



Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile



EL 57A SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

Clase 3: Introducción a Sistemas de Potencia

**Luis Vargas
AREA DE ENERGIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA**



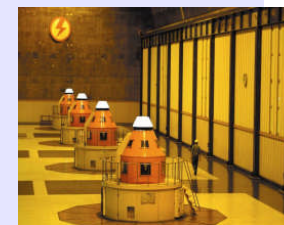
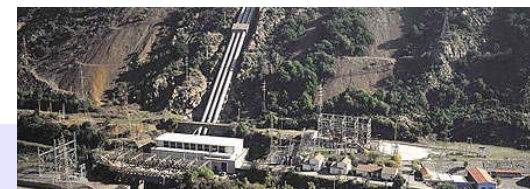
1.2 Tipos de centrales generadoras de energía eléctrica (XXI)

Generación Hidráulica:
(700000 MW, 21 % capacidad mundial de generación)

- **Tipos de Centrales:**

- aprovechan caudal del río (pasada, mixtas)
- represa/embalse natural desde una cierta altura
- de bombeo
- mareomotriz
- marinas

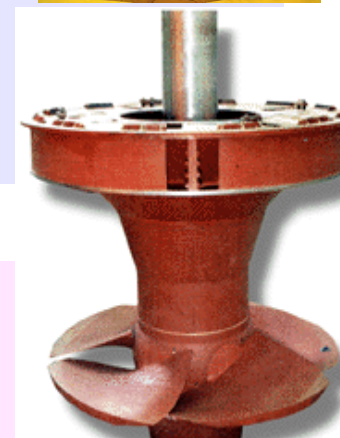
- **Tipos de Turbinas:**



Pelton



Francis

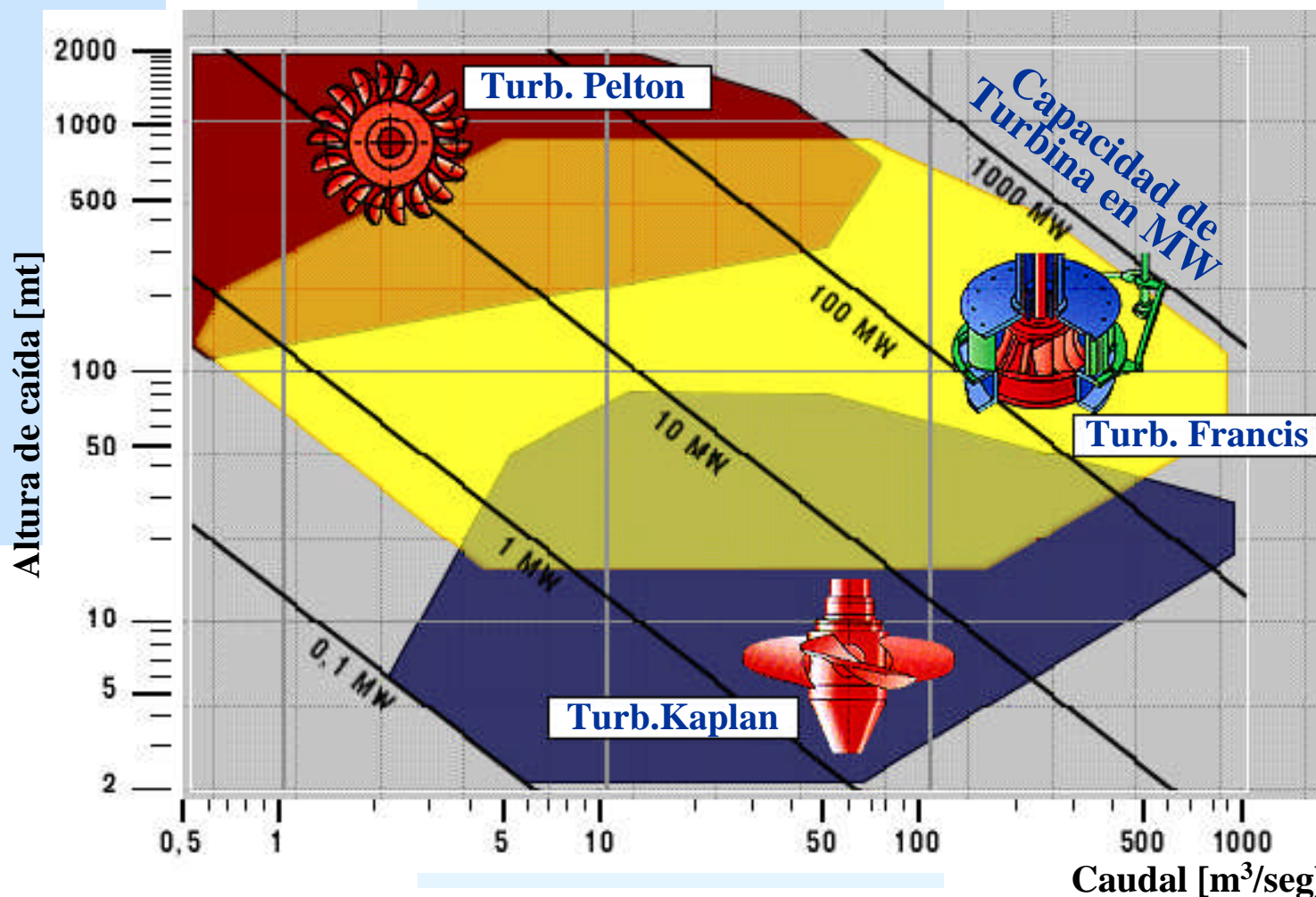


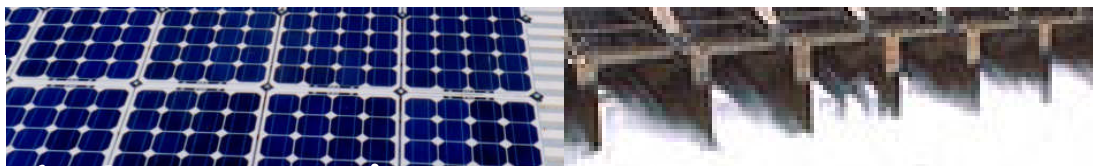
Kaplan



1.2 Tipos de centrales generadoras de energía eléctrica (XXII)

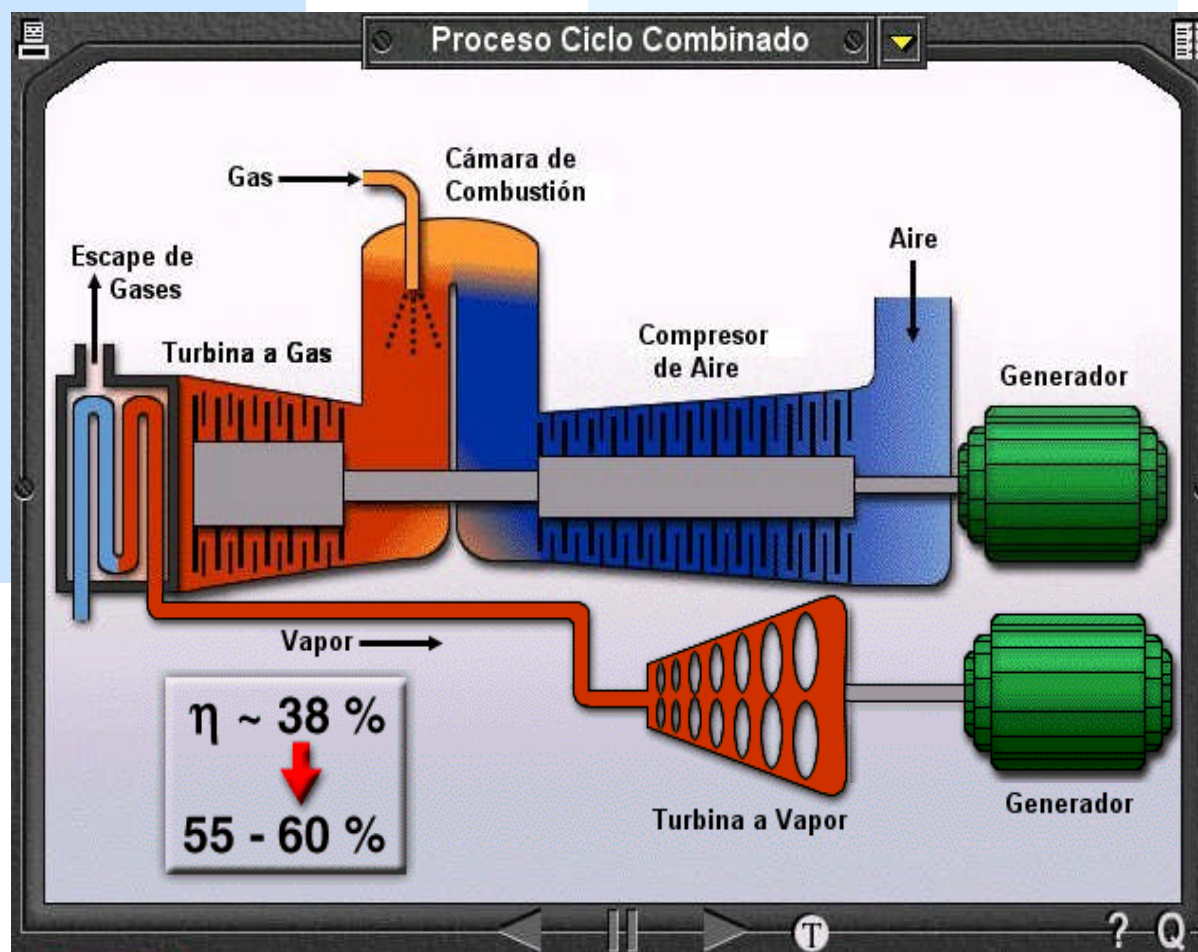
Turbinas Hidráulicas: Ambitos de Aplicación





