



Superintendencia del Medio Ambiente
Gobierno de Chile

Guía de aspectos ambientales relevantes para centrales termoeléctricas



Enero 2014, versión 1

1 Presentación

Esta guía forma parte de una serie de documentos técnicos desarrollados por la **Superintendencia del Medio Ambiente (SMA)**, con el objetivo de promover el permanente cumplimiento de la normativa ambiental, orientar a la comunidad regulada sobre los aspectos ambientales relevantes que son considerados en procesos de fiscalización ambiental y facilitar el acceso de información ambiental por parte de la ciudadanía, en relación con los principales sectores industriales que operan en el país.

Esta serie de documentos pretenden orientar principalmente a los fiscalizadores en relación con los aspectos ambientales relevantes para las distintas tipologías de proyectos, desde una perspectiva de fiscalización y cumplimiento de la normativa ambiental.

Cabe destacar que este documento fue desarrollado tomando como referencias principales los trabajos efectuados por: la Corporación Financiera Internacional, miembro del Grupo del Banco Mundial (CFI, 2008); la Comisión Europea (CE, 2001); y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 1997; EPA, 2002).

En caso de que el lector tenga aportes y/o comentarios respecto de esta guía, existe un formulario para su envío, el cual se encuentra en la sección Documentos/Guías SMA de la página web de la Superintendencia del Medio Ambiente, específicamente en el siguiente link:

<http://www.sma.gob.cl/index.php/documentos/documentos-de-interes/documentos/guias-sma>.

2 Descripción del proceso industrial

Una central termoeléctrica es una instalación que produce energía eléctrica a partir de la combustión de combustibles fósiles, tales como: petróleo y sus derivados (gasoil, fueloil y petcoke); gas natural; carbón; y biomasa. En general, una central típica se compone de: una caldera, donde se produce la combustión; una turbina o motor de calor, que transforma la energía térmica proveniente de la combustión en energía mecánica; y un generador, que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. En general, las centrales termoeléctricas se pueden clasificar, según el tipo de combustión, en centrales termoeléctricas de ciclo convencional o ciclo combinado.

3

2.1 Centrales termoeléctricas de ciclo convencional

Son aquellas centrales que obtienen la energía mecánica necesaria para mover el rotor del generador a partir del vapor generado por la caldera.

Los combustibles más utilizados por centrales de este tipo en el país son carbón, petróleo y sus derivados (fuel-oil y petcoke) y gas natural. Si bien el proceso de las centrales convencionales es prácticamente el mismo, independiente del combustible utilizado, hay diferencias en el tratamiento previo que se hace al combustible y en el diseño de los quemadores de las calderas. En el caso de las centrales que utilizan combustibles sólidos como el carbón y el petcoke, éstos deben ser triturados o pulverizados antes de ingresar a la caldera. Por su parte, las centrales que utilizan derivados líquidos del petróleo (fueloil y gasoil, también conocido como diésel) requieren calentar y licuar el combustible antes de utilizarlo. En tanto, el gas natural no precisa almacenamiento, ni tratamiento previo, por lo cual es proporcionado directamente a través de gaseoductos.

Con respecto al proceso, el vapor a alta presión procedente de la caldera es conducido a la turbina, donde su expansión provoca el movimiento de los álabes de esta última, los cuales mueven el eje del generador para transformar la energía mecánica en energía eléctrica. En tanto, al otro extremo de la turbina está el condensador, que se mantiene a presión baja. El propósito del condensador es mejorar la eficiencia de la turbina, además de recuperar el vapor de agua para reingresarlo a la caldera. Se requiere un flujo constante de agua refrigerante a baja temperatura en las tuberías del condensador para mantener la presión adecuada en la carcasa (receptora del vapor) y así garantizar la eficiencia de la generación de energía. Debido a que el agua refrigerante se calienta en el proceso de condensación, se utilizan distintos sistemas de refrigeración, tales como: i) sistemas abiertos sin recirculación o de paso único, los cuales requieren de un suministro suficiente de agua para la refrigeración y de una masa de aguas superficiales que sirva como medio receptor de las descargas; ii) sistemas húmedos de circuito cerrado (por ejemplo, torres de enfriamiento); y iii) sistemas de refrigeración con aire seco (por

ejemplo, condensadores enfriados con aire). En la Figura 1 se presenta un diagrama simplificado del proceso típico para una central de ciclo convencional.

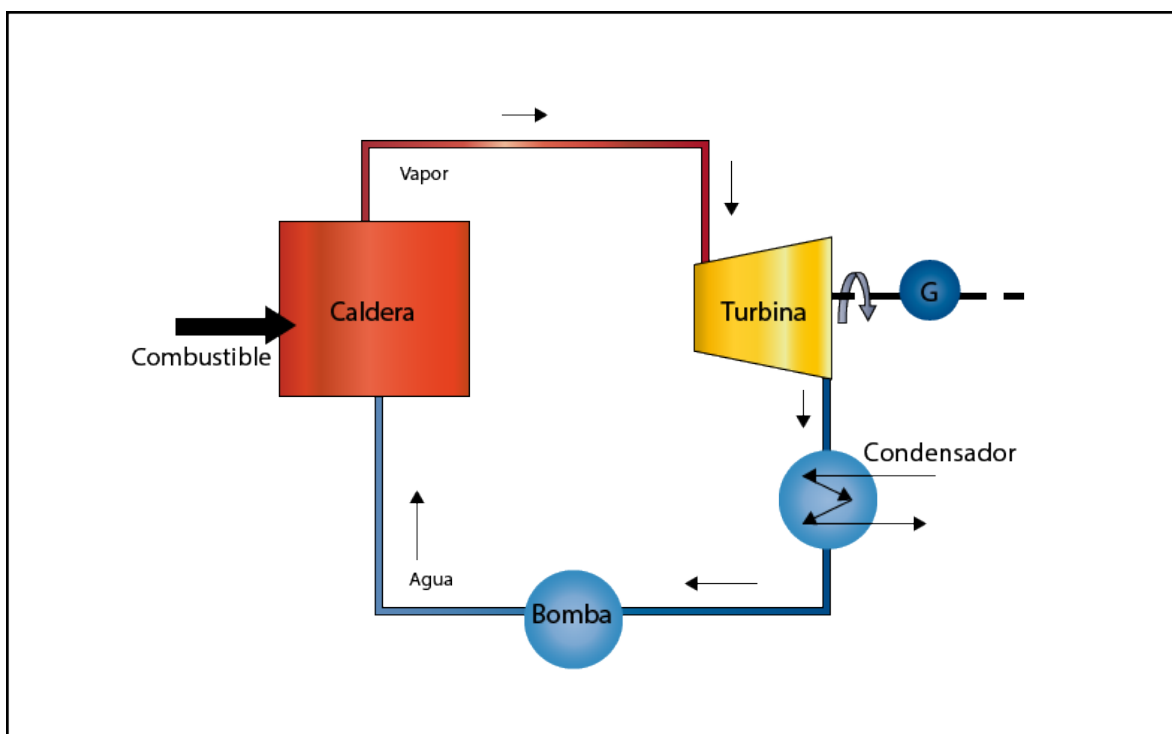


Figura 1: Diagrama de funcionamiento de una central de ciclo convencional.

