



CUCO₂. Aplicación de sistemas híbridos para la captura de CO₂

AIMPLAS (Instituto Tecnológico del Plástico), en la coordinación, junto con ITC (Instituto Tecnológico de la Cerámica), y otras empresas colaboradoras del sector cerámico en Castellón, se han embarcado en un ambicioso proyecto para estudiar la viabilidad de sistemas híbridos de captura de CO₂. El proyecto, financiado por IVACE+i, se llama CUCO₂, y tiene como principal objetivo superar las actuales barreras energéticas de los procesos más tradicionales de captura, ya sea adsorción con aminas, sólidos (VTSA, TSA, VPSA), criogénicos, líquidos iónicos, membranas, etc., mediante la aplicación del concepto de combinación en sistemas híbridos que aprovechen las sinergias de los procesos individuales. No sólo eso, también CUCO₂ pretende ir más allá de un estudio simplemente teórico y fabricar una unidad híbrida piloto completamente funcional que pueda ser testada en las empresas colaboradoras

Adolfo Benedito Borrás¹, Daniela Ramírez Espinosa¹, Javier Vedri Llop² y Ana Mezquita Martí²

¹ AIMPLAS (Instituto Tecnológico del Plástico)

² ITC (Instituto Tecnológico de la Cerámica)

¿ Por qué apostar por un sistema híbrido de captura de CO₂?

Actualmente existen retos muy importantes relacionados con las tecnologías de captura de CO₂, cuyo objetivo primordial debería ser cumplir las exigencias de reducción de emisiones, según las hojas de ruta de 2030 y 2050. Éstas identifican los sistemas de captura y almacenamiento de carbono (CCS) como tecnologías fundamentales. Todos los sistemas de captura actuales presentan sus puntos fuertes y sus puntos débiles. No existe el proceso de captura perfecto, o ideal. Muchos de ellos se adaptan mejor a determinadas corrientes de gases contaminantes, con mayor o menor concentración de CO₂, con mayor o menor presencia de humedad, o incluso contaminantes severos como óxidos de azufre o nitrógeno. Por ejemplo, los sistemas de adsorbentes sólidos sufren de problemas de selectividad, estabilidad y eficiencia en presencia de contaminantes. Problemas similares pueden achacarse a las membranas de separación, incluyendo durabilidad y vida media. Los líquidos iónicos son más estables, pero caros y tremendamente

corrosivos. Resumiendo, como se ha demostrado, si el proceso de captura en sí mismo implica un 70% del coste total del proceso de CCS, significa que las posibilidades de mejora son grandes.

Una de las líneas de desarrollo más interesantes para aumentar la eficiencia de las tecnologías actuales son los procesos híbridos, esto es, la combinación de dos o más tecnologías ya sea en serie o en paralelo. Se considera esta solución como una opción de gran potencial por sus efectos sinérgicos. Los procesos híbridos han demostrado su superioridad no solo en la recuperación de CO₂ y la penalización de energía (OPEX), sino también en la inversión de instalación (CAPEX), así como en el aumento de la eficiencia del proceso, la tasa de captura y la durabilidad (Song et al., Alternative pathways for efficient CO₂ capture by hybrid processes-A review, Renewable & Sust. Energy, 82, 2018, 215-31). Por ejemplo, las membranas son altamente eficientes en corrientes de CO₂ diluido, capaces de aumentar la concentración de CO₂ a más del 25% en un solo paso; sin embargo, para lograr concentraciones de CO₂ mayores del 95%, se requieren múlti-



Pruebas de laboratorio con la unidad de pre-tratamiento de gases en las instalaciones de ITC.

ples pasos y una gran superficie de membrana y energía. Por otro lado, los adsorbentes sólidos son más eficientes (recuperación, tasa) en corrientes con concentraciones intermedias de CO_2 (>25%), aunque existen algunos muy innovadores capaces de trabajar eficientemente en corrientes tan diluidas en CO_2 como las del aire. La integración de las diferentes tecnologías, por tanto, puede dar rendimientos, en definitiva, superiores a los procesos independientes y evitar sus desventajas (sinergia).

De hecho, existen diferentes estudios bibliográficos que apuntan sobre las ventajas de los sistemas híbridos en términos de energía y coste económico final del proceso de captura. El "Membrane Technology and Research" (MTR) y la Universidad de Texas en Austin propusieron un sistema híbrido combinando captura con aminas y procesos de membranas. En este caso, la unidad de membrana enriqueció el CO_2 del 12% al 23% y luego lo alimentó a una unidad de adsorción con aminas. El coste total se redujo ya que la fuerza impulsora de transferencia de masa en el adsorbente aumentó. Otros autores han estado trabajando en esta línea. En 2020, Dong et al. presentaron un concepto que incluía una unidad de membrana y luego un proceso de absorción con MEA al 30% con

una reducción de costos de calor para la regeneración del disolvente (MEA) del orden del 20%. Otros trabajos muestran la combinación de membranas y aminas (Torres F.B, Gutierrez, JP., et al. Journal of Natural Gas Science and Engineering, Volume 94, October 2021, 104082), la cual proporciona la solución más equilibrada en cuanto a OPEX, CAPEX, eficiencia energética del CO_2 , y huella de carbono, reduciendo enormemente las necesidades de superficie en las membranas, con todos los efectos que ello genera.

¿CUÁL ES LA APUESTA DEL PROYECTO CUCO₂?