1.2 Tipos de centrales generadoras de energía eléctrica (XXIII)

Ciclo Combinado: Principio de funcionamiento



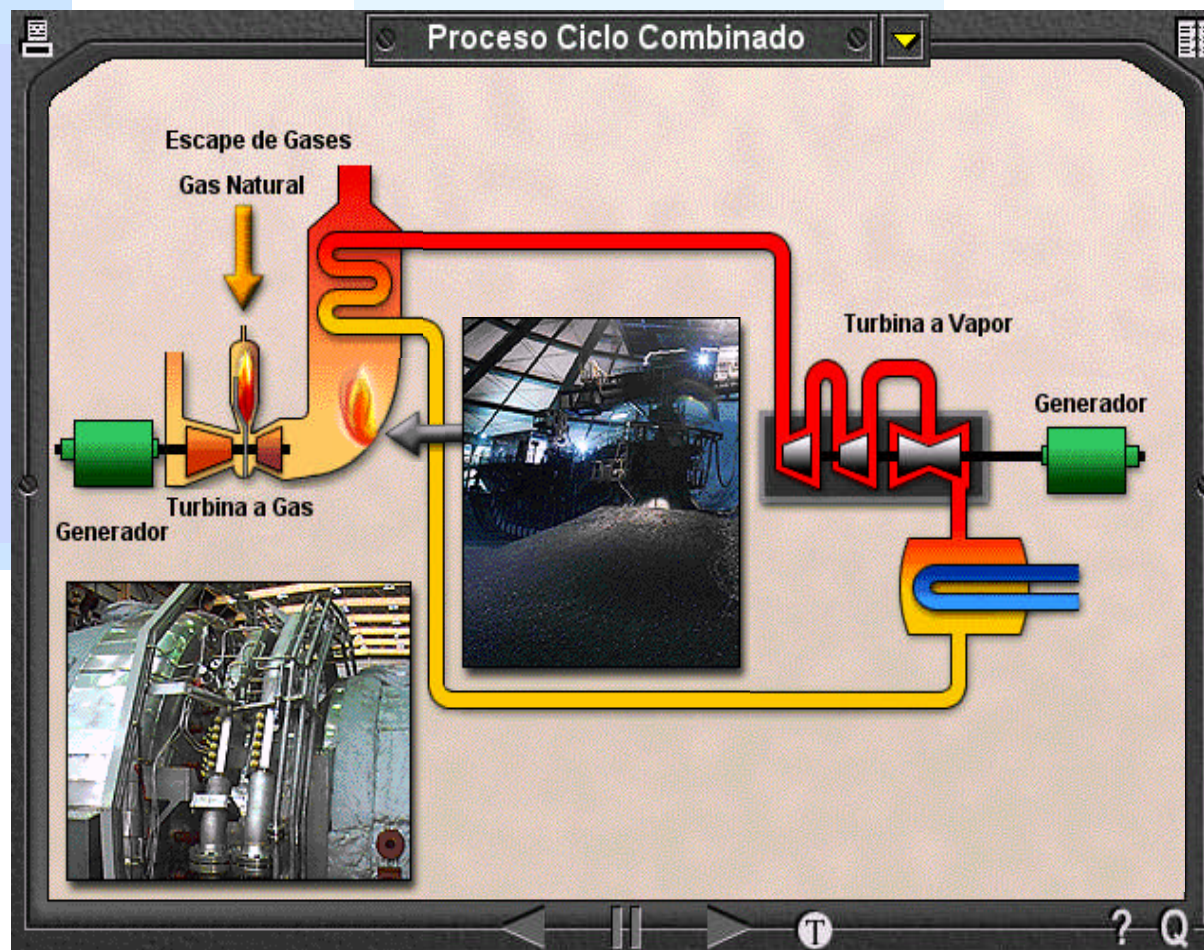


Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile



1.2 Tipos de centrales generadoras de energía eléctrica (XXIV)

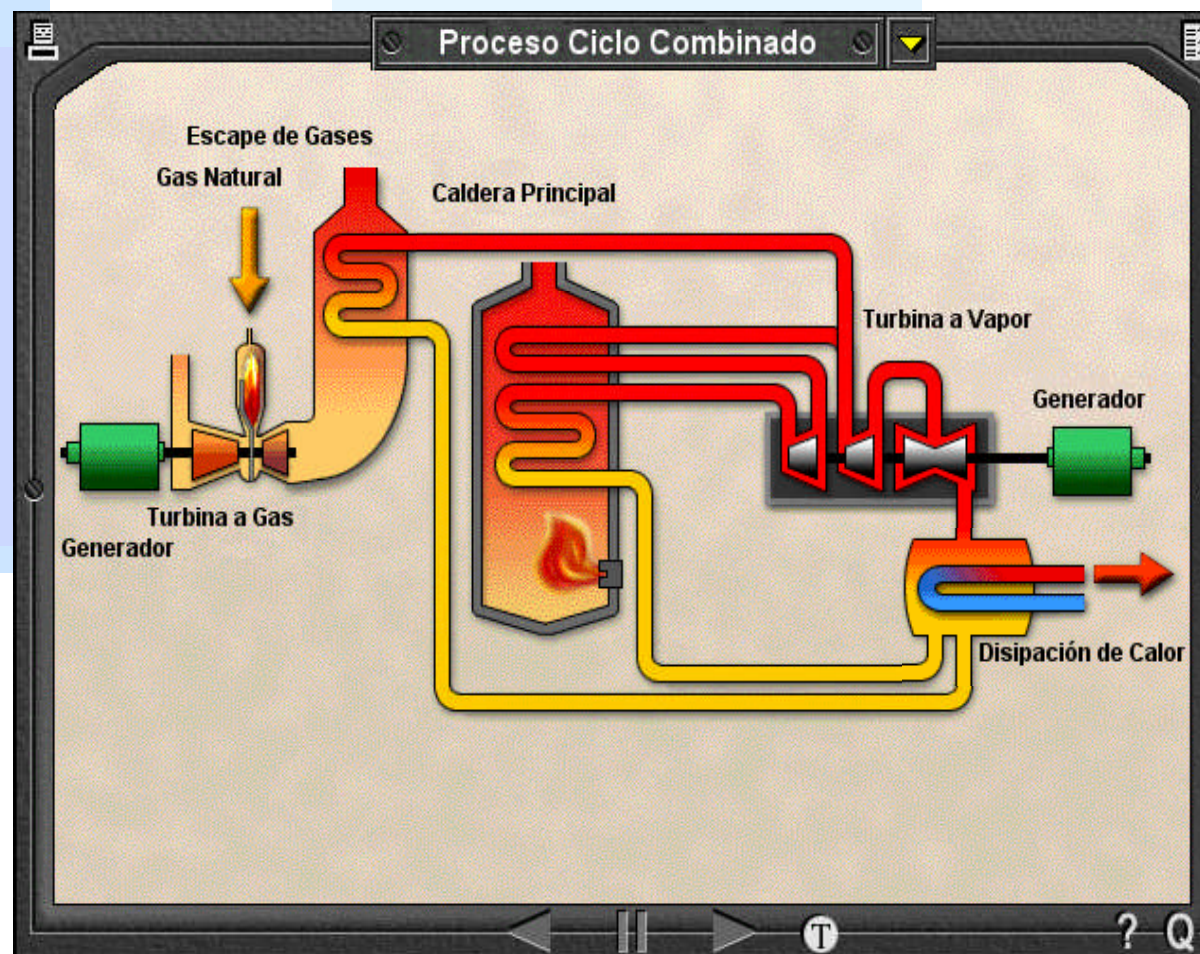
Ciclo Combinado: Modos de Operación I





1.2 Tipos de centrales generadoras de energía eléctrica (XXV)

Ciclo Combinado: Modos de Operación II





Escuela de
Ingeniería
Universidad
de Chile



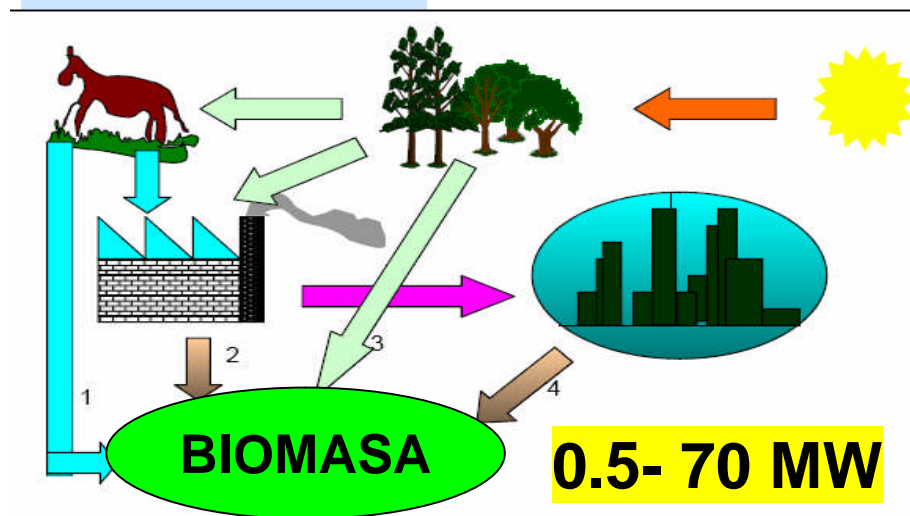
CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Energía Solar

- En el desierto Mojave de California.
- En operación por dos décadas
- 9 plantas con un total de 350 MWe





CARACTERIZACION TECNOLOGIAS: Biomasa



Desechos agrícolas y forestales

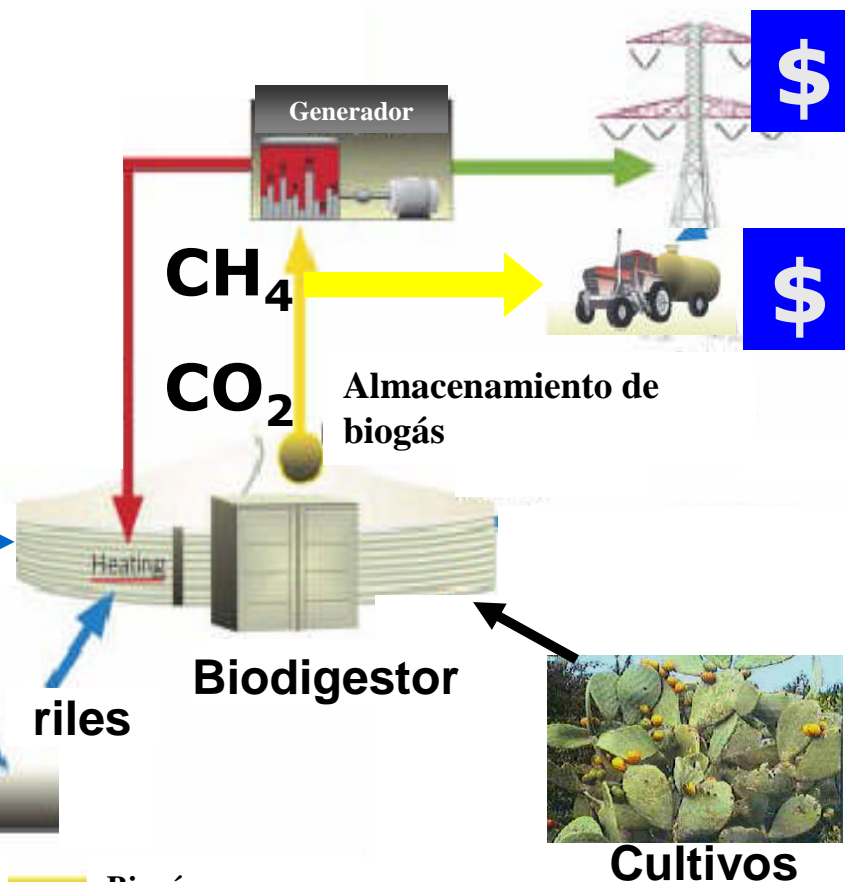
Industria de alimentos



riles

Electricidad
Calor

Biogás
Biomasa, Excretas
animales, Riles, etc.





1.2 Tipos de centrales generadoras de energía eléctrica (XXVI)

Celda de Combustible: Principio de Funcionamiento





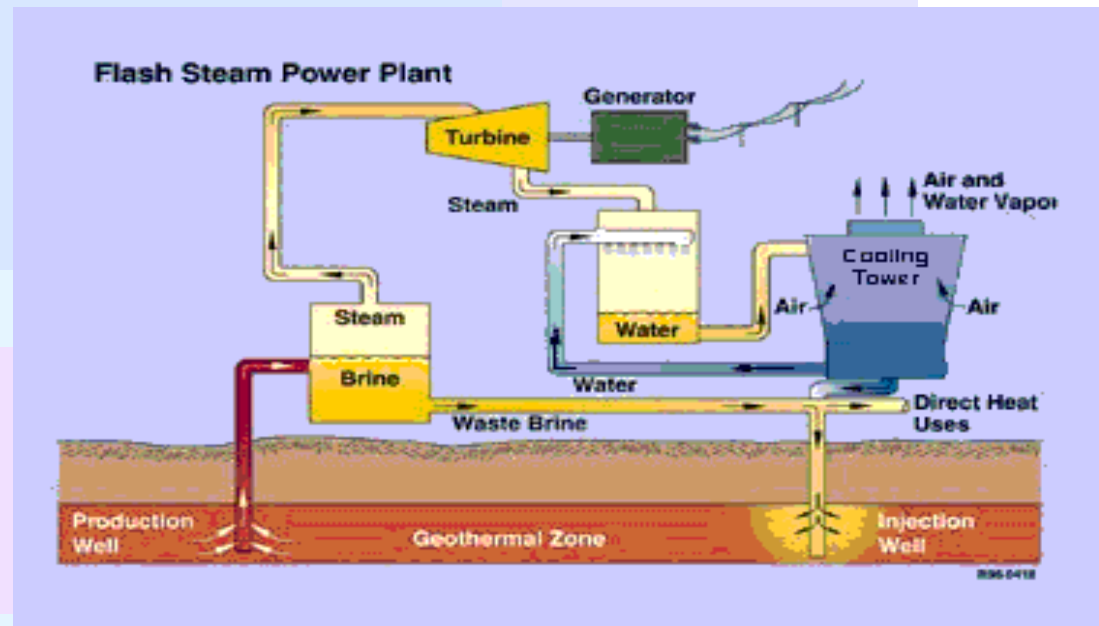
1.2 Tipos de centrales generadoras de energía eléctrica (XXVII)

Geotermia:

Tipos de tecnologías: "Flash", "Vapor seco", "Binaria" y de "Roca Seca". La elección de una de estas tecnologías depende de la conjunción de distintas características del yacimiento geotérmico, entre las que cabe mencionar:

- Existencia o no de agua en forma natural en la fuente de calor geotérmico,
- Características químicas del agua existente en el yacimiento,
- Temperatura de la fuente de calor geotérmico,
- Profundidad de la fuente de calor.

