

Apuntes sobre la contaminación ambiental
producida por las centrales eléctricas de Comisión
Federal de Electricidad que afectan la imagen, salud
y economía de La Paz, B.C.S.

Javier Huerta Lara
Alfredo Bermúdez Contreras

Enero 2014

Información general

Sobre la forma de acceder al documento

- El presente trabajo se presenta en versión impresa, en una de sus partes, conteniendo la relación de términos de referencia enviados por el grupo de trabajo destacado en La Paz, BCS.
- Cada uno de los términos de referencia tiene una breve respuesta solo para atender de manera sucinta la pregunta, en la mayoría de los casos se hace un vínculo que se podrá ver en computadora mediante la instalación del dispositivo anexo. La información complementaria consiste en las diferentes fuentes consultadas y serán de utilidad si se desea ampliar el conocimiento sobre algún tema en particular.

CONTENIDO

- **PREÁMBULO**
- **INTRODUCCIÓN**
- **TÉRMINOS DE REFERENCIA**
- **RECOMENDACIONES**

PREÁMBULO

- Con el objeto de acceder a la información de una manera mas clara es necesario identificar algunos conceptos, definiciones y abreviaturas que pueden ser de utilidad.
- CT Central Termoeléctrica
- CCI Central de Combustión Interna
- CCI-BCS Central de Combustión Interna Baja California Sur)
- CTPP Central Termoeléctrica de Punta Prieta
- CTG Central Turbogas
- UGT Unidad Generadora Termoeléctrica
- UCI Unidad de Combustión Interna
- UTG Unidad Turbogas
- W Watt, Unidad de Potencia Eléctrica
- Wh Watthora, Unidad de Potencia generada en una hora
- kW 1000 Watts
- MW un millón de Watts
- GW un mil millones de Watts
- ppm partes por millón

PREÁMBULO

- O₂ Oxígeno
- O₃ Ozono
- CO₂ Dióxido de Carbono
- SO₂ Dióxido de Azufre
- POISE Programa de Obras de Inversión del Sector Eléctrico
- SEMARNAT Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales
- LEEGEPa Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
- RLEEGEPa Reglamento de la LEEGEPa en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental.
- CENACE Centro Nacional de Control de Energía.
- CFE Comisión Federal de Electricidad.
- CCBCS Consejo Consultivo de CFE y gobierno del Estado de Baja California Sur
- CIBNOR Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
- OIC Órgano Interno de Control.

PREÁMBULO

- PEMEX Petróleos Mexicanos
- PST Partículas Suspendidas Totales
- NO_x Oxido de Nitrógeno
- PROFEPA Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
- NOM Norma Oficial Mexicana
- SENER Secretaria de Energía.
- CTJ Central Turbojet
- UTJ Unidad Turbojet
- DTG Diésel Turbogas
- UT Unidad Termoeléctrica.
- CC Ciclo Combinado
- MVA Mega Volt Ampere

PREÁMBULO

- A diciembre de 2013, el sistema eléctrico [Baja California Sur](#), cuenta con 17 unidades de generación ubicadas en 5 Centrales Eléctricas interconectadas entre sí. Dichas Centrales se localizan una en San Carlos, una en Ciudad Constitución, dos en La Paz y una en Cabo San Lucas.
- La operación del sistema la lleva a cabo la dirección local del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE). La operación particular de cada unidad generadora depende de las políticas implementadas por el mismo Centro. Normalmente el objetivo es la reducción del costo de generación según la disponibilidad de las distintas unidades. Esto significa que para la generación base en Baja California Sur se utiliza primero la central termoeléctrica (CT), después las centrales de combustión interna (CCI), posteriormente las unidades turbogás (UTG) y por último las unidades turbojet (UTJ). Estas dos últimas se utilizan normalmente para cargas pico o en condiciones de emergencia.

PREÁMBULO

- La electricidad que requiere el sistema se produce en el instante mismo en que se consume. No hay capacidad (ni posibilidad) de almacenamiento. **Por tanto, la generación y la demanda siempre están balanceadas.** Esto se logra mediante la entrada y salida de centrales generadoras así como de la modificación de su punto de operación.
- Vale destacar que cerca del 60 % de la capacidad instalada del sistema se localiza en las Centrales de La Paz, y que normalmente operan todo el año.
- Observando la demanda máxima del sistema, encontramos que el 50% se genera en las centrales eléctricas de La Paz. Esto hace suponer que las condiciones normales de operación durante todo el año probablemente no sea muy diferentes.

PREÁMBULO

- Las termoeléctricas utilizan combustóleo como insumo para los quemadores de las calderas que calientan agua a altas temperaturas para producir vapor. Este vapor impulsa las turbinas que, al estar acopladas a los generadores de energía eléctrica, los hacen girar y así producir electricidad.
- Las unidades de combustión interna, son máquinas de dos tiempos de la compañía MAN Diesel & Turbo similares a los motores diésel de tipo comercial pero de mayor escala. En estas unidades la energía proviene de la explosión del combustible (combustóleo o intermedio 15) dentro de las cámaras de combustión, la cual se trasmite a un cigüeñal que está acoplado al generador de energía eléctrica.
- Las UTG utilizan diésel como combustible. Los gases a muy alta temperatura resultantes de la combustión del diésel con exceso de aire impulsan una turbina que está acoplada un generador de energía eléctrica.
- Las UTJ trabajan en forma similar a las UTG pero con tiempos de respuesta menores de forma que pueden empezar a generar y tomar carga en pocos minutos desde su arranque. Esta característica, junto con su alto costo de operación, hace que las UTG y las UTJ operen preferentemente para abastecer picos de demanda.

INTRODUCCIÓN

- El presente trabajo de investigación hace un recopilación de información que permite descubrir algunos aspectos relacionados con la contaminación ambiental producida por la Central Termoeléctrica de Punta Prieta (CTPP) y la Central de Combustión Interna Baja California Sur (CCI-BCS), ambas ubicadas en La Paz.
- De entrada es importante destacar que, para mitigar las emisiones de partículas y de óxidos de azufre a la atmósfera, la CTPP cuenta con precipitadores electrostáticos y sistemas de dosificación de químicos. Este no es el caso de la CCI-BCS, UTG ni las UTJ. Estas dos últimas se discutirán solamente de forma superficial en este trabajo debido a que, en comparación con la CTPP y la CCI-BCS, su aportación al rubro contaminante no representa cantidades significativas.

TÉRMINOS DE REFERENCIA

1.- Breve descripción técnica de cada una de las unidades generadoras en La Paz (ubicación, tipo, antigüedad, capacidad, porcentaje de uso y eficiencia, etc).

La generación eléctrica ubicada en La Paz, Baja California Sur, consta de tres tipos de unidades: termoeléctrica, combustión interna y turbogás.

La CTPP cuenta con tres unidades de 37.5 MW cada una. Estas fueron instaladas progresivamente en 1979, 1980 y 1985. Asimismo se instalaron dos unidades turbogás para condiciones de emergencia, con capacidades de 18 y 25 MW, respectivamente.

En otro sitio (predio Coromuel), al nororiente de la ciudad se encuentra la CCI-BCS, que consta de 3 unidades combustión interna en operación de 37.5, 42 y 42 MW que se construyeron entre los años 2002-2012 (entrada en operación: 2005, 2007 y 2012) y una cuarta unidad aún en construcción de 43 MW.

Para el análisis de las centrales en La Paz, por motivo de interconexión, deben considerarse también la CCI Gral. Agustín Olachea (San Carlos), así como las CTG y CTJ Los Cabos (Cabo San Lucas) y la CTG Constitución (Ciudad Constitución). Los porcentajes de usos de estas centrales varían con el tiempo en función de los costos de operación, disponibilidad y demanda instantánea.

