

Lineamientos para la operación eficiente de sistemas de generación de vapor y reducción de emisiones atmosféricas en plantas de beneficio del sector palmero*

Guidelines for an Efficient Operation of Steam Generation Systems and the Reduction of Atmospheric Emissions at Palm Oil Mills

CITACIÓN: Espinosa, J. C. (2016). Lineamientos para la operación eficiente de sistemas de generación de vapor y reducción de emisiones atmosféricas en plantas de beneficio del sector palmero. *Palmas*, 37(2), 55-64.

JUAN CARLOS ESPINOSA CAMACHO
Líder Ambiental, Fedepalma
jespinosa@fedepalma.org

*Documento tipo reseña de la obra con el mismo título publicada por Alexander Valencia Cruz, Marcelo Hernández Mahecha y Juan Carlos Espinosa Camacho (2015).

Con ocasión de la XVIII Conferencia Internacional de Palma de Aceite llevada a cabo en Cartagena del 22 al 25 de septiembre de 2015, Fedepalma y Cenipalma publicaron el documento titulado “*Lineamientos para la operación eficiente de sistemas de generación de vapor y reducción de emisiones atmosféricas en plantas de beneficio del sector palmero*”.

Uno de los principales requerimientos ambientales aplicable a las plantas de beneficio de aceite de palma en Colombia es el cumplimiento de los límites máximos de emisión de contaminantes atmosféricos, según lo establecido en la Resolución 909 de 2008 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Teniendo en cuenta que en Colombia las plantas de beneficio de aceite de palma utilizan biomasa como combustible para sus calderas, ellas están cobijadas por el Capítulo VII de la dicha resolución, en el cual se fijaron estándares admisibles de emisión para los dos contaminantes atmosféricos que se muestran en la Tabla 1.

Con el fin de orientar a las empresas palmeras hacia el cumplimiento de estos requerimientos, y en especial el de material particulado, Fedepalma y Cenipalma desarrollaron una estrategia gremial para la gestión integral de las emisiones atmosféricas en plantas de beneficio bajo un enfoque de prevención de la contaminación (Figura 1).

Tabla 1. Estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa que utilicen biomasa como combustible

Tipo de combustible	Capacidad de producción de vapor (t/h)	Tipo de instalación	Estándar de emisión admisible (mg/m3)*	
			Material Particulado	NOx
Biomasa	Todos	Nueva (a partir de julio 15/2008)	50	350
		Existente (hasta julio 15/2008)	300	350

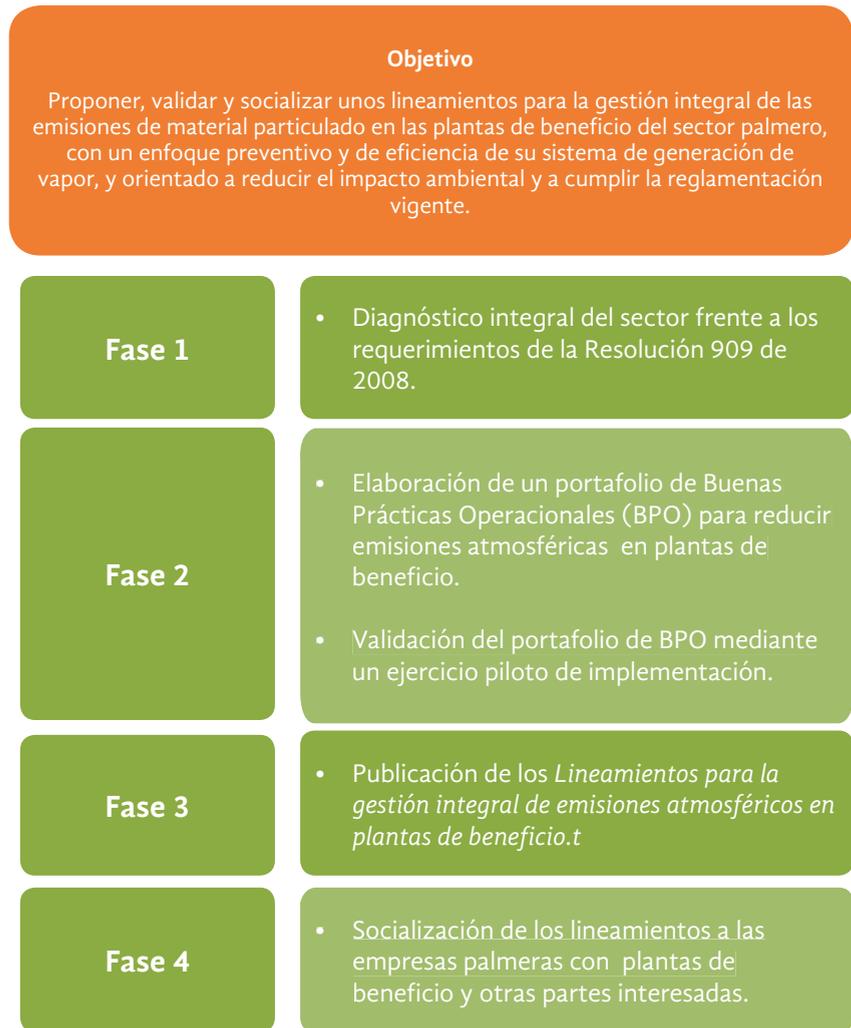
*Condiciones de referencia: 25 °C, 760 mm Hg, oxígeno de referencia de 13 %

