

1. – Conceptos de Sistema, Modelo y Simulación

Sistema

Vivimos inmersos en un mundo de **Sistemas**: un árbol, un libro, el universo, una ciudad, una máquina, un embalse, un ojo, una persona, etc..

Se puede definir a un **Sistema S** como:

- *Entidades complejas, formadas por partes o elementos en interacción mutua, cuya identidad resulta de una adecuada armonía entre sus constituyentes y dotadas de una sustantividad propia que trasciende la de sus partes.*
- *Combinación de elementos o componentes interrelacionados, y relacionados con el entorno, que actúan juntos como un todo para lograr ciertos objetivos.*

Un **S** puede pasar a ser un **subsistema** en el análisis de un sistema mayor, pero de igual manera un subsistema cualquiera recibe el tratamiento de un **S**. Una casa es un sistema en sí mismo, pero pasa a ser un subsistema dentro del sistema ciudad.

Las interconexiones y las interacciones entre subsistemas se llaman interfaces. Las interfaces ocurren en la frontera y toman la forma de entradas y salidas. Un subsistema pasa a ser un elemento dentro de un microsistema (Fig.1).

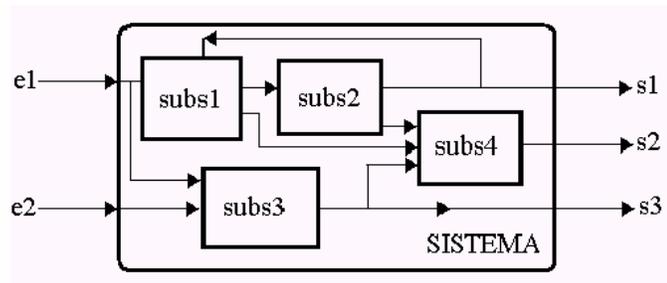


Fig 1.- Estructura de un Sistema

Los elementos son aquellas partes del **S** que poseen una entidad que ya no es relevante dividir para el estudio, o sea son los constituyentes básicos del mismo. En un **S** cada elemento está asociado a otro en forma directa o indirecta.

A un **S** se le puede atribuir propiedades, aspectos, etc. a través de variables $x_i(t)$. El conocimiento de los valores tomados por $x_i(t)$ en un determinado tiempo es el **Estado del S**. El comportamiento del **S** se conoce, si se conoce cada $x_i(t)$ y sus interrelaciones, por lo que se puede decir que la estructura del **S** determina su comportamiento.

Un **S** es un objeto complejo que se puede asociar a una terna:

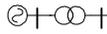
<Composición, Entorno, Estructura>

Composición: conjunto de elementos {1,2,3,4}

Entorno: conjunto formado por determinados elementos que tienen influencia (entradas e_1, e_2) sobre los elementos que constituyen el **S** o son influidos por estos {salidas s_1, s_2, s_3 }.

Estructura: conjunto de interrelaciones entre los elementos del **S**

El estudio de un **S** puede ser realizado de manera:



Reduccionista: se descompone el **S** en sus elementos para analizarlos, y luego se lo rearma como la suma de sus partes.

Holístico: se analizan entradas-salidas, caracterizando al **S** por su respuesta al estímulo

Una primera aproximación al estudio de un **S** es saber que hace el **S** externamente, cuales son sus respuestas (salidas) frente a determinados estímulos (entradas), sin ocuparse del como lo hace. En otras palabras, es tratar al **S** como una **caja negra** (no muestra el mecanismo que lo produce). Luego, cuando se trata de describirlo internamente se construye un modelo que presenta un mismo o similar comportamiento que el **S** original.

Un tipo de **S** son las **Máquinas** (artefactos construidos por el hombre para realizar determinadas funciones, p.e. un generador, un sistema eléctrico de potencia, etc.). Las partes de una máquina y su estructura son conocidas perfectamente, pudiendo presentar comportamientos muy complejos.

Modelo (del latín *modulus*, que significa medida)

El modelo es una representación de un determinado aspecto de la realidad (se debe tener mucho cuidado con el modelo como sustituto de la realidad, especialmente en los dominios sociales, económicos y ambientales).

Un modelo es una **Teoría** que constituye un cuerpo de proposiciones o leyes, y del cual pueden ser deducidos los hechos observados. El modelo explica aquellos patrones fenomenológicos de la realidad de interés para el estudio, en términos de un grupo de elementos fácilmente entendibles.

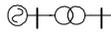
El modelo es una representación matemática de los mecanismos que gobiernan el comportamiento de un sistema y de su interacción con el entorno. Es una de muchas hipótesis posibles acerca del comportamiento de un sistema y debe ser validado. Ningún modelo de un sistema es válido para todos los posibles experimentos, salvo el propio sistema o una copia idéntica del mismo.

Un objeto **M** es un modelo de la realidad **R** para un observador **O**, si **O** puede emplear a **M** para responder a cuestiones que le interesen conocer acerca de **R**.

Modelar es cualquier actividad cognitiva, inteligible y deliberada, dirigida a elaborar un objeto **M** que reproduzca las características principales o de interés de **R**.

El fin de modelar es encontrar un modelo de última simplicidad y que posea al mismo tiempo todo lo esencial. Un modelo muy detallado no necesariamente es un mejor modelo. Cada agregado innecesario es una fuente potencial de error.

El **prototipo** es un modelo de tipo físico que funciona y que muestra la tarea central de un sistema que se está modelando.

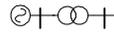


Simulación

La simulación es la disciplina que diseña un modelo de tipo digital, analógico, prototipo, a escala, de un sistema real o teórico, realiza la ejecución (corrida) de dicho modelo, y analiza la salida producida durante dicha ejecución. Todo esto sin irrumpir en el entorno del sistema real.

¿Por qué es importante la simulación?

- Profundiza el conocimiento de los mecanismos internos de un proceso.
- Prevé el comportamiento del sistema bajo diferentes situaciones.
- Evalúa las prestaciones de diferentes tipos de controladores.
- Estima variables de proceso que no son medibles directamente.
- Evalúa la sensibilidad de un sistema a cambios en sus parámetros.
- Organiza la producción de un sistema.
- Experimenta bajo condiciones de operación simulada, lo que podría ser peligroso o de elevado coste económico en el sistema real.



2. – Conceptos sobre un Sistema Eléctrico de Potencia

En un S particular, tal como un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), las centrales se construyen donde se encuentra el recurso primario (agua, gas, viento, sol) y la demanda se establece donde los usuarios consumen energía eléctrica (residencias, alumbrado público, ciudades, fábricas, etc.). Para llevar la energía producida desde las centrales al lugar donde se la consume (en general separadas grandes distancias), se construyen líneas de transmisión, subtransmisión y distribución. Como los generadores de las centrales producen a media tensión (5-30 kV), no pudiendo tener mayor tensión por problemas de aislamiento, y la transmisión debe hacerse a alta tensión para disminuir las pérdidas, se instalan transformadores elevadores. Luego como los consumidores deben hacer uso de la energía a un nivel de tensión menor, se debe rebajar la misma por medio de transformadores reductores (Fig. 2).

