

# El Mercado de Electricidad

Marcelo Tardío A.



## El Mercado Eléctrico

- El mercado es un lugar físico en el cual se juntan compradores y vendedores para realizar transacciones.
- En todos los mercados existe un **pago único** por el bien o servicio realizado, traducido en el precio pagado por el propio bien o servicio.



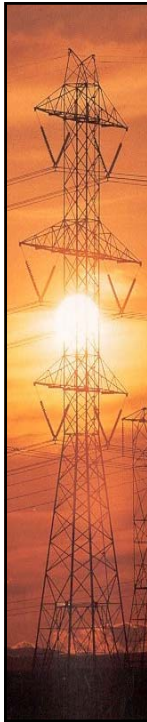
## El Mercado Eléctrico

- Existen diversas estructuras de mercados, desde mercados de **competencia perfecta** hasta los mercados que se constituyen en **monopolios**.
- Por ejemplo un mercado de jabones, es un mercado competitivo, ya que el precio no es fijado por los compradores y vendedores, sino por el propio mercado en sí.



## El Mercado Eléctrico

- En este mercado, nadie paga una **tasa fija** a las empresas para que siempre existan jabones en el mercado.
- La dinámica de un mercado competitivo es elevada



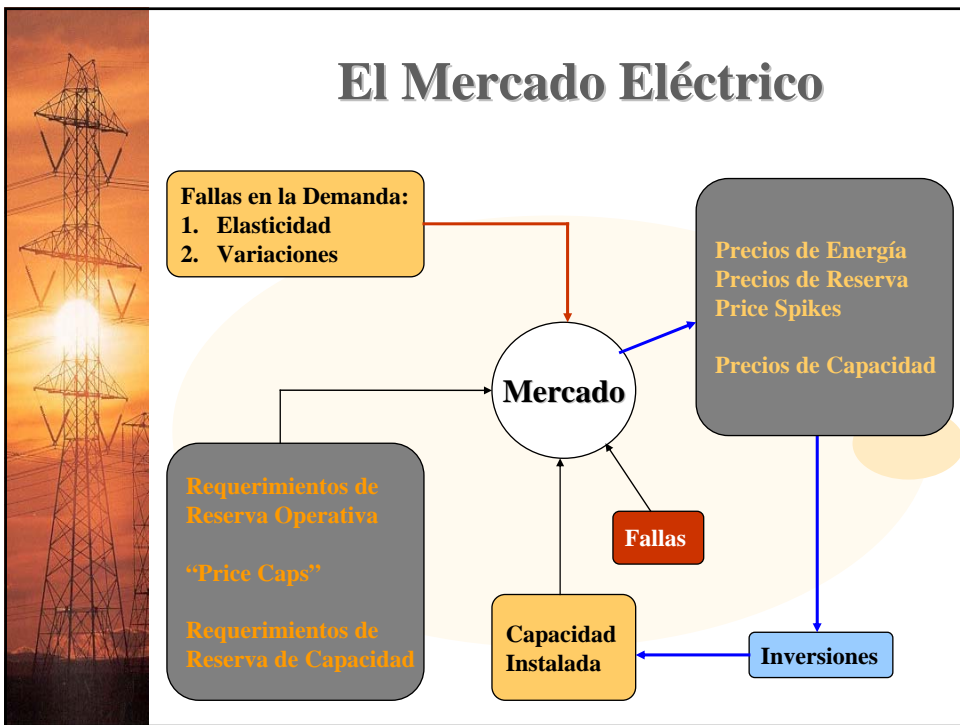
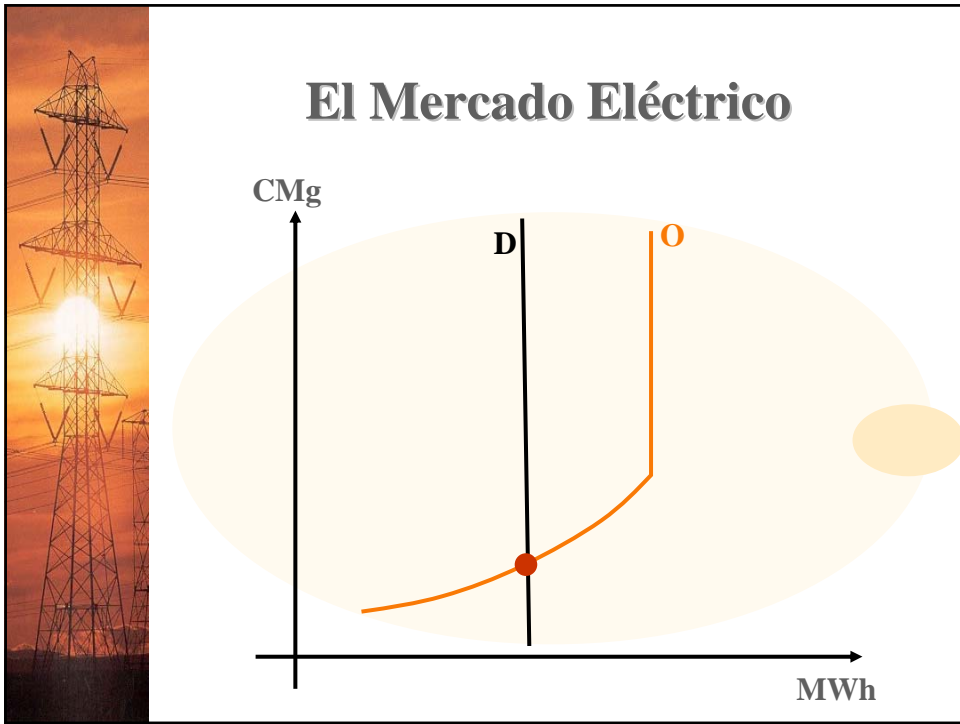
## El Mercado Eléctrico

- Las características de un mercado competitivo pueden ser resumidas en:
  - Muchos compradores.
  - Muchos vendedores.
  - El precio es fijado por el mercado y no por la influencia de unos pocos compradores o vendedores.
  - Si el precio es elevado, un comprador puede escoger fácilmente otro proveedor.
  - Puede consumir una menor cantidad o dejar de consumir (elasticidad de la demanda).
  - Existe información perfecta.



## El Mercado Eléctrico

- ¿Cuáles son las características de un mercado eléctrico?
  - Bien homogéneo.
  - Baja o nula elasticidad de la demanda.
  - Curva de oferta limitada en el lado derecho.
  - Curva de demanda prácticamente vertical.
  - Balance perfecto instantáneo entre la Oferta y la Demanda.





## El Mercado Eléctrico

- Como en todo mercado, el mercado eléctrico debería tener un solo precio
- Se debería pagar el precio de la energía en \$/MWh.
- Esto significa que cuando exista sobreoferta de capacidad instalada, el precio debería bajar.
- Si no existe capacidad suficiente, es decir escasez como cualquier otro bien, el precio debería subir.



## El Mercado Eléctrico

**Este es denominado:**

**Mercado de  
Solamente Energía**



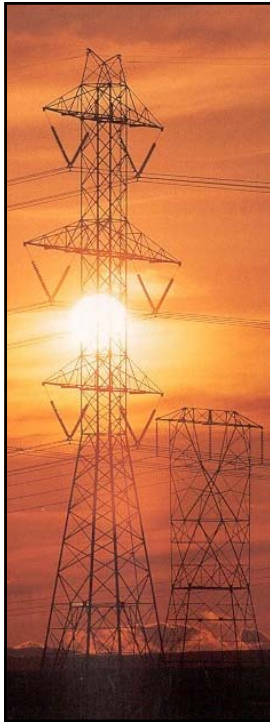
## El Mercado Eléctrico

- Hasta cuánto debería subir el precio de la electricidad?
- Hasta qué precio usted pagaría por un bien escaso y que lo necesita?
- Nótese que la valoración es totalmente **subjetiva**.
- Cada persona le “**da un valor**” diferente a un bien o servicio, basado en su perspectiva personal.



## El Mercado Eléctrico

- Bueno y cómo coordinamos para que esto ocurra?
- Para que cada uno pague hasta el precio a que **está dispuesto a pagar**?
- Debido a la estructura actual del mercado, no se puede tomar estas decisiones individualmente por los usuarios, por lo que, esta toma de decisiones debe estar necesariamente centralizada.
- Generalmente la toma el Operador del Mercado



## Fallas de la Demanda



## Fallas de la Demanda

- Las fallas de la demanda se resumen en:
  1. **Elasticidad**: Prácticamente no existe elasticidad en la demanda eléctrica.
    - Si uno va al mercado conoce el producto y su precio de mercado (información perfecta).
    - Si para la persona está muy caro no lo compra
    - Como saber el precio de la electricidad en el momento de consumir?
    - Deberíamos tener medidores on-line en nuestros domicilios.
    - Existen barreras tecnológicas que no lo permiten



## Fallas de la Demanda

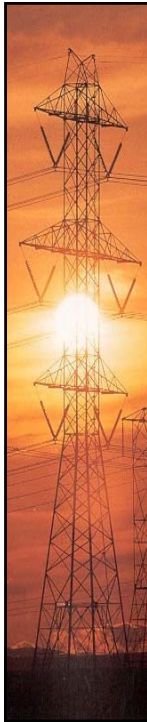
- Esta primera falla de la demanda hace que los consumidores **no respondan** ante la variación de precios de la electricidad.
- Esto es, ante la escasez, y por lo tanto precios altos, el consumo permanecerá igual.



## Fallas de la Demanda

2. **Variabilidad**: Esta característica se refiere a la variabilidad de la demanda:
  - Se produce exactamente lo que se consume
  - No existe almacenamiento de electricidad
  - Se debe comprar la electricidad en tiempo real
  - Debido a la variabilidad, los consumidores no pueden hacer contratos a largo plazo
  - Puede existir una gran demanda y ocasionar problemas.





## Fallas de la Demanda

- Debido a esta “falla de la demanda” es que debe necesariamente existir una **regulación de precios** en la parte competitiva.
- Caso contrario, el precio techo que se pagaría ante la escasez de oferta sería infinito y mucha gente no estaría dispuesta a pagarlo.
- Debe existir una política regulatoria al respecto, para limitar hasta qué precio se debe comprar electricidad y por tanto mantener la confiabilidad del sistema.



