

# ANÁLISIS DE OPORTUNIDADES PARA LA CAPTURA DE CO<sub>2</sub> ALMACÉN Y USO DEL CO<sub>2</sub> (CCS o CCUS) PARA UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA NACIONAL

Serrano Cabarcas, Gianmarco (1), Pérez Romero, Juventino (2), Marmolejo Correa, Danahe (3)

1 [Ingeniería en Energía, Universidad Autónoma de Bucaramanga] | gserrano47@unab.edu.co

2 [Ingeniería Química Petrolera, Universidad Popular de Chontalpa] | juve.84848@gmail.com

3 [Departamento de Ingeniería Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato] | d.marmolejocorrea@ugto.mx

## Resumen

La generación de energía eléctrica en México se basa en combustibles fósiles. Siendo los humos resultantes de la quema de estos combustibles, grandes emisores de dióxido de carbono. Este artículo se enmarca en la preocupación por reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, es por eso que la captura, almacenamiento y uso de este gas de efecto invernadero se convierte en un método necesario ya que permitiría al sector energético seguir empleando combustibles fósiles durante los próximos años, sin contribuir al calentamiento global del planeta. De entre las distintas tecnologías de captura existentes (post-combustión, pre-combustión y oxi-combustión), es la de post-combustión por absorción química mediante monoetanolamina (MEA) la que constituye la mejor alternativa para centrales termoeléctricas existentes, puesto que permite ser instalada sin excesivas modificaciones de la central. Encontrando valores de recuperación de CO<sub>2</sub> superiores al 80%, siendo una alternativa viable para mitigar en buena medida la liberación de dióxido de carbono.

## Abstract

The generation of electricity in Mexico is based on fossil fuels. Being the smoke from the burning of these fuels, large emitters of carbon dioxide. This article is part of the concern to reduce CO<sub>2</sub> emissions, it's why the capture, storage and use of this greenhouse gas becomes a necessary method since it would allow the energy sector continue to use fossil fuels for years to come without contributing to global warming. Among the different technologies existing catch (post-combustion, pre-combustion and oxy-combustion), is the post-combustion chemical absorption with monoethanolamine (MEA) which is the best alternative for existing power plants, since it allows be installed without excessive plant modifications. Finding CO<sub>2</sub> recovery values greater than 80%, still a viable to mitigate the release largely carbon dioxide alternative.

## Palabras Clave

Gases de Efecto Invernadero (GEI); Termoeléctricas; Post-Combustión; Absorción Química; Monoetanolamina (MEA)

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico e industrial de nuestra sociedad ha ido acompañado de un notable aumento de consumo de energía. A semejanza de muchos países en desarrollo y desarrollados, México ha basado su modelo energético en el uso de combustibles fósiles, tales como el carbón, el petróleo y el gas natural.

El consumo de combustibles fósiles es la principal fuente de Gases de Efecto Invernadero (GEI). A nivel mundial, el sector energético contribuye en un 64% en las emisiones de GEI, y en un 84% las emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente. [1]

México se encuentra actualmente en el lugar número 86 a nivel mundial con alrededor de casi cuatro toneladas métricas per cápita, pero a diferencia de otros países esta cifra ha aumentado en los últimos años y el país no logra reducirlos, según datos entregados por el Banco Mundial.

La mayor parte de escenarios prevén que el suministro de energía primaria seguirá siendo dominado por los combustibles fósiles. En este contexto la inclusión de técnicas o métodos que capturen y den uso al CO<sub>2</sub> proveniente de las centrales termoeléctricas observan por un buen porvenir.

En este artículo se presentan los resultados de una simulación del método de captura de CO<sub>2</sub> por post-combustión mediante la absorción química en el simulador ASPEN PLUS V8.4, el cual permite diseñar o modelar la reacción de absorción por aminas.

### El CO<sub>2</sub> en Centrales Térmicas en México

México cuenta actualmente con 215 centrales generadoras de energía, lo que equivale a 54,33 GW, donde están incluidos aquellos productores independientes que por ley están autorizados para generarla. [2]

La capacidad instalada se integra con todas las formas de generación; siendo las termoeléctricas la de mayor representación con un 50.022% de la generación, en tanto las hidroeléctricas el 22.17%, seguidas de las centrales nucleares que generan

el 2.74% del total de la electricidad en el país, con menor capacidad están las geotérmicas con 1.92% de generación total y las turbinas eólicas con sólo 0.171%. Existe para la red mexicana un caso especial y son los productores independientes que generan un alto porcentaje en relación con las otras formas de generación, ya que aportan el 22.98% de la capacidad instalada, según la misma CFE. [2]