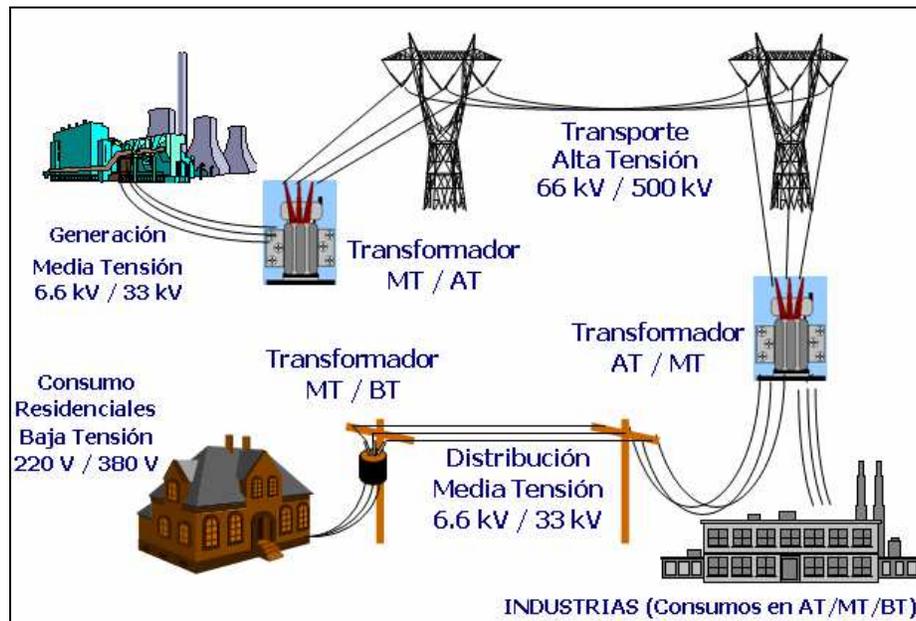


Fig 2.- Estructura de un Sistema Eléctrico de Potencia (extraído de Fundamentos MEM V.2)

Los componentes fundamentales del SEP y su función básica, son:

- *Generador de Potencia Eléctrica* (Generación de Potencia Activa y Reactiva).
- *Transformador* (Transformación de Niveles de Tensión y Regulación).
- *Red* (Transmisión y Distribución del Flujo de Carga).
- *Carga o Demanda* (Consumo de Potencia Activa y Reactiva).
- *Condensador e Inductor* (Generación y Consumo de Potencia Reactiva).
- *Elementos de Apertura y Cierre* (Protección del sistema, O&M).

La finalidad de un SEP es suministrar a los consumidores energía eléctrica, en *Cantidad y Calidad Suficiente* en todo tiempo y lugar, con una *Confiabilidad* adecuada, al menor *Costo* posible, de modo que los *Impactos Ambientales* se encuentren dentro de límites aceptables. La Fig. 3 muestra estos aspectos y sus interrelaciones:

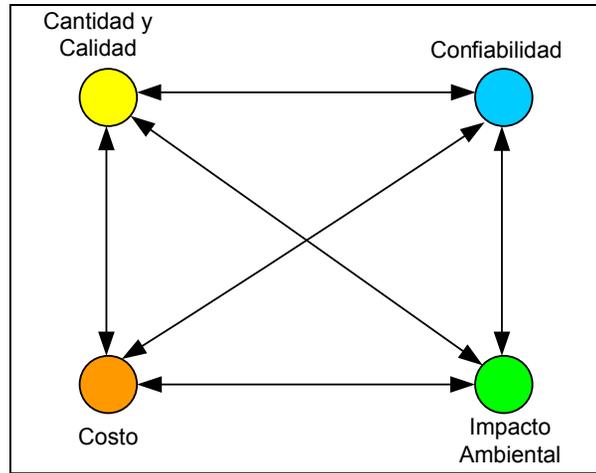


Fig 3.- Requerimientos de un SEP

De las tareas mencionadas para un SEP, se deduce que los requerimientos son del tipo:

- Técnico (cantidad, calidad, confiabilidad)
- Social (impactos ambientales)
- Económico (costos)

Muchas veces estos requerimientos van en sentido contrario a lo que se desea; por ejemplo, un SEP más confiable será más costoso.

Entre los requerimientos técnicos, además de los que se refieren a la cantidad y confiabilidad, se encuentran los relacionados con la calidad del servicio.

Si se considera a la tensión y a la frecuencia en el Sistema Argentino de Interconexión (SADI):

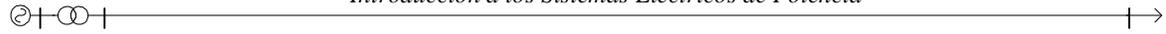
-Variación máxima de tensión (ΔV) $\rightarrow \pm 3\%$ (nivel de 500 kV) y $\pm 5\%$ (niveles de 220 y 132 kV).

-Variación admisible de frecuencia $\rightarrow |\Delta f|/f_n \leq 0,2\%$

Δf = desviación respecto de la frecuencia nominal

f_n = frecuencia nominal del sistema (50 Hz)

En el caso del SADI las variaciones admitidas de frecuencia antes que actúen los dispositivos de control están en el orden de ± 200 mHz. Variaciones de magnitud inferior no tienen prácticamente ninguna influencia sobre los consumidores, siempre que su integral al cabo de un período especificado de tiempo (por ejemplo 1 día) esté compensada.



En la Fig. 4 se puede observar las diferentes condiciones que resultan para distintos niveles de frecuencia en un SEP de EEUU ($f_n=60$ Hz).

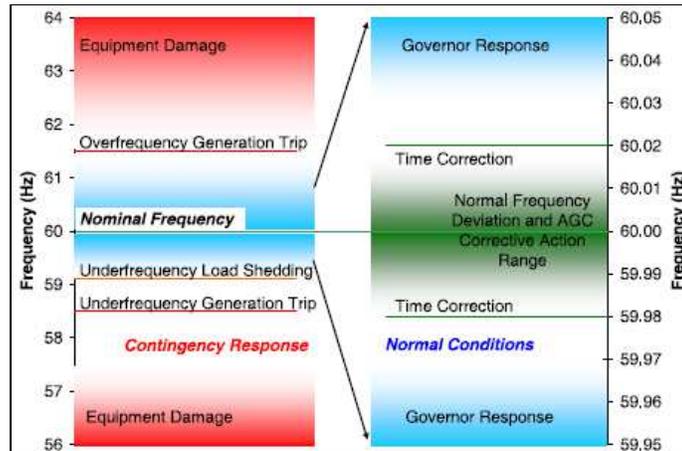


Fig 4.- Niveles de Frecuencia y Diferentes Condiciones

Dado que las fallas se presentan inevitablemente en un SEP, debe ser diseñado para que las mismas sean superadas con el menor perjuicio para sus elementos constituyentes. Esta meta es factible de lograrse únicamente a costa de grandes esfuerzos técnicos y financieros, que se traducen en costos. Una de las medidas a tomarse, es la de contar con una reserva suficiente de generación y transmisión.