Fuente: Resolución 909 de 2008 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Artículos 18 y 19.

Figura 1. Objetivo y fases de la estrategia gremial para la gestión de emisiones atmosféricas en plantas de beneficio

Fuente: Adaptada de Valencia, Hernández & Espinosa (2015).

Estrategia gremial para la gestión integral de emisiones de material particulado



El desarrollo de las primeras tres fases de la estrategia tomó alrededor de cuatro años, y culminó con el lanzamiento de la mencionada publicación en septiembre de 2015. Este proyecto fue liderado por el Área Ambiental de Fedepalma y el Programa de Procesamiento de Cenipalma, con el apoyo técnico de la firma CAIA Ingeniería, especialista en eficiencia energética y emisiones atmosféricas.

En esta breve reseña se muestran los aspectos relevantes de la mencionada publicación, como son:

- La presentación de un modelo para la gestión integral de emisiones atmosféricas en plantas de beneficio de aceite de palma en Colombia (capítulo 5).
- El portafolio de Buenas Prácticas Operacionales para la operación eficiente de los sistemas de generación de vapor y la reducción de emisiones atmosféricas (capítulo 6).

Modelo para la gestión integral de emisiones atmosféricas en plantas de beneficio de aceite de palma

Premisas sobre la eficiencia de la combustión y la generación de material particulado

El modelo propuesto parte de las siguientes cuatro premisas, que son clave para entender la relación entre la eficiencia del proceso de combustión de biomasa y la generación de material particulado:

- Las emisiones de material particulado son inherentes a cualquier proceso de combustión de biomasa.
- La cantidad de emisiones de material particulado de un determinado proceso de combustión dependerá en gran medida de su eficiencia. Un proceso de combustión que genere exceso de emisiones de material particulado es ineficiente.
- Estas ineficiencias generalmente se traducen en mayores costos de operación, debido a un uso excesivo de combustible, o a que dicho

combustible no se está convirtiendo eficientemente en energía útil para el proceso productivo.

- En este sentido, un proceso de combustión mejor controlado y más eficiente generará menos emisiones de material particulado.

Objetivos

Los dos objetivos del modelo de gestión integral de emisiones atmosféricas son:

- Prevenir la creación de material particulado en exceso durante el proceso de combustión, mediante la aplicación de un mejor control operativo y mayor eficiencia de dicha combustión.
- Reducir la cantidad de material particulado que es emitido a la atmósfera, mediante sistemas de control de emisiones.

Estrategias

Para cada uno de estos dos objetivos, se definió una estrategia:

- Para lograr el primer objetivo, la estrategia se basa en **Controles Primarios de Emisiones**. Ellos se enfocan en el proceso de combustión y abarcan todos los aspectos y variables que inciden en su control y eficiencia. Su campo de acción llega hasta el momento en que los gases de combustión salen de la caldera.
- Para lograr el segundo objetivo, la estrategia se basa en **Controles Secundarios de Emisiones**, cuyo campo de acción abarca desde el momento en que los gases de combustión salen de la caldera hasta que son emitidos por la chimenea. Ellos buscan remover el material particulado de dichos gases de combustión, mediante sistemas de control de emisiones tales como ciclones, multiciclones, filtros de mangas o precipitadores electrostáticos. Con ello se evita que los gases que sean emitidos a la atmósfera tengan concentraciones de MP superiores a los estándares admisibles de la Resolución 909 de 2008.

En la Figura 2 se muestra el alcance y la complementariedad entre los Controles Primarios y Secundarios de Emisiones.

