Para trabajos futuros se podría analizar la variación de turbidez en todo un año. Esto nos mostrará, que los movimientos de aerosoles tienen otros comportamientos atenuando la radiación directa, cuyos factores pueden tener otro efecto en β , cuando sea épocas de vientos zonda, que es característico de lugares en altura.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros colegas del dpto. de Física de la Universidad Nacional de Salta por aportar teorías a nuestra investigación, al Dr. German Salazar por ser el principal motivador del desarrollo del tema Turbidez atmosférica, a nuestra familia por apoyar siempre nuestro estudio; agradecemos al director de la escuela rural de El Rosal al maestro Aldo Palacios por su participación y su inagotable predisposición para los temas de investigación que se llevan en las instalaciones de su establecimiento, agradecer también a la asociación Peruana de energía solar y

ambiente (APES) por recibimos en cada simposio que llevan a delante y a la comisión vigente por la posibilidad de participar con nuestras investigaciones en publicaciones internacionales.

REFERENCIAS

- [1] G. A. Salazar, F. Farfan y C. Raichijk, “Estimación del coeficiente de turbidez β de Ångström a partir de mediciones de irradiancia global y directa. Caso de estudio: ciudad de Salta (Argentina)”, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 14, pp. 11.57-11.61, 2010.
- [2] R. Pedrós, M. Utrillas, J. Martínez Lozano y F. Tena, “Values of broadband turbidity coefficients in a mediterranean coastal site”, *Solar Energy*, vol. 66, no. 1, pp. 11-20, 1990.
- [3] G. A. Salazar y L. Gómez Amo, “Análisis de la turbidez atmosférica en salta (argentina) Durante incendios ocurridos en la estación seca de 2013”, en V Congreso Brasileiro de Energía Solar, 31 al 3 de abril de 2014, Recife, 2014.
- [4] C. Gueymard, Aerosol turbidity derivation from broadband irradiance measurements: Methodological advances and uncertainty analysis, in ASES Solar Conf., Baltimore, MD, 2013.



Los artículos publicados por TECNIA pueden ser compartidos a través de la licencia Creative Commons: CC BY 4.0. Permisos lejos de este alcance pueden ser consultados a través del correo revistas@uni.edu.pe