2.- ¿Cuáles de las unidades que usan filtros?; ¿cuándo se instalaron?; ¿cómo se usan (continuo o intermitente)?; ¿qué tanto disminuyen la contaminación?

- Las unidades de la Central Termoeléctrica de Punta Prieta cuentan con un Sistema de Control de Emisiones a la Atmósfera, el cual está integrado por unos precipitadores electrostáticos (retención de partículas), un sistema de dosificación de reactivos químicos (hidróxido de magnesio y nitrato de calcio para conversión de SO_3 a sulfatos) y equipos de recolección y disposición de subproductos. Los precipitadores electrostáticos se instalaron en los años 2006-2007 y su uso es de carácter permanente.
- De acuerdo con los informes de la CFE se tiene una disminución del 90% en la emisión de sólidos, 76% de trióxido de azufre SO_3 , 74 % de disminución de la opacidad de las emisiones a la atmósfera.
- Es necesario mencionar que las unidades III y IV de la CCI-BCS contemplan la remoción catalítica de óxidos de nitrógeno mediante un sistema SCR.
- En el reporte de la sesión ordinaria de la Cámara de Senadores del 13 diciembre 2013 se propuso como Punto de Acuerdo la instalación de precipitadores electrostáticos en las unidades de combustión interna de la central Baja California Sur I-II-III-y IV.

3.- ¿Sería posible que las plantas en las condiciones actuales cambiaran a otro tipo de combustible menos contaminante o más amigable con el medio ambiente como el gas natural? ¿Cuánto costaría hacer ese cambio?

En el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico [\(POISE\) 2012-2026](#) (p. 3-62) se señala que:

“Sistema BCS. Actualmente las plantas de CFE en Baja California Sur operan a base de combustóleo y diésel. CFE puede cambiar el insumo de estas plantas a gas natural con baja inversión, generando importantes ahorros en costos de producción y adicionalmente, se reducirá sustancialmente las emisiones de CO₂, SO_x, NO_x y partículas suspendidas”.

Como referencia, la central Baja California Sur III tuvo un [costo de 107 millones de dólares](#). Asimismo, el POISE (pp. vii, E-14) también contempla iniciar con [el suministro de gas natural a Baja California Sur en 2016](#) para abastecer las nuevas centrales planeadas a partir de ese año. En este mismo documento se tiene contemplado el retiro de algunas unidades generadoras en el estado (pp. 3-16, 3-17). Entre ellas las unidades 1 y 2 de Punta Prieta en 2018 y las dos unidades turbogás ubicadas también en la misma central en 2025.

A la luz de esta información, la posibilidad del cambio de combustible en las centrales localizadas en La Paz parece más razonable para las unidades de la CCI-BCS dado que las otras unidades están ya programadas para retiro en el mediano plazo. Para las CCI BCS es deseable la instalación de medios reductores de contaminantes como los precipitadores electrostáticos.

Nueva capacidad para BCS

	Año operación	Capacidad (MW)		
Guerrero Negro III	2012	11	CI	Combustión interna
Santa Rosalía II	2012	15	CI	Combustión interna
Baja California Sur III	2012	43	CI	Combustión interna
Guerrero Negro IV	2013	7	CI	Combustión interna
Baja California Sur IV	2013	43	CI	Combustión interna
Santa Rosalía III	2014	11	CI	Combustión interna
Baja California Sur V	2015	43	CI	Combustión interna
Todos Santos	2016	80	CC	Ciclo combinado
Todos Santos II	2016	49	TG	Turbogás
Todos Santos III	2021	129	TG	Turbogás
La Paz	2023	130	CC	Ciclo combinado
Todos Santos IV	2025	130	CC	Ciclo combinado
Los Cabos TG	2026	43	TG	Turbogás
		604		
Cable submarino	2018	300	AC/DC/AC	

Fuente: [POISE 2012-2026](#)

4.- Cuantificación del uso de energía producida por las plantas de La Paz entre los diferentes centros de población.

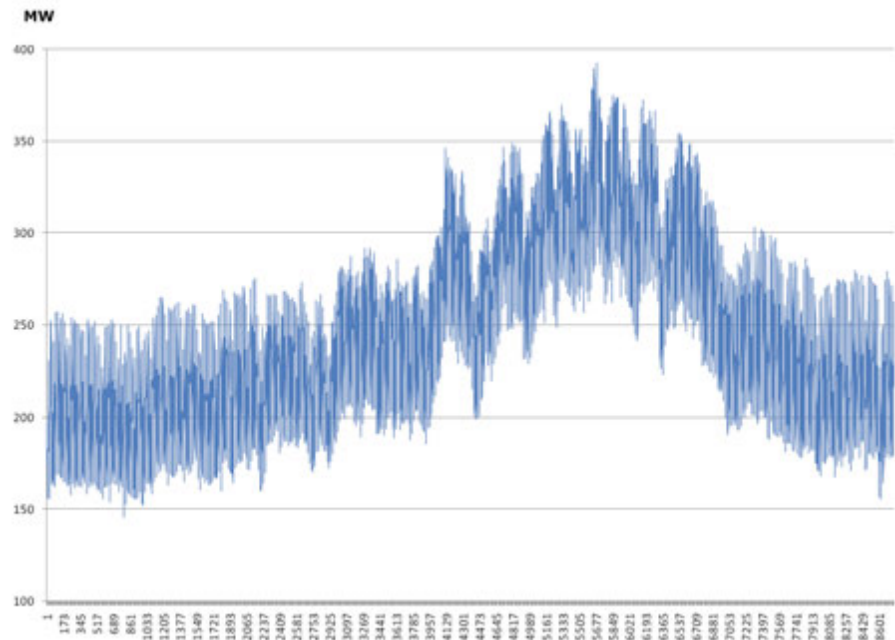
La comparación entre ventas y generación por municipio proporciona un buen estimado sobre la distribución entre producción y consumo de la energía en el estado. La siguiente tabla (datos de 2011) muestra que la mayor parte de la generación (51%) se lleva a cabo en La Paz mientras que las mayores ventas, en Los Cabos (44%). El POISE (pp. 4-57, E-1) señala que la instalación de generación base en Los Cabos está restringida.

	Volumen de las ventas	Generación bruta	Generación neta	Balance
	(MWh)	(MWh)	(MWh)	(MWh)
Comondú	228,625	727,573	703,027	474,402
Mulegé	107,512	135,588	121,760	14,248
La Paz	710,299	1,177,335	1,111,049	400,750
Los Cabos	875,467	259,621	258,114	-617,353
Loreto	49,661	0	0	-49,661
TOTAL	1,971,564	2,300,117	2,193,950	222,386

Fuente de los datos: [Datos básicos de Baja California Sur 2012 \(pp. 160, 165\)](#)

5.- ¿Con que frecuencia se alcanza la demanda máxima de 400 MW?

- La demanda máxima medida en el sistema eléctrico tiene como objetivo determinar el pronóstico para el futuro y con base en ello tomar las medidas necesarias de atención al crecimiento.
- El [informe anual del CENACE \(pp. 16-21\)](#) muestra la demanda máxima mensual y semanal por zona. La demanda máxima de todo el año se da en los últimos días del mes de agosto de cada año .
- El [POISE \(p. E-3\)](#) también proporciona la demanda horaria integrada de BCS (2010).



6.- ¿Qué combustible se usa actualmente en cada equipo?

El combustible utilizado en las centrales eléctricas, tanto termoeléctrica como de combustión interna, es el combustóleo. La unidad I de la CCI-BCS opera con una mezcla de combustóleo (85%) y diésel (15%) llamada intermedio 15. Asimismo, las unidades turbogás (y turbojet) utilizan combustible diésel (ver tabla en la siguiente página).

