

Proyecto final de Ing. Eléctrica

Título:

“Desarrollo de modelos matemáticos para evaluar la inserción de fuentes fotovoltaicas en el sistema de distribución eléctrico urbano.”

Alumno: Alexis Gabriel Ibarra

Año: 2015

Índice:

1. Introducción: Justificación de temas, estado del arte.
2. Marco Teórico: Fundamentos de sistemas fotovoltaicos (SFV).
3. Resumen de Trabajos realizados.
 - 3.1 Calculo térmico y armado de tableros.
 - 3.2 Diseño de modelos matemáticos y software
 - 3.3 Mediciones Experimentales.
 - 3.4 validación de modelos desarrollados y análisis de error .
4. Resultados y discusión.
5. Desarrollo final de software PV-ING.
6. Conclusiones.

1.Introducción: Justificación de temas

Reducir las emisiones de efecto invernadero es una prioridad de primer orden mundial.

En el contexto local, Argentina tiene otras urgencias en el ámbito energético:

- Diversificar su matriz de generación.
- Ampliar la capacidad de las redes de distribución.
- Mejorar la calidad del servicio y calidad del producto eléctrico.

En el ámbito urbano de trabajo (la ciudad de Corrientes), las urgencias son las mismas, incluyendo además:

- Falta de planeamiento y obras de expansión en distribución de MT y BT.
- Falta de mantenimiento preventivo y paliativo en redes existentes.

1.Introducción: Justificación de temas

Los inconvenientes nombrados se resuelven, al menos parcialmente, con:

- Sistemas fotovoltaicos autónomos
- Sistemas fotovoltaicos conectados a red (SFCR)

Con las siguientes ventajas:

- Alta confiabilidad.
- Acoplamiento arquitectónico
- Baja complejidad de instalación.
- Elevada vida útil: ~20 años para SFCR.
- Máxima generación en picos de consumo.

1.Introducción: Justificación de temas

Los SFCR poseen las siguientes complicaciones (desventajas):

- Generación a oferta, no a demanda.
- Circuito equivalente del generador complicado: Fuente de potencia.
- Puede contribuir a la inestabilidad en tensión de la red de BT (circuito lazo abierto).
- Imposibilidad de sobre carga de la fuente de energía.
- Variación «Instantánea » de la oferta energética.
- No controlan la tensión ni la frecuencia de red (Pot. Del generador < 10kWp)

1.Introducción: Justificación de temas

Por las razones nombradas se requieren exhaustivos estudios para planificar la inclusión de SFCR distribuidos en la red eléctrica y su correcto planeamiento en sistemas eléctricos de potencia.

Por lo tanto, el desarrollo de modelos matemáticos , software y simulaciones, son fundamentales para la planificación y análisis de las redes con inclusión de SFCR.

En este sentido se limito el desarrollo realizado a la siguiente red y SFCR:

- Red: red de Baja tensión del nuevo edificio de ingeniería, FaCENA-UNNe
- Sistema: SFCR Monofásico de 6,7kWp (ubicado en el nuevo edif. FaCENA-UNNE)

2. Marco teórico: Fundamentos de SFV

El generador fotovoltaico (FV): Principio físico

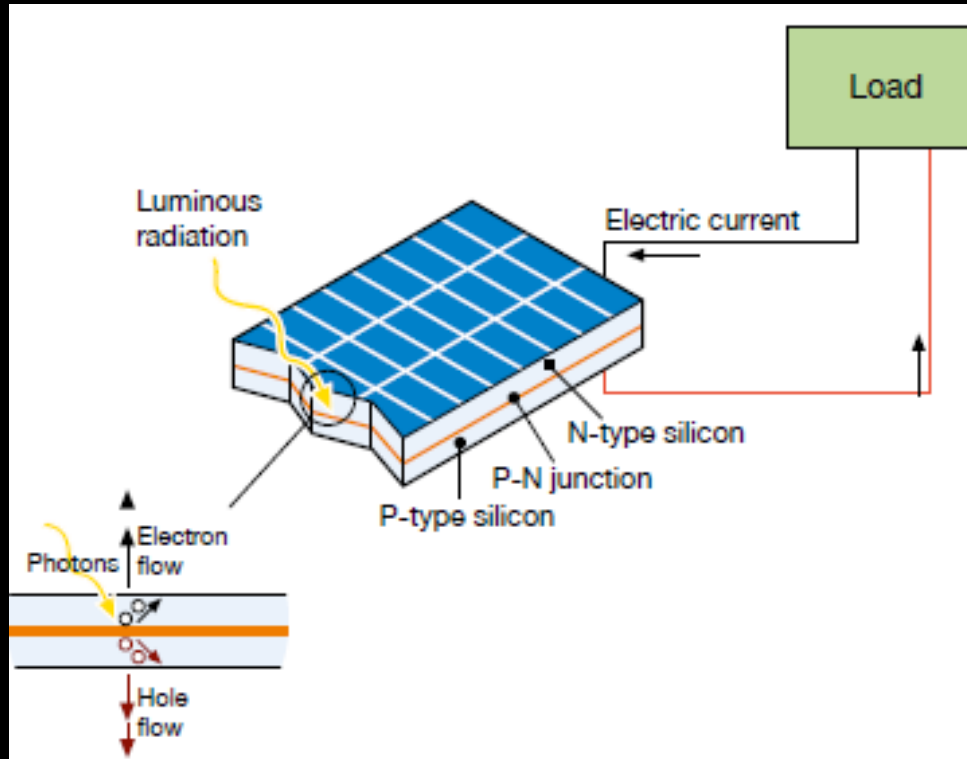
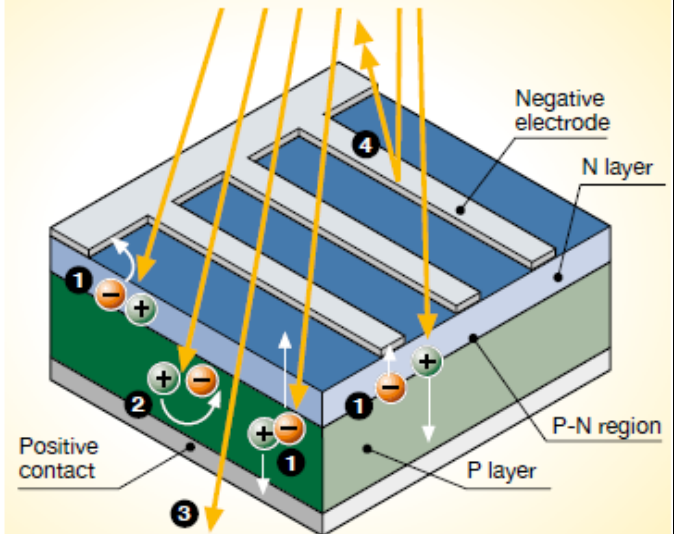


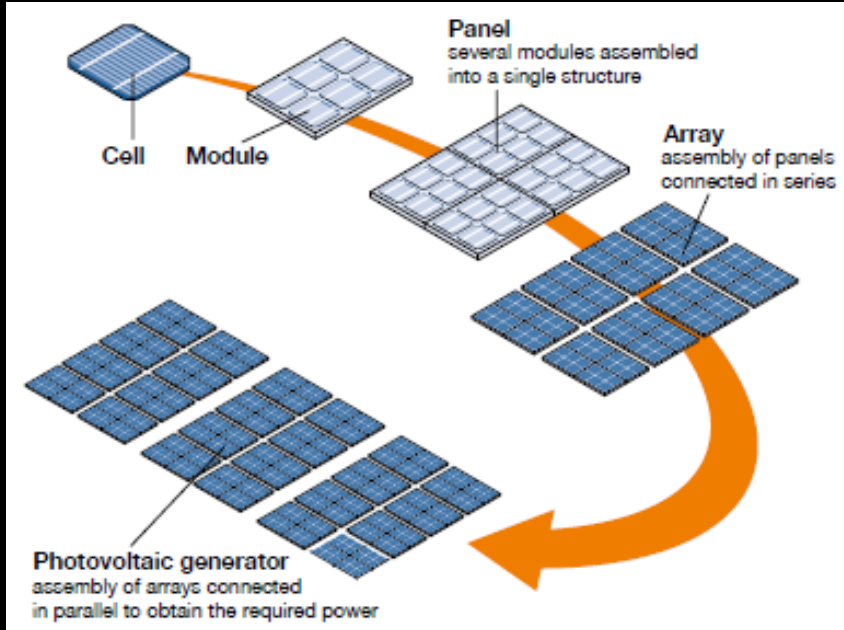
Figure 1.9 - Photovoltaic effect

- 1 Separation of the charge
- 2 Recombination
- 3 Transmission
- 4 Reflection and shading of the front contacts



2. Marco teórico: Fundamentos de SFV

El generador fotovoltaico (FV): Tecnologías y disposición.



