

Estimación de la energía solar fotovoltaica generada en un período de tiempo

Tutorial sobre el uso de PTC Mathcad®

Nicolás Rocchia, Gerardo Szwarc, Hernán Asís,
Diego M. Ferreyra, A. Carina Sarmiento

Grupo **GISENER** (Grupo de Investigación Sobre **ENER**gía)

Facultad Regional San Francisco
Universidad Tecnológica Nacional – U.T.N.
Argentina



2015

Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@utn.edu.ar

© [Copyright] La Editorial de la U.T.N. recuerda que las obras publicadas en su sitio web son de libre acceso para fines académicos y como un medio de difundir la producción cultural y el conocimiento generados por docentes universitarios y autores auspiciados por las universidades, pero que estos y edUTecNe se reservan el derecho de autoría a todos los fines que correspondan.

Tutorial sobre el uso de PTC Mathcad®

Estimación de la energía solar fotovoltaica generada en un período de tiempo

Autores: Nicolás Rocchia, Gerardo Szwarz, Hernán Asís,
Diego M. Ferreyra, A. Carina Sarmiento

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco
Grupo **GISENER** (Grupo de Investigación Sobre Energía)

Avenida de la Universidad 501 (2400) San Francisco. Provincia de Córdoba.
ARGENTINA.

Tel. ++54-3564-421147/435402,

<http://www.frsfco.utn.edu.ar/>

Resumen

En el desarrollo de proyectos de cálculo de ingeniería, se requieren herramientas informáticas para la gestión de la información y la realización de los cómputos. Resulta de sumo interés que los estudiantes de carreras de ingeniería se habitúen a implementar tales herramientas en sus proyectos de carácter académico. De esta manera, se favorece su adopción de metodologías de trabajo que contribuyen a desarrollar las competencias relacionadas con su formación profesional.

En el presente trabajo, se detalla brevemente un cálculo realizado con PTC Mathcad®, una de las innumerables herramientas de *software* disponibles para este fin. En vista del creciente interés en las fuentes de energías renovables, y de la experiencia reciente obtenida dentro del grupo de investigación GISener, se presenta un cálculo estimativo relacionado con energía solar fotovoltaica.

Se pretende de esta manera motivar a estudiantes de nuestra Facultad, y de la Universidad en general, para que implementen este tipo de herramientas informáticas de cálculo matemático en su trayecto académico.

Palabras clave

PTC Mathcad®, cálculos para ingeniería, energía solar, energías renovables

Objetivos

- Brindar una explicación sencilla sobre el uso del *software* PTC Mathcad® destinada a usuarios de nivel inicial
- Desarrollar un cálculo elemental de estimación de la energía solar fotovoltaica generada durante un período de tiempo dado

Introducción

PTC Mathcad® es un *software* concebido para resolver cálculos de ingeniería. Su interfaz y sus prestaciones relacionadas con unidades, símbolos y notación matemática en general son adecuadas para el desarrollo de proyectos por parte de ingenieros y equipos de diseño. En este trabajo, se muestra el uso de algunas herramientas básicas, sin profundizar demasiado pero brindando las pautas para crear un documento completo. Para el desarrollo del presente trabajo, se utilizó la versión gratuita de PTC Mathcad® Express Prime 3.1 para 32-bits [1].

El ejemplo desarrollado corresponde al campo de la generación de energía eléctrica por medio de paneles solares fotovoltaicos pero, por supuesto, los pasos se pueden replicar para cálculos relativos a otras áreas temáticas, inclusive más extensos o complejos.

Consideraciones sobre el cálculo de ejemplo

El ejemplo de cálculo desarrollado corresponde a un análisis elemental realizado sobre una instalación piloto de paneles solares fotovoltaicos conectados a red, que se implementó en la Facultad Regional San Francisco de la Universidad Tecnológica Nacional (la Facultad) en 2015 [2] en razón de su adhesión institucional al proyecto de alcance nacional denominado IRESUD [3].

En la Fig. 1, se muestran los paneles solares fotovoltaicos (a), y el tablero (b) que incorpora un inversor electrónico destinado a convertir la energía eléctrica DC de los paneles en energía eléctrica AC que se inyecta a la red eléctrica interna de la Facultad.

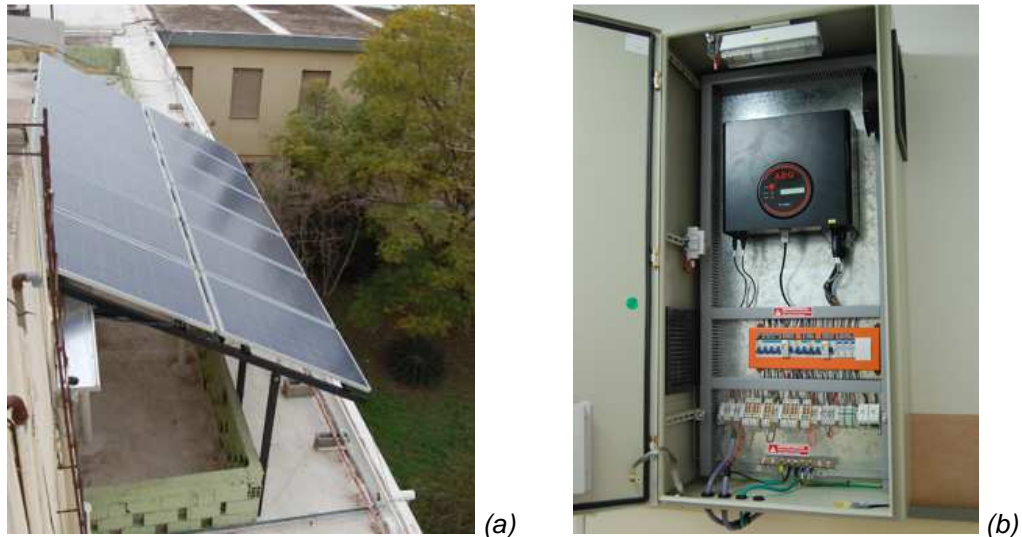


Figura 1. (a) Paneles solares instalados en la Facultad. (b) Tablero con inversor electrónico

La instalación consta de 12 paneles de aproximadamente $1,65 m^2$ cada uno, con una eficiencia de conversión de energía solar en energía eléctrica DC estipulada en 14,2 % por el fabricante en condiciones normalizadas [4]. Los doce paneles en serie alimentan un inversor que tiene una eficiencia de conversión del orden del 96 % según lo especificado por el fabricante [5].

