

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Integrantes de la Cátedra:

Ing. Julio C. Turbay (jcturbayspecial@gmail.com)

&

Ing. Germán G. Lorenzón (lorenzon_german@hotmail.com)

¿A QUIENES APUNTA ESTA ASIGNATURA?

- **Futuros Profesionales que actuarán como alguno de los Actores del Mercado Eléctrico.**
 - **Generadores.**
 - **Transportistas.**
 - **Distribuidores.**
 - **Reguladores.**
 - **Cogeneradores / Autogeneradores.**
 - **Consultores.**

- **Futuros Profesionales en Industrias Electointesivas**
 - **¿GUDI, GUMA, GUPA, etc.?**
 - **¿Contratar parcial o totalmente la curva de demanda?**

OBJETIVOS DE LA ASIGNATURA

- Proporcionar conocimientos específicos sobre la constitución, modelado de componentes y resolución de Sistemas Eléctricos de Potencia (**SEPs**), funcionando tanto en condiciones normales como de emergencia.

SEP = SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

SEP = RED ELÉCTRICA + GENERADORES + DEMANDAS

RED ELÉCTRICA = LÍNEAS Y CABLES DE TRANSMISIÓN + TRANSFORMADORES + ...

- Aprender a:
 1. Modelar los distintos elementos que componen un SEP (Líneas y Cables de Transmisión, Generadores, Transformadores, Demandas, etc.).
 2. Representar un SEP mediante la adecuada interconexión de estos modelos, según el tipo de estudio a realizar (Puramente Eléctrico, Híbrido Mecánico-Eléctrico, etc.).
 3. Comprender los fundamentos de los distintos Métodos de Resolución sobre las representaciones apuntadas en el ítem anterior y aprender a seleccionar el más adecuado según el estudio a encarar.
- Aplicar todo lo antes expuesto a la simulación de la Operación de un SEP existente, así como a su Expansión.
- Adquirir los conceptos necesarios para, en base a la interpretación de los resultados de la simulaciones recién mencionadas, decidir acciones y/o tomar decisiones.

- Para cumplir con los objetivos antes reseñados, la asignatura se estructura en las siguientes ...

UNIDADES TEMÁTICAS

- **UT1**: Parámetros Característicos de Líneas y Cables de Transmisión de Energía Eléctrica.
- **UT2**: Cálculos Eléctricos de Líneas de Transmisión de ca y cd.
- **UT3**: Modelado de componentes de SEP's.
- **UT4**: SEP's de ca operando en Régimen Balanceado y Estacionario.
- **UT5**: Despacho Económico de Generación en SEP's. Operación y Control de un SEP. Control Automático de Generación.
- **UT6**: Estudios de Fallas (Transversales y Longitudinales) en SEP's.
- **UT7**: Estabilidad Transitoria (de Ángulos) en SEP's.
- **UT8**: Sobretensiones en SEP's.

10/03/2014 21:00

BOLIVIA

Cerrar Imprimir

Flujos de Potencia Activa en la red de 500 KV

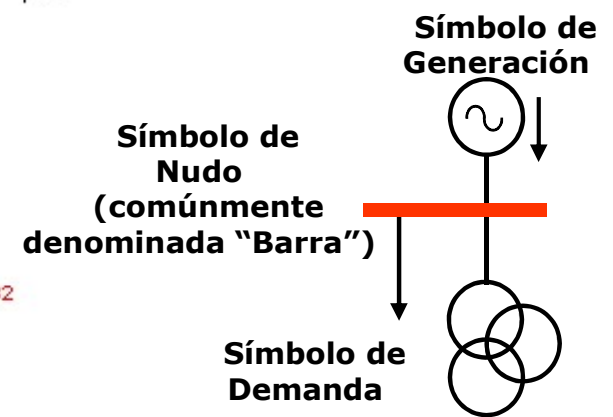
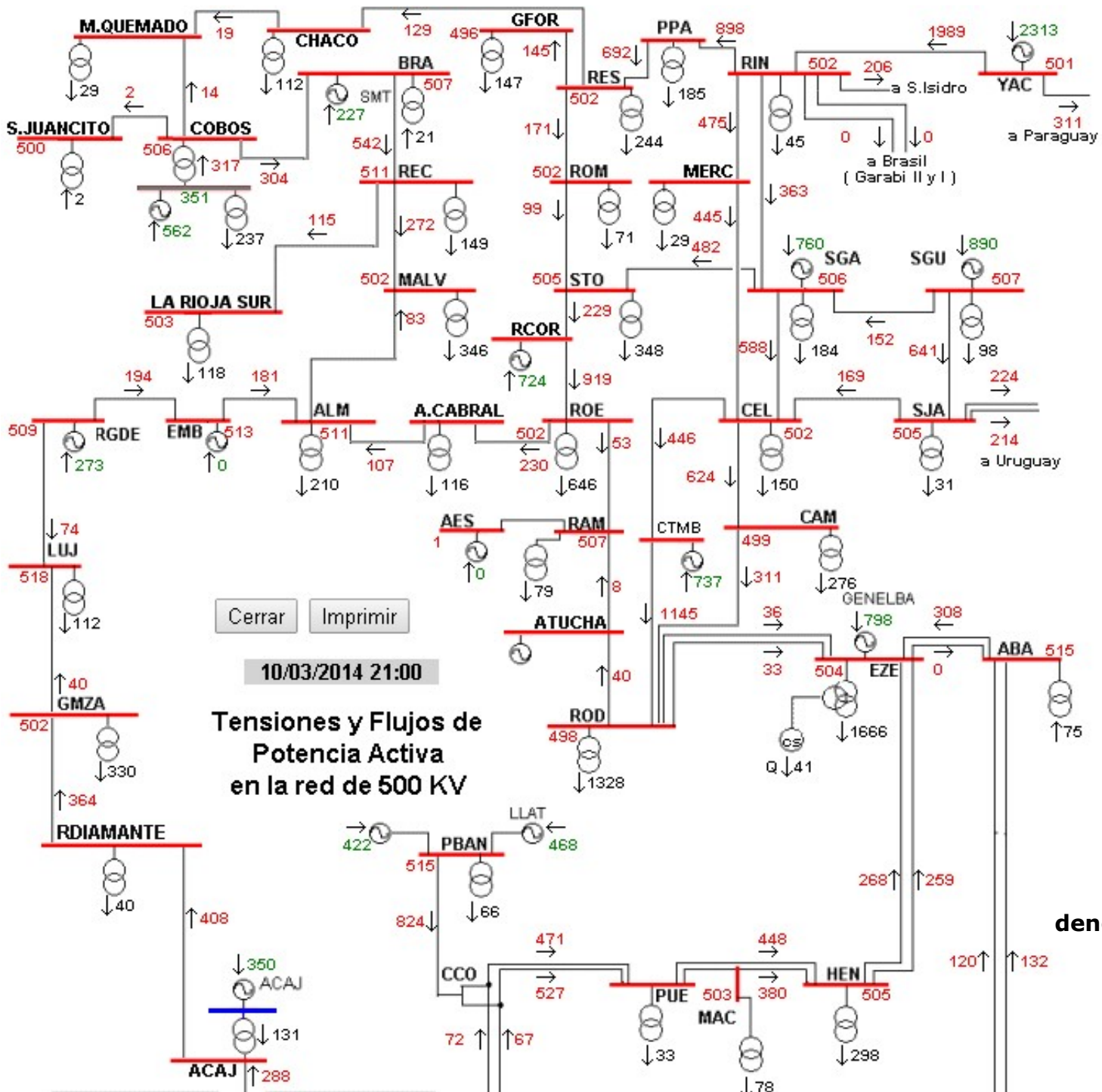
SADI: Sistema Argentino De Interconexión