Nombre	Número de unidades	Capacidad efectiva (MW)	Tipo	Combustible
Tres Vírgenes	1	1	Solar FV	Solar
Tres Vírgenes	2	10	Geotermoeléctrica	Vapor geotérmico
Guerrero Negro	1	0.6	Eólica	Viento
Ciudad Constitución	1	33	Turbogás	Diésel
La Paz (Punta Prieta)	2	43	Turbogás	Diésel
Los Cabos	3	85	Turbogás	Diésel
Guerrero Negro (P.Móvil OT-5000-1)	1	2.9	Turbogás	Diésel
Santa Rosalía (P.Móvil T-14000-1)	1	12.5	Turbogás	Diésel
Cabo San Lucas (P.Móvil T-14000-2)	1	12.5	Turbogás	Diésel
Cabo San Lucas (P.Móvil T-25000-1)	1	19	Turbogás	Diésel
Cabo San Lucas (P.Móvil T-25000-2)	1	19	Turbogás	Diésel
Baja California Sur I	3	121	Combustión interna	Combustóleo + Diésel
Gral. Agustín Olachea A. (Pto. San Carlos)	3	104	Combustión interna	Combustóleo + Diésel
Guerrero Negro II (Vizcaíno)	3	11	Combustión interna	Combustóleo + Diésel
Santa Rosalía	11	7	Combustión interna	Diésel
Punta Prieta II	3	112.5	Termoeléctrica	Combustóleo + Diésel
TOTAL	38	594		

Fuente: [IEGEE BCS](#), [CFE](#)

7.- Breve descripción de las características de cada combustible.

- Diésel (p. 142):
 - Combustible líquido que se obtiene de la destilación del petróleo entre los 200 y 380 °C. Es un producto de uso automotriz e industrial que se emplea principalmente en motores de combustión interna tipo diésel.
- Combustóleo (p. 142):
 - Combustible residual de la refinación del petróleo. Abarca todos los productos pesados y se incluye el residuo de vacío, *Virgin Stock*, residuo de absorción y residuo largo. Se utiliza principalmente en calderas, plantas de generación eléctrica y motores para navegación. Se divide en combustóleo pesado, ligero e intermedio. Es el combustible líquido más usado en la generación de electricidad (ver una descripción más completa, p. 43).

Nota la compañía colombiana Ecopetrol menciona acerca del combustóleo (fuel oil no. 6):

“Este producto no podrá ser usado como combustible en quemadores, hornos, secadores y calderas o demás equipos y plantas que generen emisiones atmosféricas que puedan afectar la calidad del aire.”

8.- ¿Es cierto que se utiliza el combustible de más baja calidad para que funcionen las plantas generadoras de electricidad en La Paz?

Como quedó descrito en el punto anterior, el combustóleo es un combustible residual de la destilación y craqueo del petróleo. Sin embargo, el uso de carbón como combustible para generación de electricidad resulta en emisiones contaminantes superiores a las del combustóleo.

9.- Origen de cada combustible que se usa en La Paz.

- El principal origen de combustible utilizado en las centrales eléctricas de La Paz son las refinerías que operan en el país, aunque eventualmente puede ser de cualquier otro país productor de petróleo.
- Actualmente se está en espera de información más precisa al respecto.

10.- Breve descripción de ruta y modo de transporte del combustible a La Paz.

- Como se ha mencionado el principal proveedor de combustible para las centrales eléctricas del sistema La Paz es PEMEX, pero puede ser y de hecho se da el caso que el suministro lo haga cualquier proveedor que esté en condiciones de hacerlo.
- Los combustibles para generación de electricidad llegan a Baja California Sur por mar en buques tanque. Los puntos de llegada a tierra de estos combustibles son Punta Prieta en La Paz y Puerto San Carlos en Comondú.

11.- Análisis químico de cada uno de los combustibles, con énfasis en los contaminantes principales (azufre, vanadio, titanio, plomo, mercurio, cadmio, etc.).

- Diversas cartas informativas de PEMEX ([combustóleo 1](#), [combustóleo 2](#), [diésel](#)), análisis del Instituto de Investigaciones Eléctricas ([combustóleo](#)) e información proporcionada por distribuidores autorizados de PEMEX ([combustóleo](#), [diésel](#)) reportan los siguientes datos para
- Combustóleo:
 - AZUFRE: 4.0% máximo
 - VANADIO: 329 ppm promedio
 - NÍQUEL: 35-60 ppm
 - SODIO: 30-90 ppm
- Diésel industrial (y bajo azufre):
 - AZUFRE: Total % de peso 0.5% , 5000 mg/kg (0.05%, 500 mg/kg)
- [COA CCI-BCS 2012](#):
 - Combustóleo pesado: 3.9% azufre; intermedio 15: 3.45% azufre; diésel: 0.05% azufre
- [COA CTPP 2012](#):
 - Combustóleo pesado: 3.13% azufre; diésel: 0.064% azufre

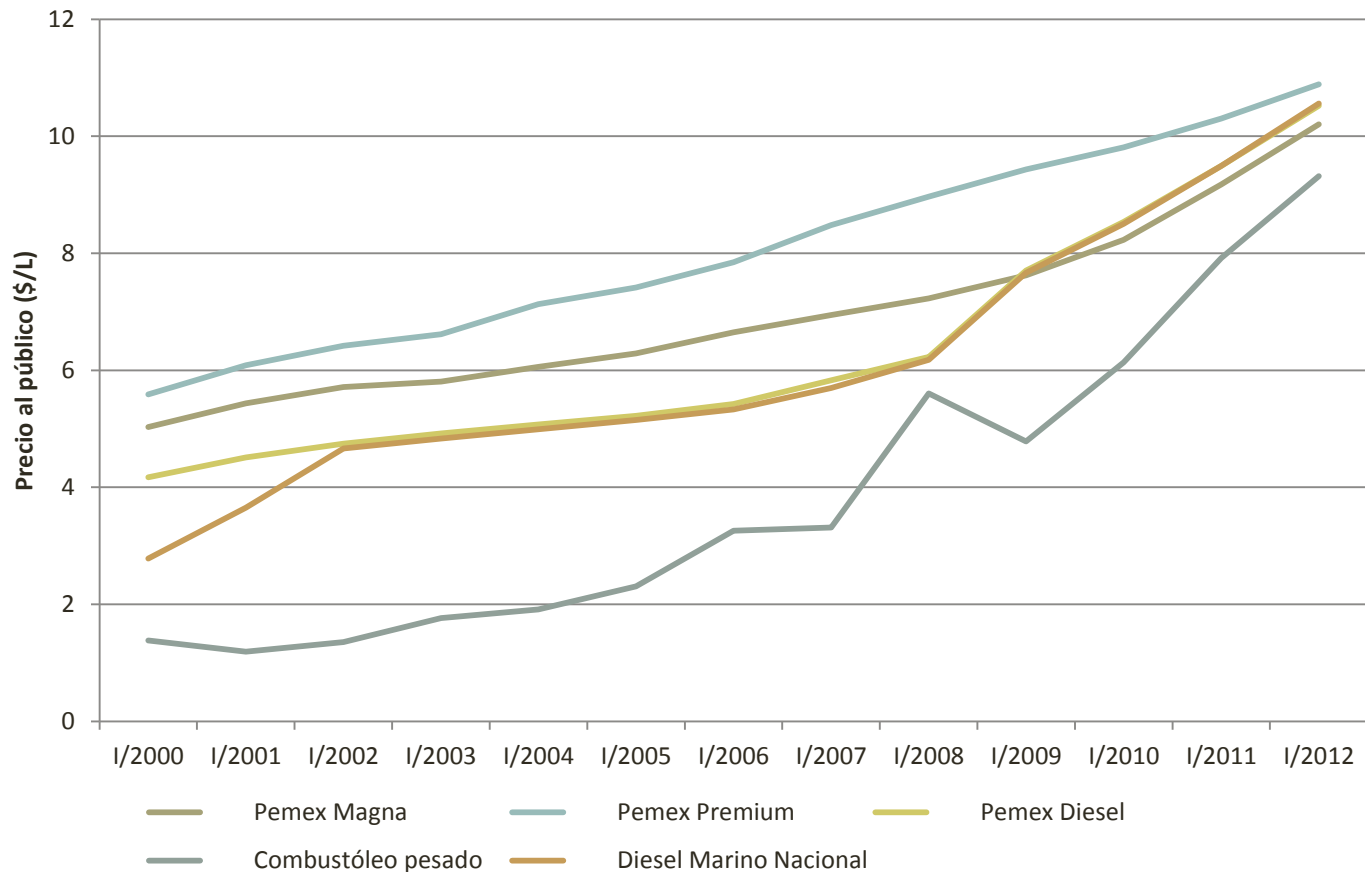
12.- Ventajas y desventajas de cada combustible.

