

# Modelado de captura de CO<sub>2</sub> mediante Calcium Looping para la integración de Power-to-Gas en una siderúrgica basada en alto horno

Cristian Barón<sup>1</sup>, Manuel Bailera<sup>1</sup>, Jorge Perpiñán<sup>1</sup>, Pilar Lisbona<sup>1</sup> y Begoña Peña<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigación Energía y CO<sub>2</sub> (ECO2)  
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)  
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.  
Tel. +34-976762707, e-mail: cbaron@unizar.es

## Resumen

En este trabajo se modela una planta de captura de CO<sub>2</sub> mediante Calcium Looping. Posteriormente, se integra en un esquema Power-to-gas de una industria siderúrgica basada en alto horno, que también usa oxí-combustión. Las reducciones en emisiones obtenidas son 1259 kg<sub>CO2</sub>/t<sub>acero</sub>, correspondientes a una reducción del 36%.

## Cuerpo

Hoy en día, la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en la siderurgia se ha convertido en un objetivo estratégico para estas industrias para minimizar los costes asociados a su emisión, y por lo tanto, asegurar la competitividad. La ruta del alto horno es la ruta dominante de producción de acero, así como la más intensiva energéticamente, con consumos específicos y emisiones de 20-30 GJ/t<sub>acero</sub> y 1,8-2,2 t<sub>CO2</sub>/t<sub>acero</sub>, respectivamente. Debido a la naturaleza del proceso, no se pueden abatir todas las emisiones con electrificación, requiriéndose la integración de la captura de carbono. El lavado con aminas se ha estudiado previamente como una posible solución, pero tiene asociados ciertos desafíos relacionados que aún no han sido resueltos, como la degradación de las mismas y su toxicidad, así como la corrosión en los equipos asociada a su uso.

La captura mediante calcium Looping (CaL) presenta ciertas ventajas, tales como una penalización energética menor, versatilidad, adaptabilidad, y el uso de un sorbente muy común, barato, y no tóxico. Hoy en día existen plantas piloto en Europa [1][2] [3], así como en otras partes del mundo, como Taiwan [4], Canadá [5] y EEUU [6].

En este trabajo, se ha modelado en Aspen Plus una planta de Calcium Looping para la captura de CO<sub>2</sub>, a la que se le ha incluido la cinética de las reacciones de calcinación y carbonatación. Adicionalmente, se ha modelado una integración baja en carbono de la

industria siderúrgica basada en alto horno, utilizando el Calcium Looping y la tecnología Power-to-gas (ver Figura 1).

La planta de Calcium Looping capturará el CO<sub>2</sub> del gas de alto horno, el cual será redirigido a la planta de metanación, combinándolo con H<sub>2</sub> para producir gas natural sintético, que se usará en el alto horno en sustitución del carbón convencional. Este H<sub>2</sub> será hidrógeno verde, producido mediante electrólisis usando excedentes de energía renovable. A su vez, el oxígeno derivado de la electrólisis se usaría para realizar oxí-combustión en el alto horno reduciendo el consumo asociado, así como en el convertidor de oxígeno.

Esta integración se evalúa desde un punto de vista tecno-económico. Los resultados muestran grandes reducciones en emisiones (1259 kg/t<sub>CO2</sub>) y en consumo de carbón (447 kg/t<sub>acero</sub>) respecto a una planta convencional (1943 kg<sub>CO2</sub>/t<sub>acero</sub> y 668 kg/t<sub>acero</sub>). El coste de abatimiento asociado es de 357 €/t<sub>CO2</sub>, con un coste de implementación específico de 244 €/t<sub>CO2</sub>. Para acabar, se lleva a cabo un análisis de sensibilidad respecto al pay-back, cubriendo diferentes escenarios en los que se varía el precio de la electricidad y los costes de emisión de CO<sub>2</sub>. Si la electricidad fuera obtenida al coste de la energía solar fotovoltaica (51 €/MWh) o al coste de la eólica (35 €/MWh), la planta sería rentable con unos costes de CO<sub>2</sub> de 408 €/t<sub>CO2</sub> o 312 €/t<sub>CO2</sub>.

## Conclusiones

Para poder reducir las emisiones de la industria siderúrgica, es necesario realizar esfuerzos en investigar las posibilidades de captura de CO<sub>2</sub>. Una posibilidad viable es capturarlo mediante el uso de Calcium Looping (CaL). Se ha modelado en Aspen Plus una planta de CaL, a la que se le ha incluido la cinética de la calcinación y la carbonatación. Posteriormente, se ha simulado una integración baja en carbono, capturando CO<sub>2</sub> con CaL y utilizándolo

para un esquema Power-to-Gas. Adicionalmente, el alto horno opera en oxidación, reduciendo sus consumos. Los resultados obtenidos muestran reducciones en emisiones de 1259 kg/tCO<sub>2</sub> respecto a una planta convencional, con un coste de abatimiento asociado de 357 €/tCO<sub>2</sub>.

