

Asesoría Estratégica para el Perfeccionamiento del Pago por Potencia del Mercado Eléctrico Chileno

Curvas de Demanda en Mecanismos de Capacidad: Criterios de Diseño, Experiencia Internacional y Aplicación al Mercado Chileno

Daniel Olivares Quero
Profesor Asociado
Ingeniería Eléctrica UC

Objetivos de la Presentación

- Revisar la experiencia internacional respecto al diseño de curvas de demanda en mecanismos de potencia y sus criterios de diseño.
- Analizar la curva de demanda equivalente del mecanismo de potencia en Chile, y su consistencia con criterios de diseño en mercados internacionales.
- Discutir herramientas en la regulación para adaptar la curva de demanda equivalente del mecanismo de potencia en Chile.

Curva de Demanda en Mecanismos de Potencia

- La curva de demanda en mecanismos de potencia es un elemento fundamental en mecanismos de potencia del tipo mercados de capacidad, y es fijada administrativamente por el regulador.
- La curva de demanda refleja una disponibilidad a pagar decreciente por el un producto de capacidad estandarizado (e.g., mediante metodologías ELCC o ECP)
- La intersección de la curva de demanda con la oferta del producto de capacidad estandarizado define el precio uniforme que el sistema paga por dicho producto en mercados de capacidad como los de PJM, MISO, NYISO, IESO (Ontario), National Grid (GB), entre muchos otros ejemplos.

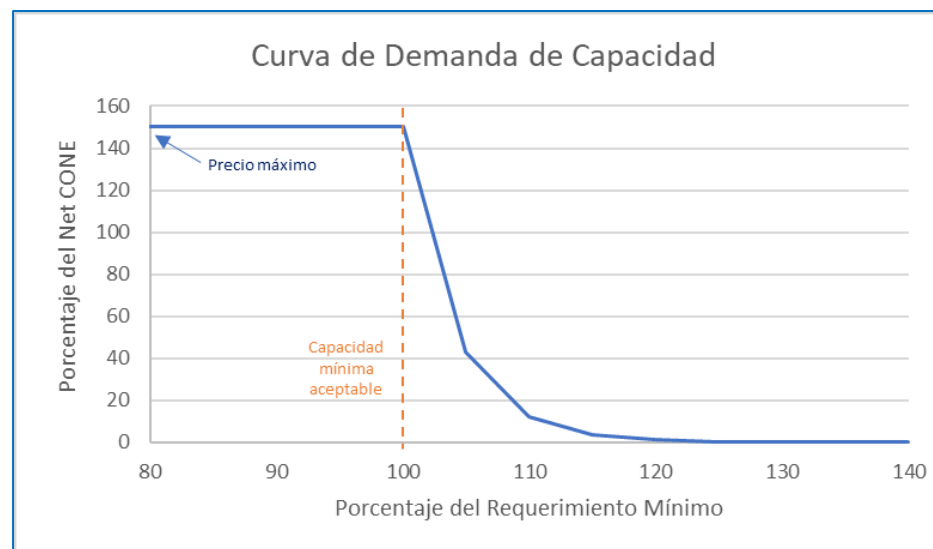
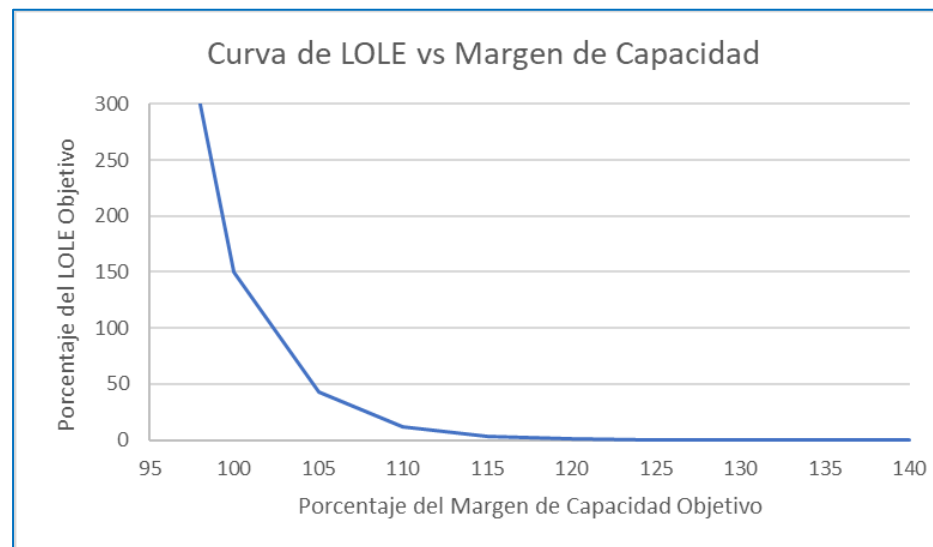
Diseño Curva de Demanda: Principios (I)

Forma General de la Curva:

1. Valor decreciente de la disponibilidad a pagar en función de la curva de LOLE del sistema:

$$P(Q) [USD/MW/año] = VoLL[USD/MWh] \cdot LOLE(Q)[h/año]$$

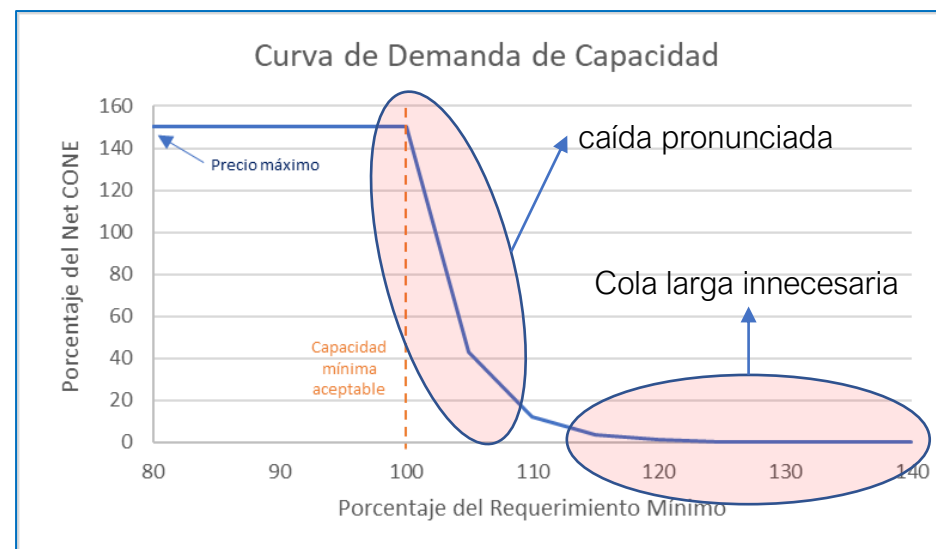
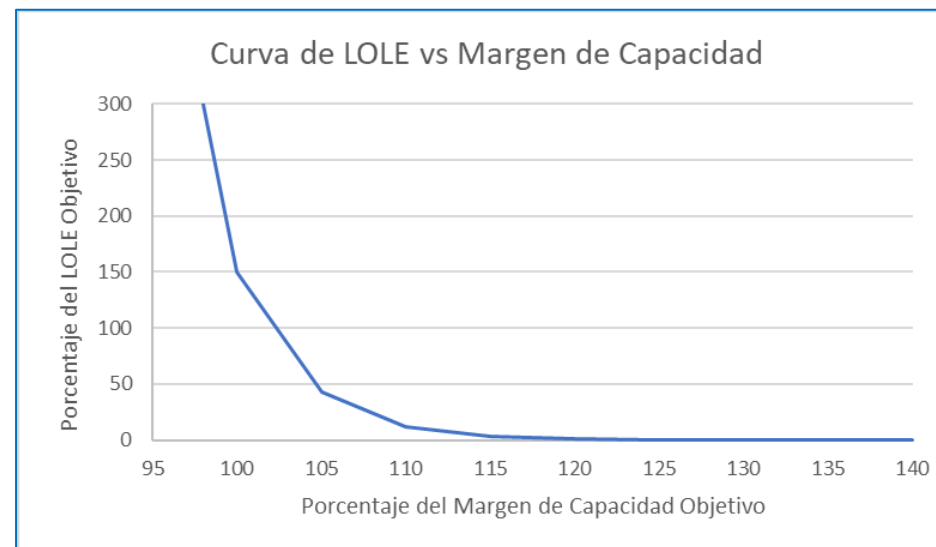
2. La disponibilidad a pagar es alta para bajos márgenes de capacidad; sin embargo, los mecanismos de capacidad imponen un precio máximo en la curva de demanda.
3. Si bien la curva e LOLE versus margen de capacidad puede tener una cola larga, esto no tiene mayor implicancia para la curva de demanda de capacidad ya que el cruce con la curva de oferta se produce mucho antes



Diseño Curva de Demanda: Principios (II)

Volatilidad Precio/Cantidad:

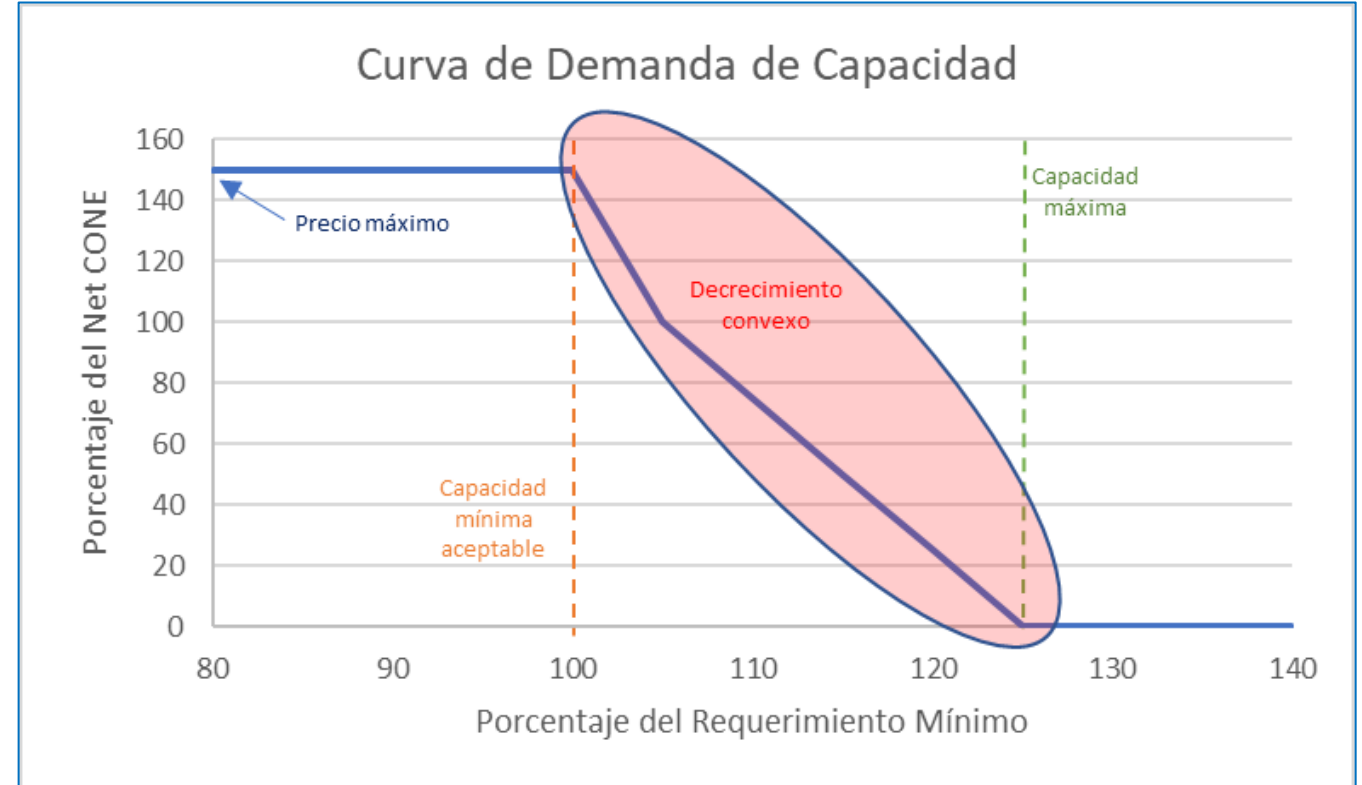
4. La curva de LOLE versus margen de capacidad produce una caída pronunciada de la curva de demanda para valores superiores al estándar mínimo de confiabilidad y una larga cola.
5. La pendiente pronunciada de la curva demanda está asociada a una alta volatilidad de precios despejados por el mecanismo de capacidad.
6. Una pendiente muy baja tiende a generar mayor volatilidad de cantidades despejadas por el mecanismo de capacidad.
7. El correcto balance entre volatilidad de precios y cantidades asociado a la pendiente de la curva de demanda depende de cada sistema.



