

fcfm

Generación de Energía Eléctrica con Fuentes Renovables

EL-600

Modulo Energía Eólica



Semestre Primavera 2009

Ing. Keith Watt Arnaud

Objetivos

Al final de esta unidad el estudiante deberá:

1. Identificar las principales variables del recurso viento.
2. Cuantificar y dimensionar los principales aspectos de un proyecto de generación eólica.
3. Entender las ventajas y desventajas de un parque generador

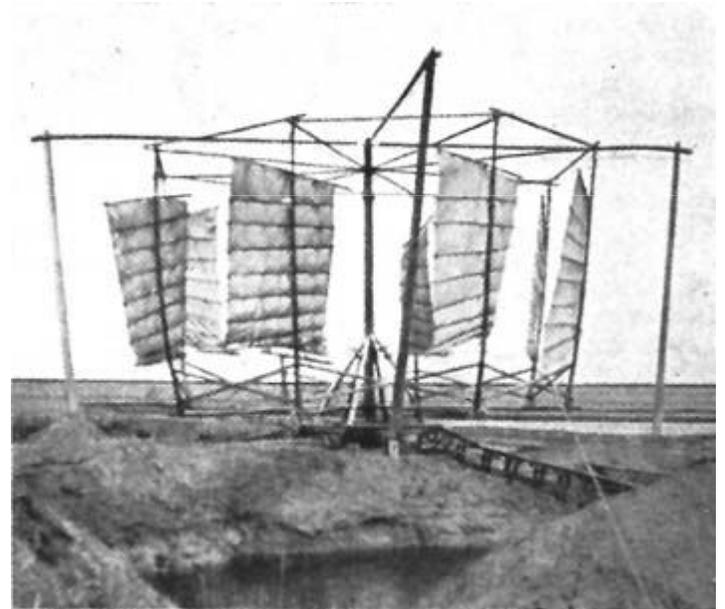


1. Desarrollo Histórico de la Generación Eólica



El Viento y las Antiguas Civilizaciones

- Según Historiadores los Primeros Molinos de Viento provienen del Oriente
 - Mesopotamia 1700 A.C.
 - » Eje Vertical
 - » Uso en Riego
 - China 1000 A.C.
 - » Eje Vertical
 - » Multi-direccionalidad
 - Sri Lanka 300 A.C.
 - » Usado para generar Calor
 - » Temperaturas hasta los 1000 °C



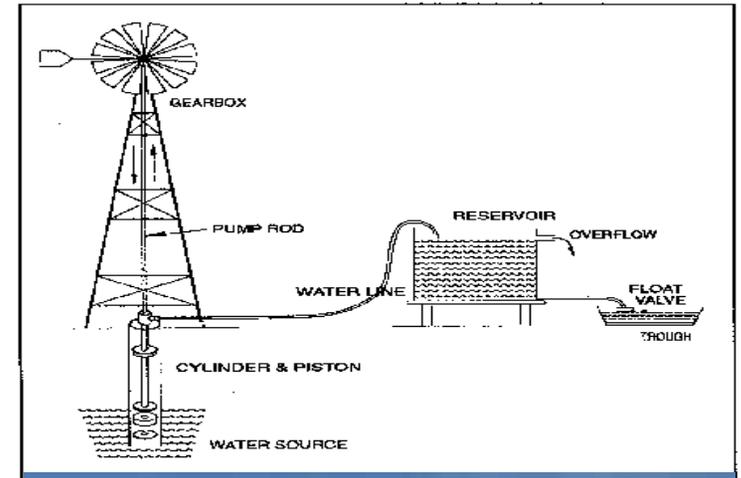
Los Comienzos en Europa

- Los Molinos de Eje Horizontal
 - Fueron Desarrollados en Europa
 - **Primeros fueron los Ingleses & Franceses**
 - » 1100 D.C
 - » Uso para la Molienda
 - **Luego fue desarrollado por el Resto de Europa**
 - » 1200 D.C Holanda y Alemania
 - » 1300 D.C Polonia y Rusia
 - » 1300 D.C Sur de Europa



