



UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA  
NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL  
RECONQUISTA



# CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA

## UNIDAD 1:

- Componentes de: generación, transporte, transformación y distribución.
- Componentes de los sistemas de potencia. Generación y consumo.
- Diagrama de carga diario.
- Potencias: máxima, mínima, media.
- Factores de carga, de diversidad, de simultaneidad.
- Reserva: tipo y factor de reserva.
- Diagrama ordenado de carga.
- Tiempo de utilización



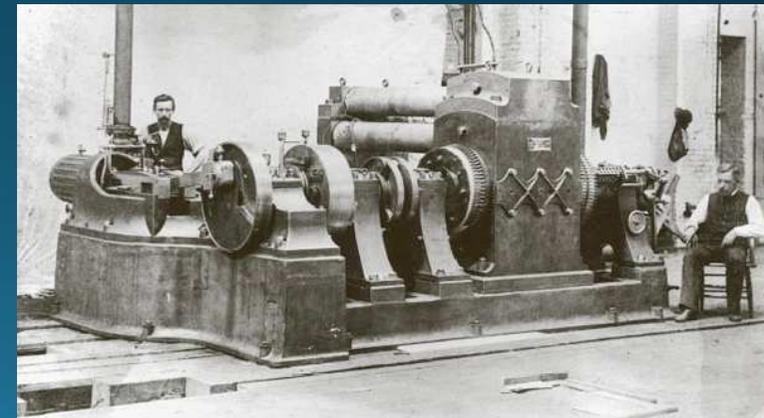
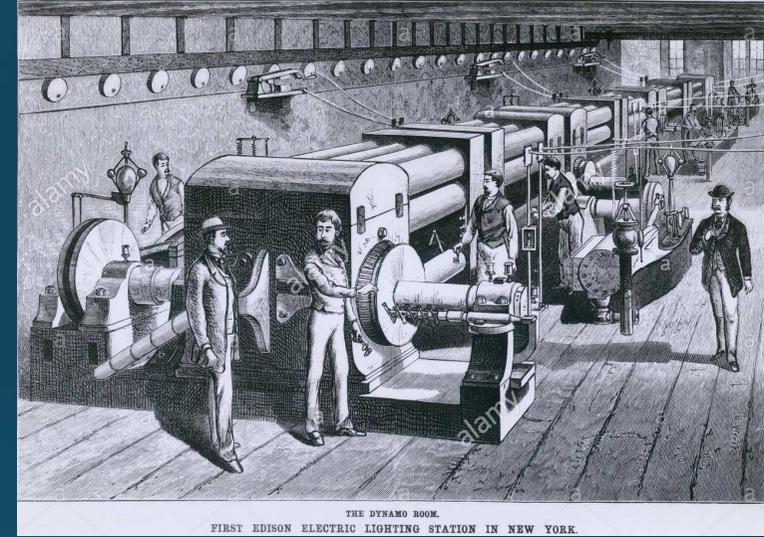
#### SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA SEP

- La función de el SEP es convertir la energía, desde su forma naturalmente disponible, a E. Eléctrica y transportarla a los lugares de consumo.
- El sistema debe estar disponible para todos los continuos cambios en la demanda de potencia activa y reactiva.
- Debe proveer energía al mínimo costo y mínimo impacto ambiental.
- La calidad de la Energía suministrada debe cumplir estándar mínimos de:
  - Constancia de frecuencia.
  - Constancia de Voltaje.
  - Nivel de disponibilidad.



#### HISTORIA

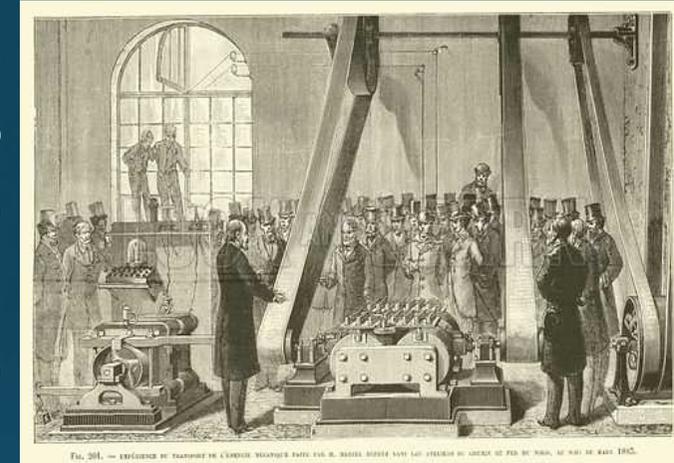
- En 1882 Edison inauguró la primera estación de generación central en los EE. UU. Esto alimentó una carga de 400 lámparas, cada una consumiendo 83 W. Dos años más tarde la central servía a 508 clientes con un total de 10.164 lámparas.
- Al mismo tiempo, el viaducto de Holborn Generating Station en Londres fue la primera en Gran Bretaña en atender a los consumidores en general. Este esquema utilizó un generador de 60 kW impulsado por una máquina de vapor horizontal; el voltaje de generación fue de 100 V CC.





### HISTORIA

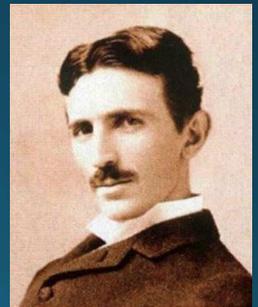
- En el otoño de 1882, en que se celebraba la Exposición Internacional de Electricidad de Munich, el ingeniero francés Marcel Deprez, construyó una línea de corriente continua entre Miesbach y Munich con una potencia de 400W y a una tensión de 1350 V y que tuvo un rendimiento del orden del 30%.
- Debido principalmente a la invención del transformador, prevalecieron los partidarios de la AC. Las estaciones generadoras de electricidad comenzaron con cada ciudad grande o centro de carga operando su propia estación.





### HISTORIA

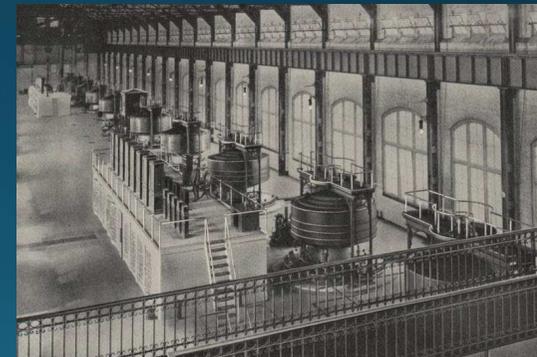
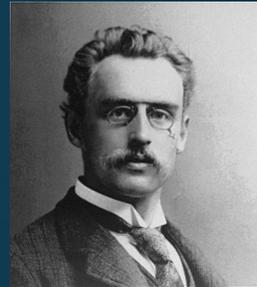
- En el año 1882, la sociedad de ingeniería formada por Gaulard y Gibbs (Húngaros), patentó en Londres un sistema para resolver los problemas de distribución por corrientes alternas.
- Al mismo tiempo, Westinghouse había comprado las patentes americanas que protegían el sistema de transporte AC (Stanley, EEUU, llega a las mismas conclusiones). En 1885-86, construyó la primera red experimental de distribución de corriente alterna de 1200 m de longitud, que alimentaba 150 lámparas incandescentes de la ciudad de Massachusetts.
- En 1890, Westinghouse compró todos los derechos de patentes del ingeniero americano de origen croata, Nikola Tesla, en especial la que se refería al motor asíncrono o de inducción.





#### HISTORIA

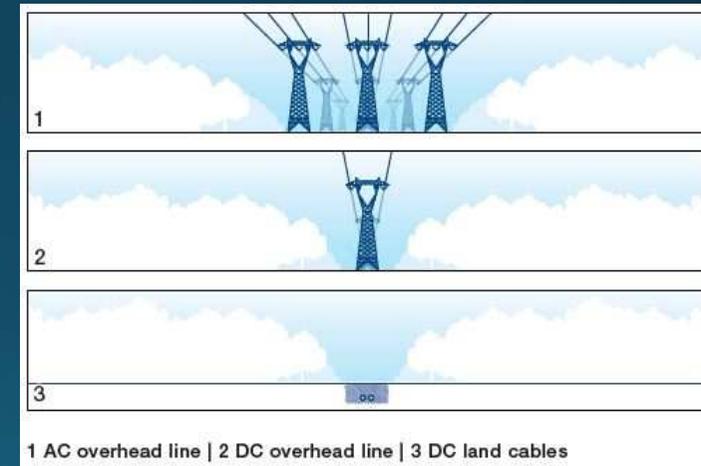
- Mientras tanto en Europa, la primera línea de transporte a gran distancia de CA trifásica la construyó la Compañía alemana AEG en 1891. Era una línea de 175 km de longitud a 15000 V, que unía Lauffen con Frankfort y presentó un rendimiento superior al 75%. La central era hidroeléctrica con un alternador trifásico de 210 kVA (diseñado por el ingeniero suizo Charles Brown)
- La Central hidroeléctrica en las cataratas del Niágara, que entró en servicio en 1896 tenía una potencia total de 50.000 CV (10 turbinas con alternadores bifásicos de 5000 CV). La tensión se elevaba y convertía en trifásica por medio de transformadores hasta un valor de 11 kV, realizándose una línea de transporte de 35 km para alimentar la ciudad de Buffalo cercana a las cataratas.





