



5.2. Uso de tecnologías de almacenamiento para servicios auxiliares y su potencial para la mitigación del cambio climático

Apéndice C

Capacidad de cortocircuito y curvas fotovoltaicas

Octubre, 2020



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



INECC
INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO



**Danish Energy
Agency**



Directorio

María Amparo Martínez Arroyo, PhD

Directora General del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Elaboración, edición, revisión y supervisión:

Claudia Octaviano Villasana, PhD

Coordinadora General para la Mitigación del Cambio Climático

Eduardo Olivares Lechuga, Eng.

Director de Proyectos Estratégicos en Tecnologías de Bajo Carbono

Roberto Ulises Ruiz Saucedo, Eng.Dr.

Director Adjunto de Innovación y Transferencia de Tecnología

Loui Algren, M.Sc.

Asesor del Organismo de Energía de Dinamarca

Amalia Pizarro Alonso, PhD

Asesora del Programa de Asociación México-Dinamarca para la Energía y el Cambio Climático

Este informe es parte del estudio:

Hoja de ruta tecnológica y potencial de mitigación del almacenamiento de electricidad a escala de servicios públicos en México

Redactado por:

Juan M. Ramírez Arredondo, PhD

Consultor, COWI, Programa México-Dinamarca para la Energía y el Cambio Climático

Por encargo de INECC con apoyo del Programa México-Dinamarca para Energía y Cambio Climático

D.R. © 2020 Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Bld. Adolfo Ruíz Cortines 4209,

Jardines en la Montaña, Ciudad de México. C.P. 14210

<http://www.gob.mx/inecc>



Apéndice C

Capacidad de cortocircuito y curvas fotovoltaicas

Para identificar la robustez eléctrica de los buses es adecuada la métrica de capacidad de cortocircuito (SCC) de cada uno. Esto depende principalmente de la conectividad de cada una de las barras. A continuación, se muestra un resumen de los buses más robustos por área de control, ordenados por capacidad. La figura A.1 indica el área geográfica donde se encuentran.

Occidental	Oriental	Central	Noreste
QUERETARO MAN (SCC = 1)	POZARICA (SCC = 0.84)	TULA (SCC = 0.81)	CHAMPAYAN (SCC = 0.64)
QUERETARO POT (SCC = 0.94)	POZARICA1 (SCC = 0.83)	TEOTIHUACAN (SCC = 0.77)	TAMPICO (SCC = 0.62)
SALAMANCA (SCC = 0.85)	POZARICA3 (SCC = 0.83)	TEOTIHUACAN2 (SCC = 0.77)	ANAHUAC (SCC = 0.43)

Noroeste	Norte	Peninsular
MAZATLAN1 (SCC = 0.07)	MOCTEZUMA (SCC = 0.08)	CHICBUL (SCC = 0.01)
MAZATLAN2 (SCC = 0.07)	MOCTEZUMA-CEVF (SCC = 0.07)	ESCARCEGA (SCC = 0.01)
MAZATLAN3 (SCC = 0.07)	CASASGRANDES (SCC = 0.06)	SABANCUY (SCC = 0.01)