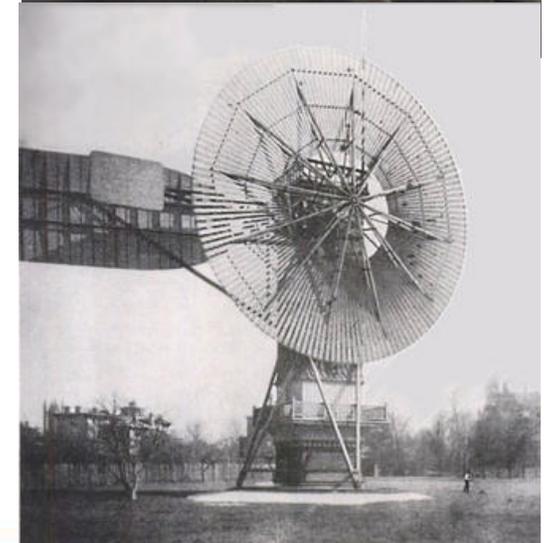
Estados Unidos y las Turbinas de Bombeo

- Estados Unidos Desarrolla las primeras Turbinas Metálicas en el siglo 19.
 - Usados para la extracción de Agua profunda
 - Permitieron el desarrollo e irrigación del centro de Estados Unidos
 - **Creándola en una Potencia agrícola**



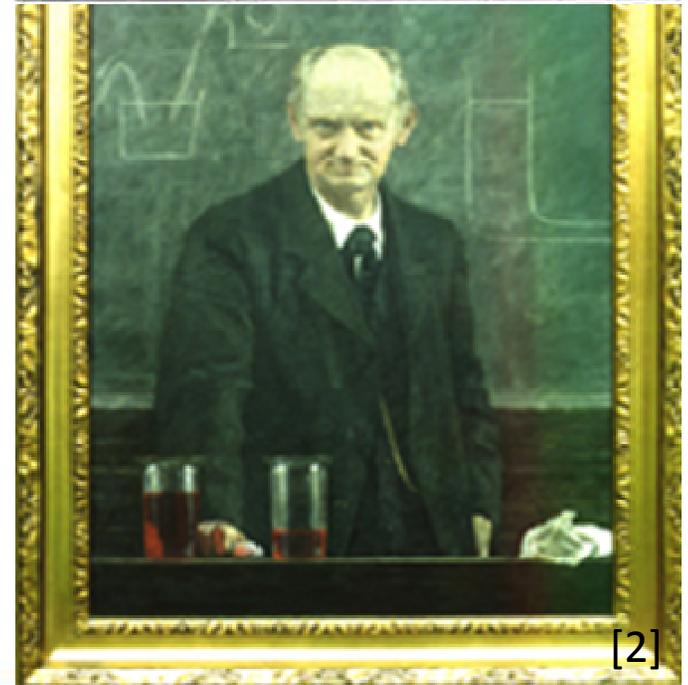
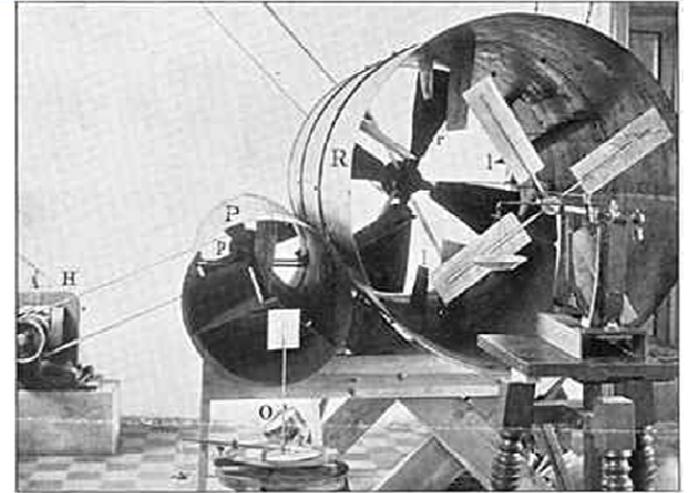
El Pionero de la Generación Eléctrica con Viento

- 1887-1888
 - Charles Brush Construye la primera turbina eólica completamente automatizada
 - Dinamo Eficiente
 - 12 kW
 - 144 Aspas de madera de Cedro
 - Diámetro de 17 m
 - Vida útil de 20 años
 - Usado para cargar las baterías de su mansión



El Viento y la Generación Eléctrica

- Primer Desarrollo Masivo para Generación de Electricidad.
 - Principio del Siglo 20
 - **El Danés Poul La Cour**
 - Máquinas de Corriente Continua
 - Almacenamiento en Baterías
 - Usado para crear hidrogeno y oxigeno.
 - Creo los primeros Túneles de Viento
 - **Grandes Avances en Aerodinámica**
 - **Descubrió que para Generar Electricidad**
 - Menos aspas -> Mayor Eficiencia



[2]

El Viento y la Generación Eléctrica

- 1919 Albert Betz determina límite teórico de la potencia eólica
 - **59 % de máxima extracción**
- Desarrollo de la Generación Eléctrica se estanca hasta segunda Guerra Mundial
 - **Bajos precios del petróleo**
- 1956-57 Johannes Juul crea primera turbina Eólica de Corriente Alterna
 - **200 kW**
 - **Generador de Inducción**