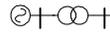
La evaluación de las frecuencias de fallas de un componente o un sistema es objeto de los estudios de Confiabilidad, usados en las etapas de planificación, expansión y operación del sistema, teniendo como herramienta a la teoría probabilística.

El comando de la operación del sistema se limita en general al análisis de los efectos de un conjunto de casos de fallas. Si estas fallas no conducen a una interrupción del suministro de energía ni a una disminución de la calidad, se dice entonces que se está en un nivel Seguro en el instante estudiado.

Entre los requerimientos sociales, uno de estos se refiere a la exigencia que el SEP tenga un impacto medioambiental limitado durante sus etapas de construcción, operación y desmantelamiento, existiendo diferentes normativas provinciales, nacionales e internacionales, para realizar estos análisis. Se estudian diversos tipos de impactos, entre otros, emisión sólida, líquida y gaseosa de las centrales, impacto visual de los elementos de un SEP, intensidad de campos eléctricos y magnéticos, afectación al medio biótico, etc.

Entre los requerimientos económicos relacionados con la exigencia que el suministro sea lo más barato posible, debe ser satisfecho teniendo en cuenta las restricciones técnicas y sociales. Por ejemplo, en el análisis de costos en lo que refiere a la planificación de la expansión, se deben realizar estudios, entre otras cosas, de:

- Diferentes configuraciones posibles.
- Instalaciones y energía primaria a usar y de entre éstas elegir aquella, que sobre un período de tiempo suficientemente extenso, de lugar a un mínimo en los costos de producción de energía eléctrica y un mínimo impacto ambiental.



3. – Origen de la Energía para Cubrir una Variación de Demanda Eléctrica

Para que se encienda por ejemplo la luz de un cuarto, es necesario que se produzca una larga y compleja sucesión de fenómenos y transformaciones energéticas concatenadas, que tienen como objetivo hacer circular una corriente eléctrica por el filamento de una lámpara. Estas transformaciones se podrían esquematizar según la Fig. 5.

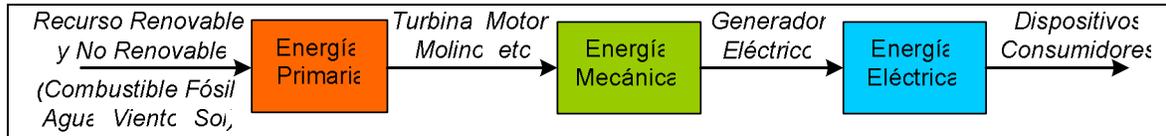


Fig 5.- Transformaciones de energías

Para estudiar el proceso de producir energía eléctrica para cubrir una variación de demanda ΔP_d , se tomarán períodos de tiempo sucesivos, analizando que pasa en el orden de los milisegundos, segundos, minutos, días, años. Se debe considerar que el proceso es complejo (muchas variables involucradas), sin discontinuidades (no hay saltos ni aglomeración de cargas eléctricas en los conductores y nodos) y dinámico (variables eléctricas en función del tiempo y el espacio).

$\approx 10^{-3}$ s: Parte de la energía que se usa para cubrir la ΔP_d , proviene inicialmente de la energía acumulada en el propio circuito (energía electromagnética) que se encuentra próximo al lugar de la demanda (se puede percibir la caída de tensión cuando arranca un motor).

$\approx 10^{-1}$ s: Proviene de la transformación de la energía cinética almacenada en todos los elementos giratorios en energía eléctrica. Esto trae como consecuencia la caída de la velocidad angular de dichos elementos y por consiguiente la disminución de la frecuencia eléctrica. Este hecho le permitirá al Sistema saber que tuvo lugar un aumento de la demanda. También actúa la autorregulación del Sistema (variación de la demanda con la frecuencia).

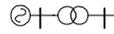
≈ 1 s: Proviene de la actuación del mecanismo automático de la Regulación Primaria (RP), que reparte la ΔP_d originada en un punto, entre los diferentes generadores del Sistema según sus curvas de estatismo (cae la frecuencia \rightarrow aumenta la potencia mecánica \rightarrow aumenta la generación activa). El sistema queda equilibrado $P_{generada} = P_{demanda}$, pero en una frecuencia menor a la original.

$\approx 10^1$ s \rightarrow 10^2 s: Proviene de la actuación del mecanismo automático/manual de la Regulación Secundaria (RS) colocado en pocas máquinas. Estas máquinas se hacen cargo de la variación de la demanda, y al mismo tiempo todas las otras máquinas que habían colaborado al comienzo con su RP, se descargan volviendo a su posición anterior. Con este mecanismo se consigue el equilibrio de potencias y la frecuencia del SEP en su valor original.

$\approx 10^4$ s: Se realiza un despacho económico óptimo con minimización de riesgos, ya que la actuación de la RP y la RS no necesariamente llevan a un punto económico óptimo y seguro. En sistemas hidrotérmicos, en general el objetivo es optimizar el uso de agua de los embalses reduciendo al mínimo el gasto de combustible fósil. En sistemas térmicos se tiene en cuenta el costo del combustible y la eficiencia de las máquinas.

1 semana a 1 mes: Se planifica la operación, realizando una tabla de generadores disponibles y asignando potencia a cada generador.

5 a 20 años: Se planifica la expansión de la generación, transformación y transmisión, de acuerdo a la previsión de aumento de la demanda.

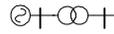


4.- Un poco de Historia

A fines del S.XIX tanto en Estados Unidos como en Europa se estaban produciendo casi en simultáneo grandes avances en el campo de la electricidad. Lo que sigue, es a partir del desarrollo en EEUU.