2.2 Centrales termoeléctricas de ciclo combinado

Son aquellas centrales donde se genera electricidad mediante la utilización conjunta de una turbina a gas y una turbina a vapor. El objetivo de utilizar estas dos tecnologías en conjunto es aumentar la eficiencia de la instalación. Adicionalmente, estos sistemas tienen una serie de ventajas, en comparación a un sistema de ciclo convencional, tales como flexibilidad operacional, menores emisiones atmosféricas, menor consumo de agua de refrigeración y ahorro de energía, entre otras.

En relación con el proceso, este sistema requiere de un compresor, cuya función es inyectar aire a presión tanto para la combustión del gas, como para refrigerar componentes. De este modo, el aire comprimido a alta presión es enviado a la cámara de combustión, donde se mezcla con el combustible. Posteriormente, los gases de combustión son conducidos a la turbina de gas donde se expansionan y su energía

calorífica se transforma en energía mecánica, la cual es aprovechada por el generador para producir energía eléctrica. En tanto, los gases que salen de la turbina de gas son conducidos a una caldera de recuperación de calor para producir vapor, el cual es utilizado por una turbina de vapor que funciona como un ciclo convencional agua-vapor, es decir, el vapor que se condensa a la salida de esta turbina es recuperado y conducido a la caldera para producir vapor nuevamente. En general, ambos tipos de turbinas (gas y vapor) se acoplan a un mismo eje, de manera que utilizan un mismo generador eléctrico. Además, los sistemas de ciclo combinado permiten alimentar una turbina de vapor por medio del funcionamiento de múltiples turbinas de gas (entre una a cuatro).

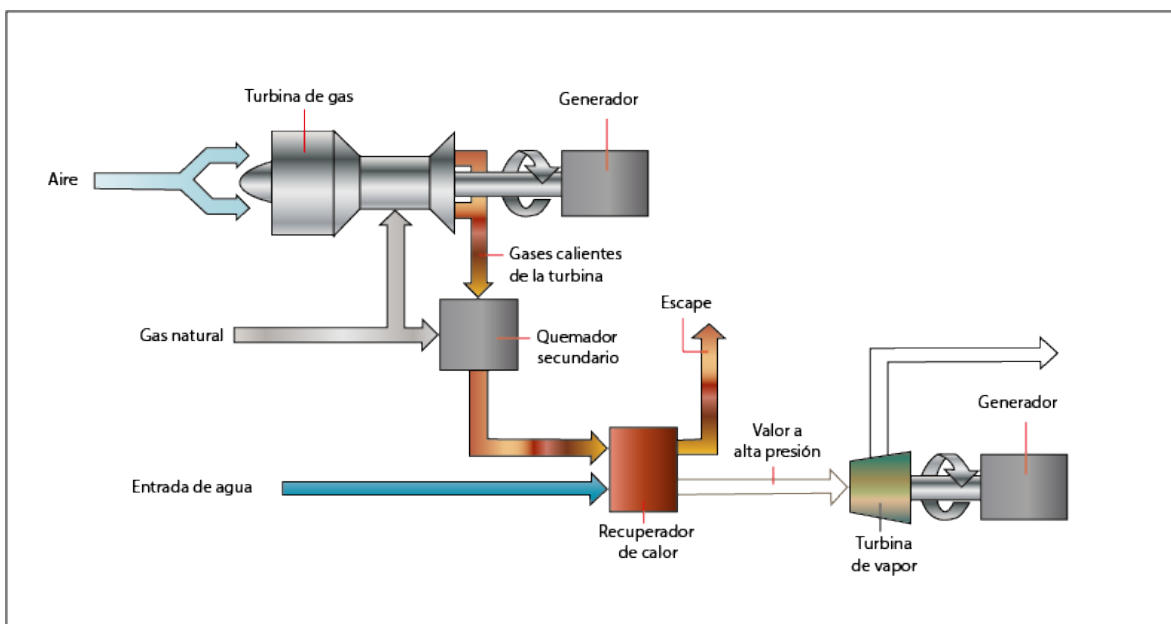


Figura 2: Diagrama de funcionamiento de una central de ciclo combinado.

2.3 Centrales turbo gas de ciclo abierto

Son aquellas centrales que se caracterizan por tener una turbina especialmente diseñada para transformar la combustión de un gas a alta presión en el movimiento de un eje solidario al rotor del generador, a través de lo cual se obtiene energía eléctrica.

La operación básica de este tipo de centrales consiste en que un compresor introduce aire del medio ambiente, lo comprime y luego lo envía a la cámara de combustión, donde el aire comprimido se combina con el combustible para producir la combustión.

Posteriormente, los gases producidos por la combustión son enviados a la turbina de gas, en donde se expanden y desarrollan trabajo mecánico que se aprovecha para impulsar un generador eléctrico y producir energía eléctrica. Finalmente, los gases calientes son devueltos a la atmósfera, razón por la cual el sistema es denominado de ciclo abierto.

