

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

Diciembre de 2018

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	8



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.

Con posterioridad, se recibieron comentarios por parte de XM S.A. E.S.P., con radicado CREG E-2017-001362 y del Consejo Nacional de Operación, CNO, con radicado CREG E-2017-003792, solicitando ajustes y aclaración en los procedimientos de la Resolución CREG 243 de 2016. En consecuencia, la Comisión decide publicar a comentarios el proyecto de Resolución CREG 111 de 2017, *Por la cual se realizan ajustes a la Resolución CREG 243 de 2016 que define la ENFICC de plantas solares fotovoltaicas.*

Luego del tiempo de comentarios y el análisis interno en la CREG, la Comisión expide la Resolución CREG 201 de 2017, “Por la cual se modifica la Resolución CREG 243 de 2016, que define la metodología para determinar la energía firme para el Cargo por Confiabilidad, ENFICC, de plantas solares fotovoltaicas”, que deroga la resolución CREG 243 de 2016.

De acuerdo con el numeral 5 del artículo 4 de la Resolución CREG 201 de 2017, la CREG publicaría mediante Circular el modelo al cual se le ingresarían los parámetros declarados por el agente para determinar la ENFICC, la ENFICC_t 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, ENFICC_t 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, ENFICC_t y EDA de plantas solares fotovoltaicas descrito en la Resolución CREG 201 de 2017.

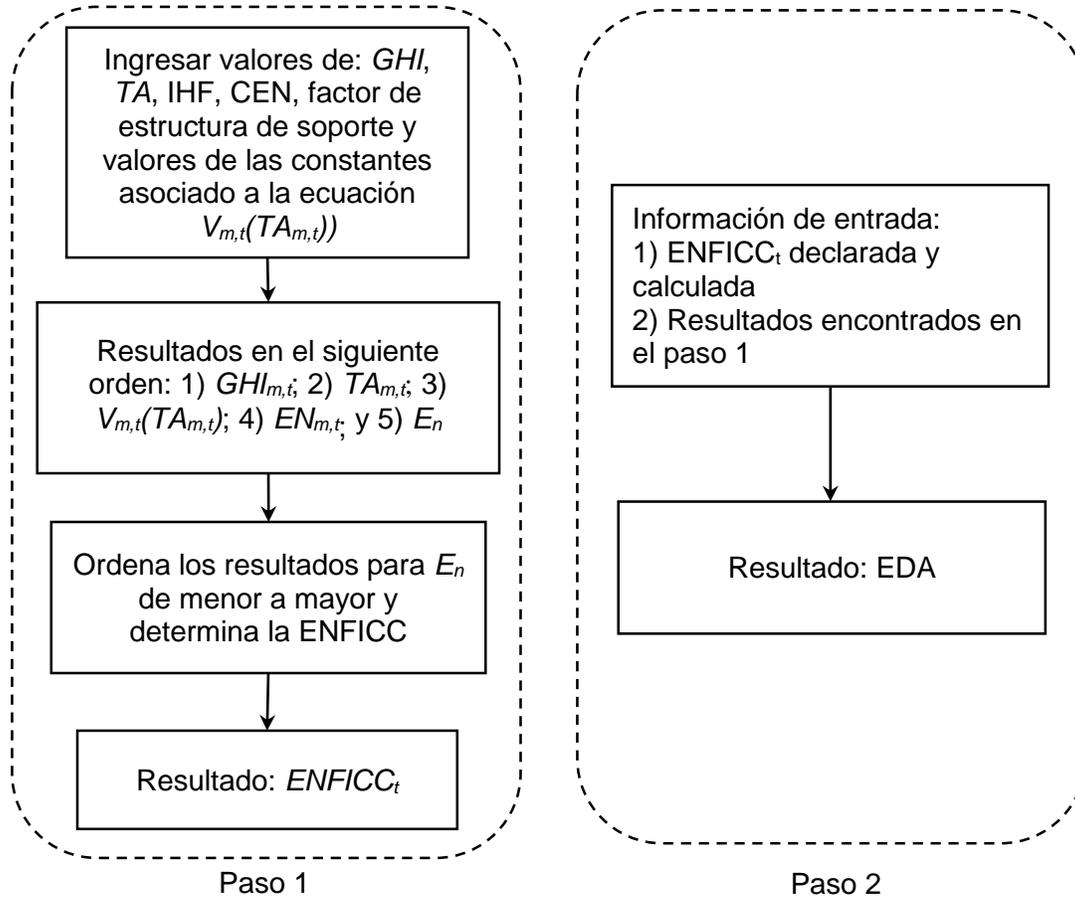
3. Manual del programa para el cálculo de la ENFICC solar fotovoltaica