Flujo Geografico 10/03/2014 21:00

<http://www.cammesa.com/>



21/03/2019



Modelo Matemático Matricial de la Red

**Modelo utilizado en la UT4 ...
(Matriz Admitancia Nodal o de Barra)**

$$[Y_{Nodo}] = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & \cdots & Y_{1,NBUS} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & \cdots & Y_{2,NBUS} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{NBUS,1} & Y_{NBUS,2} & \cdots & \cdots & Y_{NBUS,NBUS} \end{bmatrix}$$

NBUS: Número de Nodos o Barras en la Red

**Modelo utilizado en la UT5 ...
(Matriz de los Coeficientes de Pérdidas)**

$$[B] = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \cdots & \cdots & B_{1KMAX} \\ B_{21} & B_{22} & \cdots & \cdots & B_{2KMAX} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ B_{KMAX,1} & B_{KMAX,2} & \cdots & \cdots & B_{KMAX,KMAX} \end{bmatrix}$$

**KMAX: Número de Nodos o Barras con Generación
(agrupados desde 1 a KMAX)**

**Modelo utilizado en la UT6 ...
(Matriz Impedancia Nodal o de Barra)**

$$[Z_{Nodo}] = [Y_{Nodo}]^{-1} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & \cdots & Z_{1,NBUS} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & \cdots & Z_{2,NBUS} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{NBUS,1} & Z_{NBUS,2} & \cdots & \cdots & Z_{NBUS,NBUS} \end{bmatrix}$$

**Modelo utilizado en la UT7 ...
(Matriz Admitancia Nodal Reducida)**

$$[Y_{Kron}] = \begin{bmatrix} Y_{K11} & Y_{K12} & \cdots & \cdots & Y_{K1NG} \\ Y_{K21} & Y_{K22} & \cdots & \cdots & Y_{K2NG} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{KNG,1} & Y_{KNG,2} & \cdots & \cdots & Y_{KNG,NG} \end{bmatrix}$$

**NG: Número de Nodos o Barras con Generación
(agrupados desde 1 a NG)**

Modelo Matemático Matricial de la Red

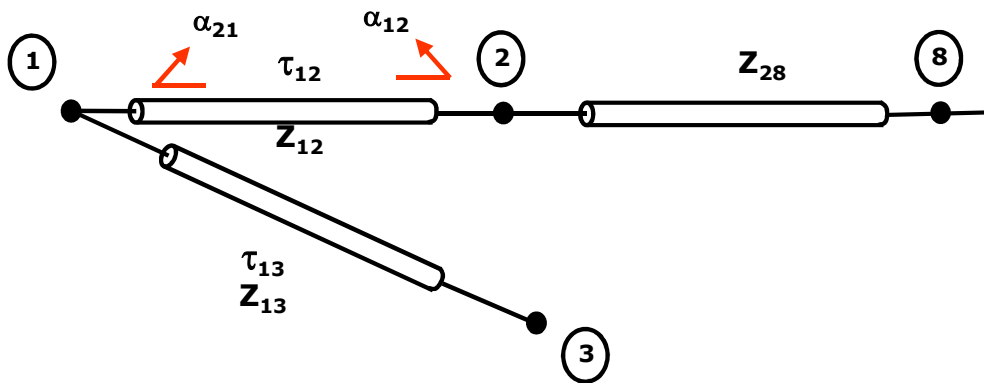
Modelo utilizado en la UT8 ...

(Matriz de los Coeficientes de Reflexión de Ondas)

$$[\alpha_V] = \begin{bmatrix} 0 & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \cdots & \alpha_{1,NBUS} \\ \alpha_{21} & 0 & \alpha_{23} & \cdots & \alpha_{2,NBUS} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{NBUS,1} & \alpha_{NBUS,2} & \cdots & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

(Matriz de los Tiempos de Tránsito de Ondas)

$$[\tau] = \begin{bmatrix} 0 & \tau_{12} & \tau_{13} & \cdots & \tau_{1,NBUS} \\ \tau_{21} & 0 & \tau_{23} & \cdots & \tau_{2,NBUS} \\ \vdots & \vdots & 0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ \tau_{NBUS,1} & \tau_{NBUS,2} & \cdots & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