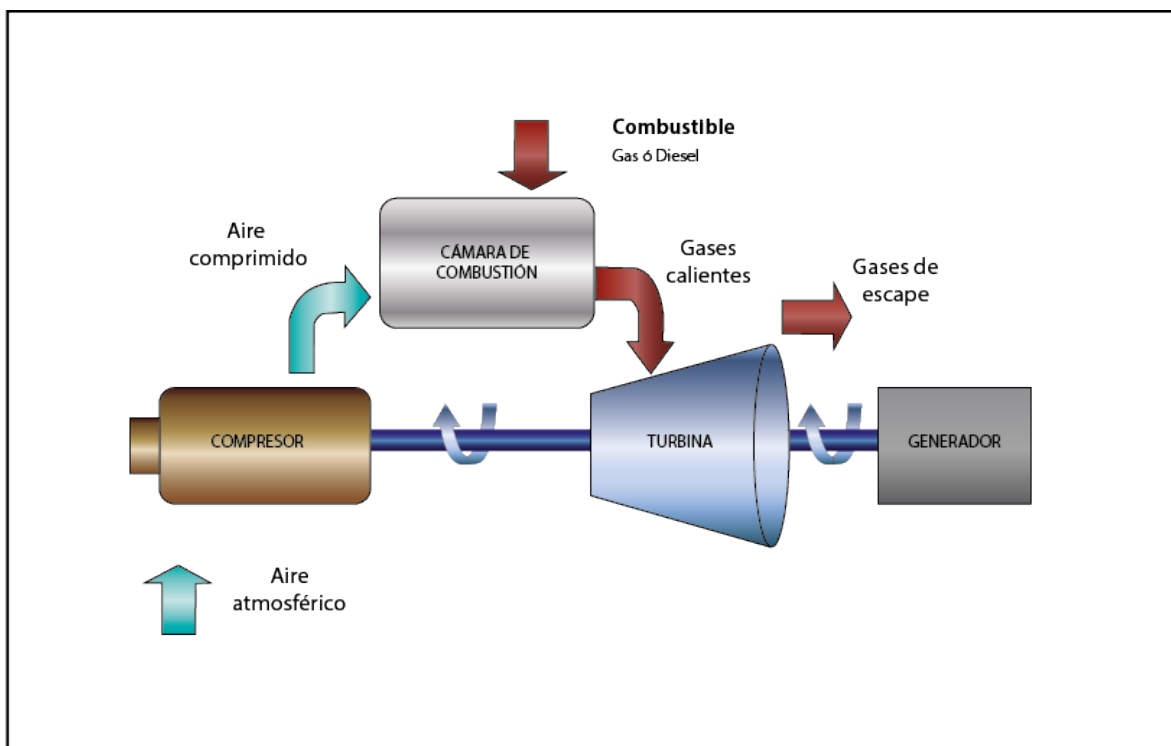


Figura 3: Diagrama de funcionamiento de una central turbo gas de ciclo abierto.

2.4 Otras tecnologías:

Adicionalmente a las centrales descritas previamente, existen otras tecnologías utilizadas por centrales termoeléctricas.

Una alternativa a la combustión tradicional de carbón es la gasificación integrada en ciclo combinado (GICC). En este tipo de sistemas se obtienen gases combustibles (llamados gases sintéticos o syngas), a partir de la gasificación del carbón con una inyección de oxígeno. Este sistema combina una turbina alimentada a vapor, con otra turbina alimentada directamente con los gases de combustión, lo cual permite reducir las emisiones de gases y material particulado. Existen tres tipos de gasificadores para obtener el gas de síntesis, a partir de carbón: lecho fijo; lecho fluidizado; y lecho arrastrado.

Otra tecnología utilizada para la combustión del carbón es la pulverización de alta eficiencia, a través de calderas que funcionan en el rango supercrítico del vapor, denominadas calderas supercríticas (vapor a 240 bar y sobre 565 °C), lo cual permite mejorar la eficiencia del proceso. Dentro de las distintas alternativas de calderas a carbón pulverizado, destacan las siguientes: quemadores tangenciales; fogón horizontal (o de pared); y sistemas de combustión vertical (o de arco).

Por otro lado, aquellas centrales que reutilizan el calor desprendido en el proceso de generación eléctrica se denominan centrales de cogeneración. La cogeneración consiste en la combinación de un sistema de producción de energía eléctrica con un sistema de producción de energía térmica útil (calor y/o vapor). En una central eléctrica tradicional el calor generado se disipa al ambiente, mientras que en una central cogeneradora el calor es recuperado y transmitido a un circuito de agua caliente/vapor, con objeto de alimentar a un centro consumidor de energía térmica. De este modo, las centrales de cogeneración mejoran la eficiencia del proceso, generan un ahorro energético y disminuyen los niveles de contaminación.

3 Principales impactos

En función de las materias primas utilizadas para la generación de energía, además de las tecnologías y procesos implementados, los principales impactos ambientales asociados a las centrales termoeléctricas tienen relación con emisiones a la atmósfera, consumo de agua y alteración del ecosistema acuático, descargas de residuos líquidos, manejo de residuos sólidos y de materiales peligrosos, y emisiones acústicas. A continuación se detalla brevemente cada uno de los principales impactos previamente mencionados.

8

3.1 Emisiones a la atmósfera

La cantidad y las características de las emisiones a la atmósfera dependen de factores como el combustible, el tipo y el diseño de la unidad de combustión, las prácticas operacionales, las medidas de control de las emisiones y su estado de mantención (por ejemplo, control primario de la combustión, tratamiento secundario del gas de combustión) y la eficiencia general del sistema.

Las principales emisiones atmosféricas generadas por la combustión de combustibles fósiles (o biomasa) corresponden a dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (MP), monóxido de carbono (CO) y gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2). Cabe señalar que el dióxido de azufre y el óxido de nitrógeno son precursores de lluvia ácida. Además, dependiendo del tipo y la calidad del combustible empleado (carbón y petcoke, por ejemplo), el proceso de combustión puede emitir otros contaminantes, tales como metales pesados (mercurio, arsénico, cadmio, vanadio, níquel, etc.), halógenos (como el fluoruro de hidrógeno), hidrocarburos no quemados y otros compuestos orgánicos volátiles (COV).

En el caso de la combustión del gas natural, se producen principalmente óxidos de nitrógeno (alrededor del 60% de los que emite una planta de carbón), mientras que la generación de material particulado y óxidos de azufre es de menor consideración.

Adicionalmente, dependiendo de las condiciones de almacenamiento y disposición, las pilas de carbón en canchas o patios de acopio y los depósitos de cenizas pueden constituir una fuente de polvo fugitivo, debido principalmente a la acción del viento.

Finalmente, el funcionamiento de una planta de energía térmica implica la generación de emisiones atmosféricas vinculadas a fuentes móviles, producto de los procesos de combustión relacionados con los motores de vehículos livianos, camiones y maquinaria utilizada que requiere su operación.

3.2 Consumo de agua y alteración del hábitat acuático

Las centrales termoeléctricas con sistemas de refrigeración abiertos (sin recirculación) exigen el manejo de grandes volúmenes de agua, las que principalmente son captadas desde cuerpos de aguas marinos. Posteriormente, luego de su uso, las aguas son retornadas al mismo cuerpo de agua, pero en un punto distinto a la captación y a una mayor temperatura.