- En 1876 se abre la competencia para construir el complejo hidroeléctrico de las Cataratas del Niágara. El ganador marcará la tendencia de las características eléctricas de los futuros SEP.
- En 1880 Thomas Alba Edison presenta su lámpara incandescente en corriente continua (CC).
- En 1882 Edison coloca en funcionamiento un sistema de CC en New York y funda la empresa Edison Electric Company.
- En 1885 George Westinghouse compra los derechos de una patente para construir transformadores eléctricos, que funcionan en base a corriente alterna (CA), y pone al frente de esta tarea a William Stanley.
- En 1886, hay cerca de 60 centrales eléctricas de CC (Edison) y unas 160000 lámparas que son alimentadas por este tipo de central.
- En 1886 Stanley construye una primera central en CA en Massachusetts.
- En 1887 hay 121 centrales de CA y 325000 lámparas alimentadas por este tipo de central.
- En 1888, Edison sintiendo el peso de la competencia, ataca el concepto de CA.
- En esta época Shallenberger, ingeniero de Westinghouse, diseña un medidor de energía de CA que da la lectura de manera directa, siendo superior al medidor electroquímico que usaba Edison para medir energía de CC.
- En 1890 Edison comienza una guerra de desprestigio contra la CA, electrocutando animales con CA, mostrando el peligro de usar este tipo de electricidad. Es en estos tiempos, que se ejecuta un prisionero en la silla eléctrica, usando tensión de CA.
- En 1892, Nikola Tesla construye un Motor de CA para Westinghouse, quien anteriormente le había comprado la patente.
- En esta época la comisión responsable del proyecto de las Cataratas del Niágara, decide que el sistema a usarse deberá ser el de CA.
- La empresa de Edison se junta con otra llamada Thomson-Houston, para formar la General Electric, que pasa a construir transformadores y alternadores de CA, lo que simboliza el triunfo de la CA sobre la CC.
- En 1893 Westinghouse, gana la licitación para proveer los transformadores y alternadores de las Cataratas del Niágara (entran en funcionamiento en 1896).

Actualmente el uso de sistemas basados en CC, está restringido a ciertos escenarios, complementando al de CA.



5.- Algunos Estudios que se Realizan en un SEP

En general un SEP está distribuido por diversas áreas geográficas que se interconectan mediante líneas de alta tensión. Estas interconexiones permiten disminuir el costo de algunas centrales (economía de escala), realizar intercambios horarios y estacionales entre áreas (aprovechando características de generación y consumo diferentes), tener una menor capacidad de reserva total (disminuyendo la inversión), cubrir inicialmente aumentos de demanda puntuales entre todos los generadores (regulación primaria), aumentar la confiabilidad del sistema si éste es mallado, etc. Presenta como desventaja principal, que un problema local se globaliza, pudiendo traer como consecuencia fenómenos en cascada y arrastrando a todo el sistema a un apagón (Blackout).

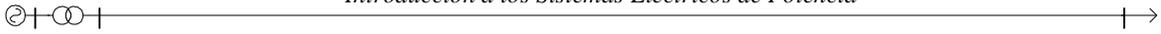
Para estudiar un SEP hay que tener en cuenta miles de variables y parámetros eléctricos y físicos, considerando al mismo tiempo las condiciones bajo las que se realiza el análisis (régimen permanente, falla, transitorio, en punta, fuera de punta, ahora o en el futuro, determinístico o probabilístico, etc.). El estudio por lo tanto, resulta extremadamente complejo, por lo que se hace imprescindible realizar algunas hipótesis simplificadoras y usar computadoras digitales y programas especiales.



Centro de control

Algunos de los estudios que se pueden realizar son:

- **Flujo de Carga:** El SEP se considera en régimen permanente. Para una dada demanda eléctrica, se calculan, en principio, las tensiones complejas en las barras, los flujos de potencia activa y reactiva que circulan por los elementos, las pérdidas eléctricas, etc.
- **Cortocircuito:** El SEP se considera en régimen permanente. Para un dado tipo de ctocto (monofásico, bifásico con y sin conexión a tierra, trifásico) se encuentra en principio, la corriente de ctocto en el punto de falla, las tensiones complejas en todas las barras y las corrientes que circulan por todo el sistema, lo que permite diseñar los interruptores, ajustar los relés y protecciones, etc.
- **Estabilidad Transitoria Clásica:** El SEP se considera en régimen transitorio. Bajo determinadas hipótesis, para un dado estado del sistema y luego de una gran perturbación (salida de un generador, apertura de una línea, ctocto, etc.), se estudia durante un segundo aproximadamente el comportamiento de los rotores de las máquinas sincrónicas y se analiza si algunas de estas pierde el sincronismo. También se estudia el tiempo de actuación de los interruptores.
- **Estabilidad Dinámica:** El SEP se considera en régimen transitorio. Se formulan nuevas hipótesis (por ejemplo ahora actúan los reguladores de velocidad y controles de tensión) y se analiza como evoluciona la oscilación de los rotores después del primer segundo hasta el orden de los minutos.

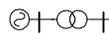


- **Despacho Económico:** Se estudia como se reparte la carga entre los diferentes generadores de tal forma de minimizar una función objetivo (costo total de combustible sea mínimo, maximizar cantidad de agua en los embalses, etc.) y cumpliendo al mismo tiempo con restricciones técnicas y de operación. La forma de analizar el despacho dependerá del tipo de centrales del SEP (térmicas, hidroeléctricas o combinación de estas).
- **Confiabilidad:** Se estudia de manera probabilística el comportamiento del sistema considerando que los elementos presentan una probabilidad de falla asociada. Se encuentra como resultados índices tal como el LOLP (probabilidad de pérdida de carga) y/o la ENS (Energía No Suministrada), índices que muestran que siempre habrá una probabilidad mayor que cero que exista déficit de potencia y potencia.

Nota: La simulación en computadoras es una excelente herramienta de trabajo, que se puede aprender más o menos rápidamente. El ingeniero en el campo de los SEP, no es un operador de software, sino aquel que entre otras cosas, plantea los modelos adecuados y realiza los análisis de los datos y resultados.

Origen de las Dificultades para Operar un SEP

- Los intercambios energéticos entre todos los elementos del SEP son de carácter electromagnético, por lo que las velocidades involucradas son cercanas a la de la luz.
- La energía eléctrica no puede ser acumulada en cantidades importantes.
- La demanda eléctrica es variable, por lo que el sistema de control debe buscar permanentemente el equilibrio entre generación y demanda (constancia de frecuencia y tensión).
- EL SEP es un sistema geográficamente muy extendido, sujeto a una alta probabilidad de fallas.



6.- Representación de los Sistemas Eléctricos de Potencia

Un SEP está constituido básicamente por elementos que generan, transforman, transportan, distribuyen y consumen electricidad, además de los que lo protegen y controlan.

El esquema físico del SEP que se observa en la Fig. 2, admite una representación mucho más simple por medio de símbolos de los elementos (Fig.6), llamada diagrama Unifilar (si se ubica sobre un mapa geográfico se denomina diagrama Unifilar Geográfico). Como el SEP se considera un sistema balanceado, basta con representarlo con una sola fase o línea (de ahí su nombre).