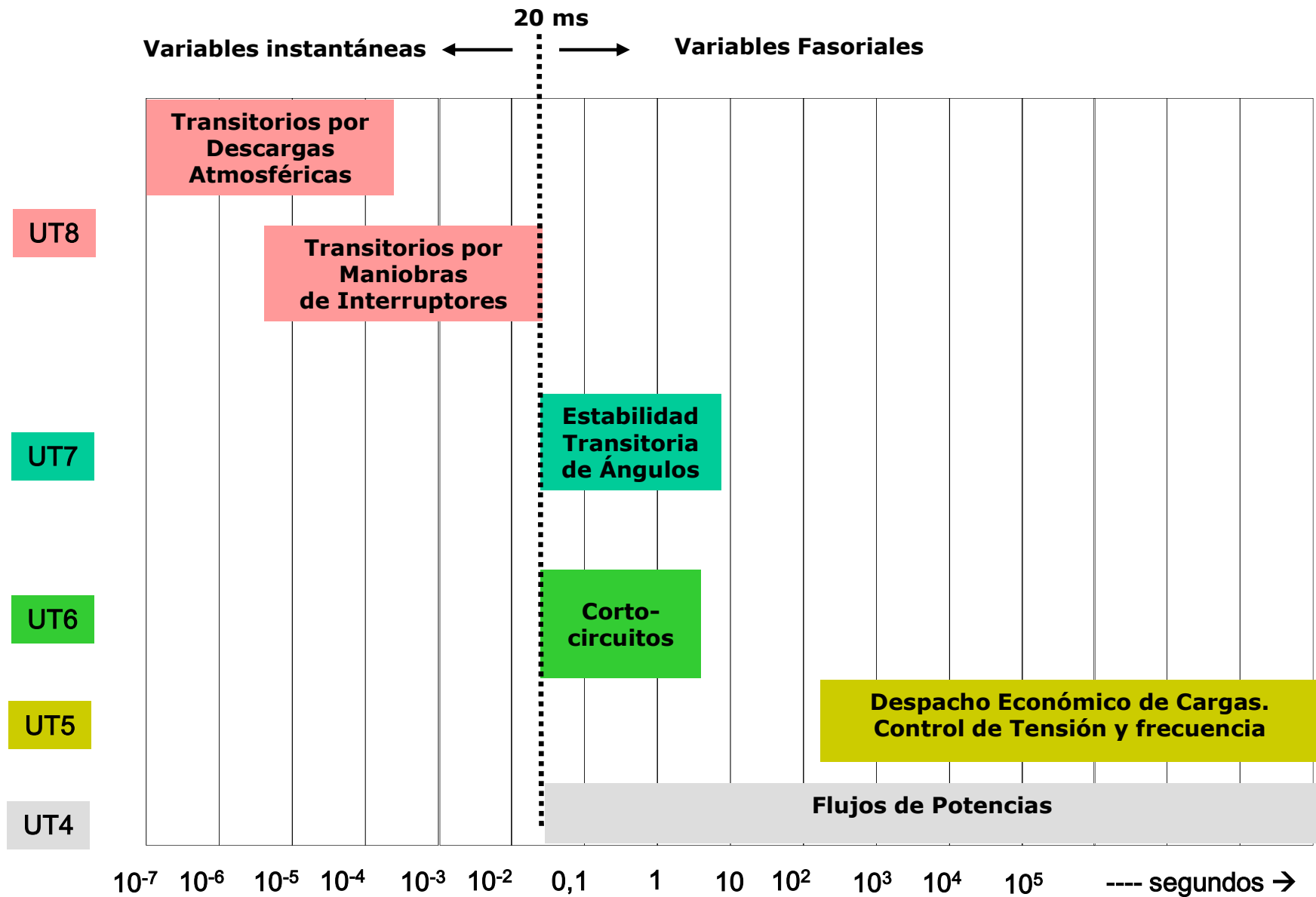


$$Z_{12} = \sqrt{\frac{L_{12}}{C_{12}}}$$

$$\alpha_{12} = \frac{Z_{28} - Z_{12}}{Z_{12} + Z_{28}}$$

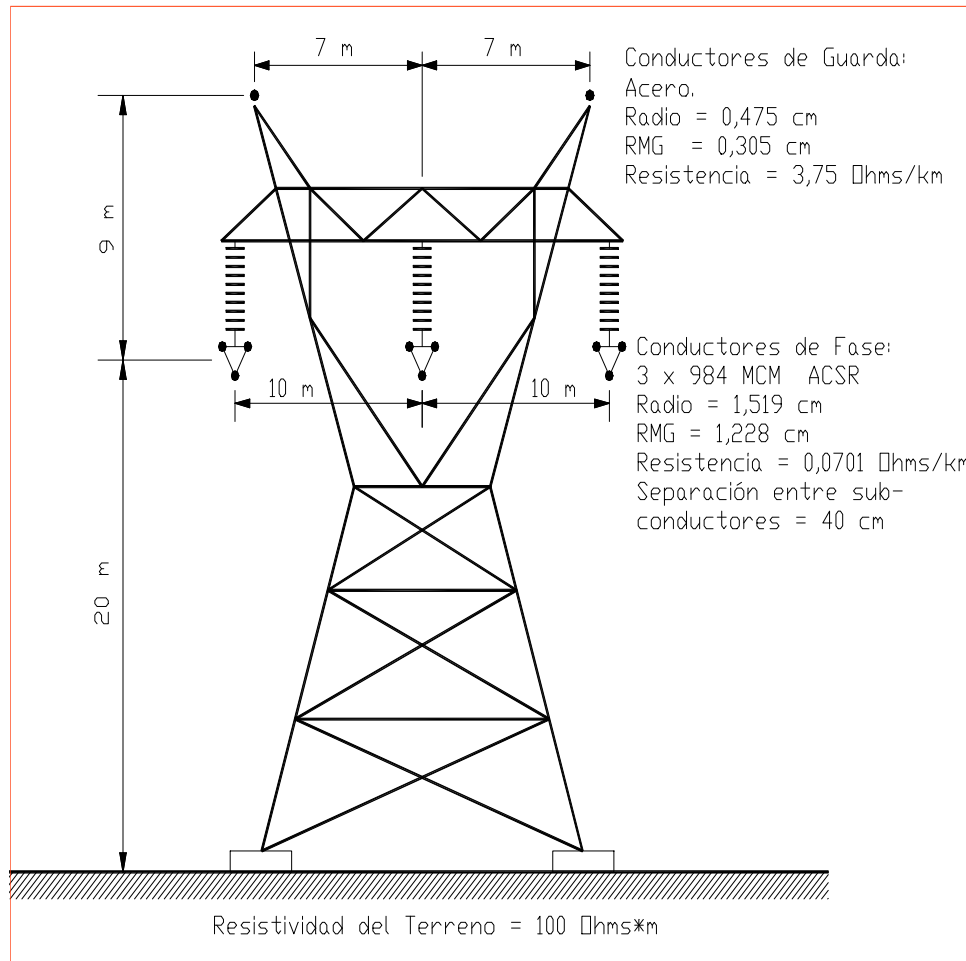
$$\tau_{12} = l_{12} \cdot \sqrt{L_{12} \cdot C_{12}}$$

El desarrollo de las UNIDADES TEMÁTICAS de la Cátedra, en el MARCO DEL TIEMPO



¿ Y las UT1, UT2 y UT3 ?

