

ANÁLISIS DE COSTOS

A continuación se presenta el análisis de costos referente al Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-XXX-SEMARNAT-2017, Contaminación atmosférica.- Límites máximos permisibles de emisión provenientes de generadores de vapor que utilizan bagazo de caña de azúcar como combustible.

La proyección de costos se realizó con datos de la Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcoholera (CNIAA)¹ donde se tiene información de que **actualmente existen 156 generadores de vapor distribuidos en la agroindustria**, los cuales se encuentran clasificados según su capacidad térmica nominal, de la siguiente manera:

- 35 con capacidad igual o mayor a 10 y hasta 100 Gigajoules/hora (GJ/h)
- 89 con capacidad mayor a 100 y hasta 200 GJ/h
- 32 con capacidad mayor a 200 GJ/h.

1

De igual forma, se consideraron 50 ingenios azucareros, es preciso señalar que el número de ingenios en operación durante una zafra varía dependiendo de las condiciones de cada uno de ellos, y de diversos aspectos que pueden reactivar o cerrar las operaciones de los sujetos regulados, como por ejemplo la calidad y cantidad de la caña de azúcar, las condiciones de los equipos de producción y los precios de mercado por mencionar algunos ejemplos.

Para el cumplimiento de la Norma, según sea el caso, los sujetos regulados se deben apegar a los límites máximos permisibles de emisiones establecidos en el numeral 5.1 del Proyecto de Norma. Cabe destacar que para mitigar las emisiones provenientes de cualquier proceso de combustión, comúnmente se adoptan estrategias de atenuación como la implementación de Sistemas de control de emisiones.

Otro punto a considerar para el cumplimiento de la regulación, es lo referente al numeral 5.3 y sus respectivos sub-numerales, en donde se establece que de acuerdo a la capacidad térmica nominal de los generadores de vapor y de su condición de generador nuevo o existente, se tiene que llevar a cabo la medición de las emisiones mediante un muestreo puntual o bien mediante Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones (SMCE), según corresponda.

¹ Emisiones contaminantes en ingenios azucareros, su normatividad, tecnologías de monitoreo y control, Mesa Regional, Córdoba Veracruz, 2017.



En el mercado, existen diversos tipos de Sistemas de control de emisiones y de SMCE, sin embargo, si bien es cierto que algunos ingenios han implementado estos equipos, no se tiene la certeza del número y del nivel de eficiencia que presentan.

Es importante destacar que cada ingenio azucarero tiene necesidades particulares, y cada generador de vapor tiene características de operación diferentes, debido a que se tienen diversas variables que repercuten en su eficiencia, como la alimentación de bagazo al generador de vapor, exceso de aire en la cámara de combustión y el contenido de humedad del bagazo de la caña de azúcar, por citar algunos ejemplos. Adicionalmente es preciso recalcar que esta agroindustria es heterogénea, es decir, se tiene una gran diversidad de tecnología en los generadores de vapor, por lo que se requiere atender caso por caso las necesidades de cada sujeto regulado.

Para la obtención de los costos cuantificables asociados a la implementación de la regulación se plantean dos posibles escenarios:

- **Escenario 1:** Implementación de Sistemas de control de emisiones y SMCE en generadores de vapor existentes en función de su capacidad térmica nominal. Se considera que este escenario es el más probable debido a que contempla la instalación de los sistemas necesarios para adecuar los generadores de vapor existentes (actualmente operando en los ingenios), con el objetivo de que alcancen el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la Norma. Lo anterior implica que los sujetos regulados efectúen las erogaciones en función de las condiciones de los generadores de vapor que operan la actualidad y la opción para instalar los Sistemas de control de emisiones y SMCE, según corresponda.
- **Escenario 2:** Sustitución de la totalidad de los generadores de vapor existentes en la agroindustria, por generadores de vapor nuevos. Este escenario es menos probable que el anterior debido a que representa una gran erogación por parte de los sujetos regulados, ya que además de la instalación de generadores de vapor nuevos se considera la implementación de Sistemas de control de emisiones y SMCE según corresponda. Es preciso señalar que algunos sujetos regulados han hecho grandes inversiones en este rubro debido a su incursión en el mercado energético, sin embargo no se cuenta con información precisa sobre las emisiones y los niveles de eficiencia que se tienen.