Según los datos de radiación históricos disponibles para la región donde están emplazada esta instalación [6], puede considerarse estimativamente una irradiación solar diaria típica de $2,5 kW \cdot h/m^2$ para julio (pleno invierno) y de $6,0 kW \cdot h/m^2$ para enero (pleno verano). A los fines prácticos, se obtiene el promedio de estos dos valores, $4,25 kW \cdot h/m^2$, y se lo considera como válido para un día de cualquiera de los 12 meses del año.

Una vez calculada la cantidad de energía solar irradiada diariamente sobre la instalación considerada, se aplican las eficiencias del sistema (paneles + inversor) a fin de calcular lo que efectivamente se obtiene en forma de energía eléctrica AC. A partir de ese valor, se hace una proyección a 30 días para estimar la cantidad de energía eléctrica generada en un mes.

También es posible extender esta proyección a 365 días y relacionar los resultados con los valores informados en trabajos como [7] y [8]. Dicha comparación resulta favorable ya que, con los cálculos aquí realizados, se obtienen valores razonablemente próximos en orden de magnitud a los relevados en los trabajos de referencia.

Naturalmente, la secuencia de cálculo aquí presentada es solo aproximada ya que incluye numerosas estimaciones, como el hecho de no considerar detalladamente la influencia de la inclinación de los paneles, no tomar en cuenta las condiciones de funcionamiento reales de los paneles ni del inversor, y aplicar un dato de irradiación promedio estimativo para todos los días del año por igual. De todos modos, resulta de suma utilidad para prever de antemano los resultados del funcionamiento de una instalación proyectada de paneles solares fotovoltaicos, que tienen que ver directamente con su conveniencia y con la amortización del costo de la instalación.

Implementación del cálculo en el software

En la Fig. 2, se presenta la pantalla de inicio de PTC Mathcad® Express Prime 3.1.

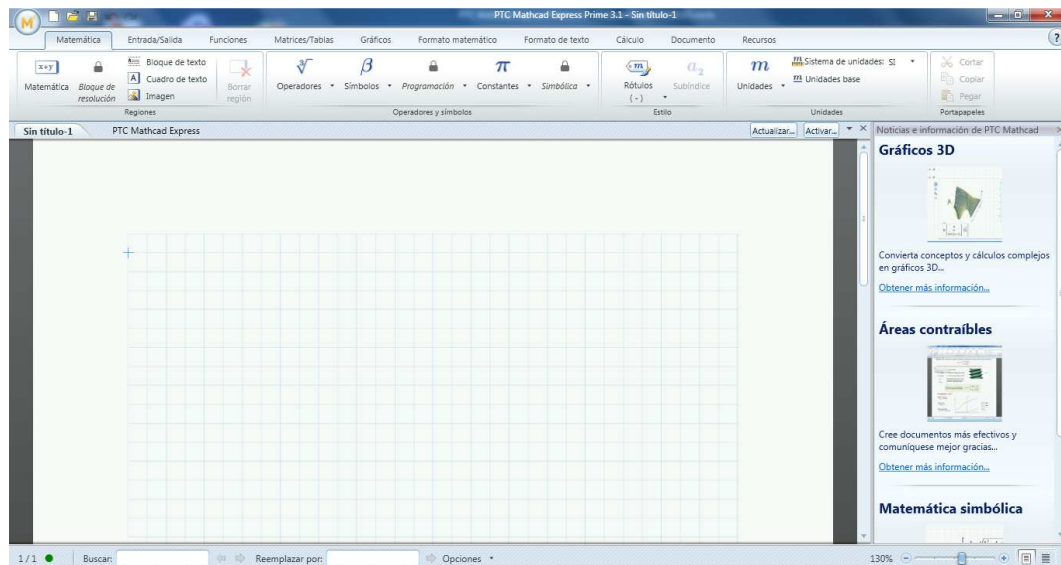


Figura 2. Pantalla de inicio de PTC Mathcad®

En la parte superior, se encuentran las diferentes pestañas (Fig. 3), cada una de ellas con diversas opciones. El presente tutorial se centra en las pestañas **Matemática** y **Formato de texto**.

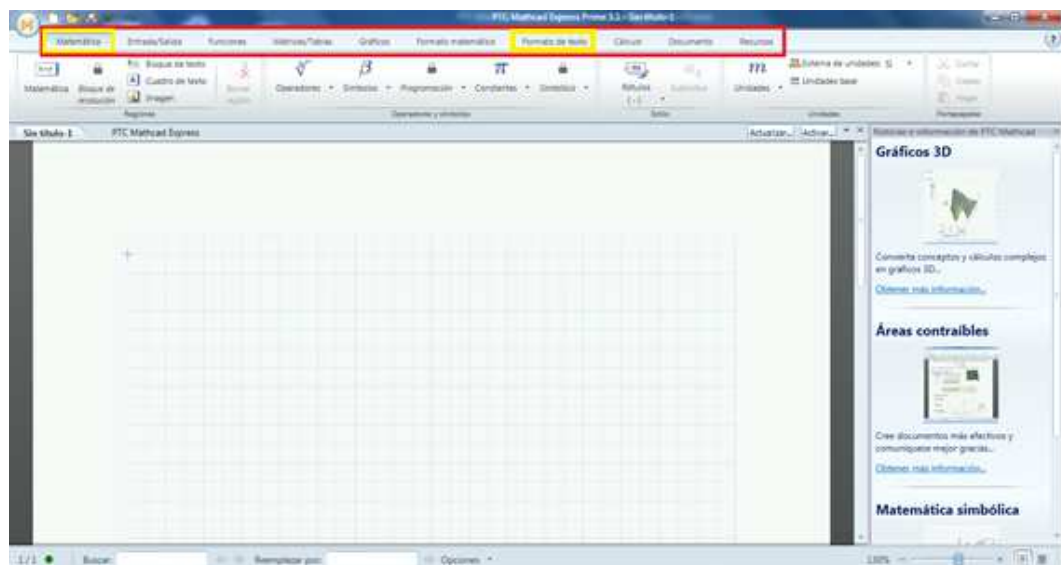


Figura 3. Las pestañas del software

Introducción de texto

Para insertar un texto en un documento, existen dos opciones:

- **Bloque de texto:** sin limitaciones en cuanto a extensión, se usa para textos que deban ocupar todo el ancho de la hoja; este ancho no se puede modificar. Resulta especialmente útil para insertar enunciados de problemas o descripciones sobre el trabajo desarrollado en el documento de cálculo.
- **Cuadro de texto:** se utiliza para insertar un texto en cualquier ubicación de la hoja, y puede ser de cualquier ancho y largo. Es de utilidad para agregar aclaraciones sobre un cálculo realizado o para explicitar el significado de abreviaturas o subíndices.