El programa de cálculo está contenido en un archivo de Excel anexo a la Circular CREG 106 de 2018 el cual tiene desarrollada una macro en Microsoft Visual Basic 7.1 y en Excel 2016.¹

¹ Es necesario que cuando se abra el archivo en Excel se habilite el uso de macros



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



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 ²]
$TA_{m,t}$	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
CEN	Capacidad efectiva neta de la planta solar fotovoltaica en MW

El valor de $ENFICC_t$, es el valor de ENFICC corregido de acuerdo con un valor de degradación que establece el Anexo 1 de la Resolución CREG 2017 de 2017 desde el año $t=1$ hasta el año $t=20$. Por lo tanto, el proponente participará en la subasta con un valor de energía firme que no podrá superar la $ENFICC_t$, siendo t el año que corresponde a la asignación de OEF que se convoca en la subasta. Resaltamos que el año $t=1$ iniciará en diciembre del año en que entra en operación la planta.

En el procedimiento de declaración de ENFICC, el proponente deberá anexar una comunicación con los valores de energía para cada año t que serán usados en el cálculo de la EDA para cada año t . Estos valores no deberán superar los valores de referencia calculados de acuerdo con la metodología. No obstante, si se supera el $t=20$, entendemos que este último quedaría fijo por el resto de los años.

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 201 de 2017. 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

1	<i>Irradiancia I_{STC} (kW/m²)</i>
0,9139	<i>Constante por pérdidas de un sistema solar fotovoltaico - K_c</i>
1000	<i>Factor de conversión de unidades de MW a kW para la CEN</i>

Tabla 2. Valores de K_{inc}

Factor	Tecnología de estructura de soporte	K_{inc}
F1	<i>Estructura fija orientada al SUR en inclinada en su grado óptimo.</i>	<i>0,9688</i>
F2	<i>Estructura de seguidor a un eje horizontal Norte-Sur y rotación Este-Oeste con retro- seguimiento</i>	<i>1,1981</i>
F3	<i>Estructura de seguidor a un eje inclinado Norte-Sur y rotación Este-Oeste con retro- seguimiento</i>	<i>1,2078</i>
F4	<i>Estructura de seguidor a dos ejes sin retro- seguimiento</i>	<i>1,2695</i>

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

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

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 “SerieENFICC”. 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”

	Datos tomados en sitio (SI) o fuera de la ubicación de la planta (NO)
	Constante de inclinación a elegir de acuerdo con el tipo de tecnología de estructura de soporte - Kinc
	Constantes a elegir debidas a las pérdidas por temperatura y el tipo de módulo y estructura - a, b, c y d
	Capacidad efectiva neta de la Planta Solar Fotovoltaica (MW)
	Indisponibilidad Histórica Forzada, IHF

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”. Para que los datos sean considerados como tomados en sitio deben tenerse 10 años de datos en sitio. 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 (*kinc*). Así mismo, se debe indicar el conjunto de factores de acuerdo al tipo de módulo y estructura (a, b, c y d) según el caso que corresponda, es decir, llenar el campo con alguno de los casos “C1” a “C7” de la tabla 3.

El usuario debe registrar la capacidad efectiva neta (MW) con dos 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. Los datos de entrada asociados a GHI y TA deben ser de 4 cifras decimales.

Por otra parte, la tabla 5 muestra la entrada para la serie de datos, donde el usuario debe registrar para cada medida: 1) el año, mes y día en que se realizó la medida; 2) la hora en que se registró la medida; 3) el valor de irradiación horizontal; y 4) valor de temperatura ambiente.

Tabla 5. Información de la planta serie de datos. Hoja “SerieDatos”

Año	Mes	Día	Hora	GHI (kWh/m²)	TA (°C)

Es un requisito que el número de registros en la columna año y columna mes coincida en número de datos ingresados por el usuario. Además, no deben existir celdas vacías en estas columnas entre el primer dato registrado y el último valor registrado por el usuario.

