



EL6000 CLASE 1

Modulo minihidro: Generalidades, el negocio eléctrico y marco legal.



AGENDA

- Generalidades
 - Características de un SEP
 - Demanda eléctrica
 - Centrales hidráulicas
 - Operación económica del sistema.
- El Negocio Eléctrico
 - Segmentos
 - Mercado spot y mercado de contratos
 - Costos marginales del sistema
- Marco Legal
 - Desarrollo legislativo
 - Mecanismos de fomento ERNC en el mundo
 - Ley ERNC en Chile



AGENDA

- Generalidades
 - Características de un SEP
 - Demanda eléctrica
 - Centrales hidráulicas
 - Operación económica del sistema.
- El Negocio Eléctrico
 - Segmentos
 - Mercado spot y mercado de contratos
 - Costos marginales del sistema
- Marco Legal
 - Desarrollo legislativo
 - Mecanismos de fomento ERNC en el mundo
 - Ley ERNC en Chile



GENERALIDADES

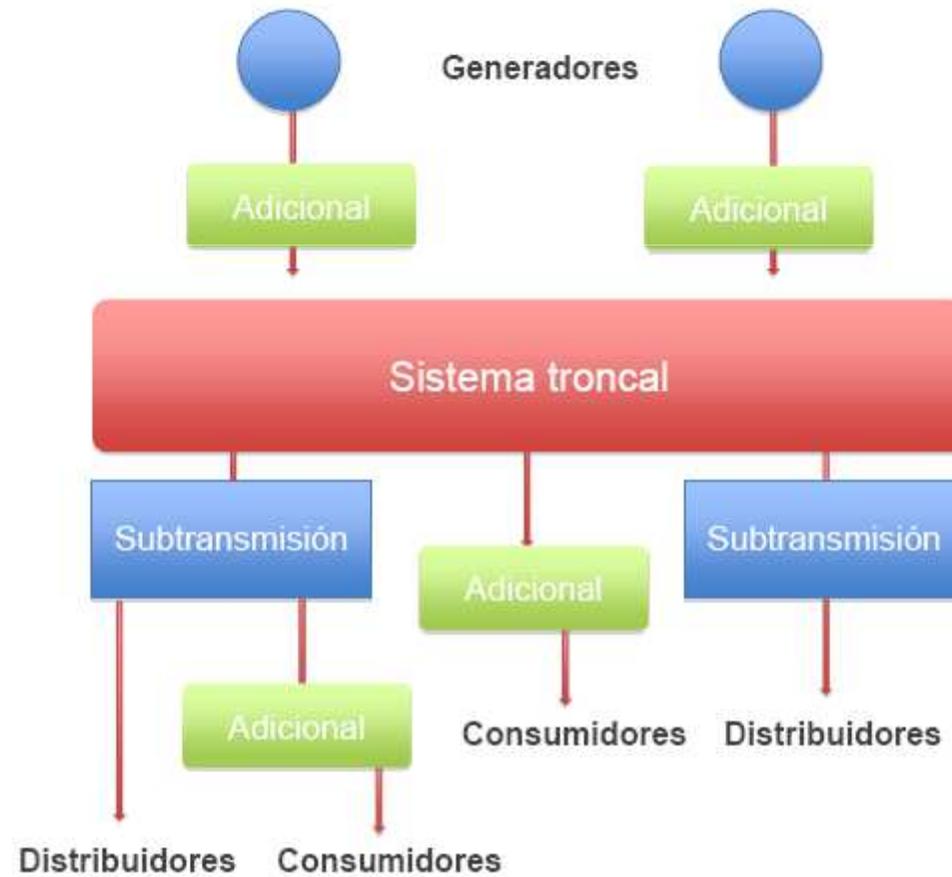
- Estructura de un SEP





GENERALIDADES

- Estructura de un SEP



GENERALIDADES

- **Sistemas eléctricos**
 - **SIC**
 - Taltal a Chiloé
 - 60% consumos regulados
 - 40% clientes libres
 - Matriz mixta (hidro térmico)
 - **SING**
 - 90% Grandes clientes
 - 10% consumos regulados
 - Sistema netamente térmico
 - **Sistemas de Aysén y Magallanes**
 - Menores a 200 MW