2. Marco teórico: Fundamentos de SFV

El generador fotovoltaico (FV): Causas principales de variación en la Energía producida:

- Irradiancia
- Temperatura
- Sombreado

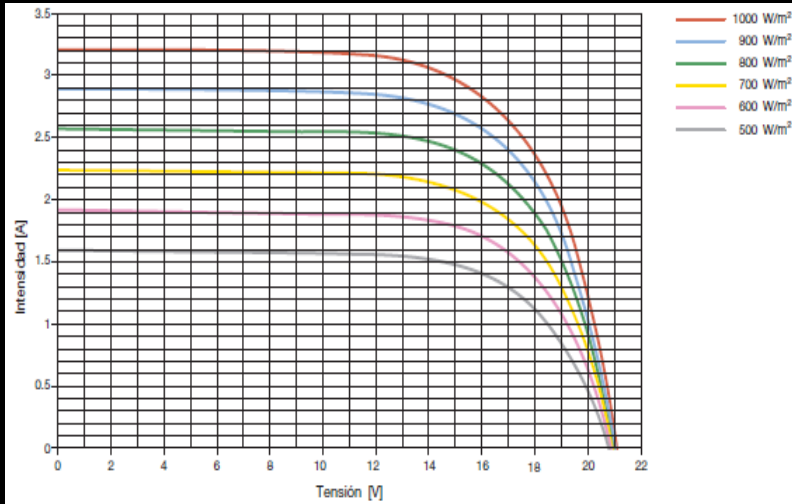
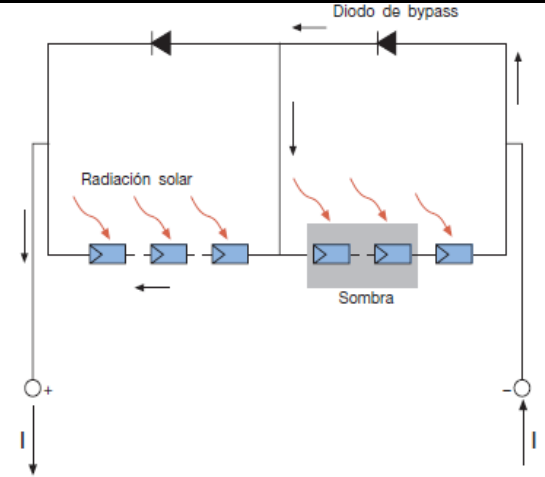
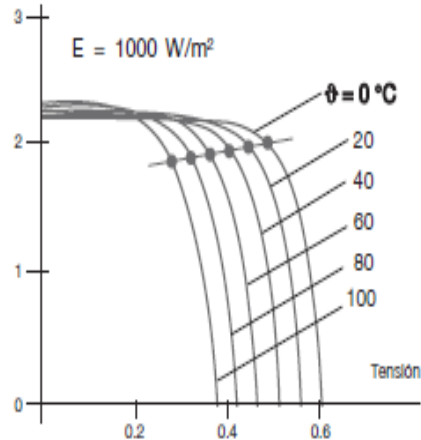


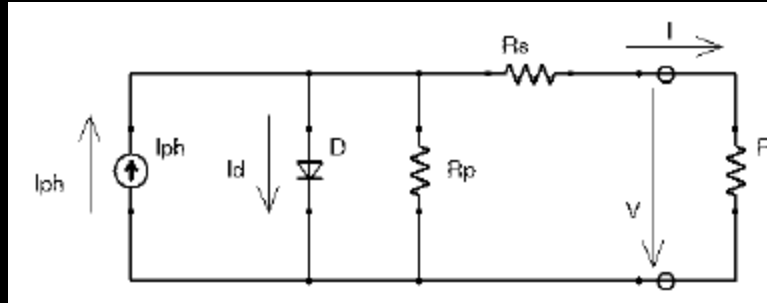
Figura 2.12



2. Marco teórico: Fundamentos de SFV

El generador fotovoltaico (FV): Circuitos equivalentes

- Modelo de 5 parámetros :



$$I = I_{cc} \left[1 - e^{\left(\frac{V - V_{ca} + I \cdot R_s}{m \cdot N \cdot V_t} \right)} \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p}$$

$$P_{max} = I * V$$

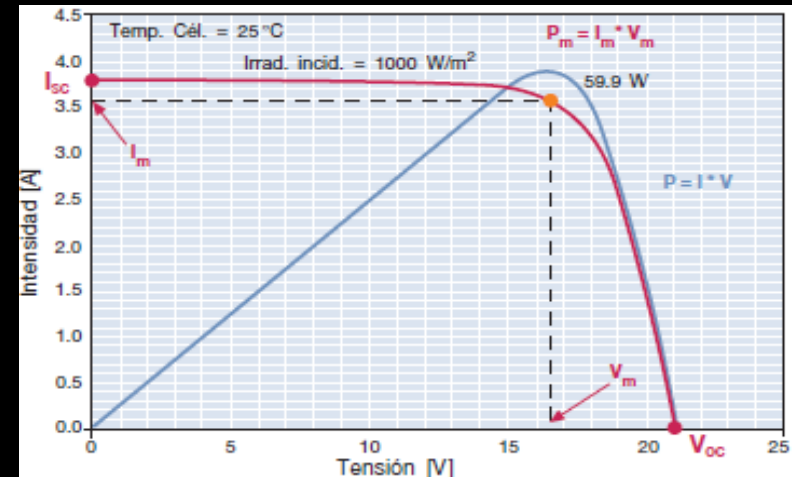
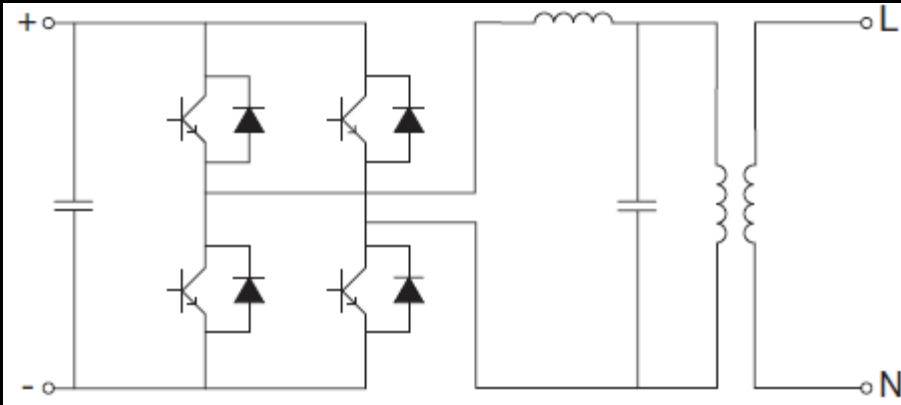
- Modelo de Potencia:

$$P_m = P_o \cdot \frac{G}{G_o} \cdot [1 + \gamma \cdot (T_c - T_{co})]$$

2. Marco teórico: Fundamentos de SFV

El Inversor de energía fotovoltaico:

- Circuito equivalente y seguidor de punto de máxima potencia (MPPT):



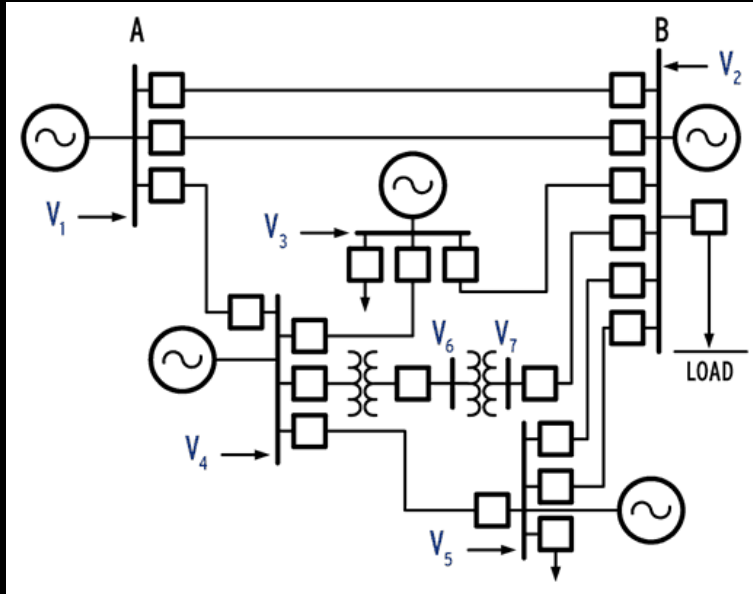
- Modelo matemático:

$$\eta_{tot} = \eta_{CONV} * \eta_{SPMP}$$

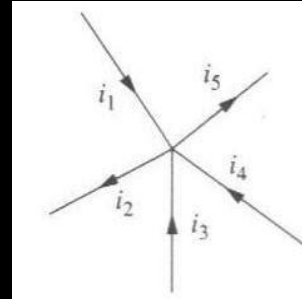
$$P_{ac} = \eta_{tot} * P_{dc}$$

2. Marco teórico: Fundamentos de SFV

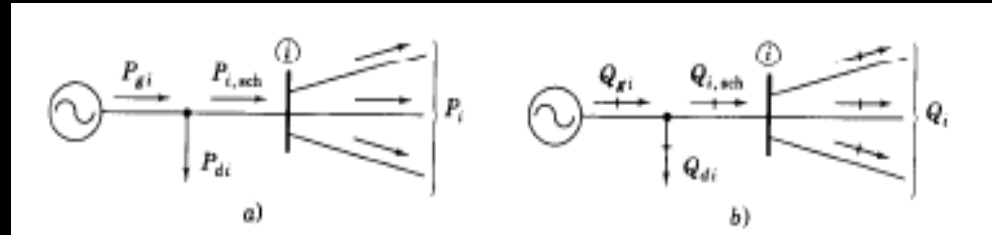
Fundamentos de sistemas electricos de potencia



Sistema de potencia genérico



$$\sum I = 0$$

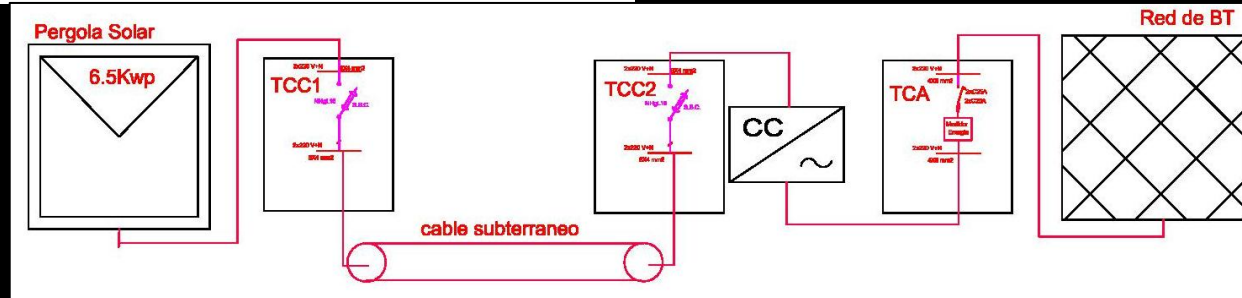
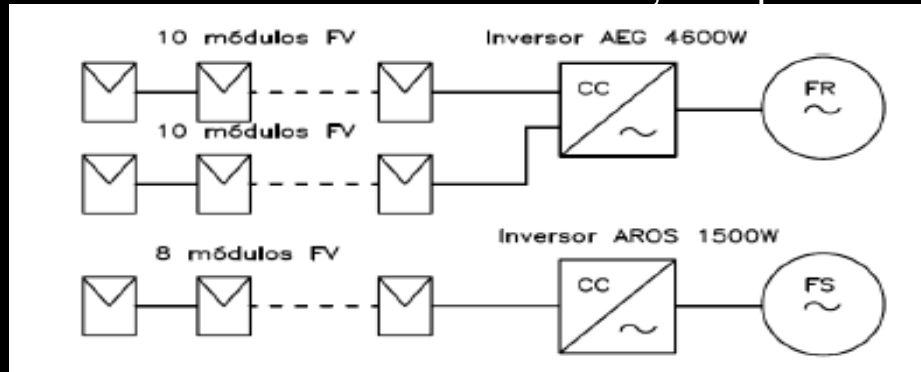


$$\sum P = 0 \text{ y } \sum Q = 0$$

2. Marco teórico: Fundamentos de SFV

El generador fotovoltaico (FV): El SFCR de la FaCENA-UNNE

- 3 arreglos : 10 + 10 + 8.
- Potencia de Panel: 240 Wp
- Potencia total del sistema: 6,7 Kwp