En el caso de captaciones de agua de mar puede ocurrir que la succión involucre el arrastre de organismos acuáticos, generalmente de tamaño pequeño (plancton, larvas, huevos, microalgas, etc.), hacia el interior del sistema de refrigeración, los cuales pueden resultar muertos o heridos debido al calor, el estrés físico o por los productos químicos utilizados para limpiar dicho sistema, fenómeno conocido en la literatura como arrastre por succión o “entrainment”. En tanto, los organismos más grandes pueden ser muertos o heridos cuando son atrapados contra los filtros de malla o rejillas de las estructuras de succión, fenómeno conocido como colisión o “impingement”. Ambos efectos pueden impactar significativamente a individuos, poblaciones y comunidades acuáticas, así como también a las comunidades humanas que subsisten sobre la base de la recolección de dichos recursos, si no se toman medidas de mitigación adecuadas.

3.3 Residuos líquidos

Los efluentes procedentes de las plantas de energía térmica incluyen las descargas térmicas y las descargas de aguas residuales, siendo el volumen asociado a las primeras mucho mayor que el de las segundas.

Las descargas térmicas corresponden al vertimiento del agua utilizada para el enfriamiento de los equipos, a una temperatura mayor a la del cuerpo de agua receptor, debido a lo cual, dependiendo de la hidrodinámica de éste, son capaces de generar plumas de aguas cálidas en la zona aledaña a la descarga. Los impactos biológicos más significativos, tanto en el fondo marino, como en la columna de agua, tienden a circunscribirse en un radio cercano a los puntos de descarga (cientos de metros aproximadamente), sin embargo, en casos extremos, los cambios en las estructuras comunitarias pueden abarcar un área mayor. Los organismos acuáticos que crecen adheridos, agarrados o arraigados en su sustrato (organismos sésiles), tales como pastos marinos y ciertas especies de invertebrados bentónicos que habitan el fondo marino, son los más afectados por las plumas térmicas. Además, algunas especies oportunistas, que tienen mayor capacidad de adaptación, generalmente predominan y reemplazan a las comunidades originales.

Por su parte, las descargas de aguas residuales tienen una composición química diversa, dependiendo del combustible utilizado para la generación eléctrica, así como también de

la etapa del proceso. A continuación se detallan los principales procesos que generan residuos industriales líquidos:

- Purgas de calderas: corresponde al agua eliminada periódicamente para evitar la acumulación de impurezas que puedan afectar las calderas. Estas aguas son generalmente alcalinas, con bajo contenido de sólidos disueltos y pueden contener químicos empleados para evitar la corrosión.
- La desmineralización de aguas que ingresan a las calderas: para producir vapor y no afectar los equipos se requiere agua desmineralizada. Esto se logra a través de resinas de intercambio iónico que remueven cationes y aniones del agua cruda. Estas resinas se regeneran utilizando un ácido fuerte, tal como el ácido sulfúrico, o una base fuerte, tal como el hidróxido de sodio. Este proceso genera aguas residuales que contienen iones disueltos y exceso de ácido o base.
- Purgas del sistema de desulfuración de gases de combustión: en centrales que utilizan carbón se realizan purgas para prevenir la corrosión del sistema de desulfuración de gases. En general, contienen sulfato de calcio, cloruro de calcio y cloruro de sodio.
- Las escorrentías de las pilas de carbón: en las centrales que utilizan carbón como combustible, el almacenamiento de este material en espacios abiertos permite el contacto del material con la lluvia, lo cual genera lixiviados que contienen sulfato ferroso y ácido sulfúrico.
- Las aguas residuales asociadas a las cenizas: en centrales que utilizan carbón y diésel se generan cenizas provenientes de la combustión que son recolectadas en estado húmedo, las cuales pueden contener sólidos y metales pesados, entre otras sustancias.
- Las aguas residuales asociadas a la limpieza de equipos: los residuos procedentes de la combustión de carbón (hollín y cenizas volantes) se acumulan en las superficies de los equipos (caldera y otros) y deben ser eliminados periódicamente. Esta acumulación se elimina normalmente con agua a presión normal que no contiene aditivos químicos.
- Agua utilizada para el enfriamiento de los condensadores: en aquellas centrales que utilizan sistemas abiertos de refrigeración, generalmente se agrega cloro, biocidas u otras sustancias químicas para mantener los equipos libres de microorganismos.
- El alcantarillado y los sumideros: este sistema recoge lluvia, filtraciones, fugas de aguas residuales provenientes de las operaciones de limpieza de equipos pequeños, derrames de proceso, fugas, entre otros. Estos flujos pueden contener polvo de carbón, petróleo, detergentes, entre otras sustancias.
- Purgas de las torres de refrigeración: el agua de refrigeración se recircula cuando el suministro de agua no es suficiente para sostener un sistema abierto o cuando se busca evitar las descargas térmicas. Las aguas recirculadas acumulan sólidos

suspendidos y disueltos, por lo cual se realiza un recambio periódico de ellas. Adicionalmente, estas aguas pueden contener cloro u otras sustancias para evitar la acumulación de microorganismos.

De este modo, dada las características de los residuos industriales líquidos generados por una central termoeléctrica, si éstos son descargados directamente sobre cuerpos de agua, sin tratamiento previo, pueden provocar diversos impactos tales como: la alteración de la calidad del agua del cuerpo receptor, cambios en la estructura de la columna de agua (estratificación, que puede afectar los procesos de mezcla) y perturbación de las comunidades bentónicas y submareales.

3.4 Residuos sólidos

Las plantas de energía térmica de combustión de carbón y biomasa son las que generan más cantidad de residuos sólidos debido al porcentaje relativamente elevado de cenizas presentes en estos combustibles.

Los principales residuos sólidos que genera la combustión de carbón y/o petcoke, en cuanto a volumen, corresponden a las cenizas, que pueden ser de dos tipos: volantes y de fondo. Las cenizas volantes, que constituyen la mayor parte de cenizas que generan este tipo de centrales (en general, alrededor de un 80% del total de cenizas), se generan por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos presentes en los gases de combustión. En tanto, las cenizas de fondo son aquellas que se acumulan en la parte inferior de la caldera, conteniendo escoria y partículas más gruesas y pesadas que las cenizas volantes, razón por la cual también se les conoce como escorias de fondo. Si bien las cenizas de combustión pueden contener una amplia gama de compuestos químicos (óxidos de sílice, aluminio, hierro y calcio), generalmente, no son considerados residuos peligrosos, de acuerdo a los análisis de peligrosidad efectuados en el marco del D.S. N° 148/2003 del Ministerio de Salud, que aprueba reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos.

