



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Departamento:

Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas

Programa de acreditación:

CyTMA2

Programa de Investigación¹:

Código del Proyecto:

C2-ING-079

Título del proyecto

Estudio De Factibilidad para El Desarrollo De Un Sistema mecánico Y De Control De Flujo De Gases Para Celdas De Combustible

PIDC: ☐

Elija un elemento.

PII: ☐

Elija un elemento.

Director:

FAUROUX, Luis Enrique

Codirector:

ZARADNIK Ignacio José

Integrantes:

JAIMES SORIA, Leandro; BRENGI, Diego; MARTINEZ, Alejandro; DEGAETANI, Omar J.; JUAREZ, Marcelo

Investigador Externo, Asesor- Especialista, Graduado UNLaM:

BAQUE, Laura Cecilia

Alumnos de grado: (Aclarar si tiene Beca UNLaM/CIN)

Spano, Rodrigo Fernando (Beca UNLaM); Kowalski, Franco Ariel

Resolución Rectoral de acreditación: N°

442/21

Fecha de inicio:

01/01/2021

Fecha de finalización:

31/12/2022

¹ Los Programas de Investigación de la UNLaM están acreditados con resolución rectoral, según lo indica la Resolución HCS N° 014/15 sobre **Lineamientos generales para el establecimiento, desarrollo y gestión de Programas de Investigación a desarrollarse en la Universidad Nacional de La Matanza**. Consultar en el departamento académico correspondiente la inscripción del proyecto en un Programa acreditado.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

A. Desarrollo del proyecto (adjuntar el protocolo)

A.1. Grado de ejecución de los objetivos inicialmente planteados, modificaciones o ampliaciones u obstáculos encontrados para su realización (desarrolle en no más de dos (2) páginas)

El presente proyecto, estudio de factibilidad para el desarrollo de un sistema mecánico y de control de flujo de gases para celdas de combustible, buscó relevar las características y prestaciones de los controladores de flujo disponibles actualmente en el mercado, y plantea una alternativa más económica, como una primera etapa del desarrollo local del dispositivo. Independiente del objetivo pendiente de la tercera etapa del primer año, el desarrollo del prototipo mecánico que incluye planos mecánicos de un modelo con y sin bypass, el trabajo del segundo año fue dividido en tres etapas: PRIMERA etapa, Evaluación técnica para el Armado de un laboratorio para control de gases; SEGUNDA etapa, análisis de la implementación de un sistema de testeo para controladores de flujo con aire; TERCERA etapa, Publicación Nacionales e Internacionales.

Para la evaluación Técnica del laboratorio de hidrogeno, primera etapa, se tomó como referencia el laboratorio del HZB de Alemania, por tener contacto directo con los investigadores del instituto. De su estudio se concluyó que es importante que el laboratorio esté preparado para trabajar con Hidrogeno, lo que requiere cuidados especiales. Debido a que este gas puede causar fragilización de los materiales es importante contar con cañerías de acero inoxidable con una alta porcentaje de níquel en su composición para el manejo del mismo, un ejemplo sería el 316L. Otro punto importante es contar con una buena ventilación para la evacuación de gases, y los dispositivos bajo prueba con Hidrogeno se ubican en cámaras cerradas con ventanas que cuando se cierran activan el paso de gas por las tuberías. Este espacio está pensado para que evitar riesgos de fuga de gas al laboratorio. Así mismo, los laboratorios deben contar con un sistema de alarma de alta concentración de gas en forma de semáforo directo en la puerta del laboratorio. Estos semáforos no solo señalan el estado del aire sino también advierten del buen funcionamiento del sistema de seguridad. Por último, los tubos de gas hidrogeno deben ser almacenados en habitaciones exteriores al laboratorio preparados para tal propósito con el fin de protegerlos de altas temperaturas y golpes. Estos tubos solo deben ser accesibles por personal autorizado quien habilita el ingreso del gas al laboratorio. La evaluación financiera no pudo ser realizada por falta de proveedores locales de este tipo de equipamientos y los proveedores externos que respondieron al requerimiento mencionaron las dificultades de importación como para poder dar una cotización.

La segunda etapa, análisis de la implementación de un sistema basado en SOFC en el ámbito nacional, fue modificado debido a que en el futuro mediano no es posible prever contar con un laboratorio preparado para el manejo del hidrogeno y prueba de prototipos. La principal causa de esto se debe a la inestabilidad económica de la Argentina. Por lo tanto, se dio prioridad al diseño de un banco de prueba de sensores de flujo con aire que pueda dar continuidad a la investigación de este grupo. Estas pruebas permitieron juntar conocimiento en cuanto a cuáles son las limitaciones durante las pruebas de futuros prototipos y de qué manera estas pruebas se pueden escalar para mayores flujos y posibles pruebas con instituciones asociadas que cuenten con instalaciones de hidrogeno.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

En la segunda etapa del año, el foco estuvo en la difusión del conocimiento a partir de publicaciones nacionales e internacionales. En el congreso 6° Congreso Argentino de ingeniería (CADI 2022) se presentó, “Selección de sensores y actuadores para un controlador de flujo másico de hidrógeno”, en donde se presenta la selección de componentes electrónicos para dos posibles configuraciones. En el congreso COINI2022 se presentó, “Consideraciones generales para el desarrollo de caudalímetros de H₂”, el cual presenta un resultado parcial de los relevamientos de caudalímetros realizado. La publicación en revista Avances de la UNLaM, publicada durante el 2021, presentaban los desafíos a resolver por este proyecto que estaba comenzando “Controladores de flujos de hidrógeno para celdas de combustible”. Además, se participó de un conversatorio de gestión medio ambiental, desarrollado en la Universidad Nacional de la Matanza, con el objetivo de promover las energías renovables y el hidrogeno. Por último, se participó en el congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de Electrónica (TAEE 2022) realizado en España en donde se presentó, “Integración de la carrera de Ingeniería Electrónica a partir de tecnologías asociadas al Hidrógeno”. Dicho trabajo logró la posterior publicación en la IEEE Xplore, lo cual fue posible gracias a que el DIIT gestiona fondos adicionales de su presupuesto.

En lo referente a tarea pendiente del primer ciclo, presento complicaciones que no estaban contempladas. Si bien se logró la elaboración de planos mecánica, gracias al despiece de un dispositivo similar donado por la Comisión Nacional de energía atómica (CNEA), al momento del cierre del proyecto los mismos se encuentran en proceso de cotización en proveedores, siendo un problema para los proveedores locales el material seleccionado. Impidiendo tener un análisis completo.

Como conclusión se puede afirmar que el proyecto cumplió en gran porcentaje con los objetivos planteados al inicio. Se llevó adelante la búsqueda bibliográfica, el análisis de los requerimientos mecánicos para el control de hidrogeno, el relevamiento y conceptualización de un prototipo de controlador para SOFC (basados en las especificaciones de CNEA en lugar de realizar relevamiento de controladores de flujos utilizados en Alemania), la Evaluación técnica para el Armado de un laboratorio para control de gases, diseño de un banco de prueba de sensores de flujo con aire (reemplazando el análisis de la implementación de un sistema de testeo para controladores de flujo con aire) y la difusión de los conocimientos a través de Publicación Nacionales e Internacionales. Tal como se detalló en el presente informe y en el de avance.

Finalmente podemos concluir que sería posible desarrollar un controlador de flujo de Hidrogeno a nivel nacional comprando el sensor y el actuador y desarrollando localmente la electrónica de control. Por el lado de la mecánica, no fue posible determinar los costos por lo comentado previamente. Sin embargo, se estima que la parte electrónica y de sensores no debería exceder el 30% del costo del MFC importado, lo cual es aceptable para poder producirlo localmente e incluso se considera que una elaboración masiva de este producto podría reducir aún más dichos costos de producción. Como continuación de este proyecto se pretende el desarrollar sensores Inteligentes para la medición de flujo de gas hidrógeno, aplicado en la certificación. Dicha investigación contempla las limitaciones actuales de la universidad respecto al laboratorio de Hidrogeno y apunta a complementar otras investigaciones en la temática que se están desarrollando en la Universidad.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

B. Principales resultados de la investigación

B.1. Publicaciones en revistas (informar cada producción por separado)

Artículo 1:	
Autores	Luis Fauroux, Ignacio Zaradnik, Leandro Jaimes Soria
Título del artículo	Controladores de flujos de hidrógeno para celdas de combustible
N° de fascículo	<i>XI</i>
N° de Volumen	<i>12</i>
Revista	<i>Revista Avances</i>
Año	<i>2021</i>
Institución editora de la revista	<i>UNLaM</i>
País de procedencia de institución editora	<i>Argentina</i>
Arbitraje	No
ISSN:	2422-7773
URL de descarga del artículo	http://www.revistaavances.com.ar/
N° DOI	<i>No disponible aun</i>

Artículo 2:	
Autores	Luis E. Fauroux, Omar J. Degaetani, Marcelo A. Juárez
Título del artículo	Análisis comparativo de sensores para flujo de hidrógeno
N° de fascículo	<i>1</i>
N° de Volumen	<i>7</i>
Revista	<i>Revista Digital del DIIT – UNLaM</i>
Año	<i>2022</i>
Institución editora de la revista	<i>UNLaM</i>
País de procedencia de institución editora	<i>Argentina</i>
Arbitraje	SI
ISSN:	2525-1333
URL de descarga del artículo	https://reddi.unlam.edu.ar/index.php/ReDDi/article/view/176
N° DOI	https://doi.org/10.54789/reddi.7.1.1



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

B.2. Libros

Libro 1	
Autores	
Título del Libro	
Año	
Editorial	
Lugar de impresión	
Arbitraje	Elija un elemento.
ISBN:	
URL de descarga del libro	
N° DOI	

B.3. Capítulos de libros

Autores	
Título del Capítulo	
Título del Libro	
Año	
Editores del libro/Compiladores	
Lugar de impresión	
Arbitraje	Elija un elemento.
ISBN:	
URL de descarga del capítulo	
N° DOI	



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

B.4. Trabajos presentados a congresos y/o seminarios

Artículo 1	
Autores	<i>Ignacio Zaradnik; Leandro Jaimes Soria; Diego Brengi; Rodrigo Spano</i>
Título	<i>Integration of the Electronic Engineering course by using technologies associated with hydrogen</i>
Año	<i>2022</i>
Evento	<i>XV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference</i>
Lugar de realización	<i>Teruel, Spain</i>
Fecha de presentación de la ponencia	<i>29/06/2022</i>
Entidad que organiza	<i>IEEE</i>
URL de descarga del trabajo (especificar solo si es la descarga del trabajo; formatos pdf, e-pub, etc.)	<i>https://ieeexplore.ieee.org/document/9840590</i>
Artículo 2	
Autores	<i>Soria, Leandro; Zaradnik, Ignacio; Spano, Rodrigo; Brengi, Diego; Martinez, Alejandro</i>
Título	<i>Selección de sensores y actuadores para un controlador de flujo másico de hidrógeno</i>
Año	<i>2022</i>
Evento	<i>VI CADI- XII CAEDI</i>
Lugar de realización	<i>Resistencia</i>
Fecha de presentación de la ponencia	<i>7/9/2022</i>
Entidad que organiza	<i>UNNE-UTN FRRe – UCDP</i>
URL de descarga del trabajo (especificar solo si es la descarga del trabajo; formatos pdf, e-pub, etc.)	
Artículo 3	
Autores	<i>Juárez, Marcelo A.; Vázquez Juan P.; Jaimes Soria, Leandro</i>
Título	<i>Consideraciones generales para el desarrollo de caudalímetros para hidrógeno</i>
Año	<i>2022</i>
Evento	<i>XV COINI</i>
Lugar de realización	<i>Mar del Plata, Buenos Aires. Argentina</i>
Fecha de presentación de la ponencia	<i>10/11/2022</i>
Entidad que organiza	<i>AACINI</i>
URL de descarga del trabajo (especificar solo si es la descarga del trabajo; formatos pdf, e-pub, etc.)	



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

B.5. Otras publicaciones

Autores	
Año	
Título	
Medio de Publicación	

C. Otros resultados. Indicar aquellos resultados pasibles de ser protegidos a través de instrumentos de propiedad intelectual, como patentes, derechos de autor, derechos de obtentor, etc. y desarrollos que no pueden ser protegidos por instrumentos de propiedad intelectual, como las tecnologías organizacionales y otros. Complete un cuadro por cada uno de estos dos tipos de productos.

C.1. Títulos de propiedad intelectual. Indicar: Tipo (marcas, patentes, modelos y diseños, la transferencia tecnológica) de desarrollo o producto, Titular, Fecha de solicitud, Fecha de otorgamiento

Tipo	Titular	Fecha de Solicitud	Fecha de Emisión

C.2. Otros desarrollos no pasibles de ser protegidos por títulos de propiedad intelectual. Indicar: Producto y Descripción.

Producto	Descripción

D. Formación de recursos humanos. Trabajos finales de graduación, tesis de grado y posgrado. Completar un cuadro por cada uno de los trabajos generados en el marco del proyecto.

D.1. Tesis de grado

Director (apellido y nombre)	Autor (apellido y nombre)	Institución	Calificación	Fecha /En curso	Título de la tesis

D.2 Trabajo Final de Especialización

Director (apellido y nombre)	Autor (apellido y nombre)	Institución	Calificación	Fecha /En curso	Título del Trabajo Final



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

D.2. Tesis de posgrado: Maestría

Director (apellido y nombre)	Tesista (apellido y nombre)	Institución	Calificación	Fecha /En curso	Título de la tesis

D.3. Tesis de posgrado: Doctorado

Director (apellido y nombre)	Tesista (apellido y nombre)	Institución	Calificación	Fecha /En curso	Título de la tesis

D.4. Trabajos de Posdoctorado

Director (apellido y nombre)	Posdoctorando (apellido y nombre)	Institución	Calificación	Fecha /En curso	Título del trabajo	Publicación

E. Otros recursos humanos en formación: estudiantes/ investigadores (grado/posgrado/ posdoctorado)

Apellido y nombre del Recurso Humano	Tipo	Institución	Período (desde/hasta)	Actividad asignada ²
Spano, Rodrigo Fernando	Estudiante	UNLaM	01/01/2021 al 31/12/2022	Colaboración en el armado de las publicaciones. Diseño e implementación del banco de prueba de sensores con aire.
Kowalski, Franco Ariel	Estudiante	UNLaM	01/01/2021 al 31/12/2022	Análisis de los requerimientos mecánicos para el control de hidrogeno. Análisis de acciones necesarias, presupuestos, factibilidad técnica y económica, y realización de planos.

² Descripción de la/s actividad/es a cargo (máximo 30 palabras)



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

F. Vinculación³: Indicar conformación de redes, intercambio científico, etc. con otros grupos de investigación; con el ámbito productivo o con entidades públicas. Desarrolle en no más de dos (2) páginas.

El contacto logrado previamente con el instituto HZB de Alemania continuo activo durante 2022 y permitió visualizar los requerimientos de un laboratorio de hidrogeno para el desarrollo de tecnología electrónica relacionada con este gas en UNLaM. Gracias a Catalina Jimenez quien fue que permitió hacer un recorrido por las instalaciones del HZB en Berlin. Si bien durante esta etapa no se trabajó en un proyecto en común, el vínculo establecido nos permitió recibir asesorías sobre las celdas SOFC y otros temas relacionados.

En el caso de CNEA, se continuó en contacto con la Dra. Liliana Moggi y Dra. Laura Baques. Debido al objetivo de la vinculación (y del presente proyecto), el asesoramiento en cuanto a los desafíos técnicos del control de gases (hidrogeno y oxigeno) para aplicación en una SOFC de 5kW, se realizaron reuniones periódicas las cuales se enfocaron en afianzar el intercambio bilateral. Tanto las publicaciones realizadas a lo largo del año como los informes internos del proceso de investigación fueron compartidos y discutido oportunamente.

