

Análisis de Oportunidades para la Captura, Almacén y Uso del CO₂ (CCS o CCUS) para una Central Termoeléctrica Nacional

Daniela Olvera Pérez (1), Danahe Marmolejo Correa (2)

1 [Lic. en Ingeniería Ambiental, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: d.olvera.perez@ugto.mx

2 [Departamento de Ingeniería Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: d.marmolejocorrea@ugto.mx

Resumen

Las emisiones de gases de efecto invernadero han incrementado considerablemente en los últimos tiempos, considerando a las termoeléctricas como de las principales fuentes de los GEI, en especial de CO₂. Una forma de mitigar esta problemática es mediante la implementación de técnicas como CCUS, por tal razón, se llevó a cabo la simulación del proceso de captura de CO₂ con ayuda del programa APEN Plus, obteniendo un 16.82% de captura con una pureza de 70%. Posterior a la captura se necesita buscar un almacén para el compuesto, en México existe la posibilidad de disponerlo en acuíferos salinos o aplicarlo para la Recuperación Mejorada de Petróleo (EOR), siendo ésta última una contribución importante, pues los combustibles fósiles son la base del desarrollo de la industria y de la economía en el país.

Abstract

Emissions of greenhouse gases have increased significantly in recent times, with thermoelectric plants as the main source of GHG, especially CO₂. One way to mitigate this problem is by implementing techniques like CCUS, for that reason, the simulation of a CO₂ capture process was carried out using ASPEN Plus, obtaining a 16.82% capture with a purity of 70%. After the capture process, a storage needs to be found, in Mexico there is a possibility to arrange it in saline aquifers or to apply it in Enhanced Oil Recovery (EOR) processes, the latter being an important contribution as fossil fuels are the basis of development of industry and the economy in the country.

Palabras Clave

GEI; ASPEN Plus; Absorción; Monoetanolamina; Enhanced Oil Recovery

INTRODUCCIÓN

El CO₂ es un gas de efecto invernadero (GEI) que se encuentra naturalmente en la atmósfera, sin embargo las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, cambio de uso de suelo, deforestación, entre otros, aumentan significativamente su concentración contribuyendo al calentamiento global [1].

La quema de combustibles fósiles en las plantas generadoras de energía emite cantidades significantes de CO₂; aproximadamente un tercera parte de la emisiones totales del gas [2].

Para contrarrestar los efectos de los GEI se han buscado varias soluciones, una de ellas es la captura de carbono (Carbon Capture and Storage, Carbon Capture, Use and Storage (CCS o CCUS)), la cual es un conjunto de aplicaciones tecnológicas en las que se captura el CO₂ antes de que se esparza por la atmósfera, se almacena en el subsuelo de manera segura y permanente para reducir la abundancia de carbono en la biósfera [3]. Dicha tecnología debe seguir una secuencia de procesos (Imagen 1).

La captura consiste en la separación del CO₂ del resto de los gases que resultan de un proceso industrial. Puede lograrse por diferentes técnicas: Precombustión, Oxidación y Postcombustión [4]. La última es la más utilizada a nivel industrial; el CO₂ es separado, mediante un solvente de amina, tal y como se encuentra en los gases de escape [5], posteriormente se licua o comprime a condiciones supercríticas para finalmente transportarlo y almacenarlo.

Actualmente, para conocer la factibilidad del proceso de captura se cuenta con herramientas de simulación que ayudan a predecir el funcionamiento de la planta. De los programas más empleados en cuestiones de simulación se encuentra ASPEN (Advanced System for Process Engineering), este software incluye programas dentro del marco de la simulación de procesos químicos.

El CO₂ en México

El sector de la energía prevalece como la principal fuente fija de emisiones de GEI en México. En nuestro país la producción de combustibles fósiles y su uso generan poco más de 60% del total de emisiones de GEI y 75% de las emisiones de CO₂, asimismo, México contribuye con el 1.67% del total de las emisiones anuales de gases de efecto invernadero a nivel mundial, ocupando el undécimo lugar entre los países con mayores emisiones [1].