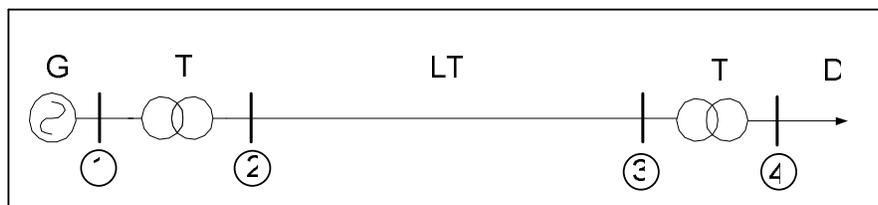


Fig 6.-Diagrama Unifilar

La ventaja del diagrama unifilar es que muestra al SEP de manera clara y concisa, usando símbolos normalizados que representan a sus componentes básicos: Generador G, Transformador T, Línea de Transmisión LT, Demanda D, etc. Los puntos de contacto de dos o más de estos elementos son las Barras o Nodos del sistema (1, 2, 3, 4).

El diagrama unifilar puede contener diferente información dependiendo del estudio que se realiza (Flujo de Carga, Ctocto, Estabilidad).

Si bien el diagrama unifilar ayuda a visualizar rápidamente la estructura del SEP, no permite realizar un cálculo eléctrico. Para este fin, se representa al SEP por medio del llamado diagrama de impedancias (Fig. 7), donde cada elemento tiene su modelo correspondiente según el tipo de estudio requerido.

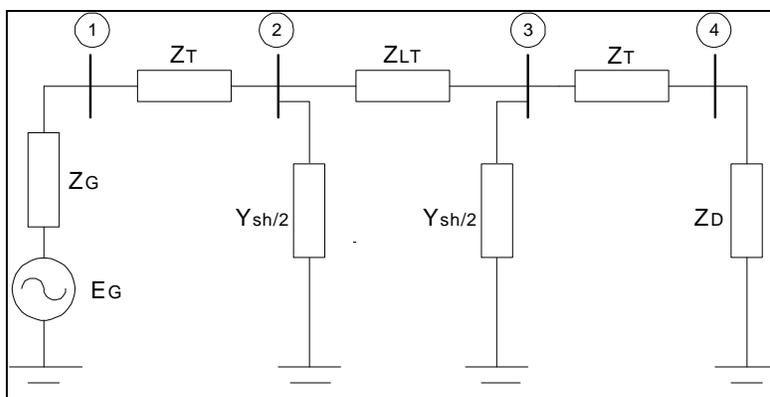


Fig. 7.-Diagrama de Impedancias



7.- Índices relativos a los vínculos existentes en un SEP

El transporte de potencia entre los centros de generación, fundamentalmente hidráulicos, y los centros de consumo se realiza por medio de líneas de transmisión. Se pueden caracterizar estos vínculos de conexión por medio de dos índices, la Longitud Media (LM) y el Grado de Mallado (GM).

Longitud Media (Lm)

Lm, es un parámetro que permite relacionar las magnitudes de potencia transmitida, potencia generada y longitud de las líneas.

$$Lm = \frac{0.5 \sum_{i \in A_k} \sum_{j \in A_i} |P_{ij}| l_{ij}}{\sum_{k \in A_g} P_{g_k}}$$

Donde:

P_{ij} : Flujo de potencia activa sobre el conductor i - j

l_{ij} : Longitud del conductor i - j

P_{g_k} : Potencia del generador k

A_k : Conjunto de todos los nodos del sistema.

A_i : Conjunto de todos los nodos conectados al nodo i

A_g : Conjunto de todos los generadores.

Ejemplo: LM (Argentina, 2006) \cong 230 Km

LM (Alemania) \cong 80 Km

Grado de Mallado (GM)

Es un parámetro que permite relacionar la cantidad de vinculaciones de un SEP:

$$GM = \frac{v}{n-1}$$

Donde:

v = cantidad de vínculos

n = cantidad de nodos

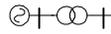
$GM=1 \rightarrow$ perfectamente radial

La mayor cantidad de vínculos es:

$$v_{max} = \frac{n(n-1)}{2}$$

Por lo tanto el máximo grado de mallado es:

$$GM_{max} = n/2$$



Los parámetros L_m y GM , caracterizan topológicamente a un sistema sin necesidad de observar su correspondiente diagrama unifilar. Considerando $v = 26$ vínculos y $n = 24$ nodos para la red de 500 kV del SADI 2006:

$$GM = \frac{v}{n-1} = \frac{26}{24-1} = 1,13 \quad GM_{max} = \frac{n}{2} = \frac{24}{2} = 12$$

El GM se aproxima a 1, siendo que el GM máximo es 12, lo que indica que el sistema presenta características topológicas radiales.

Las pérdidas de potencia (Pe) están en el siguiente orden:

Pe (Argentina) \cong 4.5 - 5 %

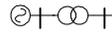
Pe (Alemania) \cong 2 - 2.5 %

El límite del transporte de potencia entre regiones, viene dado fundamentalmente por la estabilidad transitoria, por ser inferior por lo general al de la estabilidad estática y al térmico.

Los centros de generación (año 2012) se encuentran distribuidos según se muestra en la Fig. 9.



Fig. 9.-Ubicación de distintos tipos de Centrales (hidro, térmicas, nucleares)



Algunas Características del SADI

Para el estudio, operación y administración del SEP se hizo corresponder áreas geográficas con regiones eléctricas, quedando divididas como se muestra en la Fig. 10:

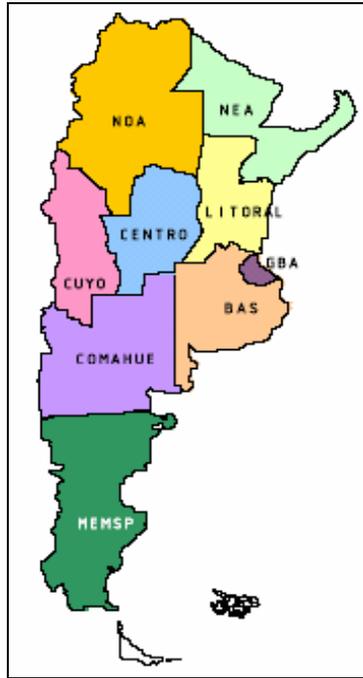


Fig. 10.- Regiones Eléctricas del SEP de Argentina

La zona del GBA, Litoral y BAS es un área de gran concentración de demanda, con menor oferta de generación ==> debe importar de otras áreas.

En el resto de las áreas, la generación es superior a la demanda. En el **NEA y COM**, hay una demanda muy inferior.

La gran oferta de generación ubicada en el área **COM**, principalmente de origen hidráulico y térmico de bajo costo, entrega al Mercado un importante volumen de energía a través del corredor COM-GBA. Esto trae como consecuencia que el sistema de transporte opere prácticamente en su límite durante gran parte del año. Los precios locales del área, entonces, son en general mucho más bajos que en el mercado.