En el caso del INTI, se continuó en contacto con gente del Departamento de Almacenamiento de la Energía de la Subgerencia Operativa de Energía y Movilidad, puntualmente con Gonzalo Montiel y Ana Larralde, con el objetivo de trabajar en conjunto en líneas en común. Ellos trabajan diversos temas asociados a la energía, entre los asociados a Hidrogeno están viendo el tema del escalado de electrolizadores, desarrollo de energía asociada a ellos, certificación de origen de hidrogeno, equipos periféricos para la producción y el almacenaje, entre otros. Al momento de cierre del presente proyecto, el INTI están viendo de aplicar a un pedido de financiamiento en el MinCyT el cual otorga fondos para construir infraestructura en instituciones que pertenezcan al sistema científico tecnológico. Dicho pedido de financiamiento requiere la asociación 3 instituciones, por lo que se plantea la presentación en conjunto. Analizando integrar a la CNEA y/o la Universidad Nacional de Córdoba. En la primera sesión ordinaria del 2022 el proyecto fue declarado de interés, la declaración se tituló “Declarando De Interés Legislativo Y Solicitando Declarar De Interés Provincial El Proyecto De Investigación Por La Universidad Nacional De La Matanza Del Ingeniero Jaime Soria”. El número de la declaración es D-4521/21-22. Debido a la importancia de esta declaración se logró financiamientos extras tanto para la participación en el congreso TAEE como la posterior publicación en la IEEE Xplore. Además, el instituto Rearte junto con el obispado de la Matanza se comprometieron a donar un sensor de flujo de hidrogeno que se compró en Europa y se importó. Este sensor se va a utilizar en un próximo proyecto.

Por último, en vista con la continuación de este proyecto, se contactó con Feijo Raúl, gerente técnico de la empresa UTE de Uruguay quienes están trabajando en la certificación de energía renovable nacional, utilizando cadenas de bloques. UTE implemento un sistema particular para la certificación de origen de la energía, con ayuda de una plataforma online llamada EWT (Energy web token). Este sistema utiliza tokens (unidad de valor basada en criptografía) fungibles y no fungibles para registrar

³ Entendemos por acciones de “vinculación” aquellas que tienen por objetivo dar respuesta a problemas, generando la creación de productos o servicios innovadores y confeccionados “a medida” de sus contrapartes.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

los KW generados por las diferentes fuentes de energía. Este intercambio sirvió para entender la forma de certificación y en pensar en conjunto una posible colaboración en próximos proyectos. Debido a la importancia del hidrogeno en la actualidad y siendo una tecnología en crecimiento insipiente en Argentina, se pudo interactuar con diferentes actores de este cambio. Estas conexiones a nivel nacional como internacional permitieron al equipo nutrirse con diferentes ideas y propuestas para el desarrollo del presente proyecto como para continuar la investigación en cooperación con otras instituciones.

G. Otra información. Incluir toda otra información que se considere pertinente.

El proyecto fue tratado por la Honorable Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires, aprobado sobre tablas y declarado de Interés Provincial mediante la declaración D-4521/21-22. La investigación del manejo y control de un gas tan preciado y falto de productores, fue y es encarada decisivamente por el Departamento de Ingeniería e Investigación Tecnológica (DIIT), de la Universidad Nacional de la Matanza (UNLaM), quién tomó esa responsabilidad en colaboración con expertos de la Comisión Nacional de Energía Atómica de Bariloche (CNEA).

San Justo, 01 de febrero de
2023

Mg. Fauroux, Luis E.

.....
Lugar y fecha

.....
Firma del Director

.....
Aclaración de firma

- Cargar este formulario junto con los documentos correspondientes **exclusivamente** al Anexo I en SIGEVA UNLaM. Realizar la presentación impresa de los mismos junto con los restantes Anexos en la Secretaría de Investigación de la unidad académica correspondiente.

H. Cuerpo de anexos:

- Anexo I: Copia de cada uno de los trabajos mencionados en los puntos B, C y D, y certificaciones cuando corresponda.⁴
- Anexo II: Formularios FPI013 de los alumnos.

⁴ En caso de libros, podrá presentarse una fotocopia de la primera hoja significativa o su equivalente y el índice.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

- ANEXO I

INVESTIGACIONES

Controladores de flujos de hidrógeno para celdas de combustible

Director: **Luis Fauroux**
Co-director: Ignacio Zaradnik
Equipo de investigación: Leandro Jaimes Soria

Estudio de factibilidad para el desarrollo de un
sistema mecánico y de control de flujo de gases
para celdas de combustible.

La economía de hidrógeno busca producir este elemento con el
excedente de energía generado a partir de fuentes renovables
cuya producción no es constante. El resultado, hidrógeno verde,
se puede utilizar durante momentos de alta demanda eléctrica.

NOVIEMBRE 2021 | 58



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Ingeniería

Los controladores de flujo másico utilizados para celdas de combustibles de sólido oxidado (SOFC) tienen un costo elevado para el mercado local, del orden de 3.000 dólares. Como consecuencia de estos costos, y previendo la demanda masiva de estos controladores para la implementación de la economía de hidrógeno, surgió la necesidad de analizar la factibilidad del desarrollo de dichos controladores en la Argentina. El Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (DIIT), de la Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM), tomó la responsabilidad de la investigación en colaboración con expertos de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) de Bariloche. El proyecto consiste en el “Estudio de factibilidad para el desarrollo de un sistema mecánico y de control de flujo de gases para celdas de combustible”, y es parte del programa CyTMA2.

Este proyecto surge a partir del contacto hecho durante la tesis de Maestría realizada en Berlín, Alemania, por el actual Mg. Leandro Jaimes Soria, exalumno y actual docente de nuestra Universidad. Jaimes Soria cursó su posgrado en la Universidad Técnica de Berlín (TUB) e hizo su tesis en el Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB). El HZB trabaja actualmente en colaboración con la CNEA, en un proyecto binacional (argentino-alemán) que estudia nuevos materiales para la generación eléctrica a partir de hidrógeno.

Problemática a resolver

La generación de energía tiene asociada un impacto negativo para el ambiente, ya que se basa fuertemente en combustibles fósiles. El 84,3 por ciento de la energía consumida a nivel mundial en el 2019 corresponde a combustibles fósiles: carbón, gas y petróleo¹. Mientras que, a nivel nacional, el 67,3 por ciento de la energía consumida es de origen fósil, números menores que la media mundial pero aun significativos. El porcentaje restante corresponde a energía nuclear (4,3 por ciento a nivel global y 5,2 por ciento a nivel nacional) y a energías renovables como la hidráulica, la eólica, la solar entre otras.²

La baja incidencia de energías renovables es por la incapacidad de producir continuamente energía, ya que dependen de factores como la luz solar, el viento y la marea, y estos no son constantes. Dado este inconveniente, se han buscado soluciones de almacenamiento de la energía generada en sus diferentes estados.³

En este contexto surge la economía de hidrógeno (ver Figura 1), que tiene como ideal producir hidrógeno con el excedente de energía generado a partir de fuentes renovables cuya producción no es constante, el cual se denomina habitualmente hidrógeno verde. Posteriormente, este hidrógeno se puede utilizar durante momentos de alta demanda eléctrica

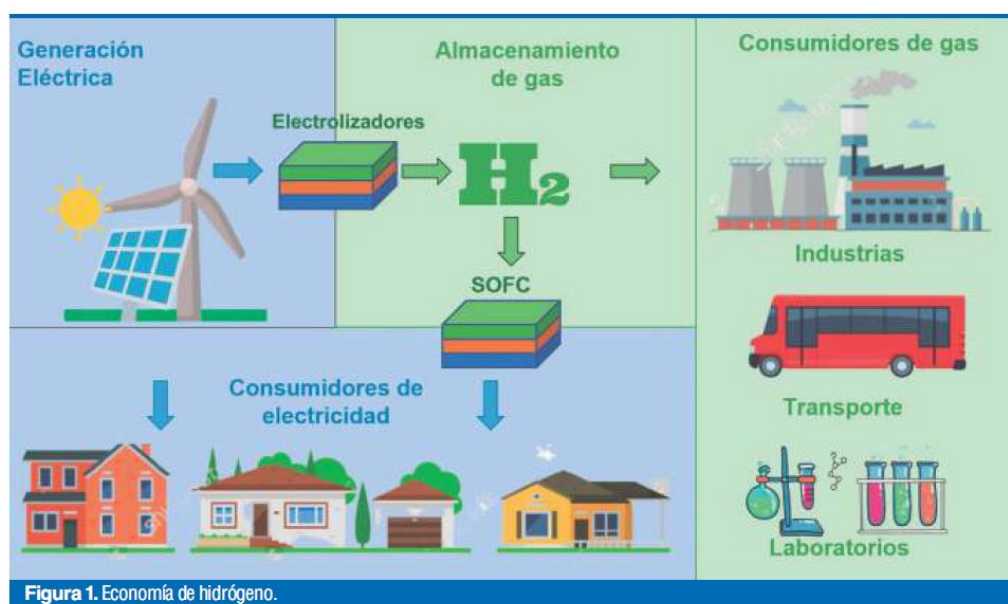


Figura 1. Economía de hidrógeno.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

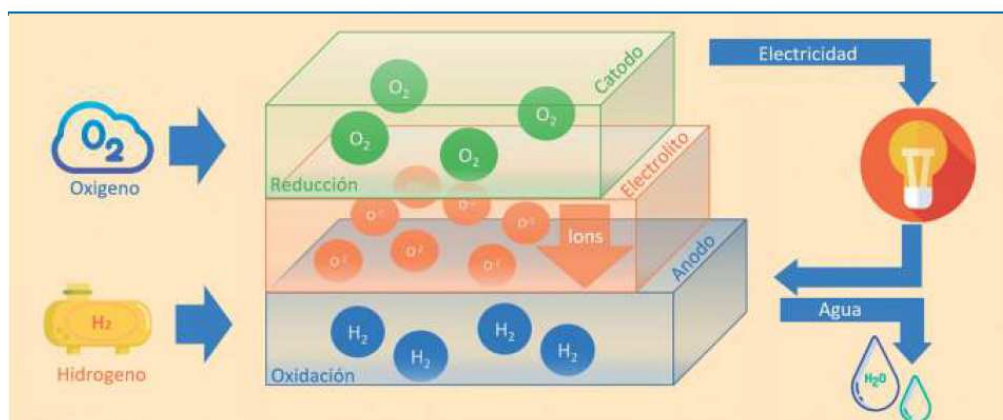


Figura 2. Principio de funcionamiento de una SOFC.

de la red o cuando los paneles solares y/o molinos de viento no funcionan a su máxima capacidad. Además, permitiría controlar picos de demanda eléctrica.

En Argentina, si bien existe una ley desde el año 2006 que fomenta el desarrollo y el uso del hidrógeno como fuente de energía⁴, la implementación de esta tecnología ha tomado mayor ímpetu gracias a la discusión de la nueva “Ley de Promoción de la Movilidad Sustentable”, que tiene el objetivo de establecer un marco legal y económico a nivel nacional⁵. Para cumplir con la iniciativa de contar con energía ciento por ciento renovable, se debe lograr un mayor desarrollo de las celdas de combustible.

Metodología del trabajo desarrollado

La CNEA se encuentra investigando esta tecnología, en particular trabaja en el desarrollo de nuevos materiales para las SOFC (ver Figura 2). Esta elección se fundamenta en: flexibilidad asociada a los combustibles a utilizar, eficiencia, escalabilidad, neutralidad en emisión de carbono y materiales constitutivos de bajo costo. En lo que respecta a la flexibilidad de los combustibles a utilizar, una SOFC puede emplear combustible de hidrocarburos, biocombustible con diferentes composiciones e hidrógeno procedente de fuentes renovables⁶. La eficiencia en el rendimiento de las SOFC es superior a la de los generadores que funcionan con motores de combustión interna. Este tipo de generadores cuentan actualmente con una eficiencia de entre el 55 y el 60 por ciento y pueden aumentar el rendimiento por encima del 80 por ciento cuando se utilizan en sistemas de energía térmica combinada (CHP)⁷. La instalación y la operación inicial no requieren gastos de capital sustanciales y se pueden agran-

dar de acuerdo con el incremento de la demanda. Las emisiones de carbono dependen del combustible utilizado, siendo el agua y el calor los únicos subproductos en caso de trabajar solo con hidrógeno. Finalmente, asociado a los materiales, los principales componentes de las SOFC son de cerámica, evitando el uso de metales preciosos como catalizadores que hacen más asequible la construcción de este dispositivo.

Como parte del trabajo del equipo de investigación de la UNLaM, se analizaron los distintos métodos para la medición de caudal másico para hidrógeno y se estudió la seguridad en la manipulación de este gas a presión. Los primeros resultados obtenidos están asociados a: la importancia de la selección de materiales adecuados para usar con el hidrógeno, los métodos de medición y las consideraciones mecánicas para la correcta medición de los parámetros físicos, los sensores y acondicionadores de señales para las señales a medir.

Desarrollo de la investigación

El DIIT reunió un grupo de investigación interdisciplinario constituido por docentes y alumnos de las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Electrónica, cuyo objetivo general es formular una propuesta de controladores de flujo para la aplicación en SOFC de uso comercial. Sus objetivos específicos consisten en: relevar el estado del conocimiento actual sobre controladores de flujo aplicados en celdas de combustibles; identificar las distintas partes mecánicas y electromecánicas que componen el dispositivo y posibles sustitutos locales; analizar los circuitos electrónicos involucrados en el control del dispositivo y estudiar algoritmos de control asociados; y fortalecer lazos



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Ingeniería



Figura 3. Controlador de flujo másico donado por la CNEA a la UNLaM.

nacionales e internacionales con instituciones que estén trabajando con el desarrollo de la economía de hidrógeno. El grupo de investigación de la CNEA donó a la UNLaM un controlador de flujo másico (ver Figura 3). Con este dispositivo como modelo de desarrollo, el grupo de la UNLaM tiene como objetivo estudiar sus partes mecánicas y electromecánicas que se utilizan en el control de gas de hidrógeno, para luego investigar la integración del sensor y el actuador elegido, que tenga en cuenta los desafíos mecánico y electrónico de este sistema industrial. Los desafíos mecánicos consisten en determinar las piezas mecánicas y planos requeridos para la correcta medición y control del gas. En cuanto al grupo de electrónica, la tarea consiste en determinar los circuitos necesarios para la lectura del sensor, manejo del motor y control del set-point de flujo másico.

Conclusiones

El grupo de investigación de la UNLaM tiene como objetivo expandir sus redes locales y difundir el conocimiento científico a partir de asesorar a empresas e instituciones educativas que tengan interés en el hidrógeno verde, para permitir una rápida expansión de esta tecnología a nivel local.

El hidrógeno genera la fragilización de los metales, por lo cual deben ser considerados aceros inoxidables austeníticos (304L y 316L) o aleaciones de Ni-Cr-Mo (Alloy C22)⁸. En lo que respecta a los métodos de medición para hidrógeno, los principales son: dispersión térmica, presión diferencial, Coriolis, ultrasonido, desplazamiento positivo y turbina⁹. Considerando los requerimientos de las SOFC y las dificultades técnicas de cada uno, se determinó que los métodos de Coriolis, dispersión térmica y presión diferencial pueden ser los más adecuados.