México ha comprometido una reducción del 20% de sus emisiones de GEI para el año 2020 y de 50% para el año 2050, de éstas el 19% de la mitigación debe provenir de la Captura y Almacenamiento de CO₂ (CCS) [7].

Como se ha mencionado, la generación de energía eléctrica es la principal fuente estacionaria de emisiones de CO₂ en el mundo, lo que convierte a ésta industria en un oportunidad importante para la aplicación de la tecnología de CCUS, por lo tanto el presente trabajo tiene como objetivos realizar un estudio bibliográfico del estado del arte de CCUS en México, estudiar posibles configuraciones para una planta de captura de CO₂ en una termoeléctrica y simular los equipos más relevantes de ésta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Captura del CO₂

Para realizar la simulación del proceso de captura de CO₂, se empleó el programa Aspen Plus.

Como caso de estudio se tomó una termoeléctrica nacional, en la cual se emiten 1400 t/h de gases de combustión. Se aplicó la técnica de postcombustión mediante aminas, empleando monoetanolamina en solución acuosa al 30% en peso (MEA, NH₂C₂H₄OH). La simulación del proceso se llevó a cabo para un solo tren con capacidad de 280 t/h, por lo que para tratar todas emisiones se necesitarán 5 trenes.

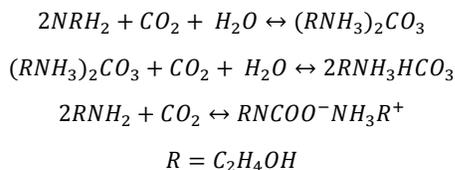
La composición del flujo del gas se muestra en la tabla 1. Es necesario reducir previamente, mediante desulfuración, el contenido de NO_x y SO_x, para evitar la degradación de la amina [5]. En este trabajo se ha considerado que los gases ya pasaron por un pretratamiento.

Tabla 1: Composición de los gases de combustión

Gas	Fración mol
CO ₂	0.129
H ₂ O	0.2
O ₂	0.029
N ₂	0.632
Ar	0.008
SO _x	0.001
NO _x	0.001

La configuración de la planta que se estudió fue considerando la presencia de dos columnas: Un absorbedor y un stripper. El primero consiste en una unidad donde el flujo de gas asciende y la amina baja. Ambas fases se ponen en contacto con ayuda de empaques.

Las reacciones principales que ocurren en esta etapa son las siguientes:



Como se puede observar, se requieren 2 moles de MEA para capturar 1 mol de CO₂ [8].

La separación del CO₂ y de la amina, se hace en una columna empacada (stripper), con un reboiler

en el fondo para suministrar calor y un condensador en la parte superior para proporcionar una refrigeración [9].

El proceso de la planta se observa en la imagen 2. Se analizaron diferentes parámetros para su configuración con el fin de encontrar las mejores condiciones de operación.

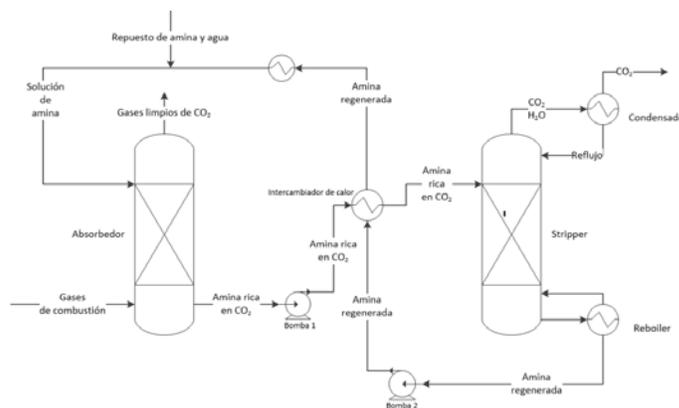


IMAGEN 2: Proceso de captura de CO₂

Transporte

El CO₂ captado debe ser transportado. Se examinaron los principales métodos para efectuar dicho transporte, analizando las oportunidades que se pueden desarrollar en México. Se consideraron los siguientes medios de transporte [10]:

- Gasoductos
- Buques
- Pipas, camiones, vagones

Almacenamiento

Para secuestrar el CO₂, se deben buscar sitios adecuados para asegurar el almacén. Se buscaron los diferentes tipos de almacenes que se pueden encontrar en México [1], tomando los siguientes:



IMAGEN 1: Proceso de CCUS [3]

- Yacimientos de petróleo y gas agotados:
- Acuíferos salinos:
- Mantos de carbón
- Recuperación mejorada de hidrocarburos (EOR, Enhanced Oil Recovery):

Monitoreo

En la selección de sitios geológicos para almacenamiento se debe garantizar que los lugares estén libres de riesgos geológicos que favorezcan su escape. Una vez escogido el sitio, toda el área deberá someterse de forma permanente a campañas rigurosas de monitoreo y verificación sobre la posible fuga de CO₂ a la superficie [1].

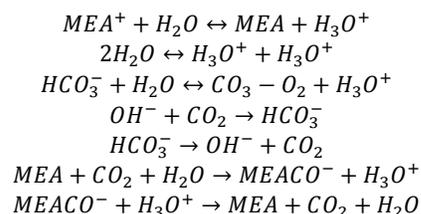
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Captura del CO₂

En México existen 23 termoeléctricas de mayor importancia, lo que indica gran cantidad de fuentes antropogénicas de CO₂.

Con el programa ASPEN Plus se realizó la simulación de una planta de captura de CO₂, suponiendo la entrada de gases de una termoeléctrica,

Al comenzar la simulación, fue necesario agregar la reacción química utilizando el CHEMISTRY ID=MEA para observar el equilibrio químico mediante las reacciones iónicas, obteniendo lo siguiente:



Se utilizó el modelo termodinámico ELECNRTL, el cual se aplica para la simulación de absorción. Las especificaciones de operación que se manejaron en la simulación se muestran en la tabla 2.

Los datos empleados para conocer la cantidad de solución de MEA se muestran en la tabla 3. Como se sabe las reacciones químicas nunca se dan al 100%, por esta razón es necesario un exceso de MEA [5].

Se logró la convergencia del sistema, sin embargo el porcentaje de captura fue mínimo, ya que se obtuvo un 16.82% y un porcentaje de pureza de 82.31%. En la tabla 4 se muestra un resumen del CO₂ recuperado.

Tabla 2: Especificaciones de operación

Temperatura de los gases de combustión	40 °C
Presión de los gases de combustión	1.5 bar
Flujo de entrada total	280 t/h
Flujo de entrada CO ₂	56.2 t/h
Temperatura de Solución de amina (MEA)	40 °C
Presión de entrada de Solución de amina (MEA)	1.1 bar
Flujo de entrada de Solución de amina (30% en peso)	819.9 t/h
Número de etapas en el absorbedor	18
Presión en el absorbedor (etapa superior)	1.1 bar
Relación de presión (Bomba 1)	2.9
Intercambio de energía (Intercambiador)	14288334.32 cal/s
Número de etapas en el stripper	40
Relación de reflujo (mol)	13
Energía en el reboiler	5x10 ⁷ cal/s
Presión en el stripper (etapa superior)	2 bar
Pureza molar (Especificaciones de diseño en stripper)	0.7
Presión de descarga (Bomba 2)	2 bar

Tabla 3: Solución de MEA

CO ₂ kmol/h por absorber	MEA necesaria kmol/h	% exceso	MEA en exceso kmol/h	MEA t/h	Flujo de MEA (30% p/p)
1276.717	2553.434	57,5	4021,66	245,96	819,9

Tabla 4: Recuperación de CO₂ por tren

Flujo de gases (t/h)	Flujo de CO ₂ (t/h)	CO ₂ recuperado (t/h)	Pureza de CO ₂ % mol	Eficiencia de recuperación %
280	56.2	9.451	70	16.82

Por tanto, la planta que se simuló no cuenta con los requerimientos necesarios para considerarse factible. Se espera optimizar el porcentaje de recuperación en trabajos posteriores, además de hacer estudios sobre eficiencias energéticas.