Diseño de Curva de Demanda: Diseño Práctico

Parámetros relevantes:

1. **CONE Neto:** Estimación del “*missing money*” de una tecnología eficiente para la expansión del sistema. En Chile corresponde a los costos fijos + inversión de la unidad de punta.
2. **Precio Máximo:** Máximo precio que se está dispuesto a pagar en el mercado centralizado. Se alcanza un máximo por consideraciones de ejercicio de poder de mercado.
3. **Capacidad mínima aceptable:** Corresponde al estándar mínimo de suficiencia, expresado como una cantidad de producto estandarizado de capacidad (e.g., potencia de suficiencia preliminar) a partir del estándar de LOLE



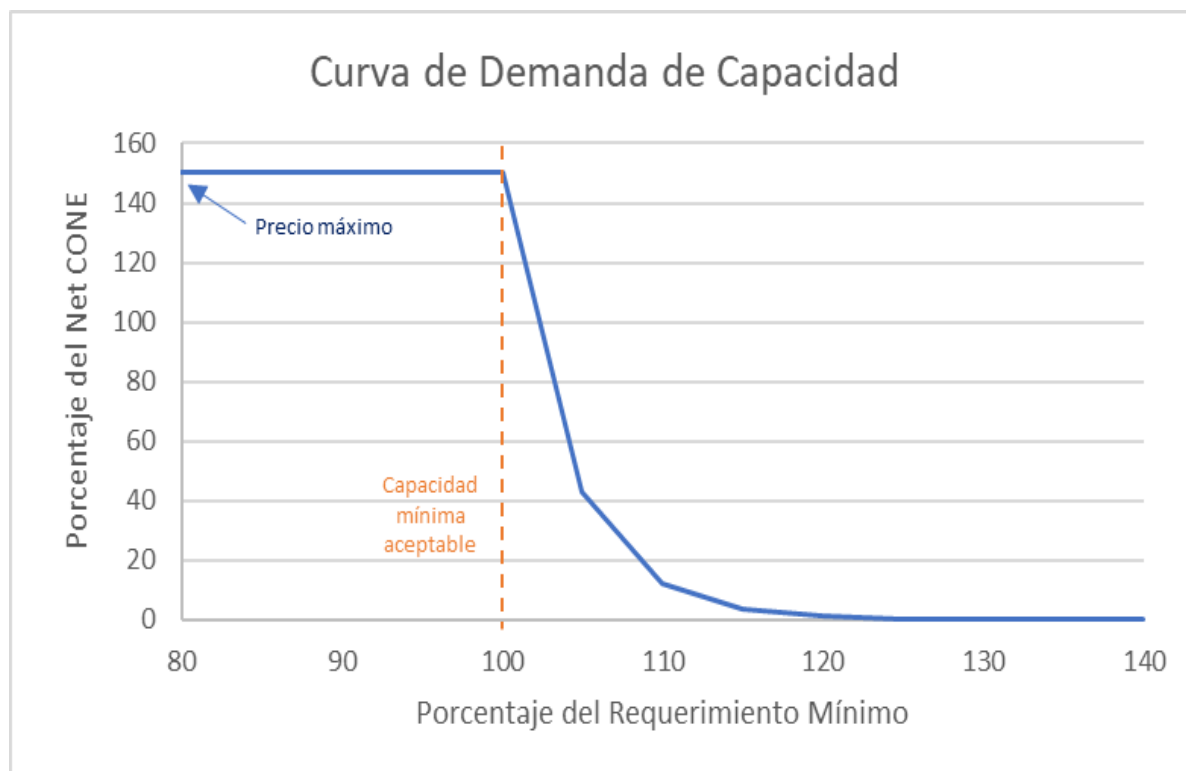
4. **Capacidad Máxima:** Valor de capacidad por sobre el cual el valor derivado de mayor confiabilidad en el sistema es cero; sin embargo, en la práctica su valor se define por otras consideraciones.

Diseño de Curva de Demanda: Criterios de Diseño

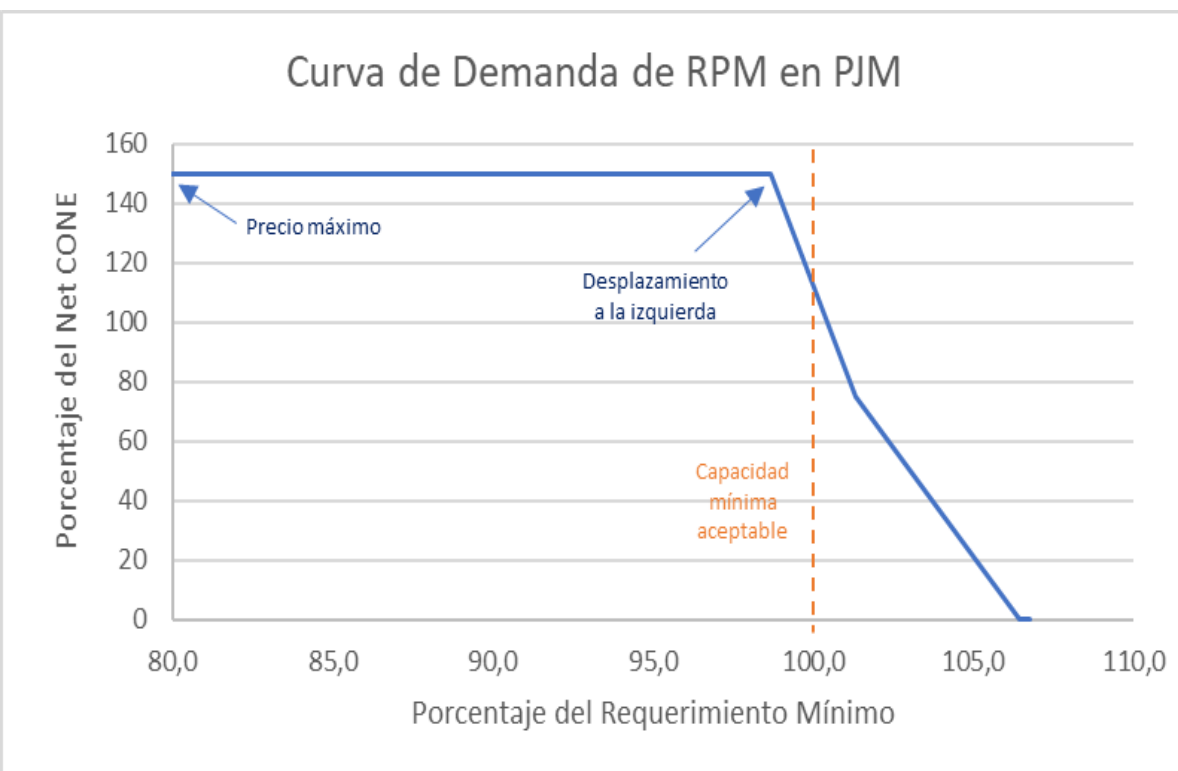
- **Cumplimiento del objetivo de confiabilidad:** Baja probabilidad de no alcanzar el requerimiento mínimo del mecanismo de capacidad frente a incertidumbre en parámetros y condiciones de mercado. Este criterio tiene impacto directo en la calibración del precio máximo del mecanismo, y la cantidad a la cual se alcanza.
- **Minimizar el costo para los consumidores:** La curva de demanda debe intentar reducir el costo del mecanismo y al mismo tiempo evitar la sobre adquisición de capacidad, típicamente asociada a curvas de baja pendiente.
- **Minimizar volatilidad de precios:** Reducir la volatilidad de precios frente a pequeñas variaciones en oferta y demanda, y mitigar la susceptibilidad del mecanismo al ejercicio de poder de mercado. Ambos criterios asociados a este punto son abordados por una curva de demanda de baja pendiente.
- **Estabilidad, transparencia y racionalidad de la curva:** Para esto, es necesario que la curva sea (i) resultado de un proceso de diseño racional que ofrezca un balance adecuado y bien fundado de los distintos criterios, (ii) estable en la determinación de sus reglas y procesos de revisión de parámetros clave, y (iii) transparente en cuanto a los procedimientos de cálculo de parámetros.