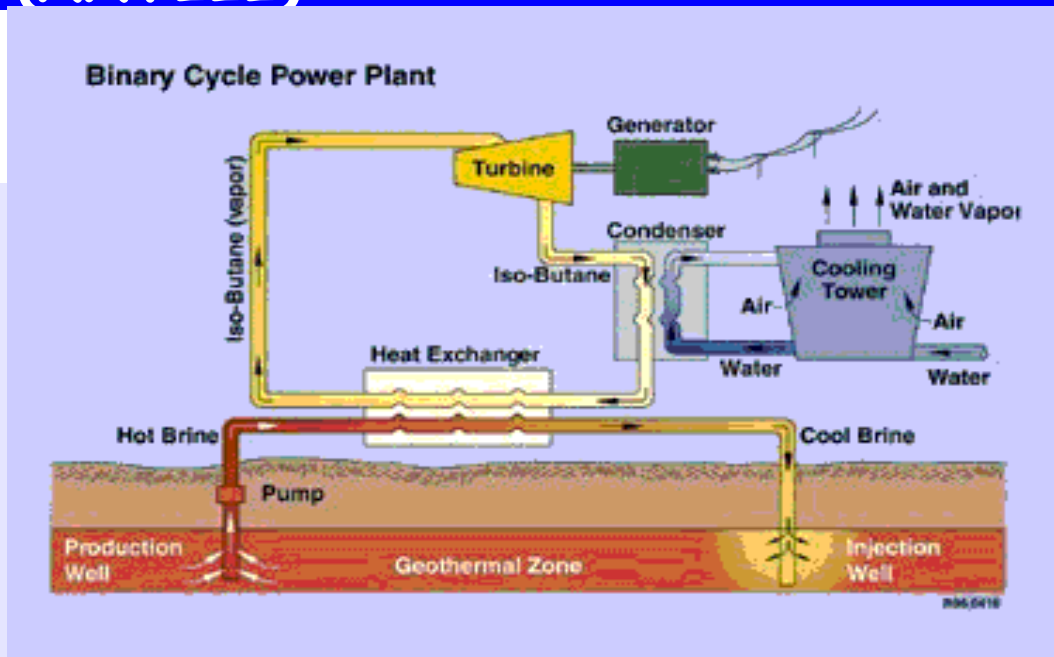
• Flash





1.2 Tipos de centrales generadoras de energía eléctrica (XXVIII)

• Ciclo Binario



• Características

- Modularidad
- Altos Costos de Inversión
- En general bajo impacto en el medioambiente
- Costos variables de operación cercanos a cero
- Analogía con central de pasada



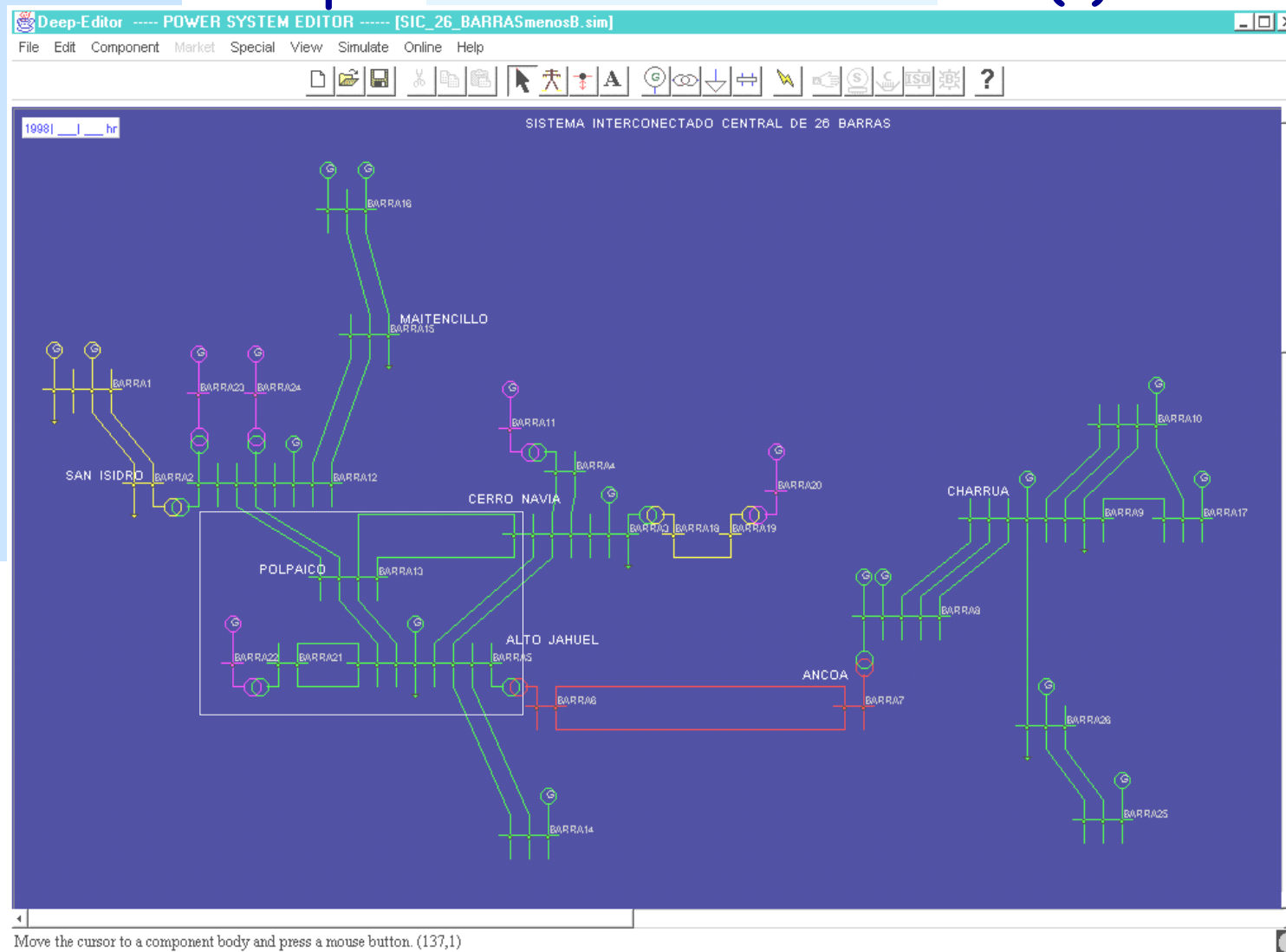
Diferenciaciones usadas para centrales (XXIX)

- Potencia o capacidad nominal (P_{nom})
- Potencia o capacidad máxima (P_{max})
- Potencia mínima (P_{min})
- Potencia instalada (en central) (P_{inst})
- Potencia media (P_{med})
- Potencia garantizada,
- Factor de planta (F_{pl})
- Factor de utilización (F_{utl})



1.3 Equipos de transmisión (I)

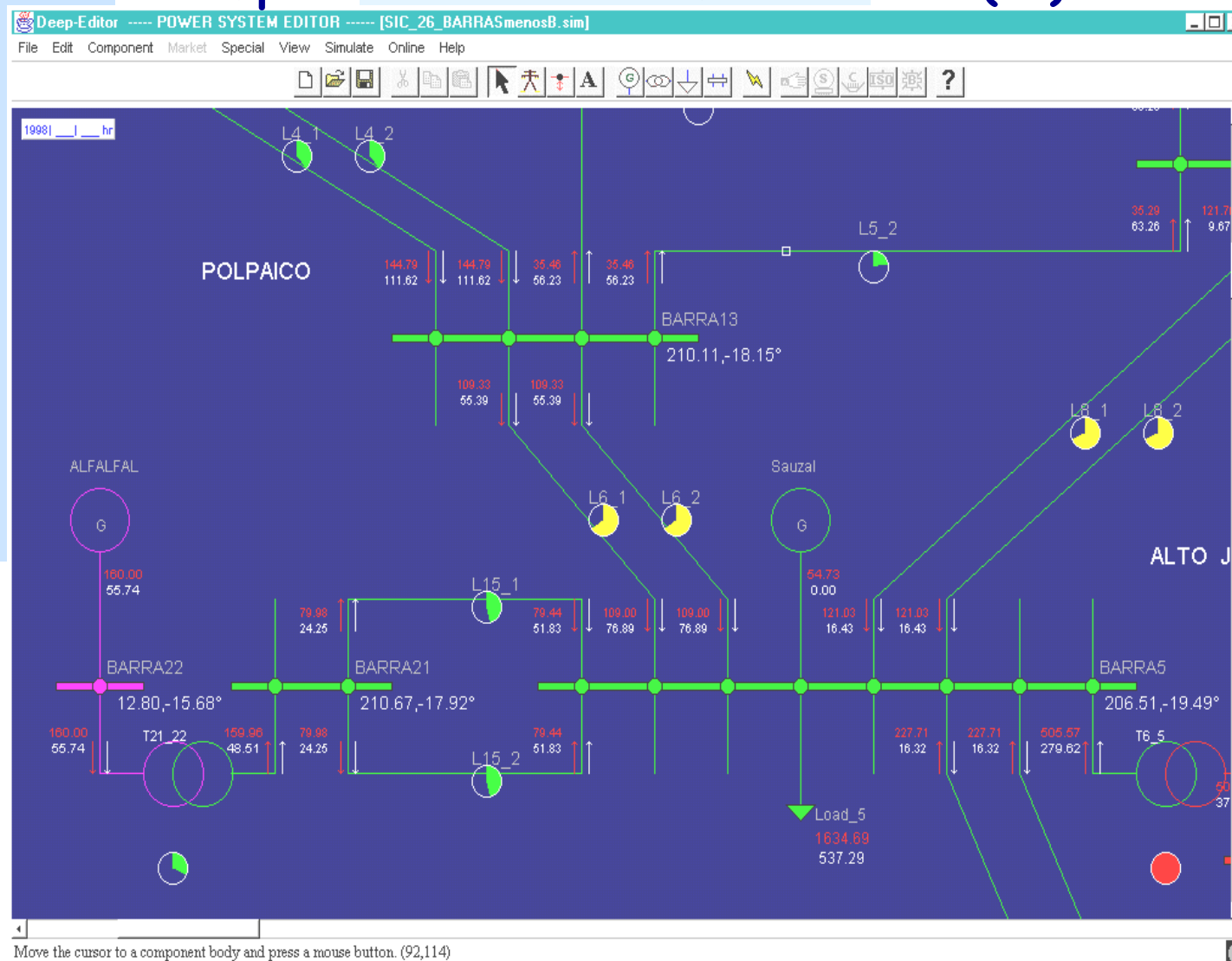
Representación Computacional de Sistema Eléctrico (I):





1.3 Equipos de transmisión (II)

Representación Computacional de Sistema Eléctrico (II):





1.3 Equipos de transmisión (III)

Redes de Transmisión:

- **Redes de interconexión**

unión entre sistemas transmisión de gran dimensión, apoyo mutuo.