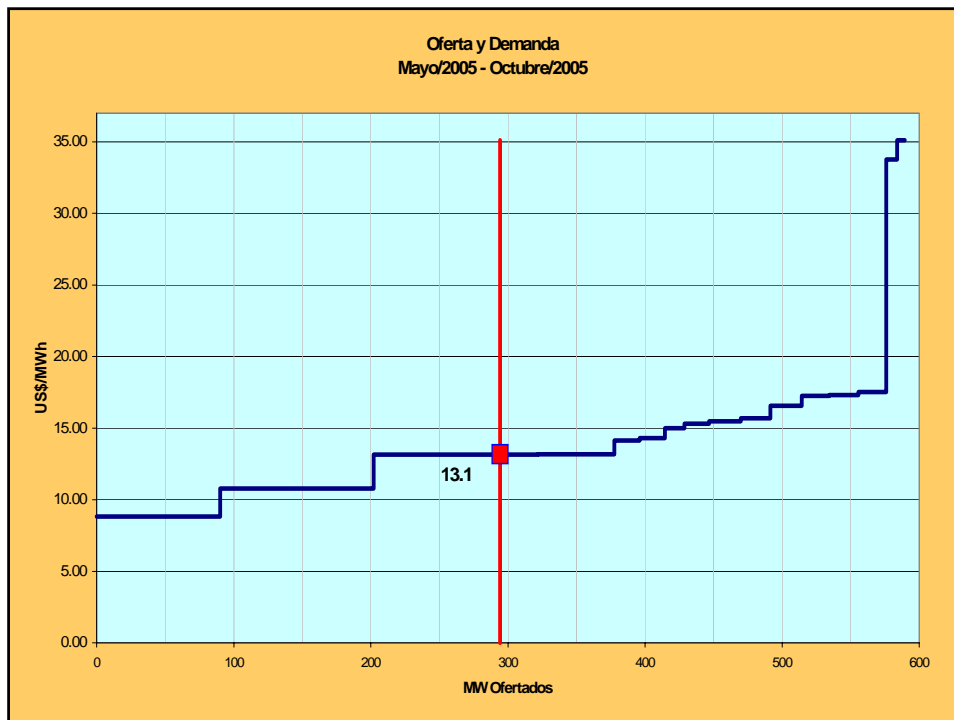
## Fallas de la Demanda

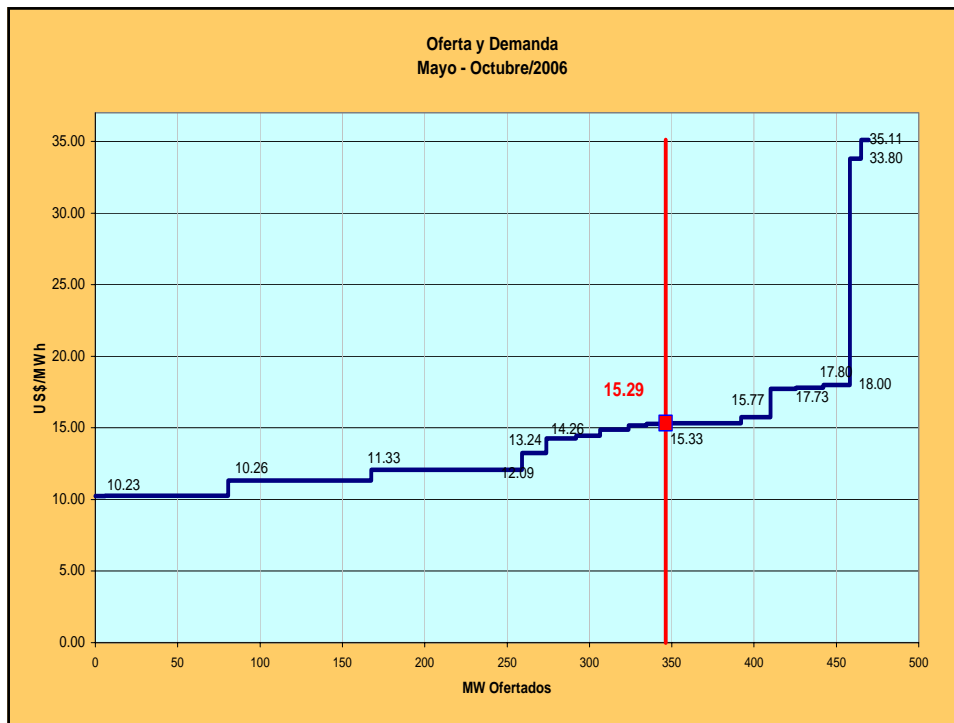
**Es necesaria una intervención  
y  
Regulación de Precios**



## Fallas de la Demanda

- Podemos entonces fijar un precio techo en el mercado mayorista, por ejemplo 300\$us/MWh.
- O el precio de la máquina más cara del sistema, a la temperatura media, actualmente es de 38.91 \$us/MWh para el bloque de punta que incluye la Reserva Rodante de 10%.
- Con Reserva del 19% en el Bloque Bajo es de 43.05 \$us/MWh
- Su precio sin Reserva, a plena capacidad es de 35.11 \$us/MWh






## Fallas de la Demanda

- El nivel techo será el apropiado?
- El nivel será el óptimo para la sociedad en su conjunto (empresas y consumidores)?
- Se debe buscar fijar un techo que sea:
  - óptimo
  - fomente la inversión
  - proporcione confiabilidad al sistema



## Fallas de la Demanda

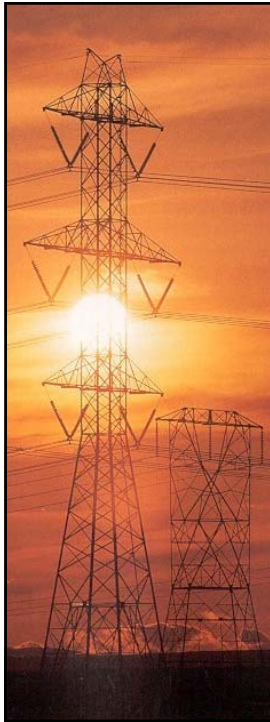
- Al tratarse de un mercado netamente competitivo, esta intervención debe ser la mínima posible.
- Cuál es la política de intervención de precios que:
  - Permite la menor intervención en los precios al mercado
  - Produce un aceptable nivel de confiabilidad en el sistema?
  - Establezca un techo óptimo?



## Fallas de la Demanda

Establecer el Precio Techo  
del Mercado  
igual al  
VOLL

(Value-of-Lost-Load)

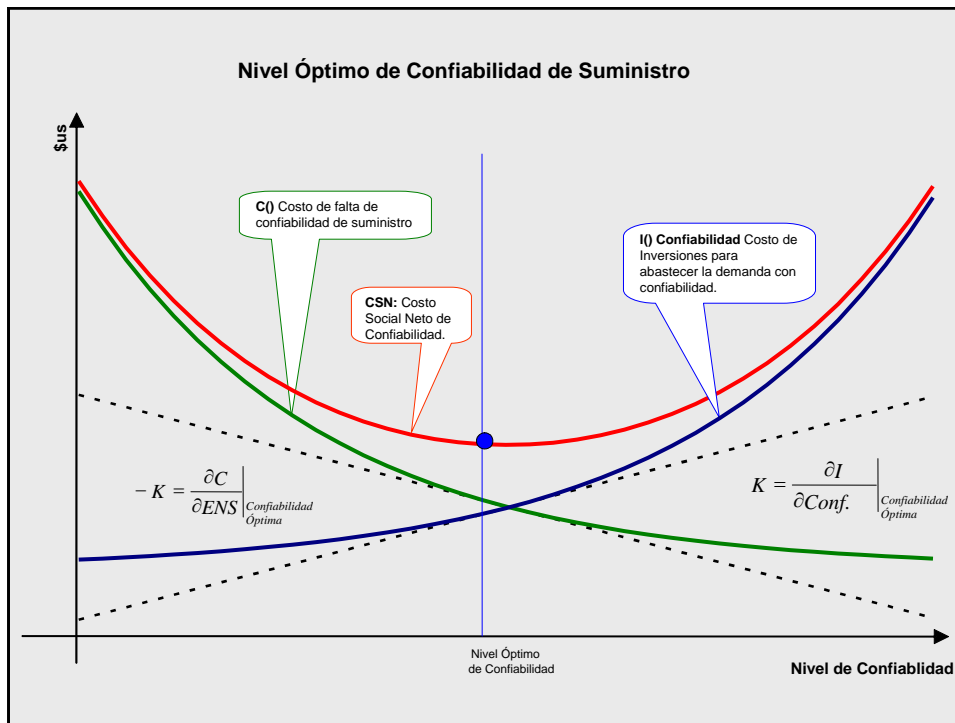



## Value of Lost Load



## VOLL

- Este valor representa el Costo de Falla.
- Representa cuanto todos los consumidores del SIN están dispuestos a pagar para tener electricidad con un determinado nivel de confiabilidad.
- Es un valor que se determina a través de métodos directos e indirectos y que debe representar al conjunto de los consumidores (residenciales, comerciales industriales).





## VOLL

- El Costo Marginal de mejorar la confiabilidad de suministro aumenta a medida que el nivel de inversiones aumenta.
- Cuanto mayor sea el nivel de confiabilidad de suministro, más costará mejorarla.
- Para un nivel inferior al Nivel Óptimo, el CMg será siempre inferior a K y existirán incentivos a invertir, ya que los beneficios serán mayores a la inversión a realizarse.



## VOLL

- El beneficio marginal que obtienen los clientes por la mejora de confiabilidad de suministro, decrece a medida que la confiabilidad aumenta.
- Si el nivel de confiabilidad es inferior al Nivel Óptimo, el beneficio marginal será siempre superior a K y existirá por parte de los clientes incentivos a pagar más para que mejore la confiabilidad de suministro.
- Desde el punto de vista social, es rentable invertir hasta llegar al Nivel Óptimo, a partir del cual el costo de mejorar es superior al beneficio que se obtiene.



## VOLL

- Para fijar este valor se debe tener en consideración:
  1. El **valor** del VOLL, lo cual da la magnitud del precio pico
  2. **Cuándo** se activará dicho valor, lo cual indirectamente da la duración de estos valores
- Estos valores deben ser fijados por el normador y/o regulador y constituyen parte de la política de **confiabilidad e inversiones**.



## VOLL

### VALOR:

- El VOLL adoptado en varios países tiene diversos valores de acuerdo con las preferencias de los consumidores y su disposición a pagar para contar con suministro de electricidad.
- Se fijó recientemente en Holanda en 8000 \$us/MWh
- Tiene el valor de 16000 \$us/MWh en Australia
- Tiene un valor escalonado en Brasil que va desde 600 hasta 2000 \$us/MWh
- En Bolivia se adoptó el valor de 1500 \$us/MWh

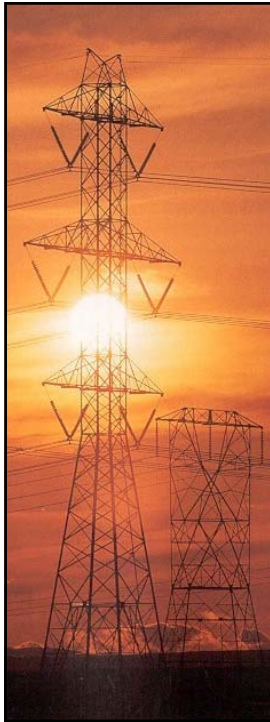


## VOLL

### DURACIÓN:

- Determinada por la condición de activación de este precio.
- Generalmente se activa cuando la demanda supera la oferta y el Operador del Sistema va a cortar carga.
- Este es el punto de indiferencia, al usuario le da lo mismo que le corten el suministro o pagar el valor del VOLL el cual está “dispuesto a pagar”.



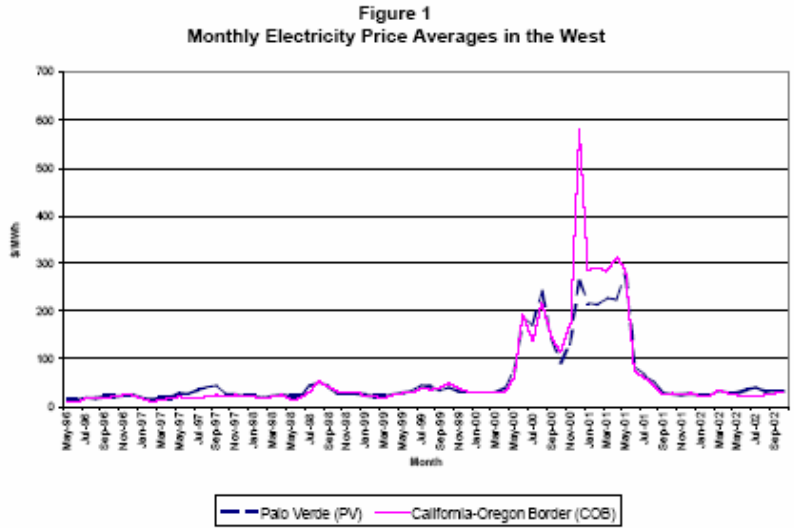


## Price Spikes

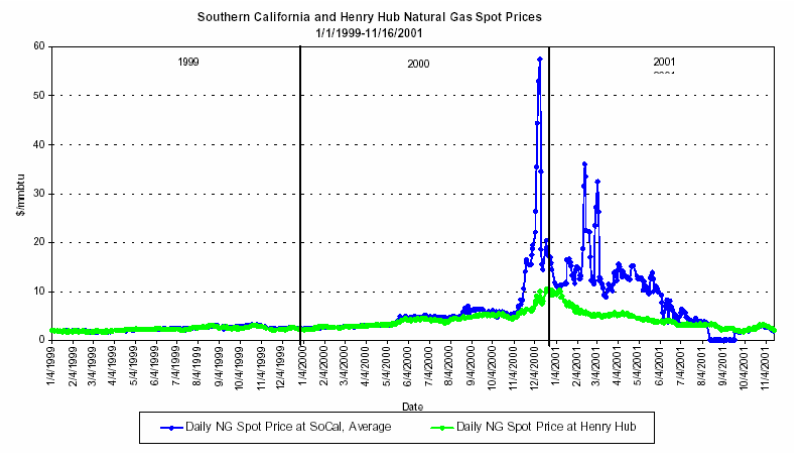


## Price Spikes

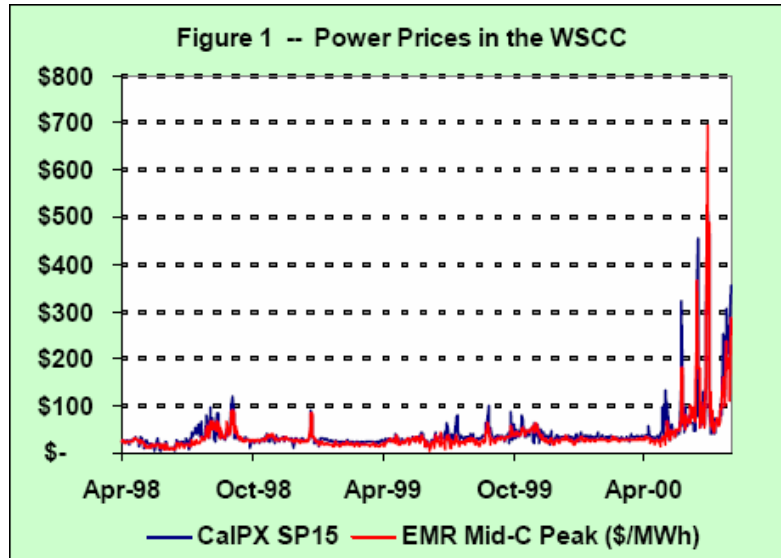
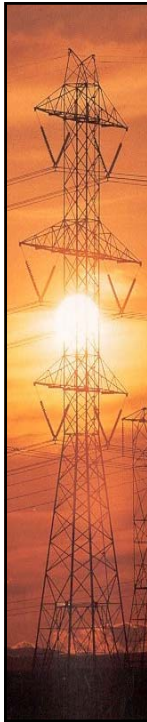
- Los Price Spikes son el resultado de aplicar la política anterior en un Mercado de Solamente Energía (para el caso de análisis).
- Son precios sumamente elevados que ocurren reflejando la escasez de oferta en el mercado.