Con relación a los parámetros físicos, se observó que las mediciones son afectadas por las turbulencias típicas del gas, por lo que se debe implementar un panel estabilizador de flujo que disminuya este fenómeno¹⁰. Además, los resultados preliminares indican que el método térmico podría ser desarrollado íntegramente en Argentina, presentando una dificultad media en cuanto a su calibración; la utilización de sensores de presión requiere de productos comerciales de uso industrial que podrían significar un mayor costo pero sin embargo, menor que el de los controladores utilizados actualmente; y por último, el método de Coriolis podría ser el de mayor desafío técnico en cuanto a su construcción. ♦

Referencias bibliográficas:

1. BP P.L.C. (2020). "BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY" 2020BP P.L.C. (2020). "BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY" 2020
2. COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA (2021). "SÍNTESIS DEL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA DE LA REPÚBLICA ARGENTINA".
3. NICOLAS ORTEGA (2019). "COMO RESOLVER EL GRAN PROBLEMA DE LA ENERGÍA RENOVABLE: EL ALMACENAMIENTO".
4. INFOLEG.GOB.AR. 2006. REGIMEN PARA EL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA, PRODUCCIÓN, USO Y APLICACIONES DEL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE Y VECTOR DE ENERGÍA.
5. HCDN.GOB.AR. 2019. PROYECTO DE LA HONORABLE CÁMARA DE DIPUTADOS DE LA NACIÓN ARGENTINA.
6. L. MANTELLI, M. DE CAMPO, M. L. FERRARI, AND L. MAGISTRI, "FUEL FLEXIBILITY FOR A TURBOCHARGED SOFC SYSTEM," ENERGY PROCEEDA, VOL. 158, PP. 1974–1979, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.454
7. E4TECH, "THE FUEL CELL INDUSTRY REVIEW 2019," PP. 1–50, 2019.
8. ESAKULI, K., 2017. HYDROGEN DAMAGE. TRENDS IN OIL AND GAS CORROSION RESEARCH AND TECHNOLOGIES, PP.315–340.
9. PA CONSULTING. 2020. FLOW MEASUREMENT REQUIREMENTS FOR LOW CARBON FUELS (HYDROGEN).
10. OLIAZZANE, K., & BENHADI, R. (2007). AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND DESIGN OF FLOW CONDITIONING DEVICES FOR ORIFICE METERING. ARCHIVE PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART C. JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING SCIENCE.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Integración de la carrera de Ingeniería Electrónica a partir de tecnologías asociadas al Hidrógeno

Ignacio Zaradnik
Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (DIIT)
Universidad Nacional de la Matanza (UNLaM)
Buenos Aires, Argentina
izaradnik@unlam.edu.ar

Leandro Jaimes Soria
Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (DIIT)
Universidad Nacional de la Matanza (UNLaM)
Buenos Aires, Argentina
ljaimesoria@unlam.edu.ar

Diego Brangi
Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (DIIT)
Universidad Nacional de la Matanza (UNLaM)
Buenos Aires, Argentina
brangi@unlam.edu.ar

Rodrigo Spano
Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (DIIT)
Universidad Nacional de la Matanza (UNLaM)
Buenos Aires, Argentina
rospano@alumno.unlam.edu.ar

Abstract— En la Argentina, así como en otras partes del mundo, se está intentando cambiar la matriz energética desde una fuertemente basada en combustibles fósiles a una con mayor porcentaje de energías renovables. Tal desafío requiere de profesionales preparados en múltiples áreas, ingeniería electrónica entre ellas, para afrontar este desafío. Por otra parte, se está impulsando desde el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) la implementación de estándares de educación orientados a la formación por competencias y el aprendizaje activo centrado en el estudiante. Sobre estas dos premisas es que se ha analizado la posible integración de conceptos asociados a la economía de hidrógeno dentro de la carrera de ingeniería electrónica. En el presente trabajo se detallan los resultados obtenidos y las propuestas generadas.

Keywords— Educación, energía, sustentable, hidrógeno, electrónica.

I. INTRODUCCIÓN

Gran parte de nuestras actividades diarias requieren energía, y esa energía en la mayoría de los casos contamina. En la actualidad, la energía proviene principalmente de combustibles fósiles -como el carbón, el gas natural y el petróleo, los cuales producen un impacto negativo en el medio ambiente. A raíz de esto, la generación de energía sustentable se ha convertido en el foco de atención para contribuir a la reducción de emisiones de efecto invernadero, y a satisfacer las necesidades energéticas actuales, teniendo en cuenta las necesidades de generación futuras [1]. Es por ello que el gobierno argentino ha implementado políticas como la "Ley de Promoción de la Movilidad Sustentable" sancionada en 2019, que tiene el objetivo de establecer un marco legal y económico a nivel nacional para el desarrollo de estas tecnologías. [2]

La transición desde una economía con gran dependencia de los fósiles, a un sistema de energía renovable, debe hacer frente a las exigencias tecnológicas de almacenamiento de energía y a la incorporación de recursos energéticos fluctuantes (como la energía fotovoltaica y la eólica). Para ello, la economía del hidrógeno ha ganado importancia en la agenda internacional, la Comisión Europea declaró esta

tecnología de interés estratégico en septiembre de 2018 y en Argentina se está trabajando actualmente en la estrategia de hidrógeno nacional [3].

Para cumplir con la iniciativa de contar con energía cien por ciento renovable, se debe lograr un mayor desarrollo de las celdas de combustible. Y esto requerirá de profesionales que la puedan llevar adelante: ingenieros de materiales que mejoren los electrodos y electrolitos, ingenieros mecánicos que adapten las cañerías para las exigencias del transporte de hidrógeno, ingenieros electrónicos capaces de automatizar los procesos de generación de electricidad para aumentar su eficiencia, entre muchos otros.

Con esto en mente, a inicios del 2021, en la Universidad Nacional de la Matanza (UNLaM) se conformó un grupo interdisciplinario, de mecánicos y electrónicos, para estudiar la temática del Hidrógeno. Si bien el objetivo del grupo es el estudio de factibilidad para el desarrollo de un sistema mecánico y de control de flujo de gases para celdas de combustible, durante la etapa de investigación se percató que los sistemas de Hidrógeno involucran múltiples conocimientos electrónicos y de materias básicas, que se podría incorporar como tema integrador y transversal en la formación de ingenieros en Electrónica, desde los primeros años hasta las materias de especialización. Este trabajo es una primera experiencia realizada en la carrera de ingeniería en electrónica que busca a largo plazo armar estructura que pueda ser aplicado en el resto de las carreras del departamento de ingeniería.

Esto último, está en línea con la recomendación del CONFEDI sobre la implementación de estándares de educación orientados a la formación por competencias y el aprendizaje activo centrado en el estudiante [4], así como con la recomendación de la Agencia Internacional de Energía (IEA), que afirma que los países que se proyectan como futuros exportadores de Hidrógeno, deben centrarse en generar conocimientos prácticos, para aprovechar las oportunidades comerciales [5].



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Entre todos los tipos de pilas de combustible, las celdas de combustible de óxido sólido (SOFC por sus siglas en inglés) se consideran una de las tecnologías más prometedoras para alcanzar la comercialización a gran escala [6]. Por lo tanto, a continuación, se analiza la posible incorporación de la temática de las celdas SOFC como propuesta de aplicación práctica integradora de la carrera de Ingeniería en Electrónica.

II. MÉTODO

Previo a la descripción de los métodos y materiales empleados para llevar adelante el análisis propuesto, realizaremos una breve descripción del funcionamiento de la celda de combustible y plantearemos como hipótesis las posibles cátedras y temas que lo involucrarían.

Las pilas de combustible pueden compararse con las baterías, en el sentido de que en ambos dispositivos tiene lugar una reacción electroquímica que produce energía. Sin embargo, mientras que la energía se almacena en el interior de las baterías (en los materiales que las componen), en la celda de combustible, la energía se almacena fuera del dispositivo (el combustible y el aire) y luego se hace fluir los componentes reactivos a través de la celda. En particular, las pilas de combustible de óxido sólido tienen la ventaja de ser dispositivos electroquímicos muy eficientes que, mientras se alimentan de oxígeno y combustibles (hidrógeno), generan electricidad y calor [7].

Las celdas tipo SOFC ofrecen gran cantidad de ejemplos didácticos que van desde el entendimiento de la importancia de esta tecnología para nuestra sociedad, pasando por los fenómenos físicos y químicos que lo producen, y concluyendo con el control del sistema, medición del rendimiento e integración de la electricidad en la red. Por lo tanto, sobre la base del plan de estudios actualmente vigente en Ingeniería Electrónica [8], los contenidos didácticos antes mencionados podrían implementarse en las siguientes asignaturas: Tecnología, Ingeniería y Sociedad; Química General; Física III; Análisis de Señales; y Sistemas de Señales.

A partir de la importancia del hidrógeno como tema a tratar en la carrera de electrónica, se inició un relevamiento por medio de una encuesta en el cuerpo docente para determinar el conocimiento actual de la temática. El propósito es determinar los pasos a seguir para introducir esta temática y lograr el interés de los involucrados en las SOFC. Además, se busca indagar en posibilidades de coordinación y sinergia académica del esfuerzo de los docentes, para incorporar esta temática.

La encuesta abarca doce preguntas, divididas en tres partes:

- Contextualización de la encuesta a través de los datos del docente y su conocimiento sobre los nuevos requerimientos del CONFEDI, que consisten en el recondicionamiento de los planes de las diferentes carreras de Ingeniería para su orientación por competencias.
- Consultar el conocimiento actual sobre la economía de hidrógeno por parte del docente y la relevancia que se le da a la generación y uso de energías renovables en cada cátedra.

- Relevar la predisposición e interés por parte del docente de incorporar a su cátedra nuevos ejemplos relacionados al hidrógeno.

III. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante una encuesta realizada a docentes del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (DIIT). Se recibieron un total de 55 respuestas, donde el 60% pertenecen a docentes de la carrera de Ingeniería en Electrónica, un 7% a docentes de materias comunes a todas las carreras y el 33% restante a docentes de otras carreras, el gráfico N°1 presenta estos resultados.

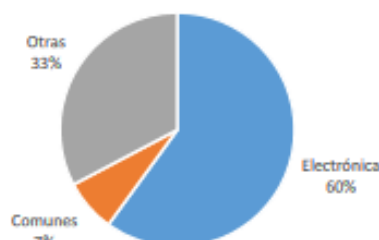


Gráfico N°1. Respuestas por carrera.

Según se puede ver en el gráfico N°2, más del 50% de las respuestas corresponden a los jefes de cátedra, mientras que el porcentaje se reduce en la respuesta de otros cargos.



Gráfico N°2. Respuestas por cargo.

Por otro lado, en el gráfico N°3 se pueden observar los porcentajes de respuestas asociados al ciclo correspondiente de la materia. Perteneciendo al ciclo básico aquellas materias dictadas en los dos primeros años, al ciclo intermedio las materias del tercer y cuarto año, y al ciclo avanzado aquellas materias del último año y optativas.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

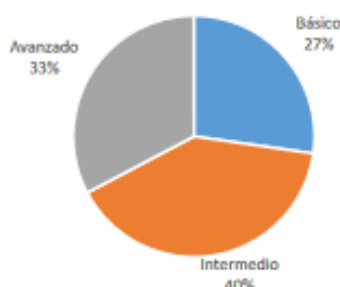


Gráfico N°3. Materias por ciclo.

En relación con el conocimiento sobre los nuevos requerimientos de CONFEDI de reacondicionamiento de los planes de carrera de Ingeniería para su orientación por competencias, uno de cada tres docentes afirmó no tener conocimiento de ello. Sin embargo, todos estuvieron de acuerdo que la presentación y la realización de cálculos y diseños asociados a casos concretos y reales es clave para un mejor entendimiento por parte de los alumnos de las temáticas presentadas.

Durante el relevamiento del uso actual de ejemplos asociados a energías renovables, se pudo apreciar que sólo un 20% de los docentes los introduce. Los ejemplos utilizados en la temática de energías renovables durante las materias básicas van desde ejemplos de empresas energéticamente sustentables, uso eficiente de energía y ejemplos de instalaciones fotovoltaicas y térmicas. En las materias intermedias se encuentran ejemplos de uso de inversores para paneles solares y reacciones químicas para electrolisis. Mientras que en las materias más avanzadas se utilizan ejemplos que requieren conocimientos previos de la carrera para realizar cálculos de dimensionamientos de instalaciones fotovoltaicas, térmicas, de biomasa para proponer métodos alternativos de alimentación para una estación de radio.

En cuanto al conocimiento sobre la economía de hidrógeno, sólo la mitad de los encuestados expresan saber sobre el tema. Dos de cada tres encuestados respondió que, para poder incluir ejemplos en su cátedra, consideran que requiere capacitación en el Hidrógeno. Sin embargo, sólo la mitad de los que expresaron no tener conocimientos estarían interesados en una capacitación en la temática.

En referencia al material que los docentes necesitan para capacitarse se recibió una amplia cantidad de sugerencias. El mayor interés se registró en una presentación donde se explique la temática del hidrógeno de manera práctica y se pueda cuantificar los pro y contras de esta tecnología, así también como una explicación breve de los lineamientos de la investigación realizada por el equipo autor de este paper. El formato de la presentación podría ser un video explicativo, según las múltiples menciones que tuvo durante la encuesta. Algunos docentes respondieron que desconocen qué material les podría servir para orientar su cátedra con la temática del hidrógeno, este tipo de respuesta surgió en cátedras específicas como robótica o programación.

Además, en las materias de nivel intermedio los docentes sugirieron que sería de interés contar con ejemplos de

simulaciones de celdas de combustibles o electrolizadores para explicar a los alumnos el control de las variables, o los circuitos y sensores involucrados. Otros comentarios estuvieron relacionados con el uso de hojas de datos de equipos, ya que siendo un tema secundario de la cátedra y debido al desconocimiento de la temática, los docentes no pueden dedicar demasiado tiempo en su búsqueda.

Ante la consulta de si consideran que, bajo la temática general de energías renovables, y en particular sobre economía de hidrógeno, la materia a la cual pertenecen se puede vincular con materias previas y posteriores en el plan de estudios, el 58% respondió que sí, el 24% respondió que no y un 18% no emitió respuesta. El gráfico N°4 presenta los resultados mencionados. La respuesta a la consulta sobre qué otras cátedras podrían tener relación con el hidrógeno fue contundente, la mayoría mencionó Química, Termodinámica y materias básicas en general. Pero no se mencionaron materias de los niveles superiores o de su mismo nivel.

Finalmente, las respuestas asociadas a la consulta sobre otros comentarios estuvieron relacionadas con la generación de material informativo para introducirse a la temática.

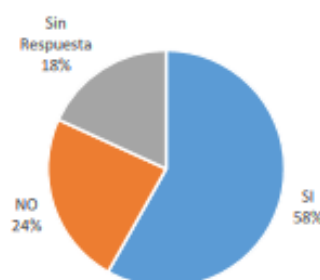


Gráfico N°4. Porcentajes sobre la consideración de relación entre materias bajo la temática del hidrógeno.

IV. DISCUSIÓN

Si bien la mayor parte de las respuestas fueron recibidas por docentes de la carrera de Ingeniería Electrónica, los resultados obtenidos muestran un interés por parte de docentes de otras carreras también, principalmente Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial. La mayor participación de docentes de electrónica se puede deber a que las temáticas de energía suelen estar relacionadas a dispositivos electrónicos, manejo de potencia y la automatización de sistemas, temas habituales en esta carrera.

En lo que respecta al cargo de los docentes que han respondido, se puede ver que el mayor porcentaje corresponde a Jefes de Cátedra. Esto tiene cierta lógica ya que los mismos son los responsables de la organización de la materia y de proponer nuevos enfoques dentro los temas que deben desarrollar. Sin embargo, se esperaba una mayor participación de Jefes de Trabajos Prácticos y Ayudantes. Esto será un tema a tener en cuenta en las futuras acciones a tomar.

Aunque el número de materias del ciclo avanzado es menor al de otros ciclos, se registró un mayor número de respuestas al esperado con respecto al ciclo básico y medio. Un análisis más profundo nos indica que en dichas materias



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

hubo una mayor participación de toda la cátedra, es decir, respondieron el Jefe de Cátedra y el Jefe de Trabajos Prácticos.