- **Redes de transporte**

unión de centros de generación con grandes centros de consumo.
154 kV, 220 kV, 400 kV, 500 kV, 750 kV, 1000 kV

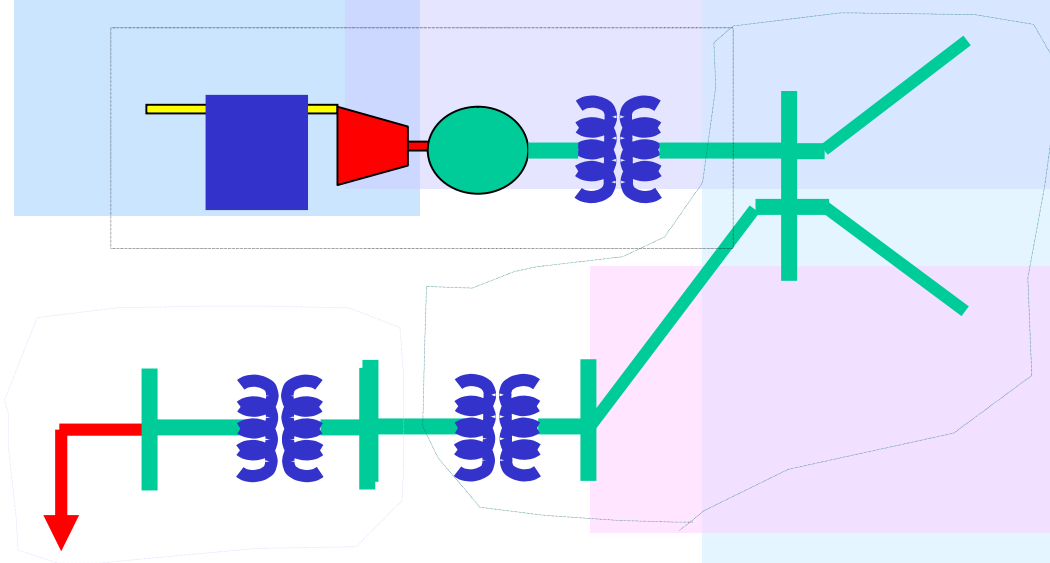
- **Redes de repartición o subtransmisión**

suministro directo a distribución
44 kV, 66kV, 110kV

- **Subestaciones**

nudos de una red eléctrica, conexiones/desconexiones, control, protección y medidas, compensación.

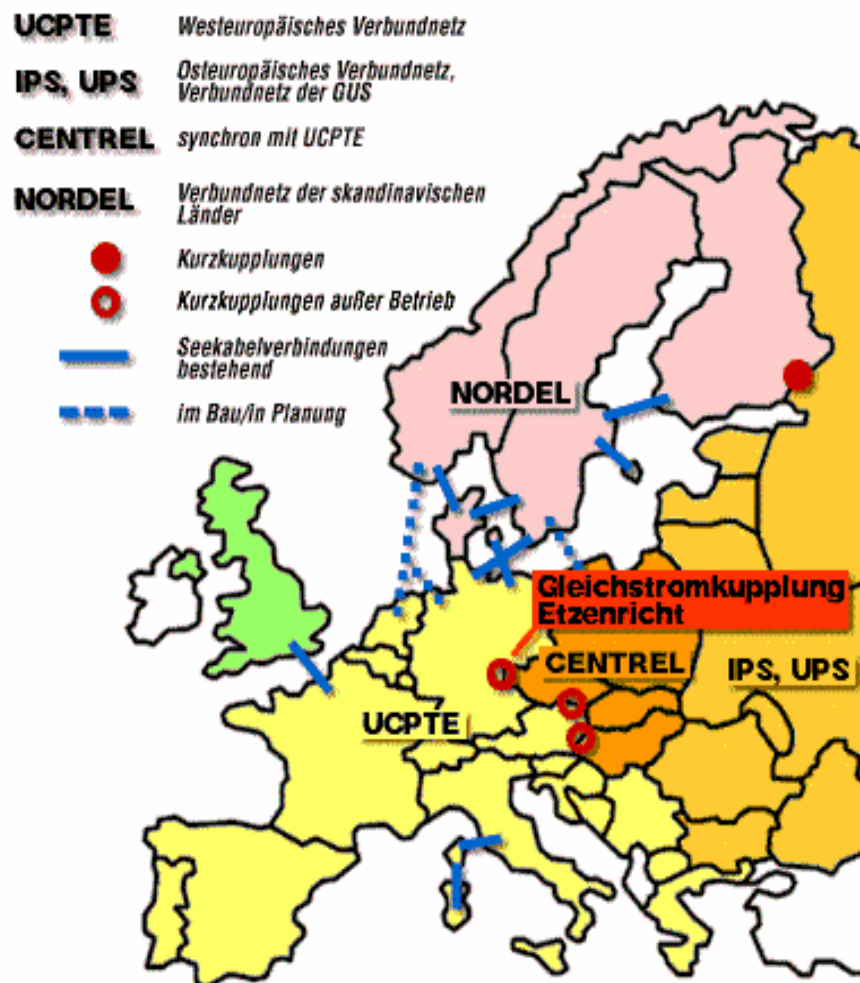
- **Redes de Distribución, usuarios, industriales**





1.3 Equipos de transmisión (IV)

Sistemas Interconectados Europeos (Areas de Control):

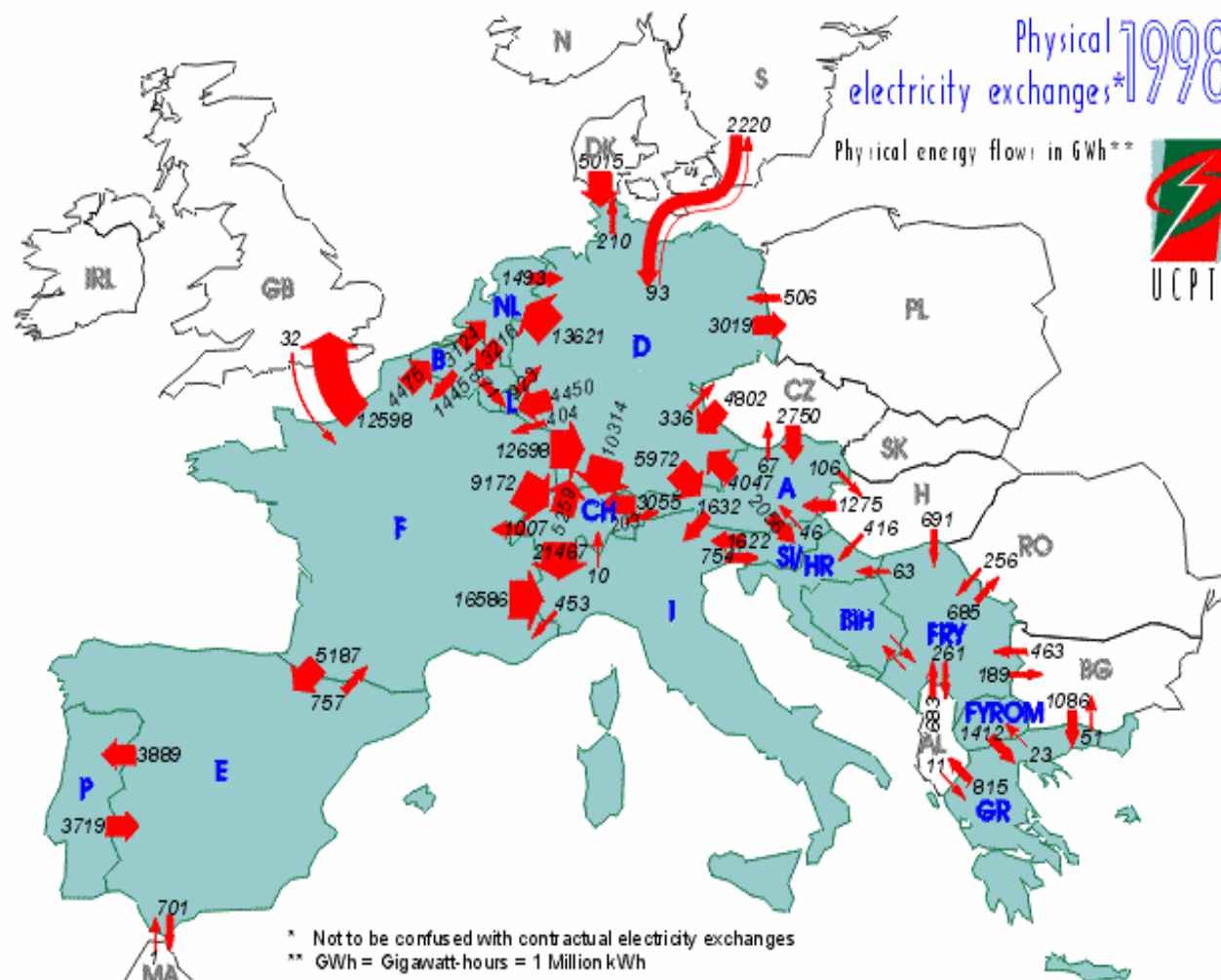


Fuente UCPTE



1.3 Equipos de transmisión (V)

Sistemas Interconectados Europeos (Transferencias):



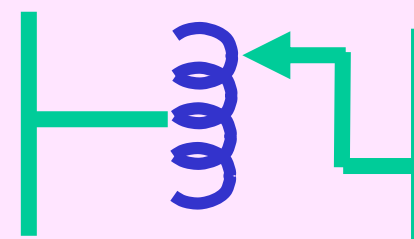
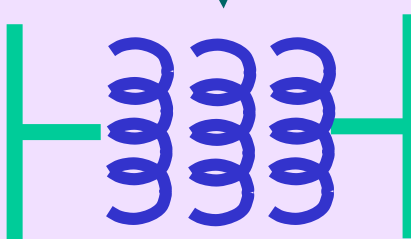
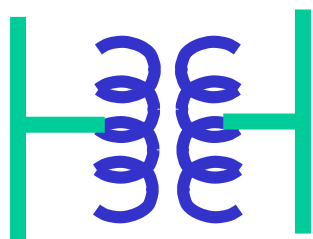
Fuente UCPTE



1.3 Equipos de transmisión (VI)

Transformadores de Potencia:

- Necesidad de transformadores
- Tipos: 2 enrollados, 3 enrollados, autotransformadores