Adicionalmente, las centrales que emplean carbón y/o petcoke generan residuos sólidos en el proceso de desulfuración de gases de combustión, el cual se realiza para disminuir las emisiones de dióxido de azufre (SO_2). Para la desulfuración de estos gases se utiliza caliza (CaCO_3) o cal (CaO), dependiendo del sistema implementado, lo que genera yeso (CaSO_4) como residuo sólido principal, el cual tampoco es considerado como residuo peligroso, de acuerdo al D.S. N° 148/2003 del Ministerio de Salud. En general, el volumen generado de yeso equivale a un 25% del volumen de cenizas resultantes, aproximadamente.

De este modo, el principal impacto asociado a la generación de cenizas y yeso es el volumen resultante, para lo cual se requiere habilitar sitios para su disposición final. Por

su parte, las centrales que utilizan diésel y gas para la combustión, prácticamente, no generan este tipo de residuos sólidos, independientemente de la tecnología empleada.

3.5 *Sustancias y residuos peligrosos*

Toda central termoeléctrica, independientemente del combustible utilizado y de la tecnología implementada, considera el manejo y almacenamiento de sustancias peligrosas, así como también la generación de residuos peligrosos asociados, tales como aceites de recambio, grasas, materiales de mantención (impregnados con aceites y grasas), solventes usados, baterías, pinturas, entre otros. Estas sustancias y residuos pueden generar un efecto sobre la salud, por lo cual su manejo, almacenamiento y disposición final deben cumplir con la normativa aplicable (D.S. N° 148/2003 y D.S. N° 78/2009, ambos del Ministerio de Salud).

12

3.6 *Ruido*

Entre las principales fuentes de ruido en las plantas de energía térmica se encuentran los siguientes equipos:

- Las bombas, los compresores y los condensadores.
- Los ventiladores, sopladores y las conducciones.
- Los generadores eléctricos, motores y transformadores.
- Las turbinas y sus elementos auxiliares.
- Las calderas, los precipitadores electrostáticos y filtros de manga, por golpeo o vibración.
- Los elementos auxiliares como los pulverizadores de carbón.
- Las torres de refrigeración.

Estos equipos pueden generar efectos sobre la salud, en caso de superar los límites indicados en el D.S. N° 146/1997 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República, que establece norma de emisión de ruidos molestos generados por fuentes fijas. Por este motivo, aquellos equipos cuyas emisiones sonoras generen Niveles de Presión Sonora (NPS) mayores a las indicadas en la normativa señalada, deben incorporar sistemas de mitigación, que aseguren el cumplimiento de ella.

4 Medidas de mitigación

4.1 Emisiones a la atmósfera

Los sistemas de control de emisiones atmosféricas más típicos en centrales que utilizan combustibles fósiles (sobre todo en instalaciones que generan energía eléctrica a partir de vapor) incluyen tecnologías para abatimiento de material particulado, dióxido de azufre (SO_x) y óxidos de nitrógeno (NO_x).

13

4.1.1 Material Particulado (MP)

Para el abatimiento de material particulado (cenizas volantes, principalmente) existen diversas tecnologías:

- a) Precipitadores electrostáticos (PES): son equipos que presentan una alta eficiencia de remoción (desde 80% a 99,9%) para todo el espectro de tamaño de partículas de material particulado (especialmente de 1 a 10 μm), a través del uso de fuerzas electrostáticas que cargan a las partículas eléctricamente, para luego atraerlas a placas metálicas con cargas opuestas ubicadas en las paredes del precipitador. Las partículas cargadas deben ser recolectadas desde las paredes del precipitador, para lo cual generalmente se emplean tolvas en la parte inferior de la unidad. Permiten manejar volúmenes muy grandes de gas con escasas caídas de presión, sin embargo, presentan una gran sensibilidad a variables eléctricas, como son el voltaje y la frecuencia de suministro de electricidad. Además, en general, requieren de equipos auxiliares para su funcionamiento, tales como: un dispositivo de captura (campana); conductos; equipo de remoción de polvo; ciclones; ventiladores; y chimenea, entre otros. Ocasionalmente se utiliza un equipo de acondicionamiento de gas para mejorar su funcionamiento y obtener una eficiencia de recolección mayor, para lo cual el agente acondicionante más utilizado es el trióxido de azufre (SO_3).
- b) Filtros de telas: son equipos que funcionan bajo el mismo principio que utiliza una aspiradora de uso doméstico, es decir, el flujo de gas pasa por el material del filtro, el cual intercepta las partículas. Estos sistemas permiten eliminar partículas más pequeñas que los precipitadores electrostáticos. Existen filtros en forma de lechos o de mangas. Los primeros se emplean para limpiar gases con bajas concentraciones de material particulado durante largos períodos. Los segundos son los más utilizados, ya que logran altas eficiencias en la remoción de partículas (95% a 99,95%). Los gases a altas temperaturas a menudo tienen que ser enfriados antes de entrar en contacto con el medio filtrante, de lo contrario, estos podrían ser dañados. Además, cuando la tela se satura de partículas, es necesario aplicar un flujo de aire en contracorriente para desprender las partículas de la tela. Un especial cuidado

requiere la presencia de SO_3 en el flujo, que puede afectar la eficiencia del proceso y corroer los metales del equipo, producto de la condensación de los gases.