Para ambos escenarios planteados, el grupo o industria al que le impacta la regulación son las personas físicas o morales responsables de los generadores de vapor, en la industria, comercio y servicios, con capacidad térmica nominal igual o mayor a 10 GJ/h, y que la generación de energía provenga de al menos 90% de bagazo de caña de azúcar como combustible.

A continuación se describen a detalle los escenarios planteados para obtener un estimado de los costos que representaría la implementación de la Norma; algunos costos se desglosan en dólares, por lo que se tomó un precio fijo de dólar a \$ 18.1394 pesos mexicanos, de acuerdo con lo establecido en el Diario Oficial de la Federación (DOF) al 10 de julio de 2017²

Escenario 1 Implementación de Sistemas de control de emisiones y SMCE en los generadores de vapor existentes

3

La Norma categoriza a los generadores de vapor en función de su capacidad térmica nominal y a su condición de generador nuevo o existente. Para este escenario se consideró la implementación de los Sistemas de control de emisiones comúnmente utilizados en la agroindustria, así como la instalación del SMCE según corresponda y de acuerdo con lo siguiente:

- Para el cumplimiento del numeral 5.3.1 en los generadores de vapor existentes con capacidad térmica nominal igual o mayor a 10 y hasta 100 GJ/h se consideró un Sistema de control de emisiones acorde con la capacidad del generador; en este caso un **ciclón de partículas** debido a que normalmente los generadores de esta capacidad no requieren de un Sistema de control de emisiones sofisticado. Adicionalmente a ello, para la medición de las emisiones, la Norma establece que los generadores de vapor de esta capacidad térmica, deberán hacerlo mediante mediciones puntuales a través de un laboratorio debidamente acreditado; dichas mediciones serán efectuadas con una periodicidad de cada 30 días, considerando un período de operación de los generadores de vapor de 6 meses.

²http://dof.gob.mx/indicadores_detalle.php?cod_tipo_indicador=158&dfecha=10%2F07%2F2017&hfecha=10%2F07%2F2017



- Para el cumplimiento del numeral 5.3.2 en los generadores de vapor existentes con capacidad térmica nominal mayor a 100 y hasta 200 GJ/h se consideró un Sistema de control de emisiones de tipo **depurador húmedo de gases**, de igual forma se plantea la posibilidad de que la medición de las emisiones se realice a través de muestreo puntual, por tratarse de equipos existentes, tal como lo establece la propuesta de regulación. Cabe destacar que para este supuesto se consideró un depurador húmedo de gases con diseño convencional y bajo condiciones típicas de operación.

En el documento *Hoja de Datos-Tecnología de Control de la Contaminación* emitido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, pos sus siglas en inglés)³, se establece un costo de capital de 23,000 dólares por metro cúbico/segundo (m³/s) de flujo de aire en chimenea, si se toma como referencia un rango de flujos de 0.47 a 35 m³/s, tal como lo expresa el documento citado, y se considera el flujo máximo de aire de 35 m³/s, el costo de capital asciende a \$ 805,000.00 dólares.

$$\text{Costo capital depurador húmedo de gases} = \frac{[23,000 \text{ dólares}] * \left[35 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right]}{1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$\text{Costo capital depurador húmedo de gases} = \$ 805,000.00 \text{ dólares}$$

Es importante mencionar que en dicha hoja de datos, se cita que estos costos se encuentran expresados en dólares del año 2002, por lo que tomando en cuenta la inflación anualizada en los Estados Unidos⁴ tenemos el costo real proyectado para el año 2017, de acuerdo con lo expresado en la Tabla 1.