La ubicación de las líneas de transmisión del corredor **COM-GBA** en una zona geográfica de potencial riesgo de tornados en época de verano, hace que se restrinja la generación máxima del área a un porcentaje de la demanda total durante dicha época, para evitar el colapso en el resto del sistema en caso de una falla conjunta en la correspondiente vinculación Chocón-Ezeiza.

Con la central Yacretá en el área NEA y la generación de base instalada en el área NOA, se aumentó la distancia media entre la oferta de generación y la demanda, desplazándose la oferta hacia la periferia y aumentando el riesgo de inestabilidad en la operación del sistema de transporte.

Asimismo el Sistema Patagónico que se encontraba aislado del SADI, se vinculó en el año 2006 mediante la línea de 500 kV que interconecta la ET existente 330/132 kV de Puerto Madryn con la ET Choele Choel.

El país incorporó 2.500 kilómetros de líneas de transporte de energía eléctrica y unos 5.000 MW en los siete últimos años, a partir de inversiones llevadas adelante tanto por el sector privado como el público. En diciembre de 2003, Argentina contaba con una potencia instalada de 23.278 MW -de los cuales 22.501 MW correspondían al Sistema Interconectado Nacional (SIN) y 777 MW al Sistema de interconexión patagónico-, mientras que en el 2013 está en el orden de 32000 MW.

En tanto, están por iniciarse otros 2.870 megavatios (Condor Cliff y la Barrancosa)

Se realizaron diversos tendidos de líneas de 500 Kv (Línea NOA-NEA, con 1812 kilómetros y Comahue-Cuyo, con 708 km) y unos 1700 kilómetros de líneas eléctricas (línea Pico Truncado-Gallegos, Turbio-Calafate).

Las líneas de 500 kV se pueden observar en las Fig. 8 y 11, y su dimensión relativa comparada con las dimensiones de Europa, en la Fig. 12.

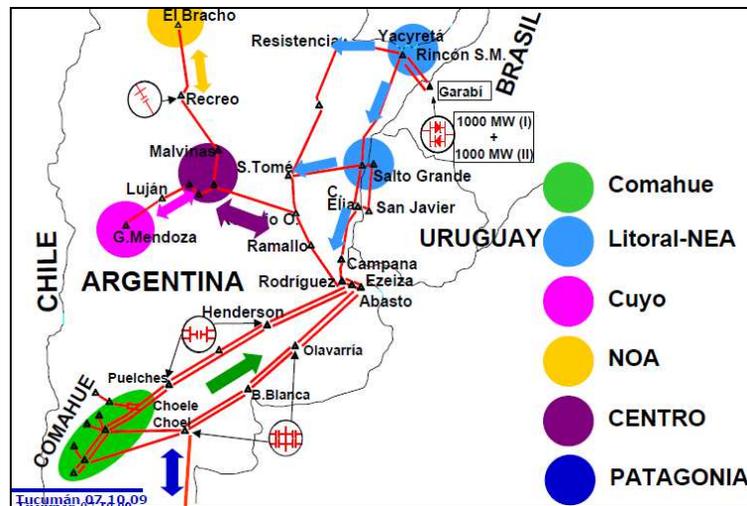


Fig. 11.- Direcciones de los flujos de potencia por las líneas de 500 kV (gentileza UNLP)

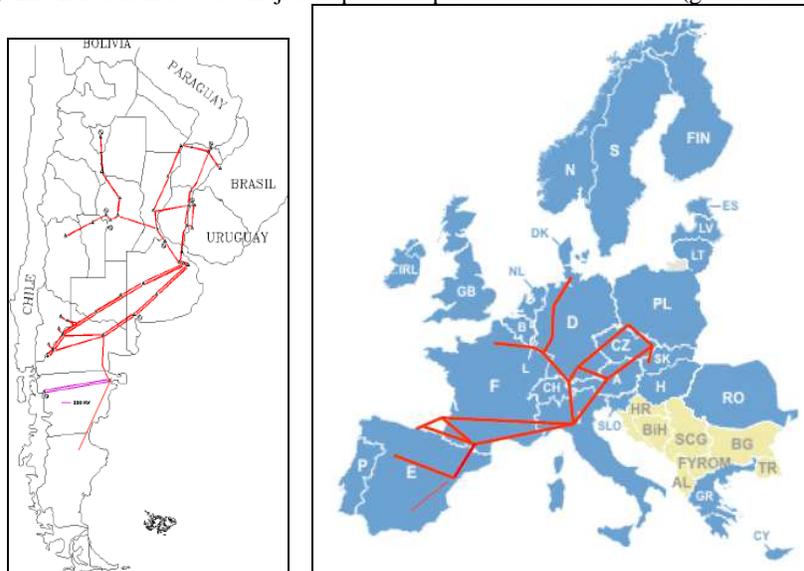
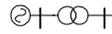


Fig. 12.- Comparación del tamaño del SADI con Europa



Nota: Ver Documento Síntesis MEM 2013

La potencia demandada y la capacidad de potencia instalada en [MW], de años anteriores y futuros estimados, se muestra en la tabla siguiente:

Año	Demanda de Potencia [MW]	Capacidad Instalada [MW]
2008	18200	26800
2009	19200	27000
2016	27100 (estimado)	38900 (estimado)
2024	39000 (estimado)	57000 (estimado)

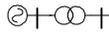
En los próximos años debe instalarse una capacidad de unos 1000-1100 MW al año, para cubrir de esta manera el crecimiento proyectado.

Sistema de Transporte

El objetivo del sistema de transporte es vincular eléctricamente los generadores con los distribuidores o grandes usuarios. Debido a que se presentan concentraciones de demanda y generación en diferentes lugares, da como resultado una oferta de generación o un requerimiento de demanda, por lo que se deben conectar entre sí para comprar o vender energía entre las regiones eléctricas, usándose de forma intensiva el sistema de transporte.

En la tabla de abajo se observa la longitud de las líneas según su nivel de tensión y región.

SISTEMA DE TRANSPORTE	500 kV	330 kV	220 kV	132 kV	66 kV	33 kV	TOTAL
Alta Tensión	11285		562	6			11853
Distribución Troncal	---	1116	841	14701	422	24	17080
- Región Cuyo			634	611			1245
- Región Comahue				1213			1213
- Región Buenos Aires			177	5533	398		6108
- Región NEA			30	1395		24	1449
- Región NOA				4076			4076
- Región PATAGONIA		1116		1873			2990



Operador del sistema eléctrico

En el caso de la República Argentina la red completa está representada en el Sistema Argentino de Interconexión (SADI). Entre las empresas vinculadas con la operación del SADI en el ámbito nacional se pueden mencionar la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S. A. (CAMMESA) y la Compañía de Transporte de Energía Eléctrica en Alta Tensión S. A. (TRANSENER S. A.), las cuales son responsables de programar la operación del sistema completo y transportar la energía en alta tensión (500 kV) a sus usuarios respectivamente.