- c) **Lavadores de gases (scrubber):** tecnología que considera la utilización de un líquido para capturar partículas. Esta tecnología remueve material particulado a través del impacto, difusión, intercepción y/o absorción de las partículas sobre pequeñas gotas de líquido. Por su parte, el líquido que contiene a las partículas contaminantes debe ser recolectado para su tratamiento y disposición. Las eficiencias de recolección de los lavadores de gases varían con la distribución del tamaño de las partículas presentes en la corriente del gas residual, disminuyendo a medida que el tamaño de las partículas decrece, así como también, con el tipo de tecnología utilizada, siendo las torres de aspersión la más común. De este modo, las eficiencias de control varían desde un 99% en torres de limpieza tipo venturi, hasta 40-60% (o menores) en torres de aspersión sencillas.
- d) **Ciclones o separadores inerciales:** corresponden a equipos de limpieza de gases que utilizan la fuerza centrífuga para separar el material particulado, el cual es almacenado en un cono. Se emplean especialmente para remover partículas gruesas y de tamaño medio (especialmente, superior a $10 \mu\text{m}$), con una eficiencia de 70 a 90%. El principio general de los separadores inerciales es el cambio de dirección al cual el flujo de gases es forzado, lo cual permite que las partículas sigan en la dirección original, debido a su inercia. En ocasiones, son utilizados para reducir la carga que ingresa al PES o al filtro de manga, especialmente cuando se trata de partículas de gran tamaño.
- e) **Otras medidas:** En el caso de las emisiones fugitivas generadas en canchas de acopio de cenizas o carbón, producidas principalmente por efecto del viento, las medidas comúnmente empleadas para el control de éstas corresponden a: diseño que minimice el arrastre del viento (por ejemplo, pretilas); cercado perimetral (a una altura superior a la de la pila); humectación de la superficie de las pilas mediante el uso de aspersores; y colocar carpas o techos que impidan la erosión eólica, pero que al mismo tiempo permitan la ventilación necesaria para evitar procesos de combustión; pantallas vegetales; entre otras.

4.1.2 Dióxidos de azufre

Por su parte, para el abatimiento de dióxido de azufre (SO_2) las tecnologías más utilizadas son las siguientes:

- a) **Desulfuración por vía húmeda:** en este caso, los gases de combustión se saturan con agua y se utiliza piedra caliza (carbonato de calcio, CaCO_3) como reactivo, con el objetivo de transformar el dióxido de azufre a yeso (sulfato de calcio, CaSO_4). La eficiencia de remoción puede alcanzar sobre un 90%. El equipo utilizado es conocido como wet scrubber.

- b) Desulfuración en seco: este sistema utiliza cal (óxido de calcio, CaO) como reactivo para transformar el dióxido de azufre a azufre en fase sólida (sulfito de calcio, CaSO_3). El proceso también genera otros residuos tales como la mezcla de cenizas volantes y aditivos sin reaccionar. En general, la eficiencia de remoción no supera el 80% en equipos tradicionales, sin embargo, existen nuevos diseños capaces de alcanzar remociones cercanas al 90%. El equipo utilizado es conocido como dry scrubber.
- c) Desulfuración por vía semiseca: funciona de manera similar a la desulfuración por vía húmeda. Consiste en el abatimiento de SO_2 mediante el contacto de los gases con cal hidratada (Ca(OH)_2), que generalmente se prepara a partir de cal, para la transformación del azufre gaseoso a fase sólida (CaSO_3).
- d) Desulfuración con agua de mar: este sistema utiliza agua de mar para absorber y neutralizar el dióxido de azufre, transformándolo en sulfatos disueltos, los cuales son devueltos al mar. En este sentido, cabe destacar que los sulfatos son compuestos presentes de manera natural en el medio marino, a altas concentraciones (miles de mg/l). El sistema de desulfuración por agua de mar es similar al sistema de desulfuración húmeda, con la excepción de que no se utiliza ningún reactivo sólido y que no es necesario realizar la colección o precipitación de sólidos.

4.1.3 Óxidos de nitrógeno

La combustión de combustibles con alto contenido de nitrógeno, tales como el carbón y los aceites residuales, produce mayores cantidades de óxidos de nitrógeno que aquellos con bajo contenido de nitrógeno, tales como aceite destilado y gas natural. Las técnicas desarrolladas para controlar las emisiones de los NO_x se pueden clasificar en dos grupos, aquellas consistentes en modificaciones en la combustión para reducir la formación de los NO_x (medidas primarias) y aquellas consistentes en el tratamiento de efluentes para eliminar los NO_x , de forma posterior a la combustión (medidas secundarias), tal como se detalla a continuación:

- a) Control de NO_x en la combustión (medidas primarias):
- Quemadores tangenciales (Dry Low NO_x): en una instalación tradicional de combustión, la mezcla de combustible y aire/oxígeno se inyecta en el mismo lugar, resultando una llama caracterizada por una zona primaria de oxidación que se encuentra a alta temperatura, donde se genera la mayor parte del NO_x . Por su parte, en los quemadores de NO_x se modifica la entrada de combustible y aire para retrasar la mezcla, lo cual disminuye la emisión de NO_x , producto del alto grado de mezcla aire-combustible y de la reducción de la temperatura de la llama y de la cantidad de oxígeno disponible en la zona primaria.

- Otras técnicas: combustión con bajo exceso de aire; reducción del precalentamiento del aire; inyección en etapas de aire en la caldera; recirculación de gases de combustión (FGR); combustión escalonada; inyección de agua o vapor; entre otras. En general, la reducción de NO_x que resulta de la aplicación de medidas primarias (incluyendo quemadores tangenciales) no sobrepasa el 50-60%.

b) Control de NO_x post-combustión (medidas secundarias):

- Sistema de reducción selectiva catalítica (SCR): sistema que reduce químicamente los óxidos de nitrógeno a nitrógeno molecular (N_2) y vapor de agua, mediante la aplicación de urea o amoníaco. Requiere de un catalizador para permitir reacciones a menores temperaturas y así alcanzar mayores eficiencias de remoción (80-95%). Debe considerarse una disposición final adecuada de los catalizadores, ya que pueden contener metales pesados.
- Sistema de reducción selectiva no catalítica (SNCR): este sistema también reduce químicamente los óxidos de nitrógeno a nitrógeno molecular (N_2) y vapor de agua, mediante la aplicación de urea o amoníaco. La diferencia radica en que este sistema no utiliza un catalizador, por lo cual la reacción no se produce a bajas temperaturas, obteniéndose eficiencias entre 30% y 50%.

4.2 Consumo de agua y alteración del hábitat acuático

Para reducir la captura de biomasa, producto de la succión de agua de mar que realizan las plantas termoeléctricas que utilizan sistemas de refrigeración abiertos (sin recirculación), existen diversas tecnologías tales como:

- Redes (estacionales o permanentes).
- Sistemas de manejo y devolución de peces.
- Pantallas de malla fina.
- Pantallas de alambre en forma de cuña.
- Toma de flujo horizontal de baja velocidad (velocity caps).
- Sistemas de barreras de filtrado acuático.

17

Algunos ejemplos de medidas operacionales para reducir la captura incluyen las vedas estacionales, la reducción de la velocidad de succión y/o la disminución del caudal entrante.