### HISTORIA

- Para 1898 se había construido en EEUU, una línea de transporte trifásica a 30 kV de la red de 120 km entre Santa Ana y los Angeles, en California.
- En Suecia, en 1954, se realizó una línea con nivel 380 kV- Tensión que se adoptó en Europa.
- En 1965 se alcanzó en Canadá la tensión de 765 kV y en 1990 se llegó a 1200 kV en la antigua Unión Soviética.
- En 1954 en Suecia, irrumpen los sistemas de HVDC, con tensión de 100kV y 20 MW.
- En 2014, entró en funcionamiento una línea HVDC, de 1680 km, a 800 kV y de 8000 MW. Hay instalaciones similares en la India y en Nueva Zelanda





## HISTORIA - ARGENTINA

- En 1883 La Plata es primera ciudad iluminada de América Latina y con la primera central eléctrica del país en 1886.
- En 1892 sumó otro estreno, el primer tranvía eléctrico, y la provisión eléctrica también fue realizada por la Compañía de Electricidad del Río de la Plata.
- En 1886 se da la Primera concesión del alumbrado eléctrico de la ciudad de Buenos Aires.
- En 1887, llevaron a cabo el primer sistema de electrificación rural en 2.000 [V] para las quintas de Olivos, Martínez, San Isidro y Tigre.



Plaza San Martín en la ciudad de La Plata.





### HISTORIA - ARGENTINA

- Luego de la inauguración del *dique San Roque*, en 1891, se construyó la usina Casa Bamba. La usina comenzó a funcionar en 1897. Operaba con las aguas del Río Primero, embalsadas por el dique; dicha planta se transformó en el *primer* aprovechamiento hidroeléctrico de Sudamérica. Utilizaba una turbina de 1.000 KW, 60 ciclos y 700 Volt que se elevaban a 10.800 para transmitir a todo Córdoba.
- En 1907 opera como monopolio la Compañía Alemana Transatlántica de Electricidad. Y Posteriormente a 1912 apareció la Compañía Ítalo-Argentina de Electricidad (CIAE) como competidora de la CATE, quienes construyeron las súper centrales de Puerto





### HISTORIA - ARGENTINA

- En 1927 se formó la primera Cooperativa de Electricidad en Punta Alta (Bahía Blanca) . En 1950 funcionaban 119 cooperativas eléctricas en todo el país.
- En 1947 se dio una nueva fusión por la cual se creó la Dirección General de Agua y Energía.
- Para 1950 se crea la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).
- En 1967 se crea Hidronor S.A. (Hidroeléctrica Norpatagónica Sociedad Anónima), para la utilización hidroeléctrica de los recursos localizados al norte de la Patagonia.
- En 1990 se dan las Privatizaciones por ley 24.065.





## CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA CONCEPTOS GENERALES – ESTADO DE SITUACIÓN

PARTICIPANTES DEL MEM  
ARGENTINA 2021



Actores vigentes en el MEM en Enero 2021

GENERACIÓN	Cantidad
Generadores	428
Autogeneradores	28
Cogeneradores	7
<b>Total</b>	<b>463</b>

GRANDES USUARIOS	Cantidad
Grandes Usuarios Mayores (GUMA)	375
Grandes Usuarios Menores (GUME)	2 180
Grandes Usuarios Particulares (GUPA)	21
Grandes Usuarios en Distribución Mayores a 300kW (GUDI)	6 128
<b>Total</b>	<b>8 704</b>

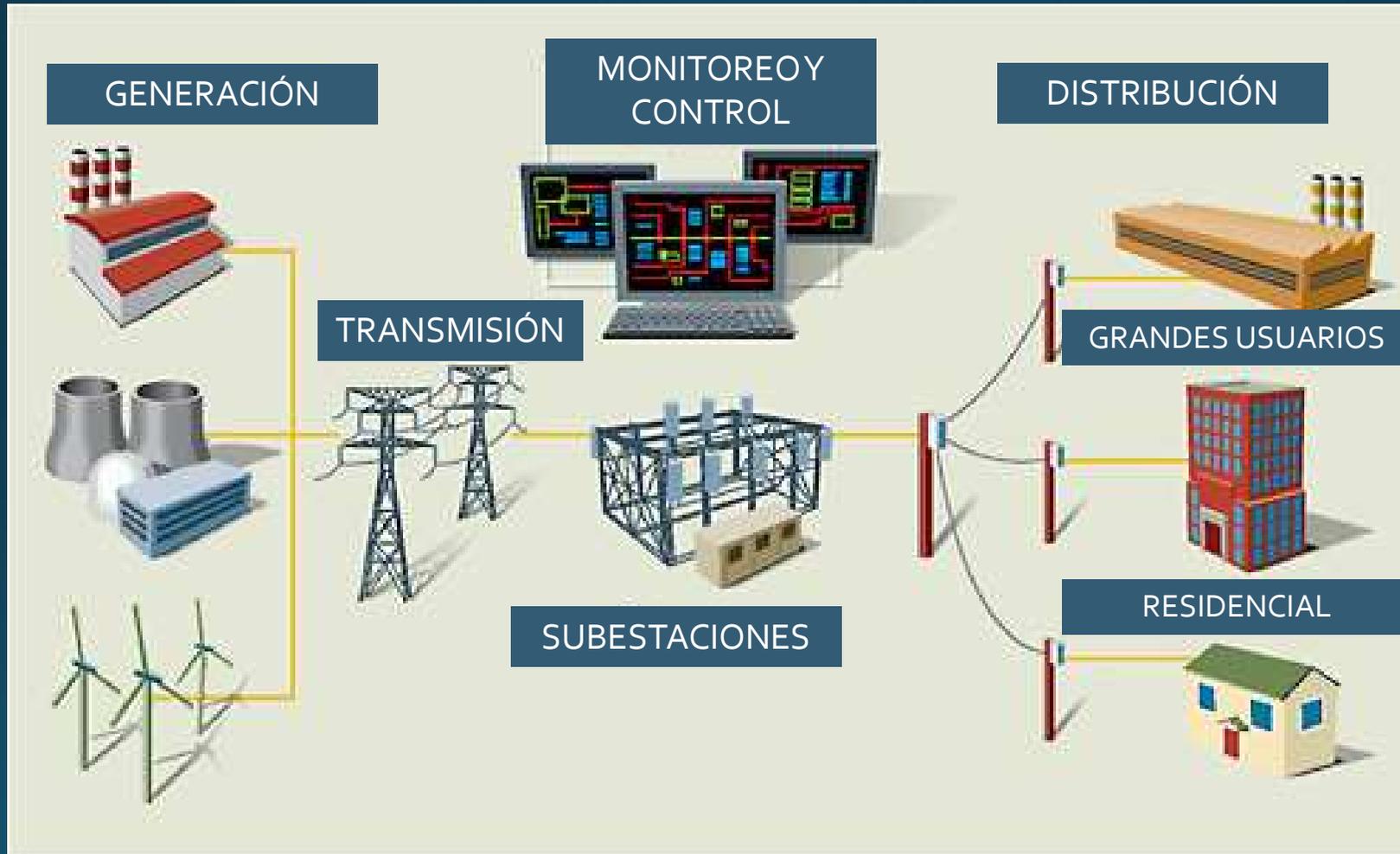
DISTRIBUCIÓN	Cantidad
Distribuidores de Energía	28
Cooperativas Eléctricas Agentes del MEM	47
Distribuidores Menor (DIME)	1
Cooperativas No Agentes del MEM	538
<b>Total</b>	<b>614</b>

TRANSPORTE	Cantidad
Transportista en Alta Tensión	1
Transportista en Distribución Troncal	7
Transportista PAFT	44
<b>Total</b>	<b>52</b>



## CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA CONCEPTOS GENERALES

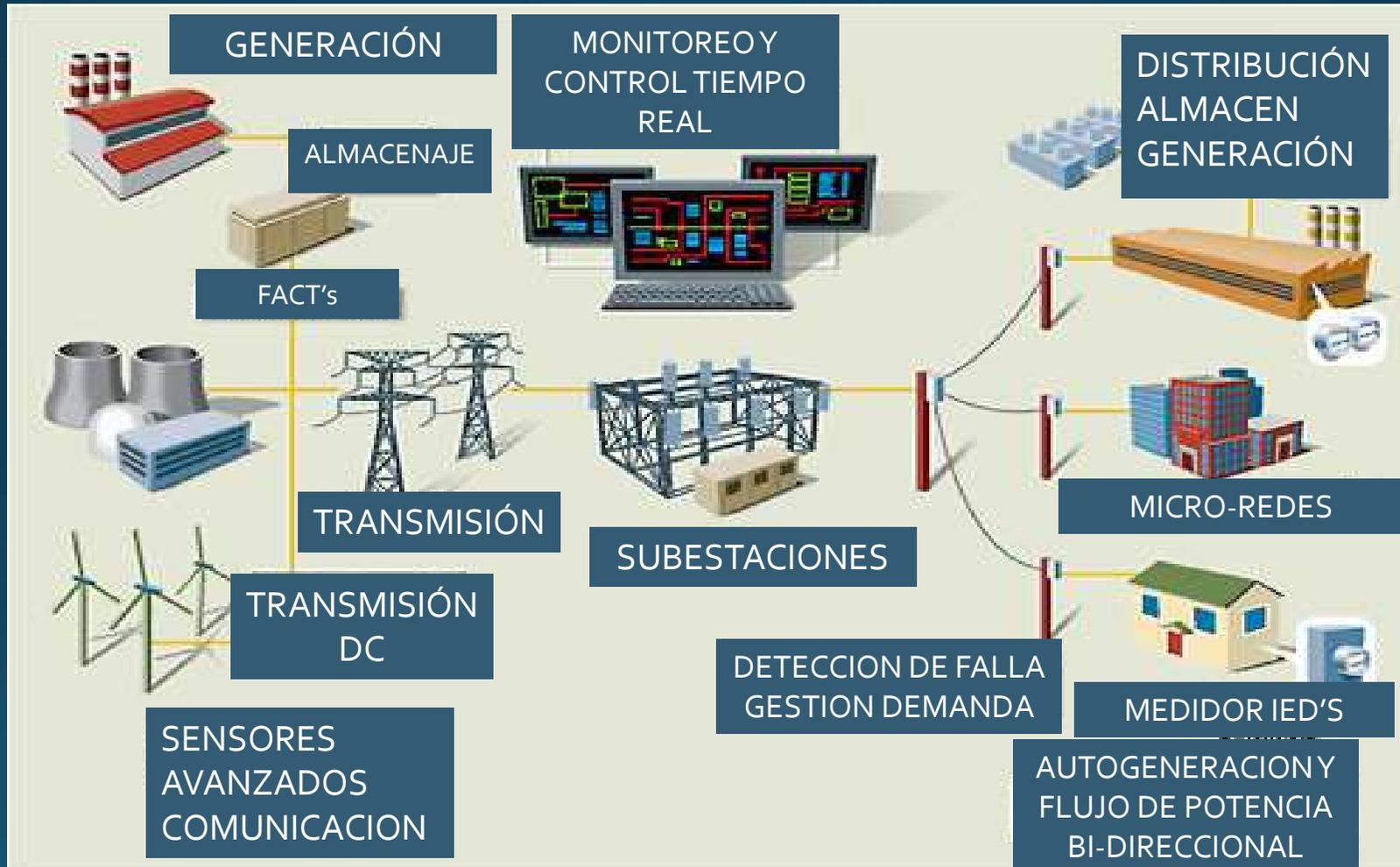
UN SISTEMA DE POTENCIA "CONVENCIONAL" ESTA FORMADO POR:





# CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA CONCEPTOS GENERALES

UN SISTEMA DE POTENCIA ESTA FORMADO POR:





### CARACTERISTICAS

- La electricidad, no puede almacenarse y el suministrador o fabricante tiene poco control sobre su consumo o carga en cualquier instante. La energía generada debe ser igual al consumo mas perdidas en todo instante.
- El sistema eléctrico de potencia debe operar de manera confiable.
- Existe un incremento continuo de la demanda, por lo tanto las redes deben desarrollarse a lo largo de los años y no deben planificarse de un modo definitivo para quedar invariables en el futuro.
- La distribución y naturaleza del combustible disponible plantea el problema de fijar dónde se sitúa la estación generadora y la distancia de transporte es un problema de economía.



# CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA COMPONENTES Y CARACTERISTICAS

COMPONENTES Y SUS CARACTERISTICAS PRINCIPALES

## GENERADORES



TECNOLOGIA - POTENCIA - REACTANCIA



POTENCIA CONSTANTE - Z CONSTANTE - CORRIENTE CONSTANTE

## CARGAS

## TRANSFORMADORES



MONOFÁSICOS - TRIFÁSICOS // DIFERENTES CONEXIONES



## LINEAS



CORTAS - MEDIANAS - LARGAS // AERIAS - SUBTERRÁNEAS





# GENERADORES

## Clasificación de acuerdo a Tecnología

Tecnología	Coste de inversión <sup>1</sup>	Coste fijo de explotación <sup>2</sup>	Coste variable de generación en el corto plazo <sup>3</sup>	Funcionamiento (horas a plena potencia/año)	Seguridad de suministro <sup>4</sup>	Emisiones
<b>Nuclear</b>	Muy alto	Alto	Muy bajo	8.000	a) Técnica: alta b) Abastecimiento: alta (pese a que reservas de uranio limitadas, desarrollos tecnológicos permitirán mayor aprovechamiento / reutilización combustible / combustibles alternativos) c) Flexibilidad: muy baja	No emiten (aunque genera residuos con larga vida)
<b>Hidráulica regulable</b>	Muy alto	Medio	Muy bajo	1.500-2.000	a) Técnica: alta b) Abastecimiento: media-alta (en función de capacidad del embalse) c) Flexibilidad: muy alta	No emiten



# GENERADORES

## Clasificación de acuerdo a Tecnología

Tecnología	Coste de inversión <sup>1</sup>	Coste fijo de explotación <sup>2</sup>	Coste variable de generación en el corto plazo <sup>3</sup>	Funcionamiento (horas a plena potencia/año)	Seguridad de suministro <sup>4</sup>	Emisiones
<b>Hidráulica regulable</b>	Muy alto	Medio	Muy bajo	1.500-2.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Técnica: alta</li> <li>b) Abastecimiento: media-alta (en función de capacidad del embalse)</li> <li>c) Flexibilidad: muy alta</li> </ul>	No emiten
<b>Hidráulica fluyente</b>	Alto	Medio	Muy bajo	1.500-2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Técnica: alta</li> <li>b) Abastecimiento: baja (en función de las aportaciones hidráulicas de corto plazo)</li> <li>c) Flexibilidad: baja</li> </ul>	No emiten
<b>Bombeo</b>	Muy alto	Medio	Medio	1.000-1.500	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Técnica: alta</li> <li>b) Abastecimiento: alta</li> <li>c) Flexibilidad: muy alta</li> </ul>	Sin emisiones directas (Indirectas al consumir para bombear)



# GENERADORES

## Clasificación de acuerdo a Tecnología

Tecnología	Coste de inversión <sup>1</sup>	Coste fijo de explotación <sup>2</sup>	Coste variable de generación en el corto plazo <sup>3</sup>	Funcionamiento (horas a plena potencia/año)	Seguridad de suministro <sup>4</sup>	Emisiones
<b>Carbón</b>	Alto	Medio	Medio (carbón importado) o alto (carbón autóctono)	3.000 (desplazadas por renovables; históricamente, 6.000-7.000)	a) Técnica: alta b) Abastecimiento: alta (abundancia de reservas; sin riesgo geopolítico) c) Flexibilidad: media	Niveles altos de CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>
<b>Ciclo combinado</b>	Moderado	Bajo	Medio	3.000 (desplazadas por renovables; históricamente, 5.000-6.000)	a) Técnica: alta b) Abastecimiento: alta (abundancia de reservas; riesgo geopolítico compensado con fuerte diversificación de orígenes) c) Flexibilidad: muy alta	Niveles moderados de CO <sub>2</sub> y reducidos de SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>
<b>Fuelóleo</b>	Moderado	Medio	Alto	500	a) Técnica: media b) Abastecimiento: alta c) Flexibilidad: media	Niveles altos de CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>