³ Hoja de datos – Tecnología de Control de Contaminación del Aire (<https://www3.epa.gov/ttnatc1/dir2/fimpings.pdf>)

⁴ <http://es.inflation.eu/tasas-de-inflacion/estados-unidos/inflacion-historica/ipc-inflacion-estados-unidos.aspx>



Tabla 1. Costo real proyectado del depurador húmedo al año 2017.

Año	Inflación en Estados Unidos (%)	Costo Dólares (USD)	Costo Pesos Mexicanos (MXN)
2002	---	\$805,000.00	\$14,602,217.00
2003	1.88	\$820,134.00	\$14,876,738.68
2004	3.26	\$846,870.37	\$15,361,720.36
2005	3.42	\$875,833.33	\$15,887,091.20
2006	2.54	\$898,079.50	\$16,290,623.31
2007	4.08	\$934,721.15	\$16,955,280.74
2008	0.09	\$935,562.39	\$16,970,540.50
2009	2.72	\$961,009.69	\$17,432,139.20
2010	1.50	\$975,424.84	\$17,693,621.29
2011	2.96	\$1,004,297.41	\$18,217,352.48
2012	1.74	\$1,021,772.19	\$18,534,334.41
2013	1.50	\$1,037,098.77	\$18,812,349.43
2014	0.76	\$1,044,980.72	\$18,955,323.28
2015	0.73	\$1,052,609.08	\$19,093,697.14
2016	2.07	\$1,074,398.09	\$19,488,936.67
2017*	2.15	\$1,097,497.65	\$19,907,948.81

*Inflación media a julio de 2017

Fuente: Elaboración propia, utilizando cifras del *Worldwide Inflation Data*

De acuerdo con la Tabla 1, el costo del depurador húmedo de gases en el año 2002 asciende a \$ 805,000.00 dólares, este valor se proyectó para obtener el costo estimado para el año 2017, para lo cual se consideró el porcentaje de inflación anual del dólar en Estados Unidos de los años subsecuentes hasta llegar a 2017, pasando del valor de costo inicial a un costo de **\$ 1,097,497.65 dólares para el año 2017** de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Costo_{p_x} = (Costo_a) * (\% Inflación_s)$$

Donde:

$Costo_{p_x}$ = Costo proyectado del depurador húmedo de gases al año requerido

$Costo_a$ = Costo del depurador húmedo de gases al año anterior

$\% Inflación_s$ = Inflación anual del dólar en el año subsecuete



Por ejemplo, para estimar el costo del depurador húmedo de gases proyectado para el año 2003, se realizó la siguiente operación:

$$\text{Costo}_{P_{2003}} = (\$ 805,000.00) * (1.88 \%)$$

$$\text{Costo}_{P_{2003}} = \$ 820,134.00$$

La operación anterior se realizó sustituyendo en la ecuación el valor del costo inicial del depurador húmedo de gases y el valor de la Inflación anual del dólar en Estados Unidos, hasta alcanzar el año 2017, donde se tomó en cuenta un precio de dólar de \$ 18.1394 (10 de julio de 2017 en DOF), por lo que el costo proyectado de un depurador húmedo de gases a esta fecha, asciende a \$ 19,907,948.81 pesos.

- Para el cumplimiento del numeral 5.3.4, en los generadores de vapor con capacidad térmica nominal mayor a 200 GJ/h se consideró la instalación de un SMCE y como Sistema de control de emisiones se consideró la implementación de un **precipitador electrostático**.



Tabla 2. Costos de la implementación de las medidas de cumplimiento de la Norma para generadores de vapor con capacidad térmica nominal mayor o igual a 10 y hasta 100 GJ/h.