- Dado que la tecnología de diseño empleada para cada central eléctrica define el combustible a utilizar, es difícil precisar ventajas y desventajas de cada combustible dado que las alternativas son limitadas (prácticamente inexistentes). Sin embargo, de forma general pueden enlistarse las siguientes:
- **Ventajas:**
 - Combustóleo – tradicionalmente de bajo costo (no así en forma reciente), disponible en el mercado nacional
 - Diésel – combustible de menor contenido de azufre que el combustóleo (y existe también el diésel industrial bajo en azufre) y de menor viscosidad, lo que facilita su manejo; disponible en el mercado nacional
- **Desventajas:**
 - Combustóleo – alto contenido de azufre y metales, muy alta viscosidad (requiere ser calentado para bombeo en ductos); alto costo del combustóleo bajo en azufre
 - Diésel – alto costo por ser un combustible de alta calidad

13.- Costos de los diferentes combustibles.

- Los costos de los combustibles (fuente: Asociación Mexicana de Empresarios Gasolineros) varían de acuerdo con las fechas de venta y los puntos de entrega. A mediados de 2013 se tenían los siguientes precios:
- Combustóleo, $\$/\text{m}^3$, 7,877.53 a 8,551.744
- Combustóleo Pañol, $\$/\text{m}^3$, 8,811.84 a 9,653.23
- Intermedio 15, $\$/\text{m}^3$, 8,198.52 a 9,599.30
- Diésel, $\$/\text{L}$, 11.67 a 11.94
- Evolución de precios al público 2002 – 2012 (ver siguiente lámina)

Precio al público 2000-2012



Fuente: [Sistema de Información Energética](#)

14.- Características de contaminación de cada combustible.

- Algunos componentes presentes en los combustibles utilizados en las centrales eléctricas ya han sido indicados con antelación en este documento. Además de estos, estudios realizados en la Central Termoeléctrica Punta Prieta (1996) encontraron también que en los residuos sólidos (ceniza y escoria) y emisiones gaseosas se encontraban los siguientes materiales:
 - Ceniza (producto de limpieza en áreas de combustión) – Contiene bario, níquel, cromo, cadmio y plomo
 - Escoria (colectada durante los mantenimientos) – Contiene pentóxido de vanadio, trióxido de hierro, óxido de sodio, óxido de zinc de níquel y sulfatos
 - Mediciones en chimeneas – Se encontró SO_2 , H_2SO_4 , NO_x , CO y PST
- Asimismo, un análisis del Laboratorio de Pruebas, Equipos y Materiales de la CFE (LAPEM) reportados en un estudio reciente (p. 10) efectuado en una central termoeléctrica en Veracruz que opera con combustóleo encontró en las cenizas y/o lodos óxidos de aluminio, silicio, hierro (férrico y ferroso), magnesio, calcio y níquel así como trióxido y pentóxido de vanadio, vanadato férrico y otros vanadatos de sodio y níquel.

Factores de emisión de cada combustible.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	COVDM	Contenido de azufre
	(t/TJ)	(kg/TJ)	(kg/TJ)	(kg/TJ)	(kg/TJ)	(kg/TJ)	(%)
Gas natural	56.1	1	0.1	150	20	5	Despreciable
Diésel	74.1	3	0.6	200	15	5	0.3-1
Combustóleo	77.4	3	0.6	200	15	5	1-4

15.- Idea cuantitativa de las emisiones de cada una de las unidades, funcionando a diferentes capacidades.

Información de la COA de CTPP 2012

			Máximo permisible		Monitoreos				
			Cantidad		Unidad	1	2	3	4
U1	Generador de vapor	Partículas	350	mg/m3	28	30	29	30	29
		Nox	375	ppm	234	222	159	186	200
		SO2	2200	ppm	1061	842	855	838	899
U2	Generador de vapor	Partículas	350	mg/m3	245	27	27	33	83
		Nox	375	ppm	245	214	179	171	202
		SO2	2200	ppm	957	813	850	776	849
U3	Generador de vapor	Partículas	350	mg/m3	31	33	42	34	35
		Nox	375	ppm	164	156	170	139	157
		SO2	2200	ppm	955	841	810	837	861
TG1	Turbina de gas	SO2	2200	ppm	64				64
TG2	Turbina de gas	SO2	2200	ppm	13				13

Información de la COA de CCI-BCS 2012

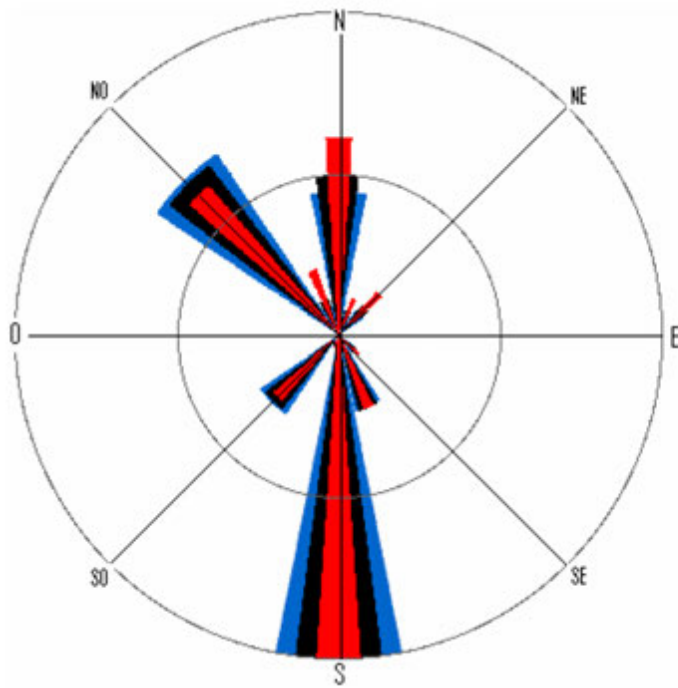
			Máximo permisible	Unidad	Monitoreos				
			Cantidad		1	2	3	4	Promedio
U1	Motor CI	Partículas	350	mg/m3	301		269	278	282
		Nox	3555	ppm	635	659	561	696	638
		SO2	2200	ppm	666	913	466	493	634
	Caldera aux	CO	500	ppm	8	1			4
		SO2	2200	ppm	13	29			21
	Gen emergencia	SO2	2200	ppm	8	25	26	26	21
U2	Motor CI	Partículas	350	mg/m3	231	285	286	288	273
		Nox	3555	ppm	591	610	378	549	532
		SO2	2200	ppm	735	409	484	745	593
	Caldera aux	CO	500	ppm	8	7	49	4	17
		SO2	2200	ppm	0	23	26	29	20
	Gen emergencia	SO2	2200	ppm	8	23	26	26	25
U3	Motor CI	Partículas	350	mg/m3	313				313
		Nox	3555	ppm	611				611
		SO2	2200	ppm	907				907
	Caldera aux	CO	500	ppm					0
		SO2	2200	ppm	29				29
	Gen emergencia	SO2	2200	ppm	26				26
Turbojet		Nox	2300	ppm	156	376	149	151	203
		SO2	2200	ppm	79	97	26	26	57

16.- ¿Las emisiones varían en el tiempo o son constantes?