Para introducir el título del trabajo, se puede usar un bloque de texto: se ubica el cursor en la región deseada de la hoja, haciendo clic en lo que luego será el vértice inferior izquierdo del bloque de texto. Luego se selecciona la opción **Bloque de texto**. La pantalla debe verse como se muestra en la Fig. 4.

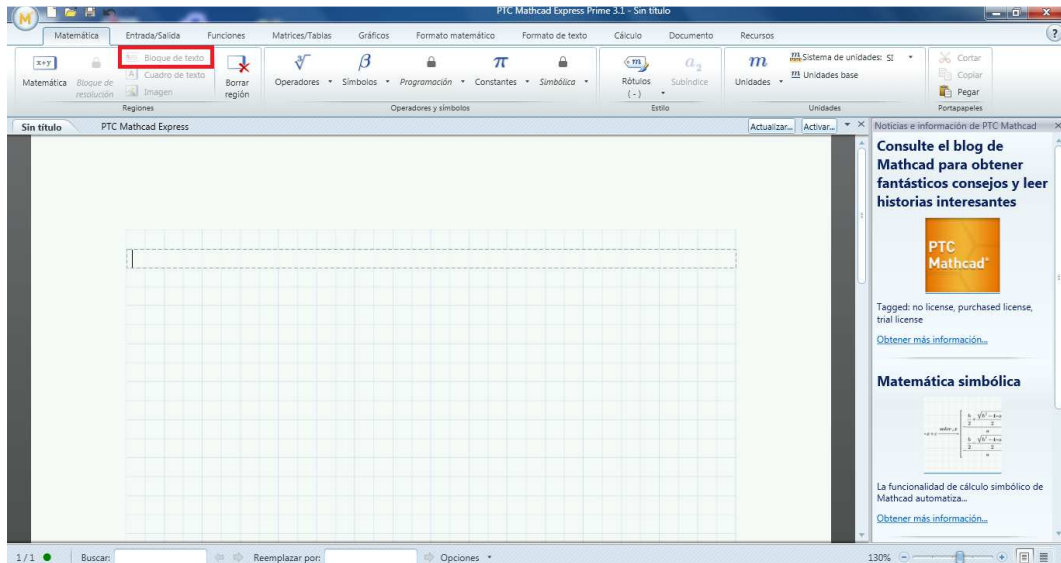


Figura 4. Inserción de un bloque de texto

Una vez hecho esto, usando la pestaña **Formato de texto** (Fig. 5), se selecciona la fuente del texto, su color y tamaño, así como los detalles de formato (negrita, cursiva, subrayado); también se cuenta con opciones de alineación, sangría y viñetas que son similares a las de cualquier procesador de textos. Estas opciones trabajan de forma independiente una de otra, lo cual permite insertar un bloque de texto con determinada alineación y de un determinado tamaño y color, y a la vez incluir dentro de él, por ejemplo, palabras de otro color o tamaño.

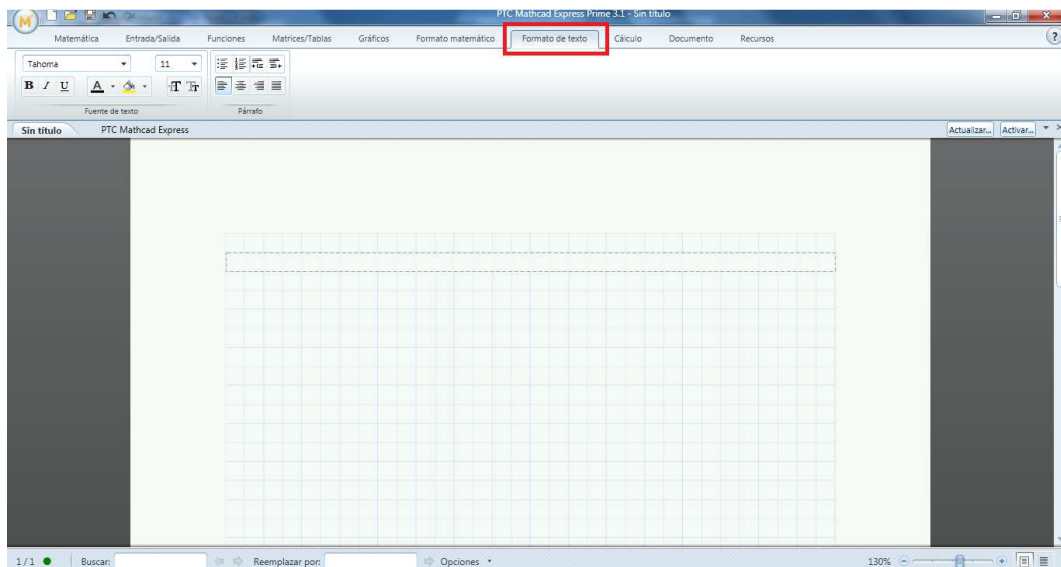


Figura 5. Pestaña Formato de texto

Una vez seleccionadas todas las opciones, se procede a escribir el texto deseado (Fig. 6).