Revisión de Experiencia Internacional (I)

- Mercados de referencia: AESO (Alberta, Canadá), MISO (EEUU), PJM (EEUU).

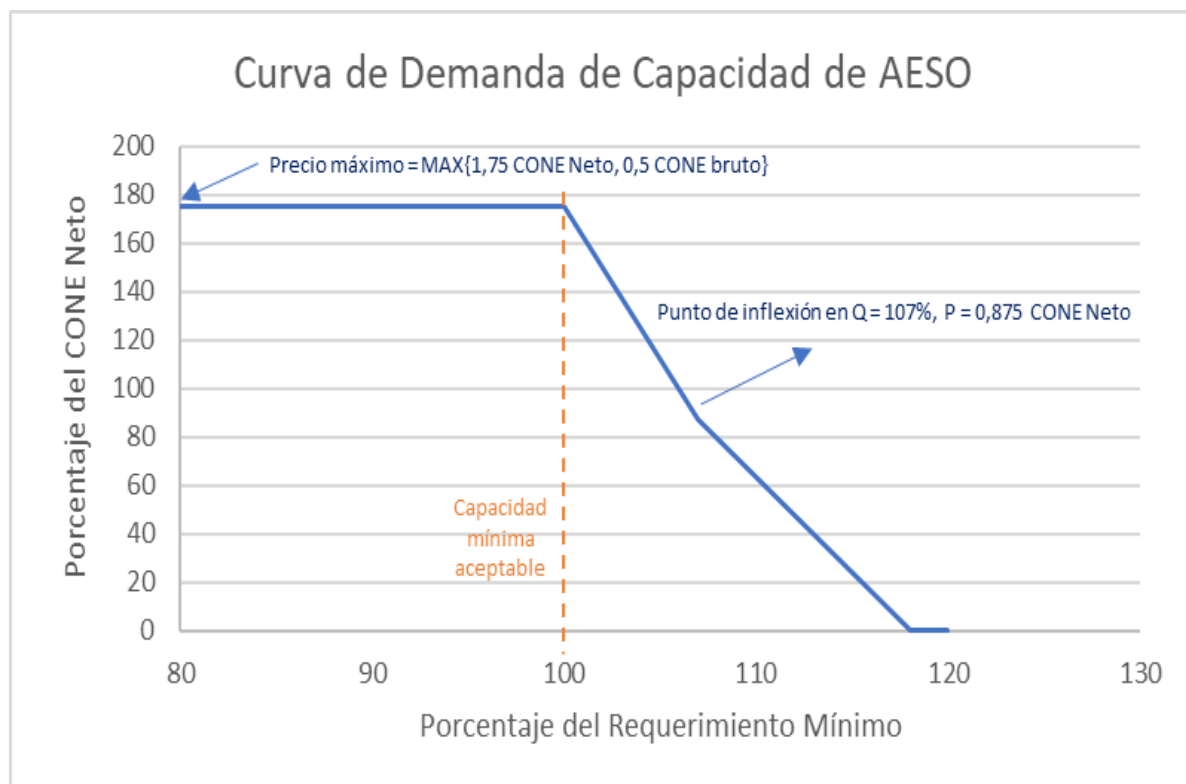


Curva de Demanda Consistente con LOLE (genérica)