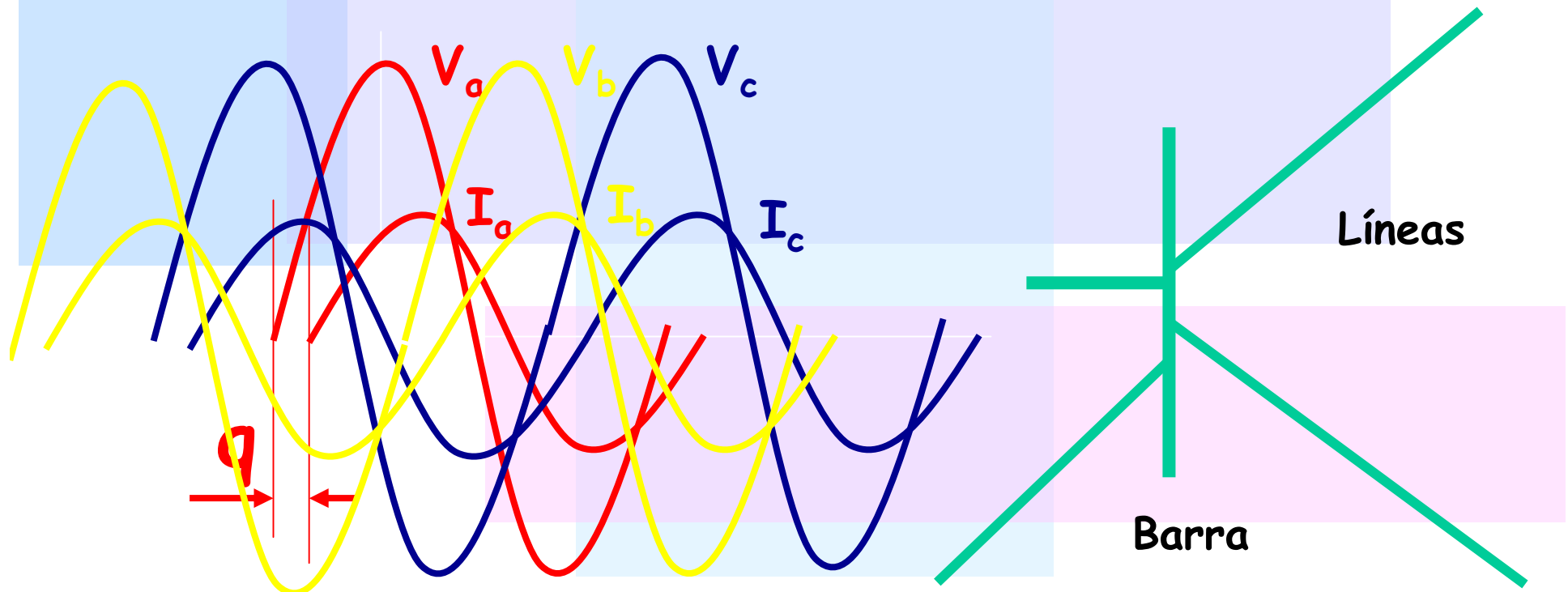




1.3 Equipos de transmisión (VII)

Líneas de Transmisión:

- Variaciones de niveles de tensión por país
- Monofásico o trifásico
- Sistemas trifásicos (3 o 4 conductores)
- Aéreas o subterráneas

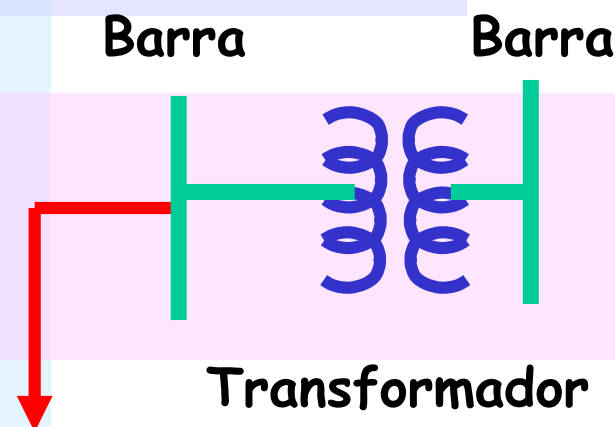
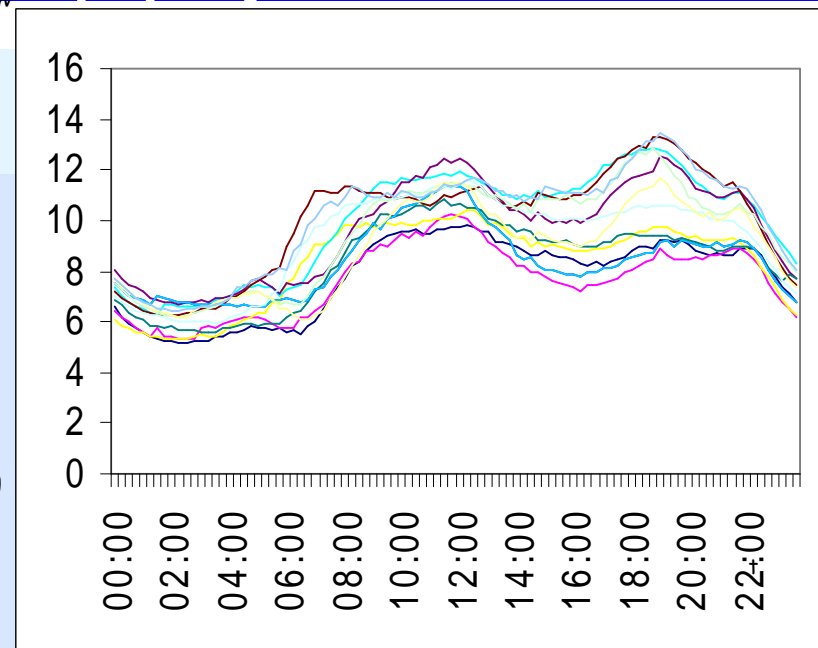




1.3 Equipos de transmisión (VIII) (consumos y otros equipos)

Consumos:

- **Tipos de consumos:**
 - Industrial, Residencial, Comercial
- **Monofásicos o trifásicos**
- **Definiciones de interés:**
 - demanda máxima (D_{max})
 - período de máxima carga
 - demanda mínima o carga base (D_{min})
 - demanda media (D_{med})
 - factor de carga (f_c)
 - factor de demanda (f_{dem})
 - factor de diversidad (f_{div})
 - factor de coincidencia (f_{coin})
- **Aspectos adicionales:**
 - variaciones de carga
 - equipos de electrónica de potencia
 - crítico o no crítico



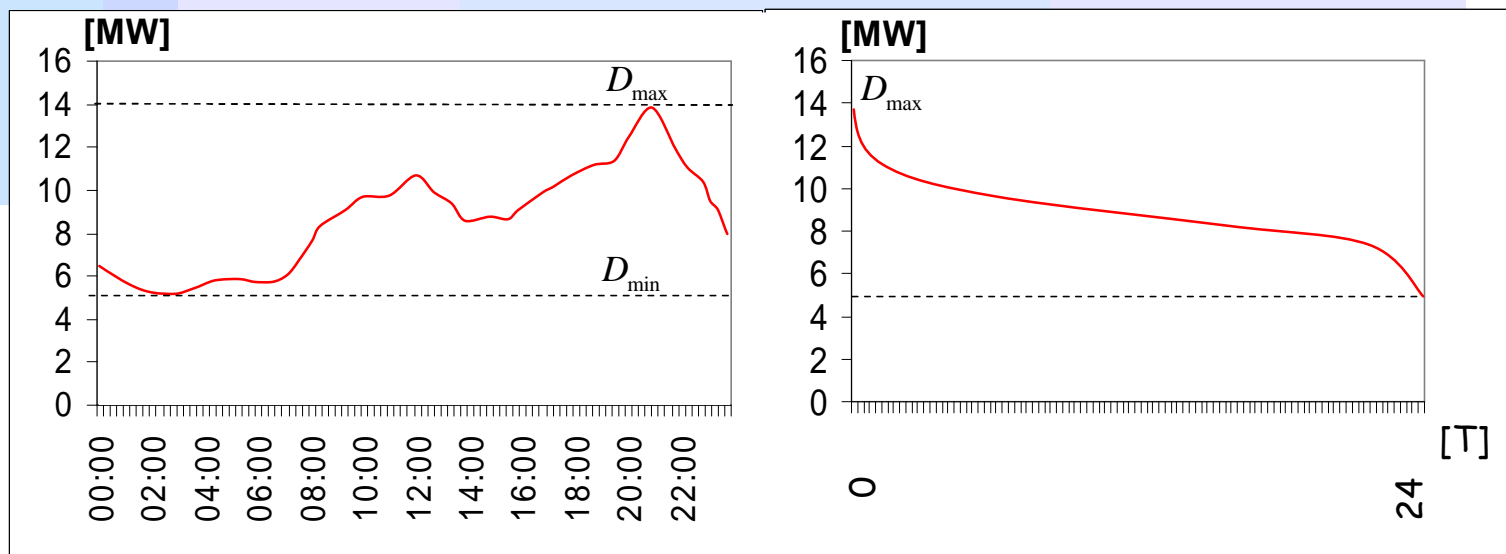


1.3 Equipos de transmisión (IX) (consumos y otros equipos)

Consumos:

- **Curva de duración de carga**

Curva en que la potencia demandada hora a hora por los consumidores se representa ordenada de mayor a menor para el período de tiempo en estudio. Con el uso de esta curva se pierde el desarrollo cronológico de los consumos. Sin embargo, permite tener una visión clara de los niveles de consumo y su duración en el período estudiado.



Curva de consumo

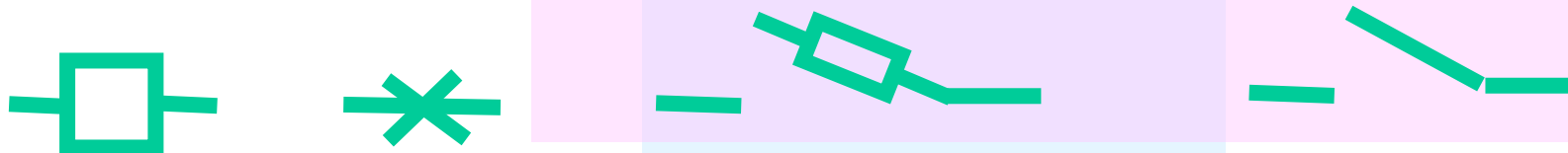
Curva de duración de carga



1.3 Equipos de transmisión (X) (consumos y otros equipos)

Otros equipos:

- **Conexión/desconexión de líneas, transformadores y/o generadores:**
 - Interruptores (switches), desconectadores (isoladores), desconectadores fusible, etc.
- **Equipos de Protección y medida:**
 - transformadores de medida, relés, pararrayos, etc.
- **Equipos de Control:**
 - condensadores estáticos, compensadores síncronos, reactores, transformadores de razón variable, condensadores serie, FACTS (Flexible AC Transmission Systems)





1.3 Equipos de transmisión (XI) (Definiciones complementarias)

- Diagrama Unilineal

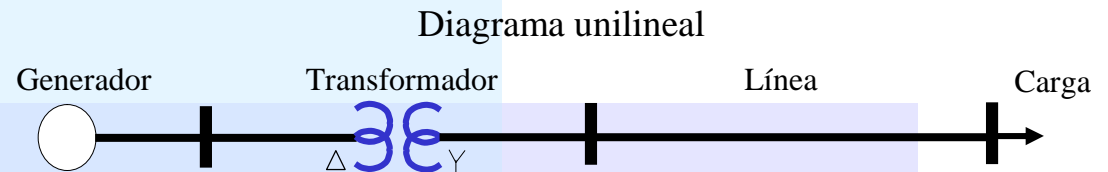
- Sistema Primario

- Sistema Secundario

- Diagrama Elemental

- Sistema Interconectado

- Estructuras de suministro: radial, anillo, enmallada





1.4 Sistemas eléctricos de potencia en Chile (I)

Características Principales (2005):

- Superficie : 756 626 km²
- Habitantes : 15 Mill. **12%**
- Consumo Nacional : 49500 GWh
- Demanda de Punta : 6800 MW **49%**
- Capacidad Instalada : 12000 MW **39%**
- Frecuencia : 50 Hz
- Sistema de Transmisión: 66 kV, 110 kV, 154 kV, 220 kV and 500 kV