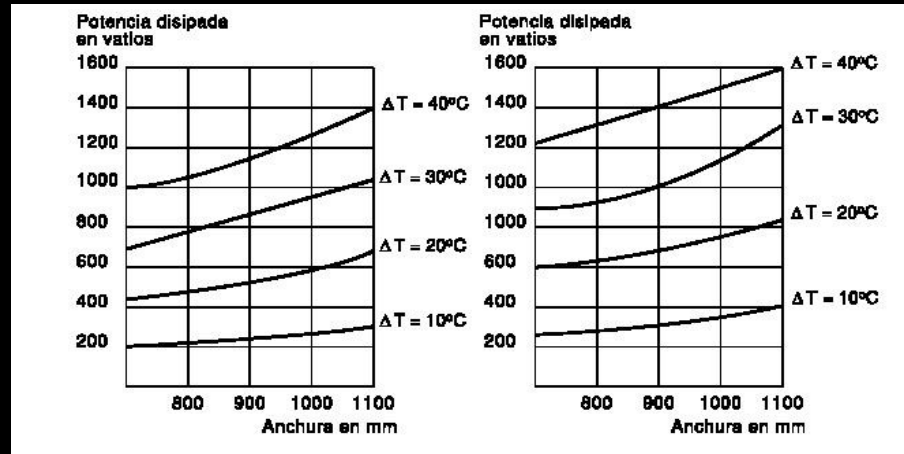


3. Resumen de trabajos realizados

3.1 Calculo térmico y armado de tableros:

$$P_{TOTAL} \leq P_{TABLERO}$$

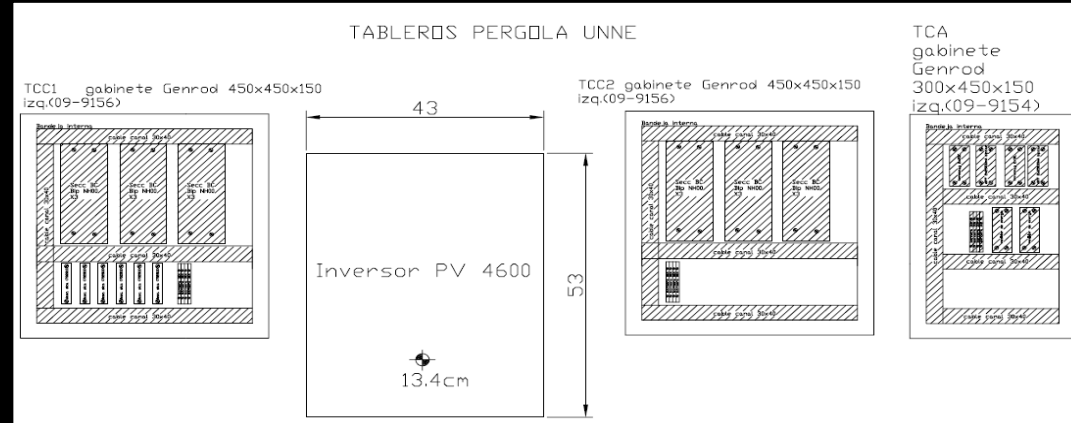
La determinación de las envolventes se realizo con la “Tabla de elevación de temperatura” , provista por los fabricantes de envolventes y cálculos según reglamento AEA 90364 «Instalaciones Eléctricas en BT »:



3. Resumen de trabajos realizados

3.1 Calculo térmico y armado de tableros: Disposición y Tipología de tableros:

Armado e instalación:

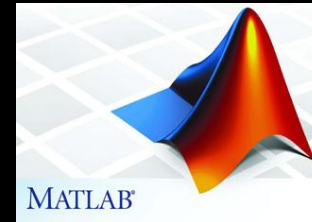


3. Resumen de trabajos realizados

3.2 Diseño de modelos matemáticos y software:

Selección de plataforma de desarrollo:

Selección de motor de calculo:



3. Resumen de trabajos realizados

3.2 Diseño de modelos matemáticos y software:

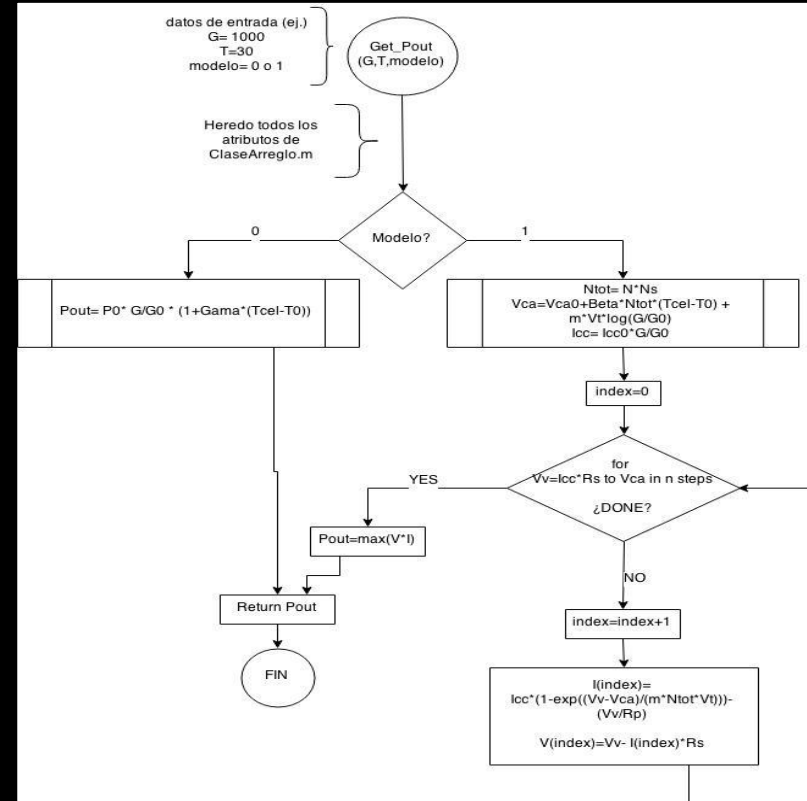
Modelo de Arreglo Fotovoltaico

Clase Arreglo FV (ClaseArreglo.m)		
Atributos	<ul style="list-style-type: none">• Rp (resistencia paralelo)• Rs (Resistencia serie)• P0 (potencia pico)• N (Nº celdas/modulo)• Ns (Nº modulos en serie)• Np (Nº modulos en paralelo)	<ul style="list-style-type: none">• Vca0 (tensión circuito abierto)• Icc0 (I cortocircuito)• Gama ($\Delta P/^{\circ}C$)• Beta (($\Delta V/^{\circ}C$)• m (cte. Tecnología modulo)• G0 (Irradiancia CEM)• T0 (Temperatura CEM)
Métodos	<ul style="list-style-type: none">• Get_Pout (P generada)• Get_ErrorEntreModelos (error entre modelo 0 y 1)• Plot_Modelo1 (curva I-V y P-V modelo 1)	<ul style="list-style-type: none">• Get_ErrorCalculadoVsMedido• Get_Pout_SerieDeDatos

3. Resumen de trabajos realizados

3.2 Diseño de modelos matemáticos y software:

Algoritmo de metodo Pout (ClaseArreglo.m)



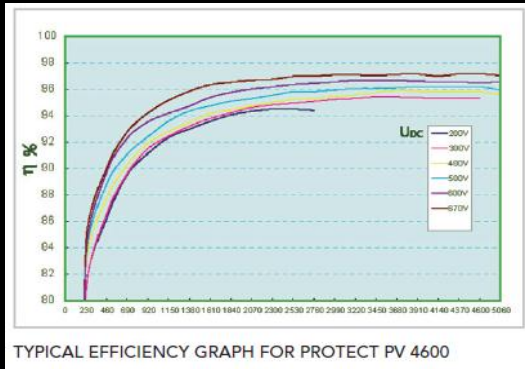
3. Resumen de trabajos realizados

3.2 Diseño de modelos matemáticos y software:

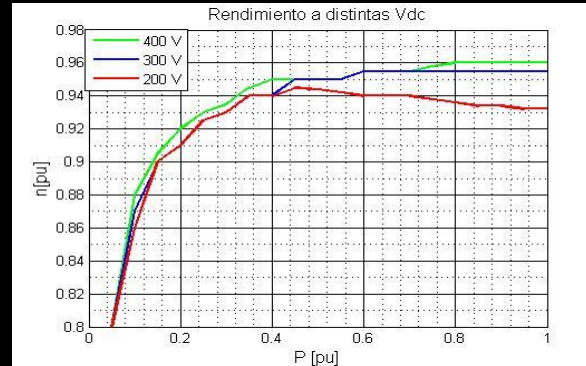
Modelo de Inversor FV

Clase Inversor FV (Inversor.m)	
Atributos	<ul style="list-style-type: none">• Pnom (potencia nominal del inversor)• TablaN (tabla de rendimientos)• Vmin (voltaje mínimo de red)• Vmax(voltaje máximo de red)
Metodos	<ul style="list-style-type: none">• Get_PCA(potencia de CA)• Get_QCA(Potencia reactiva CA)