Ingeniero Daniel Garrido



GENERALIDADES

○ Demanda

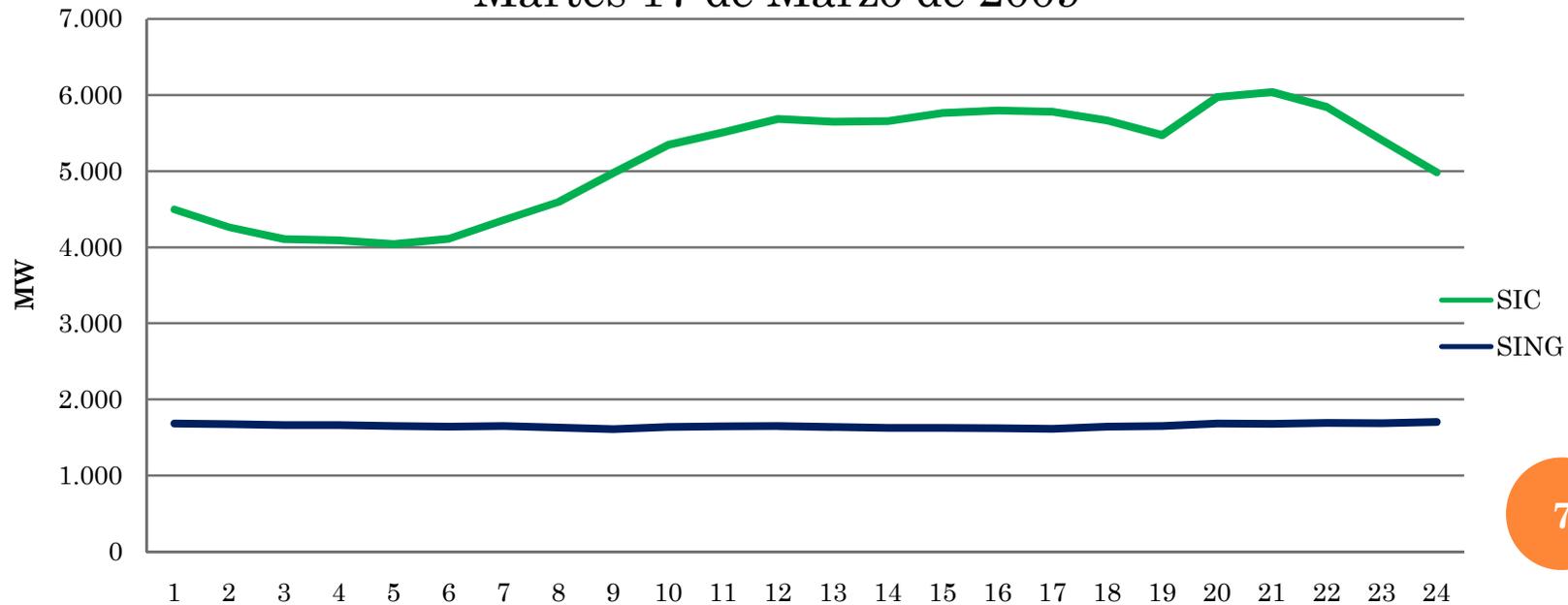
▶ Curvas agregadas SIC v/s SING

Fc=0.7

Curvas de carga
SIC y SING

Fc=0.95

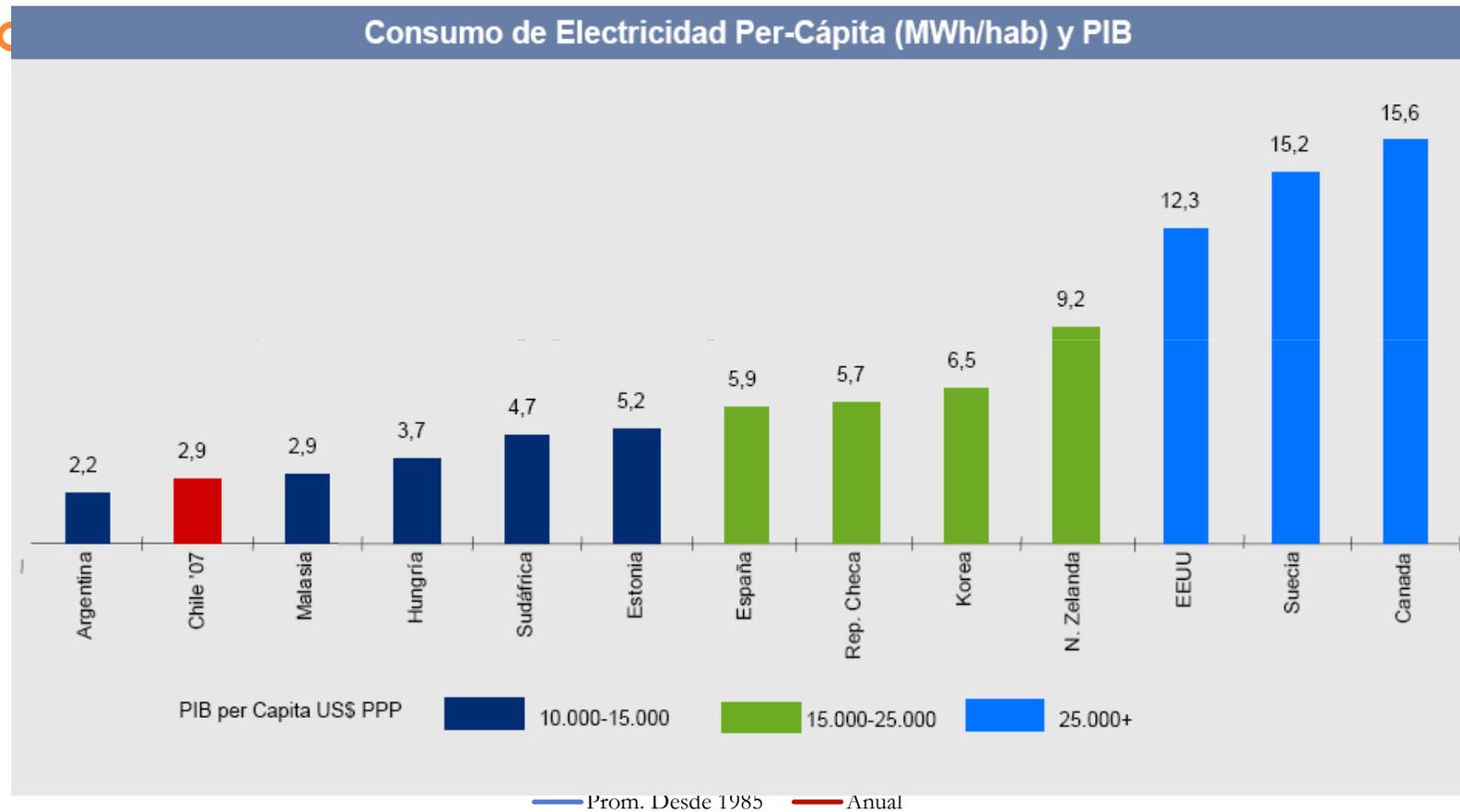
Martes 17 de Marzo de 2009



Ingeniero Daniel Garrido



GENERALIDADES



Ingeniero Daniel Garrido



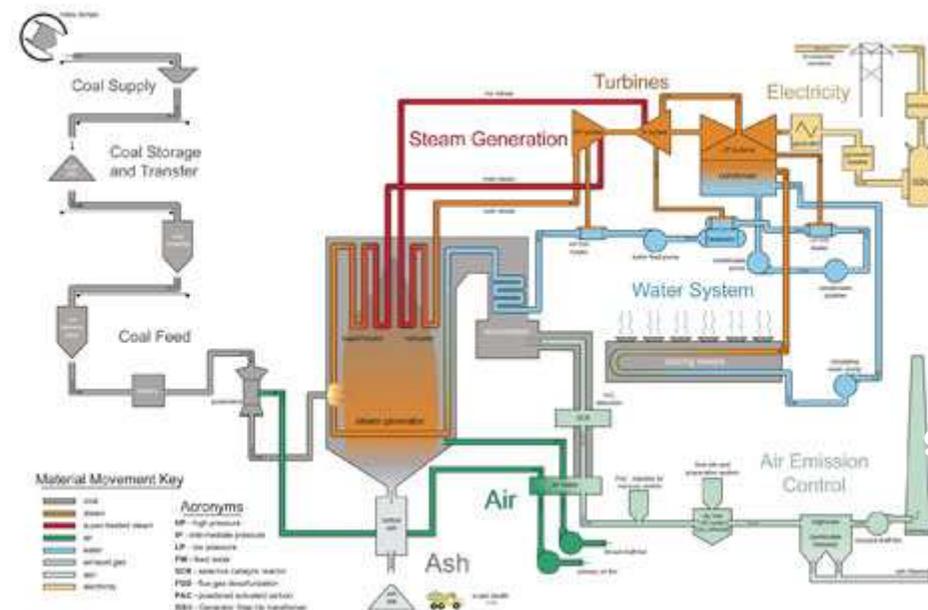
GENERALIDADES

○ Centrales

- Hidráulicas
 - Pasada y Embalse
- Térmicas
- Renovables:
 - Eólicas, minihidro
 - Solar, geotermia, biomasa, mareomotriz



Ingeniero Daniel Garrido





GENERALIDADES

○ Centrales hidráulicas

- Embalse
- Pasada
- Pasada con pequeños estanques de regulación
- Pequeña y mini hidráulica