Capacidad Generadores de vapor (GJ/h)	No. de generadores en la industria	Implementación de medidas de cumplimiento	Aspectos técnicos	Costo USD	Costo MX\$
≥ 10-100	35	Sistema de control de emisiones Ciclón de partículas ⁵	El Ciclón puede retener partículas hasta de 5 micrómetros (µm) de diámetro; permite una máxima entrada de concentración de emisiones de hasta 1000 g/m³, con una eficiencia de mitigación entre 50-90 %.	\$96,500.00	\$1,750,452.10
		Análisis de laboratorio ⁶ (Cada 30 días ⁷)	Monitoreo de emisiones de PM, CO, NO _x , SO ₂ , Perfil de velocidad, Informe de calibración de los equipos en sitio, hojas de campo firmadas por el usuario, Informe completo de resultados y acreditación ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).	---	\$30,600.00 ⁸
			Costo unitario		\$1,781,052.10
			Costo total en 35 generadores de vapor		\$62,336,823.50

⁵ <https://spanish.alibaba.com/product-detail/used-dust-collector-cyclone-cyclone-separator-price-60288871702.html?spm=a2700.8698675.29.6.fm9uYE>

⁶ Propuesta técnico - económica estudios de emisiones a la atmosfera, Welfare Ecología Industrial S.A. de C.V., México, 2017

⁷ El análisis de laboratorio se realizará cada 30 días, con el objetivo de conocer el estado de las emisiones contaminantes en un período de tiempo representativo, toda vez que el período de operación de los generadores de vapor de los sujetos regulados es generalmente de 6 meses

⁸ El costo unitario de los análisis es de \$ 5, 100 pesos; por lo que este costo se multiplicó por los 6 meses del período de operación de los ingenios azucareros (\$ 5,100 * 6 = \$ 30,600)



Tabla 3. Costos de la implementación de las medidas de cumplimiento de la Norma para generadores de vapor de con capacidad térmica nominal mayor a 100 y hasta 200 GJ/h.

Capacidad Generadores de vapor (GJ/h)	No. de generadores en la industria	Implementación de medidas de cumplimiento	Aspectos técnicos	Costo USD	Costo MX\$
>100-200	89	Sistema de control de emisiones Depurador húmedo de gases ⁹	Flujo de aire de 35 metros cúbicos a condiciones estándares por segundo (m³/s), Temperatura del flujo de gas de entrada hasta 370 grados Celsius (°C), apropiado para la remoción de partículas sin límite de concentración de entrada y para la absorción de gases	\$1,097,497.65	\$19,907,948.81 ¹⁰
		Análisis de laboratorio (Cada 30 días ¹¹)	Monitoreo de emisiones de PM, CO, NO _x , SO ₂ , Perfil de velocidad, Informe de calibración de los equipos en sitio, hojas de campo firmadas por el usuario, Informe completo de resultados y acreditación ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA),	-	\$30,600.00 ¹²
			Costo unitario		\$19,938,548.81
			Costo total en 89 generadores de vapor	\$1,774,530,844.16	

⁹ Hoja de datos, Tecnología de control de la contaminación del aire EPA-452/F-03-012 (<https://www3.epa.gov/ttnca1/dir2/fimpings.pdf>)

¹⁰ Costo estimado de la Tabla 1. Costo proyectado del depurador húmedo al año 2017 (En el presente documento)

¹¹ El análisis de laboratorio se realizará cada 30 días, con el objetivo de conocer el estado de las emisiones contaminantes en un período de tiempo representativo, toda vez que el período de operación de los generadores de vapor de los sujetos regulados es generalmente de 6 meses

¹² El costo unitario de los análisis es de \$ 5, 100 pesos; por lo que este costo se multiplicó por los 6 meses del período de operación de los ingenios azucareros (\$ 5,100 * 6 = \$ 30,600)



Tabla 4. Costos de la implementación de las medidas de cumplimiento de la Norma para generadores de vapor de con capacidad térmica nominal mayor a 200 GJ/h.