Es pertinente mencionar que para efectos de cumplir con lo establecido en la Resolución 909 de 2008, será necesario implementar simultáneamente controles primarios y secundarios de emisiones. Cuanto mejores Controles Primarios se implementen, menor cantidad de material particulado se generará durante la combustión, y así será menor el esfuerzo requerido en los Controles Secundarios de Emisiones.

Estrategia de Controles Primarios de Emisiones en plantas de beneficio

El principal factor que contribuye a incrementar la eficiencia de un proceso de combustión es la combustión completa del combustible utilizado (biomasa en el caso de las plantas de beneficio de aceite de palma). De esta manera, **el fin último de los Controles Primarios es lograr la combustión completa de la biomasa.**

Para lograr una combustión completa es necesario controlar cuatro variables primarias durante el proceso de combustión: la temperatura, el tiempo de residencia, la turbulencia y el oxígeno, como se muestra en la Figura 3.

Las consignas de control son aspectos o condiciones que inciden directa o indirectamente sobre las cuatro variables primarias de control de la combustión, y que pueden ser monitoreados y controlados de manera más directa en el proceso.

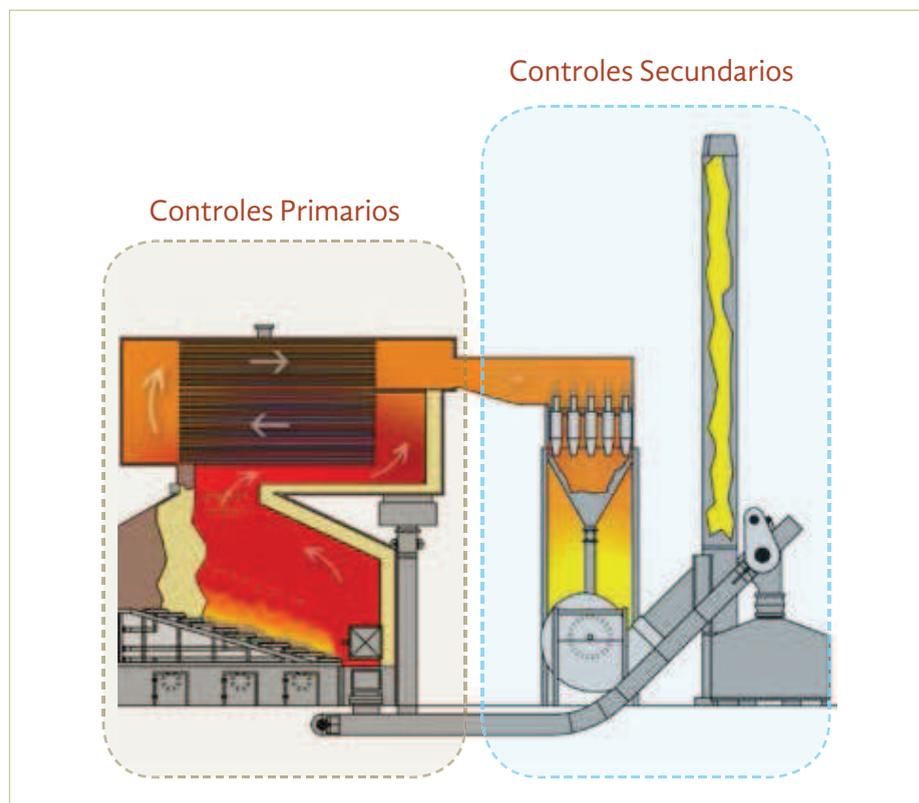
Se han identificado nueve consignas de control aplicables a los sistemas de generación de vapor de las plantas de beneficio de aceite de palma, que se dividen en tres categorías (Figura 4):

Condiciones de operación de la caldera: elementos del proceso de combustión en el interior de la caldera que inciden en una combustión completa.

Condiciones del combustible: características del combustible (biomasa), su forma de alimentación y su distribución en el hogar de la caldera que inciden en una combustión completa.

Figura 2. Controles primarios y secundarios de emisiones de MP

Fuente: CAIA Ingeniería (2014). Adaptada de Wellons FEI Corp.



Variables primarias de control de la combustión



Figura 3. Variables primarias a controlar en el proceso de combustión

Fuente: Valencia *et al.* (2015).