GENERALIDADES

○ Centrales Hidráulicas

- Centrales de embalse

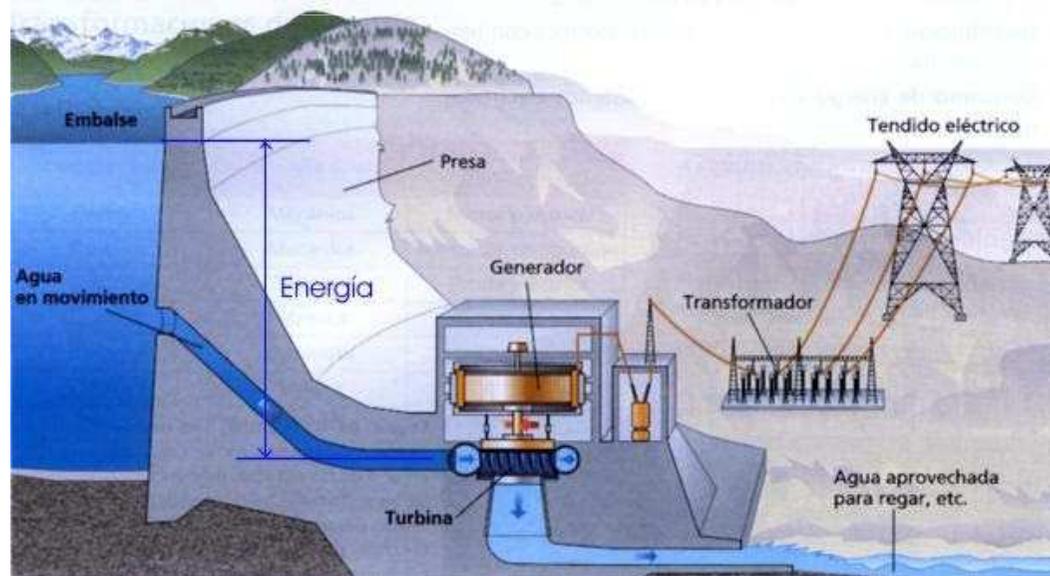
- Capacidad de almacenar energía
- Regulación inter temporal
 - Semanal
 - Mensual
 - Anual
- Factor de planta cercano al 75%

Ventajas	Des-ventajas
No emiten contaminantes	Incerteza hidrológica
Turbina eficiente	Gran tiempo de construcción
Bajo mantenimiento	Lejano a centros de consumo
Bajo costo de operación	



GENERALIDADES

- Centrales Hidráulicas
 - Centrales de embalse





Ingeniero Daniel Garrido

- **Central Hidroeléctrica GRANDAS DE SALIME, Asturias**
- **4 Unidades de 32 MVA (consumo 30 m³/s por unidad)**
- **Sistema de transmisión (evacuación de energía) en 132 kV**

* www.siemprenorte.com



GENERALIDADES

- Centrales Hidráulicas
 - Centrales de embalse



Ejemplos

MW nominales	2008		2005		2006		
	GWh	fp	GWh	fp	GWh	fp	
El Toro	446.7	1,204,900	0.31	1,080,267	0.28	2,306,657	0.59
Antuco	324	365,896	0.13	1,573,998	0.55	1,887,059	0.66
Rapel	380	1,030,368	0.31	1,345,321	0.40	946,528	0.28
Canutillar	172	798,544	0.53	902,476	0.60	1,083,357	0.72
Cipreses	99.9	480,228	0.55	456,362	0.52	615,845	0.70
Colbun	478	2,667,367	0.64	3,052,441	0.73	2,479,706	0.59
Pehuenche	551	2,752,905	0.57	3,142,861	0.65	2,690,705	0.56



GENERALIDADES

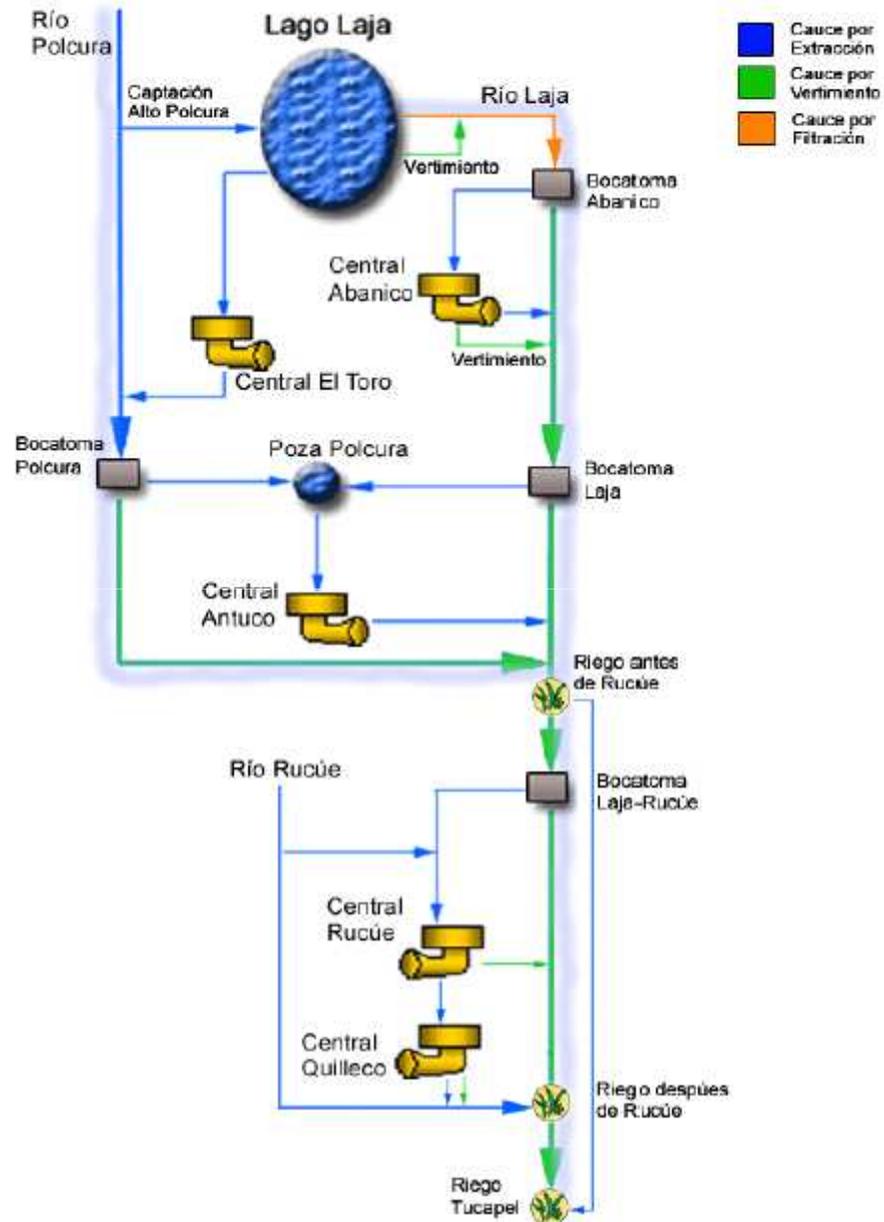
- Centrales Hidráulicas
 - Centrales de embalse



Capacidades de Regulación Centrales Embalse (días)