**Price Spikes en California**



**Price Spikes en California**



## Price Spikes

- Al fijar estos precios tan elevados ante la escasez, qué gana el generador?
- Gana más de lo que debe?



## Price Spikes

- En un mercado competitivo, el Precio está fijado por el Costo Marginal del Sistema.
- La teoría económica indica que el óptimo ocurre cuando el precio de un bien o servicio en el mercado, es el Costo Marginal del mismo.



## Price Spikes

- Los costos totales son:

$$CT = CF + CV$$

- El Costo fijo no cambia aún cuando la producción es cero.
- Las empresas no tienen control sobre los costos fijos en el corto plazo, por esto a veces se los llama irrecuperables.



## Price Spikes

- Los **Costos Variables** (CV) son los costos que solo varían con el nivel de producción.
- El costo de la producción adicional depende directamente de los insumos que se requerirán y su costo correspondiente.
- En los análisis económicos se considera ya que la utilidad ya está considerada dentro de los Costos.



## Price Spikes

- El Costo Marginal es el incremento del Costo Total como resultado de la producción de una unidad adicional de producto.
- El CMg se define:

$$CMg = \frac{\partial CT}{\partial q} = \frac{\partial CF}{\partial q} + \frac{\partial CV}{\partial q}$$

$$CMg = \frac{\partial CV}{\partial q}$$



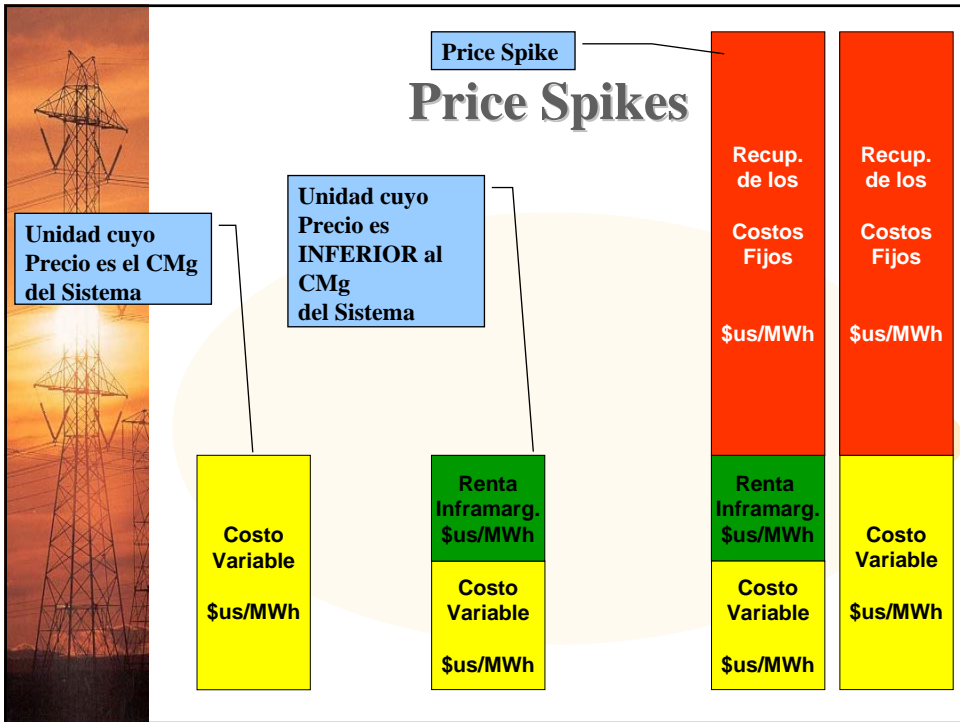
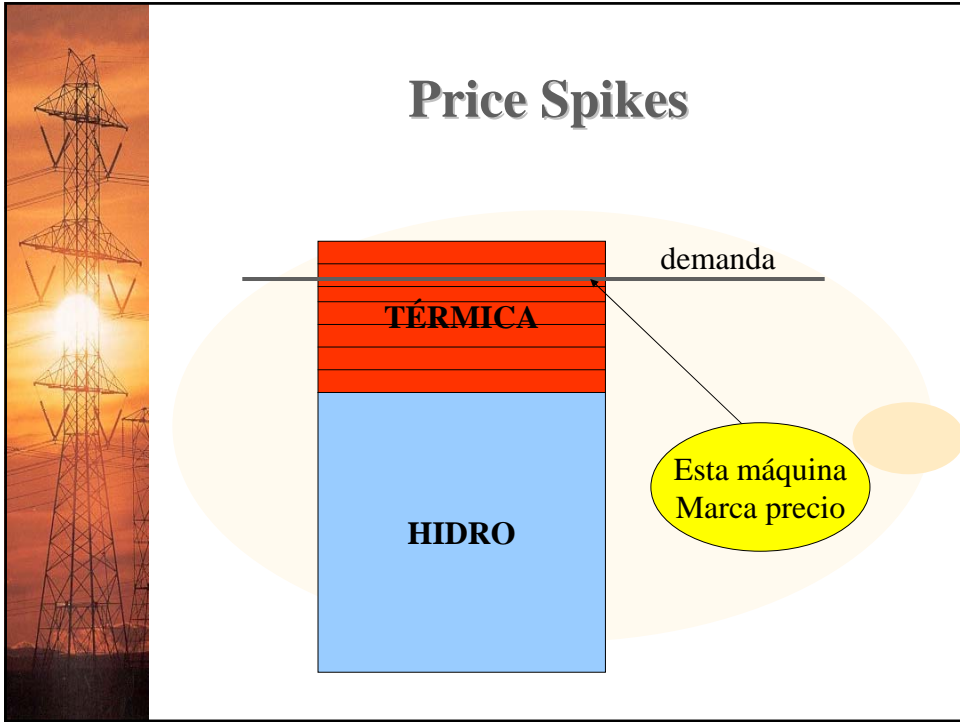
## Price Spikes

- El hecho de enfocar los costos en el “margen” es una forma de examinar los costos variables.
- Los CMg reflejan los cambios en los costos variables porque se modifican cuando cambia la producción (no así los CF).



## Price Spikes

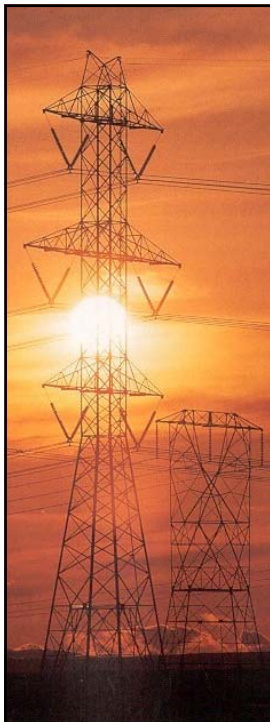
- Por tanto, los Costos Marginales CMg solo recuperan los **Costos Variables** de los Generadores, y no así los **Costos Fijos**.
- Y cómo recuperan entonces los generadores sus Costos Fijos?





## Price Spikes

- Por tanto, la forma que tiene los generadores de recuperar sus Costos Fijos en el Largo Plazo es a través de los Price Spikes.
- Los valores tanto en magnitud como indirectamente la duración, son fijados normativa y regulatoriamente, de acuerdo a la política diseñada de intervención de precios.



## Price Spikes Óptimos para las Unidades de Punta





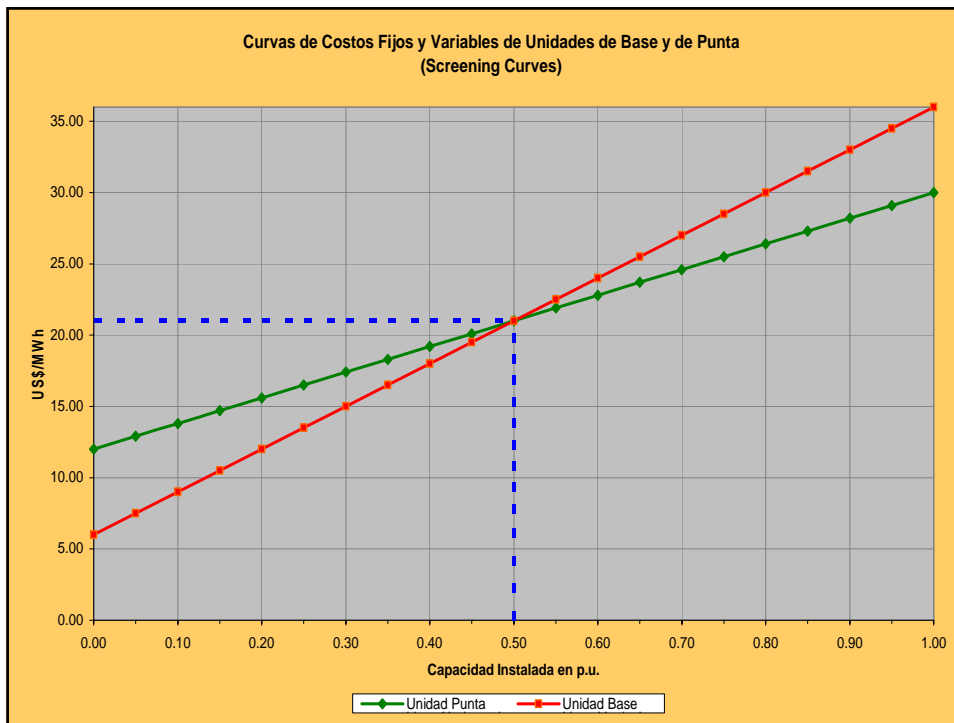
## Price Spikes Óptimos


- Consideremos el ejemplo de un sistema con dos tecnologías:
  - Base
  - Punta
- Se muestran las curvas de **costos promedios** para ambas tecnologías para cierta capacidad utilizada.