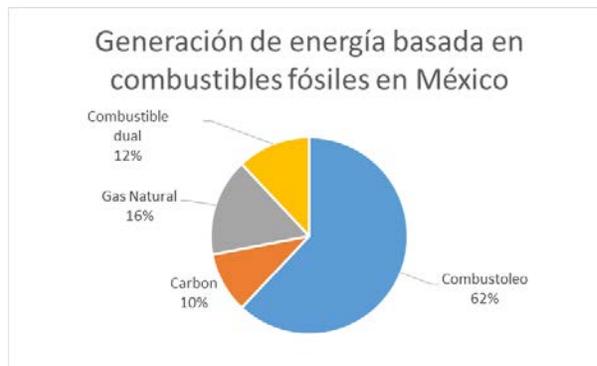


IMAGEN 1: Composición de la capacidad de generación basada en combustibles fósiles en México.

La Imagen 1 muestra la distribución porcentual de los combustibles fósiles usados en las distintas termoelectricas existentes en México para generar energía. En estas aparecen las centrales a vapor, turbo gas, ciclo combinado entre otras.

### Captura, Uso y Almacenamiento de CO<sub>2</sub>

#### Captura de CO<sub>2</sub>

Para capturar el dióxido de carbono primero este debe separarse de los demás gases resultantes de la combustión. Luego de esto se comprime y se purifica para facilitar su transporte y almacenamiento.

Dependiendo de la aplicación en el proceso, existen tres enfoques que permiten capturar el CO<sub>2</sub> resultante de la combustión de las centrales de generación eléctrica: pre-combustión, post-combustión y oxicomustión. Cada una de ellas con una serie de tecnologías distintas que permiten la captura del dióxido de carbono. En la Tabla 1 se menciona el estado de avance y la cantidad de CO<sub>2</sub> que pueden capturar.

Tabla 1. Estado actual de los sistemas de captura de CO<sub>2</sub>

SISTEMA	AVANCE	CO <sub>2</sub> CAPTURADO
Pre-Combustión	Uso comercial en otras aplicaciones relacionadas	80-90%
Post-Combustión		
Oxi-Combustión	Fase de demostración	90%

En los sistemas de pre-combustión, el combustible primario se transforma primero en gas mediante su calentamiento con vapor y aire u oxígeno. Esta transformación produce un gas compuesto esencialmente de hidrógeno y de CO<sub>2</sub>, que pueden ser fácilmente separados. El hidrógeno puede entonces utilizarse para la producción de energía o calefacción. [3]

En los sistemas de post-combustión, los gases resultantes de la combustión del carburante en el aire (gases de combustión) tan sólo contienen pequeñas fracciones de CO<sub>2</sub>. Éste se captura por la inyección de los gases de combustión en un líquido que absorbe únicamente el CO<sub>2</sub> (como un solvente orgánico enfriado o comprimido). El CO<sub>2</sub> casi puro puede entonces ser liberado del líquido, al calentarlo o liberar la presión. Ya se están utilizando similares procesos de separación a gran escala para eliminar el CO<sub>2</sub> del gas natural [3]

La oxicomcombustión utiliza el oxígeno puro para quemar el combustible en lugar de utilizar el aire, que únicamente contiene 20% del oxígeno y mucho nitrógeno. Su resultante es un gas mixto compuesto esencialmente de vapor de agua y de CO<sub>2</sub>. El vapor de agua puede separarse fácilmente del CO<sub>2</sub> mediante el enfriamiento y la comprensión del flujo de gas. Sin embargo, al requerir una separación previa del oxígeno y del aire, este proceso resulta bastante complicado. [3]

#### Almacenamiento y Uso del CO<sub>2</sub>

- Almacenamiento geológico

Corresponde al confinamiento del CO<sub>2</sub> en una formación geológica idónea, cuya estructura favorece su acumulación de forma estable y segura en el tiempo. Las formaciones geológicas idóneas para el almacenamiento de CO<sub>2</sub> son las

sedimentarias, destacando aquellas que han retenido petróleo, gas natural, agua salada y capas de carbón. [3]

La inyección de CO<sub>2</sub> es una técnica aplicada en la producción de petróleo. Desde la década de los 70 se aplica dicha tecnología (CO<sub>2</sub>-EOR) para mejorar la recuperación de petróleo (denominada tercera fase de producción). [3]