- El volumen de emisiones depende de la cantidad de combustible utilizado. Esto a su vez depende de la demanda instantánea en todo el sistema y cómo esté repartida esta carga entre las distintas unidades generadoras. La carga varía con la hora del día, el día de la semana y el mes del año. Por tanto los niveles de emisiones son también variables (aunque algunas plantas se operan de forma muy uniforme).

17.- Influencias meteorológicas sobre las emisiones (viento).

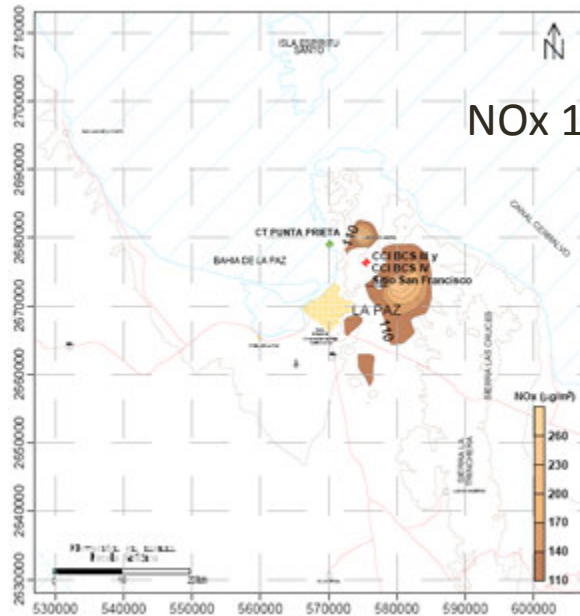
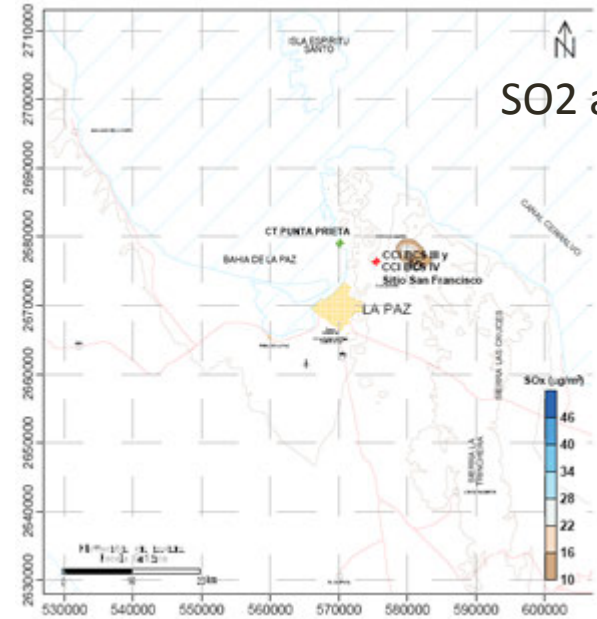
- Con excepción de los contaminantes removidos por los precipitadores electrostáticos en la CTPP y por el sistema SCR en CCI-BCS, el resto de los compuestos presentes en los gases de combustión se liberan directamente a la atmosfera a través de las chimeneas de las plantas generadoras. La trayectoria de estas emisiones depende principalmente de los patrones de viento locales. En la [manifestación de impacto ambiental](#) para la 235 CCI Baja California Sur IV se presenta la siguiente rosa de los vientos para La Paz, la cual muestra la dirección de los vientos dominantes durante el año (observaciones 1982-2005). Asimismo, en este documento se presentan isocurvas de concentración de NO_x, SO₂ y PM₁₀ para estimar las zonas posibles de afectación con estos compuestos derivados de la operación de las centrales de CFE.