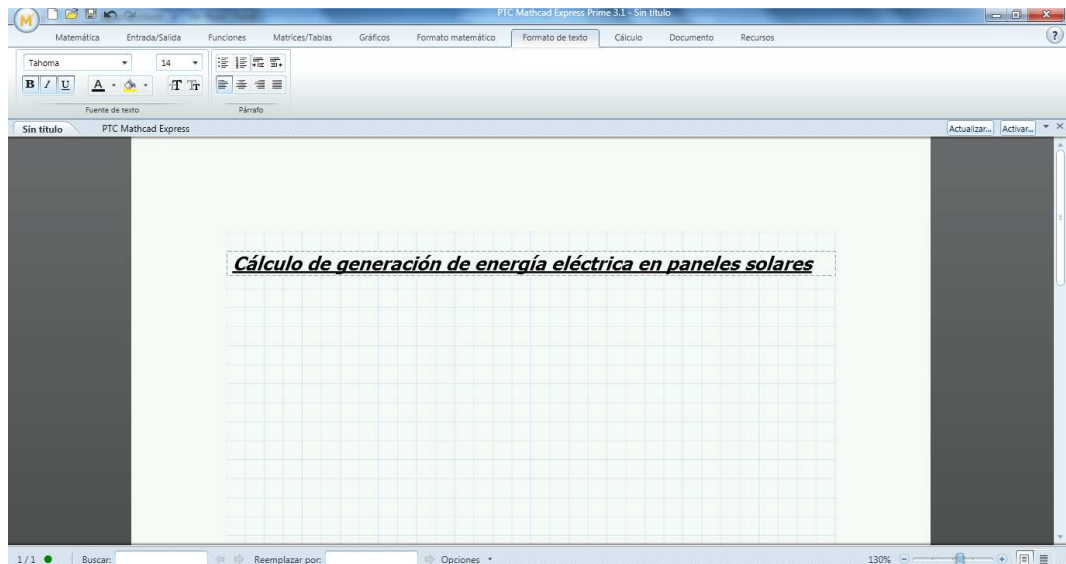


Figura 6. Introducción de un bloque de texto

No es estrictamente necesario que estos últimos dos pasos se realicen en el orden propuesto, ya que el *software* permite escribir un texto, y luego seleccionarlo para modificar su formato, tal como lo permiten habitualmente los procesadores de textos.

Volviendo a la pestaña **Matemática**, se puede utilizar la opción **Cuadro de texto** a fin de añadir un subtítulo al trabajo. En este tutorial, se utiliza esta opción, pero está claro que también se podría usar la opción **Bloque de texto** mencionada anteriormente.

Tal como se hizo con el bloque de texto del título, para añadir el texto del subtítulo, se hace clic en el lugar donde se lo pretende añadir y a continuación se selecciona la opción **Cuadro de texto** (Fig. 7).

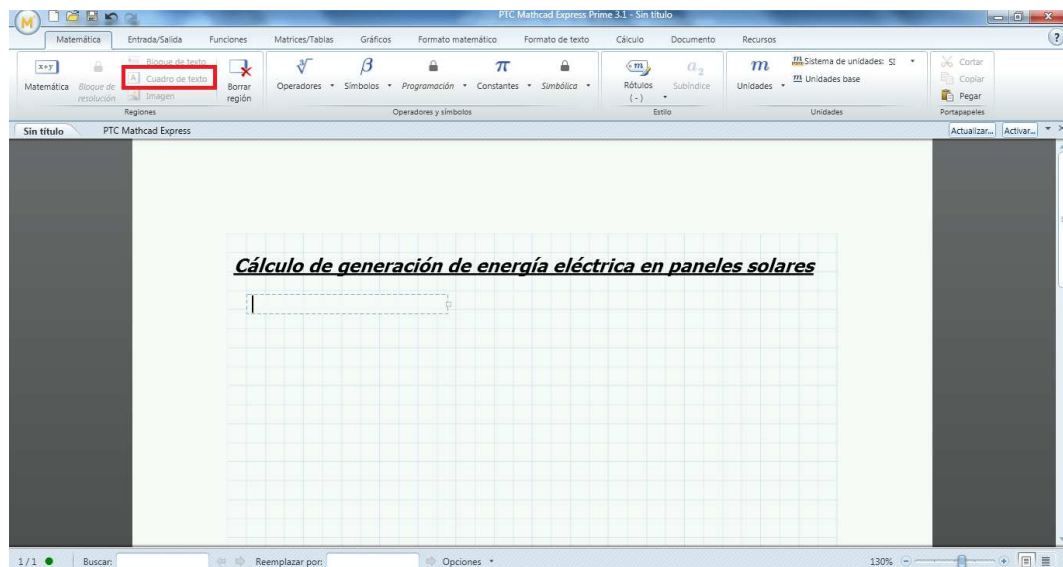


Figura 7. Introducción de un cuadro de texto

Con esta opción, también se puede modificar el formato de texto con las opciones disponibles en la pestaña **Formato de texto**, tal como se explicó con anterioridad para los bloques de texto. Una vez definidas todas las opciones de formato, se procede a escribir el texto deseado, en este caso el subtítulo.

Es posible añadir toda la cantidad de cuadros de texto que se desee, como se puede ver en la Fig. 8.