## Price Spikes Óptimos

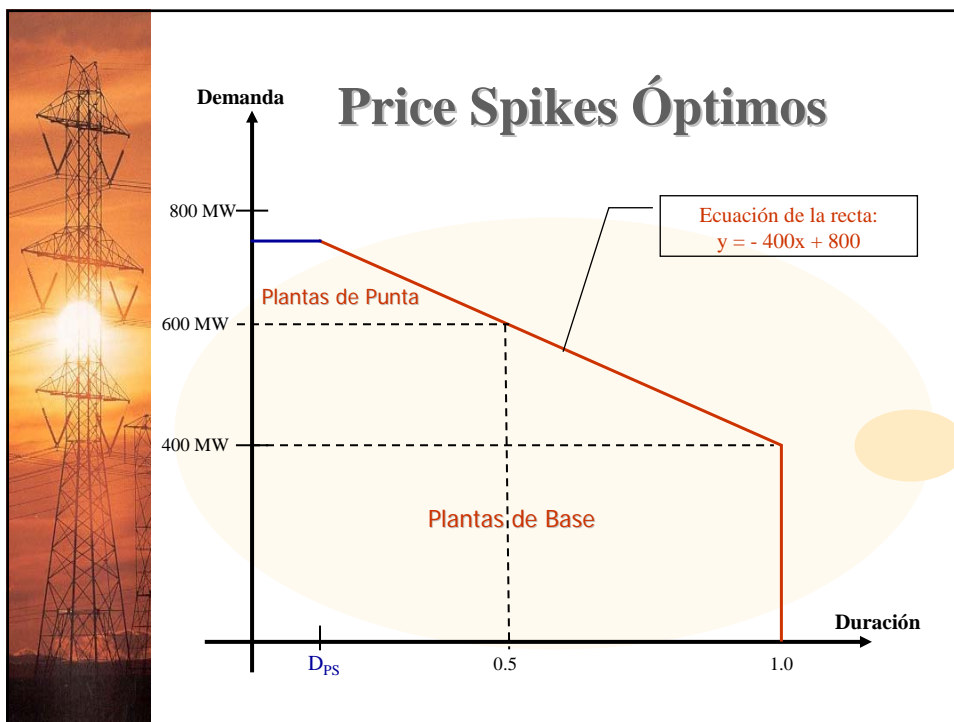
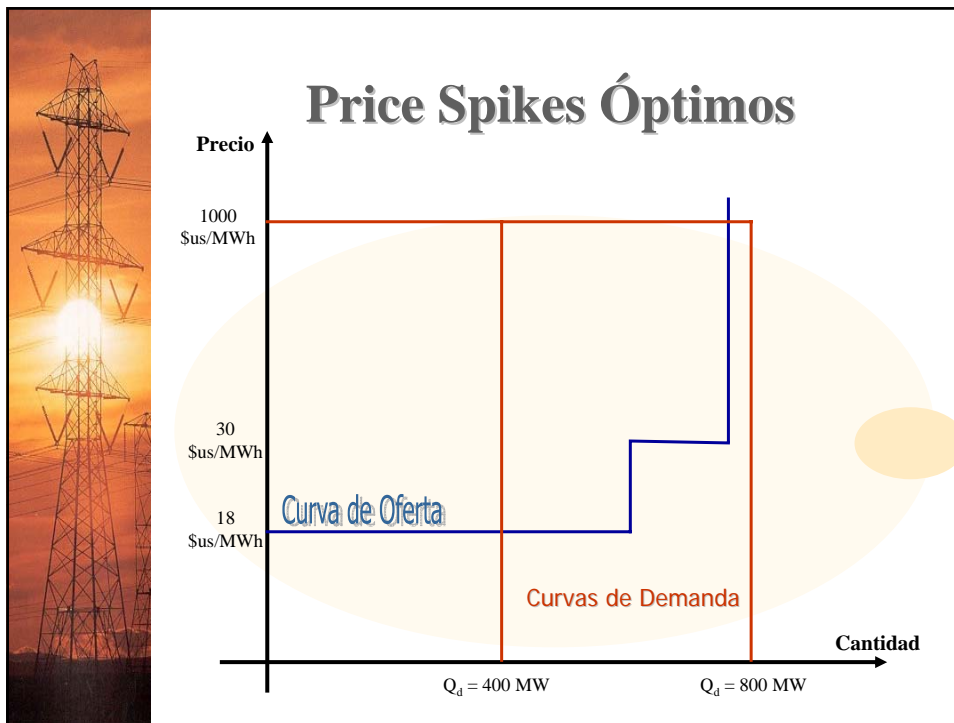
	Costo Fijo US\$/MWh	Costo Variable US\$/MWh
Unidad de Punta	6	30
Unidad de Base	12	18





## Price Spikes Óptimos

- Las curvas muestran que la tecnología de base es más barata para cargas que tienen duración mayor a 0.5.
- La tecnología de punta es más barata para cargas que tienen un factor de carga inferior a 0.5.
- Si ahora consideramos la demanda en este sistema:





## Price Spikes Óptimos

- De acuerdo a las curvas de Costos y a la de oferta y demanda, la demanda de 400 MW se cubre con la tecnología de base y se presenta permanentemente.
- Cabe determinar, de los 400 restantes, que parte se abastece con la tecnología de base y que parte con la tecnología de punta.
- La Curva de Duración de Carga es una recta que conecta los puntos (Duración, MW):
  - $(x_1, y_1) = (1, 400)$
  - $(x_2, y_2) = (0, 800)$
- La ecuación es  $y = - 400x + 800$
- Para el valor de duración 0.5, intersección de ambas tecnologías, el valor de  $y = 600$  MW



## Price Spikes Óptimos

### Solución Tradicional

- A veces, regulatoriamente, la solución sería utilizar los costos medios de ambas tecnologías.
- Construir suficiente generación para abastecer los 800 MW de demanda de punta y utilizar las curvas para determinar las capacidades óptimas de cada tecnología.
- De las curvas de costo de las plantas, observamos que el punto de corte ocurre en el  $F_c = 0.5$
- Con este factor de carga ingresamos en la curva de duración de carga y obtenemos el valor de 600 MW.



## Price Spikes Óptimos

### Solución Tradicional

- La solución tradicional, determina el valor óptimo de la capacidad de base.
- Pero, determina una capacidad elevada para la tecnología de punta.
- Tradicionalmente, los reguladores han fijado el precio medio de ambas tecnologías.
- Por tanto, el precio a pagar por la punta será menor que el pagado a cada tecnología.
- La demanda de punta será mayor a la prevista y que el óptimo social.



## Price Spikes Óptimos

### Solución Óptima

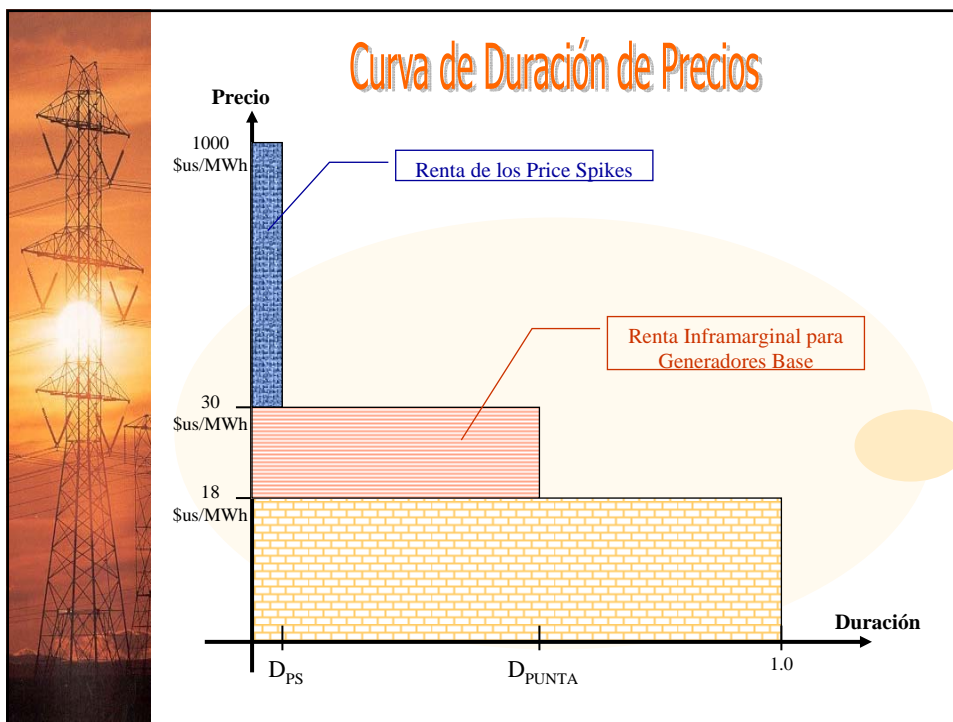
- La solución óptima es la misma que la solución anterior, excepto que toma en cuenta:
  - El costo elevado de abastecer la punta.
  - La disposición a pagar por el servicio.
- La duración de la punta (plana) es  $D_p$ , lo que significa que ese tiempo los precios del mercado serán superiores al precio variable de la unidad de punta.
- El Costo Fijo (de la **unidad de punta**) es de 6 \$us/MWh) y su recuperación de los CF depende de cuantas horas trabaja en el periodo anual.

## Price Spikes Óptimos

### Solución Óptima

- El Costo Variable (de la unidad de punta) es de 30 \$us/MWh) y su recuperación ocurre siempre que la misma funcione normalmente en el mercado.
- Por tanto, depende del número de horas en el año de que dicha unidad recupere la cuota anual de sus Costos Fijos.

$$CF_{PUNTA} = R_{PSpike}$$





## Price Spikes Óptimos

### Solución Óptima

- La renta que obtienen las unidades de punta debido a los Price Spikes, que les permite recuperar sus Costos Fijos, son:

$$CF_{\text{PUNTA}} = R_{\text{PSpike}}$$

$$CF_{\text{PUNTA}} = (1000 - 30) * D_{\text{PS}}$$

$$6 = (1000 - 30) * D_{\text{PS}}$$

$$D_{\text{PS}} = \frac{6}{970} = 0.0062 = 0.62\%$$



## Price Spikes Óptimos

### Solución Óptima

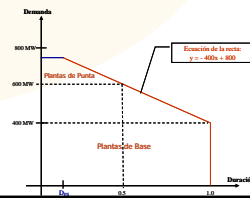
- El resultado indica que dada la demanda esperada, la oferta existente y las dos tecnologías consideradas, los Price Spikes se presentarán en 0.62% de las horas del año, es decir en 54 horas.
- Si se va a instalar una planta de punta que opere menos de 54 horas al año, la misma no es rentable.



## Price Spikes Óptimos

### Solución Óptima

- De los datos de la Curva de Duración de Carga, se obtiene que el valor que corresponde a 54 horas, es de 2.5 MW.
- En la ecuación anterior  $y = -400x + 800$  si reemplazamos el valor de 0.0062, obtenemos:
- $y = 797.5$  MW, lo que indica que las 54 horas representan  $800 - 797.5 = 2.5$  MW



## Price Spikes Óptimos

### Solución Óptima

- Ahora si consideramos una **unidad de base**:

$$CF_{BASE} = R_{PSpike}$$

$$CF_{BASE} = CF_{PUNTA} + (CV_{PUNTA} - CV_{BASE}) * D_{PUNTA}$$

$$12 = 6 + (30 - 18) * D_{PUNTA}$$

$$D_{PUNTA} = \frac{12 - 6}{(30 - 18)} = 0.5$$

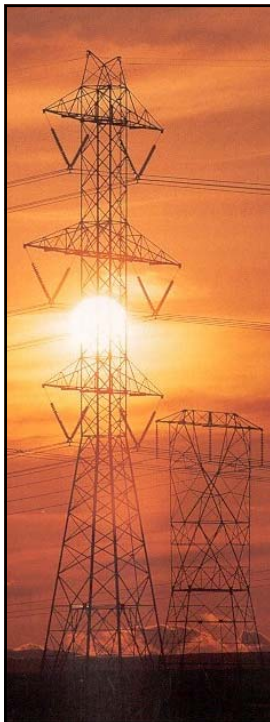




## Price Spikes Óptimos

### Solución Óptima

- La unidad de base no solo recibe la remuneración correspondiente al área  $D_{PS}$ , sino también el área  $D_{PUNTA}$ , con lo cual recupera sus Costos Fijos de forma óptima.



## Diseño de Mercados



## Diseño de Mercados

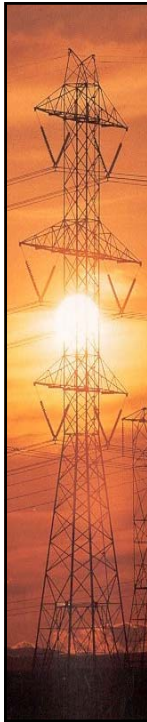
- Los Price Spikes traen consigo algunos problemas:
  - Ejercicio de Poder de Mercado de los Generadores
  - Precios sumamente elevados y “mal vistos” social y políticamente
  - Falta de respuesta adecuada de la demanda
  - Falta de Reservas en general y por tanto de confiabilidad y seguridad.
  - Varios cortes de carga y blackouts antes de la inversión de los generadores.
  - Ciclos de auge y escasez de la inversión en la suficiencia a largo plazo.



## Diseño de Mercados

### Como paliar estos valores tan elevados?

- Los “Price Spikes” forman un área determinada bajo la curva de los precios en el Largo Plazo.
- Se puede realizar un diseño menos óptimo que:
  - Establezca un precio techo menor que el VOLL, dependiendo de la valoración de costos políticos, sociales, etc.
  - Indirectamente se acepta que estos precios techo menores estarán presentes por más tiempo.
  - Se mantenga el área de los Price Spikes, lo que permitirá recuperar los Costos Fijos a los Generadores.