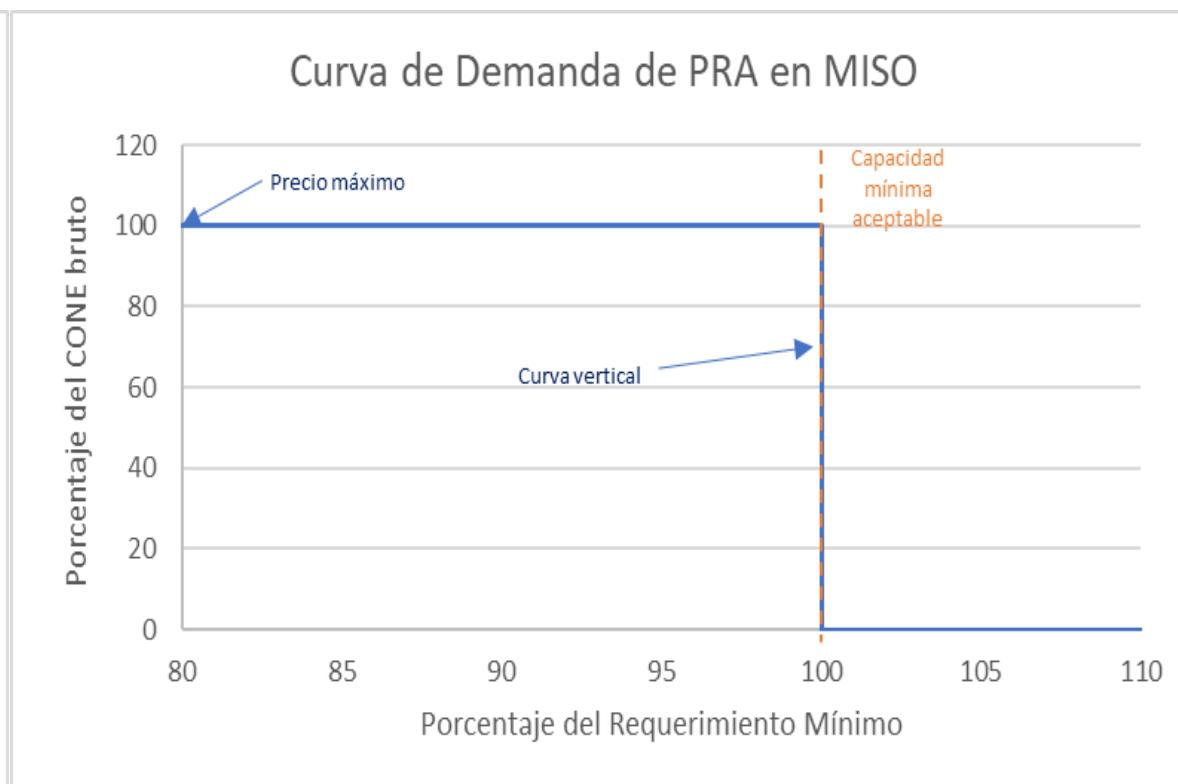


Curva de Demanda RPM en PJM

Revisión de Experiencia Internacional (II)



Curva de Demanda de AESO (no implementado)



Curva de Demanda PRA en MISO

Revisión de Experiencia Internacional (III)

- Mercados revisados: AESO (Alberta, Canadá), MISO (EEUU), PJM (EEUU).

Resumen de Experiencia Internacional

Atributos de la Curva de Demanda	AESO - Alberta	MISO - EEUU	PJM - EEUU
CONE Bruto [USD\$/kW/año]	No definido previo a cancelación. Consideraban 3 alternativas: 114, 236, y 244 (UCAP)	94 (ICAP) ~ 100 (UCAP)	113,89 (UCAP)
CONE Neto [USD\$/kW/año]	No calculado previo a cancelación	No influye en la curva de demanda	95,96
Requerimiento de Confiabilidad (Capacidad Objetivo) [GW]	No definido previo a cancelación	136	153
Precio Máximo [USD\$/kW/año]	Máximo entre $1,75 \cdot \text{CONE Neto}$ y $0,5 \cdot \text{CONE bruto}$	94 (ICAP) ~100 (UCAP)	143,94 ($1,5 \cdot \text{CONE Neto}$)

Revisión de Experiencia Internacional (IV)

Atributos de la Curva de Demanda	AESO - Alberta	MISO - EEUU	PJM - EEUU
Forma de la Curva	Convexa; 2 tramos lineales	Vertical	Convexa; 2 tramos lineales
Precios despejados en última subasta [USD\$/kW/año]	Aún no se ejecuta primera subasta	9 zonas entre 1,7 y 2,5. Una zona (zona 7) en 94 (precio máximo)	Entre 51,1 y 74,6 (2021/22)
Criterios de Flexibilidad en Unidad de Referencia	Sí en diseño preliminar. No aplicados.	No tiene	No tiene
Unidad de Referencia para el CONE	No definido previo a cancelación. Consideraban 3 alternativas: 87 MW Aero CT, 240 MW Frame CT, 471 MW CC	Advanced CT (H-Class) 237 MW	Frame CT: GE 7HA 1x0 ~350 MW

Precio de la Potencia en Chile: Definiciones

Margen de Reserva Teórico: el mínimo sobre-equipamiento en capacidad de generación que permite abastecer la potencia de punta en un sistema o subsistema eléctrico con una suficiencia determinada, dadas las características de las unidades generadoras y de los sistemas de transmisión del sistema eléctrico.

$$MRT = \max \left\{ 10\%, 15\% - \left[\frac{\text{Margen de Potencia} - 1}{0,05} \right] \% \right\}$$

Margen de Potencia: Cuociente entre la sumatoria de la Potencia Inicial de las unidades generadoras y la Demanda de Punta, para cada subsistema o sistema, según corresponda.

Potencia de Suficiencia Preliminar: Se determina para cada central en función de su Potencia Inicial, consumos propios, períodos de mantenimientos, indisponibilidad forzada y limitaciones de operación, reflejando la potencia que la unidad aporta a la Suficiencia de Potencia.

Potencia de Suficiencia Definitiva:

$$P_{suf,i}^{def} = P_{suf,i}^{prelim} \cdot \frac{DMax}{\sum_i P_{suf,i}^{prelim}}$$

Curva de Demanda Equivalente en Chile

Es posible obtener una curva de demanda equivalente en Chile dados los siguientes supuestos:

1. La cantidad demandada de potencia de suficiencia es medida en términos de potencia de suficiencia preliminar.
2. Independiente del nivel de oferta de capacidad, y de las unidades específicas que la provean, el cuociente entre potencia de suficiencia preliminar total y potencia inicial total de cada sistema o subsistema se mantiene constante (k). Dicho cuociente se asume igual a 0,9 en el ejemplo (i.e., k=0,9).
3. El CONE Neto del sistema o subsistema es reemplazado por el cuociente entre el precio básico de potencia y (1+MRT)

Con lo anterior, es posible construir la curva de demanda precio vs cantidad de la siguiente forma:

$$\mathbf{Precio} = P_{potencia}^{básico} \cdot \frac{DMax}{\sum_i P_{suf,i}^{prelim}} = CONE_{Neto} (1 + MRT) \frac{DMax}{\sum_i P_{suf,i}^{prelim}}$$

Donde:

$$MRT = \max \left\{ 10\%, 15\% - \left[\frac{Margen\ de\ Potencia - 1}{0,05} \right] \% \right\} \approx \max \left\{ 10\%, 15\% - \left[\left(\frac{\sum_i P_{suf,i}^{prelim}}{k \cdot DMax} - 1 \right) \frac{1}{0,05} \right] \% \right\}$$

Curva de Demanda Equivalente en Chile: Parámetros

Las unidades de punta, márgenes de potencia, MRT, precios básicos de potencia los 2 subsistemas del SEN son :

Subsistema Centro-Norte (Barra Nogales 220 kV):

Margen de Potencia: 1,69.