Capacidad Generadores de vapor (GJ/h)	No. de generadores en la industria	Implementación de medidas de cumplimiento	Aspectos técnicos	Costo USD	Costo MX\$
>200	32	Sistema de control de emisiones Precipitador electrostático (WESP¹³)	Generadores de vapor con capacidad térmica nominal superior a los 200 GJ/h, reducción de Partículas, emisiones contaminantes, tecnología WESP - Wet Electrostatic Precipitator (Precipitador Electrostático en húmedo), eficiencia mayor a 99%	\$5,500,000.00	\$99,766,700.00
		SMCE ¹⁴	Sistema de monitoreo continuo de emisiones que incluye, sistema de adquisición de datos, sistema de interfaz de datos, analizador de gases, temperatura, presión, flujo de gas	\$300,000.00	\$5,441,820.00
		Análisis de laboratorio (Cada 30 días ¹⁵)	Monitoreo de emisiones de PM, CO, NO _x , SO ₂ , Perfil de velocidad, Informe de calibración de los equipos en sitio, hojas de campo firmadas por el usuario, Informe completo de resultados y acreditación ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).	---	\$30,600.00 ¹⁶
			Costo unitario		\$105,239,120.00
			Costo total en 32 generadores de vapor		\$3,367,651,840.00

¹³ Eisenmann Corporation, Sugar Industry 8th Meeting, México, 2017

¹⁴ <https://spanish.alibaba.com/product-detail/cems-continuous-emission-monitoring-system-105456132.html?spm=a2700.8698675.29.50.291df7a118lrVX>

¹⁵ El análisis de laboratorio se realizará cada 30 días, con el objetivo de conocer el estado de las emisiones contaminantes en un período de tiempo representativo, toda vez que el período de operación de los generadores de vapor de los sujetos regulados es generalmente de 6 meses

¹⁶ El costo unitario de los análisis es de \$ 5, 100 pesos; por lo que este costo se multiplicó por los 6 meses del período de operación de los ingenios azucareros (\$ 5,100 * 6 = \$ 30,600)



Para el Escenario 1, el costo total de implementar los Sistemas de control de emisiones en los generadores de vapor existentes y SMCE en los generadores con capacidad térmica nominal mayor a 200 GJ/h, se obtuvo mediante la suma de los costos totales de las tablas 2, 3 y 4 para cada categoría, expresado de la siguiente forma:

Costo Total Escenario 1 = Costo total Tabla 2 + Costo total Tabla 3 + Costo total Tabla 4

	\$	62,336,823.50
+	\$	1,774,530,844.16
	\$	3,367,651,840.00
	\$	5,204,519,507.66

10

El costo total del Escenario 1, asciende a:

\$ 5,204,519,507.66 pesos.

Escenario 2

Sustitución de la totalidad de los generadores de vapor existentes en la agroindustria, por generadores de vapor nuevos

Descripción de los costos:

Considerando que el objeto de la Norma es establecer los límites máximos permisibles de emisión provenientes de generadores de vapor que utilicen bagazo de caña de azúcar como combustible, se consideró en un Escenario 2, la sustitución de los 156 generadores de vapor existentes en la agroindustria por generadores de vapor nuevos, toda vez que un generador de vapor nuevo conlleva a una mayor eficiencia y por ende menor generación de emisiones.

Hay que destacar que este escenario es poco probable debido a que en la actualidad cada ingenio ha ido adecuando, de acuerdo con sus necesidades los procesos operativos; sin embargo, es probable que en muchos casos se considere la sustitución de los generadores existentes por otros de tecnología actual y de mayor eficiencia, toda vez que el proceso de combustión del bagazo de caña de azúcar puede ser aprovechado para tener participación en el mercado de la generación de energía, y una buena alternativa para ello es la adopción de tecnología reciente que permita realizar el proceso de combustión de una manera más eficiente y limpia.



En la actualidad existen en el mercado diversos tipos de generadores de vapor; para este caso se requieren exclusivamente generadores de vapor para la combustión de biomasa (específicamente bagazo de caña de azúcar). Hoy en día el desarrollo de tecnología nacional que permita cubrir las necesidades de la agroindustria es limitada, por lo que las alternativas que se tienen son de origen extranjero. En ese sentido se obtuvo información sobre el costo de generadores de vapor de combustión de biomasa con capacidad térmica nominal mayor a 200 GJ/h, el cual asciende a \$ 5,000,000.00 de dólares¹⁷ por unidad.