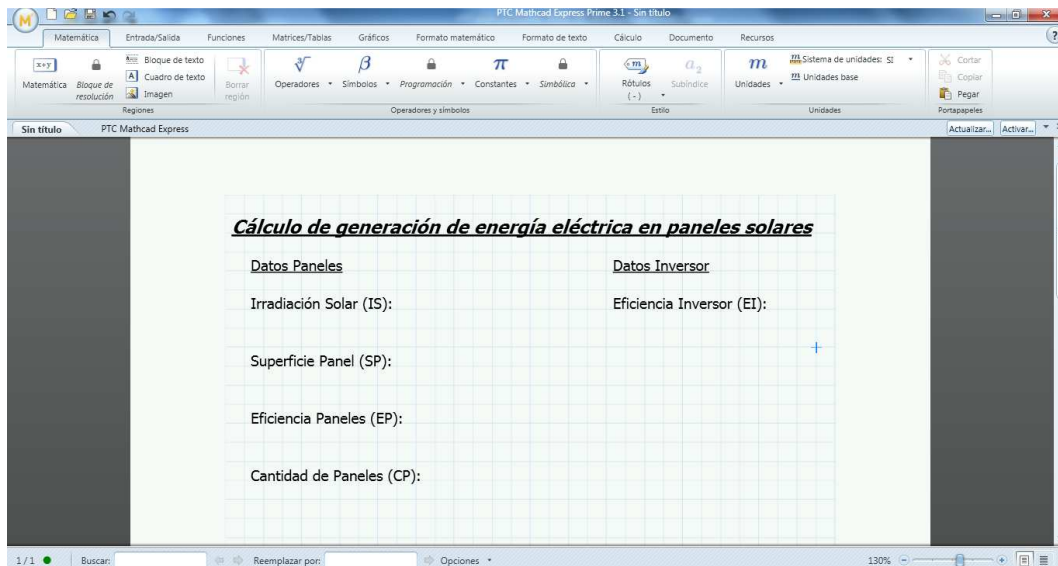


Figura 8. Inserción de varios cuadros de texto

Definición de variables

Para definir una nueva variable, se sitúa el cursor en el lugar de la hoja donde se desea que aparezca, y luego se procede a escribir el nombre de la variable seguido de los símbolos dos puntos (:) e igual (=) escritos de manera consecutiva (:=), a su vez seguidos del valor que sea necesario asignarle. Por ejemplo:

$$IS := 1000$$

Si se requiere asignar una unidad de medida a este valor, se puede escribir el símbolo de la unidad (el software distingue entre mayúsculas y minúsculas), o bien recurrir a la opción **Unidades** que se encuentra en la pestaña **Matemática**. Por ejemplo, para la siguiente variable, se debe recurrir a opciones disponibles en **Operadores y símbolos**, dentro de dicha pestaña **Matemática**:

$$IS := 1000 \frac{W}{m^2}$$

En la pantalla de Mathcad®, esto se verá tal como lo muestra la Fig. 9.

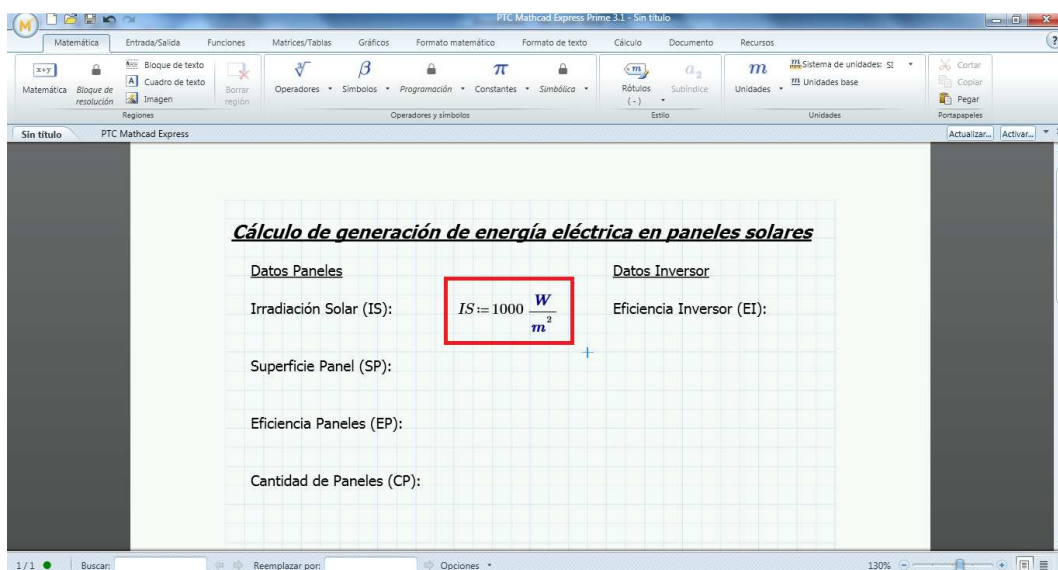


Figura 9. Definición de una variable con su unidad de medida

Se pueden definir todas las variables de la misma manera que la anterior (Fig. 10).

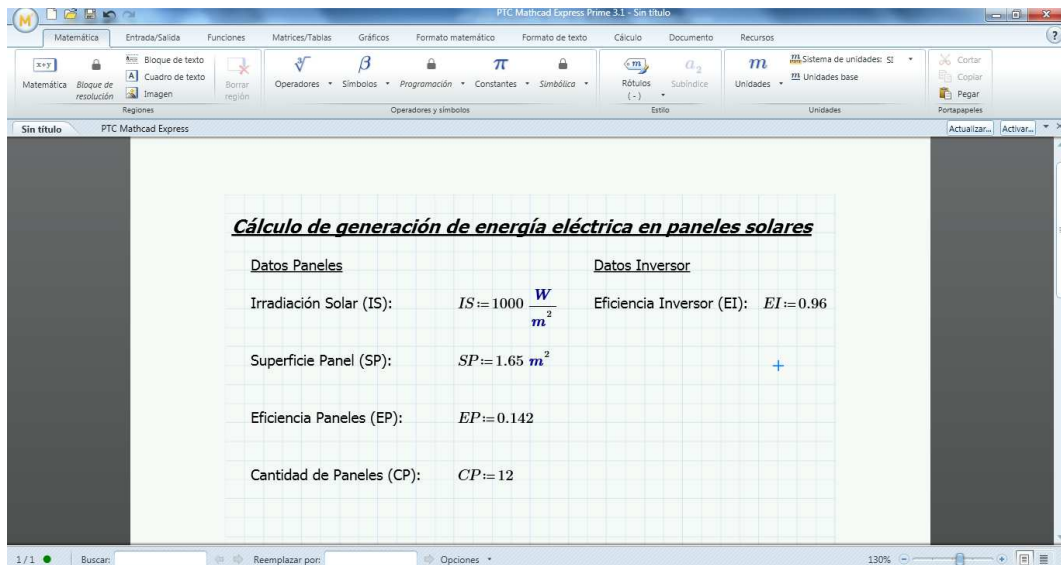


Figura 10. Ejemplo de la definición de múltiples variables

Cabe acotar que no es necesario definir cada una de las variables con una unidad de medida, lo cual es razonable en la medida en que algunas podrían tratarse simplemente de proporciones o cantidades.

Para el ejemplo que se desarrolla en el presente trabajo, se definen otras variables que se utilizarán más adelante en los cálculos (Fig. 11).