MRT: 10%.

Unidad de Punta: Turbina Diesel de 70 MW.

Precio Básico de la Potencia: 7,67 USD\$/kW/mes = 92,04 USD\$/kW/año.

CONE Neto equivalente (estimado): 83,67 USD\$/kW/año.

Subsistema Sur (Barra Puerto Montt 220 kV):

Margen de Potencia: 1,47.

MRT: 10%.

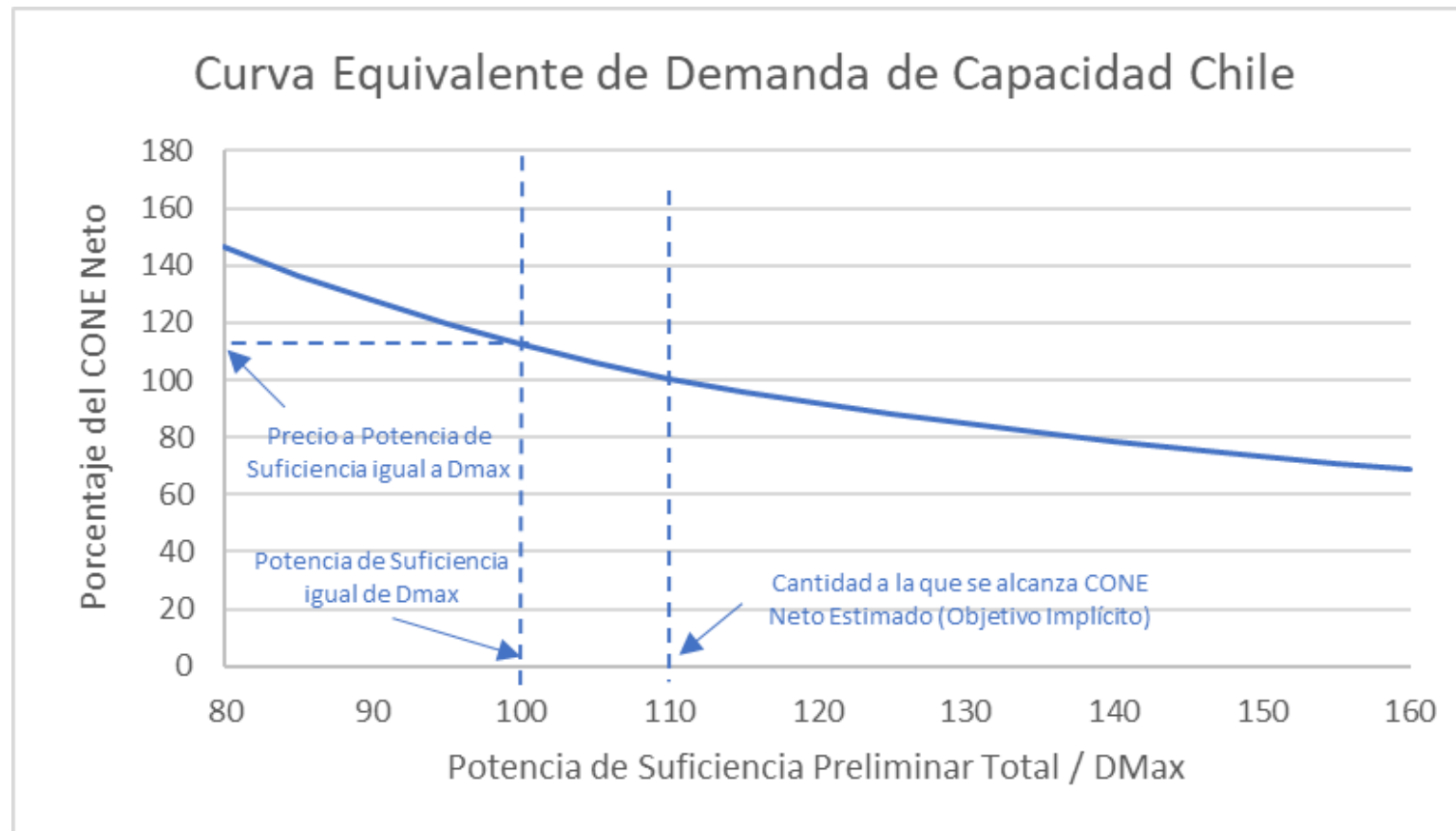
Unidad de Punta: Turbina Diesel de 70 MW.

Precio Básico de la Potencia: 7,1 USD\$/kW/mes = 85,17 USD\$/kW/año.