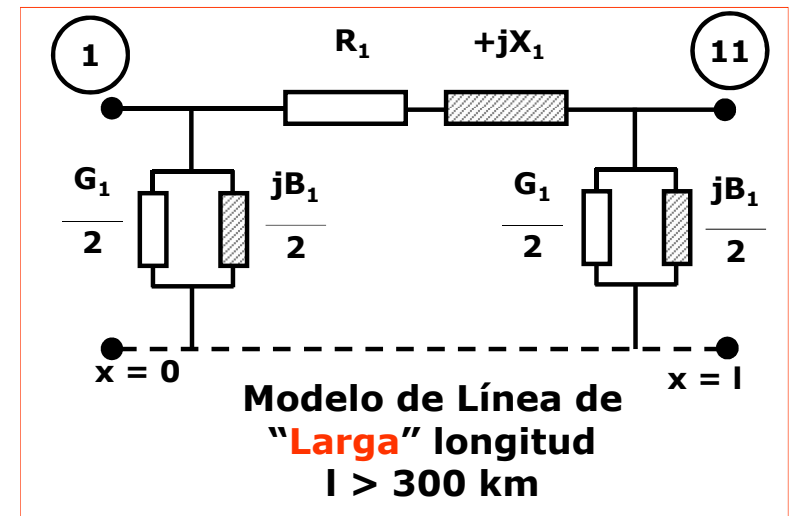
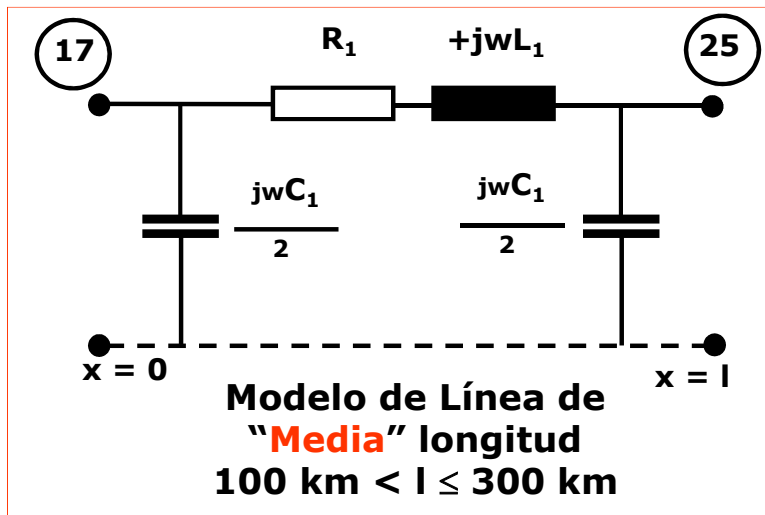
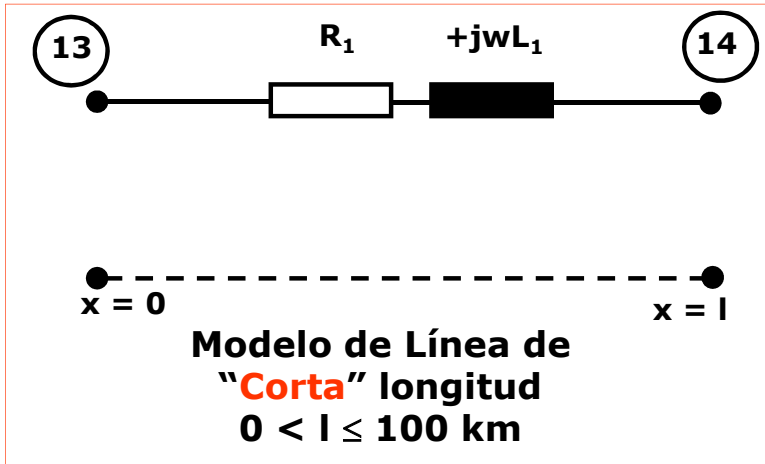
UT1: PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS de LÍNEAS Y CABLES DE TRANSMISIÓN



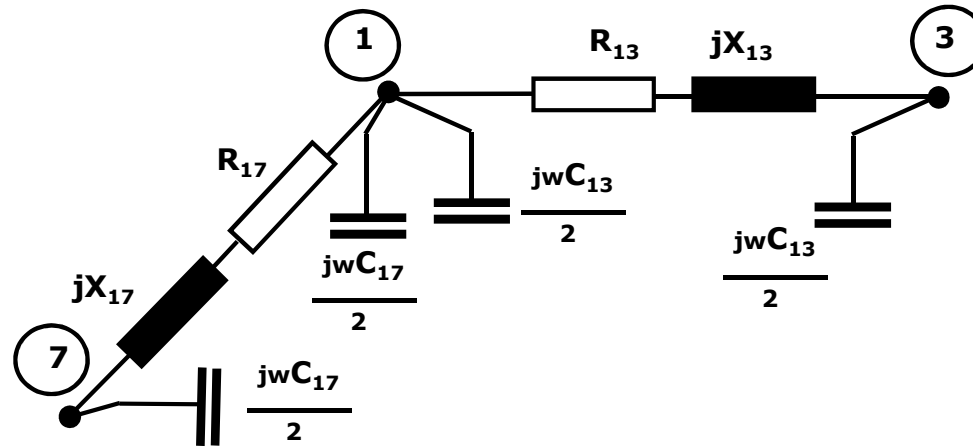
$R(\Omega/\text{km}) - L(\text{mH}/\text{km}) - C(\mu\text{F}/\text{km})$

UT2: CÁLCULO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

- DISTINTOS "MODELOS MONOFÁSICOS" DE LÍNEAS



Nota: El subíndice '1' en los parámetros de los modelos hace referencia al hecho que se trata de la secuencia directa.