Los porcentajes asociados al conocimiento de los requerimientos de CONFEDI de reacondicionamiento de los planes de carrera de Ingeniería, están en sintonía con los porcentajes de las respuestas por cargo. Lo cual está dentro de lo esperado.

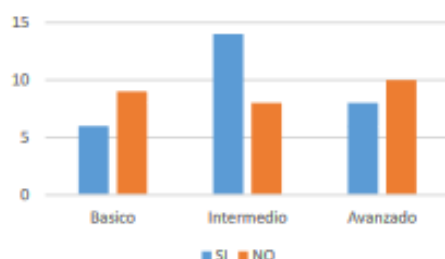


Gráfico N°5. Conocimiento sobre hidrógeno por ciclo.

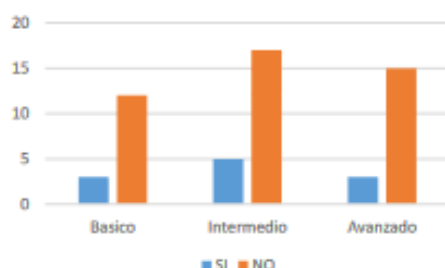


Gráfico N°6. Número de ejemplos por ciclo.

En los gráficos N°5 y N°6 se presentan los resultados en cuanto a la implementación de ejemplos asociados a energías renovables y en cuanto al conocimiento sobre la economía de hidrógeno respectivamente. En ambos gráficos, los valores están presentados en relación con el ciclo al cual pertenece la materia/docente que respondió. Se puede observar cierta relación entre los ejemplos implementados y el conocimiento sobre la economía de hidrógeno en los ciclos básico y avanzado. Sin embargo, en el ciclo intermedio se observó que gran cantidad de docentes afirman conocer el tema, pero contrario a lo esperado, la mayoría afirmó no utilizar ejemplo en las clases sobre Hidrógeno.

Llama la atención que los docentes mencionaron muy pocas materias con las cuales se podrían relacionar el hidrógeno como tema conector. Ya que siendo un 72% los docentes que tienen conocimiento sobre la temática del hidrógeno se esperaba una amplia y rica variedad de sugerencias de conexiones entre cátedras. Se presume que dicha diferencia se puede deber a que, si bien conocen el tema, no lo hace con profundidad, lo que impide la relación con otras materias.

En cuanto a la necesidad de capacitación sobre la temática del hidrógeno, las respuestas negativas podrían estar asociadas a múltiples factores: consideración de que la temática no

puede ser incluida en la cátedra, el docente está al tanto del tema y la implementa él mismo, e inclusive presuntos errores en la interpretación de la pregunta. En el gráfico N°7 se presentan las cantidades de docentes que consideran necesaria una capacitación en la temática por ciclo.

Sobre el material requerido, tal como se mencionó en la sección anterior, las respuestas fueron amplias. Por lo que se considera comenzar con presentaciones básicas para ir nivelando los conocimientos del cuerpo docente.

Tal como se mencionó previamente, la economía del hidrógeno se asocia principalmente con materias del ciclo básico, relacionadas a los principios químicos y físicos. Pero no se tienen en cuenta materias del ciclo superior en donde la economía del hidrógeno se puede relacionar con sensores, dispositivos electrónicos para el manejo de potencia, algoritmos de control y sistemas automatizados, entre otros. Este punto es un tema importante para tratar durante las futuras capacitaciones del cuerpo docente en Hidrógeno.

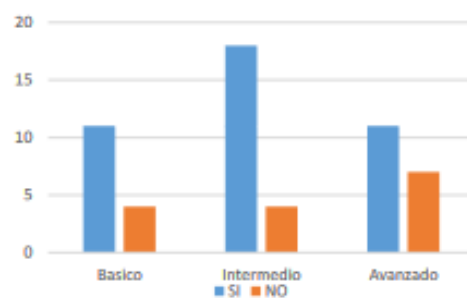


Gráfico N°7. Necesidad de capacitación por ciclo.

V. CONCLUSIONES

Se ha logrado realizar un análisis sobre la posible integración de los conceptos de la economía de hidrógeno en la carrera de Ingeniería en Electrónica. Si bien la encuesta realizada se distribuyó a todos los docentes de la carrera de ingeniería en electrónica, alrededor del 70% de las respuestas pertenecen a docentes de la carrera de Ingeniería Electrónica y en su defecto a materias comunes a todas las ingenierías. Este alto porcentaje, hace que los resultados reflejen satisfactoriamente el estado de la carrera ante la posible integración de los conceptos mencionados.

El alto nivel de participación de Jefes de Cátedra en la encuesta y los resultados de las encuestas, refleja el interés por la inclusión de la temática en sus materias y en la carrera. Sin embargo, será necesario la implementación de una capacitación niveladora, ya que solo el 50% de los docentes manifestaron conocimiento sobre el tema. Esto se refleja en el bajo porcentaje de ejemplos implementados en la carrera asociados, en particular, a la economía del hidrógeno y, en general, a energías renovables. Por lo cual, se podría evaluar la inclusión de temas generales sobre energías renovables.

El 100% de los encuestados estuvieron de acuerdo en que la presentación y la realización de cálculos y diseños asociados a casos concretos y reales servirán para un mejor entendimiento por parte de los alumnos de las temáticas presentadas. Pero tan solo el 65% tiene conocimiento de los nuevos requerimientos del CONFEDI respecto a los



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

estándares de educación para Ingeniería, siendo ambos conceptos íntimamente relacionados. Por lo que se propondrá una capacitación general sobre la educación orientados a la formación por competencias y el aprendizaje activo centrado en el estudiante.

Los encuestados en general, se mostraron entusiasmados con la posibilidad de contar con ejemplos concretos de aplicación, lo que muchas veces es difícil de conseguir, y resaltaron la importancia de coordinar la formación de los profesionales en energías sustentable.

El plan de acción consistirá en presentar los resultados ante la Coordinación de la carrera con el fin de coordinar esfuerzos para la implementación de la propuesta de incluir el Hidrógeno en la carrera. Con base en estos resultados, el siguiente paso a realizar será la elaboración de una presentación general sobre energías renovables y economía de hidrógeno en donde los docentes puedan deshumbrar las distintas áreas en donde sus materias pueden tener injerencia. Luego, se formará un grupo de investigación para facilitar la búsqueda de contenido didácticos y hacer más fluida la incorporación de temática de energía renovable en la carrera. Se evaluará la posibilidad de reuniones periódica para trabajar temas que involucren más de una asignatura y así fortalecer la sinergia académica.

REFERENCIAS

- [1] L. C. Hollaway, *Sustainable energy production: Key material requirements*, 2013.
- [2] [Madgob.ar](http://www.madgob.ar), "Proyecto de Ley de Promoción de la Movilidad Sustentable" 2019.
- [3] CES, 2021. Hacia una estrategia nacional de Hidrógeno 2030, Consejo Económico y Social, Buenos Aires.
- [4] CONFEDI, 2018. Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de Ingeniería en la República Argentina.
- [5] IEA, 2021, Hydrogen in Latin America, International Energy Agency.
- [6] M. K. Mahapatra and P. Singh, *Future Energy (Second Edition) Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet*, Elsevier Science, 2014.
- [7] Z. Gao, L. V. Mogni, E. C. Müller, J. G. Railsback, and S. A. Barnett, "A perspective on low temperature solid oxide fuel cells," *Energy Environ. Sci.*, vol. 9, no. 5, pp. 1642-1644, 2016, doi: 10.1039/c5ee03858h.
- [8] Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (2009). "PLAN DE ESTUDIOS 2009 CORRESPONDIENTE A INGENIERÍA ELECTRÓNICA". Extraído el 06/03/2022 de https://www.unlam.edu.ar/descargas/33_PlanIngenieriaElectronica2009.pdf
- [9] United Nations, 2021. The Health Effects Of Global Warming: Developing Countries Are The Most Vulnerable.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



Revista Digital del Departamento de
Ingeniería e Investigaciones
Tecnológicas de la Universidad
Nacional de La Matanza
ISSN: 2525-1333
Vol.: 5 - Nro. 2 (DICIEMBRE 2020)



artículo original

ANÁLISIS COMPARATIVO DE SENSORES PARA FLUJO DE HIDRÓGENO

COMPARATIVE ANALYSIS OF SENSORS FOR HYDROGEN FLOW

Luis Enrique y FAUROUX⁽¹⁾, Omar Jorge DEGAETANI⁽²⁾, Marcelo Adrián JUAREZ⁽³⁾

⁽¹⁾Universidad Nacional de La Matanza

lfauroux@unlam.edu.ar

DESEA PUBLICAR SU E-MAIL (tachar lo que no corresponda): (SI-NO)

⁽²⁾Universidad Nacional de La Matanza

odegaetani@unlam.edu.ar

DESEA PUBLICAR SU E-MAIL (tachar lo que no corresponda): (SI-NO)

⁽³⁾Universidad Nacional de La Matanza

mjuarez@unlam.edu.ar

DESEA PUBLICAR SU E-MAIL (tachar lo que no corresponda): (SI-NO)

Resumen:

En el contexto de la utilización de hidrógeno para celdas de combustible, es que este trabajo realiza una comparativa de las distintas técnicas disponibles actualmente en el mercado. La problemática radica en que el hidrógeno es un gas incoloro e inodoro, más liviano que el aire, que posee un rango de inflamabilidad, que puede formar mezclas explosivas con el aire, y que también puede reaccionar violentamente con materiales oxidantes, que se quema con llama invisible, y que puede provocar la fragilización de materiales, entre otras cualidades. Por estos motivos, los altos costos de estos controladores importados, y la falta de producción nacional, es que resulta necesario conocer las fortalezas, y debilidades, relativas entre cada método, con el objeto de sentar las bases para un potencial desarrollo local de estos controladores.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



Revista Digital del Departamento de
Ingeniería e Investigaciones
Tecnológicas de la Universidad
Nacional de la Matanza
ISSN: 2525-1333. Vol.: 5 - Nro. 2 (DICIEMBRE-2020)



Abstract:

In the context of the use of hydrogen for fuel cells, this work makes a comparison of the different techniques currently available on the market. The problem lies in the fact that hydrogen is a colorless and odorless gas, lighter than air, which has a range of flammability, which can form explosive mixtures with air, and which can also react violently with oxidizing materials, which burns with invisible flame, and that can cause the embrittlement of materials, among other qualities. For these reasons, the high costs of these imported controllers, and the lack of national production, it is necessary to know the relative strengths and weaknesses of each method, in order to lay the foundations for a potential local development of these controllers. .

Palabras Clave: *Sensor, Flujo, Hidrógeno*

Key Words: *Sensor, Flow, Hydrogen*

Colaboradores: *Ignacio Zaradnik, Leandro Jaimes Soria*



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



Revista Digital del Departamento de
Ingeniería e Investigaciones
Tecnológicas de la Universidad
Nacional de la Matanza
ISSN: 2525-1333. Vol.: 5 - Nro. 2 (DICIEMBRE-2020)



I. CONTEXTO

El impulso que ha tomado el hidrógeno como vector energético, ha motivado diversas investigaciones alrededor de las metodologías de producción, desarrollo de materiales, su aprovechamiento, etc. Es en este contexto que merecen un análisis los medidores de flujo, ya que se trata de un gas potencialmente peligroso.

II. INTRODUCCIÓN

El hidrógeno es un gas de baja densidad, incoloro, inodoro, que puede reaccionar violentamente con materiales oxidantes, formar mezclas explosivas con el aire, autoinflamarse a los 560°C, posee un rango de inflamabilidad (% de volumen en el aire) de 4 a 77 %, quemándose con una llama invisible [1]. Estos y otros detalles deben tenerse en cuenta al momento de evaluar la instalación de equipos que generen, almacenen y/o usen hidrógeno gaseoso a presión y el entorno donde se ubiquen. El hidrógeno gaseoso se difunde rápidamente aumentando la turbulencia del aire, lo que a su vez produce un aumento de la tasa de dispersión del hidrógeno gaseoso. Por otro lado, el hidrógeno tiene otras propiedades que también pueden suponer riesgo si no se las tiene en cuenta, es un potente agente reductor, y en contacto con óxidos metálicos se oxida y produce calor. También daña o es inadecuado para ser utilizado con muchos materiales que se usan normalmente en válvulas, tuberías y juntas. Al contrario que con otros gases comprimidos, al disminuir la presión de hidrógeno aumenta su temperatura, en términos físicos, el hidrógeno tiene un coeficiente de Joule-Thomson negativo a temperatura ambiente. Cuando se libera hidrógeno desde un contenedor a alta presión, el resultado es que este aumento de temperatura puede contribuir a la ignición. El

hidrógeno forma mezclas explosivas con muchos gases, incluidos el cloro y otros halógenos. Por otra parte, difunde fácilmente a través de muchos materiales convencionales que se usan en las tuberías y válvulas a través de agujeros que son lo suficientemente pequeños como para retener de forma segura a otros gases [2].

Considerando estas características, y otras más, se realizó un análisis comparativo entre las tecnologías actualmente disponibles en el mercado.

III. DESARROLLO

En este trabajo se compararon las técnicas de medición por coriolis, electromagnetismo, ultrasonido, vortex, térmicos, y por diferencia de presión, considerando alimentar una celda de combustible de tipo óxido sólido (SOFC). Las pilas de combustible de óxido sólido (Solid Oxide Fuel Cells) están formadas únicamente por materiales sólidos, hecho que simplifica su funcionamiento con respecto al resto de pilas. Solamente existen dos estados, sólido y gaseoso, que interactúan en el interior de la pila. Las pilas de óxido sólido se desarrollaron gracias al descubrimiento de que el óxido de zirconio (ZrO_2), dopado con pequeñas cantidades de otros elementos, entre un 3% y un 8% Yttrio (como Y_2O_3), o bien óxido de cerio (CeO_2) dopado con un 10% de gadolinio (como GdO), y sometido a altas temperaturas (entre 600°C y 1000°C), se convertía en un buen conductor de iones, pero no de electrones [3]. Desde su invención en 1930, los materiales que forman las pilas SOFC han ido evolucionando, en los electrodos se usan otros óxidos sólidos compatibles con el electrolito, con el fin de asegurar un buen contacto y así la estabilidad de la pila. Para el cátodo se usan sólidos mixtos de manganeso-estroncio-lantano o bien manganeso-estroncio-cobalto-



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



Revista Digital del Departamento de
Ingeniería e Investigaciones
Tecnológicas de la Universidad
Nacional de la Matanza
ISSN: 2525-1333. Vol.: 5 - Nro. 2 (DICIEMBRE-2020)



hierro, mientras que para el ánodo se usa un material compuesto por un metal y un cerámico, *cermet*, de níquel como parte metálica y del propio material que forma el electrolito como parte cerámica. La elección de materiales en este tipo de pila que funciona a tan alta temperatura es crítica, ya que debe poseer capacidades de conducción iónica y eléctrica y capacidad electrolítica, y además ser capaz de soportar las condiciones extremas a las que se ve expuesto. Este aspecto, implica el uso de materiales más caros que los que componen las pilas de combustible de carbonato fundido (MCFC). Las SOFC son alimentadas con aire en el cátodo e hidrógeno en el ánodo, aunque a causa de las elevadas temperaturas a las que opera, también puede alimentarse con gas natural. Una vez retirados los sulfuros que el gas pueda contener, es reformado por el propio efecto de la presión y la temperatura, convirtiéndose en monóxido de carbono e hidrógeno aprovechable por la pila, tal y como puede ocurrir en el ánodo de una pila MCFC. Gracias al efecto catalizador del níquel a altas temperaturas, las moléculas de hidrógeno se desprenden de sus protones y electrones. Estos últimos migrarán hacia el cátodo a través de un circuito externo, generando trabajo eléctrico y reaccionando con las moléculas de oxígeno una vez hayan llegado al cátodo. Es en este electrodo donde se forman los iones de oxígeno que atravesarán el electrolito en dirección al ánodo, donde se generará agua como residuo más el posible dióxido de carbono procedente del combustible empleado. Entre las consideraciones iniciales se encuentran el diámetro nominal de la tubería, la presión y la temperatura del proceso [3].