-  Frecuencia
-  Velocidad por frecuencia
-  Energía

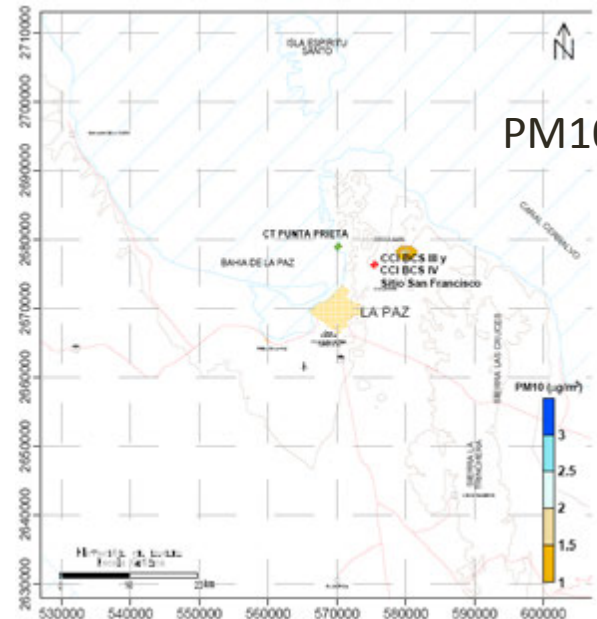
Annual

SO₂ anual



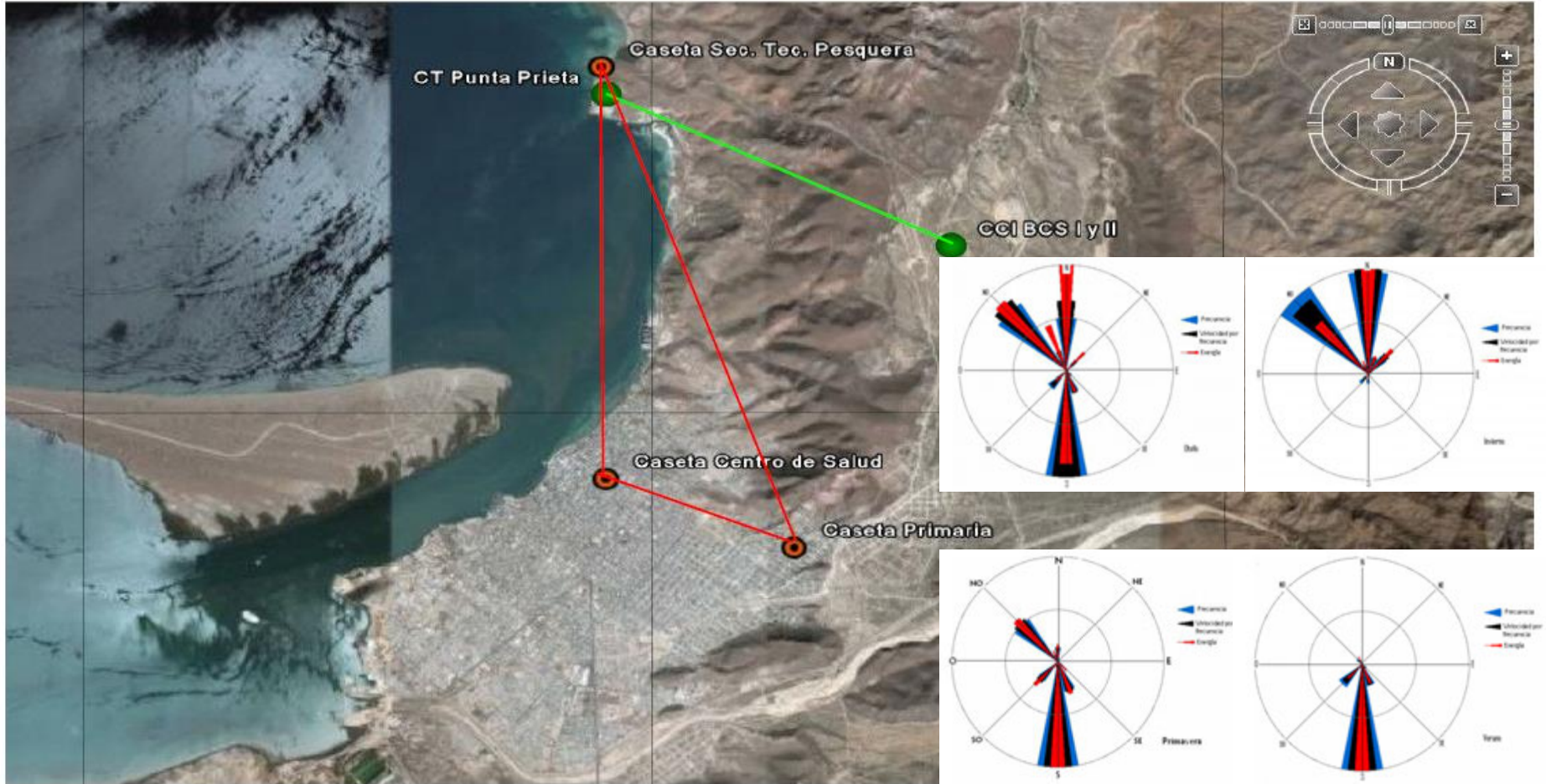
NO_x 1h

PM₁₀ anual



18.- ¿Cómo mide la CFE las emisiones? (Métodos, lugares, periodicidad).

- Las COAs sugieren que se hacen monitoreos *in situ* para conocer los niveles de emisiones en las chimeneas de cada planta. En 2012 se reportaron hasta 4 monitoreos durante el año tanto para las unidades de CTPP como para las de CCI-BCS.
- Asimismo, existen tres casetas de monitoreo en la Ciudad de La Paz y sus alrededores (ver siguiente lámina) según se reporta en la MIA de la 235 CCI BCS IV (p. IV-12). Este documento sugiere que los datos recolectados en estas casetas tienen una resolución de un minuto. Sin embargo, se desconoce el régimen de operación de estas casetas de monitoreo (permanente o intermitente).



19.- ¿Qué normas oficiales mexicanas regulan las emisiones de las diferentes plantas? ¿Qué normas regulan su medición?

- Emisiones y calidad de combustibles
 - **NOM-085-SEMARNAT-2011** – Contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición. Debe mencionarse que esta norma no aplica a CCI-BCS pero sí a CTPP. Sin embargo se utilizan sus valores como referencia.
 - **NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005** –Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental. Esta norma solamente especifica niveles máximos para azufre (ver siguiente lámina)
- Medición:
 - NMX-AA-009-1993-SCFI, (flujo de gases)
 - NMX-AA-010-SCFI-2001, (emisión de partículas contenidas en los gases)
 - NMX-AA-035-1976, (bióxido de carbono, monóxido de carbono y oxígeno en los gases de combustión)
 - NMX-AA-054-1978, (humedad en los gases que fluyen por un conducto)
 - NMX-AA-055-1979, (bióxido de azufre en gases que fluyen por un conducto)
 - NMX-AA-056-1980 (bióxido de azufre, trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico) NMX-AA-114-1991 (densidad del humo en los gases de combustión)

NOM 086 SEMARNAT SENER SCFI 2005

Diésel

Combustóleo

Azufre	% peso (ppmP)	Azufre en productos de petróleo por espectroscopia de fluorescencia de rayos X por dispersión de energía. (ASTM D 4294-03) Determinación de azufre total en hidrocarburos ligeros. (ASTM D 5453-05)	0.5 (5000 máx) 0.05 máximo(2) (500 máx)	0.05 máximo (500 máx)	4 máximo
Nitrógeno	ppm peso	Nitrógeno total en aceites lubricantes y en combustibles líquidos (ASTM D 3228-03)			Informar
Vanadio, níquel, hierro, cromo	ppm peso	Determinación de níquel, vanadio, hierro y sodio en petróleos crudos y combustibles residuales por espectrometría de absorción atómica con detector de flama. (ASTM D 5863-00a (2005))	-	-	Informar

20.- ¿Por qué la CFE divide las emisiones en zonas críticas y el resto del país? ¿Qué significan estas clasificaciones?

- La clasificación de zona crítica no la hace la CFE. La clasificación está estipulada en la [NOM-085-SEMARNAT-2011](#).
- **Zonas Críticas (ZC):** Aquellas en las que por sus condiciones topográficas y meteorológicas se dificulte la dispersión o se registren altas concentraciones de contaminantes a la atmósfera; se consideran zonas críticas las zonas metropolitanas indicadas en los incisos 4.24.1 a 4.24.3 y además, aquellas regiones y centros de población listados en los numerales 4.24.4 a 4.24.9.
- Zona metropolitana de Guadalajara, Monterrey, Valle de México
- Coahuila-Coahuila-Coahuila
- Irapuato-Celaya-Salamanca
- Tula-Vito-Apasco
- Tampico-Madero-Altamira
- Ciudad Juárez
- Tijuana y Rosarito

21.- ¿Cómo se designan las zonas críticas y por qué esta La Paz exenta?

- La Paz no está clasificada como zona crítica porque dada la topografía local y el régimen de vientos predominante, los contaminantes emitidos a la atmósfera no permanecen concentrados tras su emisión sino que se dispersan en el medio.
- Un Punto de Acuerdo propuesto en la sesión ordinaria de la Cámara de Senadores del 13 de diciembre de 2013 propone clasificar al estado de Baja California Sur como zona crítica.

22.- Interpretación del documento expedido por la Secretaria de Energía con fecha de 31 de Julio 2013. ¿Por qué el informe muestra que La Paz está operando dentro de la norma?

- Como se analizó en su momento, el documento contiene errores que confunden y dificultan la interpretación de la información presentada, además de que no menciona la Central Termoeléctrica de Punta Prieta, que es de gran interés para nuestro estudio.
- Sin embargo, los datos presentados en las COAs indican que las centrales de CFE ubicadas en La Paz cumplen con las especificaciones de la NOM-085-SEMARNAT-2011. Debe recordarse que esta norma es aplicable solamente a la CTPP y no a la CCI-BCS.
- Asimismo, debe señalarse que estas centrales tienen el certificado de Industria Limpia otorgado por la PROFEPA. Este distintivo se otorga por el cumplimiento de la normatividad ambiental.