## Diseño de Mercados

### Como paliar estos valores tan elevados?

- Otra forma consiste en introducir:
  - Pagos por Capacidad
  - Pagos por Disponibilidad



## Diseño de Mercados

- La meta en todo diseño es mantener el **nivel correcto promedio** de Capacidad Instalada.
- Además se debe cuidar de la fluctuación de los niveles de Capacidad Instalada.
- Si las fluctuaciones son elevadas, entonces se introduce un riesgo y se obtienen soluciones “subóptimas”.



## Diseño de Mercados

- Ya sea en los mercados de solo energía o en los mercados que pagan la Capacidad, se debe considerar que las unidades de punta, recuperen sus costos (variables y fijos).
- Por qué las unidades de punta?  
*Porque son las que menor tiempo operan en el sistema, y por tanto, para que existan y operen, se debe garantizar su remuneración.*



## Diseño de Mercados

- En los mercados de solo energía se debe cuidar que en el tiempo que operan, recuperen sus costos.
- Esto puede significar:
  - Price Spikes elevados durante sus horas de operación al año.
  - Price Spikes menores pero con mayor duración en el año.
- Si existe ausencia de los Price Spikes, entonces esta unidad no podrá recuperar sus costos fijos.



## Diseño de Mercados

- En los mercados con pagos por capacidad también se debe cuidar que en el tiempo que operan, recuperen sus costos.
- Recibirán un pago de capacidad con el consiguiente hecho de que el mercado tendrá un **precio techo** menor al VOLL.



## Diseño de Mercados

- En los Mercados con Capacidad se debe considerar:
  - a) Si es un **Mercado de Precios**, la Unidad de Punta recuperará sus costos a través del pago de Capacidad combinado con los Price Spikes (cuyo valor límite es definido por la regulación).



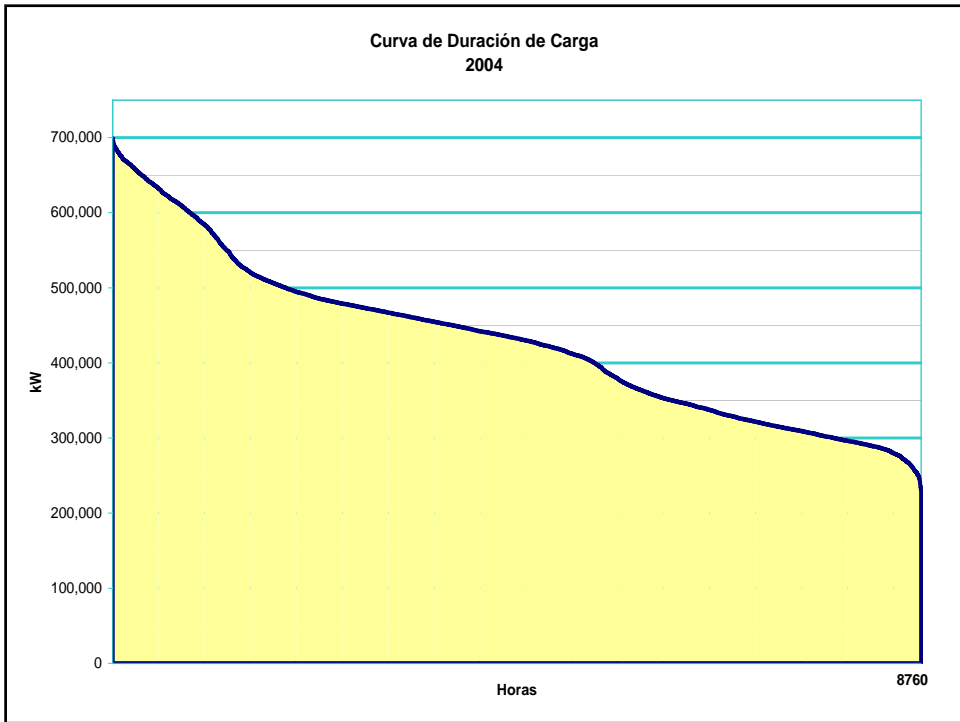
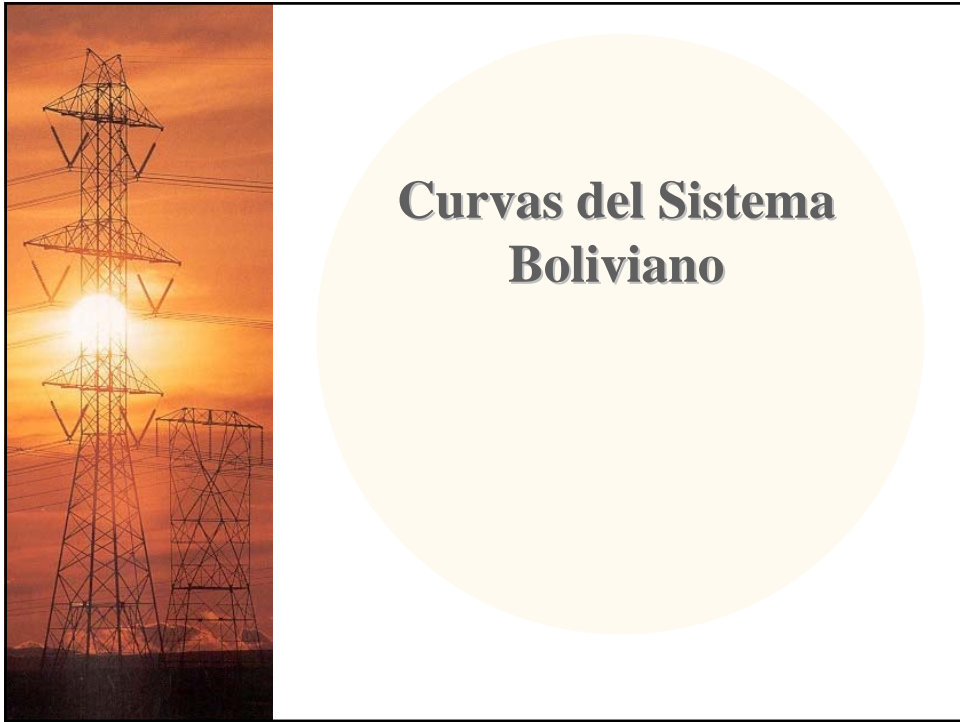
## Diseño de Mercados

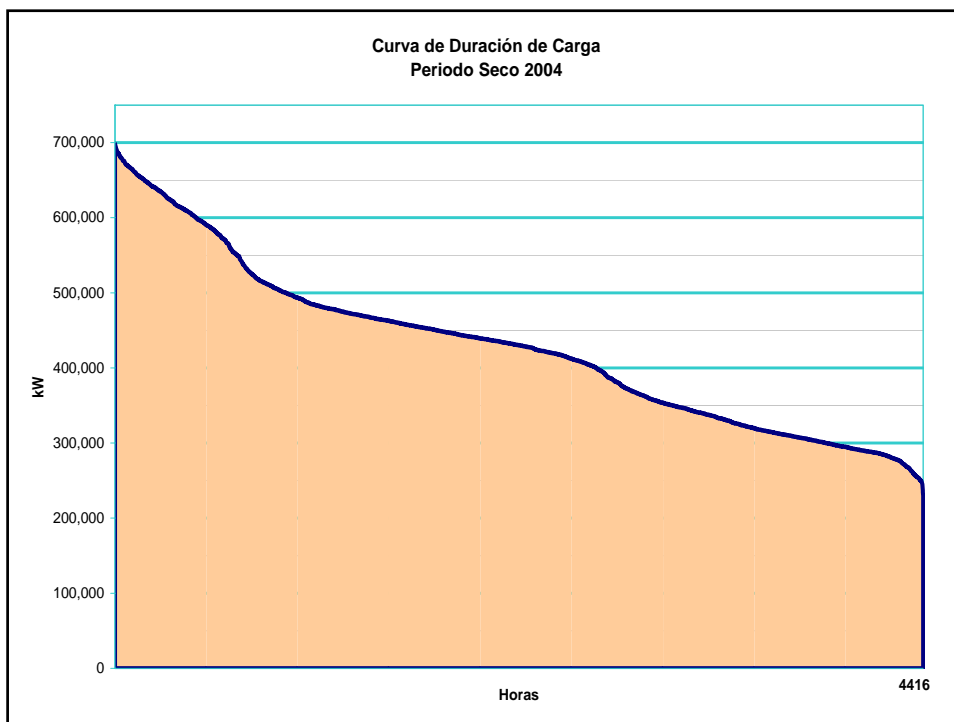
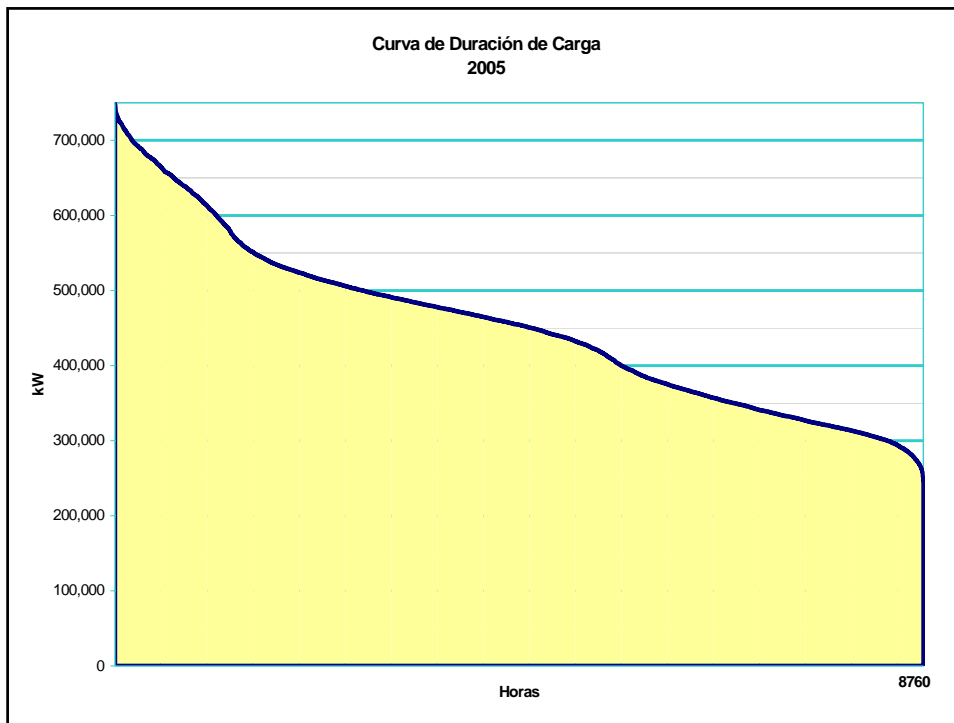
- En los Mercados con Capacidad se debe considerar:
  - b) *Si es un **Mercado de Costos**, la Unidad de Punta recuperará sus costos solamente a través del pago de capacidad, siendo nulos los “Price Spikes”.*



