

**MANUAL DEL PROGRAMA PARA CALCULAR  
LA ENFICC DE PLANTAS SOLARES  
FOTOVOLTAICAS**

## CONTENIDO

1. Antecedentes .....	3
2. Introducción.....	3
3. Manual del programa para el cálculo de la ENFICC solar fotovoltaica.....	3
3.1 Información definida en la resolución .....	5
3.2 Información de entrada .....	6
3.3 Información de salida .....	7

## 1. Antecedentes

Dado el interés que se ha manifestado por el desarrollo de plantas solares fotovoltaicas, la Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, encontró conveniente definir la metodología para la participación en el Cargo por Confiabilidad de este tipo de tecnología.

Por lo cual la CREG contrató una consultoría especializada con la firma FONROCHE con el objeto de que diseñara la metodología de cálculo de energía firme para el Cargo por Confiabilidad, ENFICC, de plantas solares fotovoltaicas. Que con base en este estudio y el análisis de comentarios del proyecto de Resolución CREG 227 de 2015, la CREG estableció la metodología para determinar la energía firme de plantas solares fotovoltaicas en la Resolución CREG 243 de 2016.

Así mismo, como en el numeral 4 del artículo 4 de la Resolución CREG 243 de 2016, se definió que la CREG publicaría mediante Circular el modelo al cual se le ingresarían los parámetros declarados por el agente para determinar la ENFICC y la Energía Disponible Adicional, EDA, para ser utilizados por el CND para su verificación.

Por lo anterior, la CREG definió el modelo de cálculo de la ENFICC y la EDA de plantas solares fotovoltaicas junto con el manual del modelo.

## 2. Introducción

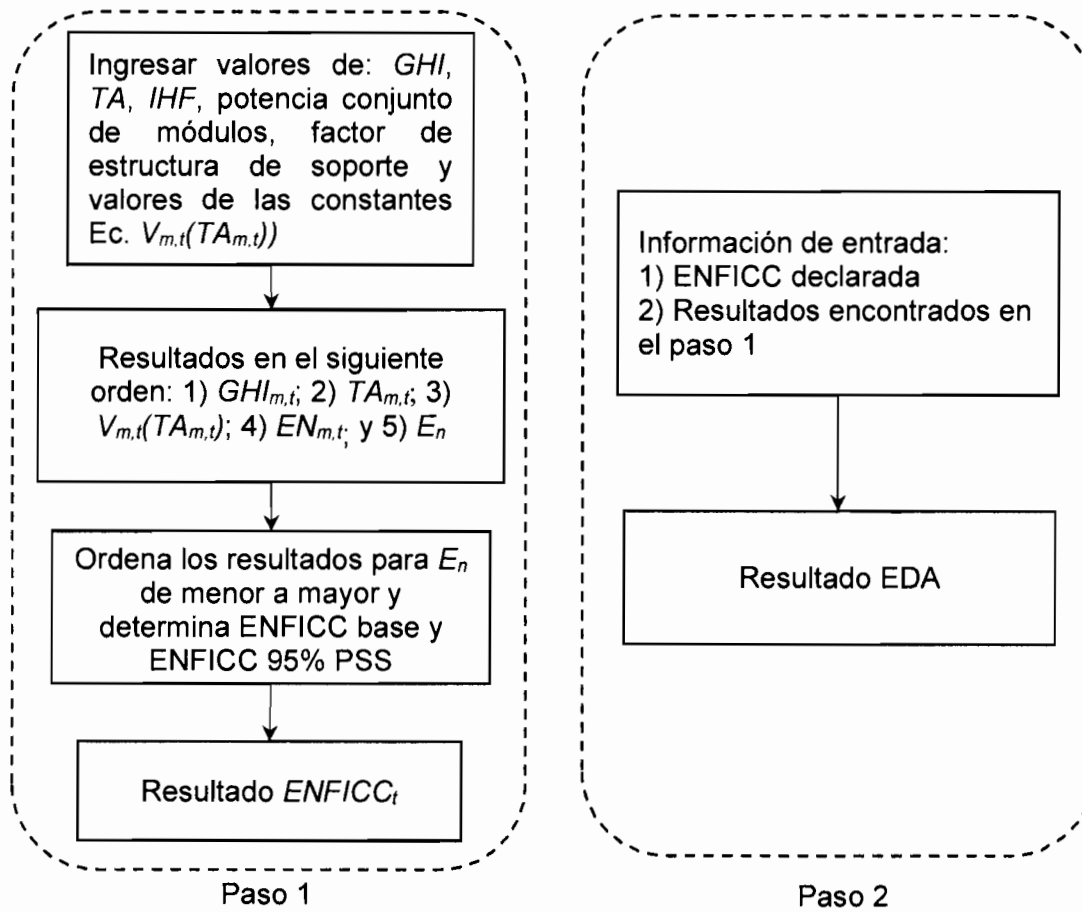
Este documento detalla a través de un manual, la manera de utilizar el modelo desarrollado para calcular la ENFICC de plantas solares fotovoltaicas descrito en la Resolución CREG 243 de 2016. Igualmente se detalla del modelo el cálculo de la EDA de estas plantas, la cual está definida como la energía que excede la ENFICC declarada para cada uno de los meses del periodo que definió la ENFICC.

