

Reducción de la Emisión de CO₂ Utilizando Celdas de Combustible: Un Método de Cálculo.

CO₂ Emission Reduction Using Fuel Cells: A Calculation Method.

Presentación: 13 y 14 de septiembre de 2023

Adrián Gonnet

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Bahía Blanca
gonnet@frbb.utn.edu.ar

Carlos Mainetti

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Bahía Blanca
mainetti@frbb.utn.edu.ar

Resumen

Cada vez con más fuerza los gobiernos proponen acciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y cumplir con los compromisos adquiridos en las convenciones mundiales sobre el cambio climático. Una tecnología eficiente para producir electricidad y calor está disponible y merece ser tomada en cuenta para alcanzar los objetivos de descarbonización en la transición energética en la Argentina. Se trata de los sistemas basados en celdas de combustible que producen electricidad y calor por cogeneración funcionando en un esquema de generación descentralizada. Estos sistemas proponen un cambio en el abastecimiento energético a los edificios logrando evidentes beneficios, uno de los más importantes es la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero. En este trabajo, mediante la implementación de una metodología de cálculo, se determina un ahorro del 32% en las emisiones de CO₂ con la utilización de esta tecnología.

Palabras clave: celdas de combustible, CHP, emisiones de CO₂

Abstract

Governments are increasingly proposing actions to reduce greenhouse gas emissions and comply with the commitments made in global conventions on climate change. An efficient technology to produce electricity and heat is available and deserves to be considered to achieve the decarbonization goals in the energy transition in Argentina. These are fuel cell-based systems that produce electricity and heat by cogeneration operating in a decentralized generation scheme. These systems propose a change in the energy supply to buildings, achieving evident benefits, one of the most important of which is the reduction of greenhouse gas emissions. Through the implementation of a calculation methodology, a 32% saving in CO₂ emissions has been determined with the use of this technology.

Keywords: fuel cells, CHP, CO₂ emissions

Introducción

El consumo de gas natural en el sector residencial de la Argentina es 2,4 veces el consumo de electricidad (Balance Energético Nacional, 2020). A su vez la matriz de generación eléctrica actual se compone mayoritariamente de centrales térmicas que funcionan con gas natural (Comisión Nacional de Energía Atómica, 2020). Mientras que en una central térmica se desperdicia una importante cantidad de calor producida en la generación, en las viviendas se consume más gas natural para calefaccionar los ambientes y calentar el agua sanitaria.

Una mejora en la eficiencia del abastecimiento energético a los edificios residenciales resulta crucial para lograr reducir las emisiones de CO₂ al ambiente. La producción de electricidad y calor con un único equipo recibe la denominación general de CHP y de microgeneración (micro-CHP) cuando la potencia eléctrica de salida es menor a 50 kW (Gandiglio et al., 2020:21). Un CHP consiste básicamente en tres subsistemas 1) la batería de celdas de combustible que genera electricidad de corriente continua, 2) el procesador de combustible que convierte el gas natural en hidrógeno puro y 3) el acondicionamiento de la tensión de salida que convierte la corriente continua en corriente alterna regulada (Gonnet et al., 2021: vol.3). En su esencia, el subsistema de celda de combustible está formado por un conjunto compuesto por ánodo, cátodo y un electrolito. El hidrógeno y el aire abastecidos al conjunto reaccionan químicamente para producir un flujo de electrones que circulan externamente desde el ánodo al cátodo. En este proceso se emite calor y agua o vapor de agua en estado puro, Figura 1. Las celdas unitarias producen una tensión menor a 1 V de corriente continua, luego se combinan, formando una batería para alcanzar la capacidad requerida (Gonnet et al., 2012:14767-14760) El subsistema de reformado convierte, biogás, gas natural u otros hidrocarburos en hidrógeno con la pureza que se requiere según el tipo de celda de combustible. El subsistema de acondicionamiento adapta la tensión de salida a las necesidades de una vivienda utilizando convertidores electrónicos (Gonnet et al., 2019:9-14).

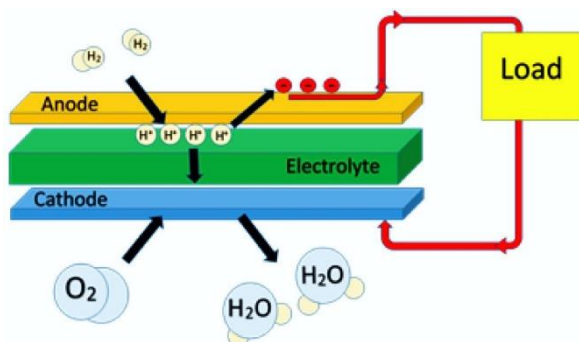


Figura 1. Proceso electroquímico de una celda de combustible. Fuente: (Darrow et al., 2015:6-7).