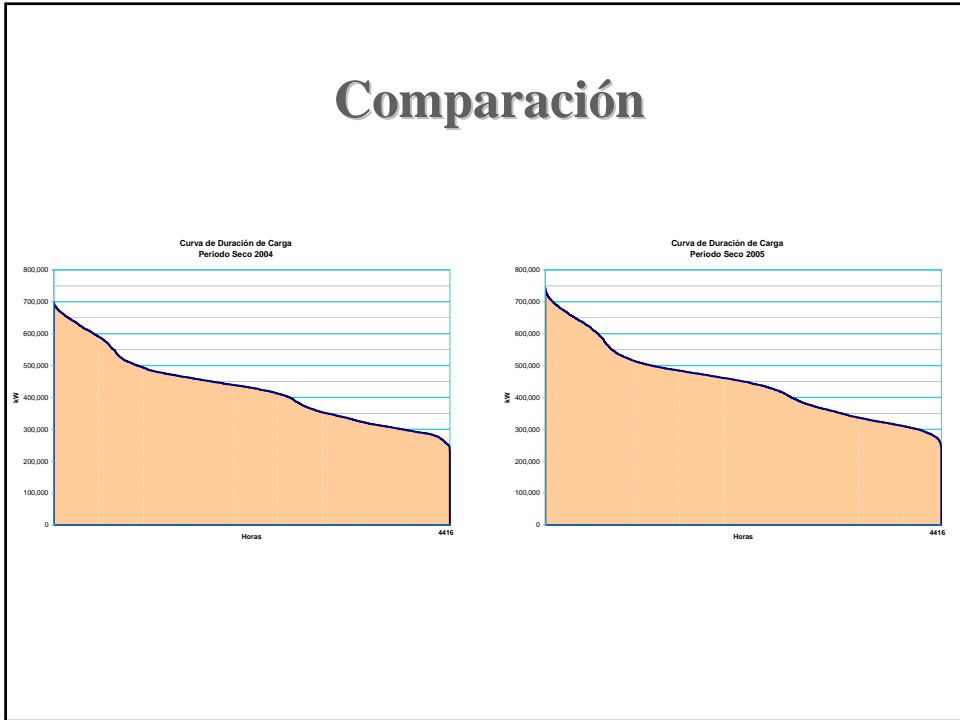
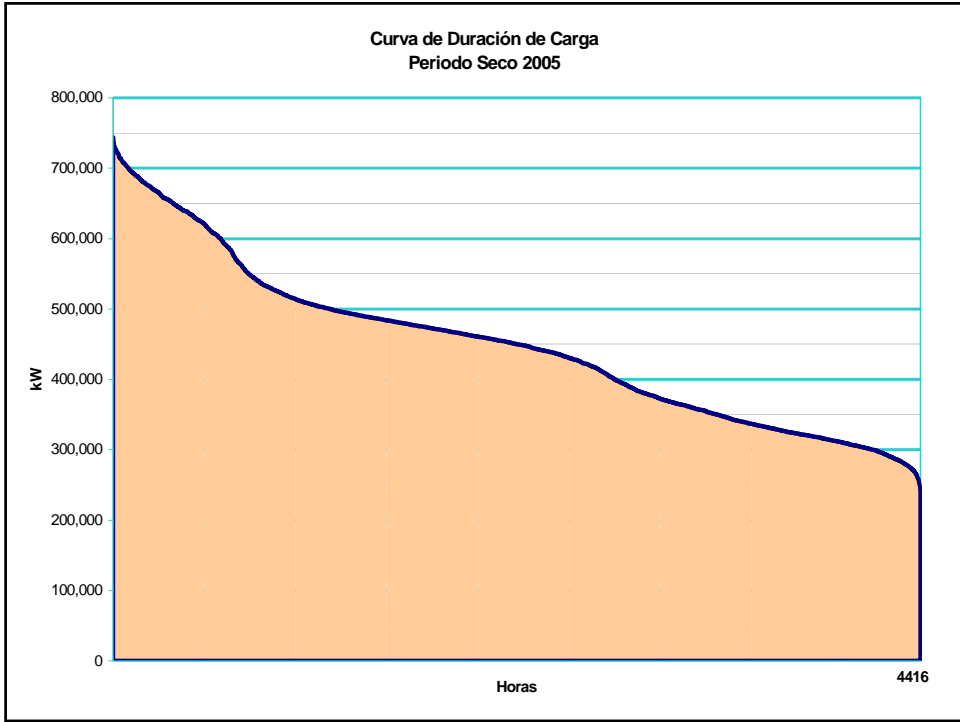
## Diseño de Mercados

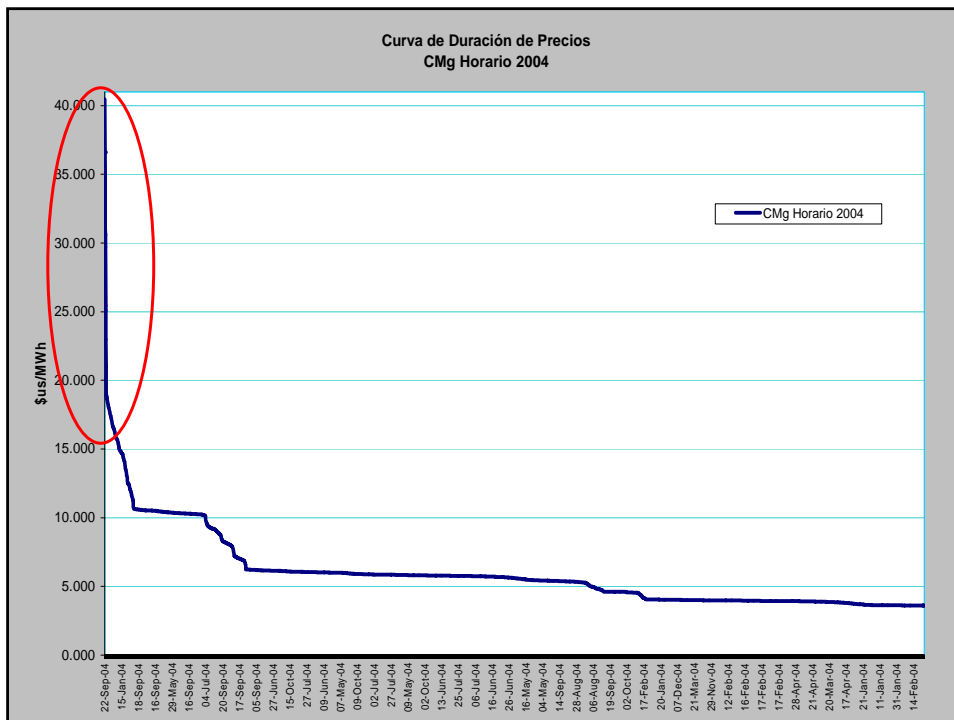
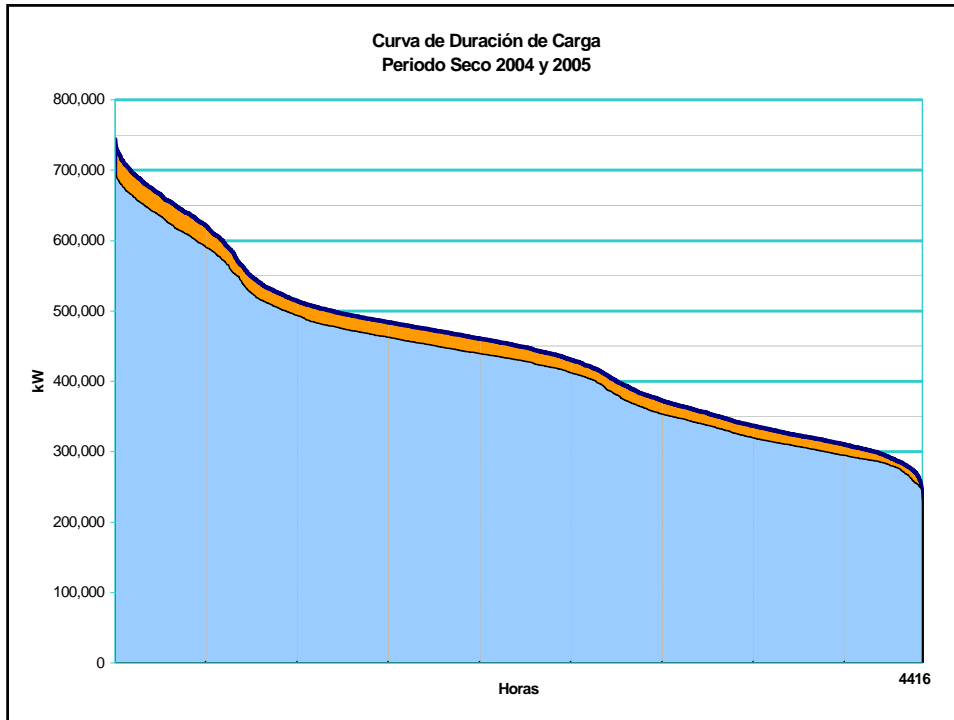
- En este análisis no intervino la Reserva de Capacidad de un sistema, destinada a dotar de mayor confiabilidad y seguridad de abastecimiento a los usuarios, ante contingencias o mantenimientos.
- Este tema será tratado posteriormente.

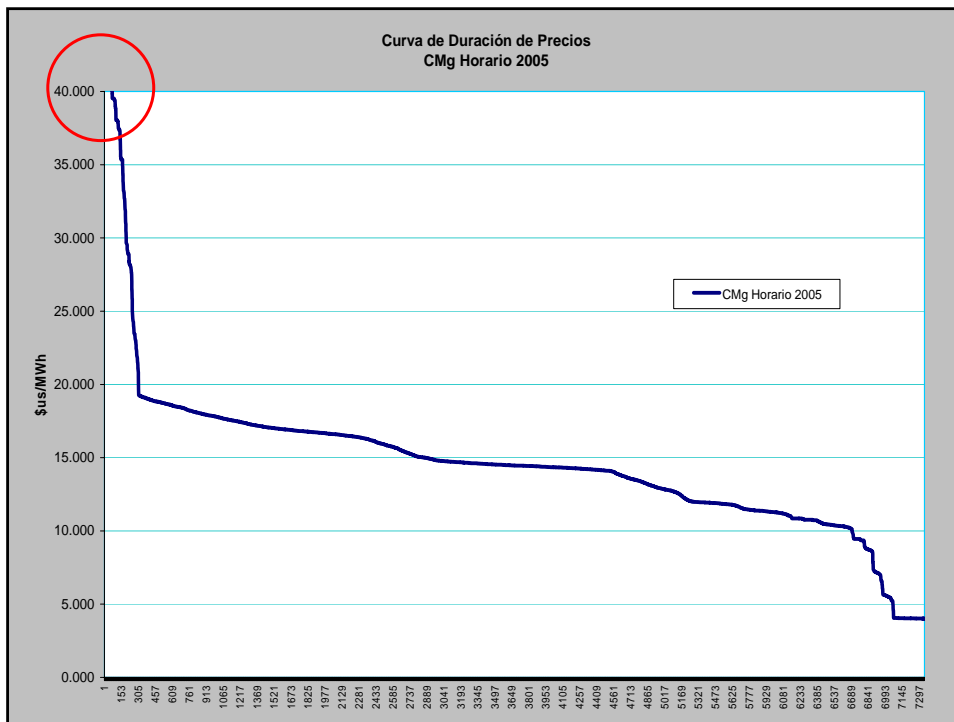
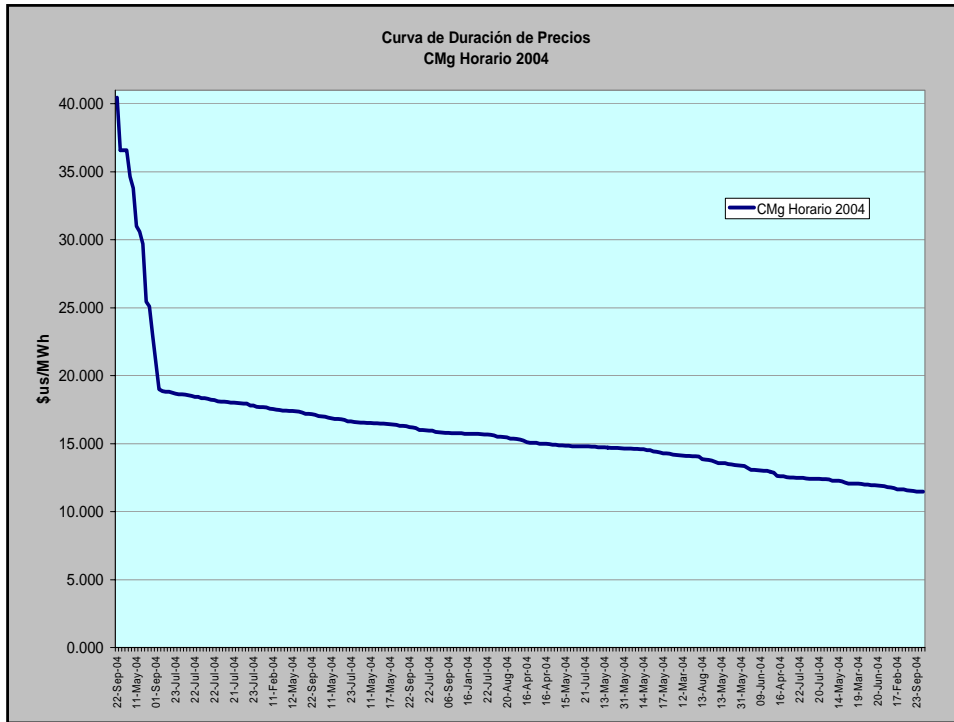


