

Análisis y depuración del módulo Flucar en SimSEE

Integrantes: *Nicolás Morales*
Santiago Garabedián
Fernando Fontana
Pablo Soubes

Instituto de Ingeniería Eléctrica – FING.
Abril - Mayo 2013
Montevideo - Uruguay.

Contenido

Análisis y depuración del módulo Flucar en SimSEE	1
1 Resumen	5
1.1 Introducción	5
1.2 Terminología.....	5
1.3 Análisis y pruebas	5
2 Objetivo	6
3 Hipótesis de trabajo	6
4 Consideraciones generales sobre Flucar y SimSEE	6
4.1 Archivos formato RAW	6
4.2 Modelado de la red en SimSEE	7
4.3 Flujo de cargas	7
5 Metodología.....	8
5.1 Sala 4 Nodos	8
5.2 Sala Fotovoltaica.....	8
6 Definición de Nodos, Arcos y zonas en Flucar	9
6.1 Consideraciones preliminares	9
6.2 Sala 4 Nodos	10
6.3 Sala Fotovoltaica.....	10
7 Demanda, generación y comercio internacional.....	11
7.1 Sala 4 Nodos	11
7.2 Sala Fotovoltaica.....	12
8 Casos de estudio	14
8.1 Sala 4 Nodos	14
8.1.1 Esquema base	14
8.1.2 Caso radial con línea simple.....	15
8.1.3 Caso radial con línea doble.....	16
8.1.4 Caso radial con línea triple	16
8.1.5 Caso anillado con línea simple	17
8.1.6 Caso anillado con línea doble.....	17
8.2 Sala Fotovoltaica.....	18
8.2.1 Esquema de la Sala Fotovoltaica.....	18
8.2.2 Planteo del problema	18
9 Propuesta de Mejoras	19
10 Resultados de la Sala 4 Nodos.....	21
10.1 Resultados del caso radial con línea simple	21
10.2 Resultados del caso radial con línea doble.....	23

10.3	Resultados del caso radial con línea triple	24
10.4	Resultados del caso anillado con líneas simple.....	25
10.5	Resultados del caso anillado con línea doble.....	27
11	Resultados de la Sala Fotovoltaica	29
11.1	Resultados del análisis	29
11.2	Cálculo de Costo de Abastecimiento de la Demanda	33
12	Conclusiones.....	34
12.1	Sala 4 Nodos	34
12.2	Sala Fotovoltaica	34
13	Posibles trabajos futuros.....	35
14	Agradecimientos.....	35
15	Referencias	35
16	Anexos.....	36
16.1	Anexo 1	36
16.2	Anexo 2	37
16.3	Anexo 3	42
16.4	Anexo 4	43

Índice de tablas

Tabla 1: Nodos de la Sala Fotovoltaica.....	11
Tabla 2: Zonas de la Sala Fotovoltaica.....	11
Tabla 3: Generadores térmicos y su costo variable para la Sala 4 Nodos.....	12
Tabla 4: Demanda para la Sala 4 Nodos.....	12
Tabla 5: Despacho óptimo de generación para la Sala 4 Nodos.	12
Tabla 6: Generadores fotovoltaicos para la Sala Fotovoltaica.	13
Tabla 7: Generadores eólicos y biomásicos para la Sala Fotovoltaica.....	13
Tabla 8: Generadores hidráulicos para la Sala Fotovoltaica.	13
Tabla 9: Generadores térmicos para la Sala Fotovoltaica.	13
Tabla 10: Demanda para la Sala Fotovoltaica.....	14
Tabla 11: Comercio internacional	14
Tabla 12: Comparativa de flujos del esquema radial con línea simple.	22
Tabla 13: Comparativa de flujos del esquema radial con línea doble.....	24
Tabla 14: Comparativa de flujos del esquema radial con línea triple.	25
Tabla 15: Comparativa de flujos del esquema anillado con línea simple.	26
Tabla 16: Comparativa de flujos del esquema anillado con línea doble.....	28
Tabla 17: Comparativa de flujos del esquema de la Sala Fotovoltaica.....	30
Tabla 18: Variación de la generación eólica en MW.	31
Tabla 19: Variación de la generación fotovoltaica en MWp.....	31
Tabla 20: Variación de los flujos en los Arcos en MW.....	31
Tabla 21: Variación de los flujos en los Arcos en MW.....	31
Tabla 22: Resumen de resultados del CAD.....	33

Índice de figuras

Figura 1: Esquema de la Sala 4 Nodos.....	10
Figura 2: Esquema de la Sala Fotovoltaica.	10
Figura 3: Esquema del caso base.....	15
Figura 4: Esquema base de red radial.....	15
Figura 5: Esquema radial con línea doble.	16
Figura 6: Esquema radial con línea triple.....	16
Figura 7: Esquema anillado con línea simple.....	17
Figura 8: Esquema anillado con línea doble.....	17
Figura 9: Esquema de la Sala Fotovoltaica.	18
Figura 10: Diagrama de flujo.....	20
Figura 11: Contenido de archivos RAW en SimSEE-Flucar.	21
Figura 12: Flujos del esquema radial con línea simple sin Flucar.....	22
Figura 13: Flujos del esquema radial con línea simple con Flucar.	22
Figura 14: Flujos en el esquema radial con línea doble sin Flucar.....	23
Figura 15: Flujos en el esquema radial con línea doble con Flucar.	23
Figura 16: Flujos del esquema radial con línea triple sin Flucar.....	24
Figura 17: Flujo del esquema radial con línea triple con Flucar.	24
Figura 18: Flujo del esquema anillado con línea simple sin Flucar.	25
Figura 19: Flujo del esquema anillado con línea simple con Flucar.	26
Figura 20: Flujo del esquema anillado con línea doble sin Flucar.	27
Figura 21: Flujo del esquema anillado con línea doble con Flucar.....	27
Figura 22: Flujo del esquema de la Sala Fotovoltaica sin Flucar.....	29
Figura 23: Flujo del esquema de la Sala Fotovoltaica con Flucar.....	30
Figura 24: Generación eólica y fotovoltaica.....	32
Figura 25: Costo de abastecimiento de la demanda con y sin Flucar.....	33

Glosario de términos

Actor: Permiten representar la Red, demanda, generación y comercio internacional.

Arco: Modelo de vínculo eléctrico entre dos zonas de SimSEE-Flucar.

Barra: Modelo en PSSE de una estación de transmisión.

Flucar: Programa “Flujo de cargas”.

MWp: Megavatiopico.

Nodo: Elemento que permite definir un Arco en SimSEE-Flucar.

PSSE: Programa “Power System Simulator for Engineering”.

Rate: Capacidad de carga admisible de un elemento de la red, expresada en MW.

RAW: Extensión de archivo del programa PSSE.

Sala: Configuración del escenario donde se realiza la simulación.

SimSEE: Programa “Simulador de Sistemas de Energía Eléctrica”.

1 Resumen

1.1 Introducción

El objetivo del trabajo es el análisis de la interacción entre dos programas complementarios utilizados para el análisis de los sistemas eléctricos. Estos son SimSEE y Flucar.

SimSEE permite realizar simulaciones de la operación óptima de sistemas de generación eléctrica en que participan centrales de generación de fuentes múltiples e interconexiones eléctricas.

Flucar permite incluir las restricciones sobre las tensiones de los Nodos y los límites de capacidad de las canalizaciones, integrando la capacidad de hacer las ecuaciones de flujo de carga directamente sobre SimSEE.

Debido a que es necesario tener en cuenta las limitaciones que imponen las líneas y transformadores en cuanto a su capacidad de transporte se incorporó a SimSEE un modelado más exacto del sistema de red, el cual lo realiza Flucar. Al igual que SimSEE, Flucar está programado en lenguaje Pascal.

1.2 Terminología

En la terminología usada en SimSEE, las centrales de generación, las interconexiones, las demandas, los Nodos (o barras), los Arcos (o líneas de transporte de energía) son llamados Actores. Llamamos Sala (o Sala de juego), al “tablero” en el que los Actores realizarán su juego durante la simulación del sistema. También llamamos “Sala” al archivo (documento) en el que guardamos toda la especificación de un sistema.

1.3 Análisis y pruebas

Para realizar un primer análisis de las interacciones entre SimSEE y Flucar se decidió preparar una Sala simplificada. Se preparó un archivo tipo RAW en PSSE con un modelo simplificado del sistema eléctrico y se resolvió el flujo de carga para analizar si se presentaba un desempeño satisfactorio con el despacho de generación y la demanda cargados en la red modelada.

La red anterior se configuró de forma tal de obtener un desempeño insatisfactorio, con sobrecargas no permitidas en las líneas del sistema. Dicha configuración de red es incorporada al programa SimSEE-Flucar, el cual debería ser capaz de realizar un nuevo despacho que contemple las restricciones impuestas por las características de la red.

Posteriormente se modeló la red con la información de una Sala armada previamente (Sala fotovoltaica) que contiene Nodos y Arcos que representan zonas reales de la red eléctrica uruguaya, y valores reales de generación y demanda. Con esta Sala se pudieron realizar pruebas sobre una red con una topología más compleja.

2 Objetivo

Se tiene como consigna del trabajo, estudiar la interacción y desempeño entre el módulo del programa que resuelve el despacho energético y el módulo que calcula el flujo de cargas, utilizando como base para el desarrollo la Sala Fotovoltaica presentada en el curso como ejemplo de la interacción entre Flucar y SimSEE.

El objetivo, consiste en modelar la incorporación de 206 MWp de generación fotovoltaica distribuidos entre los Nodos de Artigas, Tomás Gomensoro, Arapey, Salto, Paysandú, Young, Salto Grande, Tacuarembó y Rivera, analizando si se producen re-despachos para evitar sobrecargas en las líneas que vinculan las barras de la red modelada, de forma tal de lograr un desempeño satisfactorio (desde el punto de vista de las sobrecargas).

3 Hipótesis de trabajo

Se realizaron análisis sobre las dos Salas de trabajo mencionadas anteriormente. La primera contiene un modelo sencillo y la segunda una topología de red más compleja, que representa una versión simplificada de la red eléctrica uruguaya.

Como primer paso se planteó el análisis del funcionamiento de Flucar y su interacción con SimSEE utilizando la Sala simplificada. Se realizaron variaciones en los parámetros de la generación y de las líneas para forzar cambios en los flujos de potencia activa de las líneas y generar sobrecarga, de manera que se deba realizar nuevos despachos de generación que permita corregir la situación. Los flujos de carga obtenidos con SimSEE-Flucar se compararon con los obtenidos con el PSSE utilizando el mismo archivo RAW con el modelado de la red, topología, generación y demanda.

Posteriormente se realizaron pruebas similares en la Sala fotovoltaica y se evaluaron los resultados comparándolos con los obtenidos con el PSSE.

4 Consideraciones generales sobre Flucar y SimSEE

4.1 Archivos formato RAW

El archivo .RAW es el que contiene la topología de la red y la información característica de los elementos que la integran. Los archivos RAW tienen un formato específico que permite al PSSE interpretar la red y tener toda la información necesaria para resolver el flujo de cargas. En este caso, el archivo RAW con el modelo de la red será interpretado por Flucar para resolver el flujo de cargas y lograr la interacción con SimSEE que permitirá imponer las restricciones de red.

SimSEE, tomará además la capacidad de las líneas que vinculan las zonas modeladas en el archivo RAW para imponer límites en el flujo de potencia que vincula las zonas correspondientes.

Con el propósito de hacer verificaciones sobre los datos obtenidos, se decidió agregar una opción en el programa, que permite imprimir los archivos RAW generados durante cada iteración; estos archivos contienen la información de las barras, generación, rendimientos de

líneas y flujos de potencia. Vale la pena mencionar, que si bien son archivos RAW y que contienen la información de los parámetros de la red y de resultados obtenidos en SimSEE no tienen estrictamente un formato RAW y por lo tanto no pueden ser leídos directamente desde PSSE.

4.2 Modelado de la red en SimSEE

Una vez obtenido el archivo RAW con los parámetros de la red, se tiene que modelar la red con la demanda y generación dentro del SimSEE.

Para ello se definen los siguientes parámetros que representan el sistema de estudio:

- Nodos
- Arcos
- Demanda
- Generación

SimSEE tiene un algoritmo que permite leer los datos de la red desde el archivo RAW preparado en PSSE y que resuelve el sistema de ecuaciones complejas no lineales que surgen de los flujos de carga, utilizando el método de Newton-Raphson implementado dentro de Flucar.

En SimSEE los generadores se conectan en los Nodos al igual que las demandas. Cada Nodo representa una barra de Flucar y se definieron zonas que agrupan un conjunto de barras. Las interacciones entre zonas de Flucar se traducen en restricciones en los flujos de los Arcos. Se recuerda que cada Arco en Flucar tiene dos representaciones para poder cargar los flujos en ambos sentidos de las líneas definidas entre Nodos.

Aquí resulta muy importante el algoritmo que analiza la sobrecarga de los Arcos ya que cada Arco se compone de varias líneas. Cuando se sobrecarga un Arco y se re-despacha para reducir la sobrecarga, puede que el Arco no quede sobrecargado pero podría alguna de sus líneas quedar con sobrecarga. Para evitar este problema, se implementó un nuevo algoritmo que se detallará más adelante en el capítulo de Propuesta de Mejoras.

4.3 Flujo de cargas

El estudio del flujo de carga, también llamado flujo de potencia, consiste en la determinación de voltajes, intensidades, potencias activas y reactivas en distintos puntos de una red eléctrica. Se considera el sistema eléctrico en régimen N, equilibrado y se representa la red en un esquema unifilar entre fase y neutro. Los resultados que se obtienen son, generalmente, el módulo y fase de la tensión en cada barra del sistema modelado y las potencias activas y reactivas entrantes en cada una de ellas.

Los resultados del flujo de cargas se usan para:

- Evaluar el comportamiento del sistema existente en régimen N y N-1.
- Estudio de alternativas para la planificación de la red de transmisión.
- Estudiar la estabilidad transitoria y permanente de sistemas de potencia.

- Elaborar plan de contingencias ante fallo N-1 de un elemento de la red.

Se definen tres tipos de Nodos: los genéricos, regulados y reguladores. El programa lee los datos del archivo RAW y luego corre los flujos de carga. Se realizan varias iteraciones hasta que se logra que la red tenga un desempeño aceptable desde el punto de vista de las sobrecargas de líneas.

En este caso las ecuaciones que vinculan las incógnitas son no lineales, por lo tanto se debe recurrir a métodos matemáticos de cálculo numérico. Estos métodos, en general son iterativos y permiten una rápida resolución del problema.

5 Metodología

5.1 Sala 4 Nodos

Para poder analizar la interacción entre el SimSEE y el Flucar se construyó una Sala de prueba simplificada con cuatro Nodos, dos generadores con costos variables diferentes, dos demandas y las respectivas líneas que vinculan dichos Nodos de forma tal que permita estudiar fácilmente los resultados obtenidos ante cambios en las potencia de los generadores y modificaciones en los parámetros de los vínculos. Los resultados obtenidos de esta Sala se compararon con los obtenidos con el programa PSSE.

Se preparó un archivo RAW con la red eléctrica simplificada descrita anteriormente y se corrió con el PSSE. Luego el mismo archivo se corrió con Flucar y se compararon los resultados, comprobando que los resultados para los flujos de carga son similares en todos los vínculos.

Esto se hizo con la finalidad de representar en SimSEE el mismo sistema eléctrico simplificado analizado con PSSE para poder analizar en detalle las iteraciones realizadas entre Flucar y SimSEE y ver si los resultados obtenidos luego de los re-despachos en el módulo Flucar, requeridos para evitar sobrecargas no admisibles en los Arcos, daban los mismos resultados que los flujos en PSSE con el mismo despacho de generación final y demanda.

Se trató de encontrar un despacho de tal forma que diera un desempeño no satisfactorio con sobrecargas no admisibles para analizar los resultados obtenidos y poder identificar mejoras potenciales implementar en Flucar.

5.2 Sala Fotovoltaica

Se armó otro archivo RAW, con la información previa de una Sala armada anteriormente (Sala fotovoltaica) para realizar pruebas con una red con una topología más complicada, la cual contiene Nodos que representan zonas reales de la red eléctrica uruguaya, generación y demanda real.

Para esta Sala se tomó como demanda el pico de día hábil de verano nocturno de 2015, despachando generación eólica y 206 MW de generación fotovoltaica distribuidos entre

Artigas, Tomás Gomensoro, Arapey, Salto, Paysandú, Young, Salto Grande, Tacuarembó y Rivera.