Los sistemas CHP que funcionan con gas natural, pueden abastecer de electricidad y calor a todo edificio que posea una conexión a la red de distribución de dicho combustible. Considerando las edificaciones nuevas y aquellas que renuevan su sistema de calefacción o calentamiento de agua sanitaria, el mercado potencial de los sistemas CHP es enorme. La conversión es directa, desde energía química del combustible a energía eléctrica y calor, por lo tanto, logran una eficiencia más alta que las tecnologías basadas en máquinas que convierten primero la energía química en mecánica y luego en eléctrica y calor.

Existen varios tipos de celdas de combustible, sin embargo, para los sistemas CHP se utilizan casi exclusivamente dos de ellos: las de electrolito de óxido sólido, denominadas SOFC, que funcionan a alta temperatura (500°C a 1.000°C) y las de electrolito de membrana polimérica, denominadas PEMFC, cuyo funcionamiento es a bajas temperaturas (30°C-100°C) (Ellamla et al., 2015:312-328).

Las celdas de combustible constituyen una tecnología de generación distribuida, ya que el calor emitido por cogeneración se utiliza en el mismo punto de producción, aumentando así la eficiencia total del sistema, obteniéndose un valor de 0,90 entre las energías térmica y eléctrica obtenidas y la energía química del combustible utilizado (Elmer et al., 2015:913-921).

Los principales esquemas implementados para los sistemas CHP basados en celdas de combustibles, son dos, aquel que se diseña para abastecer la demanda de calor en una vivienda y considera a la electricidad generada como un producto agregado, mientras que el otro se diseña para abastecer la carga base de electricidad, empleando el calor desarrollado en el proceso, como producto agregado. Desde este punto de vista, un sistema CHP puede reemplazar a los actuales sistemas de calefacción de calderas o de calentamiento de agua con termotanque por una solución integral y eficiente de producción de calor, o bien puede actuar como un generador eléctrico para proveer la demanda base de electricidad junto con la tecnología tradicional de calentamiento de agua y calefacción.

Este trabajo presenta las siguientes secciones: Desarrollo, donde se describe la metodología de cálculo de las emisiones de CO₂; Conclusiones, donde se expresan los resultados obtenidos y Referencias.

Desarrollo

La reducción en las emisiones de CO₂ que se consigue utilizando celdas de combustible difiere según el país, debido fundamentalmente a las emisiones que produce la red eléctrica, la cual es tomada como base para el cálculo. En Japón y Alemania, los fabricantes anuncian que los sistemas de 0,7 a 1 kW de potencia logran una reducción entre el 30 y el 50% en las emisiones (Staffell, 2015:373-385). Los resultados obtenidos para una región se expresan en kg/kWh, luego puede obtenerse la reducción que alcanza una vivienda teniendo en cuenta su consumo en particular. En la Argentina, considerando una vivienda típica ubicada en la zona central del país el consumo anual de electricidad es de 3,3 MWh (Gastiarena et al., 2017).

A continuación, se desarrolla una metodología de cálculo para estimar el ahorro en las emisiones de CO₂ ocasionado por la utilización de un sistema CHP basado en celdas de combustible en una vivienda.

Para el cálculo se eligen los datos de operación entregados por el fabricante de un equipo comercializado en Europa de la compañía Solid Power. La Figura 2, muestra al equipo instalado en una vivienda y en la Figura 3, se observa el balance energético de su operación, extraído de las especificaciones técnicas del folleto de venta.