## REFERENCIAS

- [1] SÁNCHEZ-BIESMA, A., PANIAGUA, J., DIAZ, L., LORENZO, M., ALVAREZ, J., MARTÍNEZ, D., ARIAS, B., DIEGO, M.E. and ABANADES, J.C. Testing postcombustion CO<sub>2</sub> capture with CaO in a 1.7 MW<sub>t</sub> pilot facility. *Energy Procedia, Elsevier Ltd.* 2013, 1–8 Available from: doi:10.1016/j.egypro.2013.05.078.
- [2] KREMER, J.; GALLOY, A.; STRÖHLE, J. and EPPLE, B. Continuous CO<sub>2</sub> capture in a 1-MW<sub>th</sub> carbonate looping pilot plant, *Chem Eng Technol.* 2013, 36, 1518–1524. Available from: doi:10.1002/ceat.201300084
- [3] DIETER, H., BIDWE, A.R., VARELA-DUELLI, G., CHARITOS, A., HAWTHORNE, C. and SCHEFFKNECHT, G. Development of the calcium looping CO<sub>2</sub> capture technology from lab to pilot scale at IFK, University of Stuttgart, *Fuel.* 2014, 127, 23–37. Available from: doi:10.1016/j.fuel.2014.01.063.
- [4] CHENG, M.H, HUANG, C.,M, LIU, W.H, CHEN, J.Y, CHENG, W., CHEN, T.W., WEN, S., OUYANG, S., SHEN, C.H, and HSU, H.W. Design and experimental investigation of calcium Looping process for 3-kW<sub>th</sub> and 1.9-MW<sub>th</sub> facilities, *Chem Eng Technol.* 2013, 36, 1525–1532. Available from: doi:10.1002/ceat.201300081.
- [5] SYMONDS, R.T, LU, D.Y, HUGHES, R.W., ANTHONY, E.J and MACCHI, A. CO<sub>2</sub> capture from simulated syngas via cyclic carbonation/calcination for a naturally occurring limestone: Pilot-plant testing, *Ind Eng Chem Res.* 2009, 48, 8431–8440. Available from: doi:10.1021/ie900645x.
- [6] WANG, W., RAMKUMAR, S., LI, S., WONG, D., IYER, M., SAKADJIAN, B.B., STATNICK, R.M. and FAN, L.S. Subpilot demonstration of the carbonation-calcination reaction (CCR) process: High-temperature CO<sub>2</sub> and sulfur capture from coal-fired power plants, *Ind Eng Chem Res.* 2010, 49, 5094–5101. Available from: doi:10.1021/ie901509k.

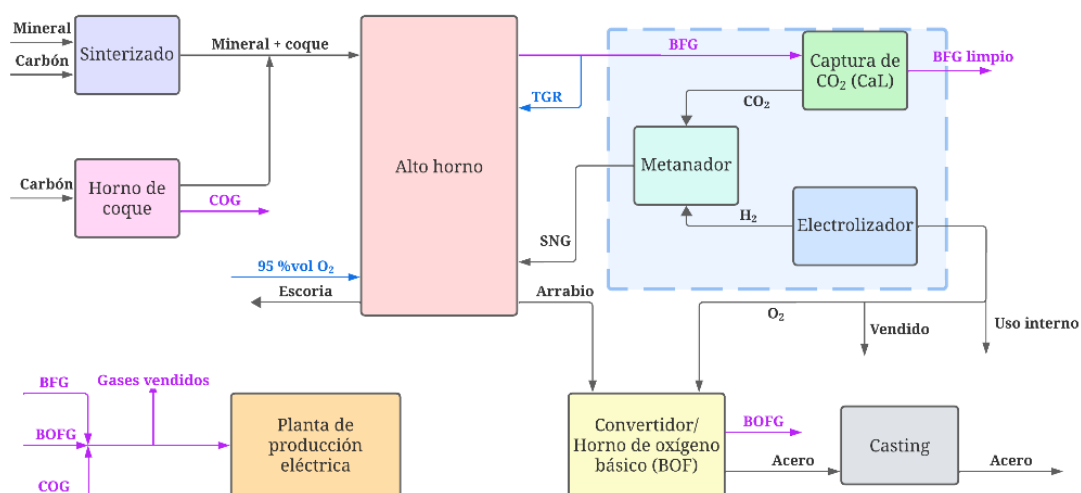


Figura 1 - Integración propuesta con Power-to-Gas, captura de CO<sub>2</sub> y oxidación