Como observación cabe destacar que un Nodode flujo de carga modelado en PSSE no necesariamente coincide con un Nodo de Flucar. Por ejemplo, si modelamos la red del Uruguay de tal forma que consideramos sólo la red al Norte del Río Negro, se puede asignar toda la demanda en el Nodo Palmar 500 y la generación al Sur del Río Negro distribuida entre los Nodos Palmar 150 y Palmar.

Como precaución se debe tener cuidado, al cargar el archivo RAW con el modelo de la red, con los generadores que hayan sido modelados como cargas negativas (que puede ser el caso de generadores eólicos, fotovoltaicos o de biomasa) los cuales no se deben dejar como magnitudes escalables. Esto es debido a que si se escalan las cargas también se escalaría la generación renovable, constituyendo un cambio en la generación y produciendo un error importante.

Cuando se presenta la necesidad de realizar un re-despacho en SimSEE, el módulo de Flucar lo que hace ante dos generadores de distinto precio, es reducir generación en el de menor precio; ante igualdad de precio reduce generación en el generador de menor rendimiento y en caso de tratarse de un caso con exportación, primero reduce exportación antes de reducir generación.

6 Definición de Nodos, Arcos y zonas en Flucar

6.1 Consideraciones preliminares

Una vez que se dispone del archivo RAW con la red modelada en PSSE, se debe editar para poder definir las zonas en Flucar, cabe destacar que las mismas no tienen por qué coincidir con las zonas definidas en el PSSE. En Flucar una zona puede ser un único Nodo (barra en PSSE) con su demanda y generación asociadas, pero también puede estar integrada por varios Nodos con sus demandas y generaciones correspondientes.

Los Arcos se definen como un grupo de líneas que vinculan dos zonas de Flucar. Cada zona se vincula con otra a través de una o más líneas entre Nodos, donde la agrupación de esas líneas recibe el nombre de Arco. Cada Arco entre Nodos definido en SimSEE representa un conjunto de líneas entre zonas en Flucar.

El Rate de un Arco estará definido por la suma de los Rate de las líneas que lo integran. El problema que se presenta es que puede que se re-despache generación porque se sobrecarga un Arco, que luego del re-despacho no quede sobrecargado, pero eventualmente algunas de sus líneas puedan quedar sobrecargadas. Por lo tanto las zonas de Flucar se vinculan mediante Arcos definidos en SimSEE a partir de los Nodos que se definan.

Cuánto más detallada sea la definición de Nodos y Arcos, mejor van a estar representada la red pero se va a requerir de más definiciones en SimSEE y tiempo de cálculo.

Con respecto a la demanda, por ejemplo se puede representar sólo la red eléctrica al Norte de Palmar, en cuyo caso toda la demanda y generación al Sur de Palmar tienen que ser

representada en el Nodo Palmar, asignando la demanda al Nodo Palmar (barra 500) y la generación hidráulica y térmica en los Nodos de Palmar (barra 500 y 150). La demanda de una zona se distribuye en las barras que la integran con porcentajes típicos que no diferencian la estación del año (invierno, verano, primavera otoño).

6.2 Sala 4 Nodos

El esquema de la red de la “Sala 4 Nodos” se muestra en la Figura 1.

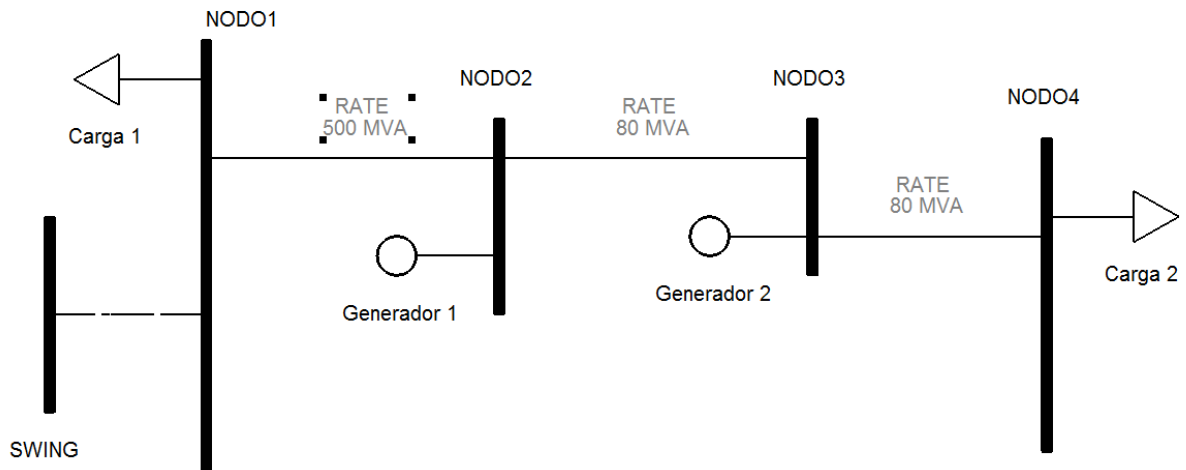


Figura 1: Esquema de la Sala 4 Nodos.

El mismo consiste en cuatro Nodos y una barra Swing. En dos de dichos Nodos se conecta dos generadores, y en los otros dos se conectan las cargas. En la barra Swing se conecta el intercambio internacional (exportaciones e importaciones de energía) para cerrar el balance de energía.

6.3 Sala Fotovoltaica

El esquema de la red de la “Sala Fotovoltaica” se muestra en la Figura 2.

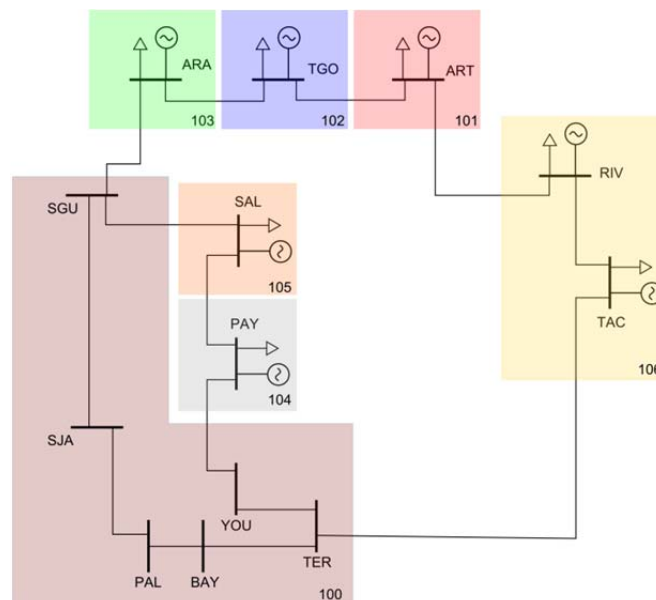


Figura 2: Esquema de la Sala Fotovoltaica.

Para el modelado de la red en Flucar, se definen los siguientes Nodos y zonas. En la Tabla 1 se muestran la definición de los Nodos con su nombre, número de barra y zonas correspondiente.

Nodo SimSEE	Barra RAW	Nombre	Zona
ARA	92060	Arapey	103
ART	92090	Artigas	101
PAL	90500/92500	Palmar	100
PAY	92030	Paysandú	105
RIV	92400	Rivera	106
SAL	92040	Salto	104
SGU	90000/92000	Salto Grande	100
TGO	92070	Tomás Gomensoro	102
YOU	92020	Young	100

Tabla 1: Nodos de la Sala Fotovoltaica

En la Tabla 2 se muestran los Nodos asignados a cada zona.

Zona	Nodos asignados a la zona
100	YOU; TER; BAY; PAL; SJA; SGU
101	ART
102	TGO
103	ARA
104	PAY
105	SAL
106	RIV; TAC

Tabla 2: Zonas de la Sala Fotovoltaica.

Una zona de Flucar puede estar integrada por un único Nodo o varios Nodos. Por ejemplo, la zona 100 comprende los Nodos YOU, TER, PAY, PAL, SJA y SGU. Los Arcos en Flucar son vínculos que permiten ver el flujo de potencia entre dos zonas. En el caso que estamos analizando, los Arcos coinciden en su mayoría con las líneas de modelado en PSSE, con excepción de las zonas SGU y RIV.

Se consideró como barra flotante Salto Grande Argentina 500 (SGA 500, barra 4008 de PSSE).

7 Demanda, generación y comercio internacional

7.1 Sala 4 Nodos

Para el estudio de la Sala 4 Nodos se busca elegir demandas y generaciones de tal manera que cuando se realice el despacho económico con SimSEE, sin tener en cuenta la red, la misma se sobrecargue. De esta manera se simula la red con el módulo SimSEE-Flucar para encontrar un nuevo despacho óptimo que considera las restricciones de red.

Se muestra en la Tabla 3 los generadores y su potencia asociada.

Generadores	MW	Costo variable
Nodo 2	De 0 a 200	50
Nodo 3	De 0 a 350	100
Totalmáx	550	

Tabla 3: Generadores térmicos y su costo variable para la Sala 4 Nodos.

Se muestra en la Tabla 4 las demandas y su potencia asociada.

Demanda	MW
Nodo 1	400
Nodo 4	30
Total	430

Tabla 4: Demanda para la Sala 4 Nodos.

En todos los casos analizados se utilizaron la demanda y la generación con esos costos variables. El despacho económico para todos los casos de estudio se presenta en la Tabla 5.

Generador	MW
Nodo 2	200
Nodo 3	230
Total	430

Tabla 5: Despacho óptimo de generación para la Sala 4 Nodos.

7.2 Sala Fotovoltaica

La demanda y generación definida para la Sala Fotovoltaica intenta reflejar de forma simplificada las características de la red eléctrica uruguaya.

Para la demanda se consideró el pico de día hábil de verano proyectado para el año 2015 cuyo valor es de 1617 MW. Las demandas fueron modeladas en SimSEE para cada una de los Nodos representados: Artigas, Arapey, Tomás Gomensoro, Paysandú, Salto, Salto Grande y Rivera. La demanda se dividió en cuatro Postes y se consideró el Poste 3 en particular dado que es el Poste donde actúan las Plantas Fotovoltaicas (PV).

Se definió un paso del tiempo semanal y como horizonte de tiempo se fijó un año (2015) para la simulación y tres años para la optimización (2013 – 2015).

Se muestra en la Tabla 6 los generadores fotovoltaicos considerados y su potencia asociada.

Fotovoltaica	MWp
PV_ARA	10
PV_ART	5
PV_PAY	40
PV_RIV	5
PV_SAL	66
PV_SGU	50
PV_TAC	5
PV_TGO	5
PV_YOU	20
Total	206

Tabla 6: Generadores fotovoltaicos para la Sala Fotovoltaica.

Se muestra en la Tabla 7 los generadores eólicos y biomásicos y sus potencias asociadas.

Eólica	MW	Biomasa	MW
EOL_ART	70	BIO_Alur	10
EOL_PAL500	900	BIO_Liderdat	5
EOL_PAL150	100	BIO_UPM	240
Total	1070	Total	265

Tabla 7: Generadores eólicos y biomásicos para la Sala Fotovoltaica.

Se muestra en la Tabla 8 la generación hidráulica con su potencia asociada.

Hidráulica	MW
Bonete	4x38.8
Palmar	3x111
Baygorria	3x36
Salto Grande UY	7x135
Total	1541.2

Tabla 8: Generadores hidráulicos para la Sala Fotovoltaica.

Se muestra en la Tabla 9 la generación térmica y su potencia asociada.

Térmica	MW
CB 5ta	75
CB 6ta	120
CB Motores	80
CB Sala B	48
CicloCombinado	540
PTI	294
CTR	200
Motores A	28
Motores B	28
Total	1413

Tabla 9: Generadores térmicos para la Sala Fotovoltaica.

Se muestra en la Tabla 10 la demanda y su potencia asociada.

Demanda	MW
Arapey	4.84
Artigas	10.7
Paysandú	42.19
Salto	92
Salto Grande	1462
TomásGomensoro	5.23
Total	1616.96

Tabla 10: Demanda para la Sala Fotovoltaica.

Se muestra en la Tabla 11 el comercio internacional considerado.

Comercio internacional	MW
Rivera	70.0
Melo	500.0

Tabla 11: Comercio internacional

8 Casos de estudio

Se presentan a continuación los casos de estudio armados para cada Sala.

8.1 Sala 4 Nodos

A partir de un caso base se realizarán variaciones de Rate de cada línea y variaciones en la cantidad de líneas con el fin de analizar el funcionamiento del módulo Flucar en SimSEE.

El procedimiento de análisis es el siguiente:

1. Se realiza la corrida en SimSEE con las demandas y los generadores para obtener el despacho óptimo económico.
2. Con los resultados obtenidos se coloca la generación y la demanda correspondiente en la topología de red correspondiente utilizando el PSSE para detectar posibles sobrecargas en la red.
3. Se vuelve a correr el mismo caso en SimSEE con el módulo Flucar para obtener el despacho óptimo con restricciones de red.
4. Se corrobora en el PSSE que dicho re despacho obtenido con las restricciones de red efectivamente no sobrecargue ninguna línea de la topología correspondiente.

8.1.1 Esquema base

El esquema base consta de una red radial con dos generadores y dos demandas como se muestra en la Figura 3.

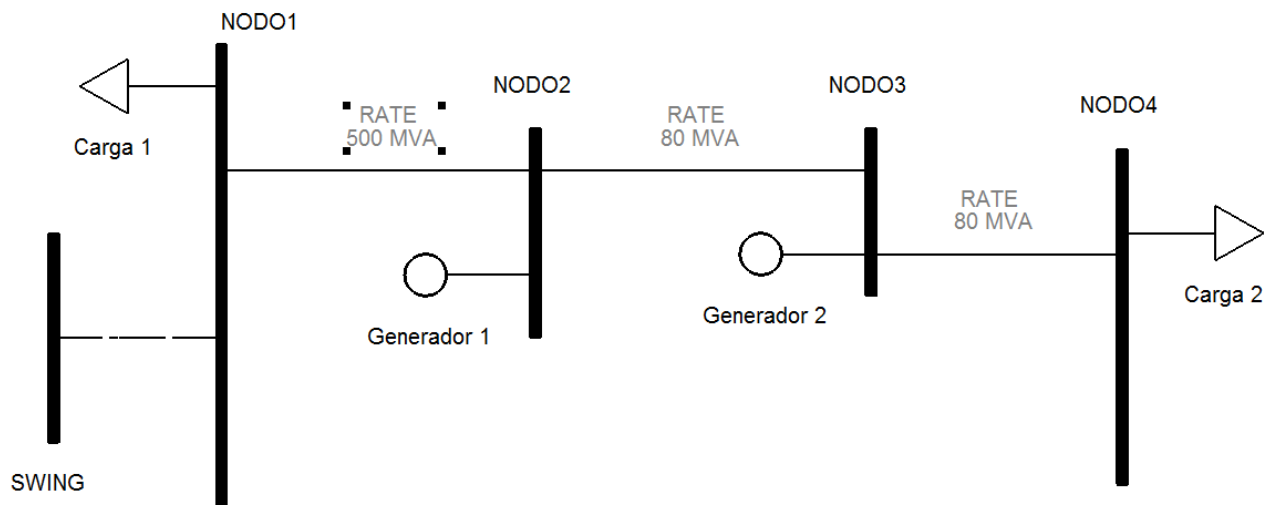


Figura 3: Esquema del caso base

Donde se señalan las ubicaciones de los generadores y demandas, así como también las capacidades máximas admisibles de cada línea (Rates).

8.1.2 Caso radial con línea simple

Se muestra en la Figura 4 el caso de una red radial donde las conexiones entre los Nodos son con una línea solamente demanda como se muestra en la Figura 4.

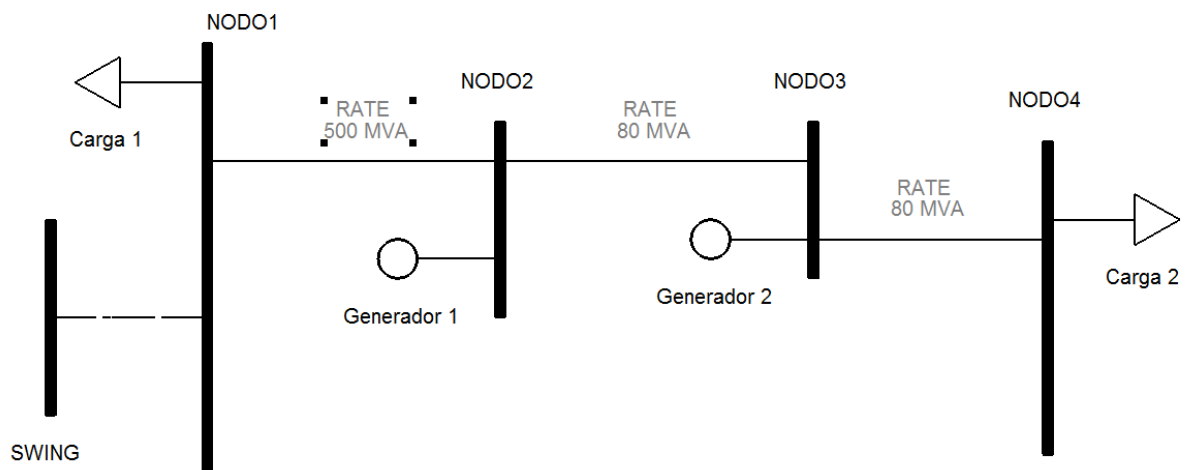


Figura 4: Esquema base de red radial

8.1.3 Caso radial con línea doble

Se muestra en la Figura 5 un caso de una red radial con líneas simples y una doble terna entre el Nodo2 y el Nodo 3. Estas dos líneas tienen la misma impedancia y tienen Rates de 80MVA y 40MVA.