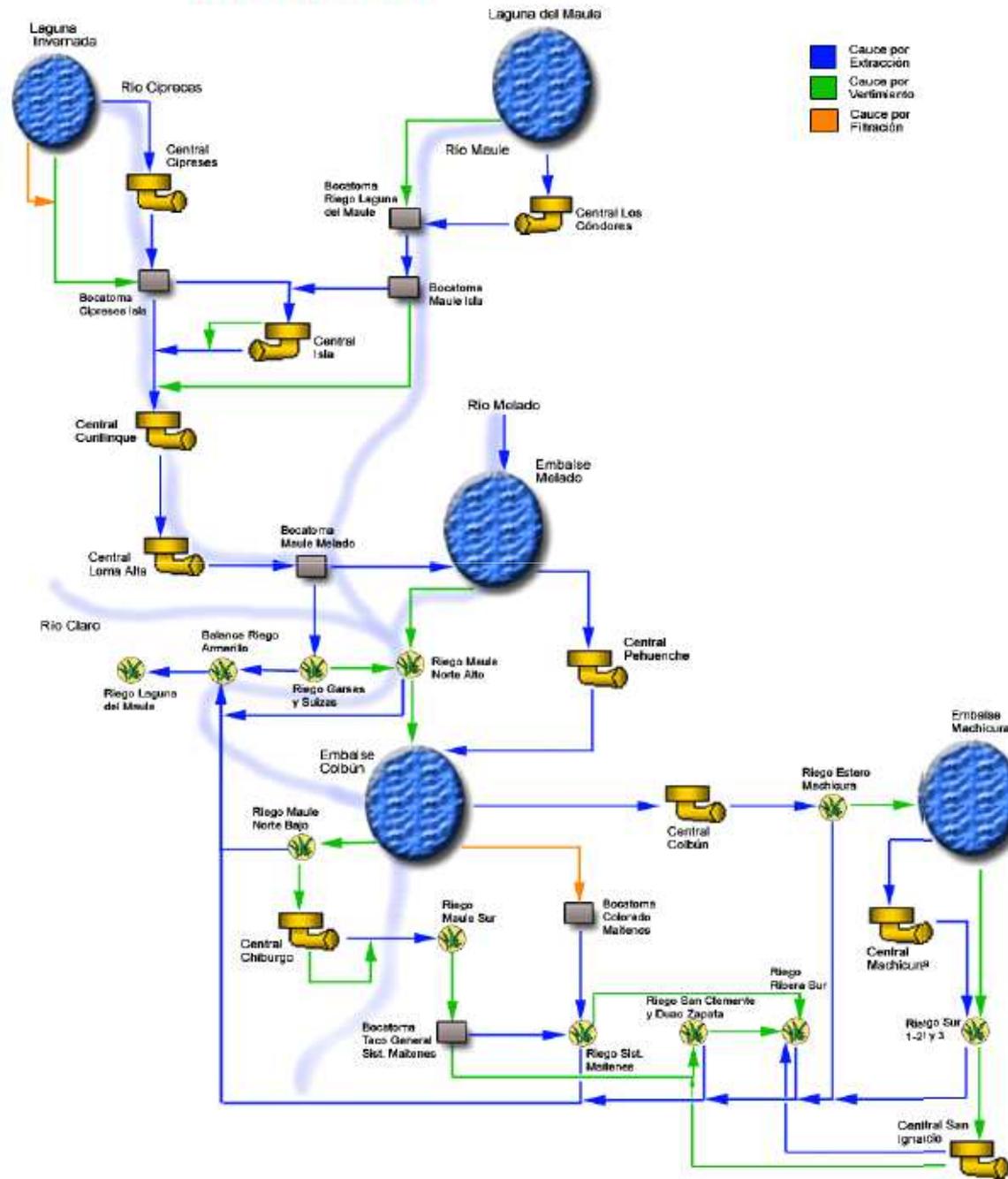
Central	Pmax (MW)	Rendimiento	Qmax (m3/s)	Embalse	vol. Emb. (mill m3)	Cap regulacion (días)
El Toro	450	4.7	94	Lago Laja	5,154	628
Rapel	350	0.7	519	Lago Rapel	291	6
Canutillar	169	1.9	88	Lago Chapo	1,054	139
Cipreses	105	2.8	37	Laguna Invernada	180	55
Colbun	460	1.4	322	Embalse Colbun	1,139	41
Ralco	660	1.6	425	Embalse Ralco	764	21
Pehuenche	560	1.7	336	Embalse Melado	23	1
Machicura	97	0.3	301	Embalse Machicura	13	0
Pangué	472	0.9	533	Embalse Pangué	45	1
Antuco	320	1.6	196	Poza Polcura	1	0

Cuenca del Lago Laja



Ingeniero Daniel Garrido

Cuenca del Maule



Ingeniero Daniel Garrido



GENERALIDADES

- Centrales Hidráulicas
 - Centrales de pasada

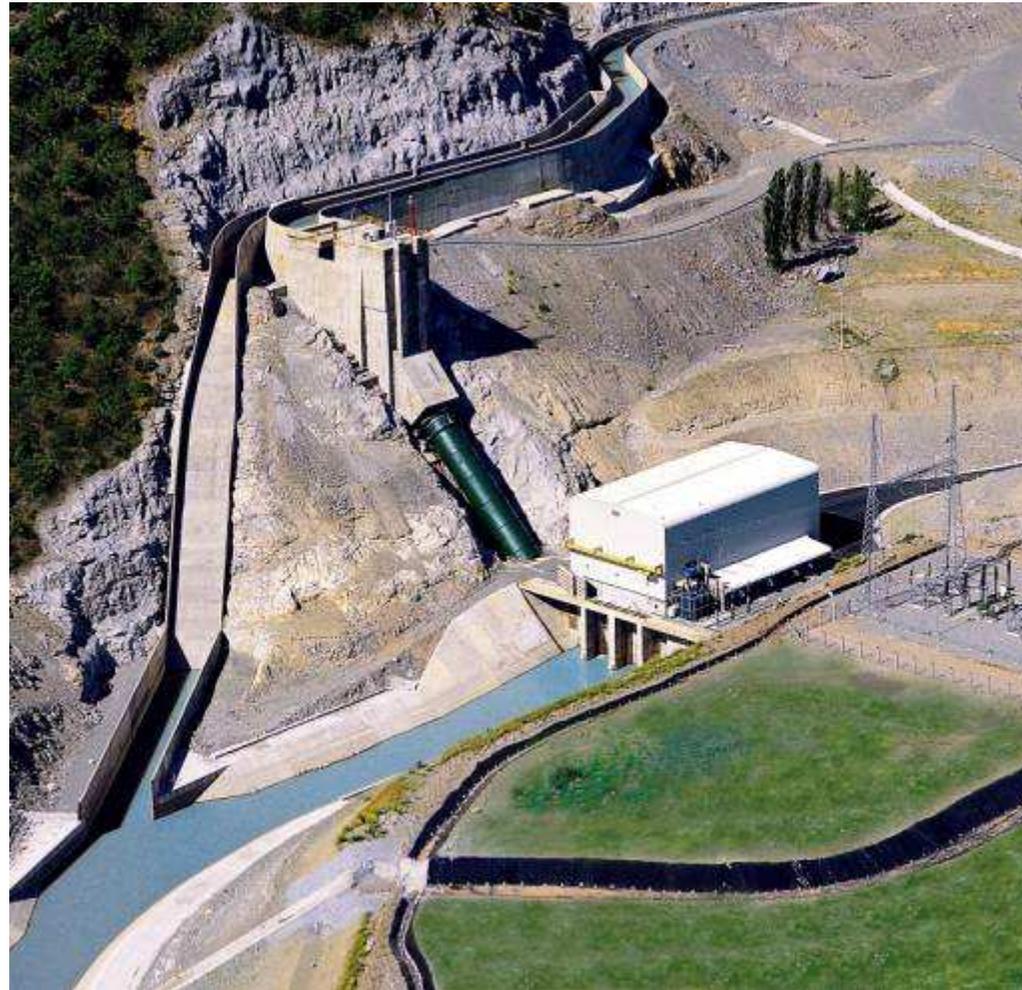
- No tiene capacidad de almacenar energía
- Algunas centrales poseen pequeño estanque de regulación. (hp)
- Factor de planta cercano al 65%