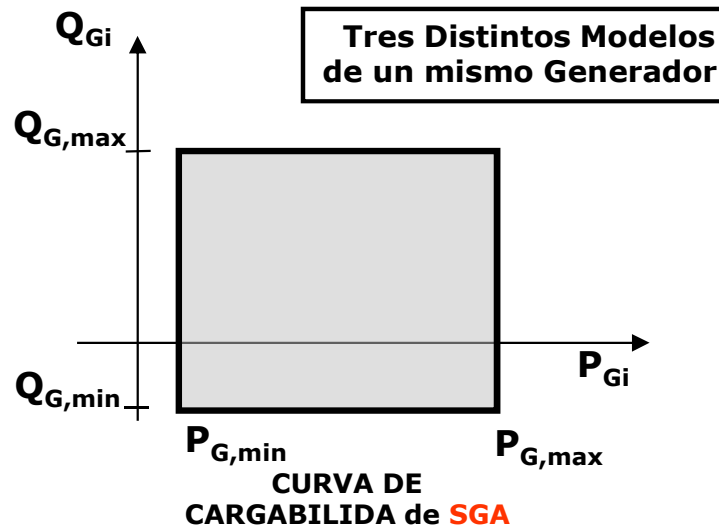
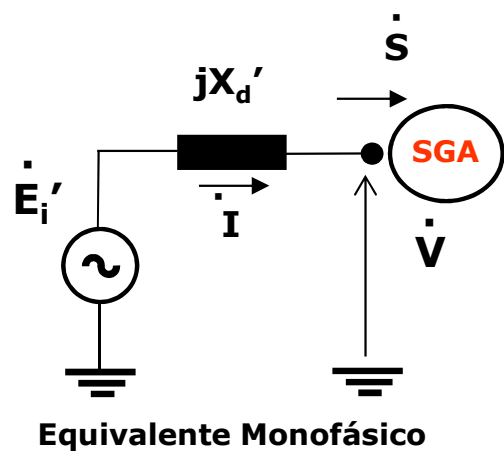
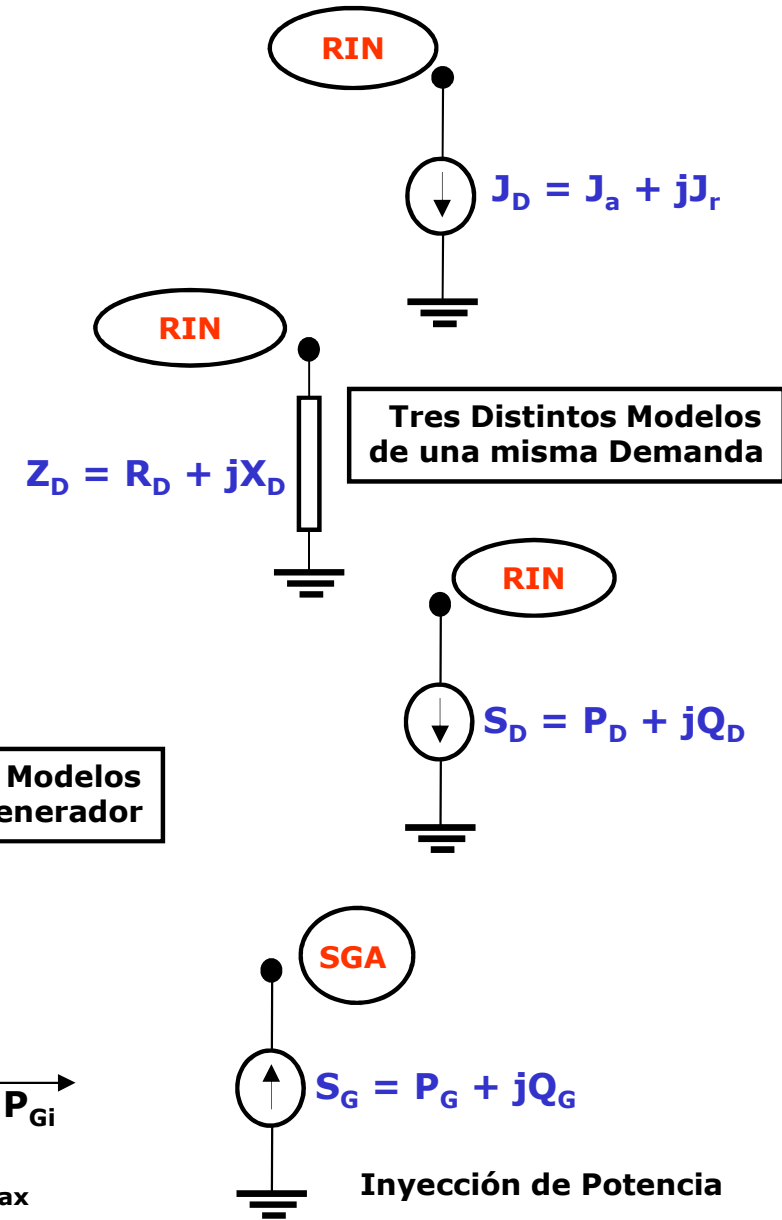
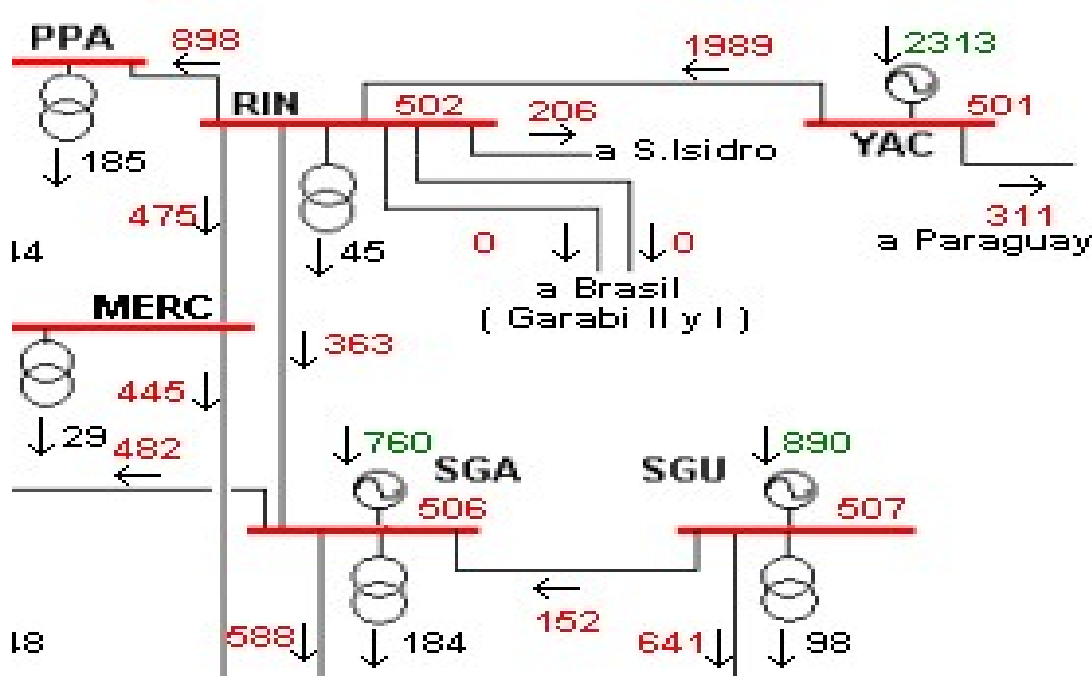


$$Y_{11} = \sum_{i=2}^{NBUS} y_{li} = \frac{jwC_{13}}{2} + \frac{1}{R_{13} + jX_{13}} + \frac{jwC_{17}}{2} + \frac{1}{R_{17} + jX_{17}}$$

$$Y_{13} = -y_{13} = -\frac{1}{R_{13} + jX_{13}}$$

$$[Y_{Nodo}] = \begin{bmatrix} Y_{11} & 0 & Y_{13} & \cdots & Y_{1,n} \\ 0 & Y_{22} & \cdots & \cdots & Y_{2,n} \\ \vdots & & & & \vdots \\ \vdots & & & & \vdots \\ Y_{n,1} & Y_{n,2} & \cdots & \cdots & Y_{n,n} \end{bmatrix}$$