El Viento y la Generación Eléctrica

- Crisis del petróleo de 1973 y 79 Promueve el desarrollo mundial de energías renovables en el mundo
- 1980 Carpintero Danés C. Riisager Construye turbina de 22 kW
 - Impulsando la industria Danesa de turbina Eólicas.
- 1986 Primer Parque marítimo en Ebeltoft, Dinamarca (11x55 kW)



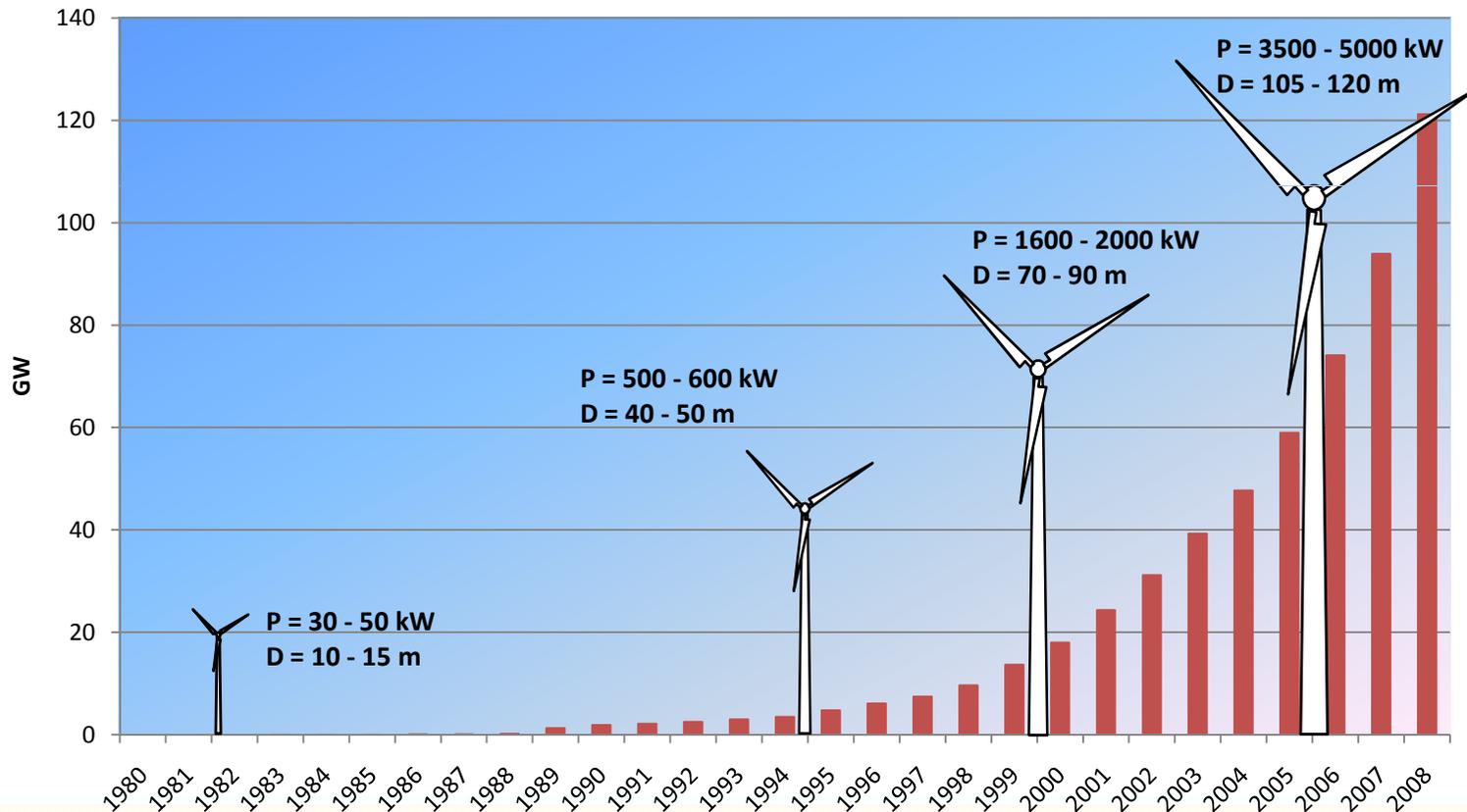
Comienzos de la Industria Eólica

- Dinamarca
 - Es el primer país en desarrollar turbinas eólicas en serie de 33 a 55 kW. (radios de 10 a 15 m)
 - **Subsidio fiscal promueve e incentiva el desarrollo.**
- Alemania
 - Desarrollo lento durante los 80
 - 1991 el EFL (Electricity Feed law) el gran incentivo
 - **Garantizaba acceso a Red**
 - **Tarifa fija de generación**
 - En 2000, REL (Renewable Energy Act)
 - **Fomenta desarrollo de parques inland**
 - **Crea marco legal para instalaciones offshore**