Certificado Industria Limpia

No.	Nombre Empresa	Vigencia Certificado
8	COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CENTRAL DE COMBUSTION INTERNA BAJA CALIFORNIA SUR I, CFE)	2014
9	COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CENTRAL DE COMBUSTION INTERNA GUERRERO NEGRO II)	2014
10	COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CENTRAL DIESEL ELÉCTRICA GRAL. AGUSTIN OLACHEA AVILES, CFE)	2015
11	COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CENTRAL DIESEL ELÉCTRICA SANTA ROSALIA)	2015
12	COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CENTRAL TERMOELÉCTRICA PUNTA PRIETA)	2013
13	COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CENTRAL TURBOGAS CONSTITUCIÓN)	2015
14	COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CENTRAL TURBOGAS LOS CABOS)	2015
15	COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (RESIDENCIA LAS TRES VIRGENES)	2015
16	COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (SUBESTACIÓN ELÉCTRICA RECREO)	2014
17	COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (SUBESTACIÓN PALMILLA)	2014
18	COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (ZONA DE TRANSMISIÓN SUR SUBESTACIÓN ELÉCTRICA CABO SAN LUCAS II, SUBESTACIÓN ELÉCTRICA CABO REAL SUBESTACIÓN ELÉCTRICA CABO DEL SOL)	2015
19	COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (ZONA DE TRANSMISIÓN SUR SUBESTACIÓN ELÉCTRICA EL PALMAR)	2014
20	COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (ZONA DE TRANSMISIÓN SUR SUBESTACIÓN ELÉCTRICA PALMIRA)	2014

23.- ¿Qué medidas aplica o puede aplicar la CFE para disminuir o mitigar la contaminación?

- Como se mencionó con anterioridad, las unidades de la CTPP cuentan con precipitadores electrostáticos y dosificadores de químicos para remoción de partículas y de óxidos de azufre. Asimismo, CCI-BCS (unidades III y IV al menos), contemplan el uso de sistemas catalíticos para la remoción de óxidos de nitrógeno.
- Sería deseable que en la CCI-BCS se pudiera aplicar algún mecanismo similar (o igual) al que se aplica en CTPP y viceversa.
- Asimismo, **el uso de combustóleo bajo en azufre y el uso de aditivos podría solucionar algunos de los problemas de emisiones en el futuro cercano.** En el futuro a mediano plazo podrían adecuarse algunas de las máquinas existentes para funcionar con gas natural y planear las nuevas unidades en base a este combustible, aunque esto presupone la disponibilidad de gas natural localmente que actualmente no se tiene. A largo plazo se requiere un rediseño de todo el sistema eléctrico del estado de tal forma que las máquinas destinadas a carga base utilicen combustibles de mejor calidad como el gas natural y sean también capaces de operar en un régimen flexible para acomodar fuentes renovable de energía que por su naturaleza son en muchos casos fluctuantes.
- Analizar la posibilidad de utilizar las unidades existentes en ciclo combinado.

24.- ¿Cómo se reconcilian los resultados del estudio de la Dra. Murillo con los resultados reportados por la Secretaria de Energía? ¿Y en relación a las normas oficiales mexicanas?

- En virtud de que los estudios de la Dra. Murillo se hicieron a nivel general en toda la Ciudad de La Paz, estos se ven afectados por la contaminación proveniente de otros sectores como el de transporte y el polvo de las calles.
- Sin embargo para las condiciones relativas a los aspectos de salud y afectación de la economía local es muy recomendable transmitir los resultados al sector correspondiente para los fines que conlleven a la mejora del entorno.

25.- ¿Qué cantidad de desechos sólidos se produce?

- De acuerdo con un informe de CFE se recolectan **55 toneladas de cenizas por mes** (aunque operadores del sistema mencionan una producción de 30-40 toneladas mensuales).
- Sin embargo este dato corresponde solamente a las tres unidades de la Central Punta Prieta, no así a la CCI-BCS, cuyos niveles de contaminación son similares a los de aquella central pero carece de precipitadores electrostáticos.

26.- ¿Cómo se limpian los filtros? (métodos, programa , periodicidad)

- Por tratarse de precipitadores electrostáticos, las cenizas caen por gravedad en unas tolvas de donde se recogen con bandas transportadoras para ser depositadas en camiones de volteo y trasladadas al sitio de confinamiento.
- En el plan de operación (p. IV-33) se previó que en circunstancias normales de operación se haría un viaje con cenizas a su sitio de confinamiento cada 48 horas. En condiciones de alta demanda eléctrica la frecuencia aumentaría a un viaje cada 24 horas.

27.- ¿Cuál es el análisis químico de los desechos sólidos?

- No se conoce con certeza el análisis de estos desechos. Sin embargo, algunos análisis realizados con condiciones relacionadas (en Punta Prieta antes de la instalación de precipitadores y en otra central termoeléctrica que opera con combustóleo) dan alguna indicación de lo que estos desechos pueden contener. Se destacan:
 - Ceniza (producto de limpieza en áreas de combustión) – Bario, níquel, cromo, cadmio y plomo
 - Escoria (colectada durante los mantenimientos) – Pentóxido de vanadio, trióxido de hierro, óxido de sodio, óxido de zinc de níquel y sulfatos
 - Mediciones en chimeneas – SO_2 , H_2SO_4 , NO_x , CO y PST
 - En cenizas y lodos de fosas de neutralización: óxidos de aluminio, silicio, hierro (férrico y ferroso), magnesio, calcio y níquel así como trióxido y pentóxido de vanadio, vanadato férrico y otros vanadatos de sodio y níquel.

28.- ¿Cómo se almacenan?

- Se cuenta con un deposito a cielo abierto localizado en las cercanías de la CCI-BCS, en la región nororiente de la Ciudad de La Paz.
- Una vez en el sitio de confinamiento, las cenizas son humectadas y compactadas para evitar ser dispersadas por el viento.



29.- ¿Qué peligros tienen estos desechos en huracanes, tormentas e inundaciones?

- De acuerdo con las autoridades ambientales el depósito de cenizas cumple con las normas de seguridad.
- El riesgo de su dispersión aumenta con la presencia de vientos fuertes, aunque a la fecha, después del paso de cuatro Huracanes desde el año 2006, no se tienen noticias de algún daño originado por las cenizas.
- Para evitar su dispersión al ambiente, las cenizas confinadas en el Depósito de Cenizas de la CTPP (ubicado en el predio El Saltito) son constantemente humectadas y compactadas. Aunque la MIA del Depósito menciona que se taparían con una cubierta temporal de yute, esto no se observó en una visita al sitio. Asimismo, la MIA contempla el uso de una geomembrana para evitar fugas de lixiviados hacia el subsuelo. Ésta sí se observó en la visita realizada.
- Con base en análisis de cenizas similares de otras centrales termoeléctricas, la MIA considera las cenizas como un residuo no peligroso de manejo especial.

30.- ¿Cómo se pueden estabilizar?

- Las cenizas tienen un valor comercial debido a los metales contenidos en ellas. Sin embargo no ha sido posible aprovechar este potencial.
- Por ahora se tiene la iniciativa de reciclar las cenizas con fines productivos, esto es para ser utilizadas por el sector de la construcción o algún otro fin que signifique una utilidad práctica con rentabilidad lucrativa.
- Entre estos usos se encuentran:
 - Como componentes del cemento y concreto
 - En la construcción de carreteras como relleno, dren o estabilizador
 - Como materia prima en la industria de la construcción para fabricar ladrillos o bloques.
 - En agricultura, si tiene calidad como mejorador del suelo (y ninguna toxicidad)
 - En operaciones mineras para rellenos, en la fabricación de aislantes, como medio filtrante, como abrasivo o como catalizador (dependiendo de los compuestos presentes)

31.- ¿Cómo se pueden reciclar?

- Ver respuesta anterior.