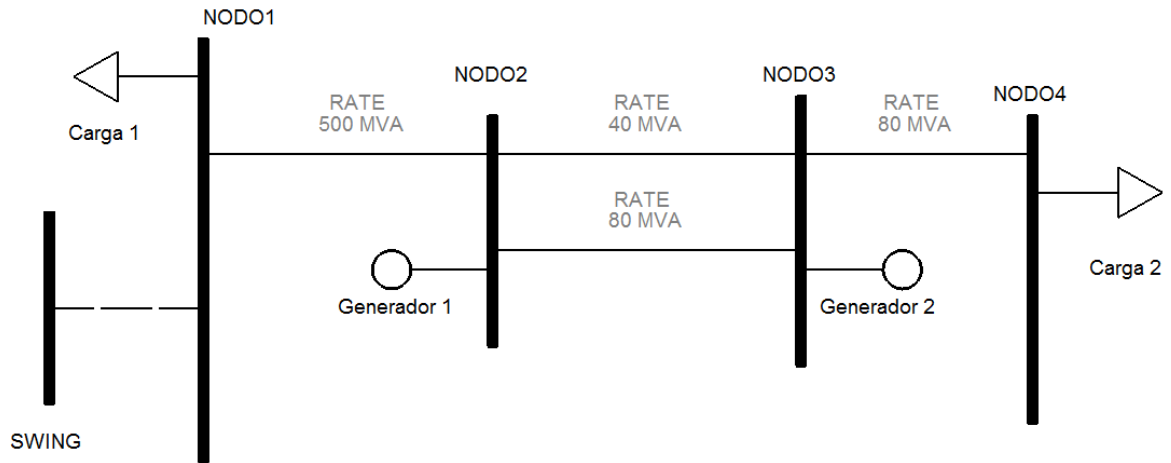


Figura 5: Esquema radial con línea doble.

8.1.4 Caso radial con línea triple

Se muestra en la Figura 6 un caso radial con líneas simples y una triple terna entre el Nodo 2 y el Nodo 3. Estas 3 líneas tienen la misma impedancia y tienen Rates de 80MVA, 40MVA y 20MVA.

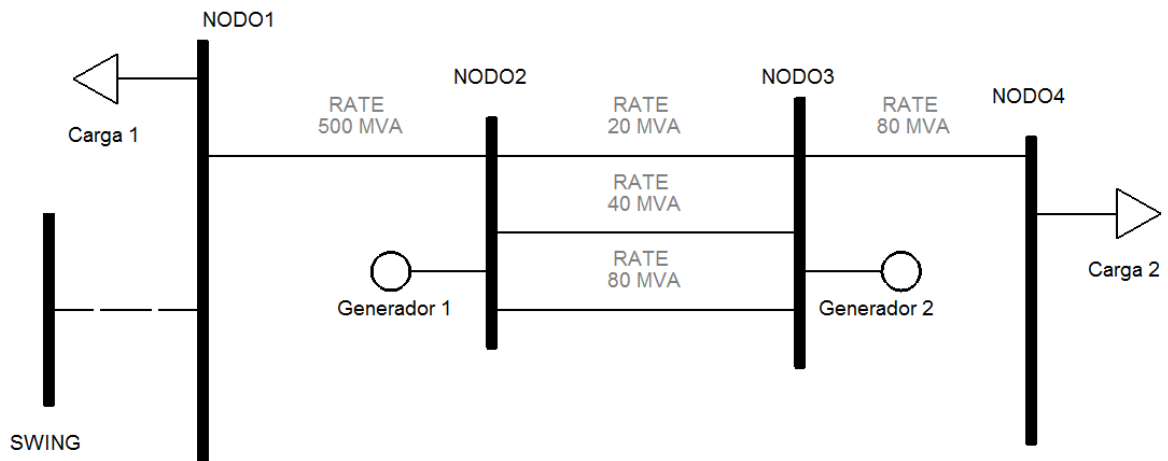


Figura 6: Esquema radial con línea triple.

8.1.5 Caso anillado con línea simple

Se muestra en la Figura 7 el caso con la red anillada donde se cierra el anillo entre el nodo1 y nodo4 de la red original.

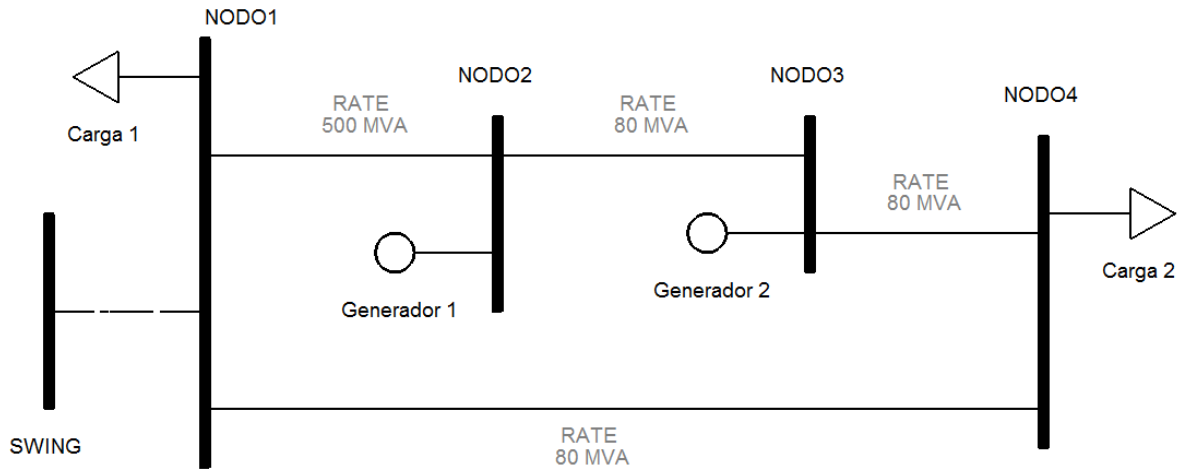


Figura 7: Esquema anillado con línea simple.

8.1.6 Caso anillado con línea doble

Se muestra en la Figura 8 el caso con la red anillada, donde se cierra el anillo entre el nodo1 y nodo4 y se duplica la línea entre el nodo 2 y nodo 3 de la red original.

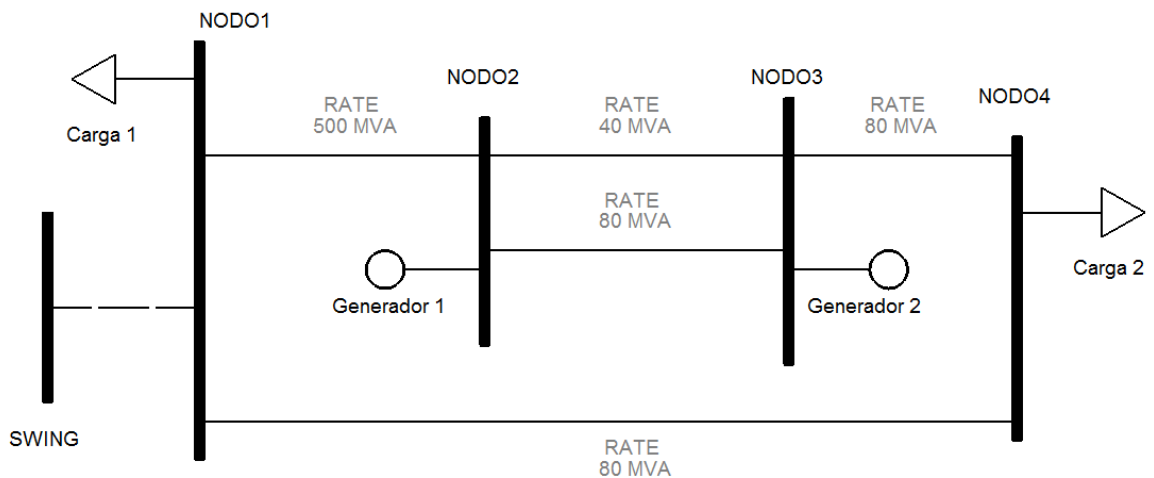


Figura 8: Esquema anillado con línea doble.

8.2 Sala Fotovoltaica

8.2.1 Esquema de la Sala Fotovoltaica

En la Figura 9 se muestra el caso modelado de la red uruguaya simplificada, la cual consiste en 13 Nodos y 7 zonas definidas.

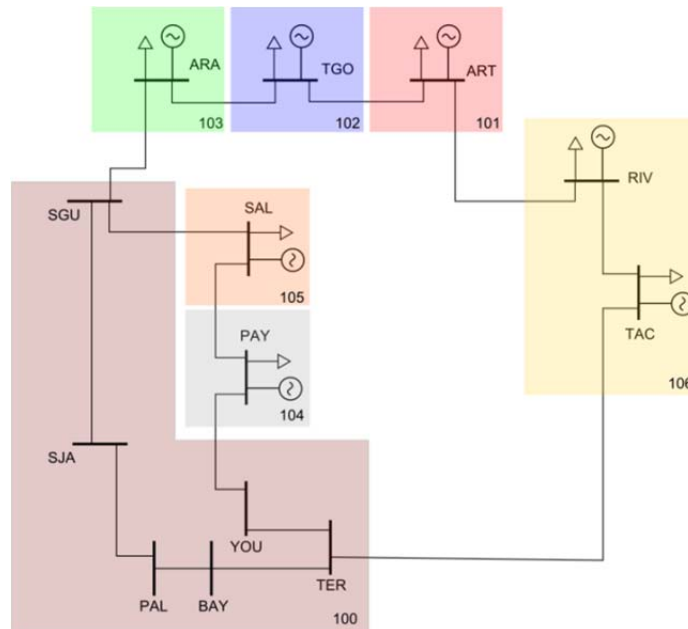


Figura 9: Esquema de la Sala Fotovoltaica.

La demanda, generación y comercio internacional considerados para este estudio se encuentran detallados en el Capítulo 7.

8.2.2 Planteo del problema

El modelo de la Sala 4 Nodos fue utilizado para detectar posibles modificaciones a implementar para mejorar el funcionamiento de la interacción SimSEE-Flucar y luego de implementadas probar su desempeño en un sistema más complejo y donde se represente el sistema uruguayo simplificado. Se hizo un modelado de la parte norte del sistema eléctrico uruguayo hasta Palmar y el resto del sistema, desde Palmar hacia el sur, se representó con su demanda y generación modelados en ese Nodo.

Se eligieron 20 crónicas y 30 iteraciones para poder tener un resultado satisfactorio. Previamente se hicieron pruebas con 5 iteraciones y 10 iteraciones donde se pudo comprobar que los resultados no eran satisfactorios, pues se tenían diferencias importantes en los valores de los flujos de los arcos entre SimSEE y Flucar.

Una vez implementadas las mejoras propuestas, que surgieron como resultado del análisis preliminar de la sala de 4 Nodos, se modeló la Sala Fotovoltaica sin la línea que va desde Artigas a Rivera, incorporando en forma progresiva las plantas de generación fotovoltaica. El incremento progresivo de generación permite analizar la variación del flujo de potencia en los Arcos en función de las restricciones de red. Finalmente, se preparó la Sala Fotovoltaica

donde se incorporaron los 206 MW y se analizaron las restricciones en Arcos y en el despacho de generación como consecuencia de la incorporación de la generación adicional a la acumulada anterior. Los 206 MW surgen de considerar las ofertas recibidas por la reciente Procedimiento de Compra K 44918 para la adquisición de energía de fuente Fotovoltaica.

9 Propuesta de Mejoras

Analizando los resultados obtenidos en base a modificaciones en los precios de los generadores, características de las líneas y cantidad de líneas entre Nodos, se detectaron situaciones en las cuales se pudo comprobar que el Flucar-SimSEE re-despacha cuando hay sobrecargas en los Arcos. Esta operación se realiza iterativamente hasta que el flujo de potencia que circula por los Arcos queda por debajo de su capacidad de carga máxima admisible (Rate). Sin embargo, en algunos casos se detectaron determinados Arcos, que si bien no tenían sobrecarga, presentaban sobrecargas en las líneas que los componen.

Se pudo comprobar que luego del re-despacho realizado por el programa, algunos Arcos quedaban con un desempeño satisfactorio, mientras que otros no. Analizando la red propuesta y algunas variaciones de la misma, se comprobó que en la lógica no se contemplaba la posibilidad de que las líneas que integran un Arco pudieran sobrecargarse individualmente, sin que esa sobrecarga se evidenciara en el Arco integrado por ella.

Como consecuencia de lo anterior se le pidió a Enzo Coppes (coautor del módulo Flucar para SimSEE) que se realizara la implementación de los cambios en el módulo Flucar-SimSEE para lograr que el programa resuelva las sobrecargas de los Arcos, tomando en cuenta las sobrecargas de las líneas que los integran. Para un mayor detalle de la implementación de los cambios en la programación remitirse al Anexo 4.

Cuando se presentaba una sobrecarga en un Arco, el algoritmo original calculaba la proporción del Rate de cada línea integrante del Arco sobrecargado sobre la suma de los Rate de todas las líneas que lo integran, y ese porcentaje los aplicaba a la sobrecarga del Arco (diferencia entre el flujo del Arco y la suma de todos los Rate de las líneas del Arco). Se obtienen los MW que hay que restar al flujo de cada línea del Arco para que el Arco no quede sobrecargado. Se encontró que esto era insuficiente debido a que los Arcos quedaban sin sobrecarga pero algunas líneas del Arco quedaban con sobrecarga y por lo tanto con un desempeño no satisfactorio para la red.

Para mejorar el algoritmo, se le agregó en la programación una modificación adicional que permitiera, una vez ajustado el Rate del Arco, realizar el mismo cálculo para cada una de las líneas que presentan sobrecarga. Es decir, se toman sólo las líneas que tienen sobrecargas individuales dentro del Arco que no presenta ya sobrecarga, y se calculan los porcentajes de cada una de las líneas sobre la suma de sus Rate y luego se aplica cada porcentaje a la sobrecarga que presentan esas líneas con respecto a la suma de sus Rate. Este procedimiento se aplica sucesivamente hasta que todas las líneas del Arco tengan una carga igual o inferior a su Rate. De esta forma se asegura que ni el Arco ni cada una de las líneas que lo integran tengan sobrecarga.

Se presenta en la Figura 10 el diagrama de flujo que contiene los pasos principales de la interacción entre SimSEE y Flucar y la modificación descrita anteriormente la cual se realiza en el paso representado dentro del recuadro naranja.

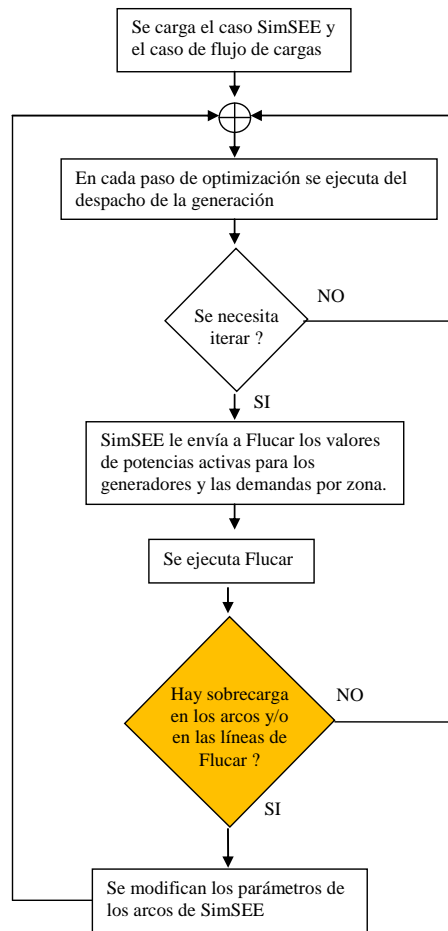


Figura 10: Diagrama de flujo

Como modificaciones secundarias realizadas en el programa se pueden destacar:

1. El cálculo de los rendimientos en los Arcos de SimSEE (cociente de la potencia de salida sobre la potencia de entrada).
2. El resumen de los resultados de los flujos de los Arcos de SimSEE, y los flujos de Flucar.
3. Los valores de los Rate de los Arcos de SimSEE.
4. Los valores de las demandas por Nodo y generación por Nodo.
5. La posibilidad de que el usuario disponga de todos los archivos RAW generados durante las iteraciones, donde se incluye toda esta información generada durante cada paso de tiempo.