CAMMESA es el coordinador central de la operación técnica del SADI, encargándose de programar y despachar a los generadores para cubrir la demanda existente, principalmente sobre la base de un orden de méritos usando los costos marginales y la disponibilidad ofrecida por los generadores, siendo generalmente despachados en primer lugar aquellos que ofrecen costos marginales más bajos. Por ejemplo el costo marginal de un generador de una central térmica se define como el costo de combustible (gas oil, fuel oil, gas natural o carbón) consumido para producir 1 kWh.

El ente nacional regulador de la electricidad ENRE es el encargado de controlar los contratos de concesión, dictar reglamentos en materia de seguridad, normas y procedimientos técnicos, controlar la calidad de los servicios, etc.

De las empresas con injerencia fundamentalmente en el ámbito regional, en el caso del SADI, se pueden mencionar las compañías transportistas por distribución troncal y las empresas distribuidoras.

Entre los estudios que se realizan está el del Flujo de Carga. Por ejemplo para el día 18/03/2015 a las 21 hs y dada una demanda determinada, los flujos de carga por las líneas de 500kV fueron los que se observan en la Fig. 15 (unifilar geográfico) y Fig. 16 (unifilar):

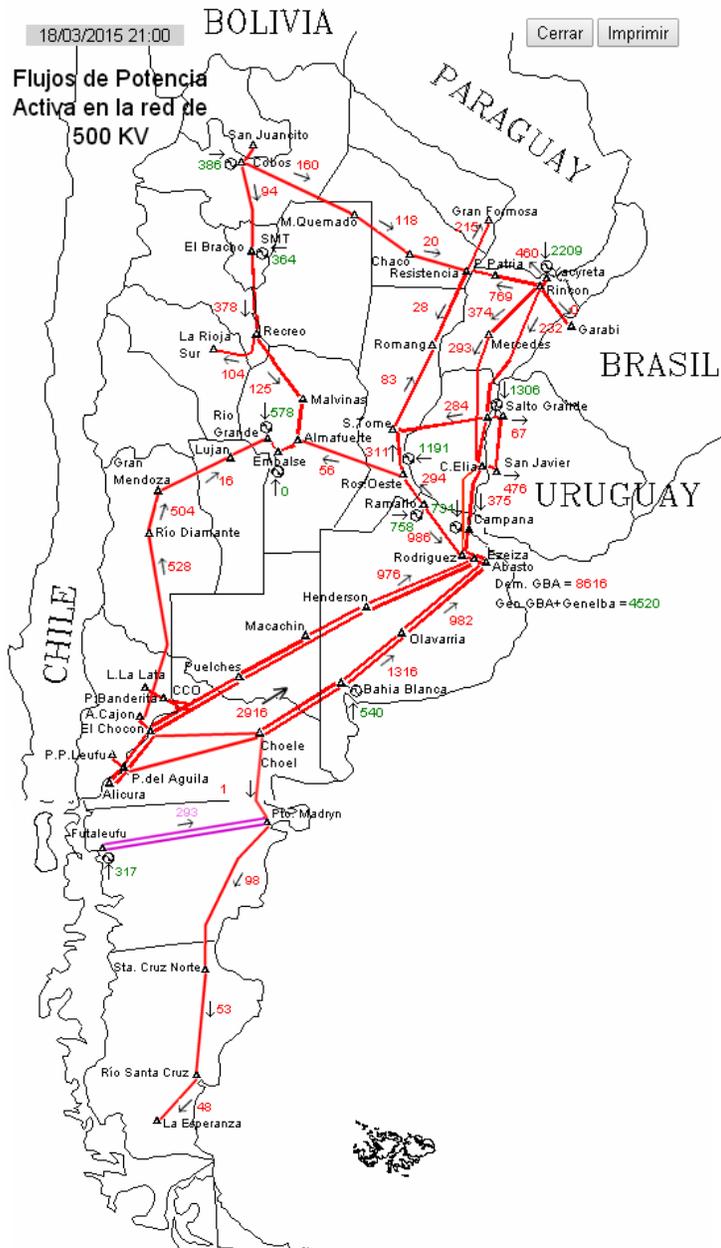


Fig. 15.- Flujos de carga por la LT de 500 kV, el 18/03/2015 a las 21:00 hs

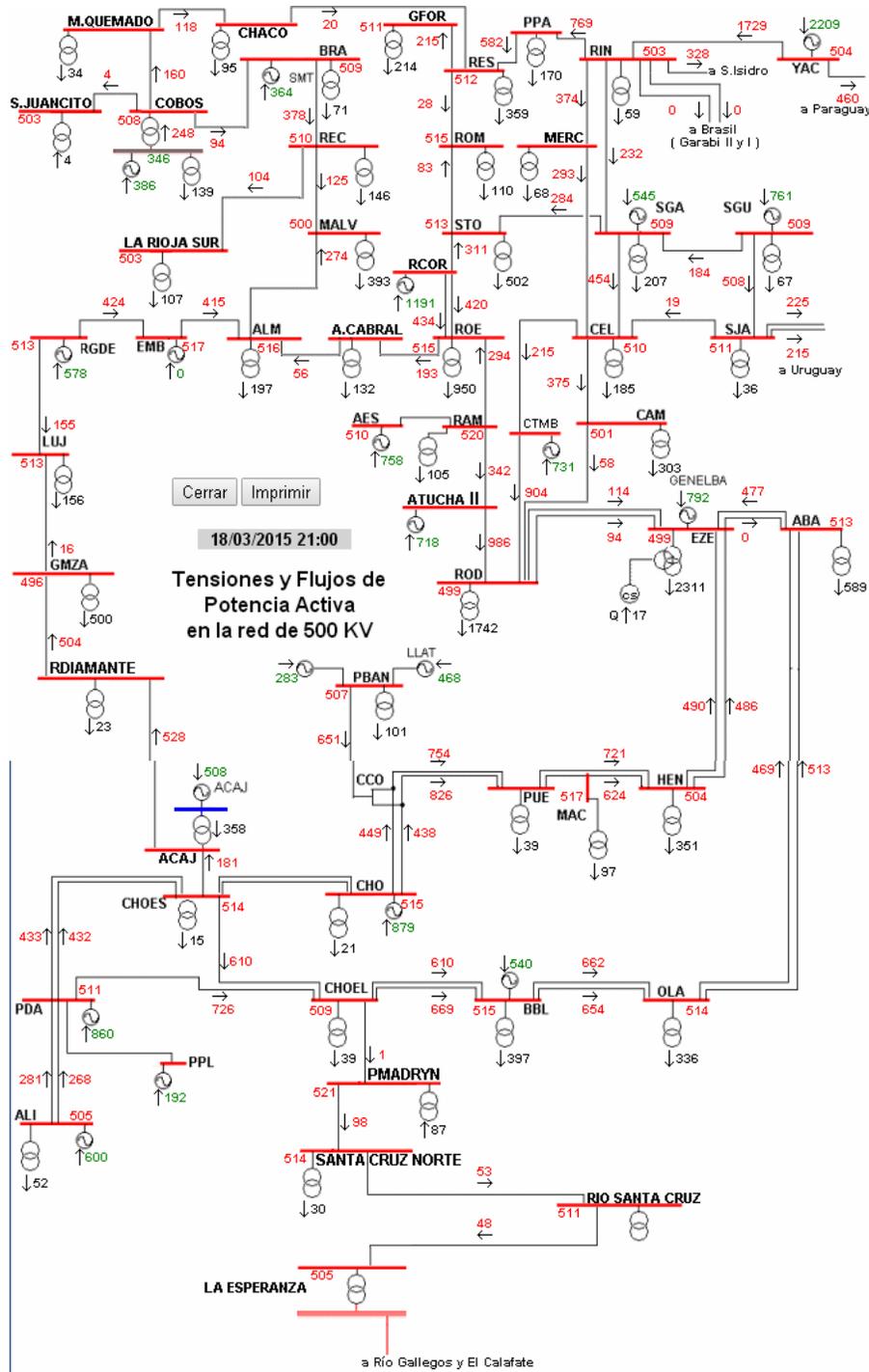


Fig. 16.- Flujos de carga por líneas de 500 kV y tensiones en barra, el 18/03/2015 a las 21:00 hs

El flujo de potencia en el sistema de 132 kV del NOA (unifilar geográfico y unifilar), se puede observar en las Fig. 17 y 18:



Fig. 17.- Flujos de carga por líneas de 132 kV del NOA, el 18/03/2015 a las 21:00 hs

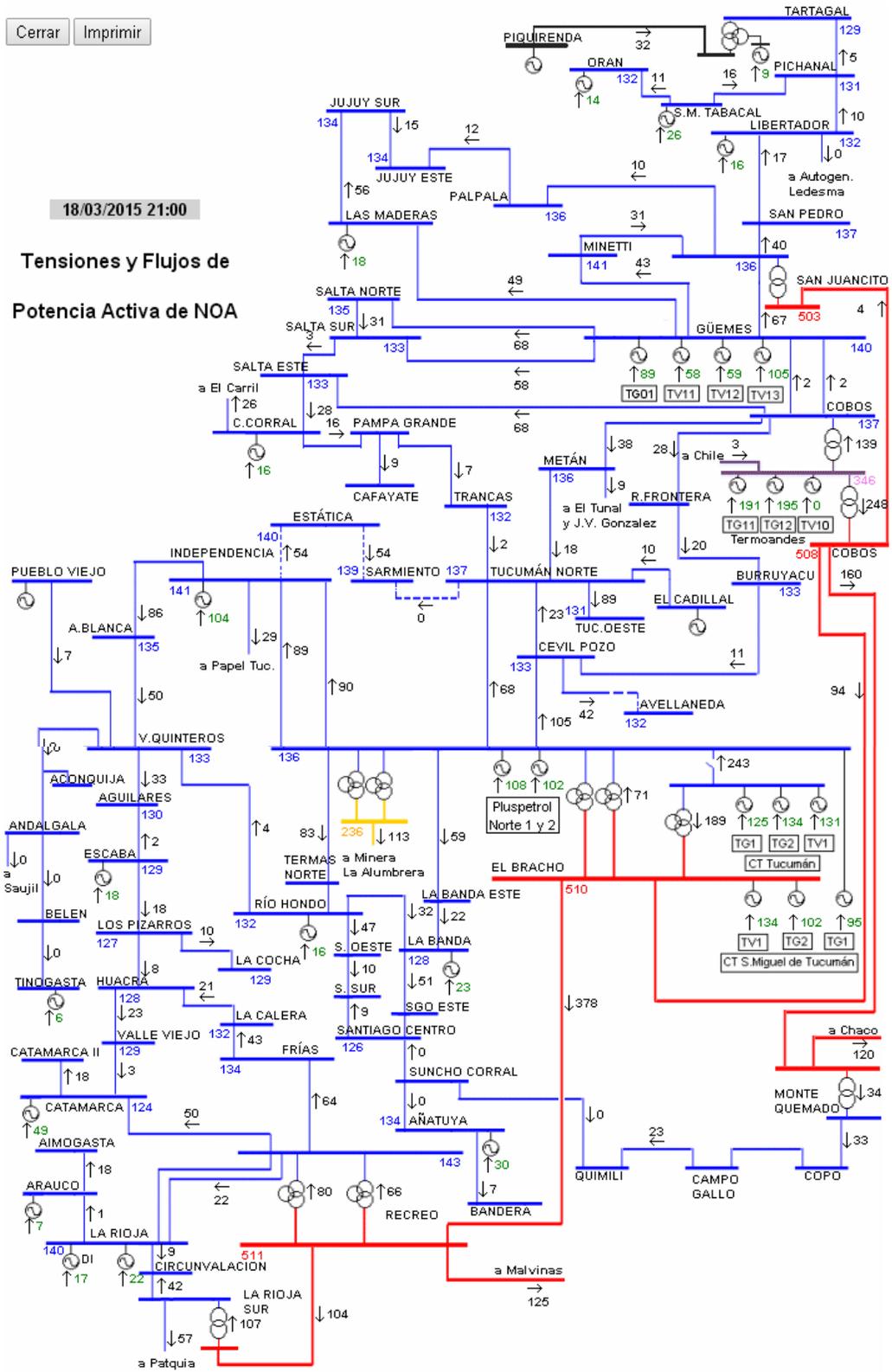
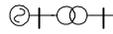


Fig. 18.- Flujos de carga por líneas de 132 kV del NOA y tensiones en barra, el 18/03/2015 a las 21:00 hs



Bibliografía

- 1.- Síntesis del MEM-2013, Comisión Nacional de Energía Atómica, dic 2013
- 2.- Informe Anual 2012 de CAMMESA
- 3.- Introdução a Sistemas de Energía Eléctrica, Alcir Monticelli, UNICAMP, 2000.
- 4.- Apunte sobre Flujo de Carga, Universidad Nacional de San Juan, 2002.
- 5.- Sitio oficial de CAMMESA
<http://portalweb.cammesa.com/Pages/mapasitio.aspx>
- 6.- Sitio oficial de la Secretaría de Energía de Argentina
<http://energia3.mecon.gov.ar/home/>