Para estimar el costo aproximado de un generador de vapor con capacidad térmica nominal de 200 GJ/h o menor, de acuerdo a como lo establece la Norma: generadores de vapor con capacidad térmica nominal igual o mayor a 10 GJ/h y hasta 100 GJ/h, y generadores de vapor con capacidad térmica nominal mayor a 100 GJ/h y hasta 200 GJ/h, se realizó una proporción del costo del que se obtuvo información, utilizando la siguiente ecuación:

$$C_X = \frac{(g_X)(C_{200})}{G_M}$$

Donde:

C_X = Costo estimado del generador de vapor de menor capacidad (Dólares)

C_{200} = Costo del generador de vapor con capacidad térmica mayor a 200 GJ/h (Dólares)

G_M = Capacidad térmica nominal del generador de vapor de costo conocido (GJ/h)

g_X = Capacidad térmica nominal del generador de vapor de costo a estimar(GJ/h)

Para estimar el costo de un generador de vapor con capacidad térmica nominal igual o mayor a 10 GJ/h y hasta 100 GJ/h se realizó lo siguiente:

$$C_X = \frac{(80 \text{ GJ/h})(5,000,000 \text{ dólares})}{250 \text{ GJ/h}}$$

$$C_X = \$ 1,600,000.00 \text{ dólares}$$

Cabe destacar que para obtener el resultado anterior se utilizó una capacidad térmica nominal de 80 GJ/h, debido a que de acuerdo con información de la Cámara Nacional de la Industrias Azucarera y Alcoholera (CNIAA), el grueso de los generadores de vapor en este rango de capacidad se encuentran entre 50 y 100 GJ/h por lo que se consideró el promedio de estos valores, mientras que para la capacidad térmica nominal del generador de vapor

¹⁷ <https://spanish.alibaba.com/product-detail/biomass-boiler-475292357.html?spm=a2700.8698675.29.252.i2YN8M>



de costo conocido se tomaron como referencia 250 GJ/h. Por lo anterior se obtiene que el costo estimado de un generador de vapor de 50 GJ/h asciende a \$1,600,000.00 de dólares.

Para estimar el costo de un generador de vapor con capacidad térmica nominal mayor a 100 GJ/h y hasta 200 GJ/h se realizó lo siguiente:

$$C_x = \frac{(150 \text{ GJ/h})(5,000,000)}{250 \text{ GJ/h}}$$

$$C_x = \$ 3,000,000.00 \text{ dólares}$$

Para obtener el resultado anterior se utilizó una capacidad térmica nominal de 150 GJ/h, producto del promedio de la categoría de generadores de vapor mayores a 100 GJ/h y hasta 200 GJ/h, mientras que para la capacidad térmica nominal del generador de vapor de costo conocido se tomaron como referencia 250 GJ/h. Por lo anterior se obtiene que el costo estimado de un generador de vapor de 150 GJ/h asciende a \$3,000,000.00 de dólares.

Es importante señalar que para cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma es necesaria la instalación de un Sistema de control de emisiones para mitigar la cantidad de contaminantes a la atmósfera. También es preciso destacar que para este escenario se plantea la sustitución de la totalidad de los generadores de vapor de la agroindustria, por lo que las especificaciones que les corresponden son aquellas que establece la Norma para generadores de vapor nuevos, es decir, con base en los numerales 5.3.3 y 5.3.4 es obligatorio implementar un SMCE en generadores de vapor nuevos >100 GJ/h según corresponda.

A continuación se describen a detalle los costos del Escenario 2 para el cumplimiento de la Norma, en función de la capacidad térmica nominal de los generadores de vapor para cada categoría.



Tabla 5. Costos de la implementación de las medidas de cumplimiento de la Norma para generadores de vapor de con capacidad térmica nominal de ≥ 10 -100 para el Escenario 2.