Crecimiento de la Energía Eólica

- Gran Crecimiento Mundial especialmente durante los 90

Capacidad Eólica Mundial Instalada



Crecimiento de la Energía Eólica

- Uso de subsidios y tarifas especiales incentivó la instalación de Centrales de Energía Eólica y otras ERNC.
- Dos Tipos de Esquemas de Subsidio
 - Sistema Feed in Tariff
 - Sistema de Cuota

Crecimiento de la Energía Eólica

- Sistema Feed in Tariff
 - El Gobierno paga un Precio Fijo por cada MWh generado
 - Precio se define tal de que pague la inversión en un cierto plazo
 - Países Como Dinamarca, Alemania y España lo aplicaron
 - Estos Países poseen los mayores niveles de penetración
- Sistema de Cuota
 - El Gobierno fija una cantidad de MWh que deben generarse a base de ERNC por Ley.
 - Se crea un mercado de certificado de Generación ERNC
 - Inglaterra, Italia y Suecia algunos de los países que lo Implementaron
 - Básicamente la Multa fija el Precio de Incentivo para generar en ERNC



2. Desarrollo en Chile

La Ley y el Mercado Eléctrico

Nociones Básicas

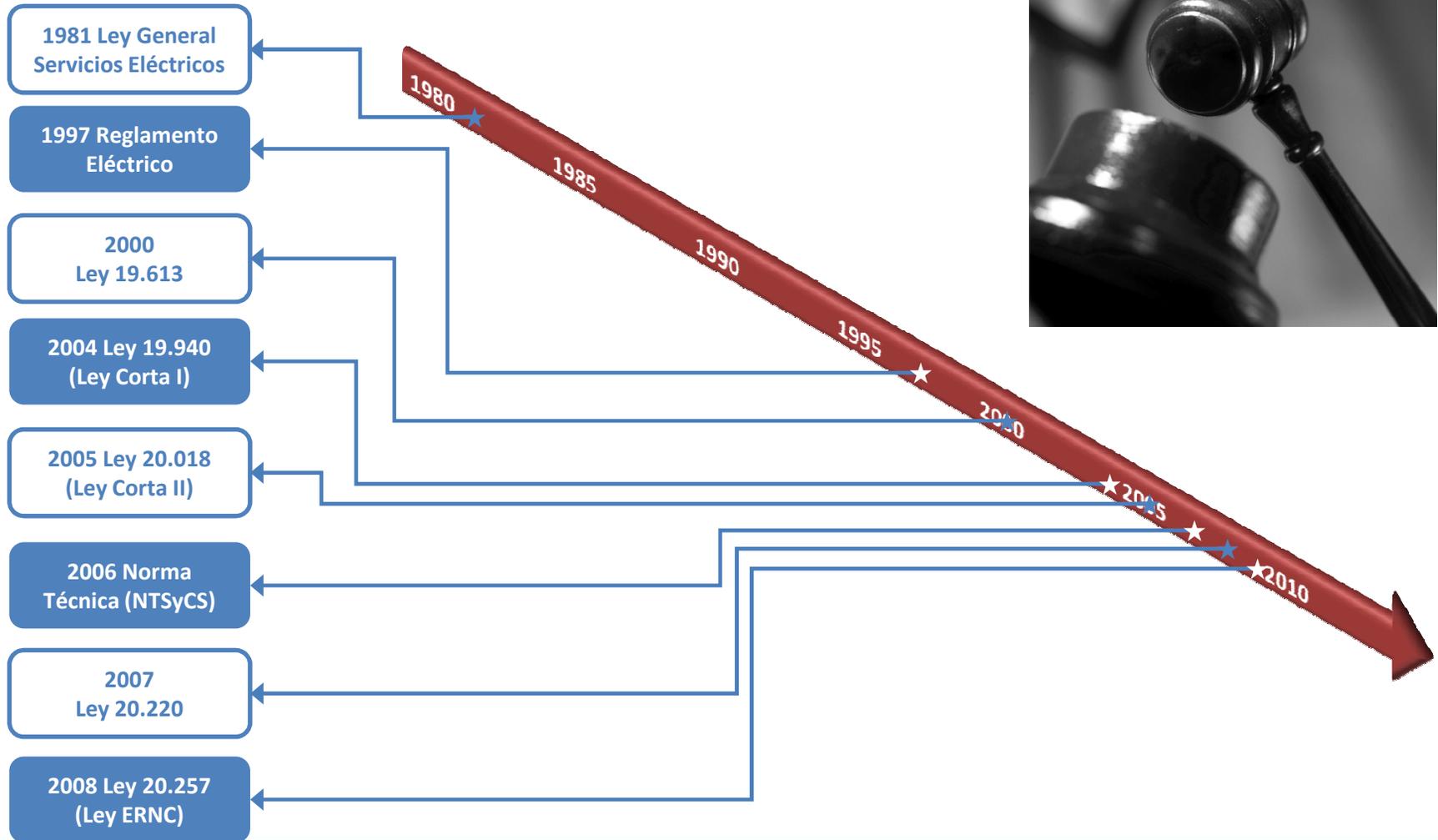


La Legislación

- Chile ha tenido grandes cambios normativos y regulatorios a su Legislación de Servicios Eléctricos.
 - Primer País Mundial en Privatizar el Sistema Eléctrico

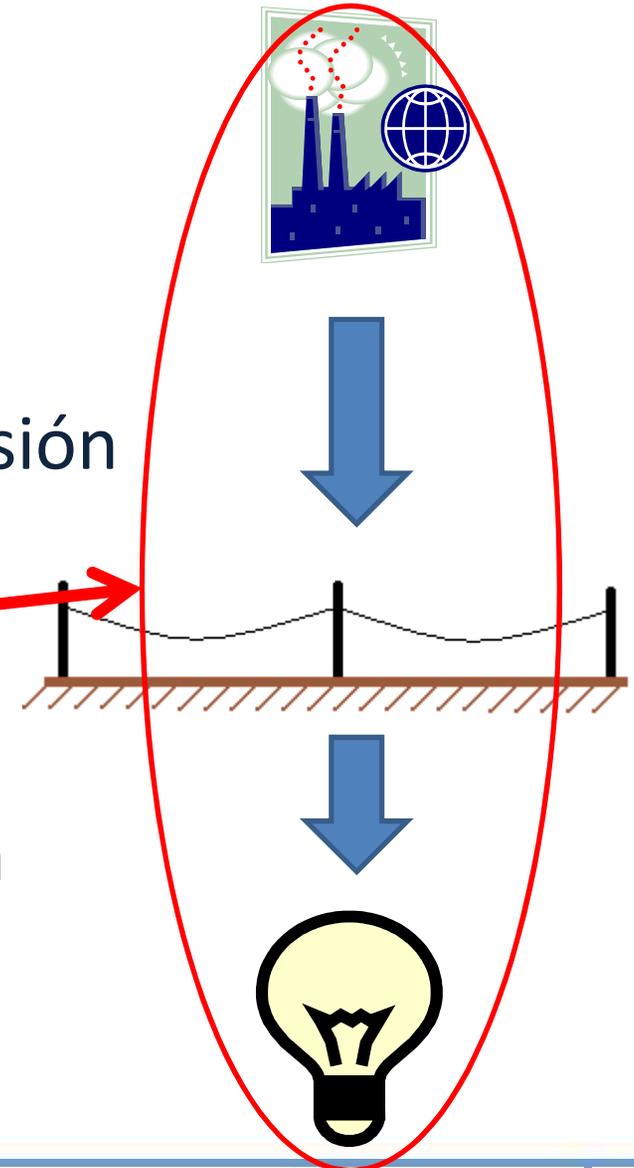


La Ley Eléctrica y sus Grandes Cambios



Ley General de Servicio (LGSE)

- Privatización del Sector Eléctrico Chileno
- Desintegración Vertical de segmentos Generación, Transmisión y Distribución
 - No puede haber un solo dueño
- Introducción de Competencia en Segmento Generación



Ley General de Servicio (LGSE)

- Creación de Mercados de Contratos de Suministro
- Operación a Mínimo Costo Global
- Creación del CDEC-SIC
 - Centro de Despacho
 - Empresa que determina la operación del sistema velando por:
 - La seguridad
 - La Calidad
 - Al menor costo operacional posible



Reglamento Eléctrico (DS N°327)

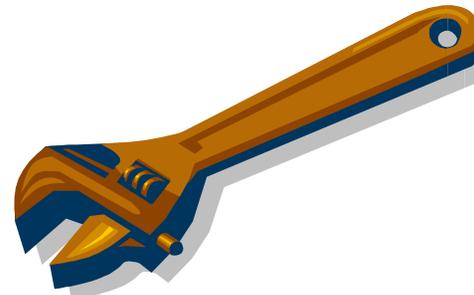
- Establece las condiciones Legales, Técnicas y Comerciales, para:
 - Concesiones de Servidumbre
 - Tarificación
 - Conexión al sistema
 - Operación
 - Etc.