Ventajas	Des-ventajas
No emiten contaminantes	Potencias relativamente bajas
Turbina eficiente	Factor de planta medio
Bajo mantenimiento	No almacena energía
Bajo costo de operación	Lejano a los centros de consumo
Bajo impacto ambiental	Inversión alta
	Incertidumbre en hidrología

GENERALIDADES



Ingeniero Daniel Garrido



Central de Pasada Loma Alta (40 MW)



GENERALIDADES

- ¿Qué cataloga como central minihidro?
 - Definición no es universal.
 - Portugal y España $P \leq 10 \text{ MW}$
 - Italia $P \leq 3 \text{ MW}$
 - Francia $P \leq 8 \text{ MW}$
 - Reino Unido $P \leq 5 \text{ MW}$
 - Chile $P \leq 20 \text{ MW}$



GENERALIDADES

- Centrales minihidro en Chile
 - Centrales minihidro a Diciembre de 2008

Nombre	Propietario	Puesta en servicio	Pnominal
Volcán	GENER S.A.	1944	13
Los Molles	ENDESA	1952	16
Sauzalito	ENDESA	1959	9,5
Capullo	E.E. CAPULLO	1995	10,7
S. Andes	GEN. S. ANDES	1909	1,1
Carbomet	CARBOMET	1944-86	10,4
Puntilla	E. E. Puntilla S.A.	1997	14,7
Eyzaguirre	S.C. DEL MAIPO	2007	1,5
Chiburgo	COLBUN S.A.	2007	19,4
El Rincón	S.C. DEL MAIPO	2007	0,3
Puclaro	Hidroelectica Puclaro	2008	5,4
Ojos De Agua	ENDESA ECO	2008	9
Coya	Pacific Hydro	2008	11



GENERALIDADES

- Operación Económica del sistema (I)
- ¿Como opera un SEP?
 - ▶ Los CDEC se encargan de coordinar a los generadores para minimizar el costo de operación del sistema.
 - ▶ Costos de Operación de las distintas tecnologías
 - ▶ Central térmica = Costo de combustible (gas, diesel, carbón, GNL, biomasa, etc) \Rightarrow (considerando una función de costos lineal) Costo = US\$/MWh \Leftrightarrow mills/kWh
 - ▶ Central eólica, geotérmica, solar, mareomotriz = Costo cero
 - ▶ Central hidráulica de pasada = Costo cero (derechos de agua)
 - ▶ Central hidráulica de embalse = Costo de **oportunidad del agua**. (centrales de embalse deben optimizar el uso de su agua para disminuir la variación de precios debido a la volatilidad en los precios de los commodities) \Rightarrow **Se les asigna un costo, para efectos de despacho, en cada programación semanal.**



GENERALIDADES

- Operación Económica del sistema (II)

Función objetivo:

Min Costo de Operación = Min Costo de Combustible

s.a.

Continuidad hidráulica - eléctrica

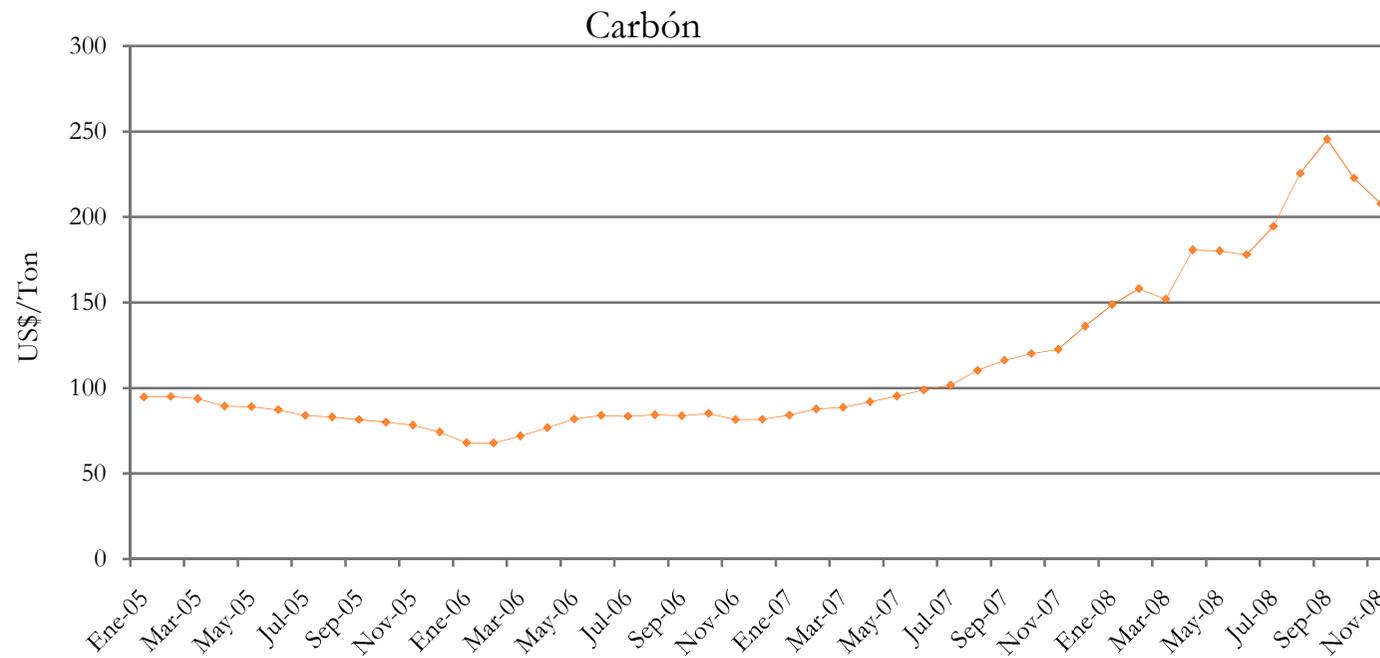
Seguridad del sistema

Otras...