- Almacenamiento en océanos

Este método consiste en inyectar el CO<sub>2</sub> captado directamente en los fondos oceánicos (a más de mil metros de profundidad). Ello puede lograrse mediante el transporte de CO<sub>2</sub> por gasoductos o buques a un lugar de almacenamiento oceánico, donde se inyecta en la columna de agua del océano o en los fondos marinos. Posteriormente, el CO<sub>2</sub> disuelto y disperso se convertiría en parte del ciclo global del carbono. El almacenamiento oceánico aún no se ha desplegado ni demostrado a escala experimental y sigue en la fase de investigación. [3]

Debido a que el dióxido de carbono es soluble en el agua, se producen intercambios naturales de CO<sub>2</sub> entre la atmósfera y las aguas en la superficie oceánica hasta que se alcanza un equilibrio. [3]

## MATERIALES Y MÉTODOS

Teniendo en cuenta que se requiere el análisis de tecnologías que capturen y almacenen el CO<sub>2</sub>, para este trabajo se realizó un breve estudio del método de absorción química por aminas. Esto debido a ser una de las tecnologías con más alto desarrollo actualmente y con mayor data para estudiar y aplicar.

Se realizó una simulación de una central térmica típica en el simulador ASPEN PLUS v.8.4, con el fin de determinar las cantidades resultantes de CO<sub>2</sub> luego de la combustión, y a partir de este se le hizo la adición del sistema de captura del dióxido de carbono por post combustión con Monoetanolamina (MEA).

### Simulación

Planta Termoeléctrica

Para la aplicación de la captura de CO<sub>2</sub> se procede a realizar el diseño de una central térmica, se diseñó una turbina de 100 MW de potencia que usa gas natural como combustible.

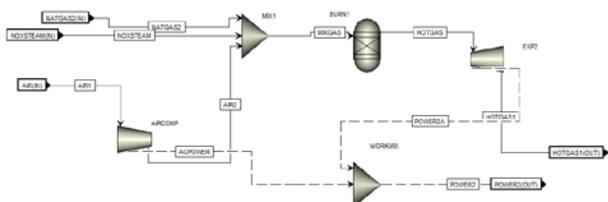


IMAGEN 2: Diseño de la planta termoeléctrica de 100 MW.

La Imagen 2 muestra el diseño del ciclo de potencia de gas empleado para la simulación. Para utilizar el gas resultante de la combustión como entrada al proceso de absorción de CO<sub>2</sub> por aminas. Se tiene por resultado de la simulación una liberación de 688,01 kg/h de dióxido de carbono, con una entrada de aire y combustible 4571,6 kmol/h en una relación de 1 a 4.

### Absorción de CO<sub>2</sub> por Aminas

El proceso consiste en dos columnas, una de absorción, donde el CO<sub>2</sub> proveniente de los gases de combustión son atrapados por una solución de aminas, y otra de regeneración donde son recuperadas las aminas y son separadas del CO<sub>2</sub>. Este dióxido de carbono luego pasa a ser comprimido y deshidratado para su almacenamiento.

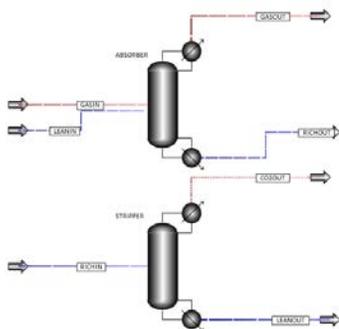


IMAGEN 3: Diseño de las columnas de separación de CO<sub>2</sub> por post combustión mediante absorción química.

Para la simulación Se utilizó como solvente monoetanolamina (MEA) en solución acuosa al 30% en peso se utilizó el modelo termodinámico ELECRTL y para la reacción química se utilizó el CHEMISTRY ID=MEA el cual se aplicó en el absorbedor y separador únicamente. La Tabla 2 muestra los datos de operación del sistema de captura del CO<sub>2</sub> que se usaron para la simulación.

Tabla 2. Datos de operación del sistema de captura de CO<sub>2</sub>

Flujo de Gases	500 kg/h
Flujo de CO <sub>2</sub>	100 kg/h
T de gases	40 °C
Presión de gases	1,5 bar
T de amina (MEA)	40 °C
N° Etapas Absorbedor	18
N° Etapas Separador	40
Presión descarga	2 bar

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros que se tuvieron en cuenta para el diseño del sistema de absorción de CO<sub>2</sub> son: el flujo del solvente, el calor necesario en el sobre calentador y el número de etapas en las columnas.