Capacidad Generadores de vapor (GJ/h)	No. de generadores en la industria	Implementación de medidas de cumplimiento	Aspectos técnicos	Costo USD	Costo MX\$
≥ 10-100	35	Generador de vapor nuevo (80 GJ/h)	Generador de vapor para biomasa, con capacidad térmica nominal >10-100 GJ/h	\$1,600,000.00	\$29,023,040.00
		Sistema de control de emisiones Ciclón de partículas ¹⁸	El Ciclón puede retener partículas hasta de 5 micrómetros (µm) de diámetro; permite una máxima entrada de concentración de emisiones de hasta 1000 g/m³, con una eficiencia de mitigación entre 50-90 %.	\$96,500.00	\$1,750,452.10
		Análisis de laboratorio ¹⁹ (Cada 30 días ²⁰)	Monitoreo de emisiones de PM, CO, NOx, SO2, Perfil de velocidad, Informe de calibración de los equipos en sitio, hojas de campo firmadas por el usuario, Informe completo de resultados y acreditación ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).	---	\$30,600.00 ²¹
			Costo unitario	\$30,804,092.10	
			Costo en 35 generadores de vapor	\$1,078,143,223.50	

¹⁸ <https://spanish.alibaba.com/product-detail/used-dust-collector-cyclone-cyclone-separator-price-60288871702.html?spm=a2700.8698675.29.6.fM9uYE>

¹⁹ Propuesta técnico - económica estudios de emisiones a la atmosfera, Welfare Ecología Industrial S.A. de C.V., México, 2017

²⁰ El análisis de laboratorio se realizará cada 30 días, con el objetivo de conocer el estado de las emisiones contaminantes en un período de tiempo representativo, toda vez que el período de operación de los generadores de vapor de los sujetos regulados es generalmente de 6 meses

²¹ El costo unitario de los análisis es de \$ 5, 100 pesos; por lo que este costo se multiplicó por los 6 meses del período de operación de los ingenios azucareros (\$ 5,100 * 6 = \$ 30,600)



Tabla 6. Costos de la implementación de las medidas de cumplimiento de la Norma para generadores de vapor de con capacidad térmica nominal de >100-200 para el Escenario 2.

Capacidad Generadores de vapor (GJ/h)	No. de generadores en la industria	Implementación de medidas de cumplimiento	Aspectos técnicos	Costo USD	Costo MX\$	
>100-200	89	Generador de vapor	Generador de vapor para biomasa, con capacidad térmica nominal >100-200 GJ/h	\$3,000,000.00	\$54,418,200.00	
		Sistema de control de emisiones Depurador húmedo de gases ²²	Flujo de aire de 35 metros cúbicos a condiciones estándares por segundo (m³/s), Temperatura del flujo de gas de entrada hasta 370 grados Celsius (°C), apropiado para la remoción de partículas sin límite de concentración de entrada y para la absorción de gases	\$1,097,497.65	\$19,907,948.81 ²³	
		SMCE ²⁴	Sistema de monitoreo continuo de emisiones que incluye, sistema de adquisición de datos, sistema de interfaz de datos, analizador de gases, temperatura, presión, flujo de gas	\$300,000.00	\$5,441,820.00	
		Análisis de laboratorio (Cada 30 días ²⁵)	Monitoreo de emisiones de PM, CO, NO _x , SO ₂ , Perfil de velocidad, Informe de calibración de los equipos en sitio, hojas de campo firmadas por el usuario, Informe completo de resultados y acreditación ante la EMA	-	\$30,600.00 ²⁶	
			Costo unitario			\$79,798,568.81
		Costo en 89 generadores de vapor			\$7,102,072,624.16	

²² Hoja de datos, Tecnología de control de la contaminación del aire EPA-452/F-03-012 (<https://www3.epa.gov/ttnca1/dir2/fimpings.pdf>)

²³ Costo estimado de la Tabla 1. Costo proyectado del depurador húmedo al año 2017 (En el presente documento)