El proyecto CUCO₂ pretende desarrollar un sistema híbrido simple formado por un sistema de membranas inicial conectado en serie con una unidad de VPSA ("Vacuum and Pressure Swing Adsorption"). El hecho de cambiar los sistemas híbridos más habituales basados en aminas líquidas por un VPSA basado en sorbentes sólidos es por dos motivos fundamentales: reducir la huella de carbono tan elevada de los sistemas de aminas, y ganar en polivalencia, esto es, dependiendo de la composición del gas contaminante, usar unos u otros adsorbentes adaptados a ellos. El sistema puede optimizarse tanto para



Módulo de membrana comercial para separación selectiva de CO²

captura de aire directamente de la atmósfera, hasta corrientes altamente concentradas y enriquecidas en CO₂.

Con todo ello, AIMPLAS e ITC están desarrollando conjuntamente un sistema prototipo capaz de tratar hasta 10 Nm³/h de gas contaminado para obtener una corriente pura de CO₂ basado en la integración de tres elementos fundamentales: unidad de pretratamiento, unidad de membranas, y unidad de VPSA. Los tres elementos, construidos y validados por separado, convergerán en un sistema híbrido portátil y completamente funcional.

Las emisiones de gases de la industria cerámica, concentrada mayoritariamente en la provincia de Castellón, presentan una problemática muy particular. Dichas emisiones se caracterizan por contener compuestos de nitrógeno (NO_x), y elementos ácidos, como azufre, cloro o flúor, vapor de agua, y una muy baja concentración de CO₂ (por debajo del 5%), lo que exige muchísimo de cualquier sistema de captura desde el punto de vista de la eficiencia del proceso.

De manera muy general y básica, cada una de las tres unidades tiene un cometido muy específico y concreto. La unidad de pretratamiento es necesaria para eliminar los contaminantes presentes en la corriente de gases como con los compuestos de flúor, compuestos de cloro, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, compuestos orgánicos volátiles y partículas, que de estar presentes reducen el tiempo de vida útil y la eficiencia del sistema de captura.

La unidad de pretratamiento consta de los siguientes elementos:

- Filtros para la eliminación de partículas.
- Materiales reactivos para el abatimiento de sustancias ácidas como flúor, cloro o azufre.

- Materiales reactivos para la eliminación de COVs.
- Otros materiales reactivos para eliminar los NO_x.
- Un agente desecante para la eliminación de la humedad.

Esta unidad de pretratamiento de gases será diseñada basándose en el conocimiento previo de ITC en sistemas de depuración de gases residuales de la industria cerámica, pero adaptando los tipos y cantidades de reactivos a las necesidades específicas de los equipos de proceso en los que va a ser utilizado (atomizador y horno de cocción de baldosas).

La unidad inicial de membranas consta de 2-6 membranas de fibra hueca de poliimida conectadas en serie que permitirán separar el CO₂ purificado del resto de gases presentes en la corriente mezcla de la industria cerámica, tales como CO, O₂, C₃H₈ y N₂. Otras sustancias altamente perjudiciales para la membrana tales como HCl, HF, NO_x, H₂O y SO₂ serán previamente eliminadas mediante el módulo o unidad de pretratamiento. El módulo de membranas permitirá trabajar con un flujo de gas de hasta 60°C y una presión máxima de 10 bar.

El sistema VPSA desarrollado en AIMPLAS es un sistema completamente modular compuesto por la integración de tres columnas de adsorción de unos 60 cm de altura, que se rellenan con el material adsorbente de alto rendimiento. La capacidad de dichas columnas es de unos 45-50 litros de material. El sistema se ha diseñado de fácil montaje/desmontaje para cambiar en apenas una hora el material adsorbente. La unidad está montada en base a la proliferación de una serie de electroválvulas, medidores de flujo, y sensores de concentración de CO₂ que controlan y monitorizan todo el proceso. El sistema de VPSA se organiza sobre ciclos cerrados de 5 etapas: presurización, purga, vacío a co-corriente, vacío a contra-

corriente, y represurización. Las tres columnas trabajan de manera cooperativa y todos los parámetros de temperatura, presiones, y tiempo de las etapas se pueden configurar y controlar a través de un complejo software propietario desarrollado en exclusiva corriendo a través de un PLC.

El prototipo de VPSA puede ser alimentado de diferentes fuentes. Directamente con aire -captura directa-, con ayuda del compresor, alimentado directamente de una fuente de emisiones y comprimido a 3-7 bares, o de una bala independiente presurizada con un gas "preparado" o sintético. Es decir, prácticamente todas las opciones posibles de alimentación en un prototipo a camino entre planta piloto e industrial.

El sistema está actualmente en fase testeo final, a la espera de poder integrarse con la unidad de membrana y de pretratamiento. En el proyecto CUCO₂, el sistema híbrido completo se optimizará con tres posibles casos de estudio que serán acordados con las empresas colaboradoras: con gases sintéticos de composición similar a los emitidos por las empresas cerámicas (aunque simplificados), con bala comprimida extraída directamente de las fuentes de emisión contaminante de las propias empresas, y el caso más ambicioso, transportando el propio prototipo a las instalaciones de la empresa y conectado a través de una derivación a una de las chimeneas de emisión.

Existen diversos prototipos escala laboratorio de sistemas VPSA, con mayor o menor nivel de comple-



Unidad prototipo de VPSA en las instalaciones de AIMPLAS

jididad, incluso algunas soluciones cerradas comerciales (CARBOGEN de SYSADVANCE®), pero el prototipo CUCO₂ permite trabajar con múltiples variables de control, columnas, un tamaño con fácil escalabilidad, y diferentes tipos de adsorbentes modificados y/o adaptados a diferentes tipos de emisiones. El proyecto CUCO₂ pretende, por tanto, optimizar la eficiencia de los sistemas de captura adaptados al sector cerámico para proporcionarles las mejores soluciones CCS y CCU en el medio y largo plazo. Que no es poco. 🌈