GENERALIDADES

○ Operación Económica del sistema (III)



Ingeniero Daniel Garrido



GENERALIDADES

- Operación Económica del sistema (IV)
 - Variables del problema de optimización.
 - Demandas (MW)
 - Consumos (MWh)
 - Afluentes, caudales turbinados, efluentes, etc (m³/s)
 - Volumen de los embalses
 - Consumo específico de centrales térmicas (TonCarbón/MWh) y costos de combustibles (USD/TonCarbón)
 - Flujos por las líneas del sistema de transmisión



GENERALIDADES

- Operación Económica del sistema (V)
 - Restricciones del problema de optimización.
 - Hidráulicas:
 - Cotas mínimas, máximas de los embalses
 - Convenios de Riego
 - Capacidades de aducción
 - Límites de potencia activa
 - Térmicas:
 - Tasa de toma y baja de carga
 - Tiempos de estabilización
 - Emisiones de contaminantes
 - Sistema de transmisión:
 - Capacidades de las líneas (efecto de la temperatura)
 - Criterio N-1
 - Capacidades de equipos



GENERALIDADES

- Operación Económica del sistema (VI)
 - Luego el problema de optimización es

$$Z = \sum_t \sum_i C_i(P_i^T(t))$$

s.a.

$$\sum_i P_i^T(t) + \sum_j P_j^H(t) = D(t) + L(t)$$



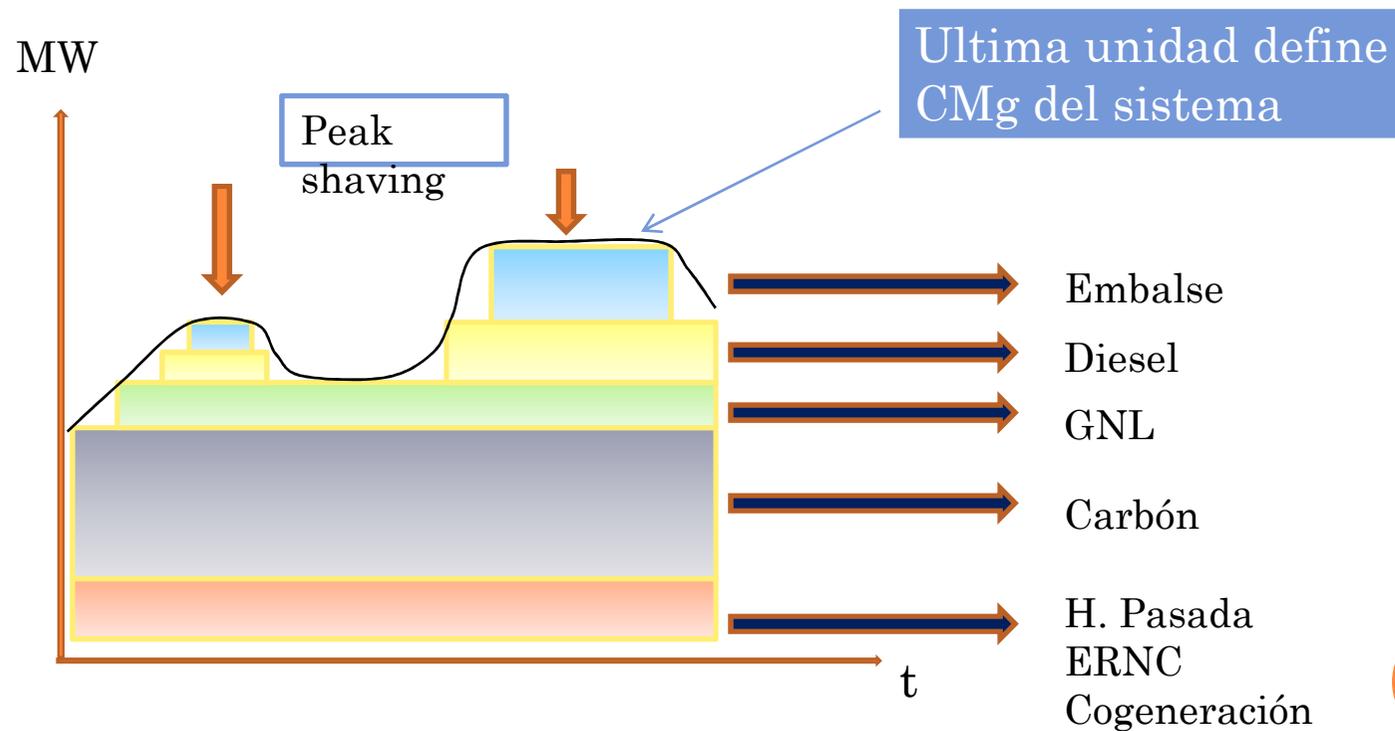
Acople temporal



GENERALIDADES

○ Operación Económica del sistema (VII)

✓ Operación a mínimo costo.



Ingeniero Daniel Garrido



AGENDA

- Generalidades
 - Características de un SEP
 - Demanda eléctrica
 - Centrales hidráulicas
 - Operación económica del sistema.
- El Negocio Eléctrico
 - Segmentos
 - Mercado spot y mercado de contratos
 - Costos marginales del sistema
- Marco Legal
 - Desarrollo legislativo
 - Mecanismos de fomento ERNC en el mundo
 - Ley ERNC en Chile



EL NEGOCIO ELÉCTRICO

○ Segmentos

● Generación

- Libre mercado
- Decisiones de inversión dependen de cada agente

● Transmisión

- Monopolio natural
- Regulado
- Inversiones reguladas por el estado
- Rentabilidad establecida por ley