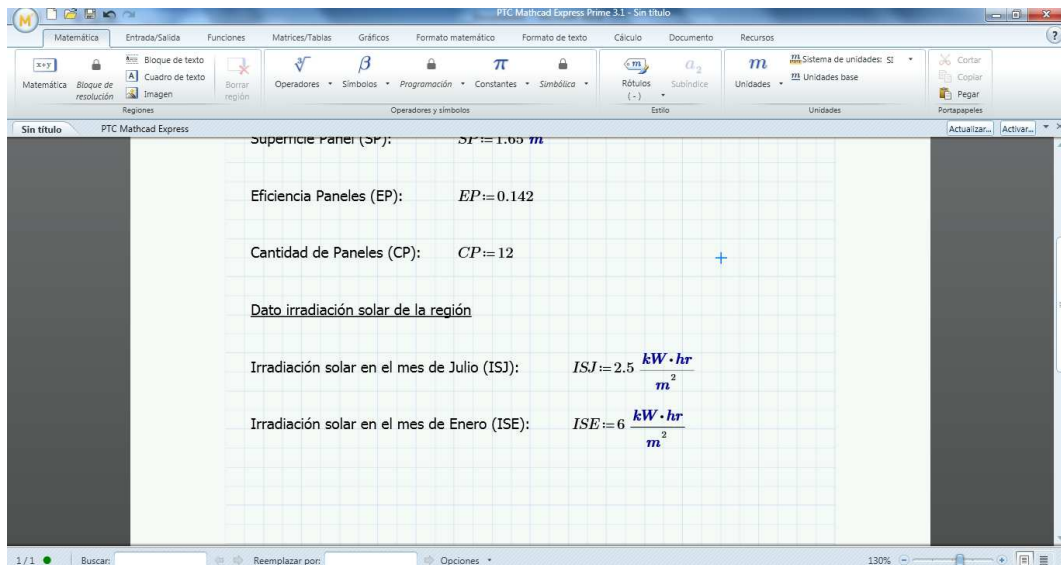


Figura 11. Definición del resto de las variables del ejemplo

Salto a una nueva hoja

Para comenzar a trabajar en una nueva hoja, se posiciona el cursor en la parte inferior de la hoja que se ha completado y luego se presiona **Entrar/Intro** en el teclado (Fig. 12).

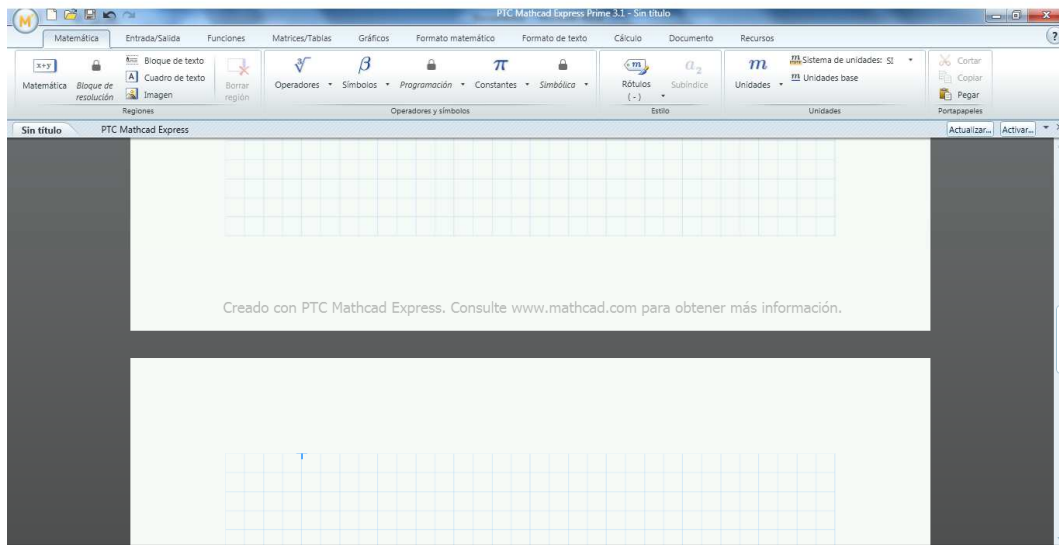


Figura 12. Inicio de una nueva hoja de trabajo

A continuación, en esta segunda hoja del documento, se definen los cálculos por realizar.

Definición de cálculos

Para realizar cada cálculo, inicialmente se define su nombre mediante la opción **Cuadro de texto**, como se explicó anteriormente (Fig. 13).

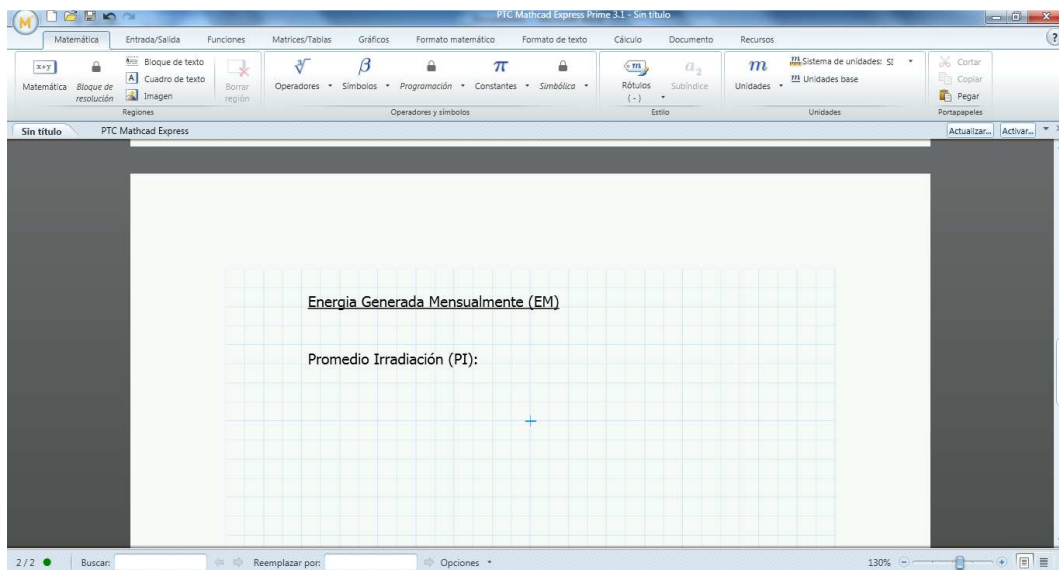


Figura 13. Inserción del nombre de un cálculo

Luego se ingresa el nombre de la nueva variable cuyo valor se obtendrá con el cálculo por realizar, seguido de := y del cálculo completo, usando los nombres de las variables que se definieron anteriormente en el mismo documento, por ejemplo:

$$PI := \frac{ISJ + ISE}{2} =$$

El *software* arrojará automáticamente el resultado de cada cálculo con las unidades correspondientes (Fig. 14), aunque es posible que estas no sean las de uso habitual para la magnitud calculada, según sea la disciplina a la cual corresponda el proyecto que se está desarrollando.