- Sistemas Interconectados:
(SING, SIC, AISEN, MAGALLANES)
- Organismos Relevantes:
(CNE, SEC, CONAMA, CDECs, Panel de Expertos)

Porcentaje
del Consumo

SING
(800 km)

SIC
(2200 km)

AISEN

MAGALLANES

Fuente CNE, Datos

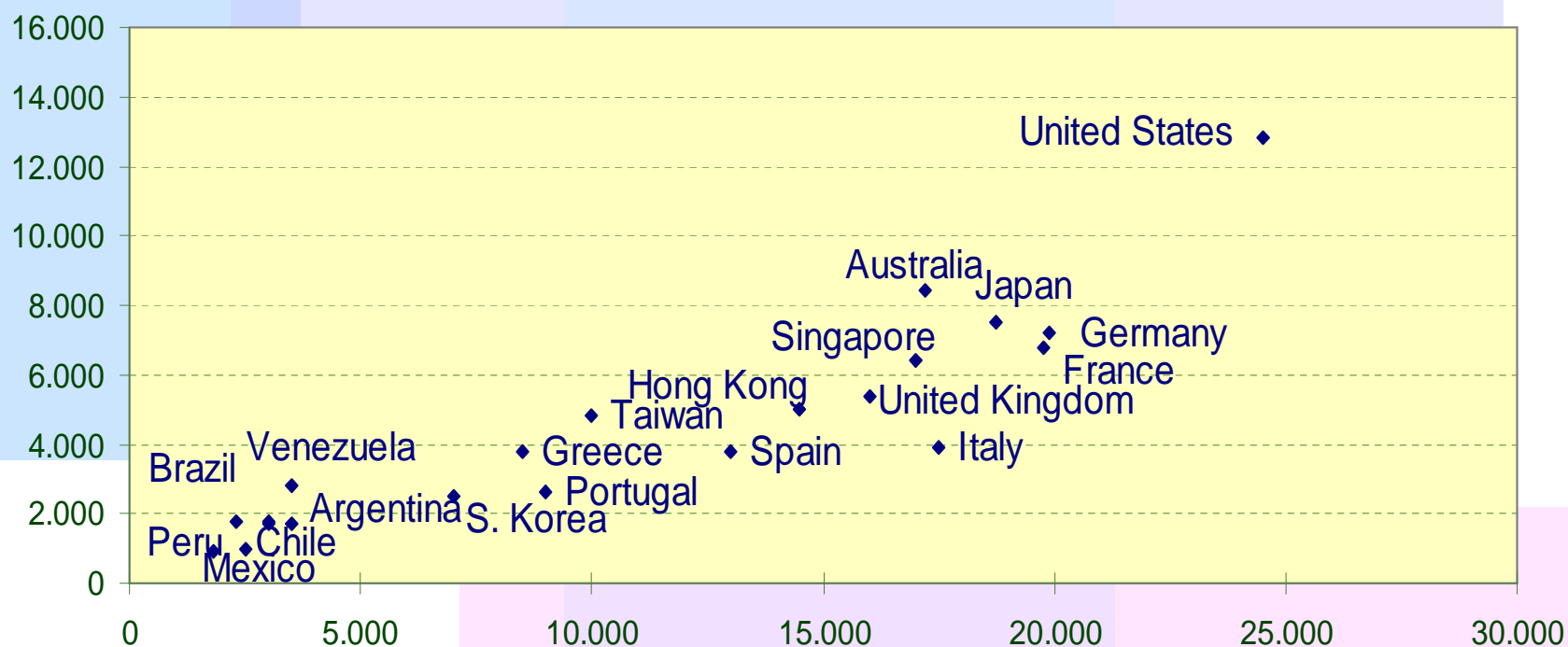
Aproximados



1.4 Sistemas eléctricos de potencia en Chile (II)

Situación a nivel mundial (1996)

KWh per capita



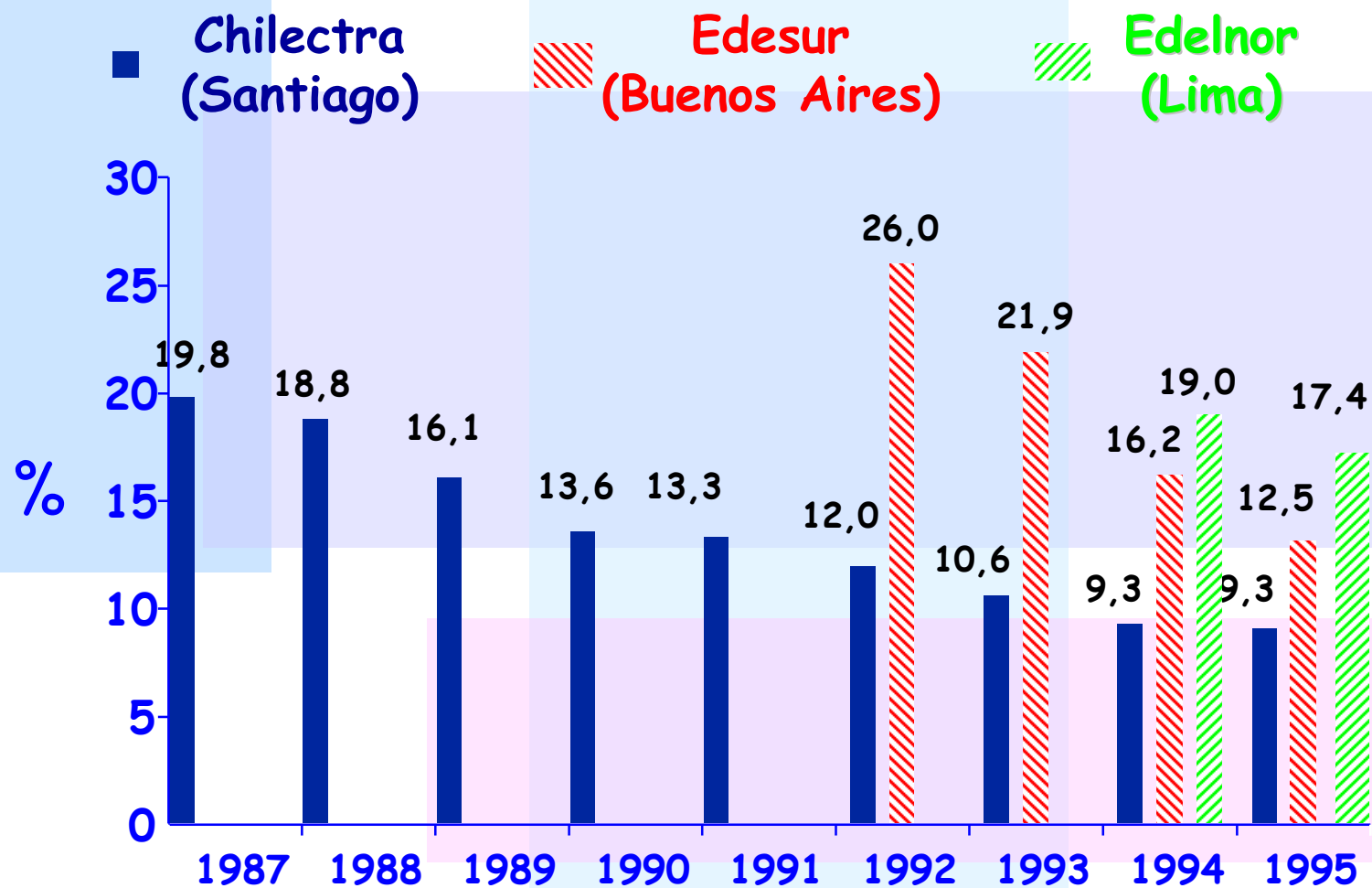
PNB per capita (US\$)

Source: OLADE Factbook



1.4 Sistemas eléctricos de potencia en Chile (III)

Evolución de pérdidas eléctricas (técnicas y no técnicas)



Source: PUC, Chile



1.4 Sistemas eléctricos de potencia en Chile (IV)

Power use and productivity in seven South American countries, 1995

Country (population size)	Argentina (35 million)	Bolivia (7 million)	Brazil (162 million)	Chile (14 million)	Colombia (35 million)	Perú (24 million)	Venezuela (22 million)
Electricity statistics							
Consumption: total, GWh	55 065	2578	252 606	23 531	34 891	12 502	60 631
per capita, kWh	1592	348	1561	1656	994	531	2776
Installed capacity, MW	20 207	804	58 788	5946	10 584	4520	18 990
Coverage (1993 only)	95%	56%	87%	95%	82%	54%	89%
Sales growth, '94 to '95	5.52%	5.14%	4.19%	8.99%	3.67%	1.02%	2.42%
Gross Domestic Product (GDP)							
Per capita GDP, in 1995 U.S. dollars	8050	935	4278	4903	2091	2812	2670
Growth in GDP, '94 to '95	3.0%	3.5%	3.9%	8.0%	5.5%	6.8%	2.0%

Source: OLADECE, Sistema de Información Económica-Energetica (SIEE), 1996 (except GDP)



1.4 Sistemas eléctricos de potencia en Chile (V)

Sistema SING (Sistema Interconectado del Norte Grande):

CARACTERISTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO

NOMBRE:	SISTEMA INTERCONECTADO DEL NORTE GRANDE (SING)
UBICACIÓN:	I y II REGIÓN
CAPACIDAD INSTALADA (MW):	3441
DEMANDA MAXIMA AÑO (MW):	1221
CAPACIDAD INSTALADA TERMICA (%):	99.6
GENERACIÓN BRUTA (GWh):	9851

NOMBRE DE EMPRESAS INTEGRANTES DEL CDEC-SING

EDELNOR
ELECTROANDINA
CELTA
NORGENER
GENER
GAS ATACAMA
SITRANOR (*)

(*) Empresa de Transmisión



1.4 Sistemas eléctricos de potencia en Chile (VI)

Sistema SIC (Sistema Interconectado Central):

CARACTERISTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO

NOMBRE:	SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL (SIC)
UBICACIÓN:	III A X REGIÓN
CAPACIDAD INSTALADA (MW):	6,572
DEMANDA MAXIMA AÑO (MW):	4,694
GENERACIÓN BRUTA (GWh):	30765
CAPACIDAD INST HIDRAULICA (%)	62
CAPACIDAD INST TERMICA (%)	38

NOMBRE DE EMPRESAS INTEGRANTES DEL CDEC-SIC
GENER S.A. SOC.ELECTRICA SANTIAGO S.A. COLBÚN S.A. ENDESA GUACOLDA S.A. PANGUE S.A. PEHUENCHE S.A. SAN ISIDRO S.A. ARAUCO GENERACION S.A. IBENER S.A. TRANSELEC TRANSNET S.A. STS S.A.