A continuación se muestra la opción implementada en el módulo de Flucar que permite al usuario la opción de generar los archivos RAW de cada una de las iteraciones. Los contenidos de dichos archivos se presentan en la Figura 11.

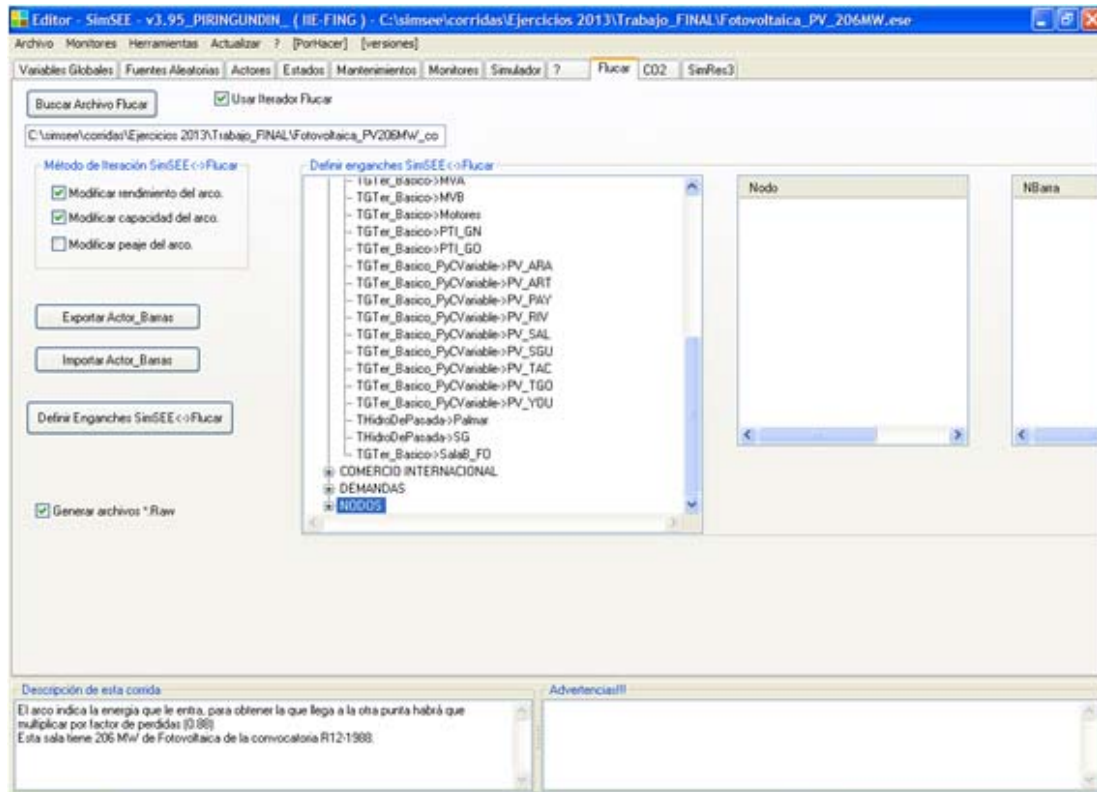


Figura 11: Contenido de archivos RAW en SimSEE-Flucar.

10 Resultados de la Sala 4 Nodos

Se presentan los resultados obtenidos para las diferentes configuraciones de la Sala 4 Nodos. Los resultados del análisis de la red realizado en SimSEE-Flucar se presentan con diagramas de flujo de cargas obtenidos de PSSE para una mejor visualización de los mismos.

Adicionalmente, se comparan los flujos de potencia (por líneas y arcos) resultantes de correr el flujo de carga de cada configuración en PSSE y SimSEE.

10.1 Resultados del caso radial con línea simple

Se realiza primero el despacho económico sin tomar en cuenta las restricciones de red. Se muestra en la Figura 12 el resultando del despacho y los flujos en la red.

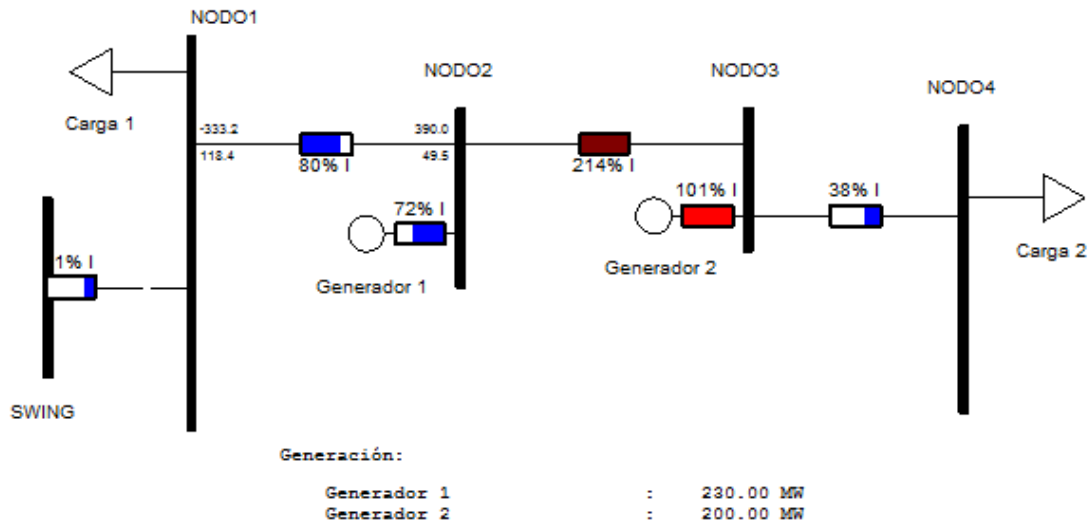


Figura 12: Flujos del esquema radial con línea simple sin Flucar.

Se puede ver claramente que existe sobrecarga en la línea entre el Nodo 3 y el Nodo 4.

Luego se realiza el despacho considerando las restricciones de red con el módulo Flucar del SimSEE. Se muestra en la Figura 13 el flujo de carga por el circuito.

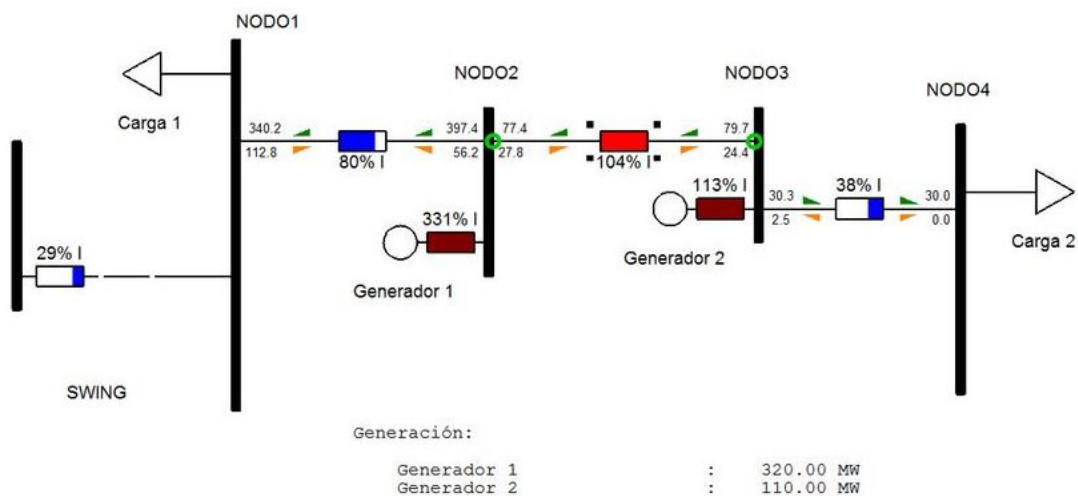


Figura 13: Flujos del esquema radial con línea simple con Flucar.

Se muestra en la Tabla 12 la comparativa entre los flujos resultantes de correr el esquema en SimSEE-Flucar y en PSSE.

	Flujo SimSEE (MW)	Flujo PSSE (MW)	Diferencia (%)
Nodo1 – Nodo 2	400.0	397.4	0.7
Nodo 2 – Nodo 3	80.0	79.7	0.4
Nodo3 – Nodo 4	30.0	30.3	0.1

Tabla 12: Comparativa de flujos del esquema radial con línea simple.

Se puede ver que efectivamente corrigió el despacho para que no se sobrecargue ninguna línea y que la diferencia entre los flujos obtenidos en cada programa es menor al 0.7%.

10.2 Resultados del caso radial con línea doble

El despacho económico es el mismo que en el caso anterior cuando no se tiene en cuenta la red y así se puede ver los resultados en la Figura 14.

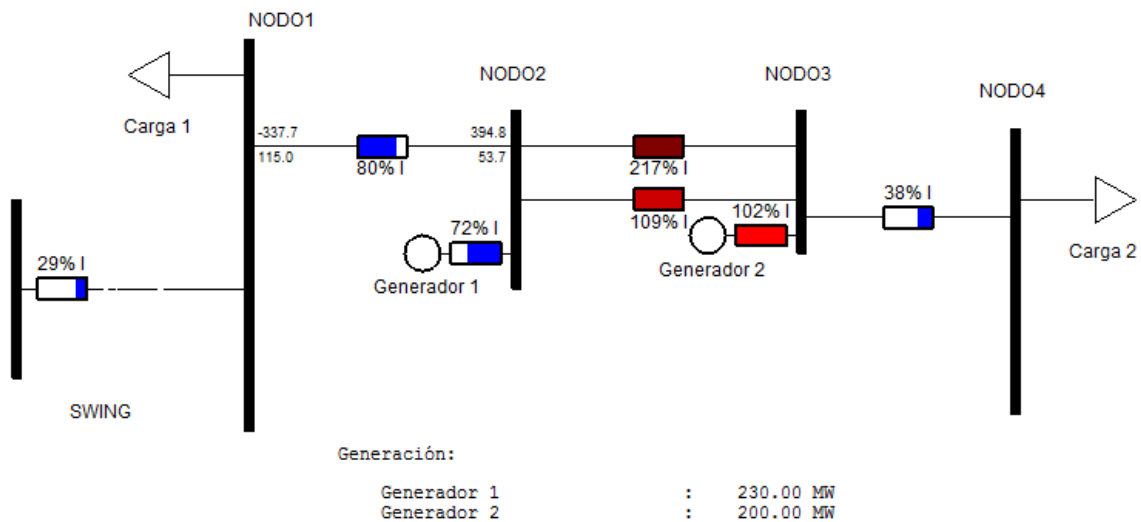


Figura 14: Flujos en el esquema radial con línea doble sin Flucar.

Aparece una sobrecarga en las líneas que van del Nodo2 al Nodo3.

Se muestra en la Figura 15 el flujo de carga por el circuito cuando se utiliza el módulo Flucar de SimSEE.

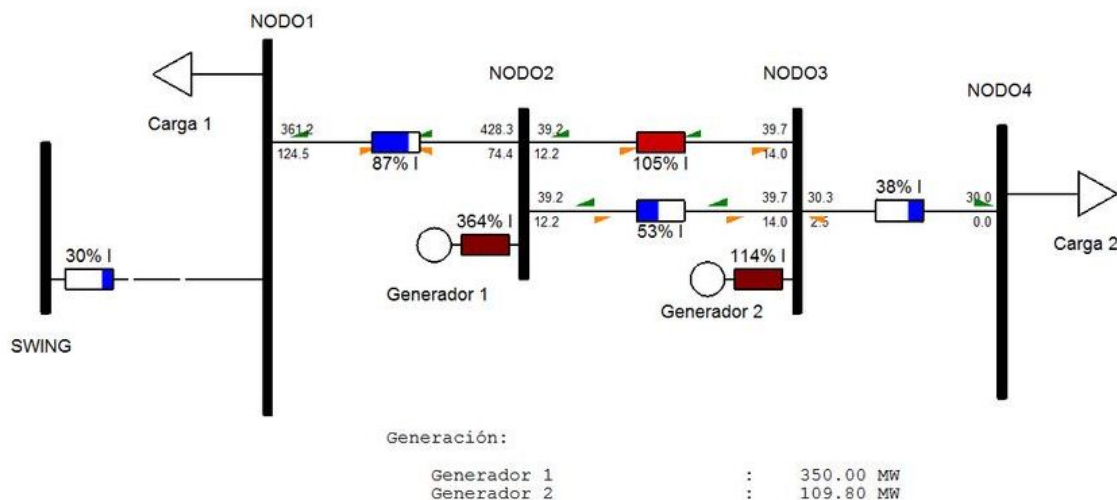


Figura 15: Flujos en el esquema radial con línea doble con Flucar.

Se muestra en la Tabla 13 la comparativa entre los flujos resultantes de correr el esquema en SimSEE-Flucar y en PSSE.

	Flujo SimSEE (MW)	Flujo PSSE (MW)	Diferencia (%)
Nodo1 – Nodo 2	427.8	428.3	0.1
Nodo 2 – Nodo 3	80.9	79.4	1.8
Nodo3 – Nodo 4	30.3	30.3	0.0

Tabla 13: Comparativa de flujos del esquema radial con línea doble.

Se puede ver que efectivamente corrigió el despacho para que no se sobrecargue ninguna línea y que la diferencia entre los flujos obtenidos en cada programa es menor al 2%.

10.3 Resultados del caso radial con línea triple

El despacho económico es el mismo que en el caso anterior cuando no se tiene en cuenta la red y se pueden ver los resultados en la Figura 16.

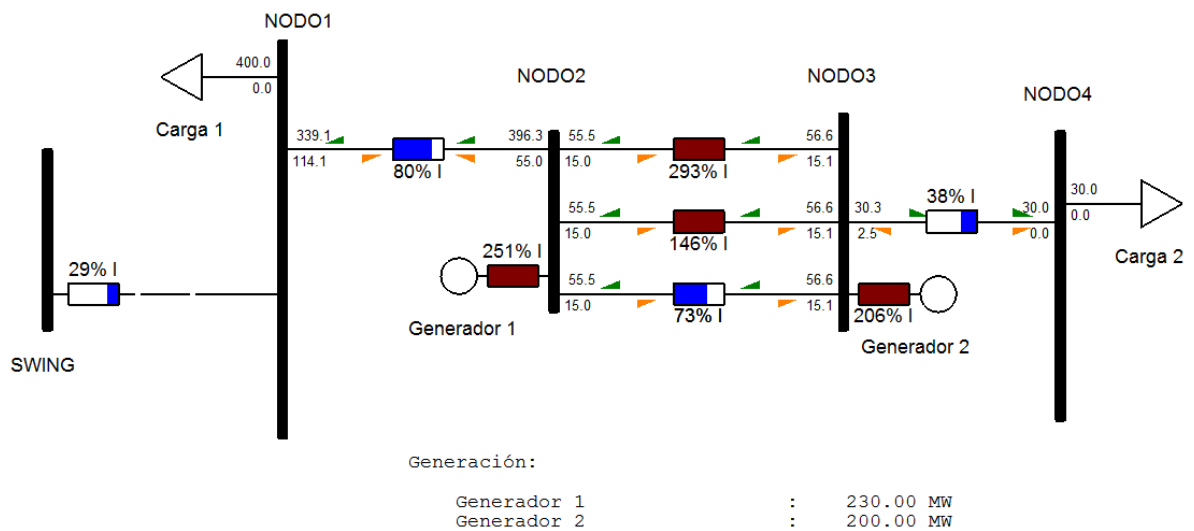


Figura 16: Flujos del esquema radial con línea triple sin Flucar.

Se muestra en la Figura 17 el flujo por la red cuando se utiliza el módulo Flucar-SimSEE.