# GENERADORES

## Clasificación de acuerdo a Tecnología

Tecnología	Coste de inversión <sup>1</sup>	Coste fijo de explotación <sup>2</sup>	Coste variable de generación en el corto plazo <sup>3</sup>	Funcionamiento (horas a plena potencia/año)	Seguridad de suministro <sup>4</sup>	Emisiones
Eólica	Alto	Bajo	Casi nulo	2.100	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Técnica: media-alta (riesgo ante condiciones extremas)</li> <li>b) Abastecimiento: baja a corto plazo (viento intermitente) alta a largo plazo (evita importación combustibles / independencia)</li> <li>c) Flexibilidad: nula</li> </ul>	No emiten

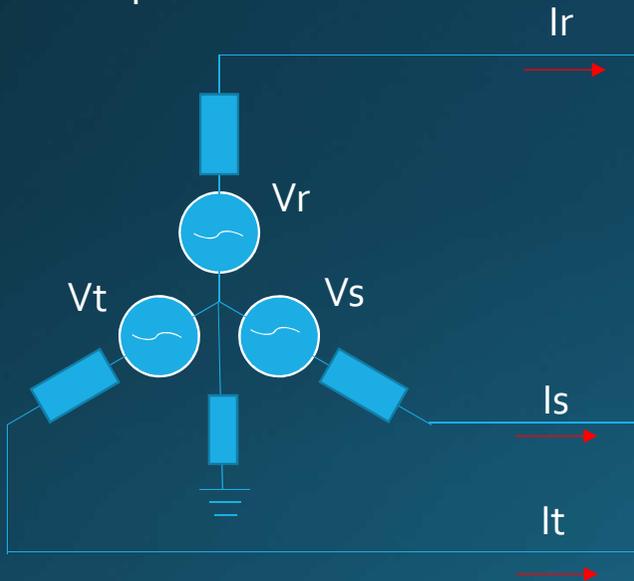


## GENERADORES

- Los generadores que alimentan los sistemas de potencia son máquinas sincrónicas, cuyo circuito equivalente se puede representar como una fuente de tensión real. Típicamente tendrán valores de impedancia distintos para secuencia directa e inversa y como se suponen equilibrados, la tensión solo se presenta en la secuencia correspondiente.



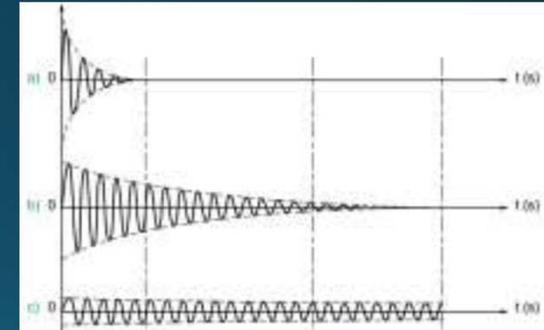
- Contribución a la corriente de falla de:



Reactancia Subtransitoria:

Reactancia Transitoria:

Reactancia Síncrona:





## LINEAS

Las líneas de transmisión se pueden representar con una red de dos puertos, donde:

$V_1$  e  $I_1$  son las magnitudes de la fuente

$V_2$  e  $I_2$  son las magnitudes del receptor.



*La red de dos puertos se denomina cuadripolo*

La relación entre las cantidades del extremo emisor y receptor se pueden escribir:

$$V_1 = A V_2 - B I_2$$

$$I_1 = C V_2 - D I_2$$

Donde A, B, C y D son parámetros que dependen de las constantes de la línea de transmisión.

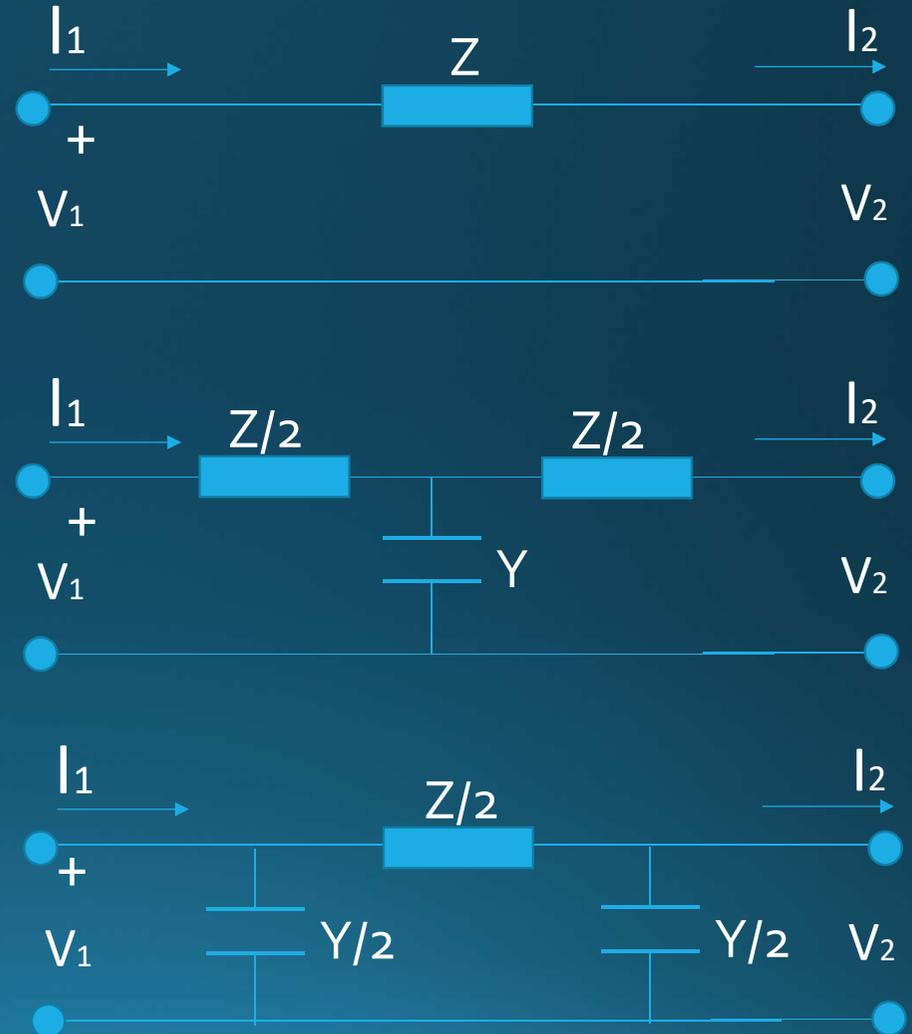


## LINEAS - CLASIFICACION

**CORTAS:** Menor a 80 km, solo se incluyen la resistencia y reactancia serie. Se desprecia la admitancia en derivación.

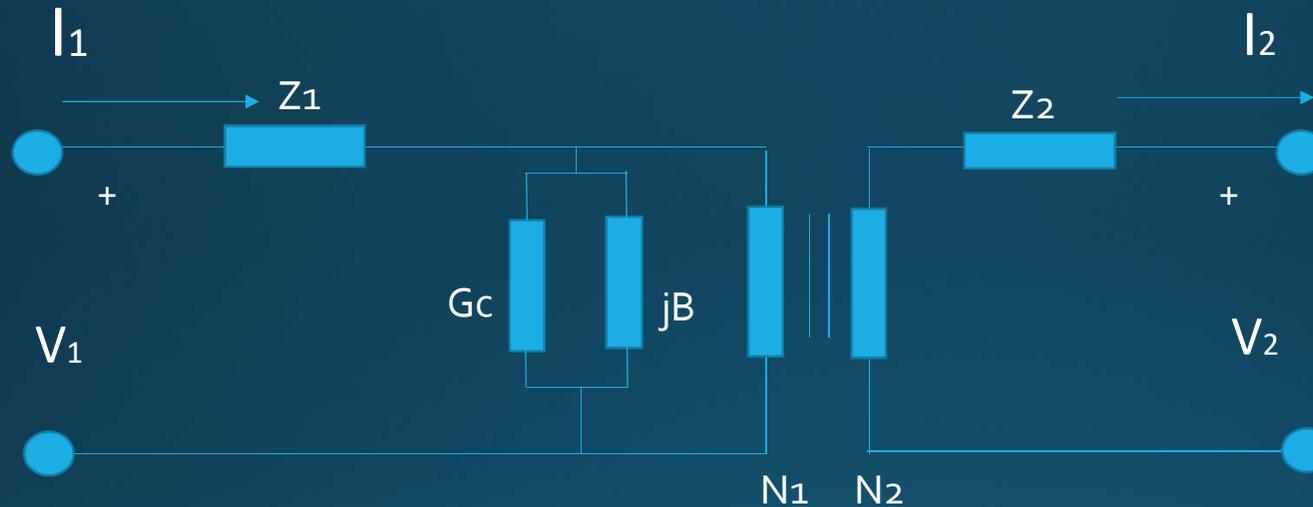
**MEDIAS:** Entre 80 km y 250 km, se incluyen la resistencia y reactancia serie y la admitancia en derivación concentrada en uno o dos puntos.