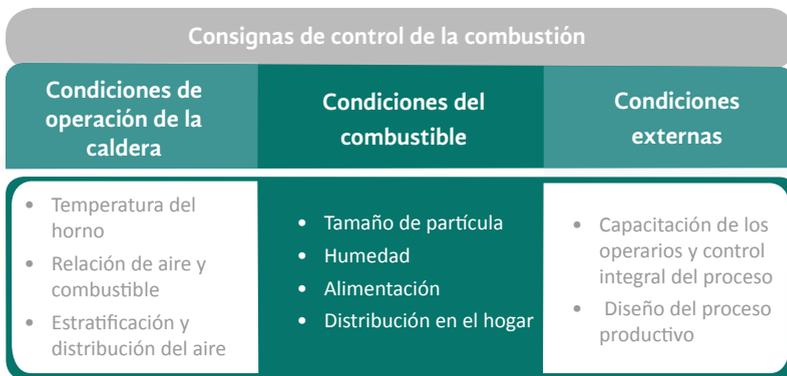


Figura 4. Clasificación de las consignas de control de combustión

Fuente: Valencia *et al.* (2015).

Condiciones externas: son condiciones externas al proceso de combustión pero tienen una incidencia sobre la generación de una combustión completa.

Las variables y consignas de control muestran qué se debería controlar para lograr una combustión completa y, con ello, menores emisiones de material particulado.

Como paso siguiente, se desarrolló un conjunto de 20 Buenas Prácticas Operacionales (BPO) que muestran cómo lograr este propósito. Estas han sido clasificadas en cuatro categorías (Figura 5). Cada una contiene una serie de acciones concretas para mejorar las condiciones de la caldera, las condiciones del combustible y/o las condiciones externas al proceso de combustión (las consignas de control), con el fin de obtener una combustión completa.

Figura 5. Listado de BPO de los Controles Primarios de Emisiones.

Fuente: Valencia *et al.* (2015).

Listado de BPO de los Controles Primarios de Emisiones

A. Combustible

- A1. Cálculo y dosificación del combustible necesario
- A2. Disminuir el tamaño de la partícula
- A3. Disminuir la humedad del combustible
- A4. Alimentación continua del combustible
- A5. Mejor distribución de biomasa en el hogar
- A6. Romper sobredimensiones de combustible

B. Control de la combustión

- B1. Maximizar la temperatura del hogar
- B2. Garantizar suficiente exceso de oxígeno de combustión
- B3. Uso de aire secundario de cortina
- B4. Mantener la relación aire/combustible

C. Operación del sistema de vapor

Operarios

- C1. Instrumentación para el monitoreo y control de la combustión
- C2. Capacitación adecuada a los operarios
- C3. Minimizar la apertura de compuertas

Operaciones

- C4. Planeación de la generación de vapor
- C5. Rediseño de las operaciones

D. Ingeniería y mantenimiento

- D1. Limpieza y desdeshollinado periódico
- D2. Mantenimiento por desempeño
- D3. Optimización de las redes y consumos de vapor
- D4. Correcta automatización
- D5. Contratación por resultados

Estrategia de Controles Secundarios de Emisiones

El propósito de los Controles Secundarios de Emisiones es evitar que los niveles de material particulado (MP) que se emiten a la atmósfera sean superiores a los máximos permitidos por la reglamentación vigente. Para ello, se emplean equipos de control de emisiones que remueven el exceso de MP generado durante la combustión hasta cumplir con los estándares aplicables de la Resolución 909 de 2008.

Los Controles Secundarios de Emisiones se enfocan en los siguientes tres aspectos:

1. Contar con un equipo de control de emisiones adecuado, según el esfuerzo requerido de remoción de MP para cumplir con el estándar aplicable.
2. Garantizar la eficiencia esperada del equipo de control de emisiones utilizado
3. Reducir al máximo el factor multiplicador de la corrección por oxígeno.

El equipo de control de emisiones más apropiado para una caldera en particular estará en función del esfuerzo requerido de remoción de emisiones de MP para cumplir con la reglamentación vigente. Ese esfuerzo dependerá de qué tanto material particulado se esté generando durante la combustión o, en otras palabras, de qué grado de avance se tenga en los Controles Primarios de Emisiones (Tabla 2).

Adicionalmente, se propusieron tres BPO en la estrategia de Controles Secundarios de Emisiones, que buscan: (i) reducir al máximo el factor multiplicador de la corrección por oxígeno; y (ii) garantizar la eficiencia esperada del equipo de control de emisiones que esté siendo utilizado (Figura 6).