Eficiencia PV4600

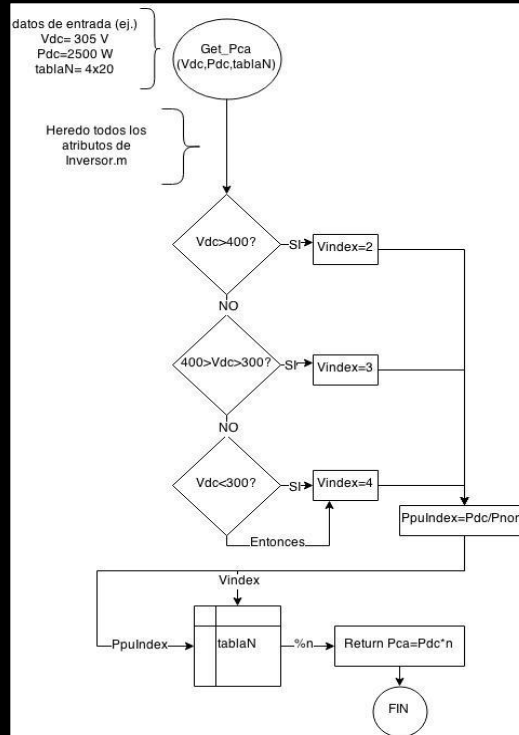


Eficiencia relevada (TablaN):



3. Resumen de trabajos realizados

3.2 Diseño de modelos matemáticos y software: Algoritmo método get_pca (claseInversor.m):

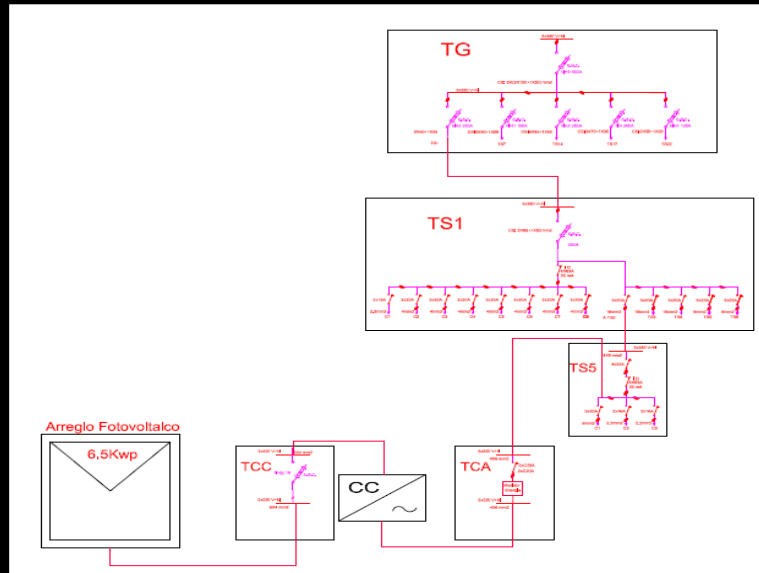


3. Resumen de trabajos realizados

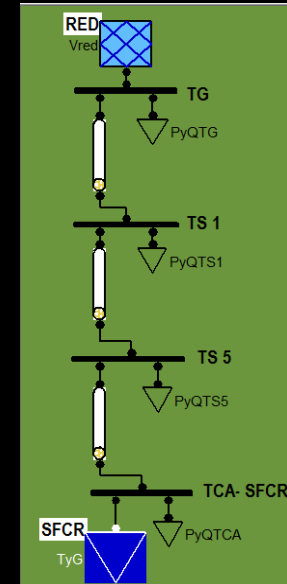
3.2 Diseño de modelos matemáticos y software:

Diseño de modelo Unifilar de la red :

Diagrama de tableros del edificio:



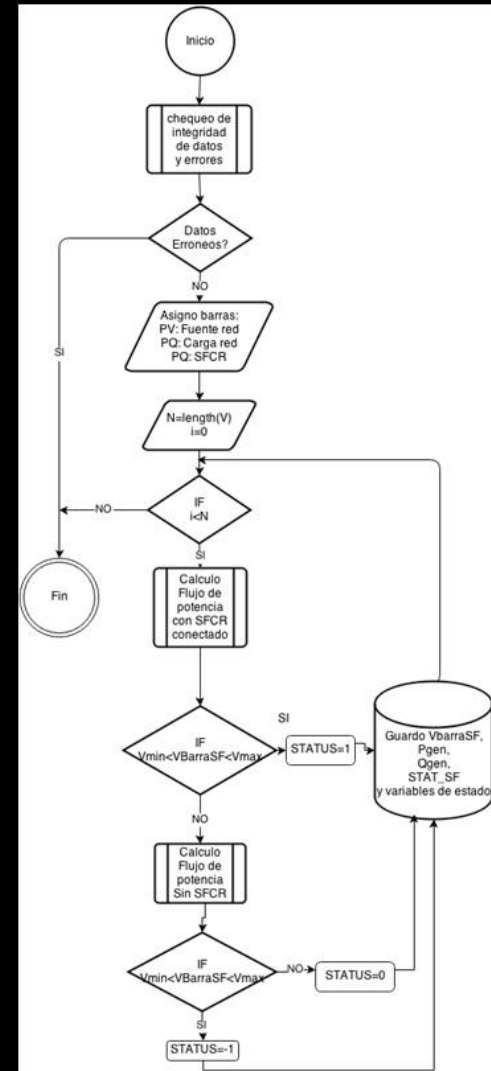
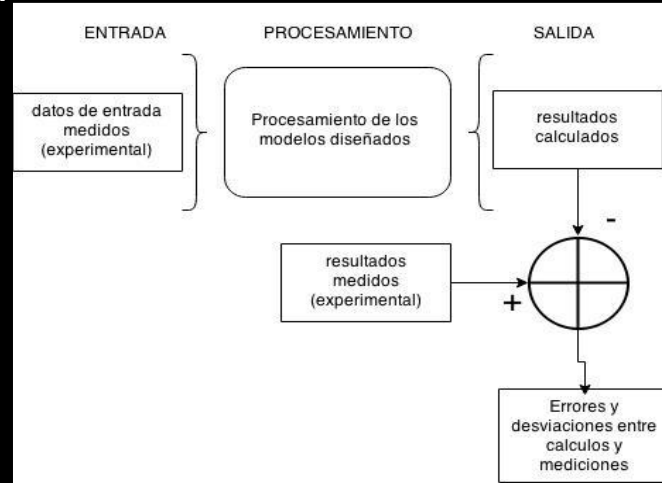
diseño de red equivalente:



3. Resumen de trabajos realizados

3.2 Diseño de modelos matemáticos y software:

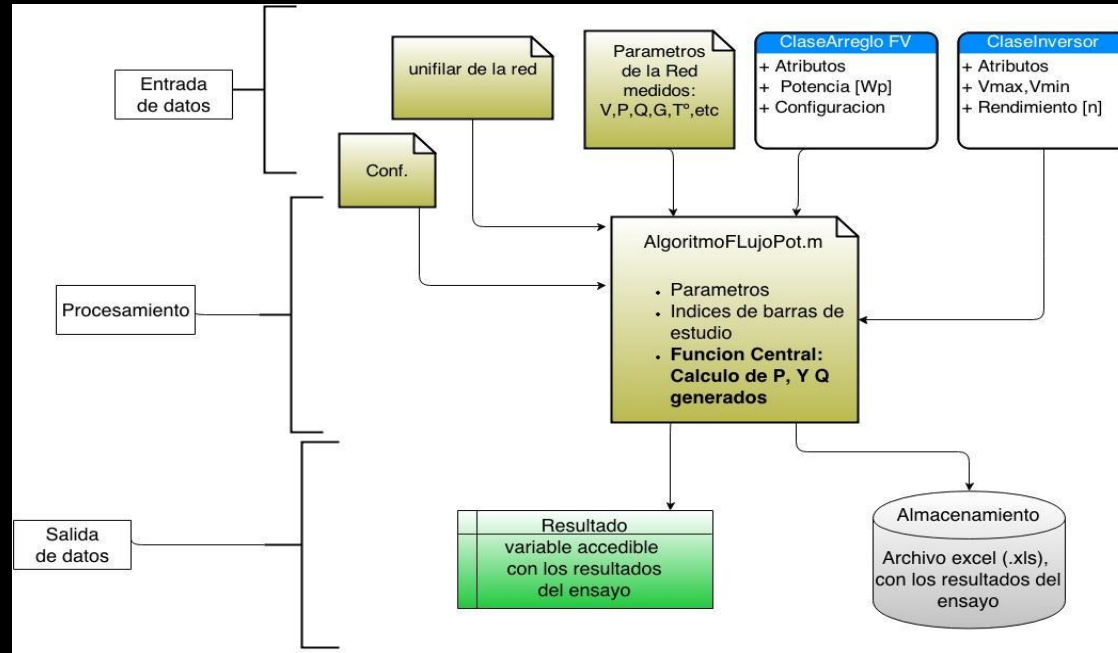
- Diseño de Software para calculo de flujos de potencia con inclusión de SFCR (algoritmo)-> :
- Metodología para validar modelos desarrollados ->:



3. Resumen de trabajos realizados

3.2 Diseño de modelos matemáticos y software:

Diseño de Software para calculo de flujos de potencia con inclusión de SFCR (diagrama de clases, flujo grama):



3. Resumen de trabajos realizados

3.3 Mediciones experimentales:

Datos de entrada

- Irradiancia incidente en la pérgola solar.
- Temperatura ambiente de la pérgola solar.
- Potencia de Corriente continua del arreglo (P_{dc}).
- Potencia de Corriente alterna de salida del Inversor (P_{ca})
- Parámetros y configuración del arreglo FV (R_s , R_P , N , N_p , N_s , etc.).
- Punto de máxima potencia del arreglo FV ensayado.

3. Resumen de trabajos realizados

3.3 Mediciones experimentales:

Irradiancia en pérgola :



Datos de red SFCR e inversor:



Datos meteorológicos:



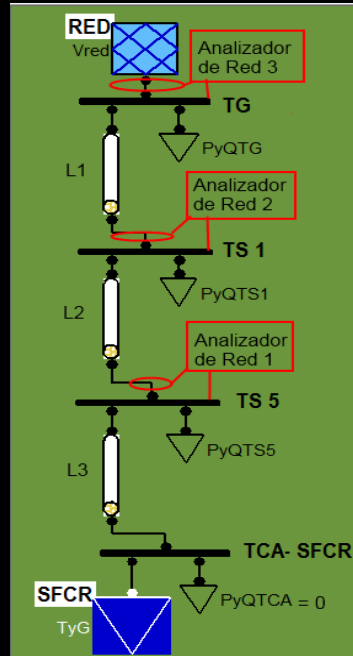
3. Resumen de trabajos realizados

3.3 Mediciones experimentales:

Datos de salida: flujo de potencia experimentales

Puntos de medición:

Proceso de medición:



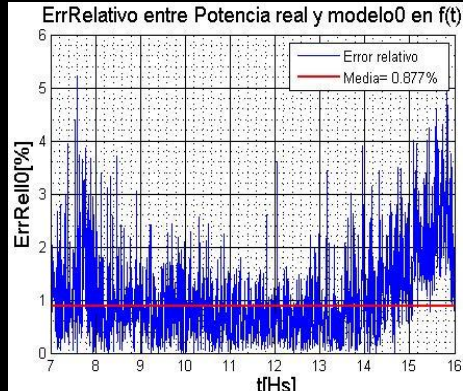
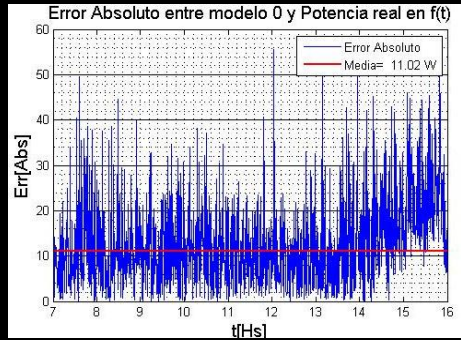
Equipos analizadores de red:



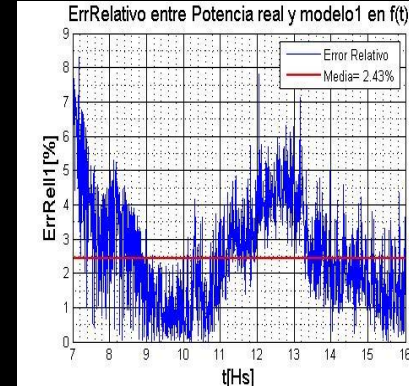
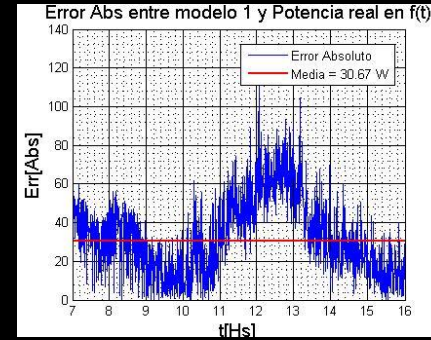
3. Resumen de trabajos realizados

3.4 Validación de modelos desarrollados y análisis de error: Modelo de Arreglo FV.

modelo de potencia vs Real



Modelo de 5 parámetros vs Real:

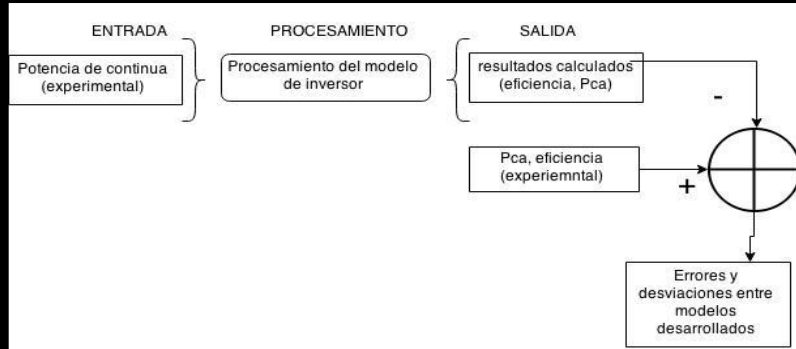


3. Resumen de trabajos realizados

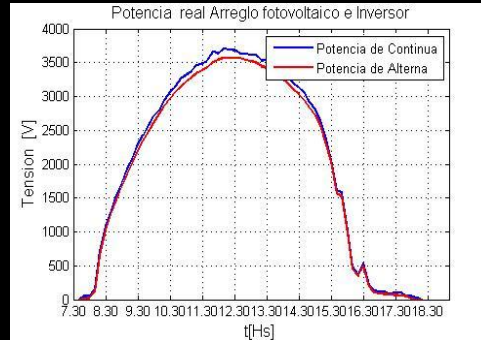
3.4 Validación de modelos desarrollados y análisis de error:

Validación Modelo de Inversor FV.

Metodología de validación



Datos experimentales:

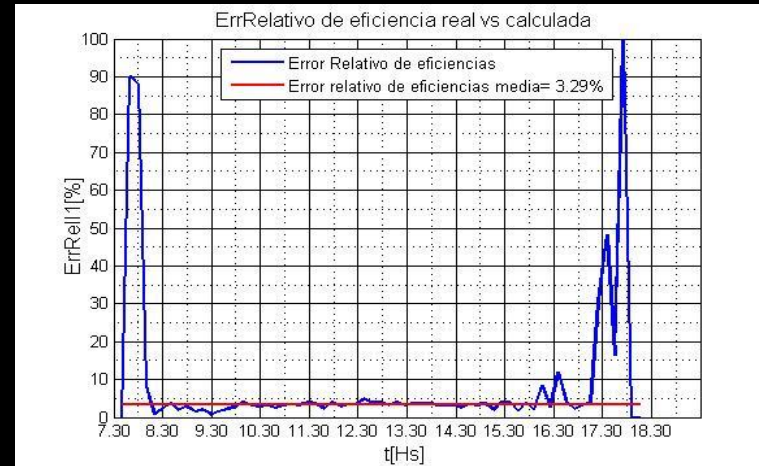


3. Resumen de trabajos realizados

3.4 Validación de modelos desarrollados y análisis de error:

Validación Modelo de Inversor FV.