## 3. Manual del programa para el cálculo de la ENFICC solar fotovoltaica

El programa para calcular la ENFICC está contenido en un archivo de Excel con nombre "ENFICC\_solar\_fotovoltaica.xls" el cual tiene desarrollada una macro en Microsoft Visual Basic 7.1.<sup>1</sup>

La macro realiza el cálculo en forma secuencial en dos pasos de acuerdo con la Gráfica 1 y así mismo se muestran los resultados.

<sup>1</sup> Es necesario que cuando se abra el archivo en Excel se habilite el uso de macros



**Gráfica 1. Esquema de solución y presentación de resultados**

Los términos utilizados en la gráfica 1 tienen los siguientes significados:

$GHI_{m,t}$	Irradiación horizontal agregada en el mes $m$ del año $t$ . [kWh-mes/m <sup>2</sup> ]
$TA_{m,t}$	Promedio de temperatura ambiente para cada mes $m$ del año $t$ , en °C
$V_{m,t}(TA_{m,t})$	Valor por pérdidas debidas a temperatura ambiente según el tipo de modulo fotovoltaico utilizado para el mes $m$ del año $t$
$EN_{m,t}$	Energía generada en el mes $m$ del año $t$ , en kWh/mes.
$E_n$	Energía diaria del enésimo dato en, kWh/día
$IHF$	Indisponibilidad histórica forzada

### 3.1 Información definida en la resolución

El archivo de Excel contiene una hoja con nombre “Entrada”, donde se muestra la información de parámetros definidos en la Resolución CREG 243 de 2016. Esta información sirve al usuario de guía para seleccionar algunos datos para caracterizar la planta solar fotovoltaica. Esta hoja tiene el aspecto mostrado (para las celdas) en las tablas 1 a 3 que se muestran a continuación.

**Tabla 1. Valores de  $I_{STC}$  y  $K_c$**

<b>1</b>	<i>Irradiancia <math>I_{STC}</math> (kW/m<sup>2</sup>)</i>
<b>0,9139</b>	<i>Constantes por pérdidas <math>K_c</math></i>

**Tabla 2. Valores de  $K_{inc}$**

<b>Factor</b>	<b>Tecnología de estructura de soporte</b>	<b><math>K_{inc}</math></b>
<b>F1</b>	<i>Estructura fija orientada al SUR en inclinada en su grado óptimo.</i>	<i>0,9620</i>
<b>F2</b>	<i>Estructura de seguidor a un eje horizontal Norte-Sur y rotación Este-Oeste con retro- seguimiento</i>	<i>1,1861</i>
<b>F3</b>	<i>Estructura de seguidor a un eje inclinado Norte-Sur y rotación Este-Oeste con retro- seguimiento</i>	<i>1,1958</i>
<b>F4</b>	<i>Estructura de seguidor a dos ejes sin retro- seguimiento</i>	<i>1,2530</i>