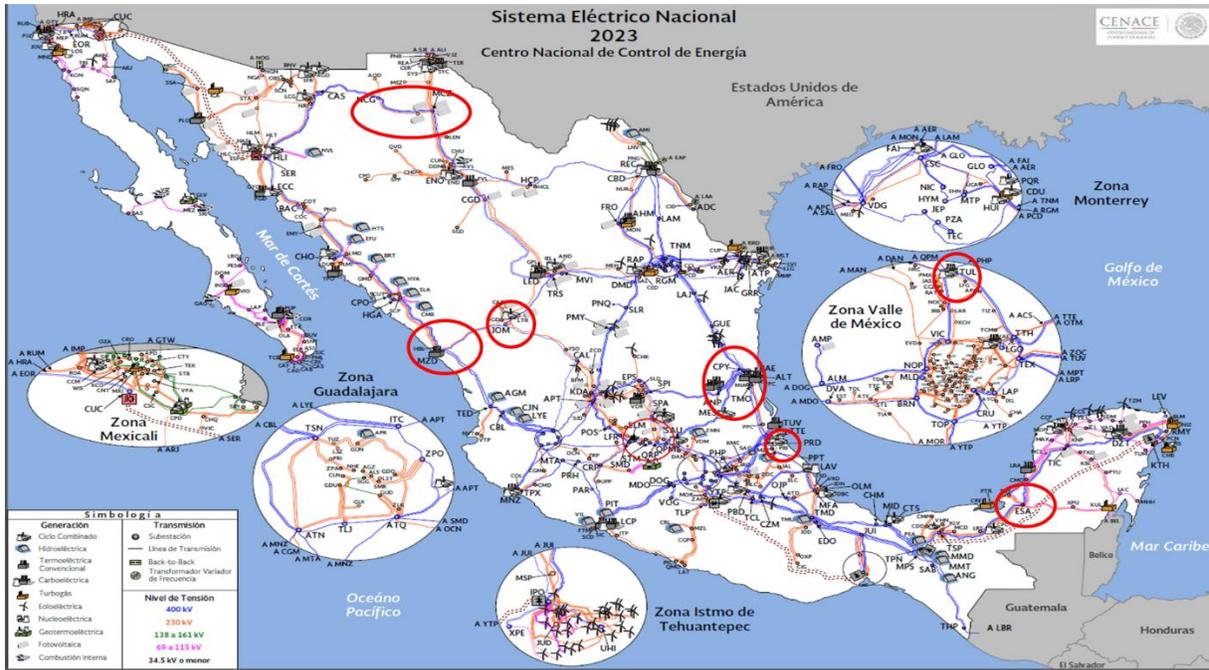


Figura C.1. Los círculos rojos indican las zonas eléctricas más robustas por área de control.

Note una diferencia importante en las capacidades de cortocircuito del MIS. Nótese que hacia el centro geográfico del país se presentan los buses con mayor robustez eléctrica (zona Salamanca Querétaro-Tula). Por el contrario, las áreas de control Peninsular y Noroeste presentan valores mucho más bajos que el resto de las áreas, lo que indica su debilidad eléctrica. Finalmente, esto muestra que tales áreas requieren atención para su funcionamiento.

Dificultades con los voltajes

La potencia reactiva no se puede transmitir a grandes ángulos de potencia, incluso con grandes diferencias de voltaje. Los ángulos grandes se deben a líneas largas y grandes transferencias de energía activa. El requisito de mantener los perfiles de voltaje en aproximadamente $1 \pm 0,05$ pu contribuye a este problema. A diferencia de la transferencia de potencia real, la potencia reactiva no se puede transmitir a largas distancias.

Curvas PV

El proceso de obtención de Curvas P-V involucra una serie de soluciones de flujo de carga aumentando la transferencia de potencia real (MW) de la fuente al sumidero y como resultado se monitorea la variación de voltaje en diferentes buses. Como la relación entre P y V no es lineal, involucra la solución de flujo de potencia total. La transferencia de



potencia real se incrementa con un factor de potencia constante y se monitorizan los voltajes de bus. Las curvas se trazan para los buses de carga. Se puede observar que el voltaje disminuye rápidamente en el punto de inflexión, lo que es indicativo de inestabilidad. Este punto de nariz o rodilla indica el límite de estabilidad y el sistema de potencia nunca debe operarse cerca del límite de estabilidad, ya que puede provocar un apagón a gran escala. Debe dejarse un margen de potencia suficiente para un funcionamiento satisfactorio del sistema.