4.3 Residuos líquidos

En caso de que los vertidos térmicos produzcan efectos significativos sobre el cuerpo receptor, existen diversas alternativas tecnológicas:

- Uso de difusores múltiples, que permiten mejorar la mezcla y dilución del efluente con el cuerpo de agua receptor.
- Ajustar las condiciones operacionales de la descarga (por ejemplo, extender la longitud del conducto para que el vertido se enfríe antes de caer al agua o cambiar el punto de descarga para minimizar las zonas con temperaturas elevadas).
- Implementar sistemas cerrados de refrigeración con recirculación (por ejemplo, torres de refrigeración) o circuitos cerrados de refrigeración con aire seco (por ejemplo, condensadores enfriados con aire).

Por su parte, las descargas de residuos líquidos industriales a aguas marinas y/o continentales superficiales deben cumplir con los límites establecidos en la normativa ambiental nacional, para lo cual se utilizan distintos sistemas con el objetivo de minimizar y tratar las aguas residuales, dentro de los cuales se encuentran los siguientes:

- Sistemas de drenaje de aguas lluvias para el complejo industrial y, en particular, para las canchas de acopio, con objeto de minimizar la generación de aguas de contacto.
- Sistemas de separación de agua/aceite.
- Tratamiento de aguas provenientes de la desulfuración de gases de combustión, mediante floculación, neutralización y clarificación.

- Las aguas provenientes de la desmineralización y de las purgas de caldera son generalmente neutralizadas (pH neutro).

Sin perjuicio de lo anterior, existen diversas medidas que permiten prevenir, minimizar y controlar los efluentes de aguas residuales de centrales termoeléctricas, dentro de ellas:

- Reciclar las aguas residuales de las plantas de carbón para su uso en la desulfuración de gases de combustión.
- Recolectar las cenizas volantes en estado seco para disminuir la generación de residuos líquidos.
- Disminuir el uso de aditivos químicos utilizados para prevenir la corrosión y el crecimiento de organismos en el sistema de enfriamiento (por ejemplo, biocidas clorados son menos tóxicos que los biocidas bromados, mientras que los inhibidores de corrosión a base de fósforo son menos tóxicos que los que contienen cromo), entre otros.

4.4 Residuos sólidos

Las medidas más utilizadas para prevenir, minimizar y controlar el impacto de los residuos sólidos de las plantas de energía térmica son las siguientes:

- Disposición final de residuos en depósitos y/o rellenos autorizados. Al respecto, cabe señalar que muchos proyectos cuentan con depósitos de cenizas propios, al interior de sus instalaciones o en sectores aledaños.
- Reciclar los residuos de la combustión del carbón (cenizas, yeso, etc.) para diversos usos (materiales de construcción como asfalto o cemento, fertilizantes agrícolas, producción de plásticos y pinturas, etc.).
- Reciclar elementos metálicos sobrantes como chatarra.
- Reutilizar el lodo resultante del tratamiento de las aguas asociadas a la desulfuración de gases de combustión en el mismo proceso de desulfuración.

4.5 Sustancias y residuos peligrosos

Las principales medidas para prevenir, minimizar y controlar los riesgos asociados con el almacenamiento, manejo y disposición de sustancias y residuos peligrosos en las plantas de energía térmica son las siguientes:

- Disminuir el consumo de sustancias peligrosas.
- Almacenamiento de sustancias peligrosas, de acuerdo a lo establecido en la normativa nacional.

-
- Almacenamiento temporal de residuos sólidos peligrosos, de acuerdo a lo establecido en la normativa nacional.
 - Disposición final de residuos peligrosos en establecimientos autorizados.

4.6 Ruido

Con relación a las medidas recomendadas para prevenir, minimizar y controlar el ruido procedente de las plantas de energía térmica, se incluyen las siguientes:

- Usar técnicas de control del ruido como aislamientos acústicos, silenciadores, cabinas, materiales que absorban el ruido en paredes y techos, aisladores de las vibraciones y conexiones flexibles (por ejemplo, resortes de acero y elementos de caucho), sellos, entre otras.
- Usar barreras para limitar el ruido en zonas cercanas a la planta (vegetación, paneles, y otros);

5 Normativa aplicable

A continuación se presentan las principales normas de carácter ambiental aplicables a la operación de centrales termoeléctricas, típicamente incluidas en resoluciones de calificación ambiental, sin perjuicio de otras adicionales que apliquen durante la etapa de construcción u otras que sean establecidas ante situaciones particulares.

20

5.1 Emisiones a la atmósfera

- D.S. Nº 13/2011 del Ministerio del Medio Ambiente. Establece norma de emisión para centrales termoeléctricas.
- D.S. Nº 138/2005 del Ministerio de Salud. Establece obligación de declarar emisiones.
- D.S. Nº 55/1994 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Establece normas de emisión aplicables a vehículos motorizados pesados.
- D.S. Nº 48/1984 del Ministerio de Salud. Establece el reglamento de calderas y generadores de vapor.
- D.S. Nº 144/1961 del Ministerio de Salud. Establece normas para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza.

5.2 Residuos líquidos

- D.S. Nº 90/2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.
- D.S. Nº 1/1992 del Ministerio de Defensa Nacional. Reglamento para el control de la contaminación acuática.
- D.L. Nº 2.222/1978 del Ministerio de Defensa Nacional. Ley de navegación. Artículo 142.
- D.F.L. Nº 340/1960 del Ministerio de Defensa Nacional. Ley sobre concesiones marítimas.¹
- D.S. Nº 2/2006 del Ministerio de Defensa Nacional. Reglamento sobre concesiones marítimas.

¹ Se requieren concesiones marítimas para efectuar vertimiento al mar y la construcción de las obras asociadas.

- D.F.L. N° 725/1967 del Ministerio de Salud. Código Sanitario.

5.3 Residuos sólidos

- D.S. N° 594/1999 del Ministerio de Salud. Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.²
- D.S. N° 148/2003 del Ministerio de Salud. Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos.

21

5.4 Sustancias peligrosas

- D.S. N° 78/2009 del Ministerio de Salud. Reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas.
- D.S. N° 160/2008 del Ministerio de Economía. Reglamento de seguridad para las instalaciones y operaciones de producción y refinación, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de combustibles líquidos.

5.5 Ruidos

- D.S. N° 146/1997 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Norma de emisión de ruidos molestos generados por fuentes fijas.³
- D.S. N° 38/2011 del Ministerio del medio Ambiente. Establece norma de emisión de ruidos generados por fuentes que indica.