Hoja de ruta para la implementación del modelo de gestión integral de emisiones

En la publicación también se propuso una hoja de ruta para implementar el modelo de gestión integral

de emisiones, que consta de los 4 pasos que serán descritos en los apartados siguientes.

1. Comprender y apropiar los conceptos y lineamientos del modelo

Este primer paso es el más importante para lograr implementar en forma efectiva una gestión integral de las emisiones de MP. Consiste en que el personal técnico y operativo responsable del sistema de generación de vapor de la planta de beneficio comprenda y se apropie de los conceptos y lineamientos del modelo de gestión.

2. Realizar un diagnóstico integral

El segundo paso es realizar un diagnóstico integral que permita identificar y priorizar las acciones de mejora que tenga un mayor efecto positivo sobre la eficiencia del proceso y sobre las emisiones de MP. Para ello, se recomienda hacer una evaluación cualitativa y cuantitativa que contemple:

Tabla 2. Equipos de control de emisiones adecuados según el estándar aplicable y el grado de avance en Controles Primarios de Emisiones

Grado de avance en Controles Primarios de Emisiones	Concentración de MP a la salida de la caldera	Calderas existentes (estándar de 300 mg/m ³)		Calderas nuevas (estándar de 50 mg/m ³)	
		% remoción MP requerido	Equipo adecuado de control de emisiones	% remoción MP requerido	Equipo adecuado de control de emisiones
Alto	500	40 %	Ciclón de fabricación local	90 %	Ciclón/Multiciclón de alta eficiencia
	750	60 %	Ciclón/Multiciclón convencional	93 %	
	1.000	70 %		95 %	
Medio	1.500	80 %	Ciclón/Multiciclón de alta eficiencia	97 %	Filtro de mangas o precipitador electrostático
	2.000	85 %		98 %	
	2.500	88 %		98 %	
Bajo	3.000	90 %	Ciclón/Multiciclón de alta eficiencia	98 %	
	3.500	91 %		99 %	
	4.000	93 %		99 %	
	5.000	94 %		99 %	

Fuente: Valencia *et al.* (2015).

Figura 6. Listado de BPO de los Controles Secundarios de Emisiones

Fuente: Valencia *et al.* (2015).

Listado de BPO de los Controles Secundarios de Emisiones

E. Corrección por oxígeno

E1. Eliminar entradas de aire parásito

F. Sistemas de control de emisiones

F1. Evaluación permanente del desempeño

F2. Uso de ciclones de diseño y fabricación local

- *Evaluación cualitativa:* autodiagnóstico o evaluación externa sobre las nueve consignas de control y sobre la adopción de sus 20 BPO relacionadas. Con ello se tendría un insumo sobre el grado de avance de los Controles Primarios de Emisiones.
- *Evaluación cuantitativa:* Muestreo isocinético y análisis de gases simultáneo a la salida de la caldera y en la chimenea (antes y después del sistema de control de emisiones), como se muestra en la Figura 7. Con ello se podrá conocer la eficiencia real del sistema de control de emisiones, se podrá determinar si existen entradas de aire parásito que incrementen el factor de corrección por oxígeno y se tendrán indicadores sobre la calidad de la combustión.

3. Definir objetivos y metas concretas

El modelo de gestión integral de emisiones de MP se enfoca de manera simultánea en las estrategias de Controles Primarios y Controles Secundarios de Emisiones. Luego de hacer un diagnóstico integral, la planta de beneficio estará en capacidad de fijar objetivos y metas concretas para cada una de estas dos estrategias.

Se sugiere, por simplicidad, empezar por establecer los objetivos y metas de los Controles Secundarios de Emisiones.

Objetivos y metas para los Controles Secundarios de Emisiones

El muestreo isocinético y análisis de gases antes y después del sistema de control de emisiones permitirá identificar brechas y definir metas concretas en relación con dos aspectos de los Controles Secundarios de Emisiones (Tabla 3).

Teniendo en cuenta que el tipo de acciones que deberán adelantarse para el logro de estas metas son relativamente conocidas por el personal técnico de las plantas de beneficio o sus contratistas, es posible suponer un alto factor de éxito en su cumplimiento, como se muestra a continuación.

Objetivos y metas para los Controles Primarios de Emisiones

La meta deseable para los Controles Primarios de Emisiones estará dada por el nivel de material particulado a la salida de la caldera que permita cumplir con el estándar admisible de emisiones, bajo el supuesto de que se cumplan las metas de Controles Secundarios de Emisiones previamente definidas.