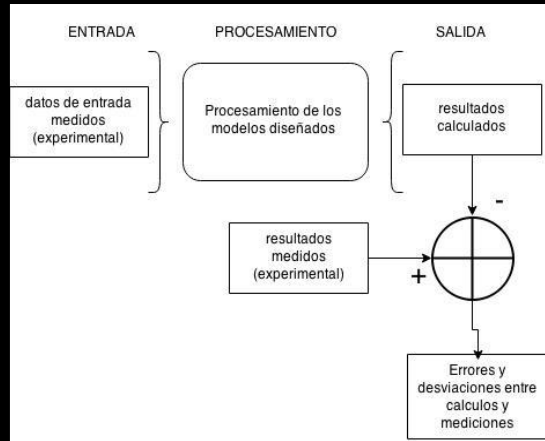
Errores de eficiencia en modelo de inversor:



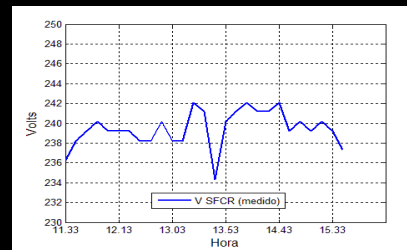
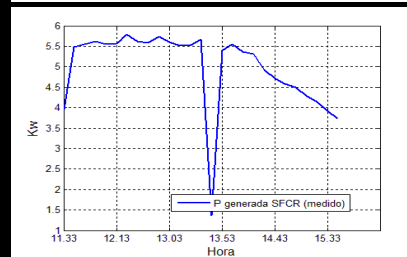
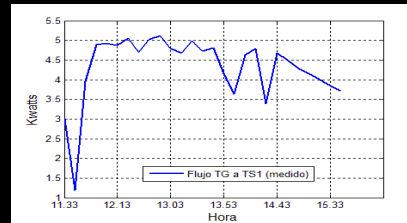
3. Resumen de trabajos realizados

3.4 Validación de modelos desarrollados y análisis de error: Validación del software total desarrollado :

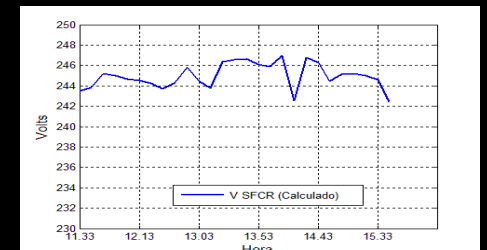
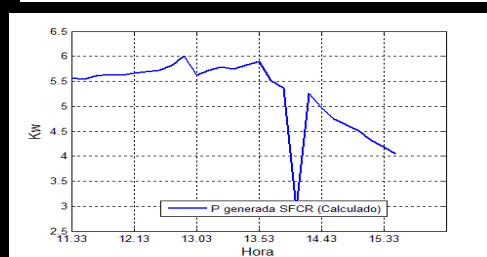
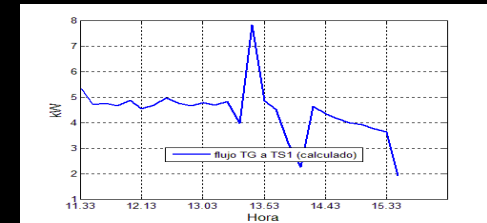
Metodología de validación:



Datos experimentales:



Resultados calculados(software):

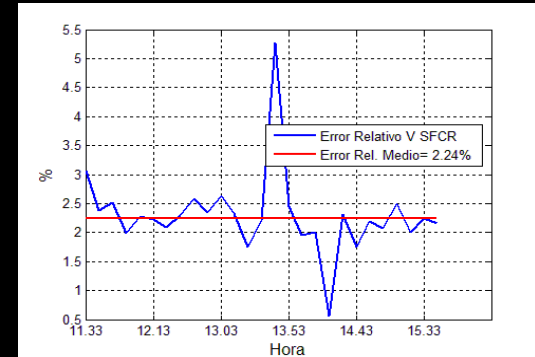
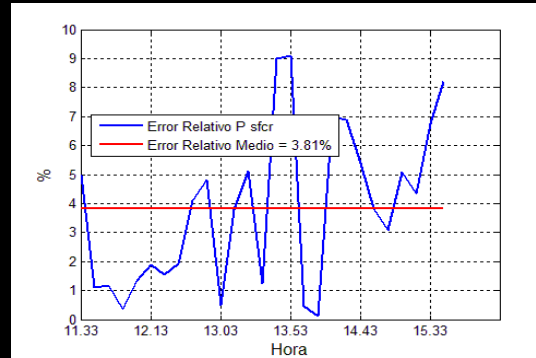
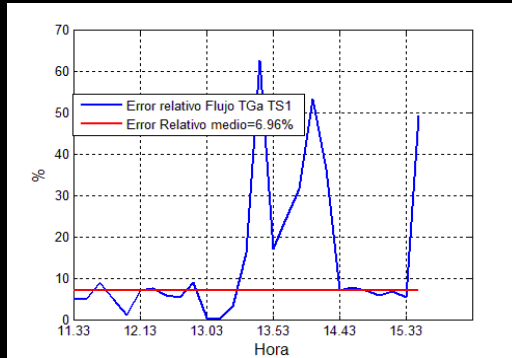


3. Resumen de trabajos realizados

3.4 Validación de modelos desarrollados y análisis de error:

Validación del software total desarrollado :

Errores en el software (conjunto de modelos y algoritmos):



4. Resultados y discusion:

Errores totales del software desarrollado:

Se considero el error de software como la media de los errores relativos determinados en el ítem anterior:

$$Error_{software} = Media \left(\sum E\%i \right) = Med(3.81 + 6.96 + 2.24)\% = 4.33\%$$

El error total se determino como la sumatoria de errores relativos encontrados:

$$Error_{total\%} = \sum E\%i = E_{arregloFV} + E_{Inversor} + E_{Software} + E_{Inst. de medida}$$

$$Error_{total\%} = \%2.44 + \%3.29 + \%4.33 + \%1.5 = \%11.53$$

4. Resultados y discusión:

Discusión de resultados:

Por el tipo de mediciones realizadas, los modelos desarrollados, y la cantidad de instrumentos involucrados en el estudio, los errores presentes en este trabajo son muy diversos y de distinta naturaleza. Por lo tanto, resulta prácticamente imposible conseguir relacionar los errores entre sí.

Teniendo en cuenta el párrafo anterior, se determino que el error total máximo presente en los desarrollos de software y modelos planteados, será, en su peor condición 11.53%, según contraste con mediciones experimentales. Para mayor precisión al respecto, se deberán tomar mediciones más prolongadas que sean representativas en el tiempo a largo plazo y que allanen la media del error determinado. (plazo de semestres o años).

5. Desarrollo final de software: PV-ING

Todos los modelos computacionales desarrollados se incluyeron dentro de un software de cálculo especializado, con interfaz gráfica de usuario, denominado PV-NG.

PV-ING permite interactuar dinámicamente con el sistema planteado, permitiendo al usuario efectuar los siguientes cambios en la red de estudiado:

- Modificar los perfiles de carga P y Q de cada barra de la red
- Modificar el perfil de tensión de la red equivalente, (sito en el TG).
- Modificar el perfil de Radiación indecente y Temperatura ambiente, propios del arreglo fotovoltaico.
- Modificar el modelo de arreglo fotovoltaico
- Modificar el modelo de inversor de energía
- Modificar el perfil de eficiencia del inversor de energía.
- Modificar parámetros de base del estudio (Pbase, Vbas,etc.)