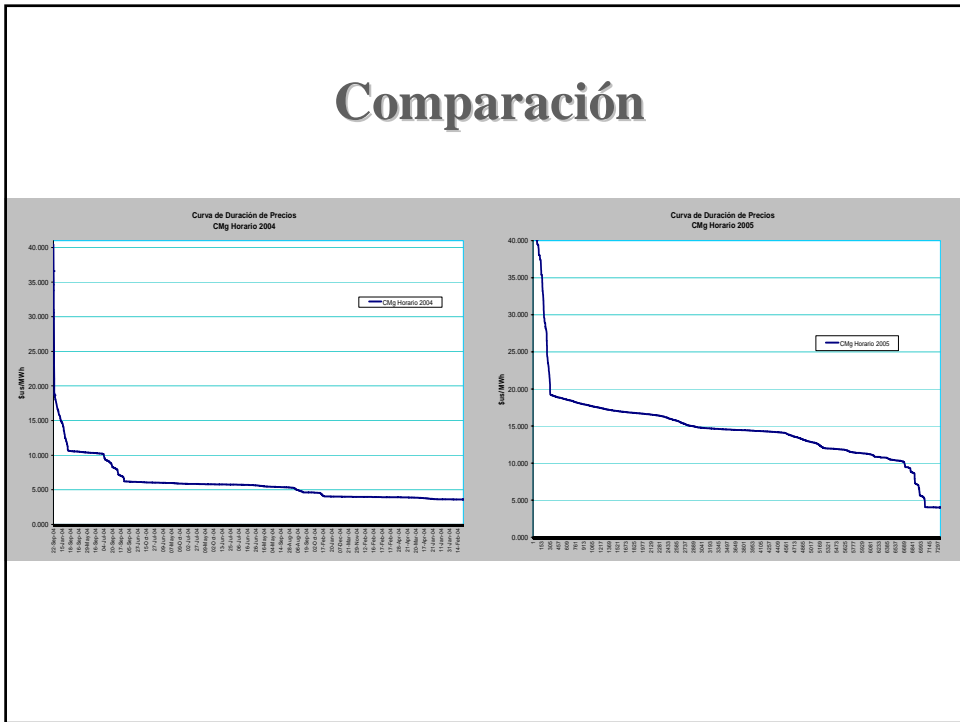
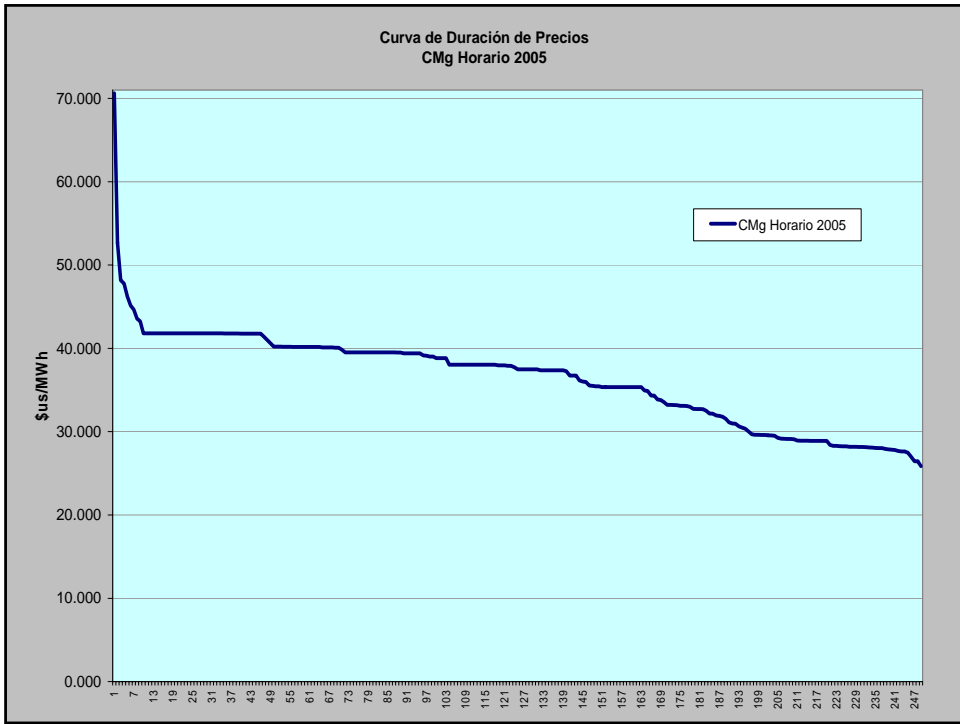


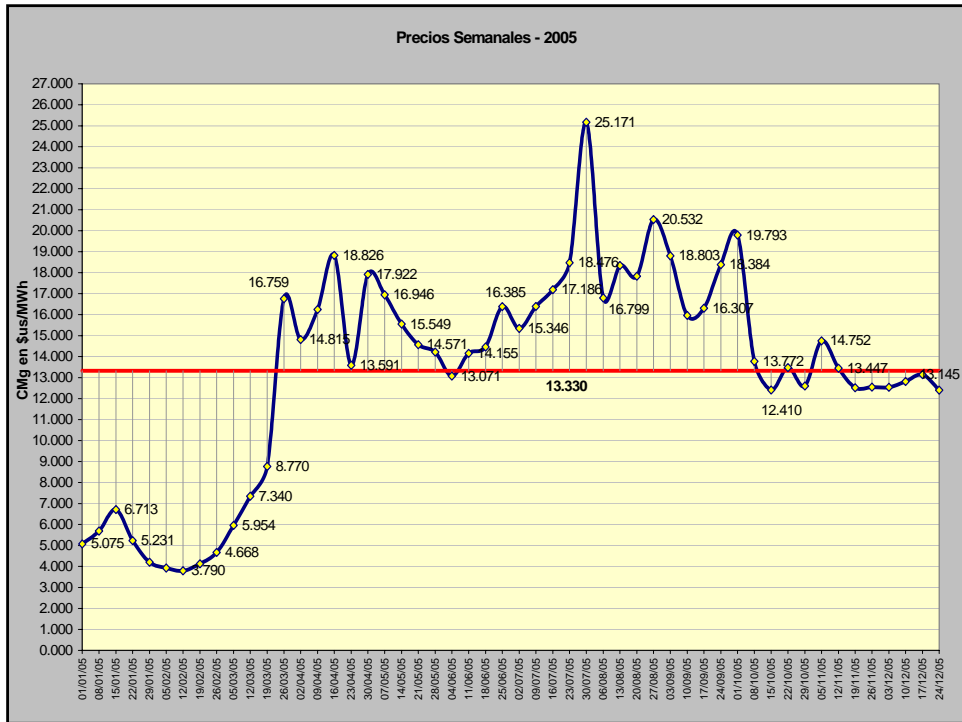
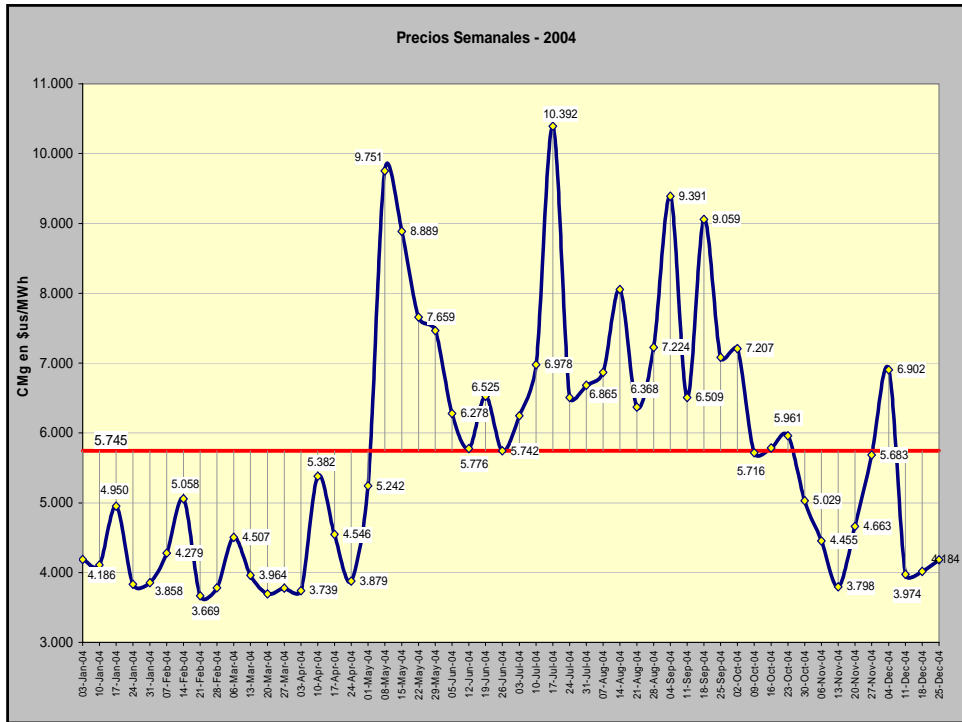




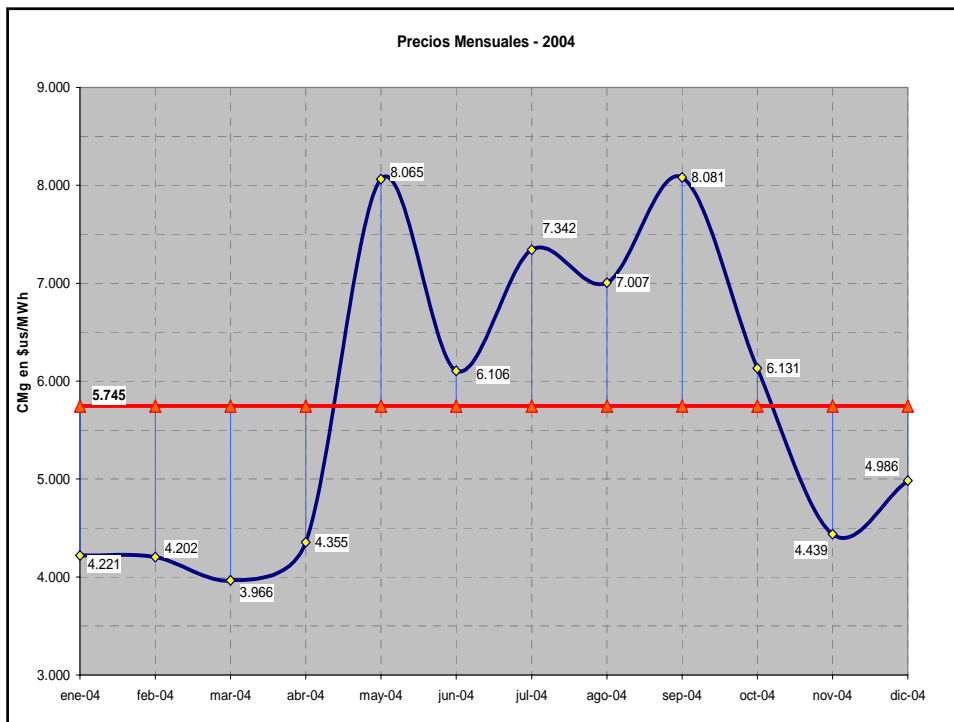
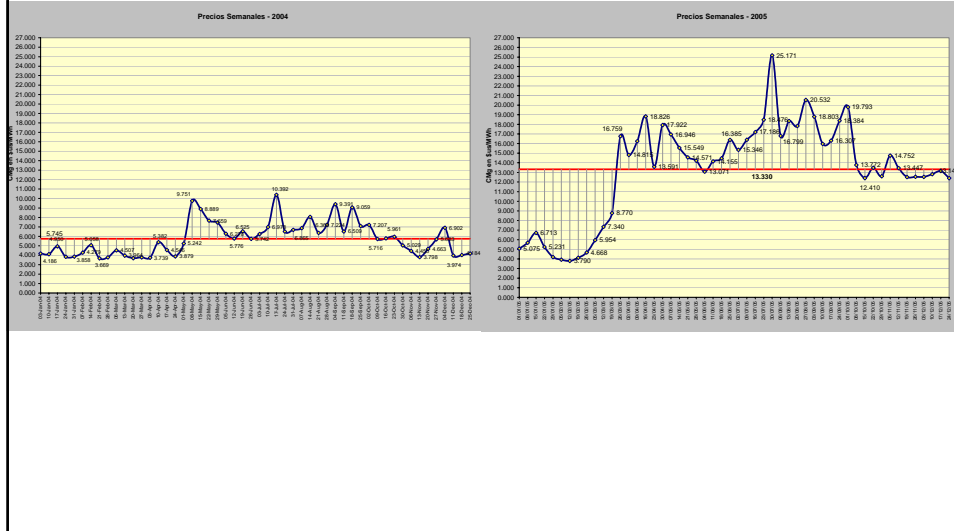