Almacenamiento y transporte

Yacimientos de petróleo y gas agotados: En México este tipo de almacenes no están disponibles, pues antes de considerarse agotados, tienen la capacidad de ser explotados mediante técnicas como EOR.

Acuíferos salinos: Se han delimitado zonas donde es factible encontrar acuíferos salinos con potencial de almacenar CO₂, éstas son: Baja California, Sonora-Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Central, Burgos, Tampico-Misantla, Veracruz, Sureste, Yucatán y Chiapas [1].

Mantos de carbón: En el país existen principalmente tres regiones carboníferas: Una de ellas está en explotación. Las dos restantes están caracterizadas por cuerpos rocosos y mantos de carbón formando estructuras disectadas y discontinuas. Tales propiedades hacen que sea difícil el almacenamiento de CO₂ [1].

Recuperación mejorada de hidrocarburos (EOR, Enhanced Oil Recovery): El CO₂ actúa como un fluido presurizante y hace posible obtener remanentes de crudo [11]. En México existe la posibilidad de aplicarlo en algunos activos.

En la tabla 5 se han clasificado algunas de las principales termoeléctricas del país según el estado donde se sitúan, en relación a esto, se ha buscado los almacenes disponibles en dichas zonas

La manera más conveniente de transporte es de forma continua mediante gasoductos. El CO₂ es transportado a presiones superiores de 8 MPa (estado supercrítico) o como gas comprimido y licuado a -20 °C y 2 MPa [12]. El empleo de buques es importante para aplicar EOR en pozos ubicados en las regiones marinas de Campeche y Tabasco, es transportado a 1.4~1.7 MPa y -30 °C, la capacidad de estos es de 850-1400 toneladas [13]. Finalmente, mediante pipas, camiones y vagones, el CO₂ es transportado a -20°C y 2 MPa. Sin embargo, estos métodos son costosos en comparación con gasoductos y buques, salvo a escalas reducidas, por lo cual es poco probable que sea de utilidad a gran escala.

Monitoreo

Para llevar un buen monitoreo, primeramente, se deben elegir los sitios de almacén, en México se elimina toda la vertiente occidental en donde se encuentra la zona de subducción del Pacífico y la parte central de la República Mexicana en donde se encuentra la Faja Neovolcánica [1].

El área elegida deberá someterse de forma permanente a monitoreo que abarque las áreas de subsuelo profundas, someras y atmosférica, para la verificación sobre la posible fuga de CO₂ [14].

Campeche y Tabasco son los estados con mayor producción de petróleo, aunque en estas regiones no existen de las principales termoeléctricas, el CO₂ puede ser capturado de industrias petroleras y petroquímicas de PEMEX, así como de la cementera Apasco, todas ubicadas en Tabasco.

CONCLUSIONES

Se logró realizar un análisis bibliográfico del estado de CCUS en México y se concluye que en el país existen múltiples fuentes antropogénicas de CO₂, lo que indica que el proceso de CCUS es altamente aplicable en el territorio. Además, México tiene gran potencial para la aplicación de EOR, sería importante que se comience la aplicación de esta tecnología ya que puede tener

una contribución importante, pues los combustibles fósiles son la base del desarrollo de la industria y la economía.

La simulación de la planta para la captura de gas no fue la adecuada, pues sólo se recuperó el 16.82% de CO₂, con una pureza del 70%. Una razón pudo ser que los parámetros escogidos para cada equipo no fueron suficientemente adecuados en el proceso de absorción.