5. Desarrollo final de software: PV-ING

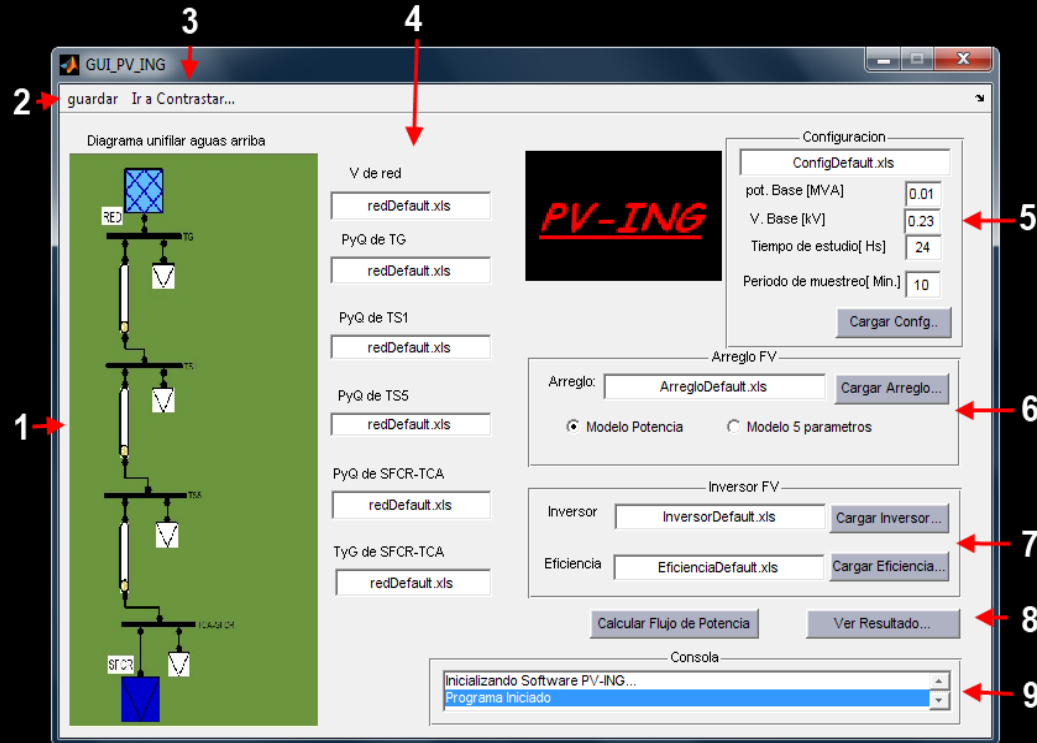
Adicionalmente, el software PV-ING cuenta con la interfaz gráfica GUI_Resultado, dedicada al análisis y chequeo general de las series de datos de salida de PV-ING.

La interfaz visual GUIResultado permite, entre otras cosas:

- Graficar series de datos numéricas en función de cualquier variable del sistema
- Cargar series de datos medidas y series de datos calculadas
- Graficar Los datos medidos vs los calculados, para visualizar errores existentes.
- Guardar datos.

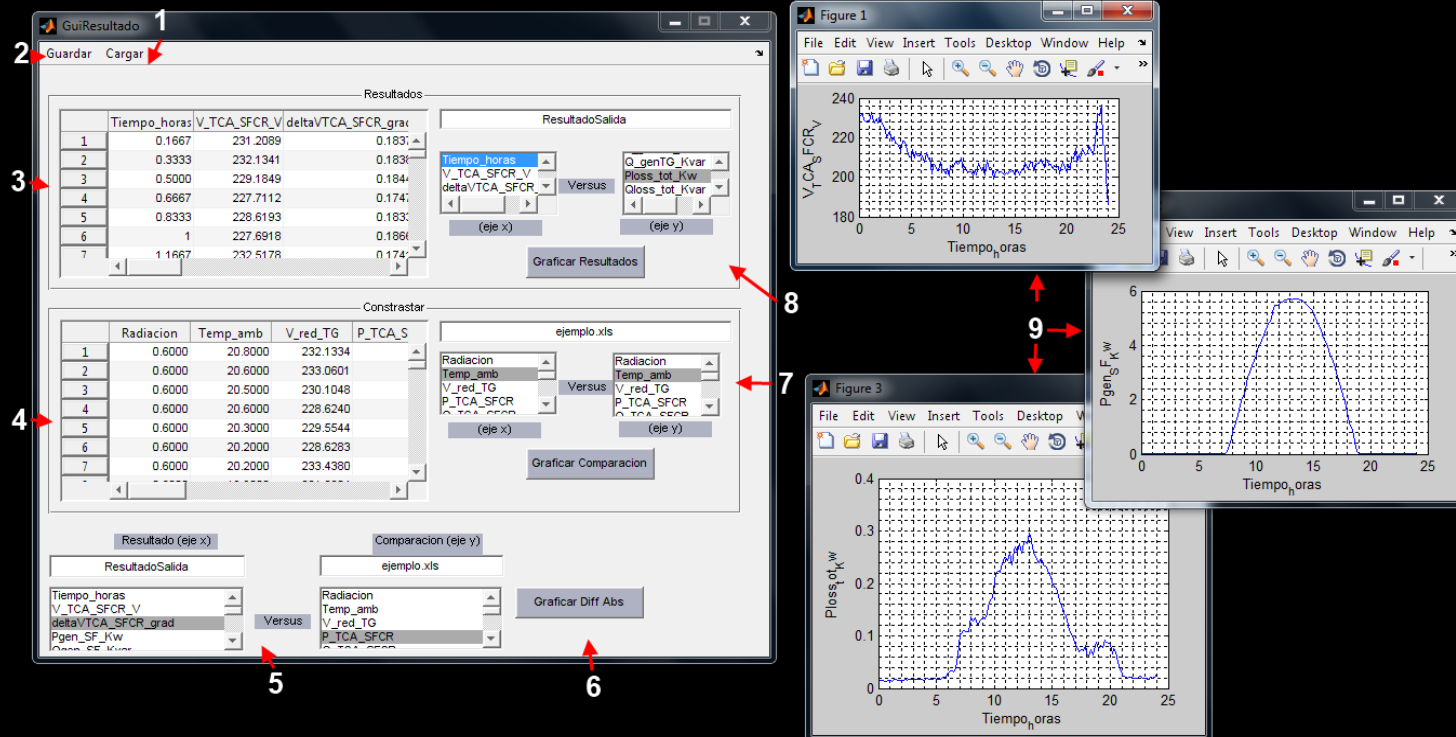
5. Desarrollo final de software: PV-ING

Interfaz Visual PV-ING



5. Desarrollo final de software: PV-ING

Interfaz Visual GUI_Resultados



6. Conclusiones

El adecuado diseño y validación de distintos modelos matemáticos complejos, permiten simular, evaluar y predecir las consecuencias de la inclusión de un SFCR en la red de baja tensión local, orientándonos a un horizonte de la matriz energética con generación no convencional.

Se determinó que la mala calidad de potencia del servicio de la red de BT local (esto incluye: bajos niveles de tensión, alta tasa de cortes), sumado a que el diseño de la instalación eléctrica original del edificio no se contempló un SFCR (lo cual genera, en horas de bajo consumo, efectos de alta tensión en las barras del SFCR). Disminuyen la calidad y cantidad de energía que el SFCR puede suministrar (Caceres, 2013).

Por los motivos expuestos se concluyó que el software diseñado permite modelar y aproximarse a los porcentajes de energía no suministrados por el SFCR, debido exclusivamente al mal desempeño de la red de BT.

El software modelado, diseñado y validado, presenta gran flexibilidad de adaptación y crecimiento, lo cual permite una rápida inclusión de mejoras y extensiones de funcionalidad del mismo. Además de poseer una interfaz gráfica sencilla y amigable

¿ Preguntas ?

Muchas gracias !!

Alumno: Alexis Gabriel Ibarra
Año: 2015