**LARGAS:** Mayores a 250 km, no se puede considerar los parámetros concentrados sino que se utilizan magnitudes por km y se utilizan ecuaciones diferenciales para su calculo, de nominado sistema de parámetros distribuidos o exacto.





## TRANSFORMADORES



$Z_1$  Resistencia y reactancia de dispersión del devanado 1.

$Z_2$  Resistencia y reactancia de dispersión del devanado 2.

$G_c$  Perdidas en el núcleo.

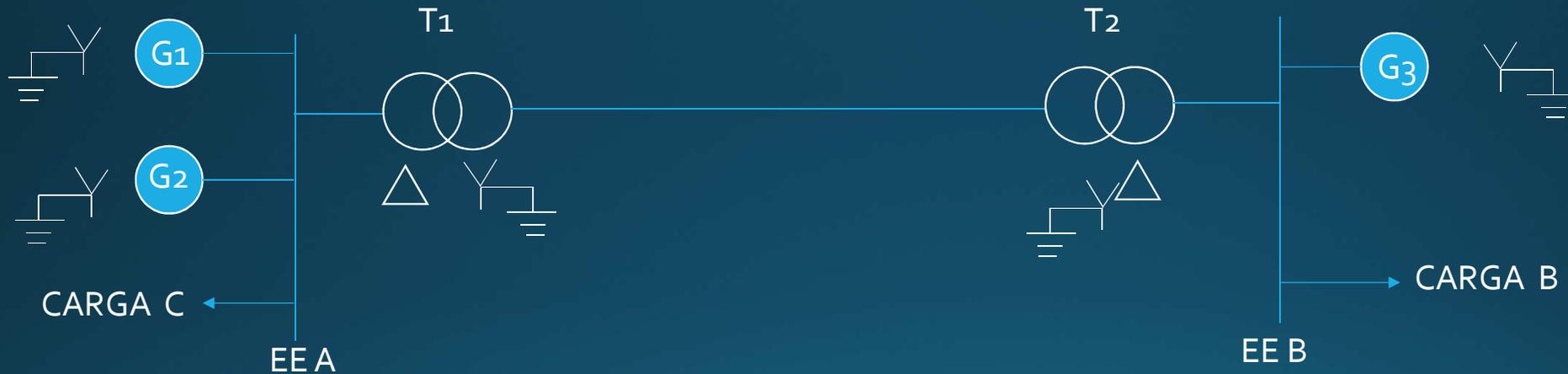
$B$  Magnetización del núcleo.

TRIFASICOS  
MONOFASICOS  
BIFASICOS  
AUTOTRANSFORMADORES



### REPRESENTACION DE UN SISTEMA DE POTENCIA

Un SEP estará formado por todos o algunos de los elementos analizados anteriormente interconectados formando un circuito. El mismo se puede representar por su Diagrama Unifilar.



La ventaja del Diagrama Unifilar es la simplicidad. Una fase representa las tres fases del sistema balanceado, los circuitos equivalentes de las componentes se reemplazan por sus símbolos y el resto del circuito se omite a través del neutro.



# CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA CONCEPTOS GENERALES

## ESQUEMA DE RED GEOGRÁFICO







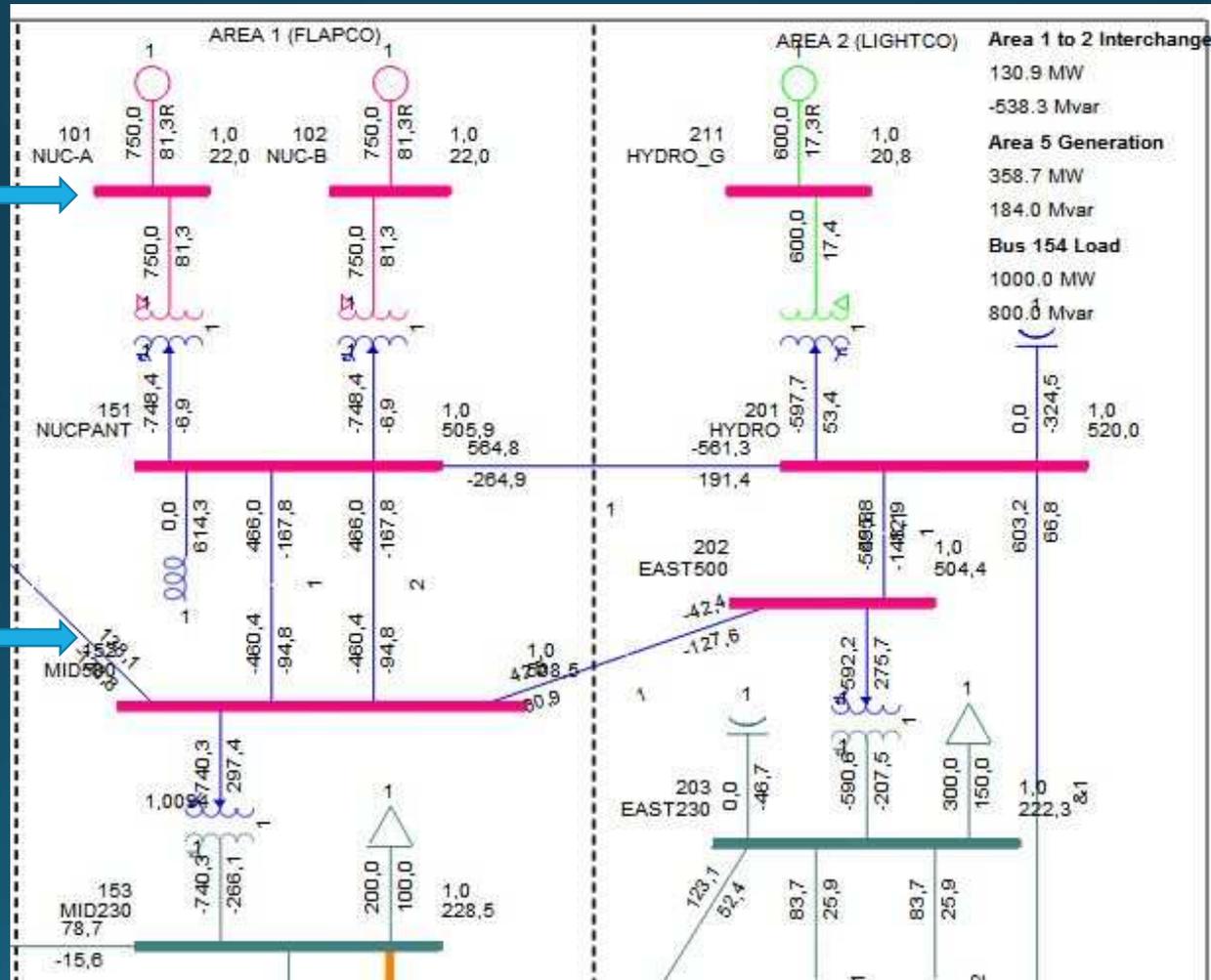
# CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA CONCEPTOS GENERALES