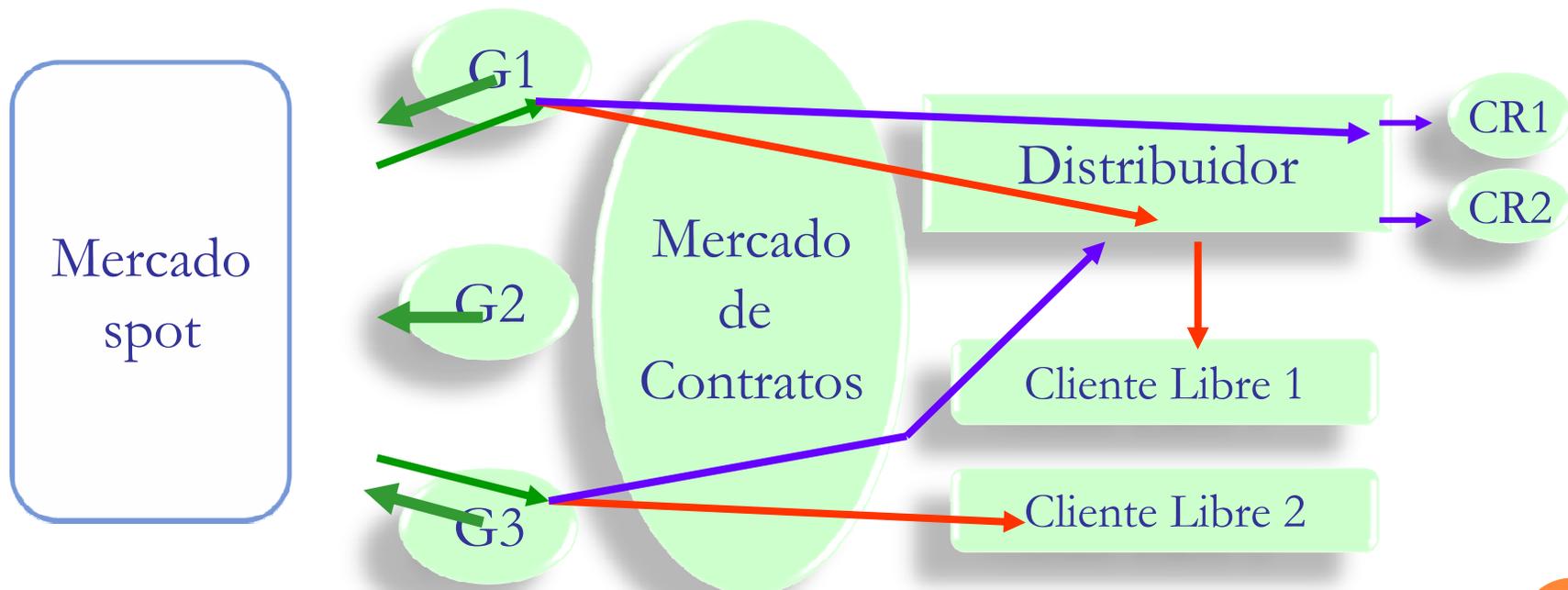
● Distribución

- Monopolio natural
- Regulado
- Tarifas reguladas



EL NEGOCIO ELÉCTRICO

- Generación: Mercado Spot y Mercado de Contratos

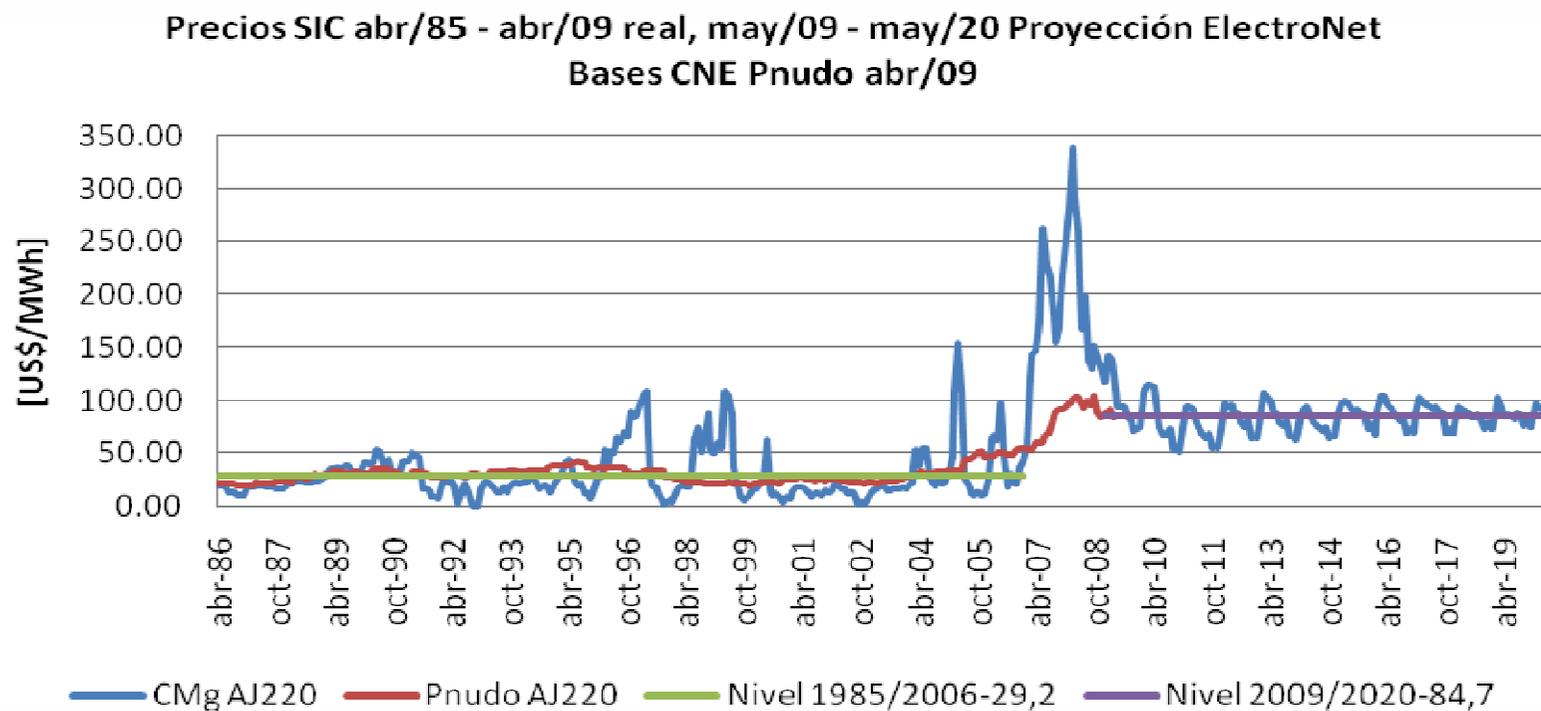


Ingeniero Daniel Garrido



EL NEGOCIO ELÉCTRICO

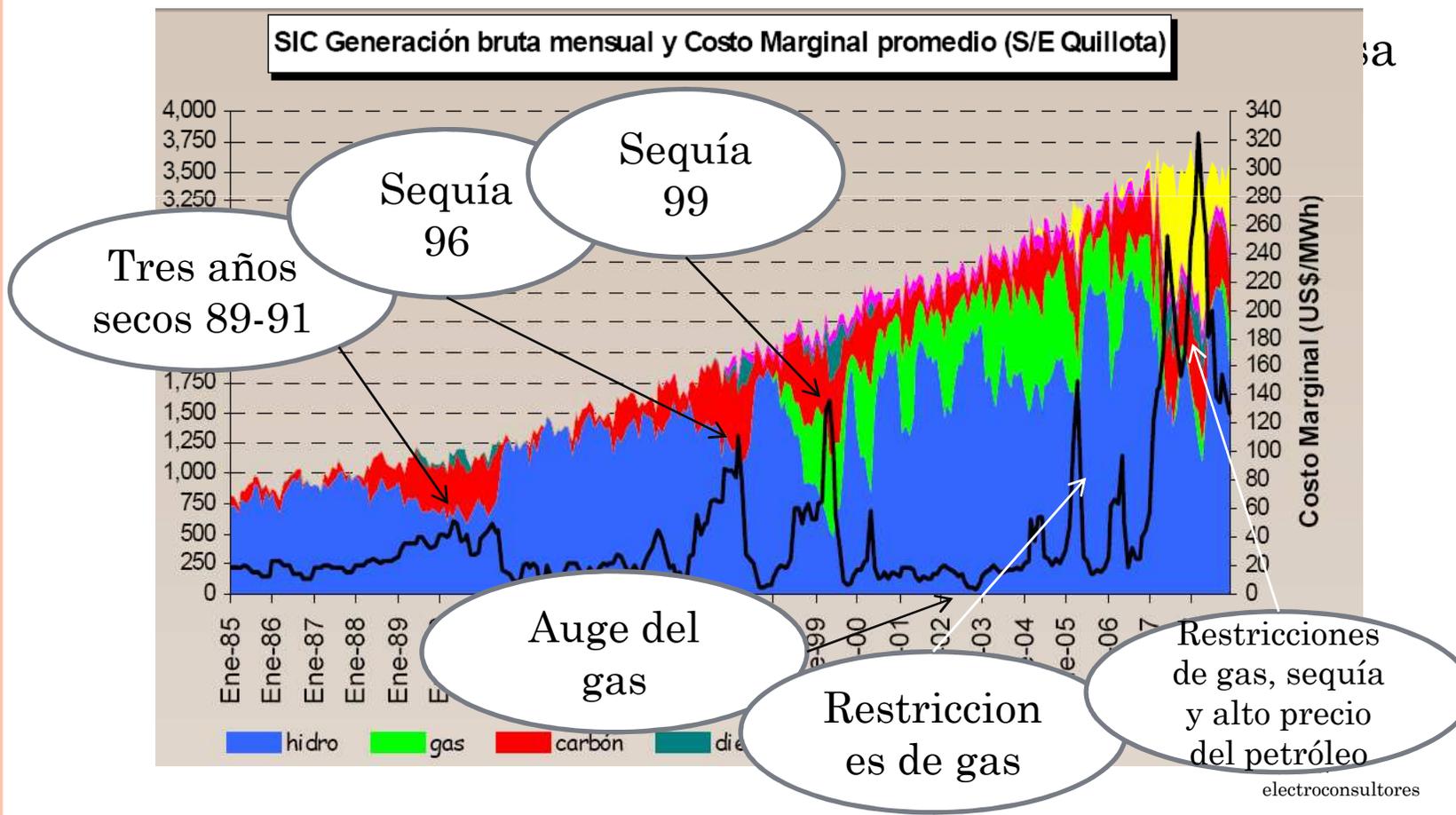
- Costos marginales del sistema: Evolución histórica y proyecciones.





EL NEGOCIO ELÉCTRICO

- Costos dependen en gran medida de la hidrología del sistema.





AGENDA

- Generalidades
 - Características de un SEP
 - Demanda eléctrica
 - Centrales hidráulicas
 - Operación económica del sistema.
- El Negocio Eléctrico
 - Segmentos
 - Mercado spot y mercado de contratos
 - Costos marginales del sistema
- Marco Legal
 - Desarrollo legislativo
 - Mecanismos de fomento ERNC en el mundo
 - Ley ERNC en Chile

MARCO LEGAL



○ Leyes

- N° 2.224/1978 Crea la Comisión Nacional de Energía
- DFL N°1/1982 Ley General de Servicios Eléctricos
- N° 18.410/1985 Crea la Superintendencia de Electricidad y Combustibles
- N° 19.613/1999 Modifica la SEC y Art. 99 bis del DFL N° 1/82
- N° 19.940/2004 Ley Corta 1
- N° 20.018/2005 Ley Corta 2
- N° 20.257/2008 Ley ERNC
- DFL N°4/2007 Texto refundido, coordinado y sistematizado del DFL N°1/1982



MARCO LEGAL

- Mecanismos de fomento a las ERNC (I)
 - Europa: Feed in tariffs

Evaluación central Eólica **PARQUE EOLICO PUNTA COLORADA**

Datos técnicos	
Potencia Instalada	20MW
Potencia Firme	20%
<i>Potencia firme reconocida</i>	4MW
Indisponibilidad	69%
<i>Potencia media disponible</i>	6,2MW
Datos Comerciales	
Precio Venta Potencia	8,5 US\$/KW-mes
Precio Venta Energía	90,2 US\$/MWh
Bonos de Carbono	10,6 US\$/MWh
Costos de Inversión y Operación	
Inversión	2.000 US\$/kW
Precio Combustible	US\$/UF
Consumo Especifico	UF/MWh