Lo anterior es debido a que el punto de referencia de cálculo es el año y mes, y por supuesto el valor de GHI y TA. Así las cosas, el cálculo se realiza con el número de datos que se tengan registro y que exista un valor para los campos año y mes.

En todo caso la macro de Excel creará un mensaje de alerta y no realizará el cálculo si existen problemas de datos en las columnas año y mes.

En cuanto a la columna día, esta no se encuentra en los formatos de declaración y es opcional. Sirve para tener un orden de las medidas por días que ayudan al usuario de la macro, caso se necesite.

Por otra parte, la macro genera una advertencia (solo para información del usuario) en caso de que se tengan valores iguales a cero para el parámetro GHI. La resolución dispone que, para el cálculo de la energía generada por hora en un mes, sólo se tendrán en cuenta los datos de irradiación horizontal y de temperatura ambiente para aquellas horas del día en las cuales se tengan datos de irradiación horizontal diferente a cero.

Finalmente, el usuario debe ingresar el valor de ENFICC_t declarado en la hoja “SerieENFICC” (tabla 6) para calcular la EDA en el periodo establecido por la regulación (periodo de diciembre a noviembre).

Tabla 6. Información de ENFICC_t declarado

AÑO	ENFICC_t DECLARADO (kWh/día)
1	
⋮	
20	

Como se mencionó anteriormente, la macro calcula un valor de ENFICC (que no es degradado) y un valor de ENFICC_t (degradado). En todo caso, el valor de ENFICC utilizado para ofertar en la subasta corresponde al del año t de acuerdo a la curva ENFICC_t, siendo t el año que corresponde a la asignación de OEF que se convoca en la subasta. Resaltamos que el año t=1 iniciará en diciembre del año en que entra en operación la planta. El agente podrá declarar un valor inferior de ENFICC para cada año t pero nunca superior al calculado por el modelo.

Se recuerda que la ENFICC es degradada con el factor de $K_{med,t}$ definido en el Anexo 1 de la Resolución CREG 201 de 2017 y que depende de si los datos son o no son medidos en sitio.

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 y ENFICC_t (paso 1). El usuario también debe llenar, luego del paso 1, los valores de ENFICC_t declarados. 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_t (kWh- mes/m²)	TA_m_t(°C)	V_m_t	EN_m_t (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 (que aún no se le aplica el factor de degradación) como lo define el numeral 4 del artículo 1 de la Resolución CREG 201 de 2017 (esta ENFICC que aún no está degradada también aparece en las hojas “Entrada” y “SerieENFICC”). En la tabla 9 se especifica el año y el mes al que pertenecen los valores calculados de ENFICC para efectos del cálculo de la EDA.

Tabla 8. Información hoja “ENFICC”.

Año	Mes	E _n (kWh/día)

Tabla 9. Información hoja “ENFICC”.

	Año referencia	Mes referencia
ENFICC NO DEGRADADA (kWh/día)		

3. En la hoja “SerieENFICC” se muestra el cálculo de la ENFICC_t para cada año *t* afectados por el factor de uso $K_{med,t}$ según corresponda, como lo define el numeral 4 del artículo 1 de la Resolución CREG 201 de 2017. 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 _t (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 el valor de ENFICC y el año y mes de referencia.

4. En la hoja “EDA” se muestran los resultados con la apariencia de las tablas 11 y 12; donde se especifica: 1) Tabla 11. Los datos de referencia de energía diaria (E_n en kWh/día, con el año y mes) para obtener los resultados de la Tabla 12; y 2) Tabla 12. El cálculo de la energía disponible adicional, EDA, para cada año *t* y en el periodo de los meses de Diciembre_t a Noviembre_{t+1} (estos valores son afectados por $K_{med,t}$).

Tabla 11. 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 12. Información con EDA.

Año	EDA Diciembre (kWh/día)	EDA Enero (kWh/día)	...	EDA noviembre (kWh/día)	ENFICC_t (kWh/día) DECLARADO A UTILIZAR
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_t en cada uno de los meses del periodo de vigencia de obligación que el agente definió en su declaración.

La última Columna “ENFICC_t (kWh/día) DECLARADO A UTILIZAR” lo calcula la macro y depende de los valores ingresados en la hoja “SerieENFICC”, ya que si la ENFICC_t declarada excede la calculada por la macro se utilizará por defecto la calculada por la Macro.

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.

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