Figura 2. Sistema CHP instalado en una vivienda. Fuente (Solid Power, s.f)

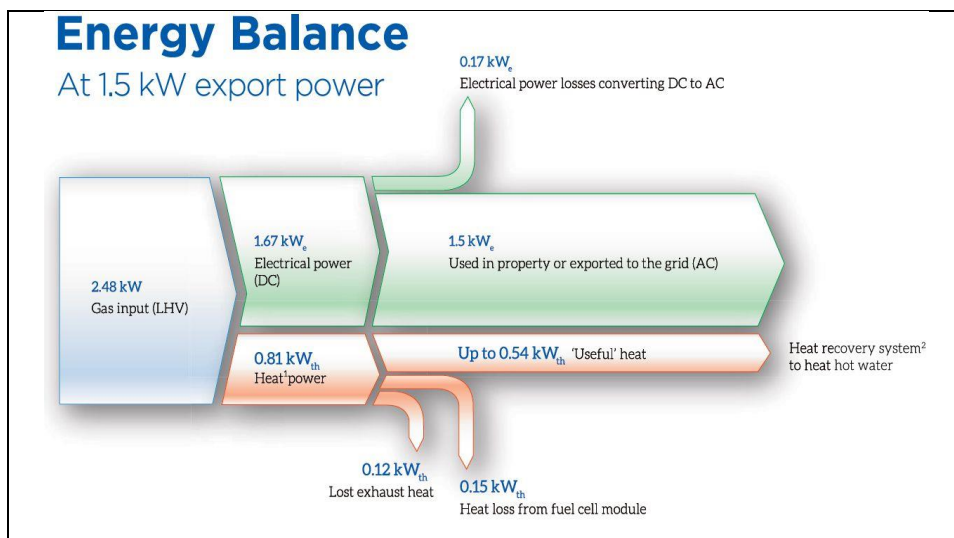


Figura 3. Balance de potencias en el funcionamiento del sistema CHP. Fuente (Solid Power, s.f.)

Para determinar las emisiones de CO₂ en kg producidas en una hora de funcionamiento del sistema CHP produciendo 1,5 kWh eléctricos y 0,54 kWh térmicos (Figura 3), se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_{FC} = FE_{GN} * P_{ent} * t \tag{1}$$

Donde: C_{FC} son las emisiones de CO₂ en kg; FE_{GN} es el factor de emisión del gas natural en kg/kWh (1,95 tCO₂/dam³, luego convertido a kg/kWh utilizando la equivalencia según el poder calorífico inferior de 1m³ = 10,83

kWh (Secretaría de Energía de la República Argentina, 2021); P_{ent} es la potencia de entrada del CHP en kW y t es el tiempo de funcionamiento en horas.

Reemplazando los valores en (1):

$$C_{FC} = 0,18 \frac{kg}{kWh} * 2,48 kW * 1 h = 0,45 kg \quad (2)$$

Para determinar las emisiones producidas por la red eléctrica para generar la misma cantidad de electricidad que el sistema CHP, se calcula en primer lugar la energía del gas natural consumido por una central térmica de ciclo combinado:

$$E_{CC} = \frac{P_{sal}}{\eta_{GT}} * t \quad (3)$$

Donde: E_{CC} es la energía consumida por la central; η_{GT} es el rendimiento, que tiene en cuenta la eficiencia del 54% en la generación y pérdidas del 10% en las líneas de transmisión (Ministerio de Economía, 2023); P_{sal} es la potencia de salida del CHP en kW y t es el tiempo en horas.

Reemplazando en (3):

$$E_{CC} = \frac{1,5 kW}{0,49} * 1 h = 3,06 kWh \quad (4)$$

Luego se calcula la cantidad de CO_2 emitido por la central eléctrica:

$$C_{CC} = FE_{GN} * E_{CC} \quad (5)$$

Donde C_{CC} es la cantidad de CO_2 emitido en kg.

Reemplazando en (5):

$$C_{CC} = 0,18 \frac{kg}{kWh} * 3,06 kWh = 0,55 kg \quad (6)$$

Además, se calcula la cantidad de emisiones producidas por una caldera para proporcionar la misma energía térmica que el sistema CHP:

$$C_{CA} = FE_{GN} * \frac{P_{ts}}{\eta_{CA}} * t \quad (7)$$

Donde: C_{CA} es la cantidad de CO_2 emitido por la caldera en kg; P_{ts} es la potencia térmica de salida del CHP en kW, η_{CA} es el rendimiento de la caldera y t es el tiempo en horas.

Reemplazando en (7):

$$C_{CA} = 0,18 \frac{kg}{kWh} * \frac{0,54 kW}{0,9} * 1 h = 0,11 kg \quad (8)$$

La cantidad de emisiones totales para abastecer por medio de la red eléctrica y una caldera la misma electricidad y calor que el sistema CHP resulta:

$$C_{TR} = C_{CE} + C_{CA} = 0,55 kg + 0,11 kg = 0,66 kg \quad (9)$$

Finalmente, el ahorro de emisiones de CO_2 , por cada hora que funciona el CHP resulta:

$$C_{AH} = C_{TR} - C_{FC} = 0,66 kg - 0,45 kg = 0,21 kg \quad (10)$$

Donde C_{AH} , es el ahorro en emisiones de CO_2 en kg.