1.4 Sistemas eléctricos de potencia en Chile (VII)

Otros Sistemas

NOMBRE:	SISTEMA AYSÉN-COYHAIQUE
UBICACIÓN:	XI REGIÓN
CAPACIDAD INSTALADA 1999 (MW):	20.7
Demanda Máxima (MW) 1999	13.5
Generación Bruta (GWh) 1999	77.6
No existe CDEC	

NOMBRE:	SISTEMA PUNTA ARENAS
UBICACIÓN:	XII REGIÓN
CAPACIDAD INSTALADA (MW):	58.5
Demanda Máxima (MW) 1999	35.0
Generación Bruta (GWh) 1999	150.0
No existe CDEC	

Empresa	Capacidad Instalada MW
EDELMAG S.A.	1.8

NOMBRE:	SISTEMA PUERTO NATALES
UBICACIÓN:	XII REGIÓN
CAPACIDAD INSTALADA (MW):	4.2
Demanda Máxima (MW) 1999	2.7
Generación Bruta (GWh) 1999	12.4
No existe CDEC	

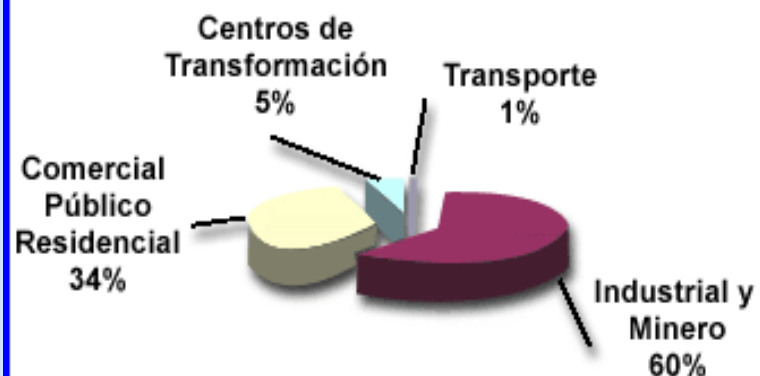
Fuente CNE,



1.4 Sistemas eléctricos de potencia en Chile (VIII)

Consumo Sectorial

Consumo Sectorial de Energía Eléctrica en el SIC (1997)



Consumo Sectorial de Energía Eléctrica en el SING (1997)



Fuente :CNE



1.4 Sistemas eléctricos de potencia en Chile (IX)

Consumo Energía Secundaria Teracalorías

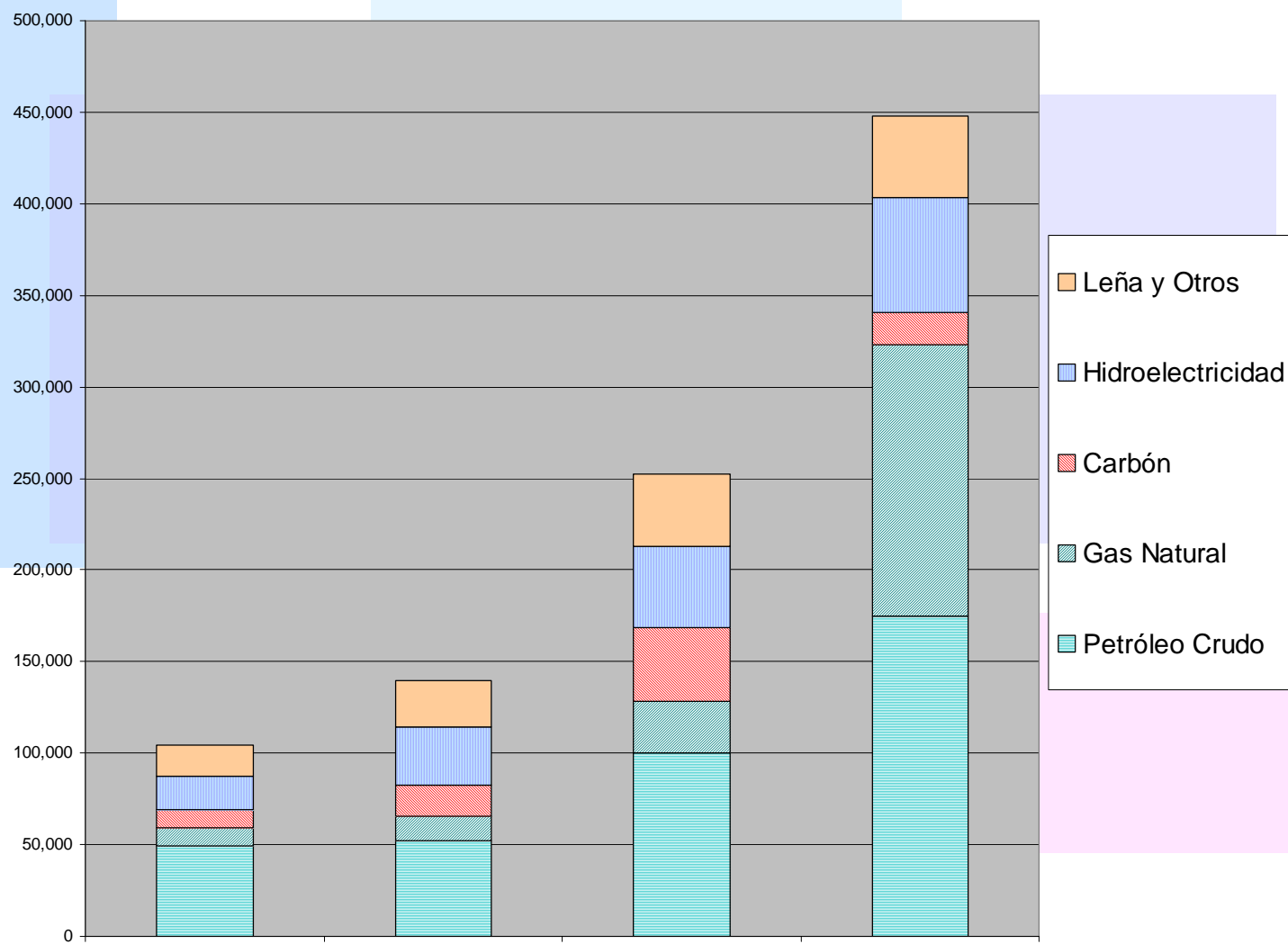
	1978	1988	1998	2008 ^e
Derivados de Petróleo y Gas Natural	54%	45%	43%	39%
Gas Natural	6%	7%	13%	28%
Carbón y Coke	12%	16%	17%	7%
Electricidad	8%	10%	11%	16%
Leña y Otros	20%	22%	16%	10%
Consumo Bruto	96,964	127,857	264,754	550,533
Indice	100.00	131.86	273.04	567.77
Tasa Crecimiento Promedio Anual		2.8%	7.6%	7.6%
e:estimado				

Fuente :CNE



1.4 Sistemas eléctricos de potencia en Chile (X)

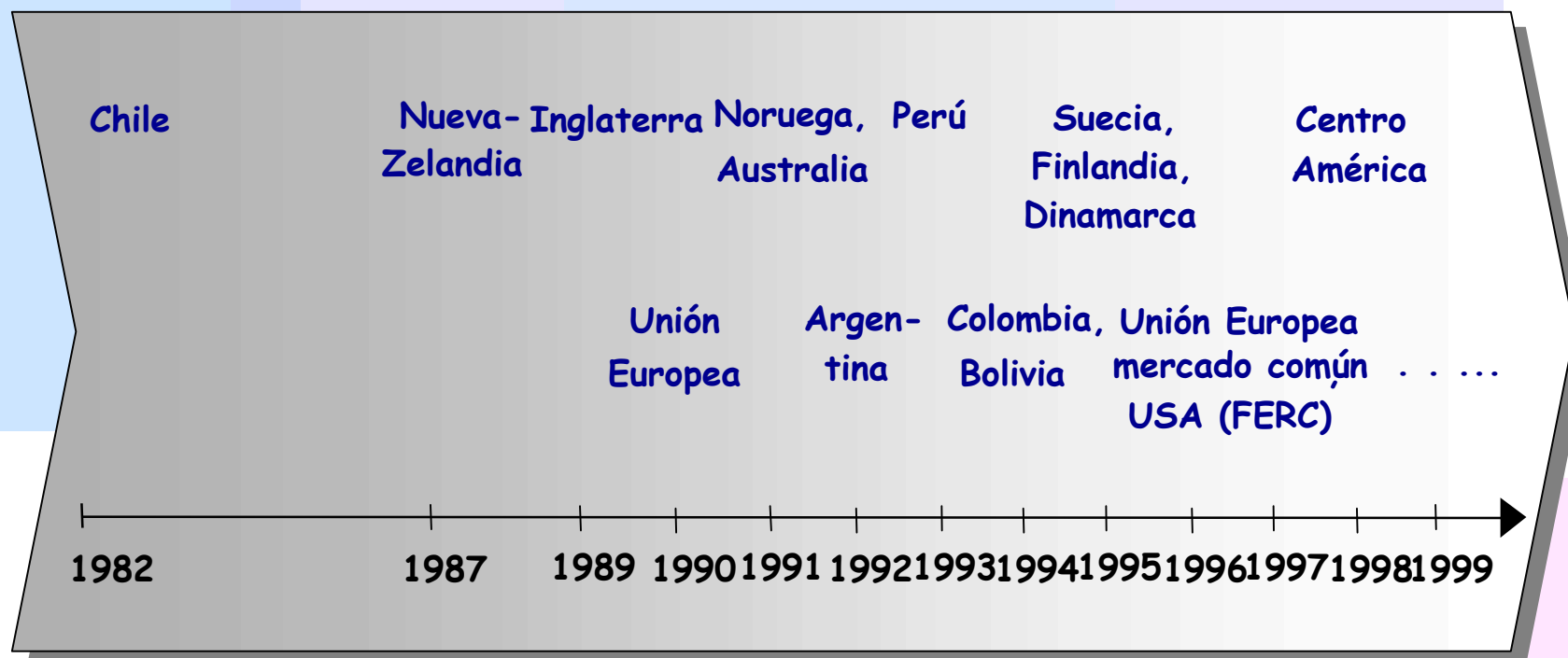
Consumo de Energía Secundaria





1.5 Contexto internacional (I)

Cronología de los Sistemas Eléctricos Competitivos:





1.5 Contexto internacional (II)

Cambio de Paradigma (I):