² Con respecto al tratamiento y/o disposición final de los residuos industriales que se realice fuera o dentro del predio industrial, en particular, las cenizas.

³ Quedará sin efecto a partir del 12 de junio de 2014, siendo reemplazada por D.S. N° 38/2011.

6 Aspectos claves para la fiscalización

En consideración a los principales impactos ambientales asociados a las centrales termoeléctricas y a la normativa vigente, los aspectos ambientales relevantes mínimos que, a juicio de esta Superintendencia, debiesen ser evaluados en una actividad de inspección a una Resolución de Calificación Ambiental (RCA), sin perjuicio de otros que se puedan apreciar en terreno, corresponden a:

22

6.1 Emisiones a la atmósfera

- Verificar acreditación de validación de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones [CEMS] en Centrales Termoeléctricas (Res. SMA Ex. N° 438/2013).
- Analizar las emisiones atmosféricas (concentraciones de gases y partículas, caudales, porcentajes de oxígeno, entre otros), con objeto de verificar el cumplimiento de la RCA y la normativa aplicable. En este sentido, y cuando corresponda, también se deben analizar los datos de las estaciones de calidad de aire y meteorológicas asociadas al proyecto.
- Verificar el cumplimiento de las medidas de mitigación, en particular, aquellas asociadas a los sistemas de control de emisiones. Al respecto, constatar implementación, evaluar eficiencia y correcto funcionamiento (revisar cronograma de mantenciones).
- Verificar emisiones fugitivas y la correspondiente implementación de medidas de mitigación (por ejemplo: consumos de agua asociados a la humectación de áreas, tales como la cancha de acopio de carbón y depósito de cenizas; estado de mallas; muros de contención; pantallas vegetales; entre otros).
- Cuando corresponda, solicitar documentación que acredite la implementación de medidas de compensación de emisiones atmosféricas.
- Contrastar parámetros de diseño de las chimeneas, principalmente aquellos cuya modificación podría generar impactos no evaluados, tales como: ubicación, altura de la chimenea (m), diámetro interno (m), velocidad de salida de gases (m/s) y temperatura de salida de gases (°C). Para esta actividad, se requiere contar con el layout original del proyecto y los planos as-built.
- Contrastar generación de energía como potencia bruta y despachada al SIC o SING (MW), según corresponda, con los valores establecidos en la RCA.
- Constatar que las características del combustible empleado correspondan a lo establecido en la RCA. En particular, solicitar registros de consumo de combustibles.
- En caso de que aplique, verificar la implementación del plan de ajuste dinámico de operación, a través de documentos que acrediten el cumplimiento de las medidas asociadas.

6.2 Residuos líquidos, consumo de agua y alteración del hábitat acuático

- Verificar las condiciones del sistema de captación de agua de mar, principalmente con respecto a la ubicación (coordenadas) y profundidad del sifón, caudal captado y medidas implementadas para mitigar la succión o arrastre de organismos acuáticos y/o aves.
- Verificar el cumplimiento de las condiciones establecidas para las obras de descarga, principalmente con relación a su ubicación (coordenadas) y profundidad.
- Analizar los resultados de los monitoreos asociados con las descargas de residuos industriales líquidos. En particular, constatar que las descargas cumplen con los límites establecidos en la RCA y/o en el D.S. N° 90/2000.
- Analizar los resultados de los monitoreos asociados con el programa de vigilancia ambiental de medio marino (parámetros fisicoquímicos, indicadores biológicos y sedimentos). En particular, constatar que los resultados cumplen con los valores establecidos en la RCA.
- Verificar que el proyecto cuenta con las concesiones y permisos de la Autoridad Marítima, con relación a la captación de agua de mar y descarga de residuos industriales.
- Verificar generación, conducción y destino de aguas residuales proveniente de refrigeración, lavados, purgas, entre otros.
- Verificar el alcance de la pluma térmica, de acuerdo a los compromisos adquiridos en la evaluación ambiental. En particular, en caso de que exista un proyecto que cuente con un modelo matemático de pluma térmica, contrastar la situación modelada con la situación real.
- Verificar que no se producen impactos no previstos en la captación de agua de mar, tales como la succión o arrastre de organismos acuáticos y/o aves.
- Verificar que no se producen impactos no previstos en la descarga debido a alteraciones en la calidad del cuerpo receptor, tales como disminución de la concentración de oxígeno disuelto, alteración de las cadenas tróficas del sistema, entre otros.

6.3 Residuos sólidos

- Comprobar que la generación de residuos corresponde a lo comprometido, tanto en tipo, como en magnitud.
- Verificar que el almacenamiento de residuos sólidos peligrosos cumple con lo establecido en el D.S. N° 148/2003.
- Verificar que la disposición final de residuos sólidos (yeso o sulfato de calcio, mangas saturadas con partículas, cenizas, entre otros) se realiza en un lugar autorizado. En particular, para los depósitos de ceniza se debe verificar su manejo, características y localización.

- Analizar resultados de monitoreos asociados a depósitos de cenizas, cuando corresponda.

6.4 *Sustancias peligrosas*

- Verificar que el almacenamiento de sustancias peligrosas cumple con lo establecido en el D.S. N° 78/2009.
- Verificar que el almacenamiento de combustibles cumple con lo establecido en el D.S. N° 160/2008.

24

6.5 *Ruido*

- Analizar emisiones acústicas con objeto de verificar el cumplimiento de la RCA y la normativa aplicable. En la medida de lo posible, se debe contar con monitoreos diurnos y nocturnos.
- Verificar implementación de sistemas de control de ruidos comprometidos en la RCA.

6.6 *Otros*

- Verificar la implementación de planes de contingencias.
- Verificar la implementación de medidas de mitigación relacionadas con el paisaje.

7 Referencias

- CE, 2001. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), reference document on the application of best available techniques to industrial cooling systems. Comunidad Europea (CE).
- CFI, 2008. Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad: Plantas de energía térmica. Corporación Financiera Internacional (CFI), Grupo del Banco Mundial.
- CONAMA, 2009. Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes.
- EPA, 1997. Profile of the Fossil Fuel Electric Power Generation Industry. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Compliance. Sector Notebook Project.
- EPA, 2002. Manual de costos de control de contaminación del aire. Sexta edición (EPA 452/B-02-002). Environmental Protection Agency (EPA), Oficina de Normas y Planeación de la Calidad del Aire.