“El manual del Buen Comportar Eléctrico”

Ley 19.613 (99 bis)

- Decreto de Racionamiento
 - Racionamientos por
 - Falla de Centrales
 - Hidrologías Secas



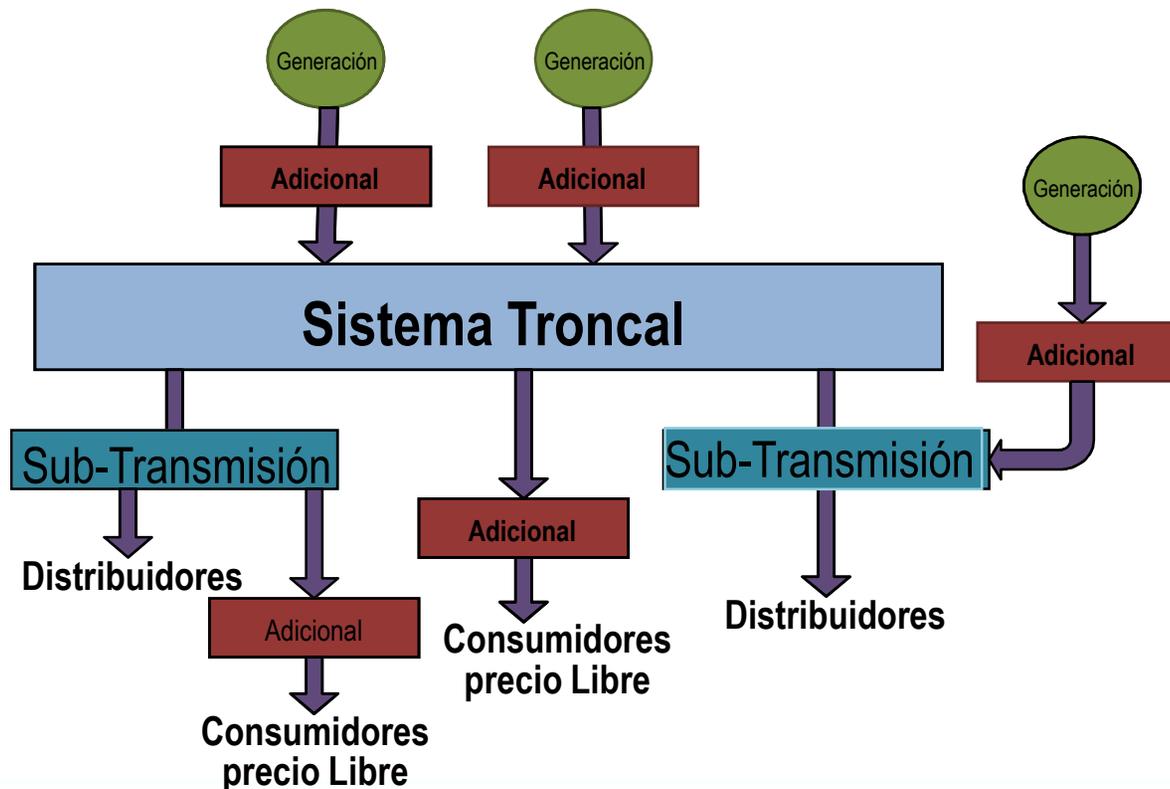
Ya no se Declaran Fortuitos

- Los generadores deberán pagar a los clientes regulados los cargos por desabastecimiento de Energía



Ley 19.940 (Ley Corta I)

- Regula Sistema de Transporte de Energía Eléctrica
 - Def. Sistemas Troncal, Adicional y Subtransmisión



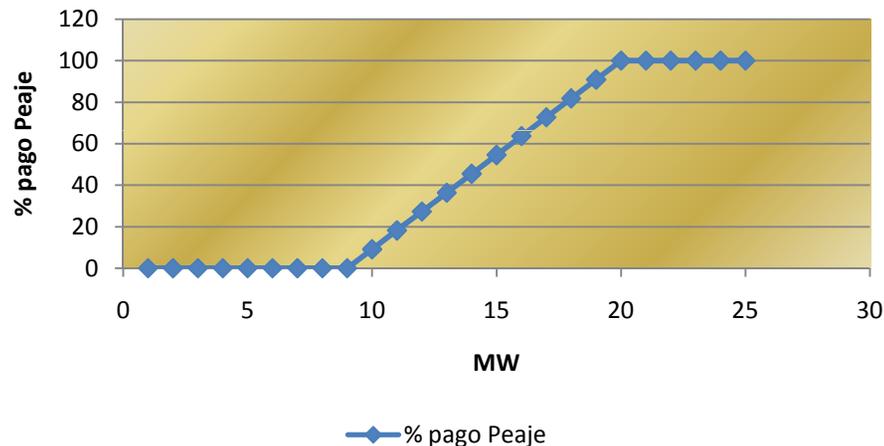
Ley 19.940 (Ley Corta I)