ESQUEMA DE RED  
UNIFILAR

NODO

RAMA

EJEMPLO PSS SIEMENS





### ESQUEMA DE RED UNIFILAR

Power Flow Short Circuit

Basic Data

From Bus Number: 151 From Bus Name: NUCPANT 500.00  In Service

To Bus Number: 201 To Bus Name: HYDRO 500.00  Metered on From end

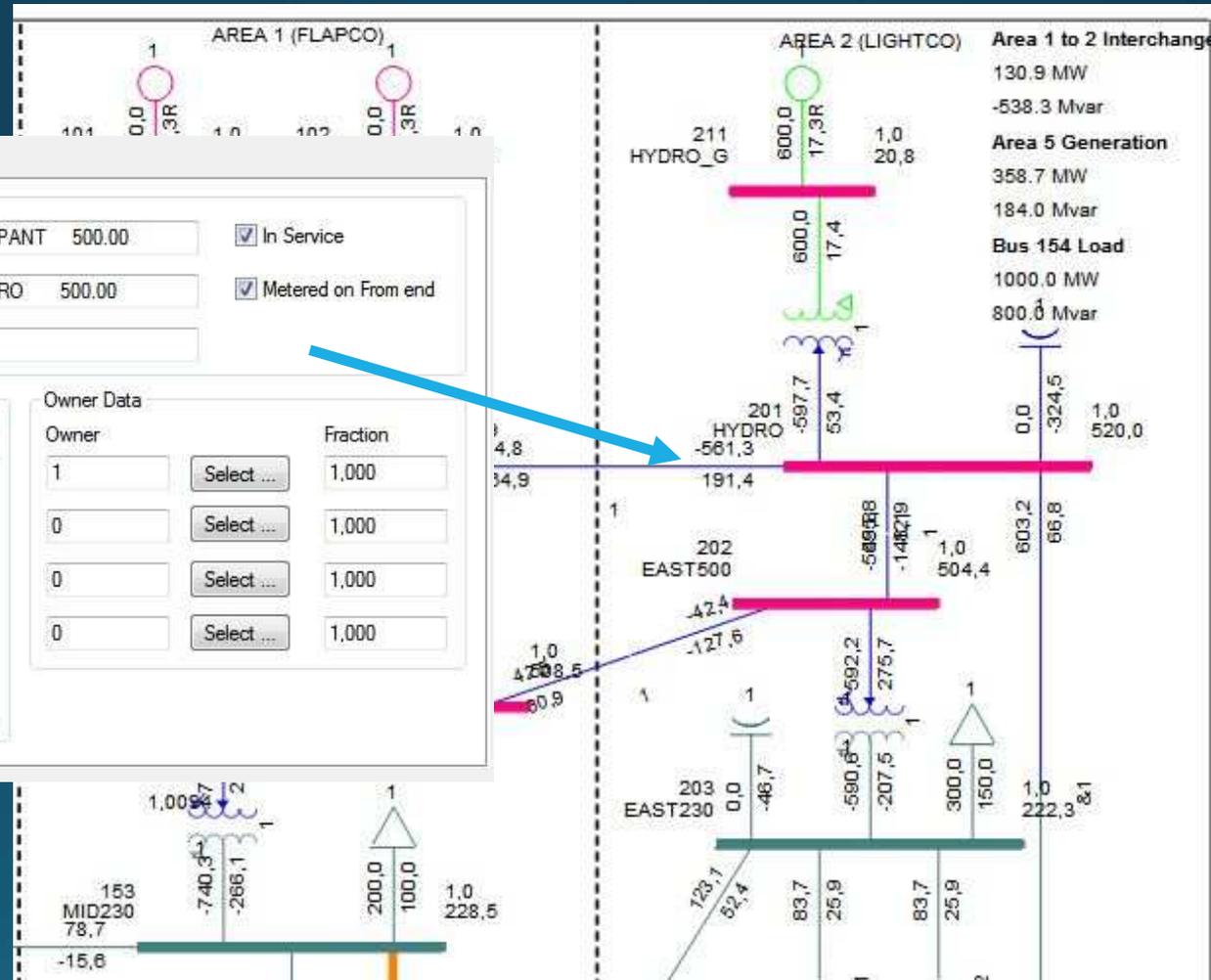
Branch ID: 1 Branch Name:

Branch Data

Line R (pu)	Line X (pu)	Ratings (I as MVA)
0,001000	0,015000	RATE1 1200,0
Charging B (pu)	Length	RATE2 1300,0
1,200000	0,000	RATE3 1,0
Line G From (pu)	Line B From (pu)	RATE4 0,0
0,000000	0,000000	RATE5 0,0
Line G To (pu)	Line B To (pu)	
0,000000	0,000000	

Owner Data

Owner	Fraction
1 Select ...	1,000
0 Select ...	1,000
0 Select ...	1,000
0 Select ...	1,000



### EJEMPLO PSS SIEMENS



### ESQUEMA DE RED UNIFILAR

**Power Flow** | Short Circuit

**Basic Data**

R-Zero (pu)

X-Zero (pu)

B-Zero (pu)

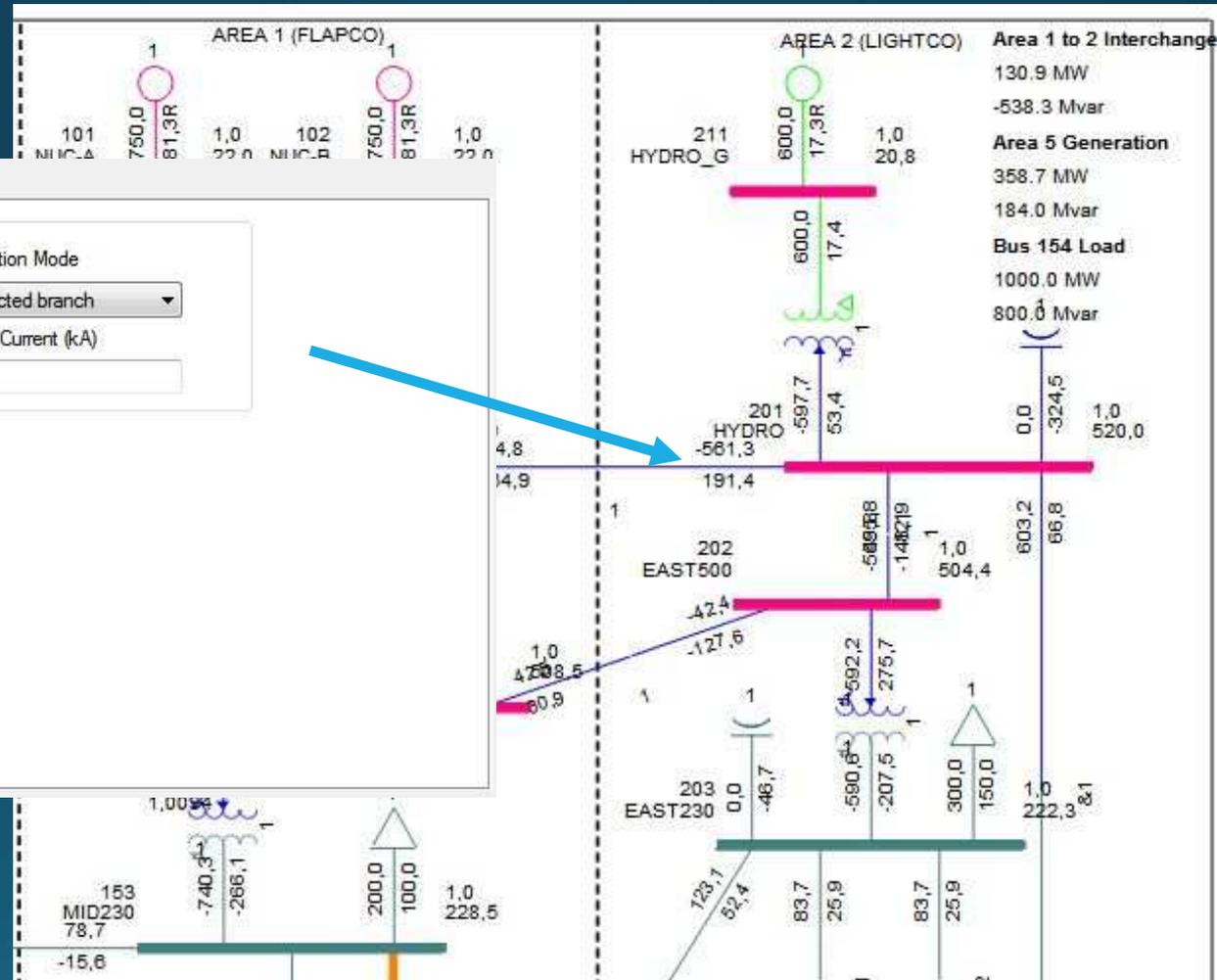
Zero Seq G From (pu)     Zero Seq B From (pu)

Zero Seq G To (pu)     Zero Seq B To (pu)

**MOV Data**

MOV Protection Mode:

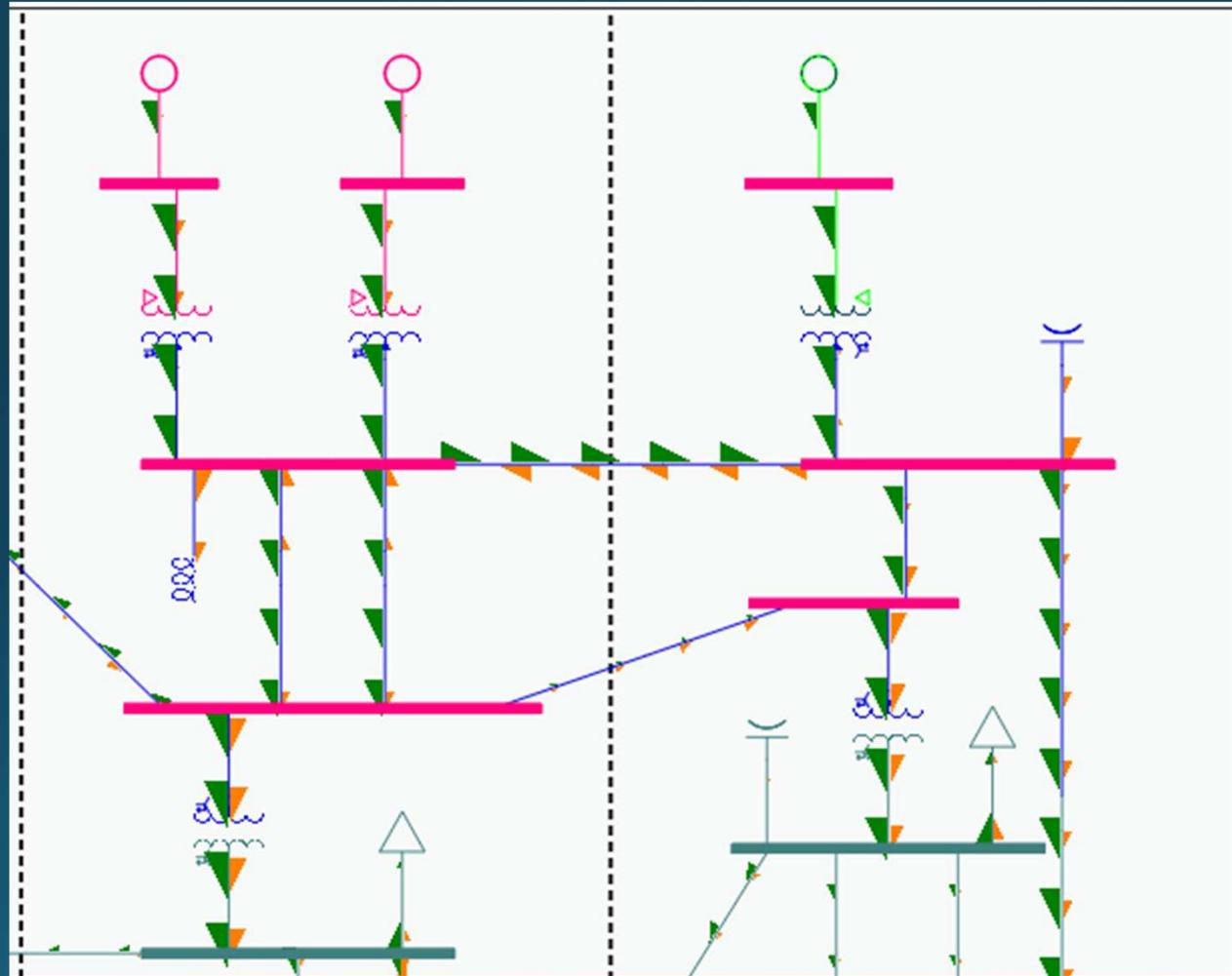
MOV Rated Current (kA)



### EJEMPLO PSS SIEMENS



### ESQUEMA DE RED UNIFILAR

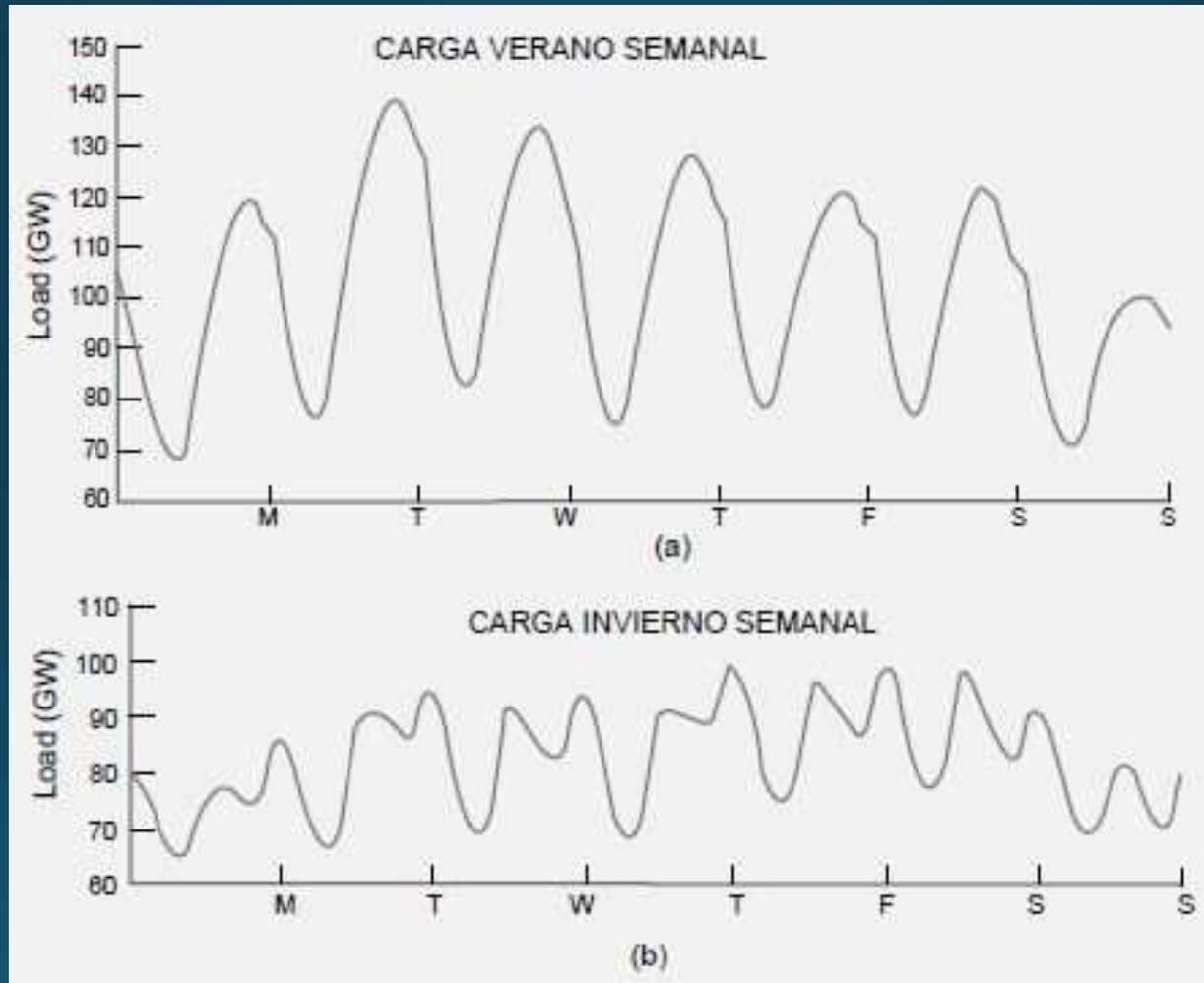


EJEMPLO PSS SIEMENS



## CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA

### DIAGRAMA DE CARGA



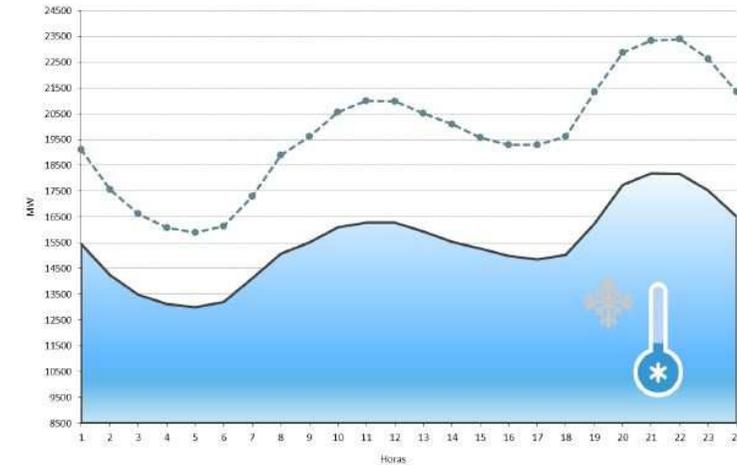


# CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA

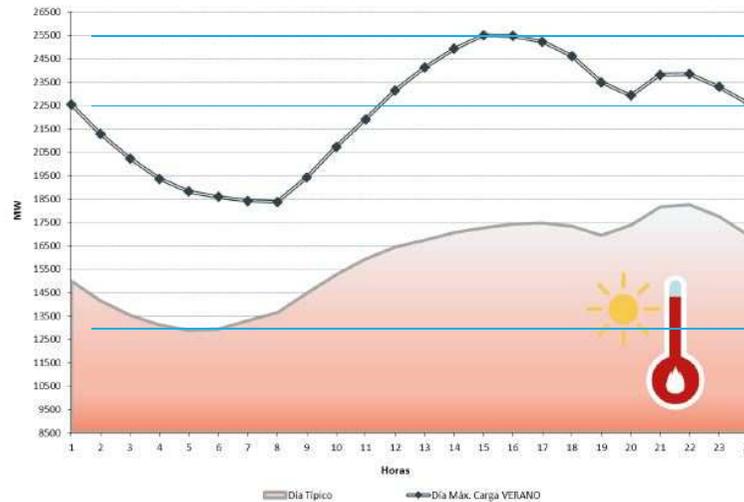
## DIAGRAMA DE CARGA

**CURVA DE CARGA O DEMANDA:**  
Es la representación gráfica de cómo varía la demanda o carga eléctrica en el transcurso del tiempo. El intervalo de tiempo elegido para realizar el análisis, puede ser diario- semanal-etc.