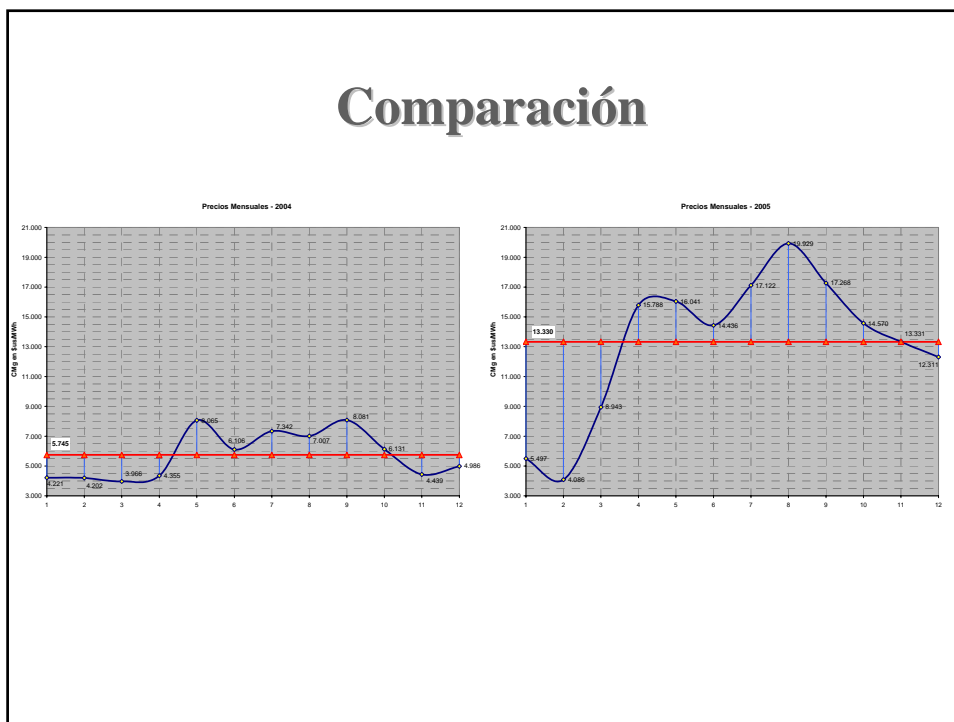
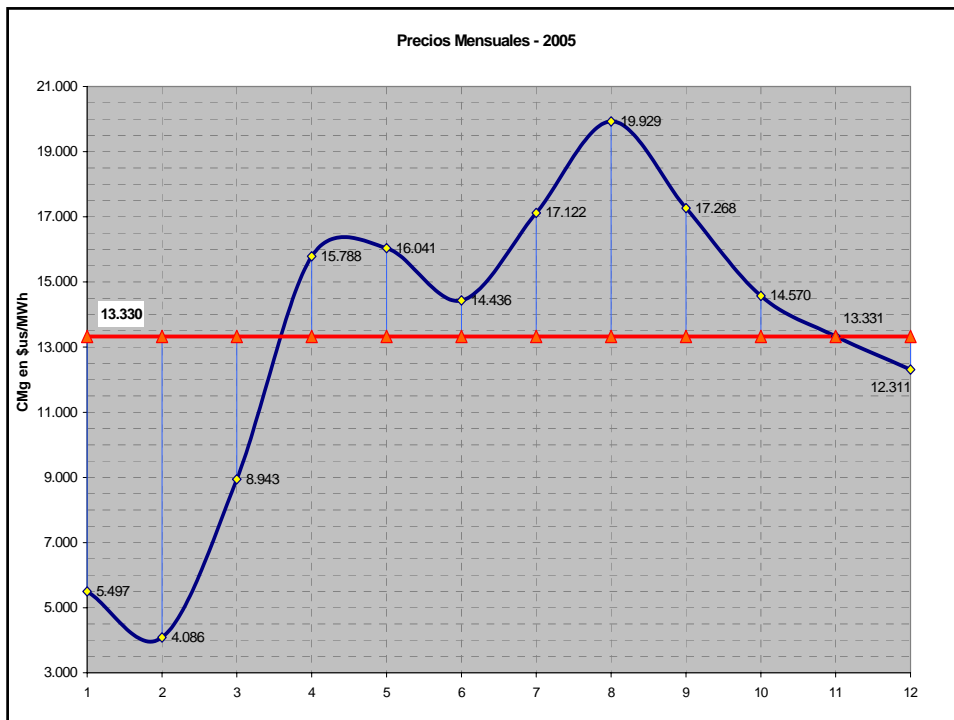


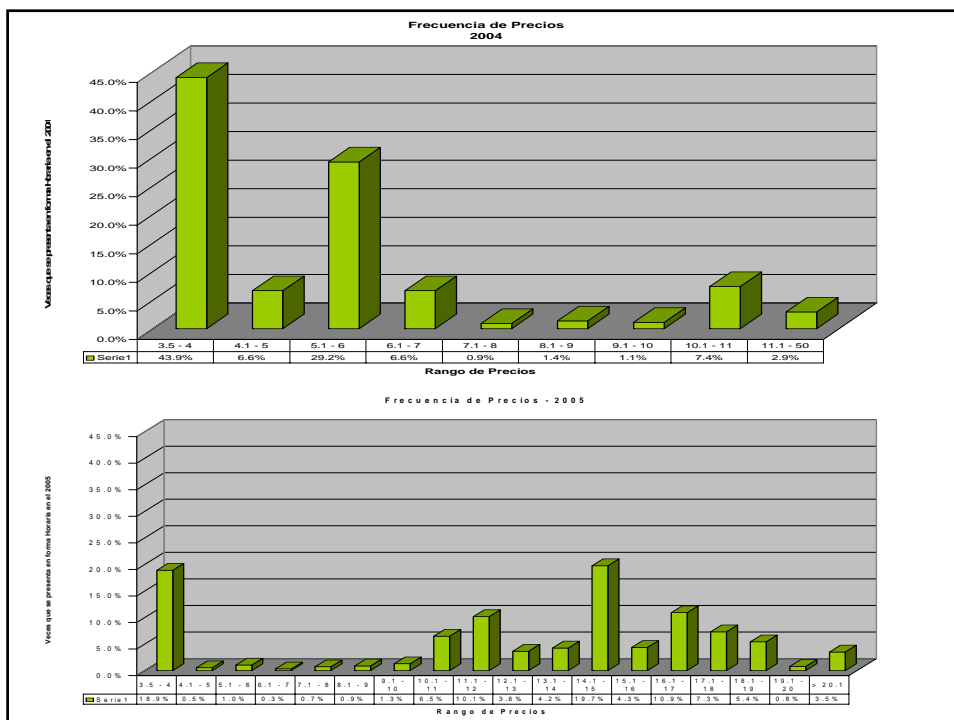
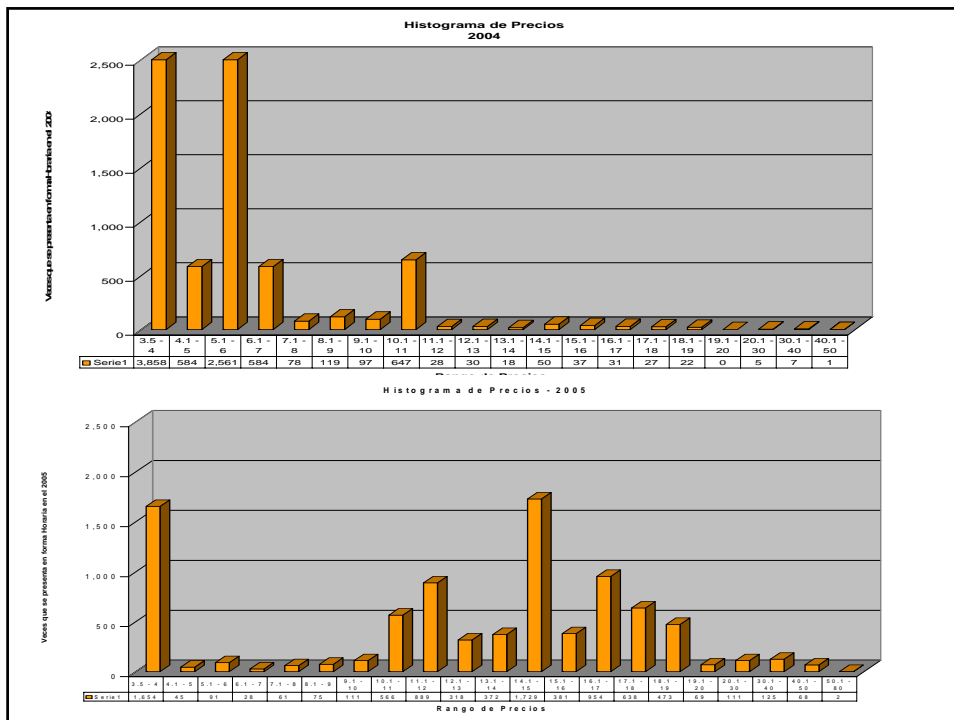




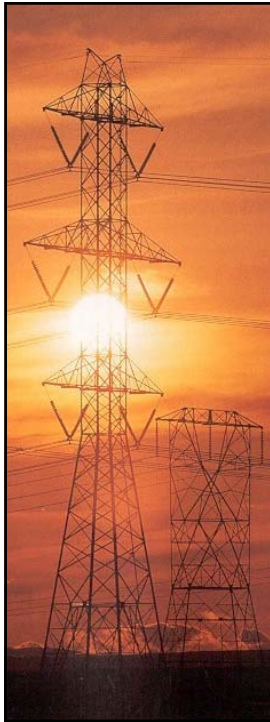
# Comparación











## Reservas y Confiabilidad



## Reservas y Confiabilidad

- El mercado proporciona generalmente un parque para el abastecimiento de la demanda, pero no considera la seguridad del sistema y la confiabilidad.
- Para ello, el Operador del Sistema hace los requerimientos necesarios para abastecer el sistema de forma “confiable” y “segura”.
- Esto significa un parque generador adicional.



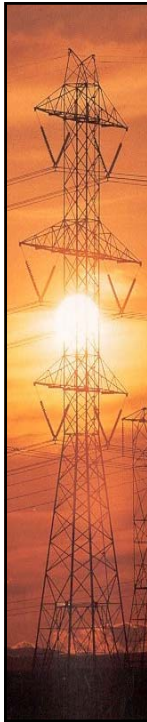
## Reservas y Confiabilidad

- El sistema eléctrico sufre disturbios comunes como ser:
  - Salida forzada de líneas de transmisión
  - Salida forzada de unidades de generación
  - Corto circuitos
- Tales eventos se denominan **contingencias**
- Ocasionan una disminución de generación y desbalance entre la oferta y la demanda.
- Ocasionan la caída de la frecuencia y el voltaje.



## Reservas y Confiabilidad

- Dependiendo del nivel de caída de frecuencia y tensión se verá la necesidad o no de cortar carga.
- Por lo tanto, y para no perder el balance oferta-demanda del sistema, son necesarias una serie de **Reservas Operativas**.
- Estas Reservas Operativas son diferentes a las **Reservas Planeadas o Programadas**, que son las que dan el balance oferta-demanda tradicional.



## Reservas y Confiabilidad

- La remuneración de este parque adicional no debe distorsionar el mercado principal.
- Las Reservas se pueden catalogar para:
  - Reserva Primaria
  - Reserva Secundaria
  - Reserva Rodante
  - Reserva para mantener la confiabilidad



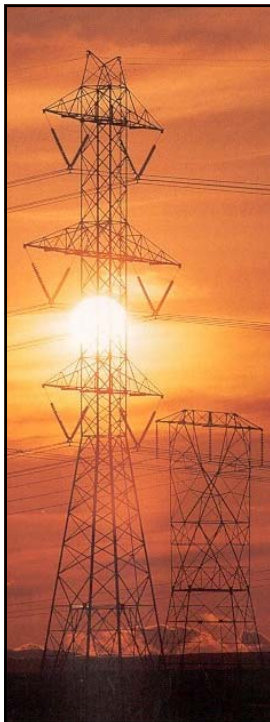
## Reservas y Confiabilidad

- Estas reservas deben ser determinadas de acuerdo con las políticas de seguridad y confiabilidad.
- Ejemplo:
  - USA determina de acuerdo con lo establecido por NERC, una Reserva rodante y Parada de aprox. un 10% de la demanda.
  - Bolivia determina una Reserva Rodante de 15% promedio (de generación) y Reserva Parada de 7.5%, dando un total en el Bloque Alto de 17.5% para seguridad de Áreas y del Sistema (del Parque Generador de Potencia Firme).



## Reservas y Confiabilidad

- Debido a las fallas de la demanda, el mercado no puede operar por sí solo.
- Requiere una intervención y política regulatoria de precios que combine la energía en tiempo real, las reservas operativas, y la capacidad instalada.



**FIN**

[mtardio@ieee.org](mailto:mtardio@ieee.org)