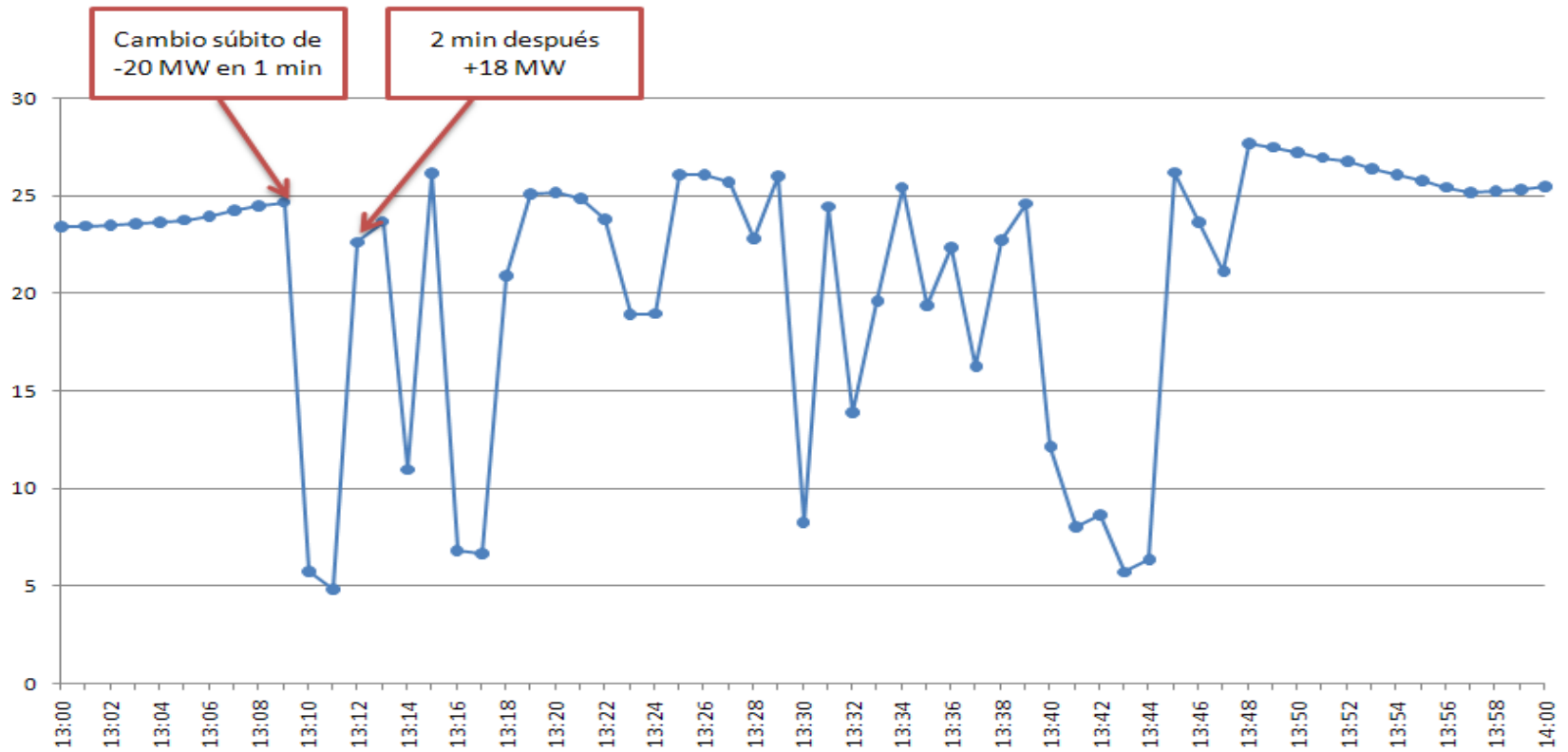
32.- Proponer soluciones con el objetivo de reducir las emisiones, y explicar el porcentaje de reducción de emisiones que se lograría con cada solución vs. el costo de la solución técnica propuesta.

- Inmediato:
 - Aditivos para combustible. Pueden significar una reducción parcial inmediata de las emisiones de CO, partículas, NO_x y SO_x y un ahorro inmediato de combustible de entre 3-8% (con un gasto del 1-2% del costo de combustible), además de otros beneficios.
 - Sustitución de combustible (uso de combustóleo bajo en azufre).
- Corto plazo (hasta 1 año):
 - Instalación de equipo y sistemas de separación y retención física y química de emisiones (partículas y ciertos compuestos) – precipitadores electrostáticos, dosificación de químicos y catalizadores. Los equipos utilizados en la CTPP operan con una eficiencia de remoción de entre el 93-94%; el diseño del SCR en CCI-BCS fue de 50% de remoción de NO_x. Ejemplo de costos precipitadores: Costo anualizado precipitadores: 9,000-80,000 USD 2002 por sm³/s (CCI IV, 116 sm³/s).
 - Incorporación (baja) de energías renovables a la generación e interconexión a red.
- Mediano plazo (2 – 5 años):
 - Reconversión de unidades para funcionar con gas natural. “Baja inversión” (p. 3-62)
 - Incorporación moderada a la red de generación con fuentes renovables de energía (fuentes no fluctuantes, almacenamiento no eléctrico); programas de ahorro de energía (manejo de la demanda). Ejemplo: Central Aura Solar I, 30 MW, 82 GWh/año, 100 MMUSD.
- Largo plazo (mayor a 5 años):
 - Planeación del sistema eléctrico del estado de manera que se utilicen los combustibles menos contaminantes en plantas de generación base y que sea compatibles con la incorporación de fuentes fluctuantes a la red. Esto implica tener unidades base cuya operación sea flexible para poder acomodar las variaciones de las renovables. Asimismo es necesario mejorar y expandir la red de transmisión actual para poder acomodar nuevas centrales en otros puntos del sistema y poder mover la energía generada.

33.- Sería viable reducir la capacidad de cada planta al 50 o 25 por ciento de su capacidad y así tener más líneas que puedan llevar energía solar.

- Con el parque de generación y sistema eléctrico actual, en condiciones de operación como sistema aislado, solamente se puede aceptar la generación con energías renovables hasta un 30 % de la demanda mínima histórica, es decir, **sólo se pueden aceptar hasta 60 MW de energía renovable intermitente.**
- Asimismo, las máquinas de generación actuales están diseñadas para operar en un pequeño rango de carga para lograr sus mejores eficiencias y así disminuir costos de operación (generación). Es por esto que operarlas a fracciones pequeñas de su capacidad resulta ineficiente y costoso. Además, estas máquinas (generación base) son de respuesta lenta lo que no permite acomodar las variaciones instantáneas (ver siguiente lámina) presentes en ciertos tipos de generación renovable como la fotovoltaica.
- Si se logra la interconexión con el Sistema Interconectado Nacional por medio de un cable submarino, podría reducirse la generación convencional actualmente en operación y presumiblemente aceptar más generación renovable intermitente.
- Asimismo, el rediseño del sistema completo podría lograr objetivos similares.

Variación de Generación Solar no Previsible por efecto de nube (ponderado a 30 MW) Referencia Central fotovoltaica de Cerro Prieto



Fuente: [Consejo Consultivo CFE en BCS](#)

RECOMENDACIONES

- Los resultados de este estudio han hecho evidente la necesidad de continuar con acciones específicas incluyendo:
- Análisis detallados de las emisiones de las centrales
- Establecer una amplia red de monitoreo permanente en la ciudad (información disponible al público en tiempo real)
- Verificación independiente de las mediciones
- Impulsar el uso de tecnología de mitigación de emisiones en las centrales actuales y las nuevas
- Impulsar el uso de tecnologías y combustibles menos contaminantes de mejor calidad
- Ejercer presión para lograr un rediseño del sistema eléctrico en su conjunto
- Aprovechar la condición aislada del sistema eléctrico para ser pioneros a nivel nacional en mejora de calidad del aire y uso de tecnologías limpias