Curvas Días de Demanda



Curva Máx Verano



— Día Típico —●— Día Máx. Carga INVIERNO

DEMANDA MÁXIMA

DEMANDA MEDIA

DEMANDA MÍNIMA

Curva Máx Invierno

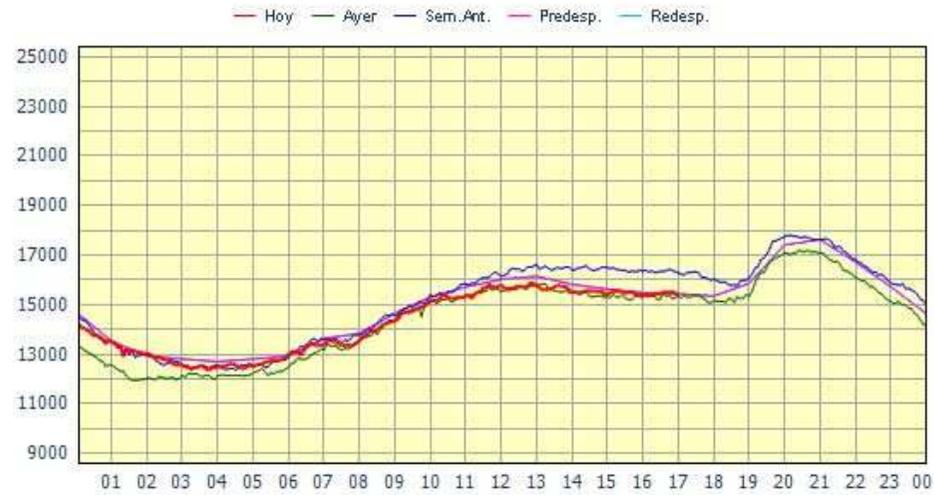


# CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA

## DIAGRAMA DE CARGA

VARIACION DE LA CARGA  
CON LA TEMPERATURA.

**Demanda del SADI incluyendo Patagonia (en MW)**



**Temperatura promedio en el AMBA (en °C)**



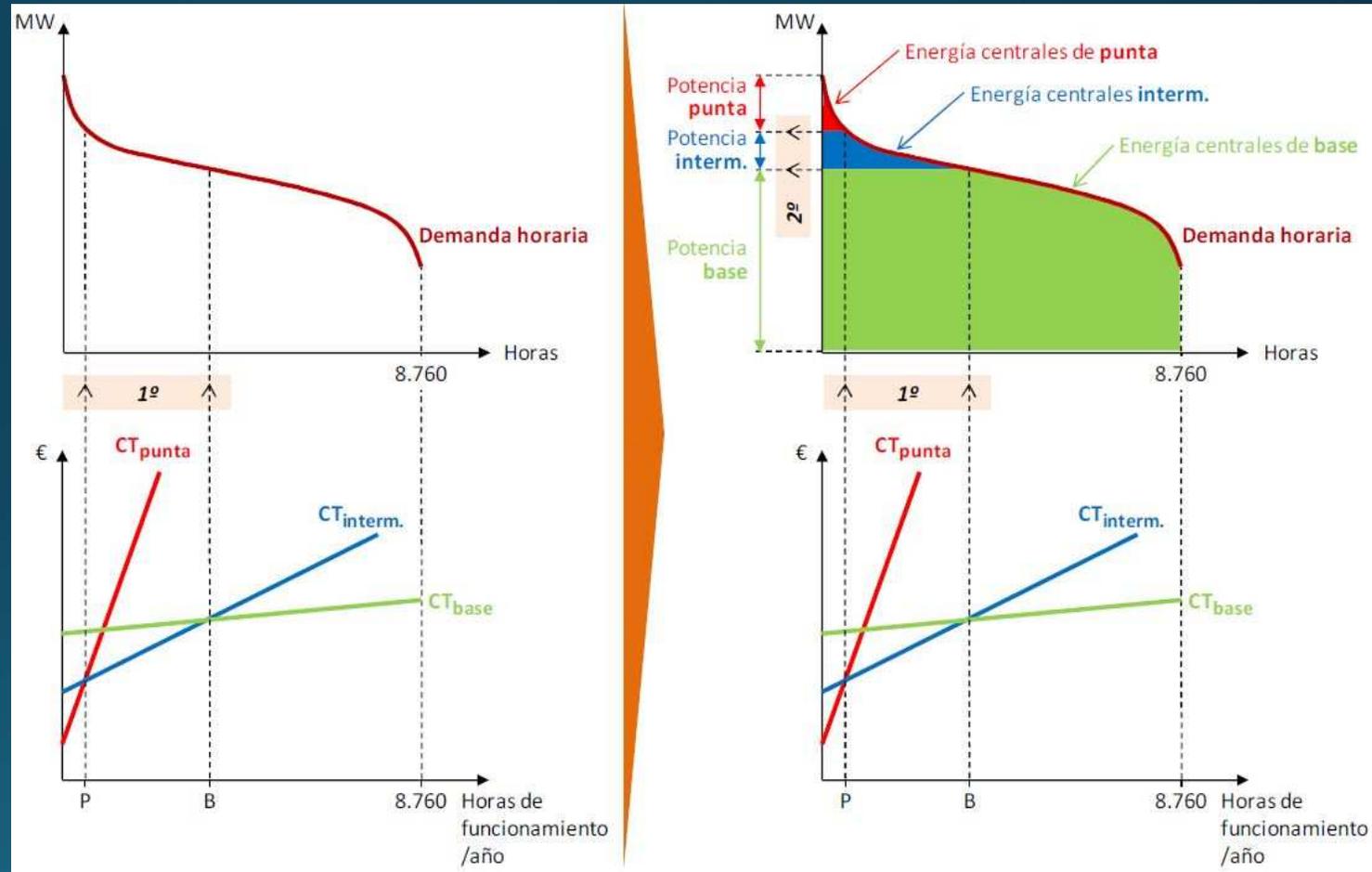


## CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA

### DIAGRAMA DE CARGA – CURVA MONOTONA DE DEMANDA

Atendiendo ahora a la demanda, ésta se muestra muy volátil a lo largo de cada una de las horas del año, mostrando una diferencia muy significativa entre la hora de mínima y máxima demanda anual. Ordenando la demanda en cada hora del año de mayor a menor, resulta una curva, generalmente conocida como “**curva monótona de demanda**”.

Para cubrir esta demanda de forma óptima (al mínimo costo total) habría que utilizar cada una de las tecnologías óptimas para cada uno de los rangos de horas de funcionamiento anteriormente descritos.





## CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA

### FACTORES CARACTERÍSTICOS DE CARGA

- **Potencia instalada:** Es la suma de potencias nominales de los grupos generadores que componen el parque de producción.
- **Potencia Disponible:** Es la suma de las potencias de los grupos generadores con que se puede contar en un momento determinado para cubrir el consumo. Se diferencia de la potencia instalada en la capacidad de los grupos que se encuentran fuera de servicio o en revisión o que por avería de un componente no pueden funcionar a potencia máxima.
- **Factor de reserva:** La potencia instalada debe ser en alguna medida mayor que la demanda máxima del sistema. Ya que la demanda máxima es un estimado y por la probabilidad de avería de los grupos generadores.

$$P_T = \sum_{i=1}^{1=n} P_i$$

$$P_{disp} = \sum_{i=1}^{1=n} P_{disp_i}$$

$$f_r = \frac{P_{disp}}{P_{max}}$$



## CENTRALES Y SISTEMAS DE POTENCIA

### FACTORES CARACTERÍSTICOS DE CARGA

- Factor de Instalación: es la relación entre potencia instalada y la potencia conectada.
- Factor de utilización: Es el cociente entre la energía que ha producido realmente una instalación a lo largo de un determinado periodo de tiempo (generalmente un año) y la que podría haber producido de haber funcionado todo el tiempo a su potencia máxima.

$$f_i = \frac{P_t}{P_c}$$

$$f_u = \frac{E_a}{P \cdot T_o}$$

P = Potencia nominal del grupo o potencia instalada, en el caso de u central con varios grupos, de una red general.

To = Tiempo de operación.