A continuación en la Tabla 3 se puede apreciar los resultados de la liberación de dióxido de carbono al ambiente, uno sin el sistema de captura y otro con el sistema.

Tabla 3. Comparación entre planta térmica sin sistema de captura y con sistema de captura de CO<sub>2</sub>.

	CO <sub>2</sub> LIBERADO		CO <sub>2</sub> CAPTURADO
Sin captura de CO <sub>2</sub>	688,01 kg/h	100%	0%
Con captura de CO <sub>2</sub>	133,53 kg/h	19,4%	80,60%

Se encuentra que el sistema de absorción por aminas, durante la simulación logro capturar el 80,60% del dióxido de carbono proveniente de la central térmica.

### Comparación de resultados con otros estudios similares

De la literatura revisada, se encuentran varios artículos donde se enfocan al uso de MEA para la absorción de dióxido de carbono. Viendo una relación entre mayor sea la potencia de la planta, mayor captación del CO<sub>2</sub> visibles en la Tabla 4.

Tabla 4. Comparación de resultados con otros estudios similares

Potencia (MW)	CO <sub>2</sub> Recuperado	Combustible	Solvente
500	90%	Gas natural	MEA (Yagi et al, 1992)
450	96%	Carbón	MEA (Marion et al, 2001)
350	90%	Carbón	MEA IIE (2010)
300	88%	Carbón	MEA (Mariz et al, 1999)
100	81%	Carbón	MEA UG

En México existen alrededor de 23 termoeléctricas de gran importancia, lo que significa gran generación de CO<sub>2</sub>. Esta simulación no refleja ninguna de estas, mas sin embargo si hace uso de los ciclos de potencia que manejan estas.

Para el transporte del CO<sub>2</sub>, por la localización de las plantas térmicas, lo más conveniente es el uso de gasoductos. Aunque en las regiones costeras como Tabasco o Campeche, la posibilidad de transporte marítimo se puede contemplar como métodos muy costosos, en comparación al uso de gasoductos, por lo cual lo hace muy reducido su utilidad a gran escala

El almacenamiento del dióxido de carbono en México no cuenta actualmente con yacimientos de petróleo o gas totalmente agotados.

Aunque mediante el almacenamiento en acuíferos salinos se han podido delimitar zonas donde es factible encontrar condiciones para este fin, como lo son: Baja California, Sonora-Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Central, Burgos, Tampico-Misantla, Veracruz, Sureste, Yucatán y Chiapas [5].

## CONCLUSIONES

En la actualidad existen distintas formas para capturar el CO<sub>2</sub>, siendo la post-combustión el método más viable para su aplicación, debido al gran avance y desarrollo de esas tecnologías.

La aplicación del proceso de captura del CO<sub>2</sub> por post-combustión mediante absorción por aminas en una termoeléctrica, es una gran alternativa para reducir las emisiones de GEI.

Se concluye del análisis de oportunidades que México tiene gran potencial para la captura y transporte por gasoductos de dióxido de carbono, sin embargo, actualmente no es viable el almacenamiento de CO<sub>2</sub> de forma geológica, aun los pozos petroleros tienen años de utilidad, se puede considerar el almacenamiento en acuíferos salinos.

## AGRADECIMIENTOS

Al concluir la estancia de Investigación Científica de la Universidad de Guanajuato, expreso mi más afectuoso y humilde agradecimiento a la profesora Dra. Danahe Marmolejo, por la oportunidad de trabajar y desarrollar un proyecto de investigación bajo su tutela y más importante aún, por contribuir en mi formación profesional y humana.

## REFERENCIAS

- [1] AIE, World Energy Outlook, 2009
- [2] Principales Plantas de Energía en México, Explorando México, 2012.  
Disponble en línea: <http://www.explorandomexico.com.mx/about-mexico/6/106/>
- [3] Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary (2005) IPCC <http://www.greenfacts.org/es/captura-almacenamiento-co2/1-3/3-capture-co2.htm#0p0>
- [4] González, D. A., Franco, N. J., Peralta M. M. et al. (2010). Estudio técnico del proceso de captura de CO<sub>2</sub> con monoetanolamina para una planta termoeléctrica. Artículos técnicos. Instituto de Investigaciones Científicas.
- [5] Beltrán, L., Contreras, C., Valenzuela, J., Dávila, M., Arévalo, V. Jiménez, O. et al. (2012). Atlas de Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> México.
- [6] Secretaría de Energía. (2014). Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México.