4. Priorizar e implementar Buenas Prácticas Operacionales

Para cumplir estas metas será necesario identificar e implementar las Buenas Prácticas Operacionales más

relevantes para la situación actual de cada planta de beneficio.

Como primera medida, se sugiere implementar las siguientes dos BPO para efectos de dar cumplimiento a las metas de Controles Secundarios de Emisiones:

E1: Eliminar entradas de aire parásito

F1: Evaluación permanente del desempeño del sistema de control de emisiones

Posteriormente, se deben priorizar las BPO más pertinentes para cada caldera, en función de los resultados del diagnóstico cualitativo de las nueve consignas de control.

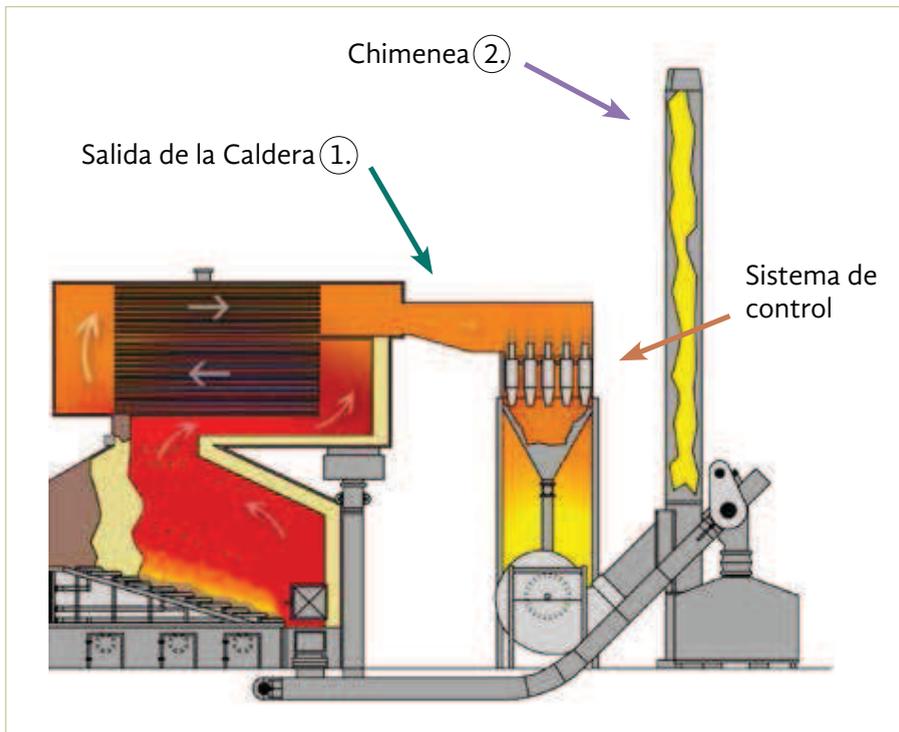


Figura 7. Puntos de medición: ① a la salida de la Caldera y ② en la chimenea.

Fuente: CAIA Ingeniería, 2014, adaptada de Wellons FEI Corp.

Tabla 3. Ejemplos de metas para la estrategia de Controles Secundarios de Emisiones

Aspecto	Brechas	Metas mínimas
Entradas de aire parásito	Diferencia entre el nivel de oxígeno a la salida de la caldera y en la chimenea	Diferencia < 2 %
Eficiencia del equipo de control de emisiones	Diferencia entre la eficiencia real y la eficiencia teórica (o esperada) del equipo de control de emisiones	Eficiencia real del ciclón o mult ciclón convencional > 70 % Eficiencia real del ciclón o mult ciclón de alta eficiencia > 80 % Eficiencia real del filtro de mangas o precipitador > 99 %

Fuente: Valencia *et al.* (2015).



Referencias

- CAIA Ingeniería (2014). *Informe Final - Proyecto de implementación de buenas prácticas operacionales para reducir emisiones de material particulado en plantas de beneficio. Informe final, producto 4 del contrato Fedepalma-CAIA 044/13*. Bogotá: CAIA.
- Valencia, A., Hernández, M., & Espinosa, J. C. (2015). *Lineamientos para la operación eficiente de sistemas de generación de vapor y reducción de emisiones atmosféricas en plantas de beneficio del sector palmero*. Bogotá: Fedepalma – Cenipalma.
- Wellons FEI Corp. – Wellons INC (2015). *Biomass boiler*. Recuperado de: <http://www.wellonsfei.ca/en/biomass-boiler.aspx>