Costo variable no combustible	7,0 US\$/MWh
<i>Costo Variable</i>	7,0 US\$/MWh
Costo Fijo anual	2,5% de la Inversión
Consideraciones Evaluación Económica	
Vida útil	20 Máximo 50
Vida útil depreciación	20
Valor residual Instalaciones	0%
Tasa de Impuestos	17%
Tasa de descuento	8%
VPN (kUS\$)	0

0,749	tCO2/MWh (reduccion de emisiones)
10	Euros/tCO2 (1 bono de carbon)
14,1	USD/tCO2
10,6	US\$/MWh Ingresos por Bonos de Carbono

Ingeniero Daniel Garrido



MARCO LEGAL

- Mecanismos de fomento a las ERNC (II)
 - Europa: Feed in tariffs

Evaluación central minihidro **BALALITA**

Datos técnicos	
Potencia Instalada	10,49 MW
Potencia Firme	50%
<i>Potencia firme reconocida</i>	5,245 MW
Indisponibilidad	24%
<i>Potencia media disponible</i>	7,9724 MW
Datos Comerciales	
Precio Venta Potencia	8,5 US\$/KW-mes
Precio Venta Energía	34,0 US\$/MWh
Bonos de Carbono	10,6 US\$/MWh
Costos de Inversión y Operación	
Inversión	1.900 US\$/kW
Precio Combustible	US\$/UF
Consumo Especifico	UF/MWh
Costo variable no combustible	2,0 US\$/MWh
<i>Costo Variable</i>	2,0 US\$/MWh
Costo Fijo anual	2,5% de la Inversión
Consideraciones Evaluación Económica	
Vida útil	20 Máximo 50
Vida útil depreciación	20
Valor residual Instalaciones	0%
Tasa de Impuestos	17%
Tasa de descuento	12%
VPN (kUS\$)	-0

0,749	tCO2/MWh (reduccion de emisiones)
10	Euros/tCO2 (1 bono de carbon)
14,1	USD/tCO2
10,6	US\$/MWh Ingresos por Bonos de Carbono

Ingeniero Daniel Garrido



MARCO LEGAL

- Mecanismos de fomento a las ERNC (III)
 - Guatemala: Incentivos tributarios
 - Exención de impuestos a la importación de equipos
 - Exención por 10 años del impuesto a la renta
 - Chile
 - Ley 20.257
 - Sistema de cuotas de energía renovable.
 - Ley sobre retiros de energía (ventas de energía)
 - 5% 2010-2024
 - Incrementa 0,5% anual hasta alcanzar un 10% el año 2024.