**Tabla 3. Valores de constantes  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , y  $d$ .**

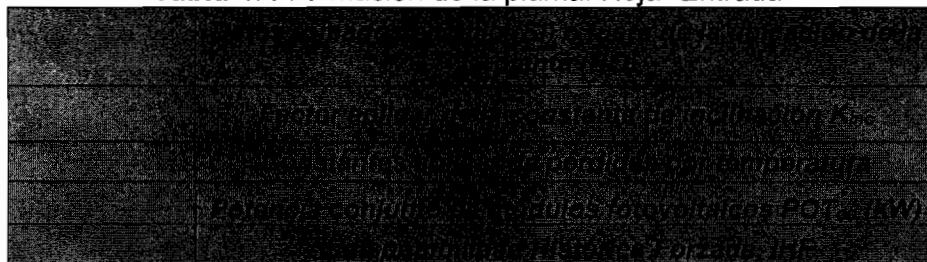
<b>Constantes</b>	<b>Tipo módulo y estructura</b>	<b><math>a</math></b>	<b><math>b</math></b>	<b><math>c</math></b>	<b><math>d</math></b>
<b>C1</b>	<i>Fija - cSi</i>	<i>3,80E-05</i>	<i>-0,00240</i>	<i>0,05224</i>	<i>-0,31210</i>
<b>C2</b>	<i>Fija - TF</i>	<i>2,60E-05</i>	<i>-0,00170</i>	<i>0,03730</i>	<i>-0,21260</i>
<b>C3</b>	<i>1 Eje - cSi Plano</i>	<i>1,10E-05</i>	<i>-0,00070</i>	<i>0,01850</i>	<i>-0,11570</i>
<b>C4</b>	<i>1 Eje - cSi Inclinado</i>	<i>1,10E-05</i>	<i>-0,00070</i>	<i>0,01850</i>	<i>-0,11570</i>
<b>C5</b>	<i>1 Eje - TF Plano</i>	<i>-1,30E-05</i>	<i>0,00070</i>	<i>-0,00920</i>	<i>0,05010</i>
<b>C6</b>	<i>1 Eje - TF inclinado</i>	<i>-1,30E-05</i>	<i>0,00074</i>	<i>-0,00920</i>	<i>0,05011</i>
<b>C7</b>	<i>2Ejes - cSi</i>	<i>3,70E-06</i>	<i>-0,00020</i>	<i>0,01032</i>	<i>-0,06150</i>

La información de las celdas mostradas anteriormente es predeterminada, por tal motivo en la hoja "Entrada" no se permite su modificación.

### 3.2 Información de entrada

El archivo de Excel contiene información que debe incluir el usuario en las siguientes hojas: "Entrada", "SerieDatos" y "EDA". Las partes de cada hoja de Excel donde el usuario debe registrar la información son fácilmente reconocibles ya que las celdas tienen el fondo en color azul. En las tablas 4 a 6 se muestra la información de entrada.

**Tabla 4. Información de la planta. Hoja "Entrada"**



En la tabla anterior se observa las celdas vacías de entrada de información, donde el usuario debe indicar si los datos fueron tomados en el sitio con la palabra "SI", en caso contrario la palabra "NO". Luego, con base en la información de la tabla 2 indicar según sea el caso que corresponda; llenar el campo con algunos de los casos "F1", "F2", "F3" o "F4", para que la macro asigne un valor del factor de inclinación de acuerdo con la tecnología de estructura de soporte. Así mismo, se debe indicar el tipo de módulo y estructura según el caso que corresponda (constantes "C1" a "C7") de acuerdo con la tabla 3.

El usuario debe registrar la potencia del conjunto de módulos fotovoltaicos en kW con cero cifras decimales y el índice de indisponibilidad histórica forzada, IHF, con 4 cifras decimales, tal y como se encuentra establecido en el Anexo 5 de la Resolución CREG 071 de 2006.

Por otra parte, la tabla 5 muestra la entrada para la serie de datos, donde el usuario debe registrar para cada medida: 1) la fecha en el formato día/mes/año (ejemplo: 02/10/2000); 2) el valor de irradiación horizontal agregada; y 3) valor de temperatura ambiente.

**Tabla 5. Información de la planta serie de datos. Hoja "SerieDatos"**



La macro genera una advertencia (solo para información del usuario) en caso de que se tengan valores negativos para parámetros GHI o TA, pero de igual forma se realizarán los cálculos.

Finalmente el usuario debe ingresar el valor de ENFICC declarado en la hoja "EDA" (tabla 6) para calcular la EDA en el periodo establecido por la regulación (periodo de diciembre a noviembre).

**Tabla 6. Información de ENFICC declarado**



### 3.3 Información de salida

Para obtener la información de salida se dispone de dos botones que realizan el cálculo (luego de hacer clic en ellos). El botón que determina los valores descritos en el paso 1 de la gráfica 1 se llama "CALCULAR ENFICC" y se encuentra ubicado en la hoja "Entrada". El botón que determina los valores descritos en el paso 2 de la gráfica 1 se llama "CALCULAR EDA". Para obtener el cálculo de la EDA se debe primero haber obtenido los resultados de la ENFICC. La información de salida está organizada de la siguiente forma:

1. En la hoja "Salidas" se muestran los resultados con la apariencia de la tabla 7, donde estarán ordenados desde el primer año y mes.