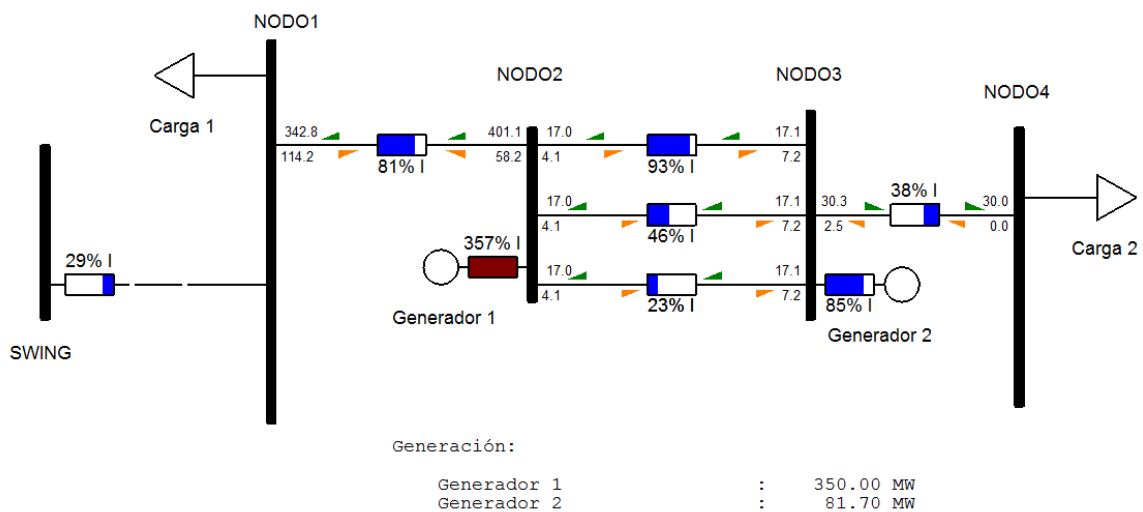


Figura 17: Flujo del esquema radial con línea triple con Flucar.

Se muestra en la Tabla 14 la comparativa entre los flujos resultantes de correr el esquema en SimSEE-Flucar y en PSSE.

	Flujo SimSEE (MW)	Flujo PSSE (MW)	Diferencia (%)
Nodo1 – Nodo2	400.5	401.1	0.2
Nodo 2 – Nodo 3	51.4	51.3	0.2
Nodo3 – Nodo 4	30.3	30.3	0.0

Tabla 14: Comparativa de flujos del esquema radial con línea triple.

Se puede ver que efectivamente corrigió el despacho para que no se sobrecargue ninguna línea y que la diferencia entre los flujos obtenidos en cada programa es menor al 0.2%.

10.4 Resultados del caso anillado con líneas simple

El despacho económico es el mismo que en el caso anterior cuando no se tiene en cuenta la red y se pueden ver los resultados en la Figura 18.

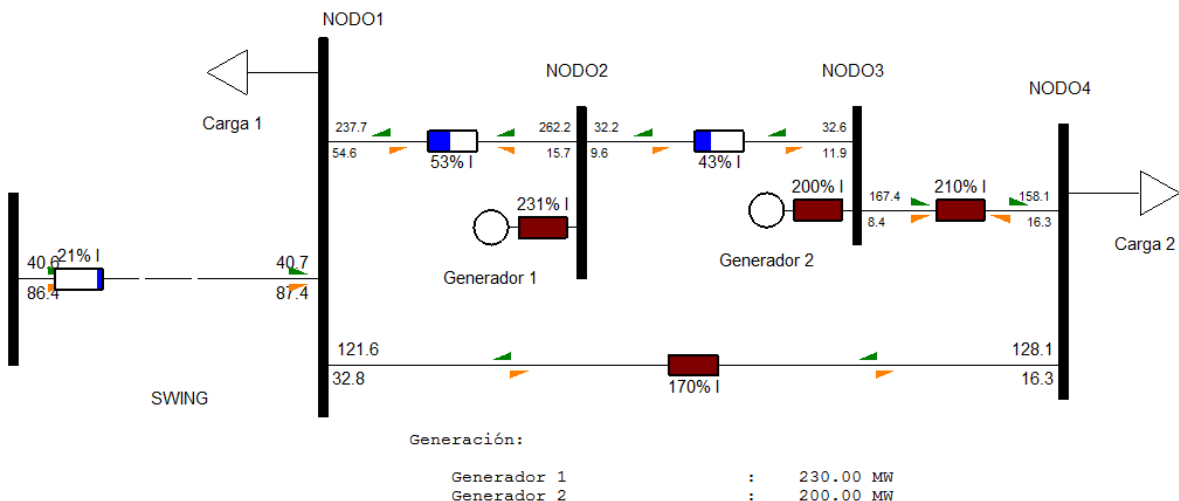


Figura 18: Flujo del esquema anillado con línea simple sin Flucar.

Se muestra en la Figura 19 el flujo por la red cuando se utiliza el módulo Flucar-SimSEE.

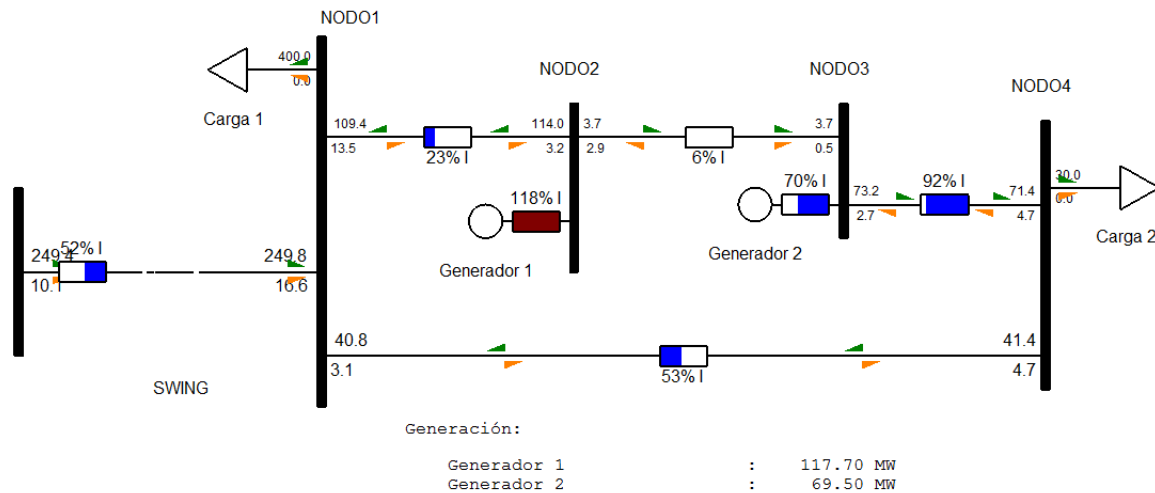


Figura 19: Flujo del esquema anillado con línea simple con Flucar.

Se muestra en la Tabla 15 la comparativa entre los flujos resultantes de correr el esquema en SimSEE-Flucar y en PSSE.

	Flujo SimSEE (MW)	Flujo PSSE (MW)	Diferencia (%)
Nodo1 – Nodo2	117.7	114.0	3.2
Nodo 2 – Nodo 3	0.0	3.7	100.0
Nodo3 – Nodo 4	69.5	71.4	2.6
Nodo 4 – Nodo 1	37.7	41.4	8.9

Tabla 15: Comparativa de flujos del esquema anillado con línea simple.

Se puede ver que efectivamente se corrigió el despacho para que no se sobrecargue ninguna línea. En este caso se tiene una diferencia grande en la línea que va del Nodo 2 al Nodo 3 debido a que en SimSEE se eliminó el flujo por ella pero en PSSE el flujo es pequeño pero distinto a cero, originando una diferencia del 100%. Si no se toma en cuenta ese valor la diferencia entre los flujos obtenidos en cada programa es menor al 9%.

10.5 Resultados del caso anillado con línea doble

El despacho económico es el mismo que en el caso anterior cuando no se tiene en cuenta la red y se pueden ver los resultados en la Figura 20.

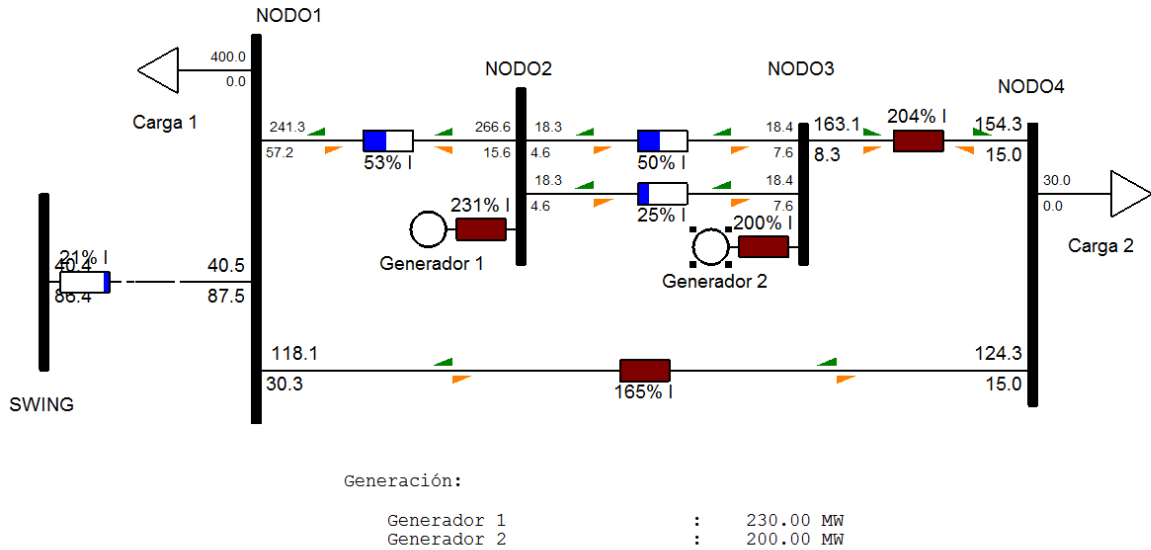


Figura 20: Flujo del esquema anillado con línea doble sin Flucar.

Se muestra en la Figura 21 el flujo por la red cuando se utiliza el módulo Flucar-SimSEE.

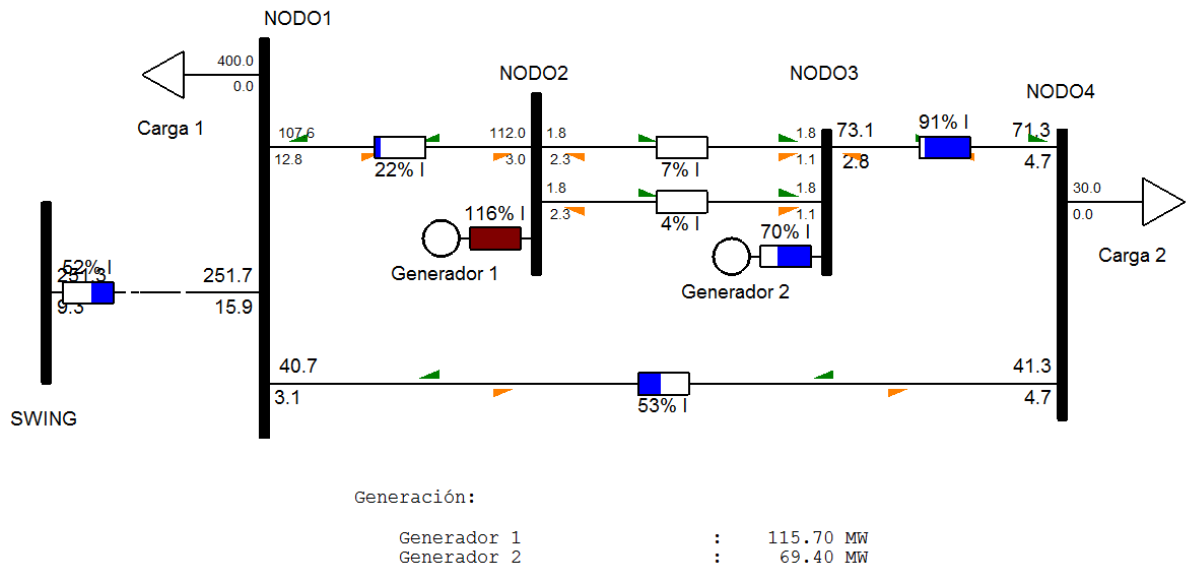


Figura 21: Flujo del esquema anillado con línea doble con Flucar.

Se muestra en la Tabla 16 la comparativa entre los flujos resultantes de correr el esquema en SimSEE-Flucar y en PSSE.

	Flujo SimSEE (MW)	Flujo PSSE (MW)	Diferencia (%)
Nodo1 – Nodo2	115.0	112.0	2.7
Nodo 2 – Nodo 3	0.0	3.6	100.0
Nodo3 – Nodo 4	69.1	71.4	3.2
Nodo 4 – Nodo 1	37.3	41.3	9.7

Tabla 16: Comparativa de flujos del esquema anillado con línea doble.

Se puede ver que efectivamente corrigió el despacho para que no se sobrecargue ninguna línea. En este caso también tiene una diferencia grande en la línea que va del Nodo 2 al Nodo 3 debido a que en SimSEE se eliminó el flujo por ella pero en PSSE el flujo es pequeño pero distinto a cero, originando una diferencia del 100%. Si no se toma en cuenta ese valor la diferencia entre los flujos obtenidos en cada programa es menor al 10%.

11 Resultados de la Sala Fotovoltaica

11.1 Resultados del análisis

Se realiza primero un flujo de carga con PSSE con toda la demanda y toda la generación disponible cargada en SimSEE. Se muestra en la Figura 22 que se presentar sobrecargas no admisibles en las redes.

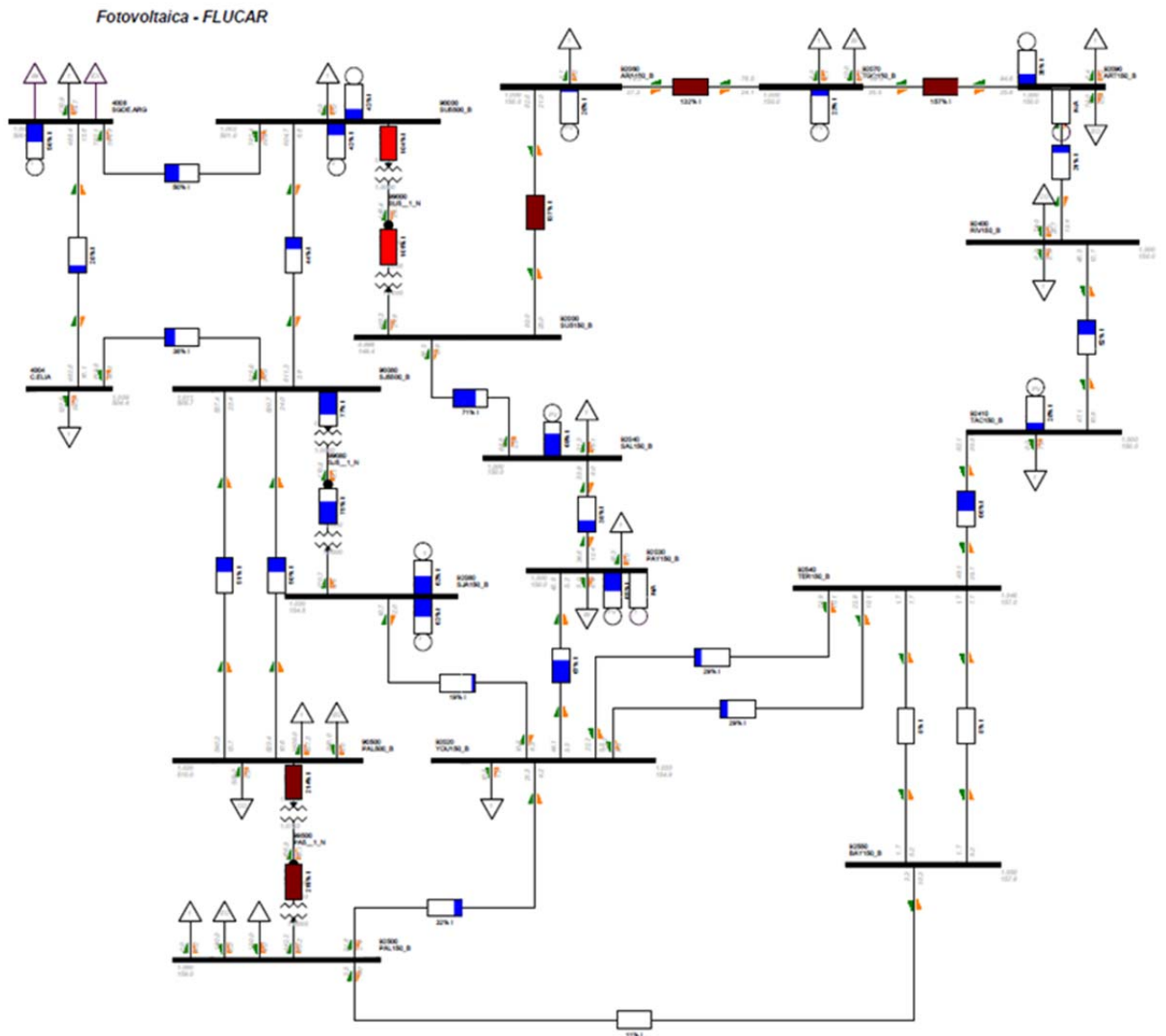


Figura 22: Flujo del esquema de la Sala Fotovoltaica sin Flucar.