- Establece Nuevo régimen de tarifas Peajes
 - AVI + COMA
- Establece el Panel de Expertos
- Tarificación Sistemas Medianos (1.5 a 200 MW)
- Servicios Complementarios (Art. 91 bis)
 - Importante para ERNC
 - Aun no se preparan los reglamentos
- Operación, Peajes y acceso de pequeñas centrales

Ley 19.940 (Ley Corta I)

- Pequeñas Centrales No convencionales
 - Centrales conectadas a Subtransmisión < 20 MW
 - Exentas de pagar peajes
 - Proporcionalmente para > 9 MW

Excención de Pago de Peaje



- Centrales Conectadas a Distribución
 - Acceso permitido centrales < 9 MW
 - Obras necesarias para evacuar energía
 - Las paga el generador



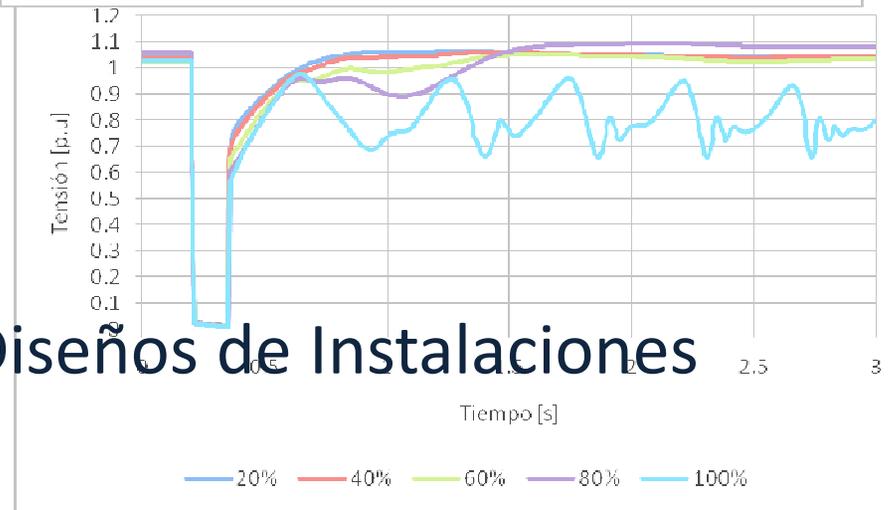
Ley 20.018 (Ley Corta II)

- Regula el Tema de la Licitaciones de Contratos de Suministro para empresas de Distribución
 - Crea el marco legal para las Licitaciones
 - Establece las restricciones para la licitaciones



Norma Técnica Seguridad y Calidad de Servicio

- Reemplaza varias Definiciones del DS 327
 - Establece Restricciones mínima de operación del sistema referente ala Seguridad y Calidad:
 - Frecuencia
 - Tensión
 - Recuperación Dinámica
 - Márgenes de Estabilidad
 - Exigencias Mínimas de Diseños de Instalaciones



Ley 20.220

- La Ley Tokman
 - Mejora el Marco Legal
 - Resguardar el suministro a Clientes Regulados en caso que Generadores se vayan a Quiebra.
 - Seguir asegurando el suministro de los clientes