CONE Neto equivalente (estimado): 77,43 USD\$/kW/año

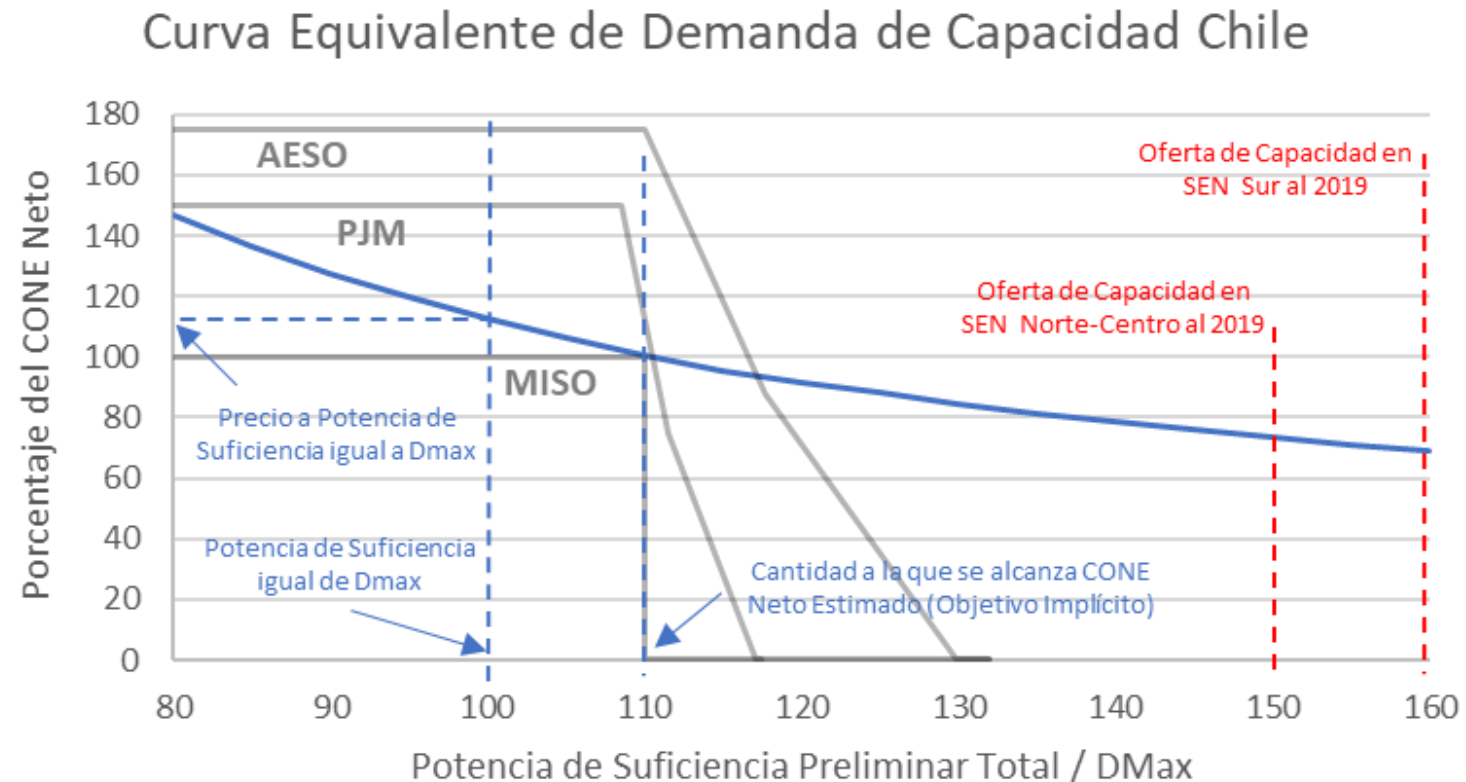
Curva de Demanda Equivalente en Chile (I)

Luego, la curva equivalente de demanda de capacidad en Chile, en base a los supuestos detallados anteriormente, es:

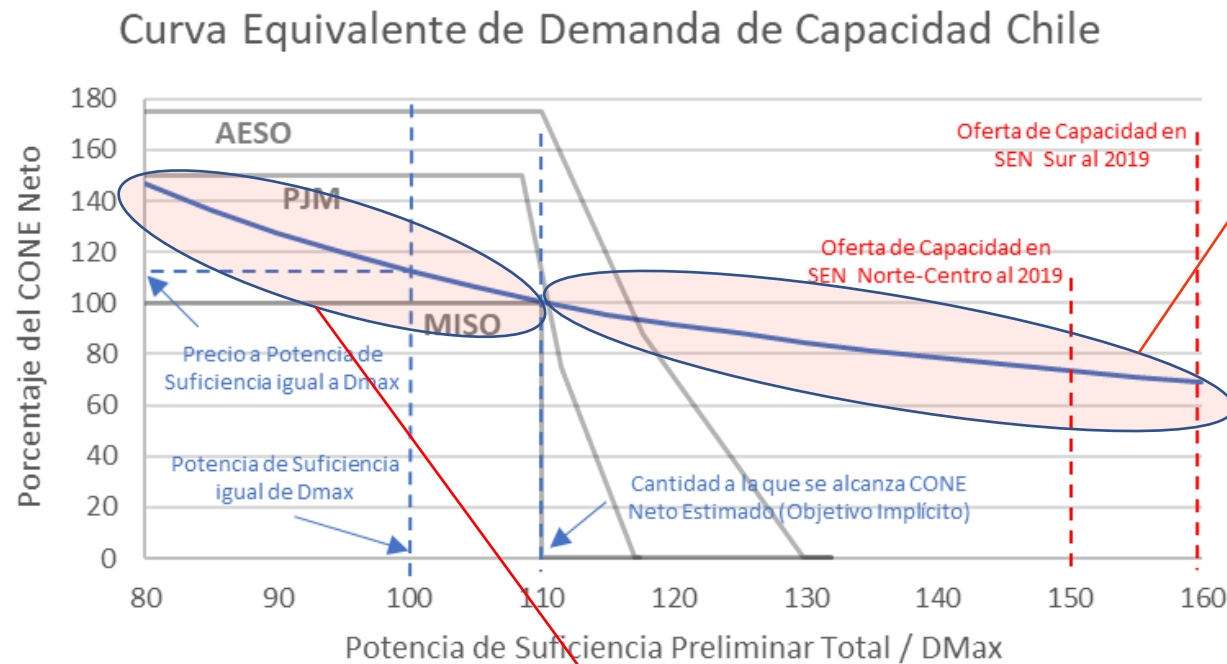


Curva de Demanda Equivalente en Chile (II)

Luego, la curva equivalente de demanda de capacidad en Chile, en base a los supuestos detallados anteriormente, es:



Curva de Demanda Equivalente en Chile (III)



Baja pendiente para niveles de instalación superiores al requerimiento: susceptibilidad a sobreinstalación si CONE Neto es sobre-estimado

Estabilidad de precios y volatilidad de cantidad

Baja pendiente para niveles de instalación inferiores al requerimiento: susceptibilidad a insuficiencia de capacidad si CONE Neto es sub-estimado