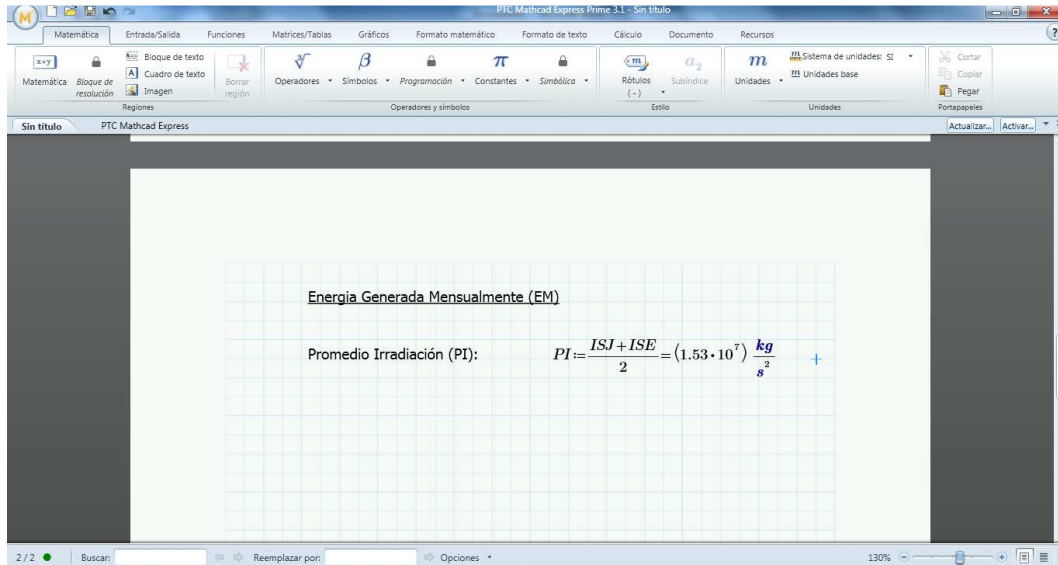


Figura 14. Cálculos automáticos

Ajuste de unidades

En el ejemplo hasta aquí desarrollado, las unidades asignadas automáticamente al resultado son correctas (masa dividido tiempo al cuadrado), pero no son las de uso habitual en este tipo de tecnologías (energía dividida por área, o bien potencia multiplicada por tiempo y dividida por área). En caso de que las unidades asignadas automáticamente por el *software* a los resultados no sean las que se requieren, se las puede quitar y escribir las nuevas unidades. Al hacerlo, el *software* automáticamente modifica el resultado numérico a fin de que concuerde con las nuevas unidades adoptadas (Fig. 15).

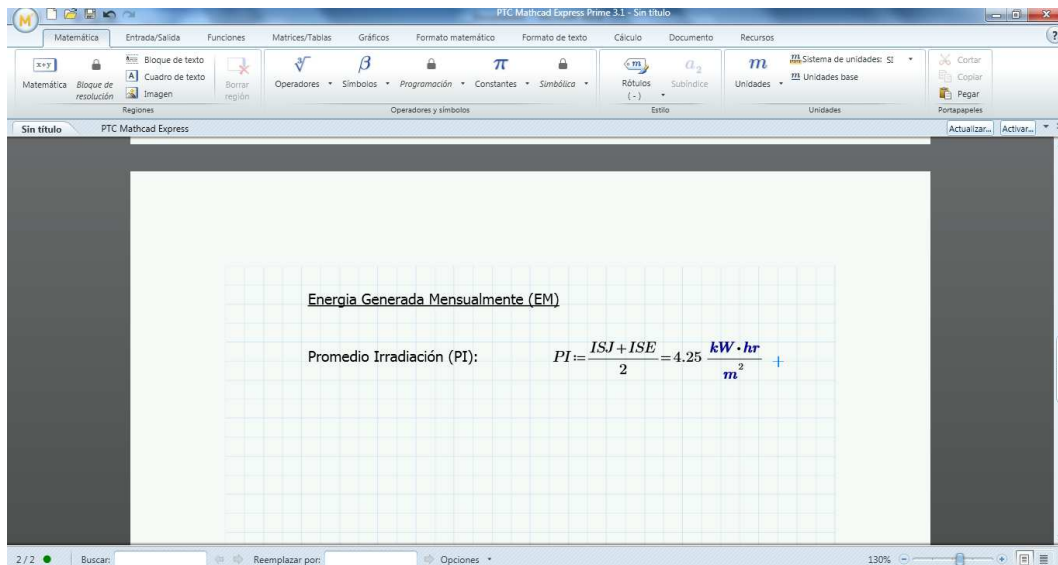


Figura 15. Ajuste de unidades

El resto de los cálculos que se muestran en la Fig. 16 se realizaron de la misma manera, insertando cada uno con una breve explicación y adoptando las unidades más habituales para cada magnitud según la disciplina en cuestión.