UT3: MODELADO DE COMPONENTES DE UN SEP

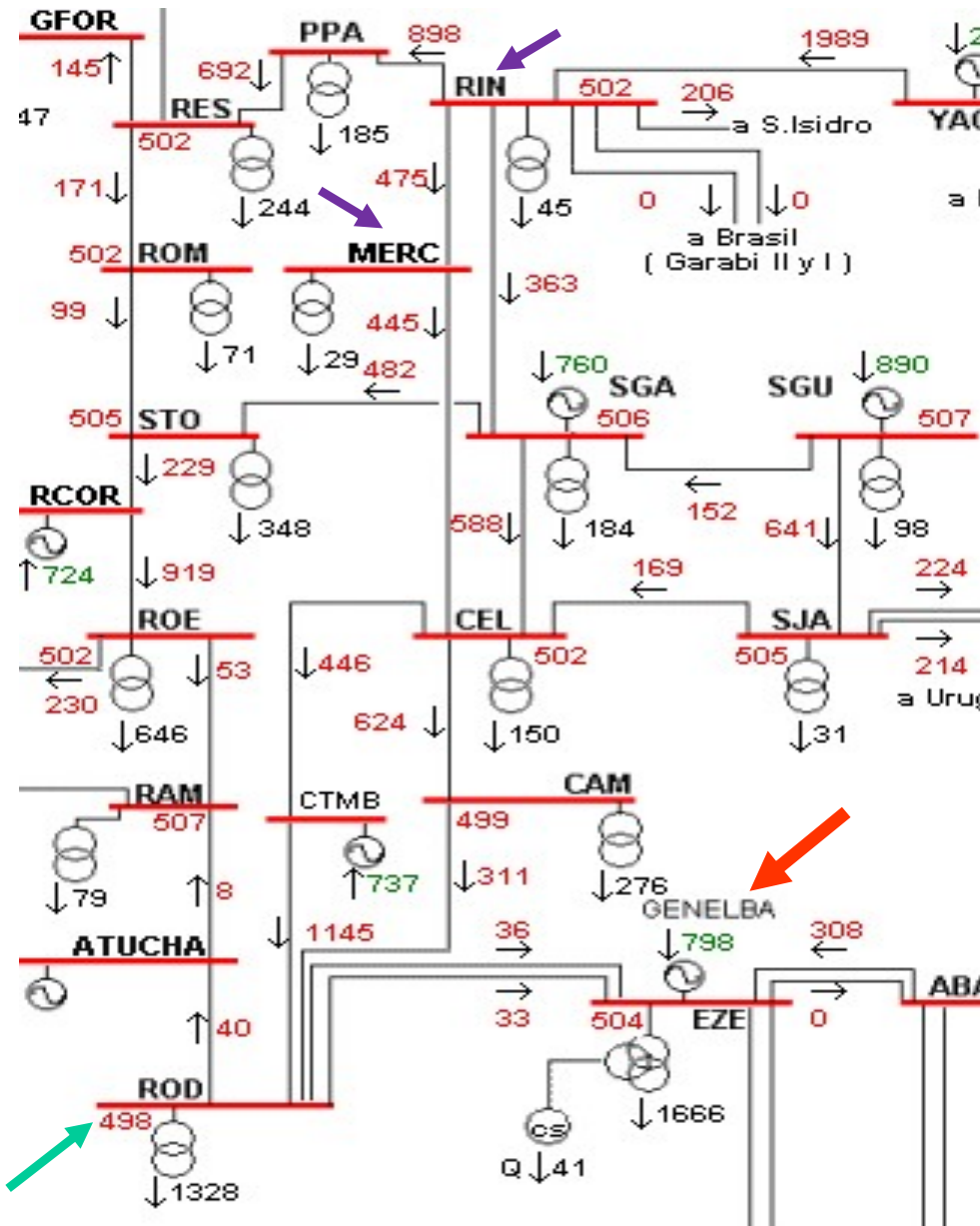


UT4: SEPs DE CA EN RÉGIMEN BALANCEADO Y ESTACIONARIO

Diagramas Unifilar de la Red

Diagramas de Impedancias de la red (En valores reales)

Diagramas de Impedancias de la red (En valores "por unidad")



Representación del SEP:

- **Red** = Matricial (→ Necesidad de recurrir al Método de Cálculo en valores relativos o "pu").
- **Demandas y Generación** = Fasores Extracciones e Inyecciones de Potencias constantes.

Cálculo de Flujos de Potencia (Gauss-Seidel; Newton-Raphson, etc.), para obtener ...

- Tensiones en todos los nudos
- Flujos de Potencia en todas las ramas
- Potencias en todos los Generadores

Análisis de Flujos de Potencia: Preguntas/ Rpts:

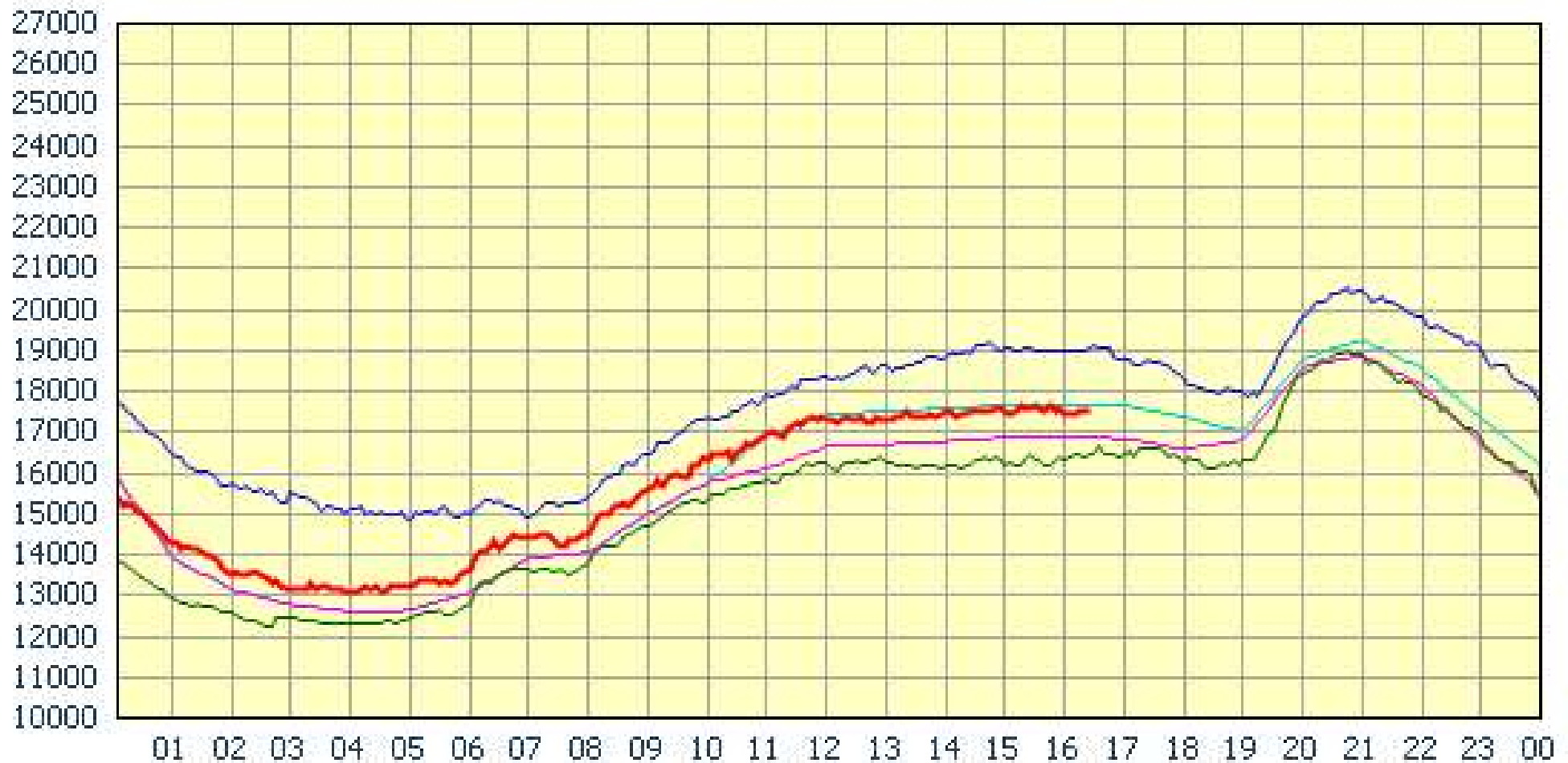
- Es posible operar con un determinado DG? (Se viola alguna curva $P_G - Q_G$? Se sobrecarga alguna Línea? Etc.).
- Es posible quitar del servicio para mantenimiento la Línea entre las Barras **RIN** y **MERC**?
- Es posible quitar del servicio para mantenimiento el Generador de Barra **GENELBA**?
- Si desearamos sostener la tensión en la Barra **ROD** en 500kV, es suficiente con agregar capacitores?
- Etc.

UT5: DESPACHO ECONÓMICO DE CARGAS

14/03/2017 16:25 Total del SADI Incl. Patagonia : 17529 MW

Demanda Real (MW) - Temp. Promedio de GBA y Litoral °C

— Hoy — Ayer — Sem.Ant. — Predesp. — Redesp.



UT5: DESPACHO ECONÓMICO DE CARGAS



CUBRIMIENTO DEL PICO REAL DEL SADI

CAMMESA Móvil

13-03-2017

Cubrimiento del Pico Real del SADI

| 13-03-2017 hora 20:43 | MW |
|-------------------------------|-------|
| GENERACION NUCLEAR | 1063 |
| GENERACION TERMICA | 11208 |
| GENERACION HIDRAULICA | 6674 |
| GENERACION RENOVABLE | 34 |
| GENERACION TOTAL | 18979 |
| IMPORTACION DE CHILE | 0 |
| IMPORTACION DE PARAGUAY | 15 |
| IMPORTACION DE BRASIL | 1 |
| EXPORTACION A BRASIL | 0 |
| IMPORTACION DE URUGUAY | 0 |
| EXPORTACION A URUGUAY | 0 |
| DEMANDA TOTAL SADI | 18995 |
| RESERVA ROTANTE (RPF+RSF+RRO) | 1368 |

Temp. Prom. GBA+Litoral

21.4 °C

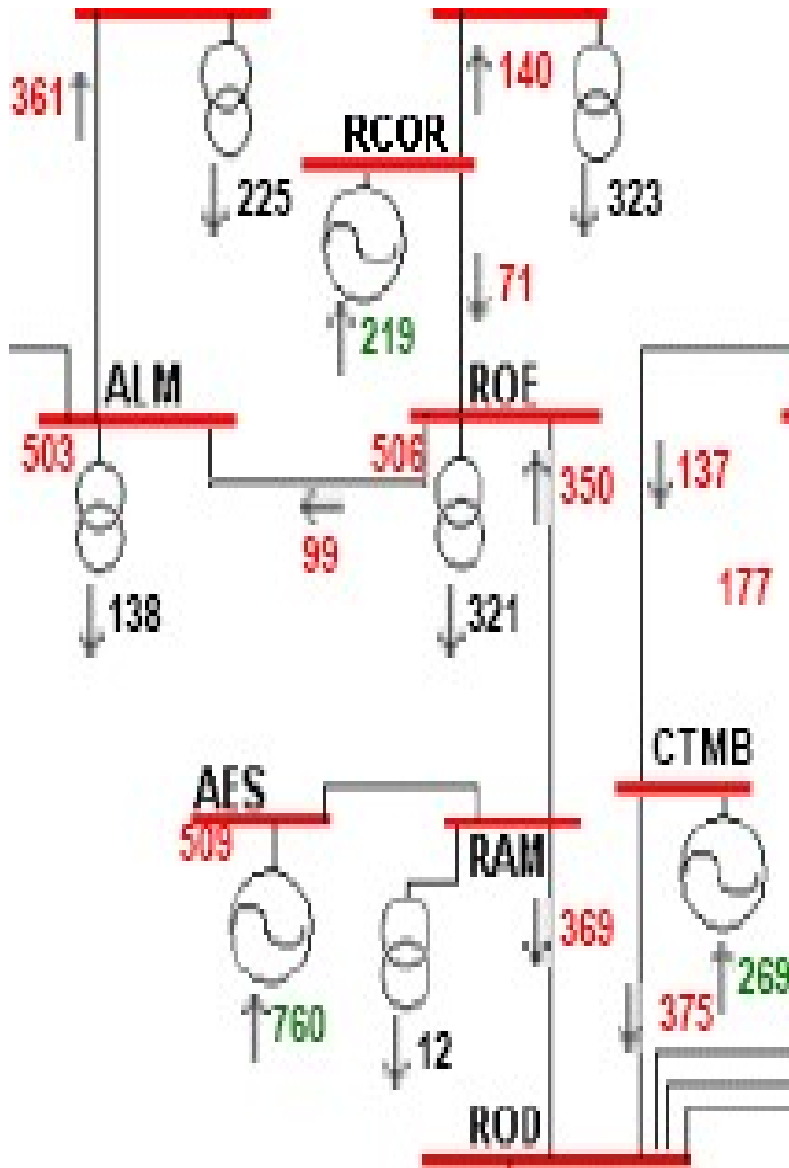
Reserva Térmica Disponible [MW]

| | TV | TG | CC | DI | Total |
|----------------|------------|-------------|----------|-------------|-------------|
| Disponible F/S | 760 | 1638 | 0 | 1077 | 3475 |
| En Arranque | 0 | 160 | 0 | 0 | 160 |
| Total | 760 | 1798 | 0 | 1077 | 3635 |