El CO₂ liberado a la atmósfera puede ser utilizado como insumo en diferentes procesos generando así ganancias ambientales, sociales y económicas.

REFERENCIAS

- [1] Beltrán, L., Contreras, C, Valenzuela, J., Dávila, M., Arévalo, V. Jiménez, O. et al. (2012). Atlas de Almacenamiento Geológico de CO₂ México.
- [2] Alabdulkarem, A., Hwang, Y. & Radermacher, R. (2015). Multi-functional heat pumps integration in power plants for CO₂ capture and sequestration. Elsevier, 147, 258-268.
- [3] Secretaría de Energía. (2014). Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México.
- [4] Hetland, J. & Anantharaman, R. (2009). Carbon capture and storage (CCS) options for co-production of electricity and synthetic fuels from indigenous coal in an Indian context. Elsevier, 13, 56-63.
- [5] González, D. A., Franco, N. J., Peralta M. M. et al. (2010). Estudio técnico del proceso de captura de CO₂ con monoetanolamina para una planta termoeléctrica. Artículos técnicos. Instituto de Investigaciones Científicas.
- [6] AspenTech. Recuperado el 16 de julio de 2015 de: <http://www.aspentech.com/products/aspen-plus.aspx>
- [7] Agencia Internacional de Energía. Energy Technology Perspectives, 2010.
- [8] Sánchez, A. J., Pujol, O. R. & Estrany, C. F. (2006). Planta para la recuperación de dióxido de carbono de los gases de combustión. Recuperado 01 de julio de 2015 de: <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/21/35/a35.pdf>
- [9] Erik, Øi. L. (2007). Aspen HYSYS Simulation of CO₂ Removal by Amine Absorption from a Gas Based Power Plant. SIMS 2007
- [10] Morales, H. & Torres, C. (2008). Tecnologías de captura y secuestro de CO₂. Recuperado el 15 de junio de 2015 de <http://web.ing.puc.cl/power/alumno08/co2capture/Informe%20captura%20y%20secuestro%20de%20CO2.pdf>

Tabla 5: Posibles almacenes de CO₂ en México

Termoeléctrica	Estado	Almacén en Acuífero (Zona de inclusión)	EOR (Activo petrolero)
-Tuxpan -Dos Bocas	Veracruz	Veracruz	-Cinco Presidentes -Aceite Terciario del Golfo -Veracruz
- Tula	Hidalgo		-Aceite Terciario del Golfo
- Presidente Juárez	Baja California	Baja California	
-Altamira -Río Bravo	Tamaulipas	Tampico-Misantia Burgos	-Burgos -Poza Rica-Altamira
-Villa de Reyes	San Luis Potosí	Central	-Altamira
-Puerto Libertad -Guaymas II	Sonora	Sonora-Sinaloa	
-El Encino -Francisco Villa -Samalayuca -Samalayuca II	Chihuahua	Chihuahua	
-Mazatlán II -Topolobampo II	Sinaloa	Sonora-Sinaloa	
-Huinalá -Huinalá II	Nuevo León	Burgos	
-San Lorenzo Potencia	Puebla		-Aceite Terciario del Golfo

- [11] Comisión Nacional de Hidrocarburos. (2012). El Futuro de la Producción de Aceite en México: Recuperación Avanzada y Mejorada. IOR-EOR.
- [12] Coleman, D., Davison, J. Hendriks, C., Kaarstad, O. & Masahiko, J. (s.f.). Transport of CO₂. IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage. 4, 179-194.
- [13] Aspelund, A., MØltnvik, M. J. & Koeijer, G. (2006). Ship Transport of CO₂. Technical Solutions and Analysis of Costs, Energy Utilization, Exergy Efficiency and CO₂ Emissions. Chemical Engineering Research and Design, 84(A9),847-855.
- [14] Secretaría de Energía. (2014). Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México.