Esta información es de suma importancia porque se podría dar a la situación en la que no sea posible utilizar alguno de los sistemas considera a priori potencialmente viable.

Dado que el hidrógeno es una molécula tan pequeña, tiene una gran facilidad para penetrar la estructura de los aceros más utilizados, provocando la fragilización del material y la consecuente pérdida de ductilidad. Por esto es que se recomienda el uso acero inoxidable austenítico (304L y 316L), o aleaciones de Níquel-Cromo-Molibdeno (Alloy C22). De todos modos, se recomienda cambiar tanto el sensor como las cañerías, luego de una cierta cantidad de horas de operación. Cabe destacar que, para el sistema de almacenaje de hidrógeno, se utilizan otros materiales, incluso hasta tubos estándar de acero comercial, ya que llevan controles periódicos respecto a su integridad.

Existen en catálogo sensores, por efecto Coriolis, a la vez simultáneos, multivariables, además de flujo másico, miden densidad, temperatura y viscosidad. Sin embargo, son muy sensibles a las vibraciones de las cañerías, y son de los más costosos, sin embargo, proporcionan perspectivas completamente nuevas para el control de procesos, el control de calidad y la seguridad de la planta. Es posible asimismo calcular el valor de otras características importantes a partir de las variables primarias medidas.

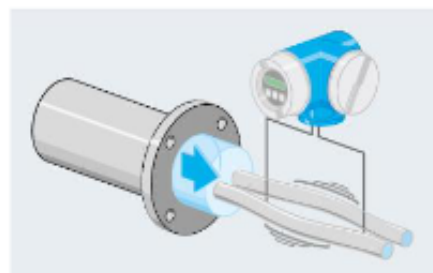


Fig. 1. Sensor por Coriolis

Se basan en los principios de la mecánica del movimiento, cuando el fluido de proceso ingresa en el sensor, se divide,



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



una bobina impulsora provoca que los tubos oscilen a su frecuencia de resonancia natural [4]. A medida que los tubos oscilan, el voltaje generado en cada bobina pick-off produce una onda sinusoidal. Esto indica el movimiento de un tubo en relación con el otro. La diferencia de fase entre las dos ondas sinusoidales se denomina Delta-T, la cual es directamente proporcional al flujo másico y de esta manera podemos medirlo. El principio de medición es independiente de las propiedades físicas del fluido y del perfil de caudal, no son necesarios tramos rectos de entrada/salida [5]. A diferencia de otros controladores miden directamente el flujo másico, lo cual parece otorgarles una ventaja respecto a los sistemas de medición volumétricos. Los sistemas volumétricos traen menor precisión debido a que este tipo de medición requiere de controladores de lógica programables (PLC o DCS) para obtener un valor aproximado de la masa y debido a que el hidrógeno es un gas tan liviano se generan errores (por las mediciones y errores de cálculo) de hasta del 10% respecto al valor real de la masa. La capacidad de medir directamente el flujo másico permite que el sistema Coriolis ofrezca una precisión con errores de $\pm 0.1\%$ de la masa real [4].

Los caudalímetros por ultrasonido miden confiablemente flujo volumétrico de una amplia variedad de gases, y líquidos, sin importar la conductividad eléctrica, la presión, la temperatura, o la viscosidad. En aplicaciones que requieren precisión trazable y garantizada, se prefiere la utilización de sensores por ultrasonidos en línea. Los sensores "clamp-on", en cambio, se instalan en la pared exterior de la tubería y, por consiguiente, permiten también mediciones temporales o montaje a posteriori. Estos sensores no provocan caídas de presión, poseen una

larga vida útil, aunque una baja precisión comparada [4][6].

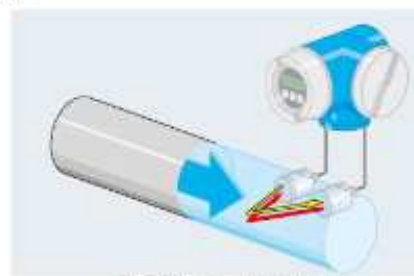


Fig. 2. Sensor por Ultrasonido

Una alternativa efectiva respecto a las técnicas de medición tradicionales, para cuando se requiera un amplio rango de respuesta, es el controlador de flujo másico por dispersión térmica, ya sea para el control de procesos, monitorización de consumo y abastecimiento, detección de fugas, o monitorización de redes de distribución. Utilizando versiones de inserción, también es posible medir caudales de gas en tuberías muy largas o en conductos rectangulares. Este sistema utiliza dos sensores de temperatura, uno que mide la temperatura del fluido y otro al que está siendo calentado. A medida que el fluido fluye a través del medidor el sensor que está precalentado es enfriado, a mayor velocidad del fluido mayor va a ser este efecto. La corriente eléctrica necesaria para mantener la temperatura en el sensor genera un diferencial con una relación directa con el flujo másico. El igual que los por Coriolis, los hay multivariantes, y permiten medir flujo másico y temperatura, no necesitan mantenimiento debido a que no tiene partes móviles. La precisión de estos sistemas se encuentra aproximadamente en los $\pm 0.5\%$ [4]. No se requiere compensación de la presión o la temperatura, poseen una excelente sensibilidad del extremo inferior, y una rápida reacción a las fluctuaciones



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



Revista Digital del Departamento de
Ingeniería e Investigaciones
Tecnológicas de la Universidad
Nacional de la Matanza
ISSN: 2525-1333. Vol.: 5 - Nro. 2 (DICIEMBRE-2020)



del caudal. Como característica de complejidad sobresale el hecho de dar una respuesta no lineal.

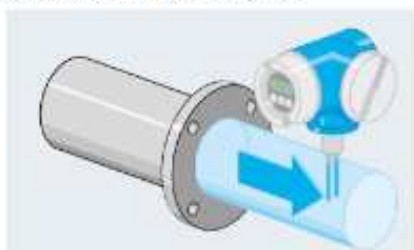


Fig. 3. Sensor por Dispersión térmica

Los transmisores por presión diferencial con sensores de presión piezorresistivos y membrana metálica soldada, o sistema electrónico de presión diferencial, o sello separador, se utilizan principalmente en la industria de proceso. Este tipo de sensores utilizan sistemas como el tubo Venturi y el tubo Pitot para medir una diferencia de presión que está relacionada con el caudal que pasa por el tubo [7]. Este sistema puede ser utilizado para el hidrógeno y toleran condiciones extremas de hasta 420 bar y 1000 °C.

El sistema electrónico de presión diferencial elimina los componentes mecánicos tradicionales, lo que mejora la disponibilidad y fiabilidad de los procesos, además de ser económicos [4]. Se requieren tres elementos esenciales para diseñar un medidor de flujo de presión diferencial. El elemento primario crea una caída de presión a través del medidor de flujo al introducir una restricción en la tubería, y esta restricción diseñada permite que la ecuación de Bernoulli se utilice para calcular la tasa de flujo. La caída de presión se mide mediante un elemento secundario, un transmisor de presión diferencial, mientras que los elementos terciarios consisten en todo lo demás dentro del sistema, como tuberías de impulso y conectores. Las placas orificio se utilizan ampliamente en la industria del

petróleo y el gas para medir gases, líquidos e incluso fluidos con una pequeña cantidad de segunda fase. Los componentes comunes de un sistema de medición de orificios incluyen el accesorio, la placa y el soporte de la placa. La placa junto con la parte adyacente de la tubería y las conexiones de presión constituyen el elemento principal. Rentable y sencilla, esta tecnología ofrece alta precisión sin calibración y es fácil de usar y solucionar problemas. Los elementos primarios de presión ofrecen muchos diseños y opciones para diversos tamaños de líneas y caudales. Las opciones incluyen placas de orificio estándar y de acondicionamiento, tubos pitot promediados, tubos Venturi, boquillas de flujo, conos y cuñas. Cada opción presenta beneficios, tales como un control de proceso más estricto, varias configuraciones de montaje, alta precisión, fácil instalación, bajo costo de mantenimiento, pérdida de presión permanente reducida y opciones de sensor de temperatura integral para penetraciones de proceso reducidas.

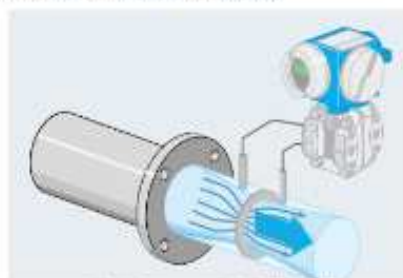


Fig. 4. Sensor por Presión diferencial

En este caso ocurre lo mismo que con los térmicos, es necesario saber el diámetro nominal aproximado que vamos a utilizar para poder elegir un equipo, es de considerar el no alcanzar la velocidad de detonación.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



Revista Digital del Departamento de
Ingeniería e Investigaciones
Tecnológicas de la Universidad
Nacional de la Matanza
ISSN: 2525-1333. Vol: 5 - Nro. 2 (DICIEMBRE-2020)



Los controladores de flujo tipo Vortex que realizan medición de caudal utilizan el efecto Von Karman donde al pasar el fluido por un cuerpo escarpado aparecen vórtices que generan un diferencial de presión. El cuerpo escarpado es una barra de vertido donde los vórtices oscilan a frecuencias específicas, conociendo la geometría de la barra y el área transversal de la tubería podemos medir el caudal. Lo interesante de este sistema es que de los Vortex es que resiste la fragilización por hidrogeno además de que tiene un umbral favorable respecto a las temperaturas. Aunque también utilizarán un sensor de presión y temperatura para lograr una medición compensada del caudal másico [4].

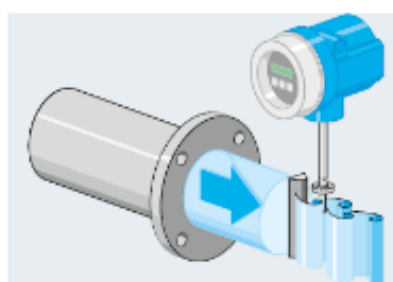


Fig. 5. Sensor tipo Vortex

IV. CONCLUSIONES

En primera instancia, por su sensibilidad, precisión, y el material de fabricación, los sensores por Coriolis parecen ser los más indicados. Sin embargo, tres aspectos condicionan su selección, la sensibilidad a las vibraciones, que hace necesario una mayor periodicidad de la verificación de su calibración, no se puede usar para medir medios con menor densidad, como gas a baja presión, y su elevado costo de adquisición. En el proceso de eliminación continúan los sensores por Ultrasonido y los Vortex. En el caso de los primeros necesitan de la presencia de burbujas o partículas diminutas presentes en

el flujo, además, estos medidores son de diseño más complicado en comparación con otros medidores, por lo que se requieren especialistas para su mantenimiento y reparación. En cuanto a los Vortex, tienen bajo rendimiento antivibraciones, las vibraciones externas pueden causar errores de medición en el medidor de flujo de vórtice, y es posible que ni siquiera funcionen correctamente. El choque de alta velocidad de flujo del fluido provoca vibraciones en el cuerpo del vórtice, lo que reduce la precisión de la medición. Los requisitos de tubería recta son altos cuando se monta el medidor de flujo Vortex, no es adecuado para mediciones de fluidos con un número bajo de Reynolds, además son muy costosos.

Los controladores por dispersión térmica, por el contrario, se utiliza solo para mediciones de gas, requiere secciones de entrada y salida, no es un problema, en el caso del hidrógeno, ni la condensación de humedad, ni la variación en el calor específico causado por cambios en la colocación del gas. Finalmente, los caudalímetros por diferencial de presión, los aspectos negativos son que la precisión no es la mejor y puede deteriorarse con el desgaste y la obstrucción, y que la capacidad de rango no es buena debido a una señal de presión diferencial no lineal, excepto los elementos de flujo laminar, pero estos no son los casos del hidrógeno, y al igual que los anteriores, su construcción es, relativamente, sencilla respecto de los tres mencionados en primer lugar, lo que los hace menos costosos. Por lo que se sugiere avanzar en la investigación de estos dos tipos de sensores.

V. FORMACION DE RECURSOS HUMANOS

Cabe destacar la participación como alumno de Franco Kowalsky, quien integra el proyecto C2-ING-079, "Estudio de factibilidad para el desarrollo de un sistema



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



Revista Digital del Departamento de
Ingeniería e Investigaciones
Tecnológicas de la Universidad
Nacional de la Matanza
ISSN: 2525-1333. Vol.: 5 - Nro. 2 (DICIEMBRE-2020)



mecánico y de control de flujos de gases para celdas de combustibles”, proyecto en el que el presente trabajo se halla enmarcado.

VI. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] Air Liquide. *Hoja de Datos de Seguridad. Hidrógeno comprimido*. San Isidro. Argentina. 2017.
- [2] Fernández-Bolaños Badía, C.. *Energética del hidrógeno. Contexto, Estado Actual y Perspectivas de Futuro*. Sevilla: Departamento de Energética y Mecánica de Fluidos. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla. 2005.
- [3] Delgado Ferrer, Eloi. *Estudio y modelización de una pila de combustible SOFC*. 2017.
- [4] Endress+Hauser. *Tecnología de medición de caudal para líquidos, gases y vapor*. Reinach, Suiza: Endress+Hauser. 2020.
- [5] Brown, G., Estrada, H., Augenstein, D. R., & Bergstrom, K. (2009). Estados Unidos *Patente n° US 2009/0151472 A1*.
- [6] Keilty, M. J., & Patten, A. T. (2003). Estados Unidos *Patente n° US 2003/0208325 A1*.
- [7] O'Keefe Controls Co. (2003). *Choked Flow of Gases*. Trumbull, Connecticut, Estados Unidos.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

“Consideraciones generales para el desarrollo de caudalímetros para hidrógeno”

Juárez, Marcelo A.; Vázquez Juan P.; Jaimes Soria, Leandro.

*Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Universidad Nacional de La Matanza.
San Justo, Buenos Aires, Argentina.
mjuarez@unlam.edu.ar*

RESUMEN

En el presente trabajo se exponen la información recolectada sobre los distintos controladores de flujo disponibles para la SOFC (Solid Oxide Fuel Cell), mediante un análisis y comparación de los distintos sistemas disponibles en catálogo. Esta información es de suma importancia porque se podría dar a la situación en la que no sea posible utilizar alguno de los sistemas considerados, a priori, viables. Desde un punto de vista comercial los sistemas más utilizados son los controladores de flujo del tipo térmico, por diferencial de presión, sin embargo, el combustible a utilizar es hidrógeno, el que posee ciertas características que lo hacen de peligrosa manipulación. Las pilas SOFC tienen el requisito adicional de precalentamiento antes del inicio de la generación de energía. Controlar la tasa de aumento de la temperatura es un factor crítico para evitar daños a la pila de la celda de combustible durante la transición de la temperatura ambiente a la temperatura de funcionamiento. Son particularmente vulnerables al agrietamiento inducido por un calentamiento desigual o una velocidad de calentamiento demasiado alta durante el arranque. Los controladores de flujo másico deben proporcionar un control rápido y preciso, el que es necesario para proteger las pilas SOFC del daño térmico transitorio durante el ciclo de arranque. La medición simultánea del caudal másico, la densidad y la temperatura proporciona perspectivas completamente nuevas para el control de procesos, el control de calidad y la seguridad de la planta. Asimismo, es posible calcular el valor de otras características importantes a partir de las variables primarias medidas.

Palabras Claves: Control, flujo, H₂.