Sector Integrado
Verticalmente

Desintegración Vertical:
Generación, Transmisión,
Distribución

Procesos de Toma
de Decisiones
Centralizadas

Toma de Decisiones por
Múltiples Agentes del
Mercado

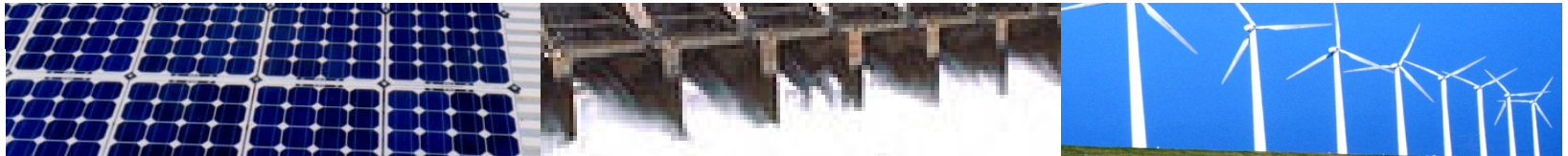
Areas de
Concesión
Cerradas

Acceso Libre de
Redes a Terceros



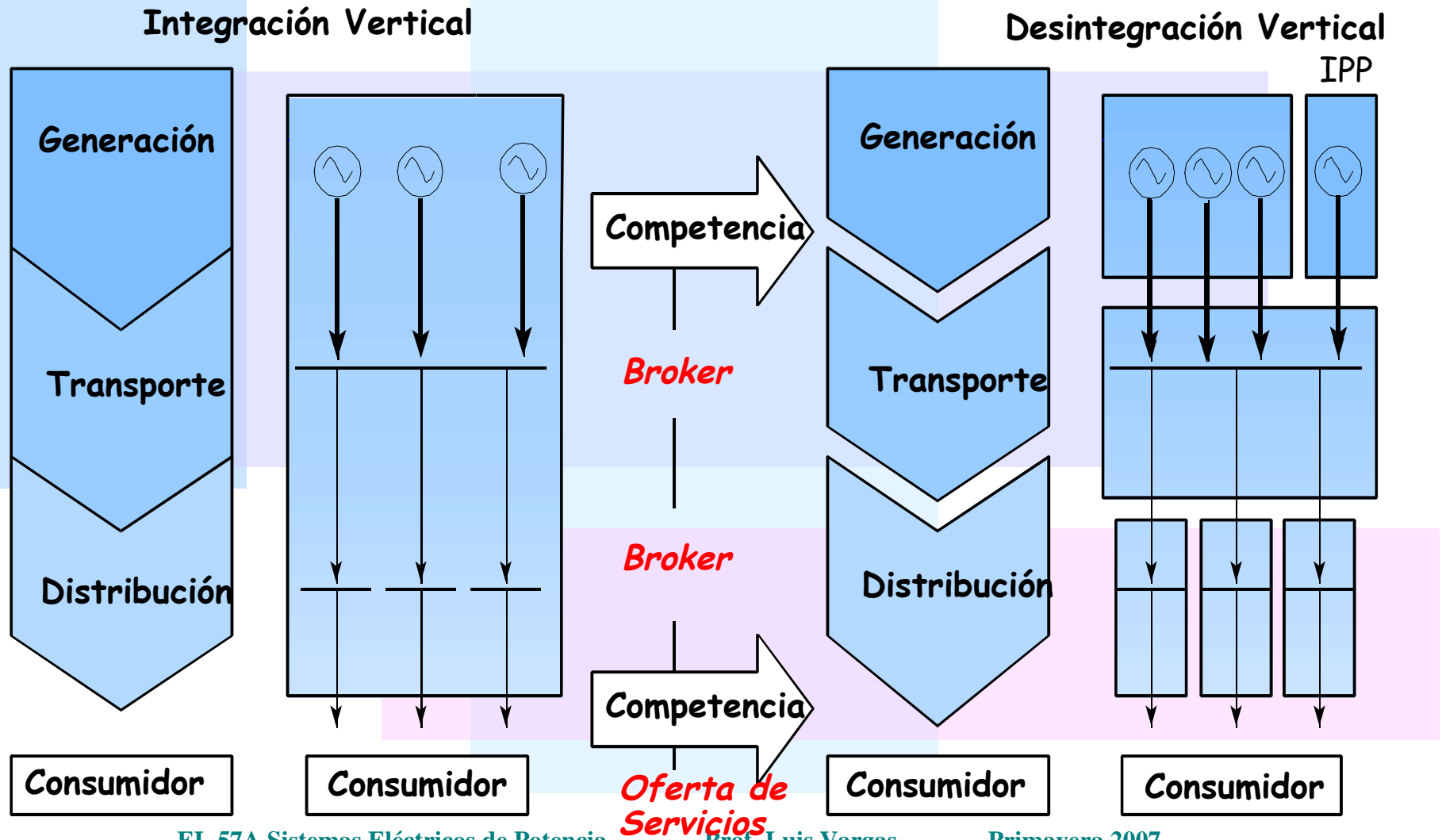
1.5 Contexto internacional (III)





1.5 Contexto internacional (IV)

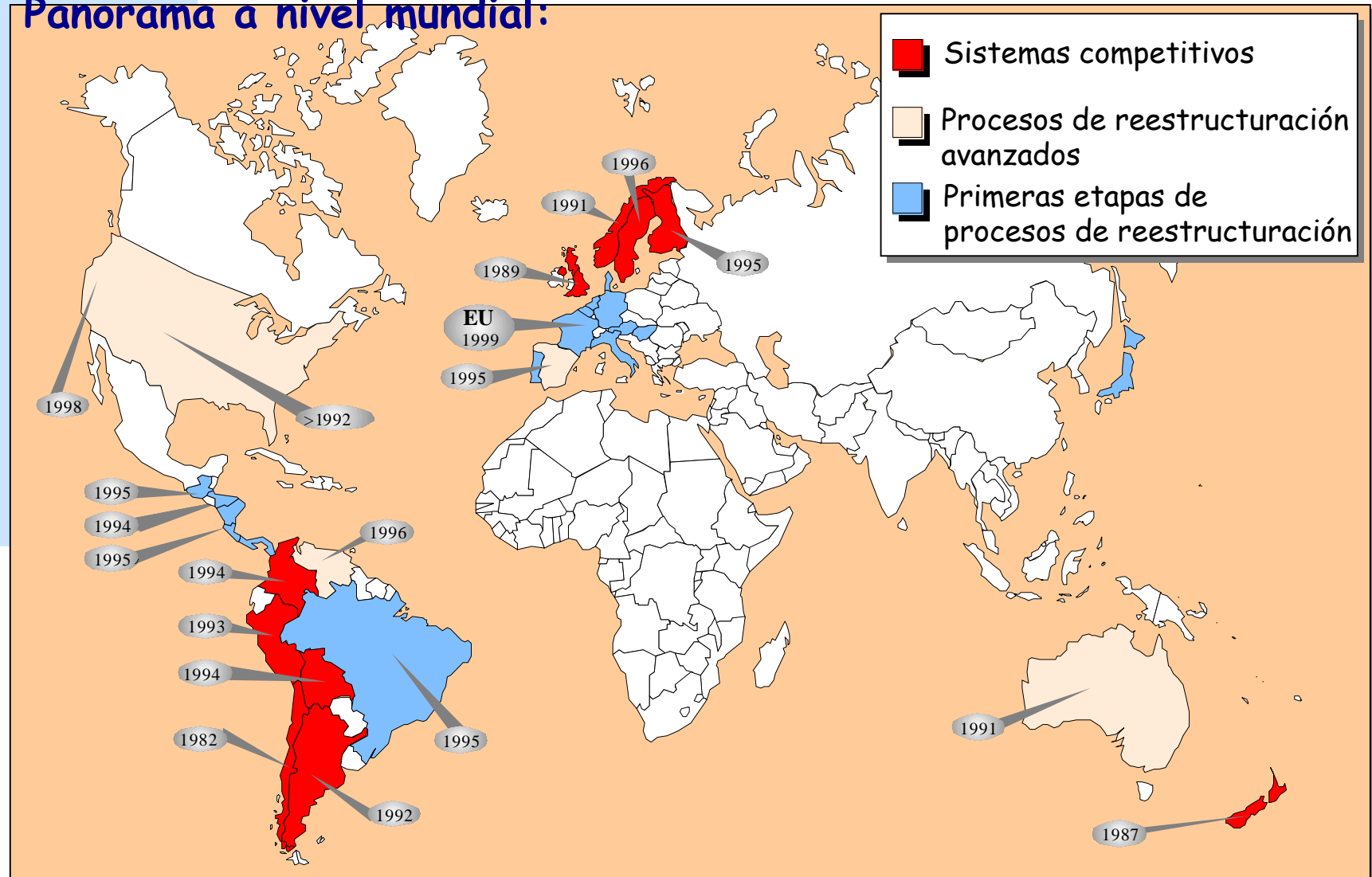
Cambio de Paradigma (II):





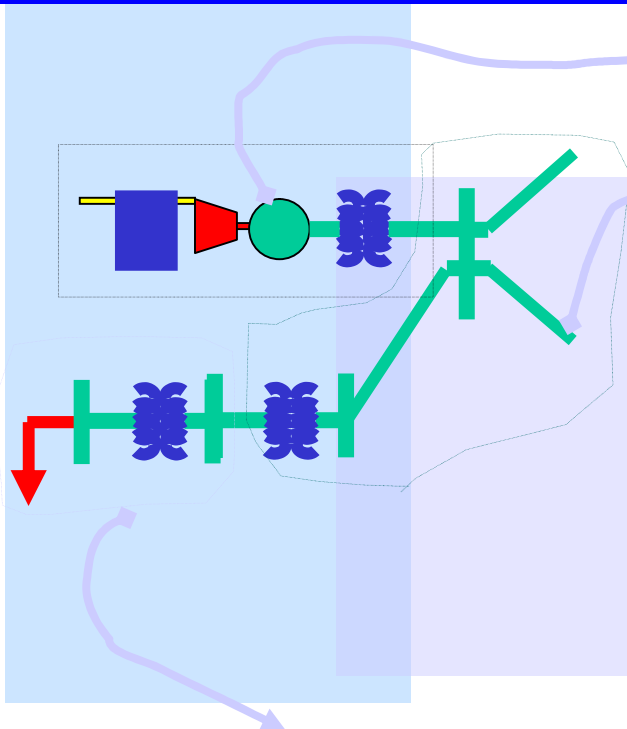
1.5 Contexto internacional (V)

Panorama a nivel mundial:





1.6 Tendencias del desarrollo (I)



• **Sistemas de generación:**

- Integración de equipos de electrónica de Potencia (recursos renovables)
- Aumento de eficiencia en procesos
- Fusión nuclear
- Sistemas de control

• **Sistemas de Transmisión:**

- Equipos FACTS (Flexible AC Transmission Systems)
- Sistemas de comunicaciones y control
- Bobinas superconductoras

• **Sistemas de Distribución:**

- Generación distribuida
- Power line
- Sistemas de comunicaciones y control
- Calidad de servicio
- Aumento de eficiencia en equipos domésticos e industriales



1.7 Efectos fisiológicos de la electricidad (I)

Dependencia: nivel de corriente circulante, nivel de tensión, duración, impedancia del cuerpo en el camino de circulación (muy variable)

Impedancia media del cuerpo humano: 1000 Ohm --> 220 V --> 200 mA

Efecto de niveles de corriente en el ser humano

Nivel de Corriente [mA]	Efecto
0.9 - 1.2	flujo de corriente apenas perceptible
6.0 - 8.0	contacto manos -> sacudidas, dolor
15.0 - 20.0	imposibilidad de liberar mano/contacto
20.0 - 50.0	corazón en línea de circulación -> peligro vital
50.0 - 100.0	límite inferior de peligro mortal

Medidas básicas para evitar accidentes eléctricos

1. Desconexión de todas las fases en interruptores
2. Seguro de reconexión
3. Verificar ausencia de tensión en instalaciones
4. Puesta a tierra
5. Aislación de zonas de peligro

Fuente : UNIDO



1.8 Literatura, Simbología, Direcciones WWW

- Brokering, W., Sistemas Eléctricos de Potencia, Depto. Ing. Eléctrica, Universidad Católica de Chile (1974-2007).
- Antonio Gómez Expósito, Análisis y Operación de Sistemas de Energía Eléctrica, McGraw-Hill, ISBN:94-481-3592-X, 2003.
- Glover, D., Sarma, M.: "Power System Analysis and Design", PWS Publishers, Boston, 1ra Edición, ISBN: 0-534-07860-5, 1987.
- Saadat, Hadi, Power System Analysis, McGraw-Hill, ISBN: 0-07-561634-3, 1999.
- Grainger, J., Stevenson, W.: "Análisis de Sistemas de Potencia", McGRAW-HILL, 2da Edición, ISBN: 970-10-0908-8, 1996.
- El-Hawary, E., Mohamed: „Electrical Power Systems“, IEEE Press, Power Systems Engineering Series, ISBN 0-7803-1140-X, 1995.
- Gross, Charles, A.: „Power System Analysis“, John Wiley & Sons, ISBN 0-471-01899-6, 1979.
- Asociación de Ingenieros de Endesa: „La Energía Eléctrica en Chile“, 1996 (Biblioteca DIE).



1.8 Literatura, Simbología, Direcciones WWW

- Wood, A., Wollenberg, B.: „Power, Generation, Operation, and Control“, John Wiley & SONS, INC., 2da Edición, ISBN 0-471-58699-4, 1996.
- Handschin, E.: „Energietechnik I, II“, Universidad de Dortmund, Alemania, 1998.
- Enríquez, G.: „Elementos de Centrales Eléctricas II“, Limusa Noriega Editores, ISBN 968-18-1590-4, 1995.
- Handschin, E.: “Elektrische Energieversorgungssysteme“, Huthig, 2da Edición, ISBN: 3-7785-1401-6, 1987.
- Rudnick, H. y Moya, O., Aplicación de Computadores al Análisis y Operación de Sistemas Eléctricos de Potencia, Depto. Ing. Eléctrica, Universidad Católica de Chile.