Luego se realiza el despacho considerando las restricciones de red con el módulo Flucar del SimSEE. Se presentan los resultados en la Figura 23, obtenidos para la semana 1, crónica 1, Poste 3 en la iteración que es la final en este caso. Estos resultados se presentan en el Anexo 3.

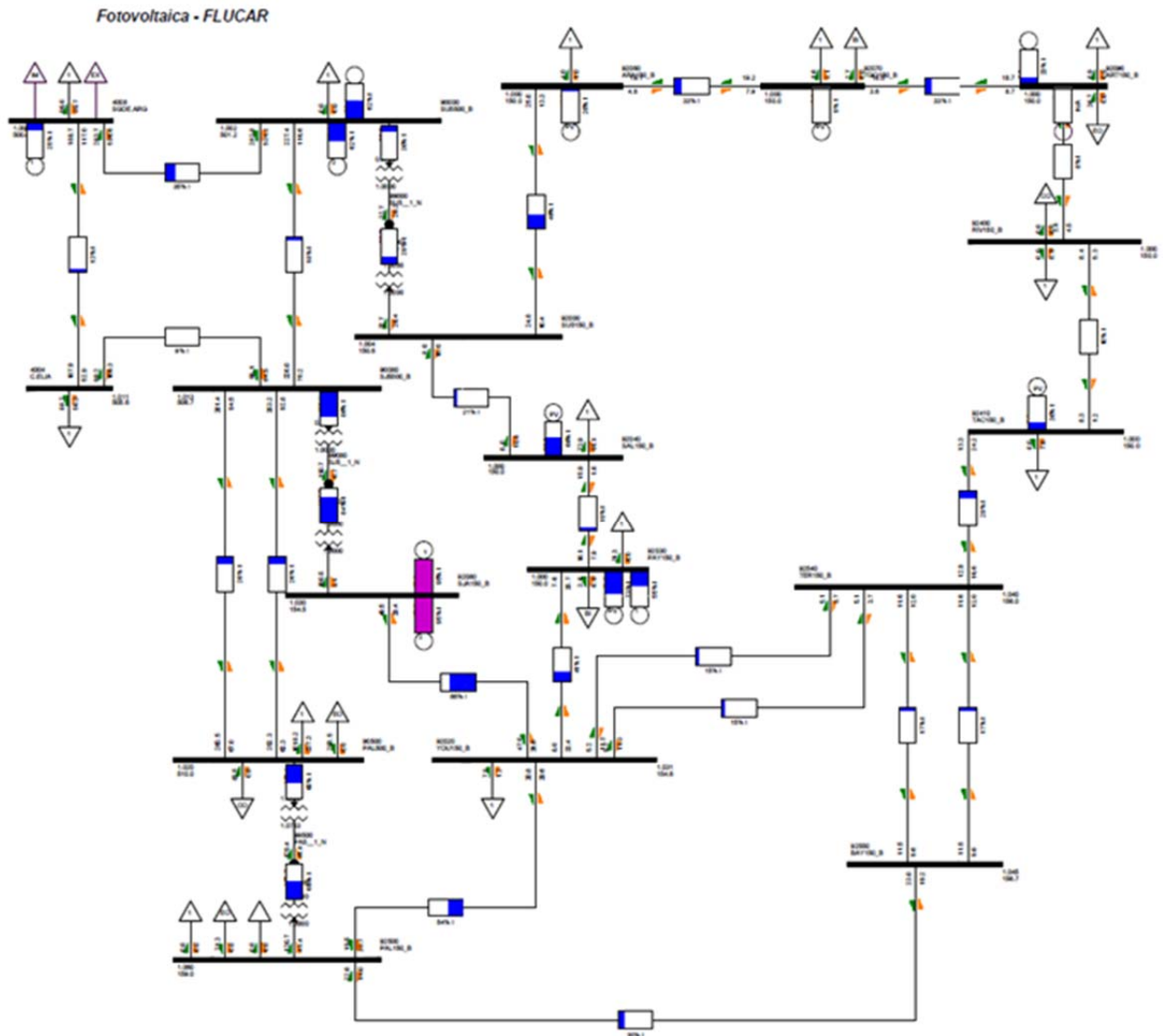


Figura 23: Flujo del esquema de la Sala Fotovoltaica con Flucar.

Como se puede apreciar, el módulo Flucar-SimSEE hace un re-despacho de generación para lograr un desempeño satisfactorio de la red.

Se muestra en la Tabla 17 la comparativa entre los flujos de las líneas más importantes como resultado de correr el esquema en SimSEE-Flucar y en PSSE. La diferencia se muestra como porcentaje del flujo calculado en PSSE.

	Flujo SimSEE (MW)	Flujo PSSE (MW)	Diferencia (%)
ART - TGO	14.9	18.7	20.3
TGO - ARA	15.5	19.2	19.3
ART - RIV	6.9	3.4	-102.9
ARA - SGU	21.2	25.0	15.2
SAL - SGU	5.3	8.0	33.7
PAY - SAL	2.6	16.1	83.8
RIV - SGU	16.3	23.0	29.1

Tabla 17: Comparativa de flujos del esquema de la Sala Fotovoltaica.

Analizando los resultados se puede ver que en el Arco que va desde Artigas a Rivera existen una diferencia del orden del 100% para los flujos calculados con cada programa. Esta diferencia se debe a que el modelado de esa zona en PSSE difiere del modelado en SimSEE. Para el resto de los flujos la diferencia de resultados entre ambos programas es menor a un 20%.

Se muestran a continuación (en las Tablas 18, 19, 20 y 21) los resultados obtenidos para las sucesivas incorporaciones de generación fotovoltaica hasta completar los 206 MW.

POTENCIA	P3_EOL_ART	P3_EOL_PAS	P3_EOL_PAL
PV_ART	26.31	39.59	347.92
PV_ART_ARA	23.58	39.59	347.92
PV_ART_ARA_SAL	23.58	39.59	347.92
PV_ART_ARA_SAL_PAY	23.58	39.59	347.92
PV_ART_ARA_SAL_PAY_RIV_SGU_TAC_TGO_YOU	17.35	354.83	40.38

Tabla 18: Variación de la generación eólica en MW.

POTENCIA	P3_PV_ART	P3_PV_TGO	P3_PV_ARA	P3_PV_SAL	P3_PV_PAY	P3_PV_RIV	P3_PV_SGU	P3_PV_TAC	P3_PV_YOU
PV_ART	34.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PV_ART_ARA	4.00	0.00	47.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PV_ART_ARA_SAL	4.00	0.00	47.54	48.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PV_ART_ARA_SAL_PAY	4.00	0.00	47.54	48.94	48.19	0.00	0.00	0.00	0.00
PV_ART_ARA_SAL_PAY_RIV_SGU_TAC_TGO_YOU	1.63	4.69	7.77	66.00	39.33	3.01	50.00	2.33	0.00

Tabla 19: Variación de la generación fotovoltaica en MWp.

ARCOS	P3_ART_TGO	P3_TGO_ARA	P3_ARA_SGU	P3_SGU_SAL	P3_SAL_PAY	P3_PAY_SGU	P3_SGU_PAY	P3_PAY_SAL
PV_ART	52.11	50.23	45.04	19.38	0.07	0.00	29.87	5.97
PV_ART_ARA	18.66	14.47	57.49	16.17	0.04	0.00	25.91	3.93
PV_ART_ARA_SAL	18.65	14.47	57.48	12.52	1.62	0.00	26.02	2.99
PV_ART_ARA_SAL_PAY	18.66	14.47	57.49	5.62	0.03	1.94	3.17	18.35
PV_ART_ARA_SAL_PAY_RIV_SGU_TAC_TGO_YOU	9.51	12.10	15.66	0.81	0.00	0.37	1.24	8.34

Tabla 20: Variación de los flujos en los Arcos en MW.

ARCOS	P3_SAL_SGU	P3_SGU_ARA	P3_ARA_TGO	P3_TGO_ART	P3_ART_RIV	P3_RIV_ART	P3_RIV_SGU	P3_SGU_RIV
PV_ART	0.00	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PV_ART_ARA	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PV_ART_ARA_SAL	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PV_ART_ARA_SAL_PAY	0.17	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PV_ART_ARA_SAL_PAY_RIV_SGU_TAC_TGO_YOU	1.58	0.01	0.02	0.06	0.80	0.19	5.93	0.00

Tabla 21: Variación de los flujos en los Arcos en MW.

Como se puede apreciar, en la medida que se va despachando más generación fotovoltaica comenzando desde Artigas hacia el lado se Salto Grande van surgiendo restricciones de red que el módulo Flucar-SinSEE resuelve haciendo un re-despachando económico que tiene en cuenta los precios de los generadores. Se puede ver que la potencia inyectada en Artigas se reduce fuertemente cuando ingresa generación en Arapey y luego no presenta variaciones significativas con los sucesivos ingresos. Con los ingresos sucesivos de generación fotovoltaica sucede algo similar, hasta que ingresa el resto de la generación, donde se observa que sólo se reduce en forma significativa la generación en Arapey.

En resumen, el módulo Flucar-SimSEE hace un re-despacho económico logrando un desempeño satisfactorio de la red despachando **174,7 MWp** que representan el 85% de la potencia disponible. Estos resultados corresponden al Poste 3 donde se despacha la generación fotovoltaica y corresponden a una crónica en particular que fue la elegida para realizar el análisis de resultados. Se muestra en la Figura 24 la evolución promedio a lo largo de las 52 semanas del despacho de generación eólica y fotovoltaica, luego de la simulación Flucar-SimSEE.

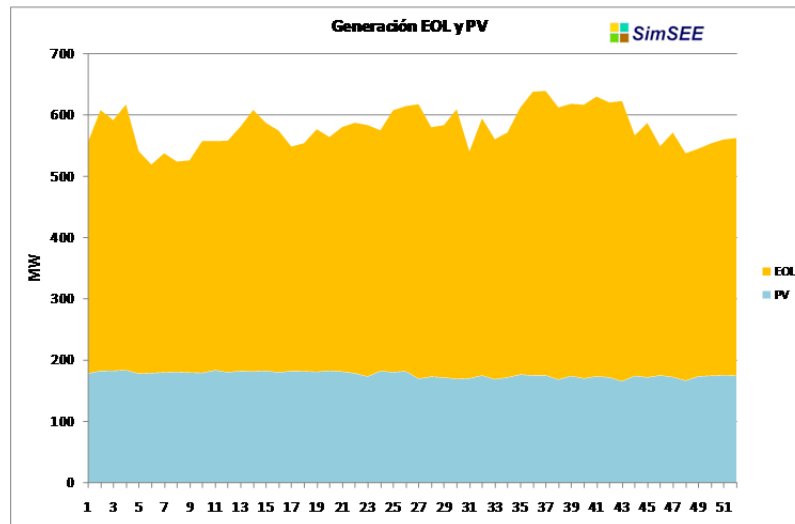


Figura 24: Generación eólica y fotovoltaica

Como se puede apreciar si bien la generación eólica tiene importantes variaciones en su despacho, la fotovoltaica presenta pocas variaciones en el horizonte de simulación.

11.2 Cálculo de Costo de Abastecimiento de la Demanda

Se muestra en la Figura 25 el costo de abastecimiento de la demanda para el esquema de la Sala Fotovoltaica, simulada con horizonte de 52 semanas, con y sin restricciones de red. Este costo comprende el costo del paso (combustibles, importación, etc) y el costo futuro teniendo en cuenta las cotas de los embalses.

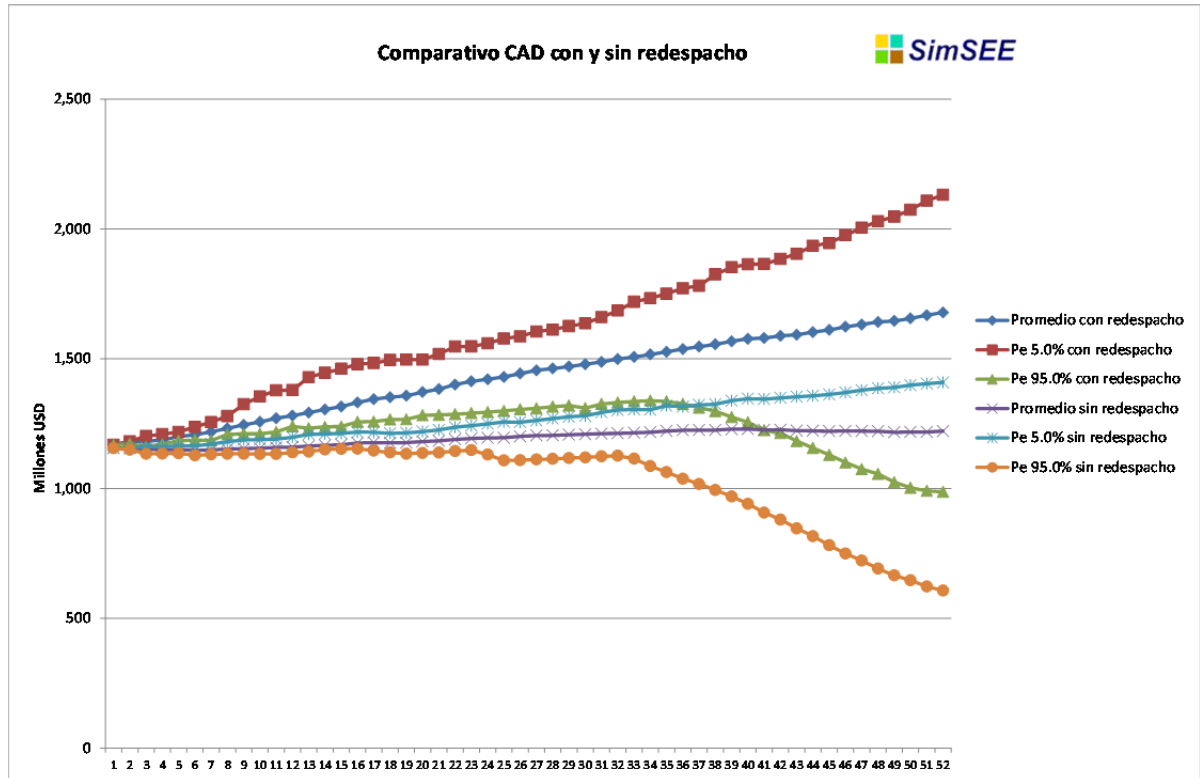


Figura 25: Costo de abastecimiento de la demanda con y sin Flucar

Se presenta en la Tabla 26 un resumen de los valores para cada caso.

	Promedio	Pe5.0%	Pe10.0%	Pe20.0%	Pe80.0%	Pe90.0%	Pe95.0%	
Con Repespacho	1,432.88	1,622.22	1,596.32	1,535.59	1,375.98	1,301.43	1,224.35	MUSD
Sin Repespacho	1,194.03	1,269.94	1,248.05	1,237.38	1,171.89	1,153.58	1,028.29	MUSD
Sobrecosto	20%	28%	28%	24%	17%	13%	19%	

Tabla 22: Resumen de resultados del CAD.

Se puede concluir que el CAD con re-despacho es superior al costo sin re-despacho presentándose un incremento de costo de entre un 13% y un 28% referido al caso sin re-despacho, siendo en promedio un 20%. El incremento en el costo se debe a que una vez impuestas las restricciones de red SimSEE-Flucar debe apartarse del despacho económico óptimo y completar el abastecimiento de la demanda con recursos más caros.

12 Conclusiones

Se presentan a continuación las conclusiones para cada una de las Salas estudiadas.

12.1 Sala 4 Nodos

Analizando los resultados se puede comprobar el buen desempeño que realiza el módulo de interacción Flucar-SimSEE modificando el despacho de generación para contemplar las restricciones impuestas por la red. En general, se puede observar que luego del re-despacho la carga de los elementos sobrecargados disminuye hasta límites aceptables.

Al comparar los flujos de potencia en PSSE con los flujos de potencia en SimSEE se puede ver que se obtienen valores similares encontrando las mayores diferencias sobre todo en los casos de las redes anilladas. De esta manera, estudiando una red más compleja los flujos obtenidos por los Arcos del SimSEE no sustituyen los resultados de correr un flujo de cargas.