**Tabla 7. Información hoja "Salida".**

Año	Mes	GHI_m (kWh/mes)	TA_m (°C)	V_m	EN_m (kWh/mes)	E_n (kWh/día)

2. En la hoja "ENFICC" se muestran los resultados de energía diaria del enésimo dato ( $E_n$  kWh/día) con la apariencia de la tabla 8, donde estarán ordenados de menor a mayor. De esta forma, se determina la ENFICC Base y ENFICC 95% como lo define el numeral 6 del artículo 1 de la Resolución CREG 243 de 206. En la tabla 9 se especifica el año y el mes al que pertenecen los valores calculados de ENFICC

**Tabla 8. Información hoja "ENFICC".**

Año	Mes	E_n (kWh/día)

**Tabla 9. Información hoja "ENFICC". ENFICC Base y ENFICC 95% PSS.**

Valores iniciales		Año referencia	Mes referencia
ENFICC BASE (kWh/día)			
ENFICC 95PSS (kWh/día)			

3. En la hoja "SerieENFICC" se muestra el cálculo de la ENFICC Base y ENFICC 95% PSS para cada año  $t$  afectados por el factor de uso  $K_{med,t}$ , según corresponda, definido en la resolución. La apariencia de salida es como se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10.** Información hoja "SerieENFICC".

AÑO	$K_{med,t}$ sin datos en sitio	$K_{med,t}$ con datos en sitio	ENFICC <sub>t</sub> BASE (kWh/día)	ENFICC <sub>t</sub> 95PSS (kWh/día)
1	0,8737	0,8899		
2	0,8584	0,8744		
3	0,8540	0,8699		
⋮	⋮	⋮		
20	0,7798	0,7943		

El valor  $K_{med,t}$  es predeterminado, por tal motivo en la hoja "SerieENFICC" no se permite su modificación. Así mismo, en esta hoja se especifican de nuevo los valores de ENFICC Base y ENFICC 95% PSS.

4. En la hoja "EDA" se muestran los resultados con la apariencia de las tablas 11, 12 y 13; donde se especifica: 1) Tabla 11. La ENFICC declarada a utilizar (esta puede ajustarse a la ENFICC Base si excede a la ENFICC 95% PSS); 2) Tabla 12. Los datos de referencia de energía diaria ( $E_n$  en kWh/día, con el año y mes) para obtener los resultados de la Tabla 13; y 3) Tabla 13. El cálculo de la energía disponible adicional, EDA, para cada año  $t$  y en el periodo de los meses de Diciembre<sub>t</sub> a Noviembre<sub>t+1</sub> (estos valores son afectados por  $K_{med,t}$ )

**Tabla 11.** Información con ENFICC declarado a utilizar.

ENFICC (kWh/día) DECLARADA A UTILIZAR:	
---	--

**Tabla 12.** Información de  $E_n$  de referencia para calcular datos de tabla 13.

Año de referencia	Mes de referencia	$E_n$ de referencia (kWh/día)

**Tabla 13.** Información con EDA.

Año	EDA Diciembre (kWh/día)	EDA Enero (kWh/día)	...	EDA noviembre (kWh/día)
1			...	
2			...	
⋮				
20			...	



Dado que un periodo de vigencia de obligación del Cargo por Confiabilidad inicia en diciembre del año  $t$  y finaliza en noviembre del año  $t+1$ , la EDA será la energía que excede la ENFICC en cada uno de los meses del periodo de vigencia de obligación que el agente definió en su declaración de ENFICC, tal y como se encuentra definido en el artículo 1 de la Resolución CREG 243 de 2016.

En caso de que no se tengan valores de ENFICC para el año y mes correspondiente al periodo de la declaración, ese mes y año no tendrá energía adicional.

Los datos de entrada asociados a GHI y TA deben ser de 4 cifras decimales. El valor de entrada de potencia de los módulos fotovoltaicos debe ser con cero cifras decimales. Los valores de salida de ENFICC Base, ENFICC 95% PSS y EDA para el periodo definido se presentan con cero cifras decimales. Así mismo, dentro del proceso de cálculo de la macro, las variables  $GHI_m$ ,  $TA_m$  y  $V_m$  tendrán un redondeo de 4 cifras decimales y  $EN_m$  y  $E_n$  tendrán un redondeo de cero cifras decimales.

Finalmente, la macro incluye en la hoja "Entrada" un botón para borrar los datos de salida.