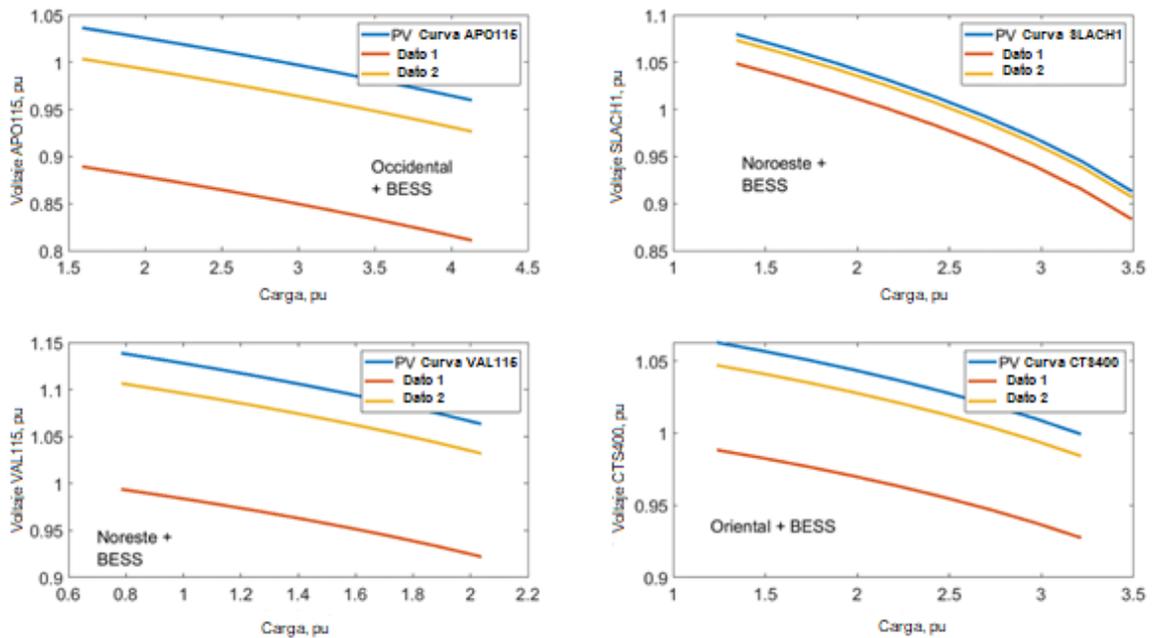


Figura C.2. Curvas fotovoltaicas con y sin BESS

Algunas ventajas de la utilización de la compensación

- Reducción de pérdidas
- Perfil de voltaje mejorado
- Libera capacidad en las líneas de transmisión

	Rango máximo de MW				
SIN	21	339	679	1018	1696

Eso representa un rango máximo de MW reservado para corregir las desviaciones de frecuencia y el error de control de área para esa hora. Sabemos que MWh es lo que impulsa la producción de emisiones.

Supongamos tres escenarios: reemplazar el 10%, 25% y 50% de los MW de generación convencional del caso base asignados para reserva por almacenamiento de energía. Para



el margen de reserva de regulación de frecuencia de 1700 MW para esa hora, significa que el escenario del 10% reemplaza 170 MW de generación fósil con almacenamiento; el escenario del 25% reemplaza a 425 MW y el escenario del 50% reemplaza a 850 MW. Para esa hora, eso representó una reducción máxima de producción de MWh de unidades fósiles de $(170 * 100 / 60,000 =)$ 0.283%, 0.708% y 1.417%. Tenga en cuenta que los cálculos se realizaron asumiendo una demanda máxima de 60 GW.

- En la mayoría de las horas el requisito de regulación de frecuencia es mucho menor que el requerido durante la hora pico del sistema diario.
- Durante un número sustancial de ciclos de AGC durante un período de 1 hora, los recursos están reduciendo su producción (y por lo tanto reduciendo las emisiones) en lugar de aumentar su producción para corregir el exceso de frecuencia y las desviaciones positivas de ACE.
- La combinación de recursos convencionales que realmente proporcionan regulación de frecuencia favorece los ciclos combinados, en lugar de las turbinas de carbón o de combustión.
- En realidad, la cantidad de MW necesarios para la regulación es relativamente pequeña en comparación con los requisitos generales de energía para la operación confiable y económica del sistema. Por lo tanto, al examinar todo el sistema al comparar las diferencias de emisiones, los ahorros parecerán relativamente pequeños en comparación con las emisiones totales requeridas para la operación del sistema.