Ley ERNC 20.257

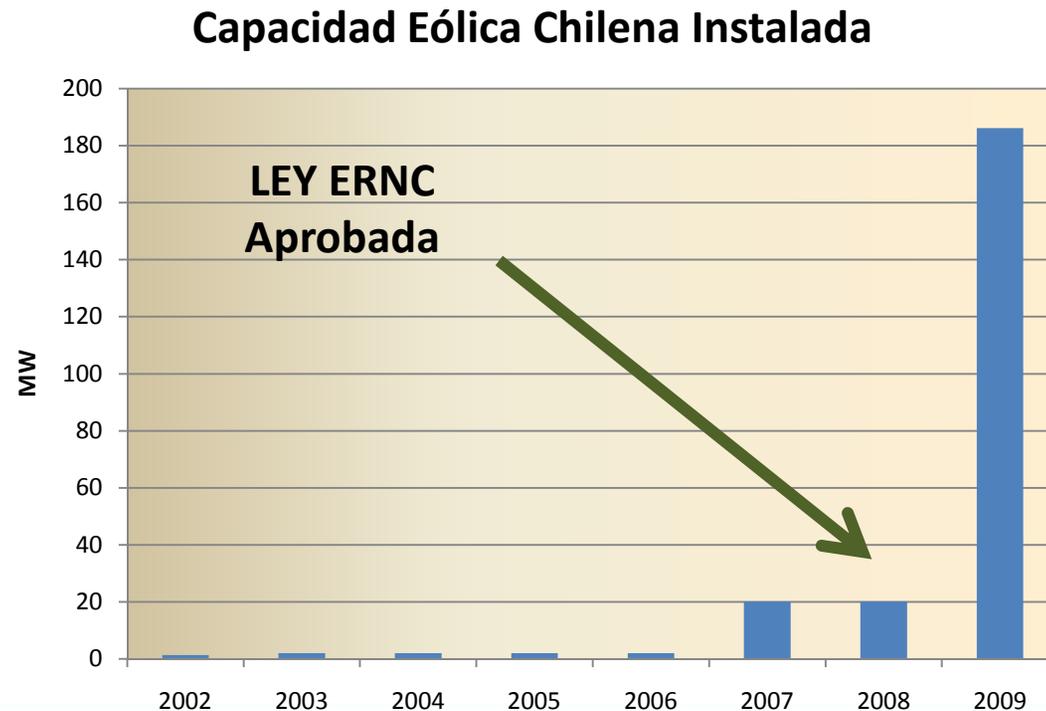
- Modifica LGSE con respecto a ERNC
 - Definiciones de energías ERNC
 - Solar
 - Eólica
 - Hidráulica de Pasada < 20 MW
 - Etc.
- Requerimientos de Generación Mínima por Fuentes ERNC
 - 5% en 2010 hasta 2014
 - Incremento de 0,5% cada año 2015 hasta 2024
 - 10% en 2024 en adelante
- Multa
 - 0,4 UTM por MWh primer año
 - 3 años de Incumplimiento es 0,6 UTM por MWh



Crecimiento Energía Eólica Chile

- Capacidad Eólica Instalada en Chile
 - Alto Bahuales (Sistema Aysen)
 - Centrales Zona Los Vilos SIC

Año	MW
2002	1,3
2003	2
2004	2
2005	2
2006	2
2007	20,1
2008	20,1
2009	186,1



Mercado Eléctrico Chileno

- Mercado Spot
 - CDEC determina la Operación a Mínimo Costo
 - **Velando por la:**
 - Seguridad & Calidad de Servicio
 - El CDEC determina:
 - **Cuando y Cuanto cada Central Genera**
 - Se Determina el Costo Marginal Horario del Sistema



Mercado Eléctrico Chileno

- Mercado de Contratos
 - Existencia de Contratos de Venta y Suministro de Energía
 - **Generadores & Consumidores**
 - Un Generador debe Cumplir su cuota de Energía Contratada Siempre
 - **Si uno no genera suficiente compra al mercado Spot**
 - **Si uno es excedentario vende al mercado Spot**



Mercado Eléctrico Chileno

- La Ganancia de un Generador es la suma de
 - Sus Ventas por Contrato
 - Sus Ventas al mercado Spot

$$\begin{aligned} \text{Ganancia} = & \text{Energía}_{\text{Contratada}} \cdot P_{\text{Contrato}} + \sum \text{Exedentes} \cdot \text{Cmg}_{\text{Spot}} \\ & - \text{Costos}_{\text{Operación}} \cdot \text{Energía}_{\text{Generada}} \end{aligned}$$

$$\text{Excedentes} = \text{Energía}_{\text{Generada}} - \text{Energía}_{\text{Contratada}}$$

Mercado Eléctrico Chileno

- Ejemplo:

- El Parque Eólico “Vientos Verdes” tiene un Contrato de Suministro de energía con el Cliente Libre “Hornos Limpios S.A.” por 240 MWh al día con un consumo horario de 10 MW.
- El PE “Vientos Verdes” Tiene un Costo de Generación de 0 US\$/MWh.
- Vientos Verdes Genero
 - » 17 MWh las primeras 8 horas del día
 - » 50 MWh entre las 9 y 18 horas
 - » 60 MWh desde las 19 hasta las 24 horas del día lunes.
- El CDEC minimizando el costo de Operación del SIC determino que los costos marginales del sistema para el día lunes fueron:
 - » 50 \$US/MWh entre las 1 y 8 horas
 - » 80 \$US/MWh entre las 9 y 18 horas
 - » 120\$US/MWh entre las 19 y 24 horas

Mercado Eléctrico Chileno

1. ¿Cuál fue la Ganancia del Parque Eólico Vientos Verdes?
2. ¿Fue Conveniente Hacer el Contrato de Suministro?
3. ¿Cual es la Ventaja de Hacer un Contrato de Suministro?