ABSTRACT

In the present work, the information collected on the different flow controllers available for the SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) is exposed, through an analysis and comparison of the different systems available in the catalog. This information is extremely important because it could give rise to the situation in which it is not possible to use any of the systems considered, a priori, viable. From a commercial point of view, the most used systems are thermal type flow controllers, by pressure differential, however, the fuel to be used is hydrogen, which has certain characteristics that make it dangerous to handle. SOFC cells have the additional requirement of preheating before the start of power generation. Controlling the rate of temperature rise is a critical factor in preventing damage to the fuel cell stack during the transition from ambient to operating temperature. They are particularly vulnerable to cracking induced by uneven heating or too high a heating rate during start-up. Mass flow controllers must provide fast and accurate control, which is necessary to protect SOFC stacks from transient thermal damage during the startup cycle. Simultaneous measurement of mass flow, density and temperature provides completely new perspectives for process control, quality control and plant safety. It is also possible to calculate the value of other important characteristics from the measured primary variables.

Keywords: Control, Flow, Hydrogen.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

1. INTRODUCCION

El hidrógeno es un gas incoloro, insípido, de baja densidad, inflamable, y contrariamente a otros gases, su temperatura se eleva al expandirse. Estas características, entre otras, hacen que los caudalímetros encargados del control de su flujo merezcan un análisis particular. En este trabajo se presenta el análisis para caudalímetros a ser utilizados para abastecer a pilas combustibles de óxido sólido.

Los MFC (Mass Flow Control) se utilizan para medir y controlar el flujo de gases en un proceso. El caudal general es una consideración importante. Algunos procesos requieren caudales muy pequeños, generalmente especificados en centímetros cúbicos estándar por minuto (SCCM, en inglés Standard Cubic Centimetres per Minute). Los caudales más altos se dan típicamente en litros estándar por minuto (SLPM, en inglés Standard Litre per Minute) o en pies cúbicos estándar por minuto (SCFM, en inglés Standard Cubic Feet per Minute) [Valentine, 2016], muchas son las formas de medir el flujo.

2. DESARROLLO

Los sensores térmicos basan su funcionamiento en elevar la temperatura aproximadamente a unos 120 °C, dependiendo del fabricante. El aire, que fluye por la canalización, enfría a su paso al sensor térmico. La electrónica del caudalímetro, al detectar el descenso de temperatura del sensor, intenta que éste recupere su temperatura inicial mediante el suministro de una corriente eléctrica. Esta corriente eléctrica será la corriente de referencia para conocer la cantidad que circula.

En los instrumentos térmicos basados en el principio de derivación, solo una parte de la corriente de gas, fluye a través del sensor.

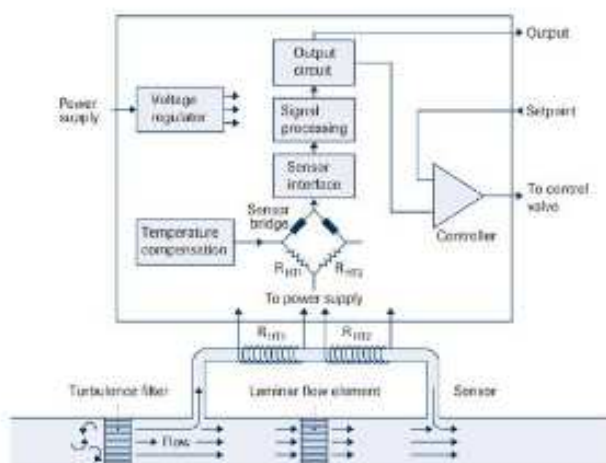


Figura 1. Principio de funcionamiento de un sensor térmico de flujo másico

La corriente de gas a través del sensor se calienta mediante dos calentadores (RHT1 y RHT2). Por consiguiente, la temperatura del tubo se mide en dos puntos (T1 y T2). Sin caudal medido, la diferencia de temperatura entre los dos puntos será cero. Cuando aumenta el flujo, la temperatura en el primer punto de medición (T1) disminuirá, ya que el fluido se lleva el calor. Al mismo tiempo, la temperatura en el segundo punto de medición (T2) aumentará a medida que el fluido le lleve calor. Más flujo resultará en un mayor diferencial de temperatura y este diferencial de temperatura es directamente proporcional al flujo másico.

Eléctricamente, las temperaturas T1 y T2 son de hecho resistencias dependientes de la temperatura RHT1 y RHT2. Las señales medidas en el sensor se amplifican a señales eléctricas. El sensor está montado como una derivación al canal principal, donde un divisor de resistencia al flujo se encarga de la división proporcional del flujo [Bronkhorst, 2021].



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

XV COINI 2022 – Congreso Internacional de Ingeniería Industrial – AACINI – Facultad de Ingeniería UNMDP

Los medidores de flujo másico son uno de los tipos dominantes en el mercado debido a su respuesta más rápida y mejor precisión que otros medidores de flujo. También se pueden miniaturizar y fabricar eficazmente sobre obleas de silicio.

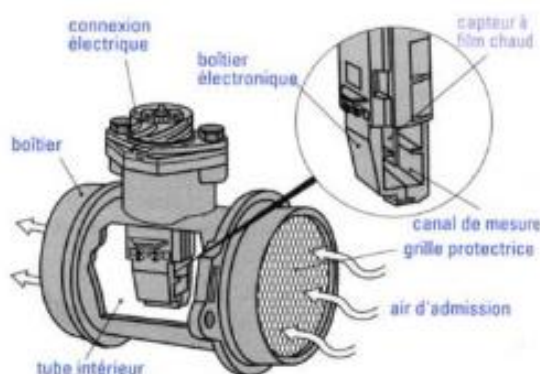


Figura 2. Sensor de flujo másico para gases

La aparición de "micro-electromechanicals systems" (MEMS), ya ha revolucionado el mercado de la electrónica de consumo para sensores de movimiento, presión y otros; y ahora se están adaptando procesos de micromecanizado similares para fabricar sensores de flujo. Las aplicaciones de detección de flujo suelen tener una mezcla alta y un volumen de bajo a medio en comparación. Este análisis se centra sobre la aparición de sensores de flujo másico MEMS de base térmica y de cómo se combinan con las tecnologías de sensores de flujo existentes y más tradicionales.

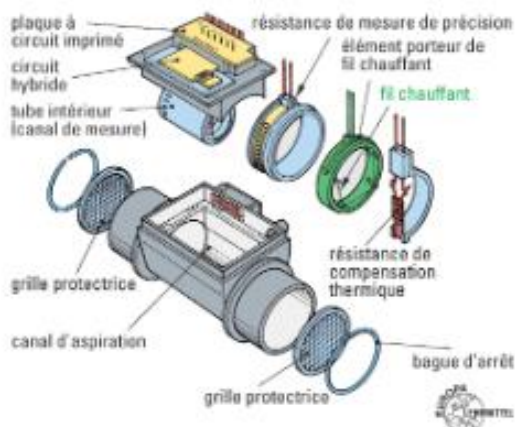


Figura 3. Despiece general de un sensor de flujo másico para gases [CNRFA, 2021]

Por otra parte, los medidores de flujo basados en la presión diferencial laminar utilizan la pérdida de carga creada dentro de un elemento de flujo laminar para medir la tasa de flujo másico de un fluido. Un elemento de flujo laminar convierte el flujo turbulento en flujo laminar, separándolo en una matriz de canales finos y paralelos.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

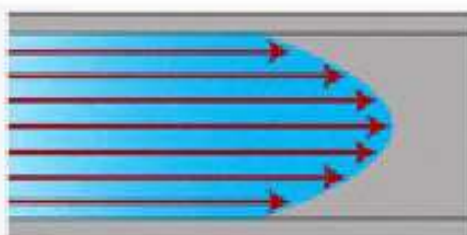


Figura 4. Representación del flujo laminar

La turbulencia afecta los factores de medición de los sistemas de control de flujo y por esta razón se deberán encontrar maneras de disminuir este fenómeno [Ouazzane, 2007]. El dispositivo más utilizado en la industria y en controladores de flujo son los honeycomb o panales, más que nada en los controladores de ultrasonido que requieren un flujo estable para no generar errores en la medición [Brown, 2008]. Los panales se han utilizado con éxito durante muchos años como medio para enderezar y dirigir el flujo de aire o cambiar el flujo turbulento en flujo laminar. Las paredes delgadas de la celda proporcionan una serie de pasajes rectos con un porcentaje máximo de área abierta (95-99%), lo que da como resultado una caída de presión muy baja y una turbulencia y ruido reducidos. Este sistema es altamente recomendable dado a que tiene un rendimiento del 98% y es fácil de manufacturar.



Figura 5. Panel para estabilización de flujos

El panel consiste en reducir la velocidad del fluido y la formación de chorros que tienen el diámetro de los agujeros de este. La sucesiva formación de chorros a través de las pantallas reduce con gran eficacia la turbulencia. Los paneles tienen distintas formas como circulares, cuadrados y hexagonales. El más recomendado en el caso del aire, es el hexagonal debido a que genera la menor caída de presión [Brown, 2003].



Figura 6. Distribución hexagonal

Es importante entender que el fluido recupera su turbulencia luego de pasar por los paneles; pero para que esto ocurra es necesario que se recorra una distancia axial considerable. Este tiempo en



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

XV COINI 2022 – Congreso Internacional de Ingeniería Industrial – AACINI – Facultad de Ingeniería UNMDP

el que la turbulencia es reducida, es en el que se miden sus parámetros con el controlador de flujo. Las ecuaciones que lideran estos sistemas son las siguientes:

Intensidad de Turbulencia (T)

$$T = (u'^2 + v'^2 + w'^2)^{1/2} / U \quad (01)$$

Donde u , v , y w son los componentes de las variaciones de velocidad a través del tubo y U es la velocidad media de flujo.

$$T1/T0 = 1/(1+k)n/2 \quad (02)$$

Esta es la Ecuación (02) de reducción de turbulencia donde k es la pérdida de energía por unidad de volumen por una pantalla y n es el número de pantallas.

$$f = U/\lambda \quad (03)$$

Finalmente, la frecuencia más baja de turbulencia es f , y λ el diámetro de los remolinos producidos por el panel.

Se requieren tres elementos esenciales para diseñar un medidor de flujo de presión diferencial. El elemento primario crea una caída de presión a través del medidor de flujo al introducir una restricción en la tubería, y esta restricción diseñada permite que la ecuación de Bernoulli se utilice para calcular la tasa de flujo. La caída de presión se mide mediante un elemento secundario, un transmisor de presión diferencial, mientras que los elementos terciarios consisten en todo lo demás dentro del sistema, como tuberías de impulso y conectores.

Las placas orificio se utilizan ampliamente en la industria del petróleo y el gas para medir gases, líquidos e incluso fluidos con una pequeña cantidad de segunda fase. Los componentes comunes de un sistema de medición de orificios incluyen el accesorio, la placa y el soporte de la placa. La placa junto con la parte adyacente de la tubería y las conexiones de presión constituyen el elemento principal. Rentable y sencilla, esta tecnología ofrece alta precisión sin calibración y es fácil de usar y solucionar problemas. Los elementos primarios de presión ofrecen muchos diseños y opciones para diversos tamaños de líneas y caudales. Las opciones incluyen placas de orificio estándar y de acondicionamiento, tubos pitot promediados, tubos Venturi, boquillas de flujo, conos y cuñas. Cada opción presenta beneficios, tales como:

- un control de proceso más estricto,
- varias configuraciones de montaje,
- alta precisión,
- fácil instalación,
- bajo costo de mantenimiento,
- pérdida de presión permanente reducida y
- opciones de sensor de temperatura integral para penetraciones de proceso reducidas.



Figura 7. Sensores de Presión Diferencial



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

La diferencia de presión en el flujo es proporcional a la raíz cuadrada de la presión diferencial, lo que hace que la presión sea un componente crítico de los cálculos de flujo de DP.

Otros factores que influyen en el flujo másico incluyen: densidad, viscosidad, temperatura, diámetro de la tubería y tipo de fluido. En muchos procesos industriales, se utilizan numerosos dispositivos de medición y control para garantizar caudales precisos de líquido, gas y vapor para aumentar la seguridad, la productividad y la rentabilidad

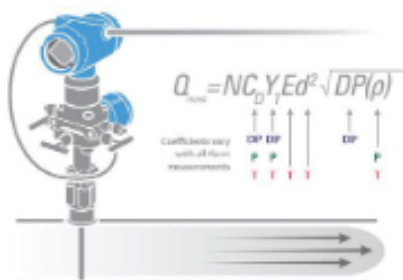


Figura 8. Relación entre el caudal másico y la diferencia de presión

Para obtener el mejor rendimiento de su clase, los transmisores miden la presión estática, la presión diferencial y la temperatura y se pueden diseñar para calcular el flujo.

Los medidores de flujo pueden proporcionar salidas variables de proceso, así como flujo másico, volumétrico o de energía calculado en tiempo real. La salida de flujo calculada proporciona información precisa y confiable rápidamente para mejorar el rendimiento del proceso [Emerson, 2021].

Como se ya explicó con anterioridad, además de crear un diferencial de presión, el cuerpo que obstruye en un flujo, genera vórtices cuya frecuencia es proporcional a la velocidad del fluido

$$f = \frac{SV}{d_v} \quad (04)$$

Donde S es el número de Strouhal, V la velocidad del fluido, d_v el diámetro del cuerpo que obstruye (en este caso se considera un sensor tipo pitot anubar) y f es la frecuencia de los vórtices. Luego, la Ecuación (05) representa al flujo volumétrico.

$$Q_v = F_{vz} \cdot K \cdot D^2 \cdot Y \cdot F_{az} \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho_f} \cdot h_w} \quad (05)$$

Donde Q_v es el flujo volumétrico, F_{vz} y F_{az} son los factores de conversión de unidades, K es el coeficiente primario del flujo, D el diámetro, Y el coeficiente de compresibilidad, ρ_f la densidad del fluido y h_w la presión diferencial.

$$Q_v = V \cdot A \quad (06)$$

Ya que el flujo es igual al área por la velocidad, despejando la velocidad de la Ecuación (05) (flujo volumétrico) y de la Ecuación (04) (frecuencia), y además considerando el área como el diámetro al cuadrado por $\pi/4$ y nos termina queda:

$$Q_v = \left[\frac{\pi \cdot D^2 \cdot d_v}{4 \cdot S} \right] \cdot (f) \quad (07)$$

Donde el flujo volumétrico depende de la frecuencia, el diámetro, el número de Strouhal y el diámetro del cuerpo. También es posible además de calcular el flujo volumétrico, calcular el flujo másico:



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

$$Q_m = \rho_f \cdot V \cdot A \quad (08)$$

Esta es la reconocida ecuación de flujo másico, la que es posible relacionar con la amplitud de la señal generada por el vortex mediante la densidad del fluido:

$$Amp_v = c \cdot \rho_f \cdot V^2 \quad (09)$$

Si se quiere obtener ahora la ecuación que nos describa el flujo másico, en función de estas variables, se obtendrá la siguiente expresión:

$$Q_m = \left(\frac{Amp_v}{f} \right) \cdot \left[\frac{A \cdot S}{C \cdot d_p} \right] \quad (10)$$

Donde Amp_v es la amplitud de la señal generada por el vortex, C es una constante de proporcionalidad y el resto de las variables están definidas anteriormente [Strom, 2015].

3. RESULTADOS

Los sensores térmicos de flujo másico miden directamente el flujo másico de gases y líquidos. La corriente eléctrica necesaria para mantener la temperatura en el sensor genera un diferencial con una relación directa con el flujo másico. Las mediciones volumétricas se ven afectadas por todas las condiciones ambientales y del proceso que influyen en el volumen de la unidad o afectan indirectamente la caída de presión, mientras que la medición del flujo másico no se ve afectada por cambios en la viscosidad, densidad, temperatura o presión. Dado que a medida que el fluido circula, y a que el sensor que está precalentado es enfriado, a mayor velocidad del fluido mayor va a ser la desviación de la linealidad. Estos caudalímetros funcionan independientemente de la presión, densidad y viscosidad.