Se comprobó, como era de esperar, que el despacho resultante al imponer las restricciones de red es de mayor costo que el despacho original sin red. No se comprobó que el re-despacho obtenido sea el óptimo pero el mismo es obtenido utilizando el método SIMPLEX de SimSEE por lo cual se concluye que efectivamente es el despacho de menor costo con restricciones de red.

12.2 Sala Fotovoltaica

De los resultados anteriores se puede concluir en forma preliminar que los 206 MWp de generación Fotovoltaica modelados con Flucar-SimSEE en una red simplificada del Uruguay dio como resultado que si bien en algunos puntos de inyección de generación fotovoltaica se producen re-despachos importantes puntuales, como en Artigas y Arapey, se logra un desempeño satisfactorio de la red con un re-despacho económico, obteniendo en el año como promedio de las 20 crónicas un despacho de **174,7 MWp** de generación fotovoltaica que representan el 85% de la potencia inicialmente disponible (206 MWp).

Se puede considerar un buen resultado teniendo en cuenta que si bien el módulo Flucar-SimSEE hizo un re-despacho económico, no se han propuesto obras de transmisión para evitar esos re-despachos y lograr un desempeño satisfactorio de la red sin perder generación.

Con la simulación Flucar-SimSEE se obtiene un re-despacho económico con un desempeño satisfactorio de la red sin necesidad de proponer obras de refuerzo en el sistema de transmisión alcanzando un alto porcentaje de la generación fotovoltaica disponible para conectar a la red. Este resultado podría mejorarse con la propuesta de obras de refuerzo del sistema de transmisión y evaluando cómo impacta la inversión requerida en obras de transmisión en el costo de abastecimiento de la demanda para determinar si se logra una mejora significativa adicional a la obtenida.

13 Posibles trabajos futuros

Como posibles trabajos futuros se pueden sugerir algunas mejoras a implementar:

- Analizar alternativas al algoritmo de re-despacho de generación para reducir la sobrecarga de los Arcos a valores admisibles que no superen los Rate fijados para cada línea en SimSEE.
- Implementar el cálculo de la potencia reactiva y del factor de potencia para poder analizar las tensiones en los Nodos luego del re-despacho.
- Preparar una breve ayuda que pueda ser accesible desde dentro del SimSEE.
- Elaborar una Sala completa de Uruguay con la generación futura planificada y analizar la inyección de los 200 MWp de generación Fotovoltaica, comparando los resultados obtenidos con los de este estudio.
- Complementar este estudio con un análisis de los Costos de Abastecimiento de la Demanda con un análisis de sensibilidad los precios futuros de generación de renovables.
- Agregar a los archivos RAW las máquinas de falla despachadas en caso que el módulo Flucar-SimSEE tenga necesidad de cortar demanda para eliminar sobrecargas para lograr un desempeño satisfactorio de la red.
- Programar la definición del archivo RAW desde el mismo módulo Flucar-SimSEE si necesidad de disponer de un archivo previo RAW con el modelado de la red.
- Implementar en el módulo Flucar-SimSEE el disparo de líneas o Arcos cuando se supere cierto valor de sobrecarga o un Rate prefijado para cada línea.

14 Agradecimientos

Agradecemos al Ing. Enzo Coppes por su dedicación y apoyo durante el desarrollo del trabajo.

15 Referencias

[1] Modelo de flujo de cargas aplicado al SimSEE

Enzo Coppes y Marcelo Forets - IIE – Montevideo – Uruguay

[2] Implementación de módulo de flujo de cargas a la plataforma SimSEE y su aplicación al análisis de restricciones de operación del sistema uruguayo con alta penetración de energía eólica - Msc. Ing. Ruben Chaer, E. Coppes, M. Forets, A. Rondoni y R. Escuder

16 Anexos

16.1 Anexo 1

Exportación de Barras y Actores de Flucar

Se muestra a continuación el texto plano del archivo RAW con las especificaciones para la exportación de los parámetros de la Sala fotovoltaica.

GENERADORES;

```
TGTer_Basico->APR_GO; | ; 90500; 90500; 90500; 90500; | ; '17'; '18'; '19'; '20';
THidroDePasada->Baygorria; | ; 92500; 92500; 92500; | ; '8'; '9'; '10';
TGTer_Basico->BiomasaAutoDespachada ALUR; | ; 92090; | ; '1';
TGTer_Basico->BiomasaAutoDespachada Liderdat; | ; 92030; | ; '1';
TGTer_Basico->BiomasaAutoDespachada UPM; | ; 92080; 92080; 92080; | ; '1'; '2'; '3';
';
THidroConEmbalse->Bonete; | ; 92500; 92500; 92500; 92500; | ; '4'; '5'; '6'; '7';
TGTer_Basico->CB-5ta-FOP; | ; 90500; | ; '22';
TGTer_Basico->CB-6ta-FOP; | ; 90500; | ; '23';
TGTer_Basico->CC470_GN; | ; 90500; 90500; 90500; | ; '4'; '5'; '6';
TGTer_Basico->CTR_GN; | ; 90500; 90500; | ; '9'; '10';
TGTer_Basico->CTR_GO; | ; 90500; 90500; | ; '9'; '10';
TParqueEolico->EOLART; | ; 92090; | ; 'EO';
TParqueEolico->EOLPA5; | ; 90500; | ; 'EO';
TParqueEolico->EOLPAL; | ; 92500; | ; 'EO';
TGTer_Basico->MVA; | ; 90500; | ; '7';
TGTer_Basico->MVB; | ; 90500; | ; '8';
TGTer_Basico->Motores; | ; 90500; 90500; 90500; 90500; 90500; 90500; 90500; 90500; | ;
'24'; '25'; '26'; '27'; '28'; '29'; '30'; '31';
TGTer_Basico->PTI_GN; | ; 90500; 90500; 90500; 90500; 90500; 90500; | ; '11'; '12';
'13'; '14'; '15'; '16';
TGTer_Basico->PTI_GO; | ; 90500; 90500; 90500; 90500; 90500; 90500; | ; '11'; '12';
'13'; '14'; '15'; '16';
TGTer_Basico_PyCVariable->PV_ARA; | ; 92060; | ; 'PV';
TGTer_Basico_PyCVariable->PV_ART; | ; 92090; | ; 'PV';
TGTer_Basico_PyCVariable->PV_PAY; | ; 92030; | ; 'PV';
TGTer_Basico_PyCVariable->PV_RIV; | ; 92400; | ; 'PV';
TGTer_Basico_PyCVariable->PV_SAL; | ; 92040; | ; 'PV';
TGTer_Basico_PyCVariable->PV_SGU; | ; 92000; | ; 'PV';
TGTer_Basico_PyCVariable->PV_TAC; | ; 92410; | ; 'PV';
TGTer_Basico_PyCVariable->PV_TGO; | ; 92070; | ; 'PV';
TGTer_Basico_PyCVariable->PV_YOU; | ; 92020; | ; 'PV';
THidroDePasada->Palmar; | ; 90500; 90500; 90500; | ; '32'; '33'; '34';
THidroDePasada->SG; | ; 90000; 90000; 90000; 90000; 90000; 90000; 90000; | ; '1'; '2';
'3'; '4'; '5'; '6'; '7';
TGTer_Basico->SalaB_FO; | ; 90500; | ; '21';
```

COMERCIO INTERNACIONAL;

```
TMercadoSpot->ExpoAg; | ; 4008; | ; 'EX';  
TMercadoSpot->Imp_Arg; | ; 4008; | ; 'IM';  
TMercadoSpot_postizado->RivLiv; | ; 92400; | ; 'CO';  
TMercadoSpot_postizado->cnv500; | ; 90500; | ; 'CO';
```

DEMANDAS;

```
TDemandaAnioBaseEIndices->Demanda_ARA; | ; | ;  
TDemandaAnioBaseEIndices->Demanda_ART; | ; | ;  
TDemandaAnioBaseEIndices->Demanda_PAY; | ; | ;  
TDemandaAnioBaseEIndices->Demanda_SAL; | ; | ;  
TDemandaAnioBaseEIndices->Demanda_SGU; | ; | ;  
TDemandaAnioBaseEIndices->Demanda_TGO; | ; | ;
```

NODOS SIMSEE;

```
TNodo->ARA; | ; 103;  
TNodo->ART; | ; 101;  
TNodo->PAL; | ; 100;  
TNodo->PAY; | ; 105;  
TNodo->RIV; | ; 106;  
TNodo->SAL; | ; 104;  
TNodo->SGU; | ; 100;  
TNodo->TGO; | ; 102;  
TNodo->YOU; | ; 100;
```

16.2 Anexo 2

Adaptación del modelo de red a SimSEE

Para adaptar el modelo de red eléctrica a la plataforma SIMSEE se planteó el siguiente esquema de trabajo:

1. Planteo general del problema de flujo de cargas, estudio y adaptación.
2. Incorporación de los TAP's variables de los transformadores a la formulación del problema.
3. Desarrollo de los algoritmos de lectura de datos de los archivos de datos de red del PSSE.
4. Estudio de diferentes formas de incorporar la red al SIMSEE e implementación de la solución elegida.
5. Pruebas y validación de los resultados obtenidos.

Planteo general del problema de flujo de cargas, estudio y adaptación

Se planteó la resolución del problema de flujo de cargas por medio de la metodología orientada a objetos donde cada elemento del sistema eléctrico representa un Actor que tiene la posibilidad de interactuar con los demás en lo que se denomina una Sala de juegos virtual, la que organiza el intercambio de información y resuelve el problema en variables complejas mediante un resolvidor complejo que hace uso del método de Newton-Raphson modificado. Se considero en esta parte también, el tratamiento que se le hace a los transformadores con TAP's variables de los transformadores.

Para la formulación del problema se tienen en cuenta varios factores:

1) Condiciones iniciales y tipos de barras

Se tienen 4 variables reales asociadas a cada una de las barras:

Variable	Descripción
P	Potencia Activa
Q	Potencia Reactiva
V	Módulo de la tensión respecto al neutro N del sistema
θ	Ángulo de fase de la tensión

En cada barra, de las cuatro magnitudes, 2 de ellas se supondrán inicialmente conocidas y las 2 restantes serán las incógnitas del problema. Las distintas combinaciones de incógnitas y datos nos permiten definir los siguientes 4 tipos de barras:

Tipo de barra	Variables conocidas e incógnitas
Barra de carga	Se conocen la potencia activa y reactiva entrantes
Barra de generación y voltaje controlado	Se conoce la potencia activa y el módulo de la tensión
Barra flotante	Se conocen el módulo y la fase de la tensión
Barra de referencia	Se consideran nulas las 4 variables reales asociadas a ella

Existe una única barra de referencia por sistema que es el neutro N del sistema.

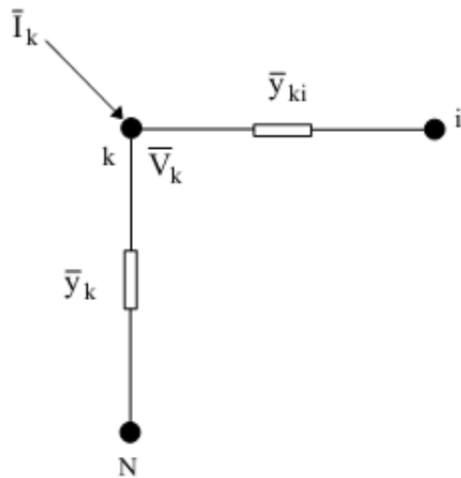
2) Numeración de las barras y líneas

Las barras en el PSSE tienen una codificación de acuerdo a la función que cumple:

- 0 Barra de referencia (neutro del sistema)
- 1 Barras de Carga
- 2 Barras de Generación y Voltaje controlado
- 3 Barra Flotante

Cuando se trata de una línea que vincula dos barras del modelo del sistema, se le identifica con el código 1 y las sucesivas que se conecten en paralelo entre las mismas barras se identificarán con la numeración correlativa siguiente. El mismo criterio se aplica a los transformadores de carga. Los generadores pueden ser modelados como máquinas y en algunos casos como es el de la generación eólica como cargas negativas para diferenciarlos en las barras de carga de la demanda. Esto se debe a que una barra de carga tiene código 1 para el flujo de carga en PSSE y no sería posible conectar un generador en esa barra porque tendría que tener código 2. De igual forma sucede con la generación fotovoltaica que se conecta a una barra de carga. En el SimSEE los generadores fotovoltaicos han sido modelados como generadores térmicos básicos.

3) Estudio del problema para un Nodo k genérico



$$k = 1, 2, \dots, n$$

$$i = 1, 2, \dots, n \quad i \neq k$$

$$\bar{I}_k = \text{corriente entrante al nodo } k$$

$$\bar{I}_k = V_k \bar{y}_k + \sum_{i=1, i \neq k}^n (V_k - V_i) \bar{y}_{ki} \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$I_k = V_k \bar{y}_k + V_k \sum_{i=1, i \neq k}^n \bar{y}_{ki} - \sum_{i=1, i \neq k}^n V_i \bar{y}_{ki}$$

$$I_k = V_k (\bar{y}_k + \sum_{i=1, i \neq k}^n \bar{y}_{ki}) - \sum_{i=1, i \neq k}^n V_i \bar{y}_{ki}$$

se define :

$$\bar{y}_k + \sum_{i=1, i \neq k}^n \bar{y}_{ki} = \bar{Y}_{kk}$$

$$-\bar{y}_{ki} = \bar{Y}_{ki}$$

Por lo tanto resulta lo siguiente:

$$I_k = V_k \bar{Y}_{kk} + \sum_{i=1, i \neq k}^n V_i \bar{Y}_{ki} = \sum_{i=1}^n V_i \bar{Y}_{ki}$$

$$\boxed{I_k = \sum_{i=1}^n V_i \bar{Y}_{ki} \quad k = 1, 2, \dots, n}$$

La potencia entrante en unNodo k será la resultante del balance en el Nodo k entre lo aportado por un generador y loabsorbido por una carga.

$$P_k + jQ_k = \bar{V}_k \hat{I}_k \quad k = 1, 2, \dots, n$$

Formulación de las ecuaciones de comportamiento de la red

Como se dedujo en el punto anterior, las ecuaciones para el Nodo k son:

$$I_k = \sum_{i=1}^n \bar{V}_i Y_{ki} \quad k=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$P_k + jQ_k = \bar{V}_k \hat{I}_k \quad k=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Donde:

- V_i es el fasor voltaje de Nodo medido con respecto al Nodo de referencia
- I_k es el fasor corriente equivalente inyectado al Nodo k
- n es el número total de Nodos, excluido el de referencia
- $P_k > 0$: es la potencia activa efectivamente inyectada a la red en el Nodo k
- $P_k < 0$: $-P_k$ es la potencia activa que efectivamente sale de la red por el Nodo k
- $Q_k > 0$: es la potencia reactiva efectivamente inyectada a la red en el Nodo k
- $Q_k < 0$: $-Q_k$ es la potencia reactiva que efectivamente sale de la red en el Nodo k

Hasta el momento no se ha implementado en el módulo Flucar el control de energía reactiva para el control de tensiones, que sería una de las propuestas de mejora a futuro junto con el cálculo del factor de potencia. La información requerida para los cálculos la obtiene del flujo de carga.

Remplazando (1) en (2):

$$P_k + jQ_k = \bar{V}_k \sum_{i=1}^n \bar{V}_i Y_{ki} \quad (3)$$

Separando parte real y parte imaginaria:

$$P_k = \text{Re} \left(\bar{V}_k \sum_{i=1}^n \bar{V}_i Y_{ki} \right) \quad (4)$$

$$Q_k = \text{Im} \left(\bar{V}_k \sum_{i=1}^n \bar{V}_i Y_{ki} \right) \quad (5)$$

Como la potencia activa es dato en las I barras de carga y en las n-1- I barras de generación (excluida la flotante), se pueden plantear las siguientes ecuaciones:

$$P_{ks} = \operatorname{Re} \left(V_k \sum_{i=1}^n \hat{V}_i \hat{Y}_{ki} \right) \quad k = 1, 2, \dots, n-1 \quad (6)$$

La potencia reactiva es dato en las l barras de carga, entonces:

$$Q_{ks} = \operatorname{Im} \left(V_k \sum_{i=1}^l \hat{V}_i \hat{Y}_{ki} \right) \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (7)$$

El conjunto de las $n-1$ ecuaciones (6) y de las l ecuaciones (7), constituyen un sistema de $n-1+l$ ecuaciones no lineales en las incógnitas fasoriales \vec{V}_k . De estas incógnitas fasoriales son conocidos los módulos de voltaje de la $n-1$ barras de generación (incluida la flotante) y el ángulo de fase en la barra flotante.