Generación Térmica Limitada o Indisponible [MW]

| | TV | TG | CC | Total |
|----------------|----|-----|-----|-------|
| P/Combustible | | 617 | 460 | 1092 |
| F/S por Mapros | | 505 | 296 | 1134 |

UT6: ESTUDIOS DE FALLAS



Cálculo de Fallas: Interesan ...

- Corrientes por todas las ramas
- Tensiones en todos los nudos y fases.



Método de Cálculo:

- Componentes Simétricas
- Matriz Impedancia Nodal o de Barra (**Programas de Cálculo**)



Análisis de Fallas: Preguntas/Respuestas

- Es posible mallar aún más la red?
- Es posible incrementar la generación en la Barra **RCOR**?
- Hay que rediseñar la malla de puesta a tierra de la ET **ROE**?
- Hay que cambiar sus Interruptores?
- Cómo reajustar las protecciones de la LEAT **RCOR - ROE**?
- Un determinado DG es posible de materializar?

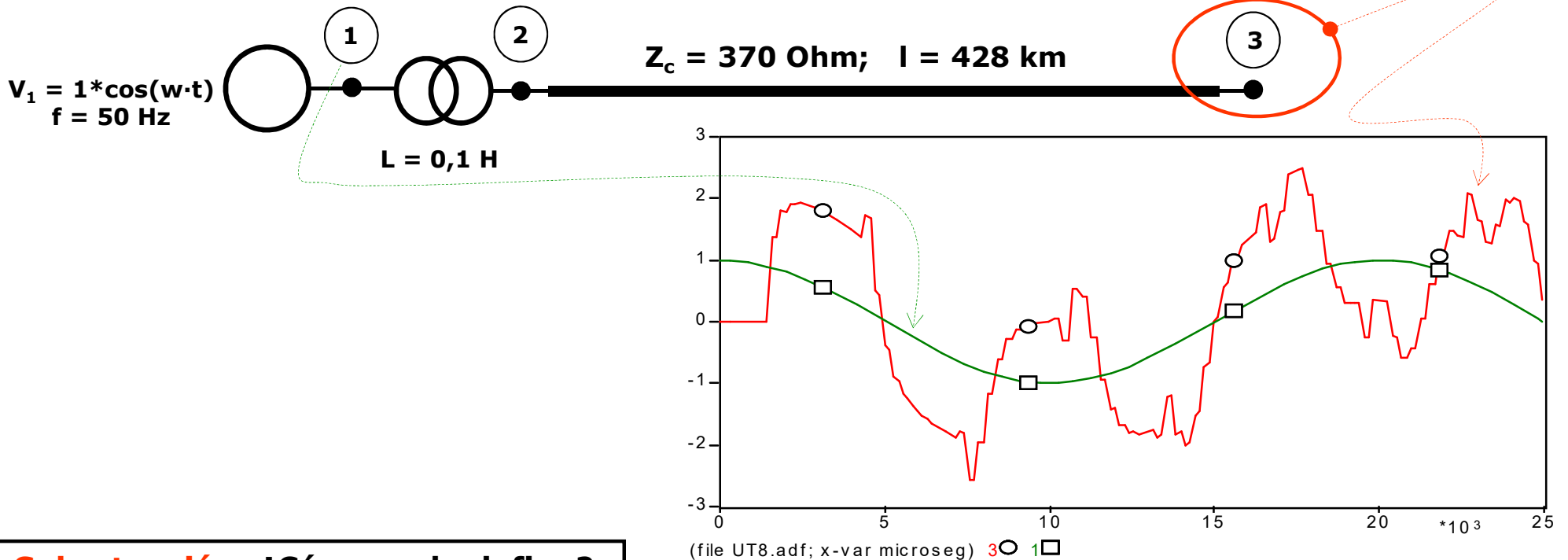
UT7: ESTUDIOS DE ESTABILIDAD TRANSITORIA

Una aproximación intuitiva a la cuestión de la estabilidad (de ángulos de los rotores de máquinas sincrónicas)



¿Interesa que todos los ciclistas pedaleen en sincronismo?

UT8: ESTUDIOS DE SOBRETENSIONES



Sobretensión: ¿Cómo se la define?
¿Porqué se producen? ¿Cómo se la calculan?
¿Qué contramedidas pueden tomarse?

Teoría de Ondas que Progresan por LPDs sin pérdidas. Método de Bewley o "de la Celosía". Elementos alineales: Aplicación de los métodos de compensación o sustitución + principio de superposición. Programas de Cálculo.

CRITERIO DE REGULARIDAD

Habilitación para presentarse a Exámenes Parciales (Promoción Directa) y/o a un Examen Final.

CONDICIONES DE REGULARIDAD

- **Asistencia a Clases ≥ 75 %.**
- **Aprobación (con nota ≥ 6) los Cuestionarios tipo “Múltiples Choice” al cabo de cada Unidad Temática.**

APROBACIÓN DE LA ASIGNATURA

- **Procedimientos:**
 1. **Promoción Directa, o**
 2. **Examen Final “Clásico”.**
- **Requisito previo: Regularidad.**

PROMOCIÓN DIRECTA

- **Aprobación (con nota ≥ 6) tres Exámenes Parciales:**
 1. **Examen Parcial 1: UT1+UT2+UT3 – Tentativamente: fines de mayo.**
 2. **Examen Parcial 2: UT4+UT5 – Tentativamente: fines de agosto.**
 3. **Examen Parcial 3: UT6+UT7+UT8 – Tentativamente: fines de noviembre.**
- **Posibilidad de recuperatorio de un Examen Parcial desaprobado.**

EXAMEN FINAL “CLÁSICO”

- **Habilitado para aquellos alumnos que cumplieran los criterios de regularidad y no hayan optado, o no hayan completado, el proceso de Promoción Directa.**

FIN

DE LA INTRODUCCIÓN