Los caudalímetros de presión diferencial utilizan la ecuación de Bernoulli para medir el flujo de fluido en una tubería, introducen una restricción en la tubería que crea una caída de presión a través del caudalímetro. Cuando aumenta el flujo, se crea más caída de presión, la tubería de impulso encamina las presiones aguas arriba, y aguas abajo del caudalímetro al transmisor, que mide la presión diferencial para determinar el flujo de fluido.

4. CONCLUSIONES

Los sensores térmicos requieren secciones de entrada y salida. La condensación de humedad en gases saturados en el detector de temperatura hará que el termómetro tenga una lectura baja. Además, el revestimiento y la acumulación de material en el sensor inhibirán la transferencia de calor. Esto hace que el medidor haga una lectura por lo bajo. Las otras fuentes de error en las lecturas del medidor incluyen la variación en el calor específico causado por cambios en la colocación del gas. La función de los datos de salida no es lineal. Utilizan dos sensores de temperatura, uno que mide la temperatura del fluido y otro al que está siendo calentado. En lo que se refiere a hidrógeno, ofrece una mayor precisión, poseen una muy baja caída de presión, no requieren compensación de presión y temperatura, son pequeños, robustos, sin partes móviles, con bajo tiempo de respuesta y, fácilmente esterilizables.

La ventaja de los caudalímetros que funcionan por diferencial de presión reside en el bajo costo. Se pueden optimizar múltiples versiones para diferentes fluidos y objetivos. Están aprobadas para la transferencia de custodia (aunque se usa cada vez menos para esto). Es una forma bien entendida de medir el flujo y se puede combinar con sensores de temperatura / presión para proporcionar un flujo másico de vapor y otros gases.

Los aspectos negativos son que la capacidad de rango no es buena debido a una señal de presión diferencial no lineal (excepto los elementos de flujo laminar). La precisión no es la mejor y puede deteriorarse con el desgaste y la obstrucción.

Asimismo, es de destacar que, dado que el hidrógeno es una molécula tan pequeña, tiene una gran facilidad para penetrar la estructura de los aceros más utilizados, provocando la fragilización del material y la consecuente pérdida de ductilidad. Por esto es que se recomienda el uso de acero inoxidable austenítico (304L y 316L), o aleaciones de Níquel-Cromo-Molibdeno (Alloy C22). De



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

XV COINI 2022 – Congreso Internacional de Ingeniería Industrial – AACINI – Facultad de Ingeniería UNLaM

todos modos, se recomienda cambiar tanto el sensor como las cañerías, luego de una cierta cantidad de horas de operación.

Cabe destacar que para el sistema de almacenaje de hidrógeno se utilizan otros materiales, incluso hasta tubos estándar de acero comercial, ya que llevan controles periódicos respecto a su integridad. En este caso ocurre lo mismo que con los térmicos. Por eso resultará necesario conocer el diámetro nominal aproximado a utilizar, para poder elegir un equipo, y de esta forma se considerará el no alcanzar la velocidad de detonación.

5. BIBLIOGRAFIA

Valentine, W., & Pewsey, S. A. (2016). New Class of MFCs with Embedded Flow Diagnostics. Obtenido de Brooks Instrument, Hatfield, PA.

Bronkhorst. High-Tech, B.V. (2021). Obtenido de Service & Support: <https://www.bronkhorst.com/int/service-support-1/technologies/thermal-mass-flow-sensor-for-gases-bypass-principle/>.

CNRFA (Centre national de ressources pour la formation automobile). (2021). Obtenido de Débitmètre d'air: <http://www.educauto.org/ressources-mediatheque/debitmetre-dair>.

Ouazzane, K., & Benhadj, R. (2007). An experimental investigation and design of flow-conditioning devices for orifice metering. ARCHIVE Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C. Journal of Mechanical Engineering Science.

Brown, G., Estrada, H., Augenstein, D. R., & Bergstrom, K. (2008). Patente n° US20090151472A1. Estados Unidos.

Brown, G., Estrada, H., Augenstein, D. R., & Bergstrom, K. (2003). Patente n° CA2707398C. Canadá.

Emerson. Automation/Measurement-instrumentation/Pressure-measurement. (2021). Obtenido de About Differential Pressure (DP) Flow Measurement: <https://www.emerson.com/en-us/automation/measurement-instrumentation/pressure-measurement/about-differential-pressure-dp-flow-measurement>.

Strom, G. R., Hedtke, R. C., & Wiklund, D. E. (2015). Patente n° US 9,157,775 B2. Estados Unidos.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

COINI 2022

CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DESARROLLO DE CAUDALÍMETROS PARA HIDRÓGENO

JUAREZ, M; VAZQUEZ, J; JAIMES SORIA, L.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA MATANZA

EXPOSITORES

VirtualEi

COINI 2022

En la Argentina, a bien poco de la ley de 2006 que fomenta el desarrollo y el uso del hidrógeno como fuente de energía, la implementación de esta tecnología ha tomado mayor impulso gracias a la creación de la nueva "Ley de Promoción de la Movilidad Sostenible", que tiene el objetivo de establecer un marco legal y económico a nivel nacional.

Para cumplir con la iniciativa de contar con energía 100% renovable se debe lograr un mayor desarrollo de las celdas de combustible, que deben ser más competitivas frente a las soluciones tradicionales de generación de energía, como las molinos de combustión interna.

Antecedentes

VirtualEi

COINI 2022

Se utilizan para medir y controlar el flujo de gases en un proceso.

El caudal general es una consideración importante.

Algunos procesos requieren caudales muy pequeños, generalmente especificados en estándares cubicos estándar por minuto.

Controlador de Flujo Másico

VirtualEi

COINI 2022

Los medidores de flujo másico son uno de los tipos dominantes en el mercado debido a su respuesta más rápida y mayor precisión que otros medidores de flujo.

También se pueden miniaturizar y fabricar eficientemente sobre obleas de silicio.

VirtualEi

COINI 2022

Paneles para Estabilización de Flujos

Los paneles se han utilizado con éxito durante muchos años como medio para ordenar y dirigir el flujo de aire o cambiar el flujo turbulento en flujo laminar.

Las perforaciones de la celda proporcionan una serie de pasajes rectos con un porcentaje máximo de área abierta (90-99%), lo que da como resultado una salida de presión muy baja y una turbulencia y ruido reducidos.

VirtualEi

COINI 2022

CONCLUSIONES

- ✓ El control del flujo de gases en las celdas de combustible es uno de los puntos críticos para lograr una alta eficiencia en la conversión de hidrógeno a energía eléctrica.
- ✓ La ventaja de los caudalímetros que funcionan por diferencial de presión reside en el bajo costo.
- ✓ Se destaca que, dado que el hidrógeno es una molécula tan pequeña, tiene una gran facilidad para penetrar la estructura de las aletas más utilizadas, provocando la fragilización del material y la consiguiente pérdida de ductilidad.
- ✓ Cabe destacar que para el sistema de almacenamiento de hidrógeno se utilizan otros materiales, incluso hasta lúmenes estándar de acero comercial, ya que tienen controlados parámetros respecto a su integridad.

VirtualEi

COINI 2022

MARCELO ADRIÁN JUAREZ

De Licenciado en Administración egresado de la Universidad Nacional de La Matanza. Maestrando Maestría en Gestión Ambiental en Universidad Nacional de La Matanza. Tesis en proceso. También es Doctorado en Ingeniería. Trabaja como Docente e Investigador en Universidad Nacional de La Matanza. Asimismo, se desempeña como Coordinador de la Unidad de Vinculación Tecnológica de la Universidad Nacional de La Matanza.

Cuenta con publicaciones y ponencias en diversos Congresos y jornadas en el área de la gestión medio ambiente y en el desarrollo de competencias emprendedoras tanto en el país como en el exterior y en publicaciones especializadas.

Para más información en mjuarez@unlam.edu.ar - <https://www.linkedin.com/in/marcelojuarez>

VirtualEi

COINI 2022

En lo que respecta a la flexibilidad de los combustibles y utilizar una SOFC puede emplear combustible de hidrógeno, bio-combustible con diferentes composiciones e hidrógeno procedente de fuentes renovables.

La eficiencia en el rendimiento de las SOFC es superior al de las generadores que funcionan con molinos de combustión interna.

Pila de Combustible de Óxido Sólido (SOFC)

VirtualEi

COINI 2022

Principio de Funcionamiento de un Sensor Térmico de Flujo Másico

La corriente de gas a través del sensor se calienta mediante dos calentadores. Por consiguiente, la temperatura del tubo se mide en dos puntos.

Cuando aumenta el flujo, la temperatura en el primer punto de medición disminuye, ya que el fluido se lleva el calor. Al mismo tiempo, la temperatura en el segundo punto de medición aumentará a medida que el fluido lo lleva calor.

VirtualEi

COINI 2022

Medidores de Flujo basados en la Presión Diferencial Laminar

Utilizan la pérdida de carga creada dentro de un elemento de flujo laminar para medir la tasa de flujo másico de un fluido. Un elemento de flujo laminar convierte el flujo turbulento en flujo laminar, aparejándose en una matriz de canales finos y paralelos.

VirtualEi

COINI 2022

RESULTADOS

- ✓ Los sensores térmicos de flujo másico miden directamente el flujo másico de gases y líquidos, al contrario el método necesario para mantener la temperatura en el sensor genera un diferencial con una relación directa con el flujo másico. Estos caudalímetros funcionan independientemente de la presión, densidad y viscosidad.
- ✓ Los caudalímetros de presión diferencial utilizan la

para medir el flujo de fluido en una tubería introduciendo una restricción en la tubería que crea una caída de presión a través del caudalímetro.

VirtualEi

COINI 2022

DATOS DE CONTACTO

JUAREZ, MARCELO ADRIÁN

MAIL: mjuarez@unlam.edu.ar

RRSS: <https://www.linkedin.com/in/marcelojuarez>

VirtualEi



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



XV Congreso Internacional de Ingeniería Industrial y Afines

CERTIFICADO

Marcelo A. Juárez

Ha realizado la exposición del trabajo *Consideraciones generales para el desarrollo de caudalímetros para hidrógeno (Cod. CO22-E 01)* en el marco del XV COINI 2022 que se desarrolló entre el 7 y el 12 de noviembre de 2022. Con el agradecimiento de la Asociación Argentina de Carreras de Ingeniería Industrial y Afines - AACINI, se extiende el presente en la ciudad de Mar del Plata, a los 12 días del mes de noviembre de 2022.





Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLAM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



6° CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA

12° CONGRESO ARGENTINO DE ENSEÑANZA DE INGENIERÍA

“Selección de sensores y actuadores para un controlador de flujo másico de hidrógeno”

Soria, Leandro; Zrazdnik, Ignacio; Spano, Rodrigo; Brengi, Diego; Martínez, Alejandro
Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Universidad Nacional de la Matanza, Argentina.
ljaimesoria@unlam.edu.ar

Resumen

El presente trabajo detalla un análisis técnico-económico de los componentes aptos para ser usados con hidrógeno y circuitos electrónicos necesarios para la implementación de un controlador de flujo para dicho gas y las conclusiones sobre el estudio de los métodos de medición de flujo realizado. Este estudio está basado en los requerimientos planteados por uno de los centros de investigación argentinos que se encuentra estudiando nuevos materiales para celdas de combustibles de óxido sólido (SOFC por sus siglas en inglés). Si bien las conclusiones son parciales, ya que el análisis de factibilidad requiere de un análisis más profundo de los aspectos mecánicos y certificaciones necesarias, se puede afirmar que a nivel electrónico es viable el desarrollo local de un controlador de flujo másico para hidrógeno.

Abstract

This paper details a technical-economic analysis of the components suitable for hydrogen and electronic circuits necessary for the implementation of the mentioned mass flow controller for this gas and the conclusions on the study of flow measurement methods. This research is based on the requirements of one of the Argentine research centers that is studying new materials for Solid oxide fuel cell (SOFCs). Although the conclusions are partial, since the feasibility analysis requires deeper mechanical analysis and certifications, it could be stated that the local development of a mass flow controller for hydrogen is feasible at the electronic level.

Palabras clave: Hidrógeno, Controlador de flujo másico, Sensores, Electroválvulas.

INTRODUCCIÓN

Las consecuencias del cambio climático son numerosas, entre ellas: aumentos de la temperatura y del nivel del océano, sequías, y el impacto social-económico que estos cambios implican. Actualmente, la energía mundial proviene en un 82% de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) representando el mayor contribuidor a la producción de gases de efecto invernadero. [1]

Por lo tanto, la generación de energía a través de fuentes renovables y el hidrógeno como forma de almacenamiento de los excedentes generados son fundamentales para reducir las emisiones de dióxido de carbono, principal causante del efecto invernadero. Dicho hidrógeno, puede ser transformado en energía eléctrica nuevamente a través de celdas de combustible de óxido sólido, tecnología que está siendo estudiada en la Argentina por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

Un elemento fundamental en el proceso de uso del hidrógeno son los controladores de flujo másico, ya que la generación de energía está asociada a la cantidad de moléculas de gas que actúan y no tanto así el volumen que ocupan.

En función de esto, en la Universidad Nacional de la Matanza se formó un grupo interdisciplinario (mecánicos y electrónicos) para realizar el análisis de la factibilidad de desarrollar un controlador de flujo másico para el hidrógeno.

Los controladores de flujo másico utilizados para celdas de combustibles de óxido sólido (SOFC) tienen un costo elevado para el mercado local, según referencia de la CNEA para el controlador de una celda de baja potencia. Como consecuencia de estos costos, y previendo la demanda masiva de estos controladores para la implementación de la economía de hidrógeno, surgió la necesidad de analizar la factibilidad del desarrollo de dichos controladores en la Argentina.

DESARROLLO

Tal como se mencionó, un controlador de flujo másico es fundamental en uso del hidrógeno de manera eficiente. En el caso puntual de la generación de energía eléctrica, todo tipo de celda de combustible requerirá realizar una precisa inyección de gases (hidrógeno y oxígeno en nuestro caso) para producir las reacciones químicas y transformar la energía química con alta eficiencia. Estos controladores deberán cumplir una serie de características acordes a la



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



6° CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA

12° CONGRESO ARGENTINO DE ENSEÑANZA DE INGENIERÍA

potencia que se busque implementar, ya que las dimensiones de los sensores, caños y actuadores cambiarán en función de esta.

La definición de las características del controlador, fue realizada sobre la base de una celda de combustible de 5 kW. La potencia de este se decidió en base a recomendaciones de la CNEA y a la implementación de la tecnología SOFC que se está llevando adelante en la provincia Santa Fe.[2] A continuación, se detalla las características definidas:

- Presión máxima: 4 Bares
- Temperatura de funcionamiento: 25°C
- Tiempo de establecimiento: 60 segundos.
- Frecuencia de muestreo: 1 Hz.
- Flujo de gases:
 - Oxígeno: 600 L/min.
 - Hidrógeno: 150-200 L/min.
- Precisión: 2% FS.
- Comunicación: RS232/RS485

A partir de este relevamiento, se realizó un análisis de mercado de distintos controladores comerciales que cumplen con dichas demandas y los costos de compra local, con el objetivo de validar lo detallado por la CNEA para este rango de potencias. Luego, se analizaron las partes que componen un controlador de flujo másico, se investigaron los diferentes métodos de medición de flujo másico a fin de seleccionar uno (o más) sobre el cual se debería implementar el controlador, se evaluaron las consideraciones para el manejo de hidrógeno, se seleccionaron sensores adecuados a los métodos previamente elegidos y se seleccionó el actuador que permita regular el caudal. Por último, se analizaron los circuitos asociados a la etapa de control y sus costos.