Entonces las incógnitas son los módulos de voltaje en las l barras de carga y los ángulos de fase en todas las barras, excepto la flotante. Estas $n-1$ incógnitas de ángulo de fase, con las l incógnitas de módulos de voltaje, suman un total de $n-1+l$ incógnitas.

El estudio del flujo de carga consiste, entonces, en resolver el sistema de ecuaciones precedente en las incógnitas señaladas. Una vez conocidos los voltajes en todas las barras, se obtienen en forma directa las potencias reactivas y activas incógnitas, inyectadas en barras, así como pueden calcularse los flujos de potencia activa y reactiva y las corrientes en las líneas. La naturaleza del sistema de ecuaciones establecido no permite obtener una solución directa, debiéndose recurrir a métodos iterativos como es el método de Newton-Raphson.

4) Adaptación del Flucar a la plataforma SIMSEE

La adaptación del Flucar a la plataforma SimSEE fue realizada por Enzo Coppes y Marcelo Forets. En su trabajo se puede ver que para adaptar el programa Flucar a la plataforma SimSEE se plantearon:

1. Estudiar y adaptar el Flucar como herramienta de flujo de cargas.
 - a. Flucar: definir datos de entrada
 - b. Flucar: definir procedimientos
 - c. Flucar: definir salidas
2. Desarrollar los algoritmos de lectura de datos de los archivos de datos de PSSE.
3. Reingeniería del Flucar adaptándola a la filosofía Orientada a Objetos

Se presentaron en ese trabajo, el desarrollo de los algoritmos de lectura de datos de los archivos de datos de la red modelada en de PSSE, implementando módulos en Pascal para crear objetos de flujo de carga desde los archivos RAW. Se eligió Pascal como lenguaje de programación porque es el mismo lenguaje en que fue programado el SimSEE. Este módulo de lectura puede leer tanto archivo RAW del PSSE v32 como el PSSE v26, que son los más utilizados actualmente.

Del análisis con el Sala 3 Nodos, al igual que con la Sala Fotovoltaica más compleja con 200 MWp de generación Fotovoltaica, se pudo apreciar que no resulta sencillo, para quien no utiliza frecuentemente el PSSE, realizar el enganche con el SimSEE y editar el archivo RAW

para modificar y adaptar la red a las necesidades del usuario. Esta es una de las mejoras que se proponen implementar a futuro.

16.3 Anexo 3

Resultados de Flucar-SimSEE de sala Fotovoltaica para Poste 3 de la Semana 1

FLUJO POR LAS LINEAS - FLUJO DE CARGAS					
'C.ELIA	'SGDE.AR	'1 '	-193.80	194.73	1732
'C.ELIA	'SJ5500_	'1 '	105.09	-105.03	1607
'SGDE.AR	'SU5500_	'1 '	-283.82	305.10	1732
'SU5500_	'SJ5500_	'1 '	242.85	-241.86	1386
'SJ5500_	'PAL500_	'1 '	272.27	-271.60	1039
'SJ5500_	'PAL500_	'2 '	263.78	-263.13	1039
'SU5150_	'SAL150_	'1 '	1.64	-1.55	96
'SU5150_	'ARA150_	'1 '	-21.53	21.78	62
'YOU150_	'PAY150_	'1 '	-1.75	2.30	65
'YOU150_	'SJA150_	'1 '	-46.72	49.18	65
'YOU150_	'PAL150_	'1 '	27.16	-25.28	65
'PAY150_	'SAL150_	'1 '	6.36	-6.34	96
'ARA150_	'TGO150_	'1 '	-15.76	15.86	62
'TGO150_	'ART150_	'1 '	-15.17	15.32	62
'YOU150_	'TER150_	'1 '	6.77	-6.64	81
'YOU150_	'TER150_	'2 '	6.77	-6.64	81
'TER150_	'BAY150_	'1 '	14.69	-14.61	96
'TER150_	'BAY150_	'2 '	14.69	-14.61	96
'BAY150_	'PAL150_	'1 '	29.21	-28.69	96
'ART150_	'RIV150_	'1 '	6.79	-6.74	96
'TAC150_	'RIV150_	'1 '	-11.68	11.75	96
'TER150_	'TAC150_	'1 '	-16.12	16.69	96
ARCOS SIMSEE					
ART_TGO	15.14	-14.93	Pmax:	7.32	rend: 0.991
TGO_ARA	15.60	-15.47	Pmax:	7.86	rend: 0.994
TGO_ART	0.00	-0.00	Pmax:	0.00	rend: 0.991
ARA_TGO	0.00	-0.00	Pmax:	0.00	rend: 0.994
ARA_SGU	21.47	-21.18	Pmax:	13.78	rend: 0.989
SGU_ARA	0.00	-0.00	Pmax:	0.00	rend: 0.989
SGU_SAL	5.71	-5.34	Pmax:	6.36	rend: 0.943
SAL_SGU	0.00	-0.00	Pmax:	0.00	rend: 0.943
SAL_PAY	0.00	-0.00	Pmax:	0.00	rend: 0.996
PAY_SAL	2.59	-2.59	Pmax:	1.64	rend: 0.996
PAY_SGU	5.91	-3.04	Pmax:	5.70	rend: 0.759
SGU_PAY	0.00	-0.00	Pmax:	0.00	rend: 0.759
ART_RIV	6.96	-6.96	Pmax:	1.21	rend: 0.994
RIV_ART	0.00	-0.00	Pmax:	0.00	rend: 0.994
SGU_RIV	0.00	-0.00	Pmax:	0.00	rend: 0.966
RIV_SGU	16.96	-16.32	Pmax:	8.69	rend: 0.966

16.4 Anexo 4

Modificación del algoritmo de tratamiento de datos del Flucar para tener en cuenta los RATES del archivo *.Raw

Pseudo Código del algoritmo

Preparar todas las variables de memoria para almacenar los resultados.

Matriz de Factores de sobrecarga de líneas

Matriz de Potencias Máximas admisible por líneas

Matriz de Sobrecarga de líneas

Matriz de incidencias Cantidad de líneas y transformadores que integran arco SimSEE

Inicializar matrices anteriores

Completar la matriz de incidencia donde se indique la cantidad de líneas y transformadores de flujo de cargas que integran cada arco de SimSEE.

// Recorrer todas las líneas

Recorrer todas las Líneas (k)

Calcular los nodos extremos de SimSEE de cada línea i, j

Calcular las Potencias Entrante y Saliente de la línea (k)

Si not(i=j) entonces // si la línea o el trafa están conectando dos nodos de SimSEE diferentes

Si la Potencia (i,j) >0 entonces // Flujo positivo en el nodo i

Comenzar

Calcular sobrecarga: sobre1:= Potencia (i,j)- RATE Línea(k)

Si sobre1>0 entonces // hay sobrecarga en la línea

Comenzar

Si Hay varias Líneas o Trafos (i,j) entonces

Calcular Factor (i,j) := RATE Línea (k) /

Completar Matriz Sobrecarga (i,j)

Potencia (i,j)

Fin

Matriz de Potencias Máximas (i,j) := Matriz de Potencias

Máximas (i,j) + RATE Línea (k)

Matriz de Potencias Máximas (j,i) := Matriz de Potencias

Máximas (j,i)

Fin

Sino

// Flujo positivo en el nodo j

Comenzar

Calcular sobrecarga: sobre2:= Potencia (j,i)- RATE Línea(k)

Si sobre2>0 entonces // hay sobrecarga en la línea

Comenzar

Si Hay varias Líneas o Trafos (j,i) entonces

Calcular Factor (j,i) := RATE Línea (k) /

Completar Matriz Sobrecarga (j,i)

Potencia (i,j)

Fin

Matriz de Potencias Máximas (j,i) := Matriz de Potencias

Máximas (j,i) + RATE Línea (k)

```
Matriz de Potencias Máximas (j,i) := Matriz de Potencias
Máximas (j,i)
Fin

// Recorrer todos los transformadores
Recorrer todos los Trafos (k)
Calcular los nodos extremos de SimSEE de cada trafo i, j
Calcular las Potencias Entrante y Saliente del trafo (k)

Si not( i=j) entonces // si la línea o el trafo están conectando dos nodos de SimSEE
diferentes
    Si la Potencia (i,j) >0 entonces // Flujo positivo en el nodo i
        Comenzar
            Calcular sobrecarga: sobre1:= Potencia (i,j)- RATE trafo(k)
            Si sobre1>0 entonces // hay sobrecarga en el trafo
                Comenzar
                    Si Hay varias Líneas o Trafos (i,j) entonces
                        Calcular Factor (i,j) := RATE trafo (k) /
                        Completar Matriz Sobrecarga (i,j)
                Fin
            Matriz de Potencias Máximas (i,j) := Matriz de Potencias
            Máximas (i,j) + RATE trafo (k)
            Matriz de Potencias Máximas (j,i) := Matriz de Potencias
            Máximas (j,i)
        Fin
    Sino // Flujo positivo en el nodo j
        Comenzar
            Calcular sobrecarga: sobre2:= Potencia (j,i)- RATE trafo(k)
            Si sobre2>0 entonces // hay sobrecarga en el trafo
                Comenzar
                    Si Hay varias Líneas o Trafos (j,i) entonces
                        Calcular Factor (j,i) := RATE trafo (k) /
                        Completar Matriz Sobrecarga (j,i)
                Fin
            Matriz de Potencias Máximas (j,i) := Matriz de Potencias
            Máximas (j,i) + RATE trafo (k)
            Matriz de Potencias Máximas (j,i) := Matriz de Potencias
            Máximas (j,i)
        Fin

Afectar cada elemento de la Matriz de Potencias Máximas (i,j) * Factor (i,j)
Calcular la sobrecarga máxima que hay.
Liberar Matrices y Variables temporales.
```

Código PASAL del algoritmo

```
function TFlucar.analizar_sobrecargaZonasRATE_A(var Pent: TMatOfNReal;
var HaySobre:TMatOfNReal;var sobre:NReal): boolean;
var
i, j, k, m, NNodos: integer;
linea: TRaw_Branch;
trafo:TRaw_TransformerAdjust;
S_12, S_21, S_CON, I_I: NComplex;
factorEnt, factorSal,cantidadLineas:TMatOfNReal;
Base,landa,sobre1, sobre2: NReal;
begin
Result := False;
Base:= 100;
landa:=1.0;

NNodos := Length(Pent);
setlength(factorEnt, NNodos+1, NNodos+1);
setlength(factorSal, NNodos+1, NNodos+1);
setlength(cantidadLineas, NNodos+1, NNodos+1);

for i := 0 to NNodos - 1 do
begin
vclear(Pent[i]);
vclear(Psal[i]);
vclear(factorEnt[i]);
vclear(factorSal[i]);
vclear(cantidadLineas[i]);

for j:=0 to NNodos - 1 do
begin
factorEnt[i][j]:=1;
factorSal[i][j]:=1;
HaySobre[i][j]:=0;
cantidadLineas[i][j]:=0;
end;
end;

for k := 0 to sala.Lineas.Count - 1 do
begin
linea := sala.Lineas[k];
i := K_Zona(TRaw_Bus(linea.Barra_I).ZONE);
j := K_Zona(TRaw_Bus(linea.Barra_J).ZONE);
cantidadLineas[i][j]:=cantidadLineas[i][j]+1;
cantidadLineas[j][i]:=cantidadLineas[j][i]+1;
end;
for k := 0 to sala.trafosadjust.Count - 1 do
begin
trafo := sala.trafosadjust[k];
i := K_Zona(TRaw_Bus(trafo.Barra_I).ZONE);
j := K_Zona(TRaw_Bus(trafo.Barra_J).ZONE);
cantidadLineas[i][j]:=cantidadLineas[i][j]+1;
cantidadLineas[j][i]:=cantidadLineas[j][i]+1;
end;
end;
```

```
for k := 0 to sala.Lineas.Count - 1 do
begin
  linea := sala.Lineas[k];
  i := K_Zona(TRaw_Bus(linea.Barra_I).ZONE);
  j := K_Zona(TRaw_Bus(linea.Barra_J).ZONE);
  if not (i=j) then
  begin
    linea.Calculo_potencias(S_12, S_21, S_CON, I_I);

    if S_12.r>0 then
    begin
      sobre1:= abs(S_12.r*Base)- linea.RATEA;
      if sobre1>0 then
      begin
        if cantidadLineas[i][j]>1 then
          factorEnt[i][j]:=factorEnt[i][j]*linea.RATEA/(abs(S_12.r)*Base);
          HaySobre[i][j]:=HaySobre[i][j]+sobre1;
        end;
        PEnt[i][j] := PEnt[i][j] + linea.RATEA;
        PEnt[j][i] := PEnt[j][i] + 0;
      end
    else
    begin
      sobre2:= abs(S_21.r*Base)- linea.RATEA;
      if sobre2>0 then
      begin
        if cantidadLineas[j][i]>1 then
          factorEnt[j][i]:=factorEnt[j][i]*linea.RATEA/(abs(S_21.r)*Base);
          HaySobre[j][i]:=HaySobre[j][i]+sobre2;
        end;
        PEnt[j][i] := PEnt[j][i] + linea.RATEA;
        PEnt[i][j] := PEnt[i][j] + 0;
      end;
    end;
  end;
end;
end;
```

```

for k := 0 to sala.trafosadjust.Count - 1 do
begin
    trafo := sala.trafosadjust[k];
    i := K_Zona(TRaw_Bus(trafo.Barra_I).ZONE);
    j := K_Zona(TRaw_Bus(trafo.Barra_J).ZONE);
    if not (i=j) then
        begin
            trafo.Calculo_potencias(S_12, S_21, S_CON, I_I);
            if S_12.r>0 then
                begin
                    sobre1:= abs(S_12.r*Base)- trafo.RATA1;
                    if sobre1>0 then
                        begin
                            if cantidadLineas[i][j]>1 then
                                factorEnt[i][j]:=factorEnt[i][j]*trafo.RATA1/(abs(S_12.r)*Base);
                                HaySobre[i][j]:=HaySobre[i][j]+sobre1;
                            end;
                            PEnt[i][j] := PEnt[i][j] + trafo.RATA1;
                            PEnt[j][i] := PEnt[j][i] + 0;
                        end
                    else
                        begin
                            sobre2:= abs(S_21.r*Base)- trafo.RATA1;
                            if sobre2>0 then
                                begin
                                    if cantidadLineas[j][i]>1 then
                                        factorEnt[j][i]:=factorEnt[j][i]*trafo.RATA1/(abs(S_21.r)*Base);
                                        HaySobre[j][i]:=HaySobre[j][i]+sobre2;
                                    end;
                                    PEnt[j][i] := PEnt[j][i] + trafo.RATA1;
                                    PEnt[i][j] := PEnt[i][j] + 0;
                                end;
                            end;
                        end;
                    end;
                end;
            end;
        end;
end;

```

```

for i:=0 to NNodos-1 do
    for j:=0 to NNodos-1 do
        begin
            if cantidadLineas[i][j]>1 then
                begin
                    PEnt[i][j] := PEnt[i][j]*factorEnt[i][j];
                end
            end;
        end;

    liberarMatriz(factorEnt);
    liberarMatriz(factorSal);
    liberarMatriz(cantidadLineas);
    sobre:=sobre1;
    if sobre2>sobre1 then sobre:=sobre2;
    Result := True;
end;

```

En el algoritmo de iteraciones que resuelve el flujo de cargas se modificó el siguiente código para asignar la potencia máxima a cada arco SimSEE.

```
if (HaySobrecarga[Nodo1][Nodo2]=0) then
  if sala.globs.cntIteracionesDelPaso<=2 then
    potaux:=-PotEntradaAUX
  else
    if abs(PotEntrada)>abs(PotEntradaAUX) then
      potaux:=abs(PotEntradaAUX)
    else
      potaux:=abs(abs(PotEntrada)-sala.globs.cntIteracionesDelPaso)
  end
else
  begin
    if HaySobrecarga[Nodo1][Nodo2]<1 then
      nu:=HaySobrecarga[Nodo1][Nodo2]/100;
    if abs(PotEntradaAUX)<>0then
      potaux:=abs(PotEntrada)*(1-abs(HaySobrecarga[Nodo1][Nodo2]+2)/abs(PotEntradaAUX)-nu);
    end;
  end
end

if (not ConsideroRATE_A) or (sala.globs.cntIteracionesDelPaso>=1) then
  if modifico_pmax then a.pa.PMax_[kPoste] := potaux
else
  if modifico_pmax then a.pa.PMax_[kPoste] := -PotEntradaAUX;
```