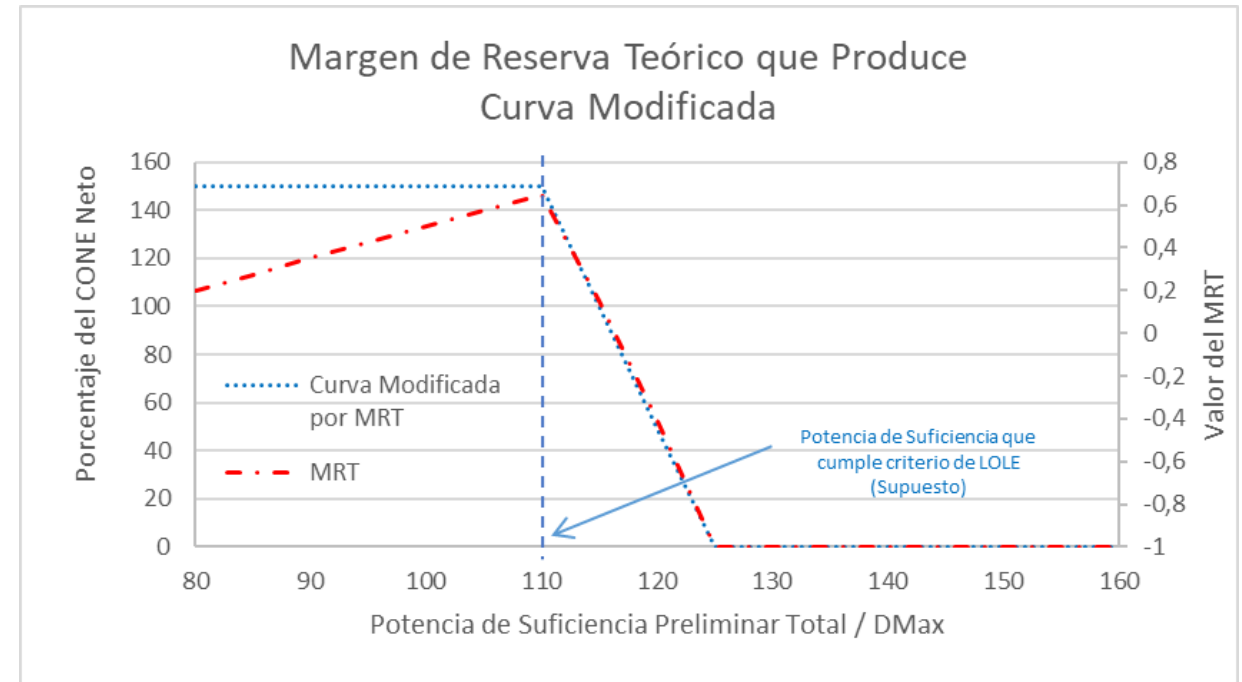
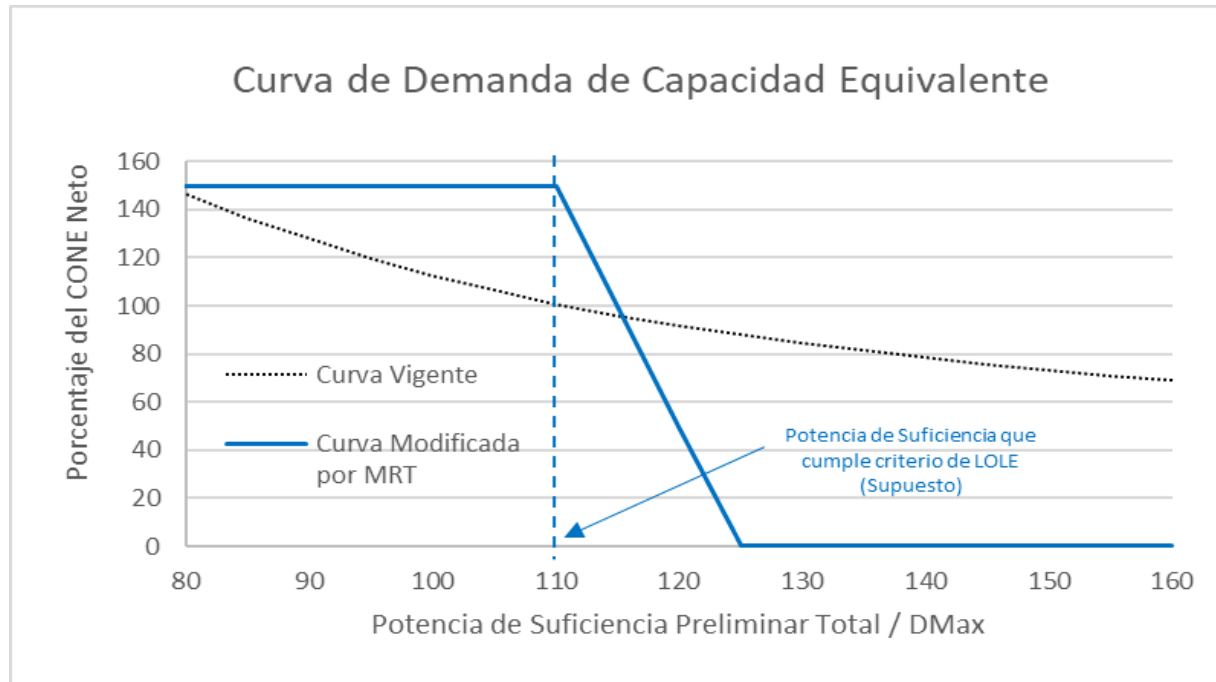
Observaciones Relevantes

- Desde el punto de vista de diseño teórico, y de la experiencia internacional, la curva de demanda equivalente del SEN **no cumple adecuadamente con los criterios de diseño** de curva de demanda en mecanismos de capacidad.
- En primer lugar, el mercado de potencia de suficiencia **carece de un objetivo de confiabilidad explícito**, en base al cual determinar el requerimiento de potencia objetivo el mercado.
- En segundo lugar, la curva de demanda equivalente del SEN **no refleja un balance adecuado entre volatilidad de precios y volatilidad de cantidades** en el mercado de capacidad, siendo muy susceptible a volatilidad en la cantidad (sobre- o sub-instalación)

Observaciones Relevantes

- El pago por potencia de suficiencia total del sistema es constante para un margen de potencia sobre 1,25, lo que no es consistente con experiencia internacional donde se evidencia el uso de curvas con fuerte pendiente negativa en la vecindad de la capacidad objetivo.
- En la regulación vigente, tanto el concepto de MRT como el factor de ajuste por demanda tienen incidencia directa sobre el precio de la potencia de suficiencia que se utiliza para remunerar oferentes.
- Una modificación en la definición del MRT podría ser útil para ajustar el precio de la potencia en función del nivel de instalación del sistema.

Ejemplo de Curva de Demanda modificando MRT



Asesoría Estratégica para el Perfeccionamiento del Pago por Potencia del Mercado Eléctrico Chileno

Curvas de Demanda en Mecanismos de Capacidad: Criterios de Diseño, Experiencia Internacional y Aplicación al Mercado Chileno

Daniel Olivares Quero
Profesor Asociado
Ingeniería Eléctrica UC