Conclusiones

En este trabajo se estableció una metodología para calcular la reducción en las emisiones de CO₂ que produciría la instalación de un sistema CHP basado en celdas de combustible en una vivienda. Para el análisis se consideró un equipo CHP comercial de 1,5 kW de potencia eléctrica y 0,54 kW de potencia térmica. Se compararon las emisiones que produce el sistema propuesto con las emisiones que genera una central térmica de ciclo combinado alimentada con gas natural y la utilización de una caldera para proporcionar la misma cantidad de electricidad y calor. Se concluye que se logra una reducción en las emisiones del 32%. Si consideramos un consumo promedio anual para una vivienda de 3.300 kWh, la reducción para ese período resulta ser de 462 kg de CO₂. Teniendo en cuenta que los valores reales de operación del CHP, como el de los rendimientos de la central y las pérdidas en las líneas de transmisión pueden diferir en un porcentaje cercano al 5% aun así, el valor encontrado es considerable y se puede concluir que se encuentra dentro del contexto de la literatura sobre el tema. Finalmente se demuestra que la tecnología propuesta representa una muy buena alternativa para reducir las emisiones de CO₂ al ambiente.

Referencias

- Balance Energético Nacional (2020). Secretaría de Energía. Disponible en: <<http://datos.energia.gob.ar/dataset/802cf1b7-2efb-469d-ba82-5be6b9710dab/archivo/643964db-0c58-4b6d-9a8b-edc2bdb6e51c>>
- Comisión Nacional de Energía Atómica. (2020, abril). Síntesis del Mercado Eléctrico Mayorista de la República Argentina, N°232. Disponible en: <<https://www.cnea.gob.ar/nuclea/handle/10665/958>>
- Darrow, K., Tidball, R., Wang, J., & Hampson, A. (2015). Catalog of CHP technologies. US Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership, 2015-07.
- Elmer, T., Worall, M., Wu, S., & Riffat, S. B. (2015). Fuel cell technology for domestic built environment applications: State of-the-art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 913-931.
- Ellamla, H. R., Staffell, I., Bujlo, P., Pollet, B. G., & Pasupathi, S. (2015). Current status of fuel cell based combined heat and power systems for residential sector. *Journal of Power Sources*, 293, 312-328.
- Gandiglio, M., Ferrero, D., Lanzini, A., & Santarelli, M. (2020). Fuel cell cogeneration for building sector: European status. *REHVA J*, 57, 21-25.
- Gastiarena, M., Fazzini, A., Prieto, R., & Gil, S. (2017, abril). *Petrotecnica 2/17. Gas versus Electricidad: uso de la energía en el sector residencial*. Buenos Aires. Disponible en: <<https://www.petrotecnica.com.ar/todas-las-revistas.html>>
- Gonnet, A., Anton, M., Mainetti, C., Guillermo, E., Borja, F., & Bournod, L. (2021). Sistemas de microgeneración que integran paneles fotovoltaicos con generadores de electricidad y calor combinados (CHP) y almacenamiento en batería. *Ingenio Tecnológico*, 3, e023-e023.
- Gonnet, A., Gómez Jorge, S., Busada, C y Solsona, J., (2019) "Power converter topology for conditioning a fuel cell battery voltage", Argentine Conference on Electronics, IEEE, Catalog Number CFP19S41, pp 9-14.
- Gonnet, A., Robles, S. y Moro, L. (2012) "Performance study of a PEM fuel cell", *International journal of hydrogen energy*, vol. 37(19), pp.14757-14760.
- Ministerio de Economía. *Argentina.gov.ar*, (2023). Disponible en: <<https://www.argentina.gob.ar/noticias/ensenada-inauguran-obra-electrica-para-abastecer-1500000-de-hogares-e-industrias>>.
- Secretaría de Energía de la República Argentina (2021). Disponible en: <<http://datos.energia.gob.ar/dataset/7d47693a-c533-4e76-ae24-374c3205715a/archivo/bb224835-bfec-4527-84f4-48699f50c6bb>>.
- Solid Power. (s.f.). BlueGEN [Folleto]. Disponible en: <www.solidpower.com>
- Staffell, I. (2015). Zero carbon infinite COP heat from fuel cell CHP. *Applied Energy*, 147, 373-385.