²⁴ <https://spanish.alibaba.com/product-detail/cems-continuous-emission-monitoring-system-105456132.html?spm=a2700.8698675.29.50.291df7a118lrVX>

²⁵ El análisis de laboratorio se realizará cada 30 días, con el objetivo de conocer el estado de las emisiones contaminantes en un período de tiempo representativo, toda vez que el período de operación de los generadores de vapor de los sujetos regulados es generalmente de 6 meses

²⁶ El costo unitario de los análisis es de \$ 5, 100 pesos; por lo que este costo se multiplicó por los 6 meses del período de operación de los ingenios azucareros (\$ 5,100 * 6 = \$ 30,600)



Tabla 7. Costos de implementación de medidas de cumplimiento de la Norma en generadores de vapor >200 GJ/h en el Escenario 2.

Capacidad Generadores de vapor (GJ/h)	No. de generadores en la industria	Implementación de medidas de cumplimiento	Aspectos técnicos	Costo USD	Costo MX\$	
>200	32	Generador de vapor ²⁷	Generador de vapor para biomasa, con capacidad térmica nominal >200 GJ/h	\$5,000,000.00	\$90,697,000.00	
		Sistema de control de emisiones Precipitador electrostático (WESP²⁸)	Generadores de vapor cpn capacidad térmica nominal superior a los 200 GJ/h, reducción de Partículas, emisiones contaminantes, tecnología WESP - Wet Electrostatic Precipitator (Precipitador Electrostático en húmedo), eficiencia mayor a 99%	\$5,500,000.00	\$99,766,700.00	
		SMCE ²⁹	Sistema de monitoreo continuo de emisiones que incluye, sistema de adquisición de datos, sistema de interfaz de datos, analizador de gases, temperatura, presión, flujo de gas	\$300,000.00	\$5,441,820.00	
		Análisis de laboratorio (Cada 30 días ³⁰)	Monitoreo de emisiones de PM, CO, NO _x , SO ₂ , Perfil de velocidad, Informe de calibración de los equipos en sitio, hojas de campo firmadas por el usuario, Informe completo de resultados y acreditación ante la EMA	-	\$30,600.00 ³¹	
			Costo unitario			\$195,936,120.00
		Costo en 32 generadores de vapor			\$6,269,955,840.00	

²⁷ <https://spanish.alibaba.com/product-detail/biomass-boiler-475292357.html?spm=a2700.8698675.29.252.j2YN8M>

²⁸ Eisenmann Corporation, Sugar Industry 8th Meeting, México, 2017

²⁹ <https://spanish.alibaba.com/product-detail/cems-continuous-emission-monitoring-system-105456132.html?spm=a2700.8698675.29.50.291df7a118lrVX>

³⁰ El análisis de laboratorio se realizará cada 30 días, con el objetivo de conocer el estado de las emisiones contaminantes en un período de tiempo representativo, toda vez que el período de operación de los generadores de vapor de los sujetos regulados es generalmente de 6 meses

³¹ El costo unitario de los análisis es de \$ 5, 100 pesos; por lo que este costo se multiplicó por los 6 meses del período de operación de los ingenios azucareros (\$ 5,100 * 6 = \$ 30,600)



Para el posible Escenario 2, el costo total de sustituir la totalidad de los generadores de vapor existentes en la agroindustria por generadores de vapor nuevos, así como la implementación de los Sistemas de control de emisiones y SMCE, según corresponda, se obtuvo mediante la suma de los costos totales de las tablas 5, 6 y 7 para cada categoría, expresado de la siguiente forma:

Costo Total Escenario 2 = Costo total Tabla 5 + Costo total Tabla 6 + Costo total Tabla 7

$$\begin{array}{r}
 \$1,078,143,223.50 \\
 + \quad \$7,102,072,624.16 \\
 \hline
 \$6,269,955,840.00 \\
 \hline
 \mathbf{\$14,450,171,687.66}
 \end{array}$$

El costo total del Escenario 2, asciende a:

\$ 14, 450, 171, 687.66 pesos.