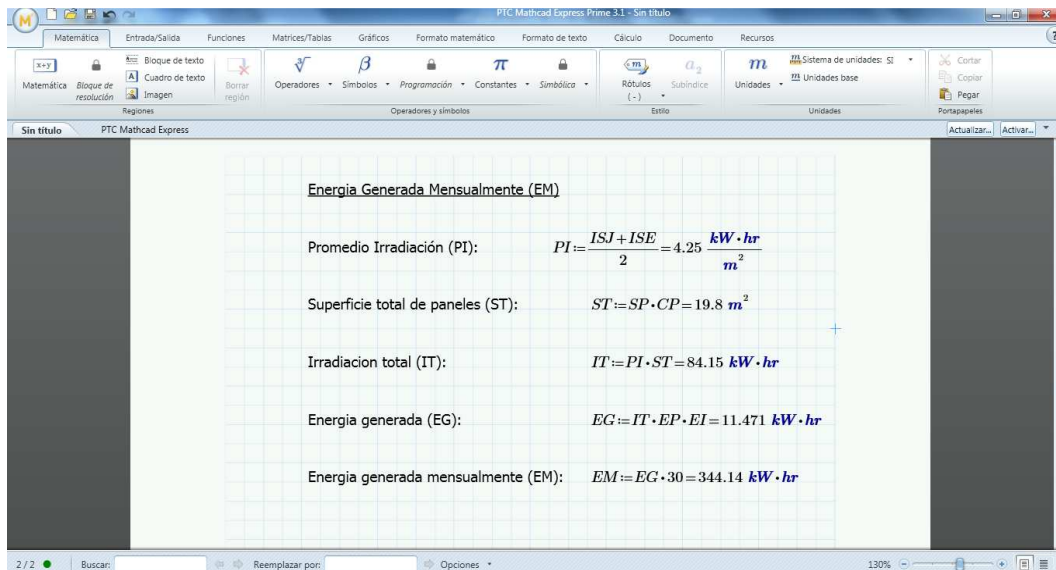


Figura 16. Ejemplo de uso de unidades

En caso de tener dudas con respecto a cómo se escribe una unidad de medida, se puede recurrir a la parte superior derecha de la pantalla para hacer clic en **Unidades** (de la pestaña **Matemática**), con la opción adicional de trabajar según el Sistema Internacional de Unidades (SI), el CGS, o el USCS (Fig. 17).

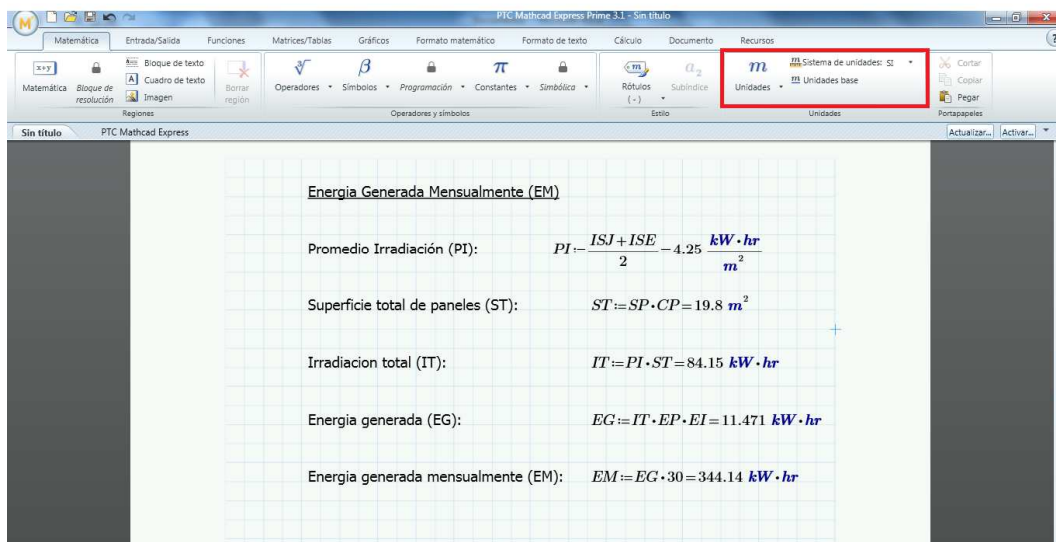



Figura 17. Opciones relativas a las unidades

Para guardar el archivo, simplemente se puede usar el icono  de manera similar a cualquier *software* conocido.

Discusión y conclusiones

Gracias a la facilidad y flexibilidad del procesamiento de variables, cálculos y unidades, combinadas con la posibilidad de insertar texto de formato personalizable, el *software* descrito resulta sumamente útil para proyectos de ingeniería, incluidos trabajos académicos de carreras de ingeniería.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a los responsables del convenio asociativo público-privado IRESUD por su asesoramiento en la implementación del proyecto mencionado en la Facultad.

El presente trabajo se realizó en el marco del PID (Proyecto de Investigación y Desarrollo) "Inyección de energía de paneles solares fotovoltaicos a la red eléctrica", código ENUTNSF0003648, homologado por el Rectorado de UTN y desarrollado en la Facultad.

Referencias

[1] PTC Inc., "*Software de cálculos de ingeniería*", Needham, MA (EE. UU.), disponible en <http://es.ptc.com/product/mathcad> (disponibilidad verificada en enero de 2016)

[2] La Voz de San Justo, "*La UTN San Francisco ya genera energía solar*", San Francisco (Argentina), 11 de agosto de 2015

[3] IRESUD, "*Energía solar*", Buenos Aires (Argentina), disponible en <http://iresud.com.ar/queres-saber-mas/energia-solar/> (disponibilidad verificada en enero de 2016)

[4] Brandoni Solare Spa, "*Modulo FV BRP6360064-XXX. Scheda tecnica*", Castelfidardo (Italia), septiembre de 2012, rev. nro. 16

[5] AEG Power Solutions GmbH, "*Protect PV 2000 & 2800 On-Grid Solar Inverter. Operating Instructions*", Warstein-Belecke (Germany), July 2012

[6] Grupo de Estudios de la Radiación Solar (GERSolar), "*Publicaciones*", Luján (Argentina), disponible en <http://www.gersol.unlu.edu.ar/publicaciones.html> (disponibilidad verificada en enero de 2016)

[7] Righini R, Grossi Gallegos H, "*Mapa de energía solar colectada anualmente por un plano inclinado un ángulo óptimo en la República Argentina*", Actas del IV Congreso Nacional/Tercero Iberoamericano sobre Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía (HYFUSEN), 2011 (pp. 11-161)

[8] Durán JC, Socolovsky HP, Raggio D, Godfrin EM, Jakimczyk J, et ál. "*Proyecto IRESUD: interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica en ambientes urbanos. Estado de avance a julio de 2014 y primeras mediciones en sistemas piloto*", Actas de la XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 2, 2014 (pp. 04.127-04.137), ISBN 978-987-29873-0-5