Análisis de Mercado

Se analizaron los dispositivos que ofrecen distintas marcas, con el fin de comparar precios y características. En particular, se buscaron distribuidores locales, ya que los mismos incluyen los costos de importación y envío. Este relevamiento permitió establecer una cota en los costos para tomar como referencia. El precio de un controlador de flujo másico para la aplicación en una celda de 5kW, cumpliendo todas las condiciones iniciales requeridas, ronda entre U\$S 2000 y U\$S 2500 en el exterior y entre U\$S 5000 y U\$S 7000+ (impuestos) en forma local. Este análisis validó lo detallado por la CNEA y nos habilitó a continuar con el trabajo planteado.

Despiece de un controlador de flujo

En la figura 1 se pueden observar las diferentes partes de un controlador de flujo. El gas ingresa al sistema y pasa a través de un panel, que tienen como función disminuir la velocidad del fluido y la formación de chorros, de forma de reducir la turbulencia y formar un flujo laminar. Aspectos fundamentales para la correcta medición del flujo.

A continuación, el gas interactúa con el sensor que genera una señal proporcional al flujo circulante. La misma es medida por un microcontrolador que, sobre la base de esta y de algoritmos programados, generan las señales de control para la válvula ubicada a continuación del sensor. La válvula se encarga de garantizar que a la salida del controlador se encuentre el flujo requerido. En este documento nos centraremos en las partes electrónicas que componen el sensor de flujo, el control y la válvula solenoide.



Figura 1. Diagrama en bloques del controlador de flujo



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



6° CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA

12° CONGRESO ARGENTINO DE ENSEÑANZA DE INGENIERÍA

Métodos de medición de flujo

El estudio de los diferentes métodos permitió vislumbrar las ventajas e inconvenientes que presenta cada sistema para su desarrollo local. Las conclusiones de este análisis fueron que los sistemas más complejos para su fabricación y control involucran los métodos de Coriolis, la medición por ultrasonido y el método Vortex. Y como contraparte, tenemos los métodos térmicos y de presión diferencial, que van a ser comparados en su mecánica y electrónica.

El método de Coriolis es uno de los que presenta mayor precisión y repetitividad, pero se vuelve muy complejo y difícil de implementar desde el punto de vista mecánico, ya que se necesitan dos tubos de características idénticas para que oscilen simétricamente. Así mismo, la electrónica requerida para generar la oscilación y el procesamiento de las señales obtenidas presentan un alto nivel de dificultad.

De forma similar, el método de ultrasonido y el método Vortex implican un desarrollo mecánico sofisticado para su correcta implementación, métodos complejos de calibración y la necesidad de contar con alta presión para su funcionamiento, lo que no se condice con los requerimientos propuestos inicialmente.

Por otra parte, resultaron muy interesantes los métodos térmicos y de presión diferencial, posicionándose dentro de los más viables para una implementación y desarrollo. La principal diferencia radica en que el método térmico, en forma general, implica un elemento calefactor con su electrónica de control y sensores de temperatura para medir la variación térmica causada por el flujo circulante, además requiere un sistema mecánico muy básico. En cambio, el método de presión diferencial no requiere de elementos electrónicos adicionales, pero se agrega una complejidad mecánica para generar la diferencia de presión. En los dos sistemas, el procesamiento de datos y los algoritmos tienen una dificultad baja y similar ya que sus expresiones matemáticas son simples de resolver.[3]

Ambos métodos, térmicos y de presión diferencial, muestran características de precisión similares y una complejidad leve, lo que se puede ver reflejado en costos menores en comparación con los otros métodos de medición. Sin embargo, se observó que el método térmico se destaca por ser más simple la mecánica requerida para su implementación. Además, los sensores térmicos tienen una amplia variedad de oferta en el mercado local, así como los bajos costos de estos en comparación con los sensores de presión. La relación costo-beneficio se inclina a favor del sensor térmico, que, si bien presenta menor precisión y

repetitividad que otros métodos más complejos, se complementa con la posibilidad de tener un controlador económico y con una respuesta más que aceptable acorde a las especificaciones buscadas.

Funcionamiento de medidores de flujo térmicos

Este método opera introduciendo una cantidad conocida de calor en la corriente de gas que fluye y midiendo un cambio de temperatura asociado, o manteniendo una sonda a una temperatura constante y midiendo la energía requerida para hacerlo.

Como ejemplo, los componentes de un medidor de flujo másico térmico básico incluyen dos sensores de temperatura y un calentador eléctrico entre ellos, ver figura 2. Un calentador eléctrico agrega una cantidad fija de calor (q). A medida que el fluido del proceso fluye a través de la tubería, los sensores miden el aumento de temperatura, mientras que la cantidad de calor eléctrico introducido se mantiene constante.

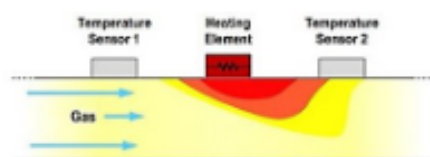


Figura 2. Principio de funcionamiento de sensor de flujo por principio térmico [4]

El flujo másico (m) se calcula sobre la base de la diferencia de temperatura medida ($T_2 - T_1$), el coeficiente del medidor (K), la tasa de calor eléctrico (q) y el calor específico del fluido (C_p), como se observa:

$$m = \frac{k \cdot q}{C_p (T_2 - T_1)}$$

Por otra parte, podemos crear una diferencia de temperatura constante (ΔT) entre los sensores. Entonces, el caudal y la energía calórica requerida para mantener este ΔT constante son proporcionales y, por lo tanto, el caudal másico real se calcula midiendo la potencia variable requerida para mantener esta diferencia de temperatura constante a medida que el gas fluye a través del sensor. [4]

Consideración para el manejo de hidrógeno

Resulta imprescindible comenzar analizando las propiedades del hidrógeno, ya que su interacción con los metales puede causar fallas mecánicas debido a dos



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



6° CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA

12° CONGRESO ARGENTINO DE ENSEÑANZA DE INGENIERÍA

fenómenos: difusión del hidrógeno y fragilización de la estructura atómica del metal.

El tamaño de la molécula de hidrógeno en ciertas condiciones de presión y temperatura pueden causar daños por difusión en metales. Esto se debe a que las moléculas de hidrógeno se disocian en la superficie del metal, luego los átomos de hidrógeno pierden electrones y los iones subsiguientes se difunden a través del metal cambiando la resistencia del material. Esto da como resultado grietas en el material. Entonces los metales comienzan a tener fugas o se destruyen por completo.

Por otro lado, la presencia y acumulación de átomos de hidrógeno en un metal sólido, da como resultado la reducción de su ductilidad al disminuir la energía de cohesión y aumentando consecuentemente la probabilidad de sufrir fracturas por fragilidad. Entonces, cuando se aplican tensiones de tracción a un componente fragilizado por hidrógeno, puede fallar prematuramente de maneras inesperadas. No se requiere una carga aplicada externamente ya que las tensiones de tracción pueden deberse a tensiones residuales en el propio material. Las tensiones umbral que provocan el agrietamiento suelen estar por debajo del límite elástico del material.

Los aceros inoxidables tipo 316 y 316L son aleaciones austeníticas metaestables que poseen molibdeno para mejorar su resistencia a la corrosión y la resistencia a altas temperaturas. Debido a su alto contenido de níquel y molibdeno, esta familia de aleaciones tiene una alta energía de falla de apilamiento; una característica que promueve el deslizamiento cruzado y generalmente se asocia con una compatibilidad superior con el hidrógeno. De hecho, los datos sugieren que el acero inoxidable 316 es más resistente a la fractura asistida por hidrógeno que la mayoría de los otros aceros inoxidables austeníticos y que esta resistencia parece mejorar con la concentración de níquel (dentro de los límites de composición estándar). [5]

Debido a esta característica del hidrógeno, tanto los sensores como el actuador que se elija deben estar certificados para el uso con hidrógeno.

Sensores seleccionados

La medición del flujo másico por método térmico se puede realizar a través de dos técnicas: medición por bypass y medición directa. En consecuencia, de esto, para el análisis de factibilidad que se está realizando se evaluaron sensores para ambas técnicas.

La primera técnica consiste en derivar una parte del flujo laminar del gas a través de un bypass, medir este y determinar el total en función del medido y aspectos

mecánicos del bypass. Esta técnica permite utilizar sensores más pequeños y económicos. En cuanto a la técnica de medición directa de flujo, requiere sensores con mayor rango de medición y con un costo más elevado. Pero la mecánica se simplifica a un caño con un orificio para insertar el sensor.

Para la medición con bypass se contempló para el estudio el sensor de flujo FS5001L [6], figura 3. El cual, es un sensor de flujo basado en tecnología MEMS, apto para uso con hidrógeno. Las principales características del sensor son:

- Flujo de trabajo: 0 – 6 lpm
- Presión máxima: 5 bar
- Precisión: $\pm (2.0 \pm 0.5 \text{ F.S.}) \%$
- Tiempo de respuesta: $< 5 \text{ ms}$
- Temperatura de trabajo: $-10 \text{ to } +55^\circ\text{C}$
- Comunicación: Digital I2C
- Tensión de alimentación: 8 – 24 V
- Corriente de trabajo: 50 mA
- Costo local estimado: USD 350+ (impuestos)



Figura 3. Sensor de flujo para medición con bypass [6]

Desde el punto de vista electrónico, ofrece una tensión de alimentación estándar, y la posibilidad de implementar una comunicación analógica o digital. Como desventaja, nos encontramos con que se requiere una complejidad mecánica adicional ya que se debe diseñar y dimensionar una estructura metálica con una derivación en bypass.

Para la medición directa del gas se contempló para el estudio el sensor ESRF-HF-600NL-01-02-01-01, figura 4, de la marca "ES Systems". [7] El mismo está compuesto por un sensor de flujo MEMS, que utiliza el principio de anemometría térmica, y una electrónica de lectura dentro de una carcasa pequeña hecha de acero inoxidable. Además, incluye un circuito para compensación térmica que mejora la precisión de las mediciones. El sistema estándar proporciona salida de señal analógica, con excelente repetitividad e histéresis combinadas con buena resolución.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



6° CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA

12° CONGRESO ARGENTINO DE ENSEÑANZA DE INGENIERÍA



Figura 4. Sensor de flujo para medición directa [7]

Las principales características del sensor son:

- Flujo de trabajo: 0 – 600 lpm
- Presión máxima: 11 Bares
- Precisión: $\pm 2\% \text{ RD} + 0.3\% \text{ F.S}$
- Tiempo de respuesta: $< 100 \text{ ms}$
- Temperatura de trabajo: $-40 \text{ to } +85^\circ\text{C}$
- Comunicación: 4 – 20 mA
- Tensión de alimentación: 14– 32 V
- Corriente de trabajo: 60 mA
- Costo local estimado: USD 600+(impuesto)

Selección del actuador

En función de las especificaciones definidas para el controlador de flujo máxico determinado, se definió que la electroválvula debe ser un solenoide. Este tipo de válvulas se utilizan generalmente para controlar caudal con elevada precisión ya que ofrecen una conmutación rápida y segura, alta confiabilidad, larga vida útil, buena compatibilidad media de los materiales utilizados, baja potencia de control y diseño compacto.

Las válvulas solenoides se clasifican por sus características relativas al tipo de alimentación eléctrica que utilizan (corriente AC o DC), la fuerza del campo magnético que generan, el mecanismo usado para regular el flujo y el tipo y características del fluido admitidos. Los mecanismos varían desde actuadores de acción lineal de tipo émbolo hasta actuadores de armadura pivotante y basculantes.

La electroválvula contemplada para el estudio fue la Tipo 2875 de Burkert, figura 5, debido a la posibilidad de uso con el gas hidrógeno.[8] Además, esta válvula cuenta con un asiento elastómero que permite un cierre hermético hasta la presión especificada. Debido a las características mecánicas del émbolo de baja fricción, permite un control de alta precisión del caudal. Las características de la electroválvula son las siguientes:

- Flujo máximo: 600 lpm
- Presión máxima: 25 Bares
- Tiempo de respuesta: $< 25 \text{ ms}$
- Temperatura de trabajo: $-10 \text{ to } +90^\circ\text{C}$
- Tensión de alimentación: 24 VDC
- Materiales: Latón, acero inoxidable
- Costo local estimado: USD 1200+(impuesto)



Figura 5. Electroválvula solenoide para control de hidrógeno.[8]

En cuanto a la electrónica de control que se encarga de convertir el set-point analógico, en la señal de salida modulada por ancho de pulso que se requiere para este tipo de válvulas se consideró la topología de control con transistores de free-wheeling porque implica una lógica simple y tiene un número bajo de componentes. El esquema del circuito se muestra en la figura 6. Su lógica de control consiste en la conmutación de los transistores tipo MOSFET para transaccionar las diferentes fases de control de la válvula: Boost, peak, bypass y hold.

Cuando se recibe una señal de referencia, ambos MOSFET se encienden para garantizar el aumento máximo de corriente en la fase “Boost”. Se permite que la corriente alcance valores altos en esta etapa, ya que se proporcionará el impulso inicial para que la armadura comience a desplazarse. Luego viene la fase “peak” que corresponde con el tiempo suficiente para que la armadura tome su posición final, la corriente se mantenga a un valor alto determinado, y el MOSFET superior se conmuta para controlar la corriente alrededor de este valor de referencia. Cuando se enciende el MOSFET superior, la tensión aplicada es igual a la de la fuente; cuando este MOSFET está apagado, la corriente circula a través del MOSFET inferior y el transistor inferior siendo una caída de tensión muy baja. Luego, la corriente se reduce escalonadamente durante la fase “Bypass” hasta alcanzar la corriente “hold”. La tasa de disminución de la corriente depende de la tensión inversa aplicada al inductor en esta fase. Esta última corriente se establece en un valor suficiente para mantener la posición deseada. [9]



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



6° CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA

12° CONGRESO ARGENTINO DE ENSEÑANZA DE INGENIERÍA

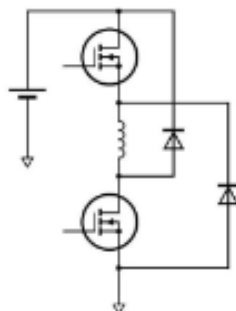


Figura 6 - Esquema del controlador con MOSFET

Por lo tanto, la electrónica asociada al control de la electroválvula y la lectura del sensor no representa un gran costo en componentes. Esta electrónica tiene un costo estimado de 30 dólares más impuestos.

CONCLUSIONES

Si bien las conclusiones son parciales, ya que el análisis de factibilidad requiere de un análisis más profundo de los aspectos mecánicos y certificaciones necesarias, se puede afirmar que a nivel electrónico es viable el desarrollo local de un controlador de flujo másico para hidrógeno.

Esta conclusión está fundamentada en que, en función de los posibles sensores, la electroválvula y los circuitos electrónicos seleccionados tienen un costo local, más impuestos, de aproximadamente U\$S 1580 para el sistema con bypass y de U\$S 1830 para el sistema de medición directa, lo cual representa un 30% del costo promedio de un controlador de flujo másico importado en el mercado local. Siendo este un porcentaje razonable ya que estos costos podrían reducirse ampliamente si se produjera grandes cantidades de estos, situación que es probable si sucede una gran aceptación de la economía de hidrógeno en Argentina.

Los siguientes pasos son incluir los costos estimados de la fabricación local de la parte mecánica, para la cual se están finalizando los planos, y definir y estimar los costos asociados a la certificación del controlador.

REFERENCIAS

- [1] bp Statistical Review of World Energy. (2022). <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>
- [2] Santa Fe acordó el desarrollo de celdas de etanol para generar electricidad. (2019). Recuperado de: https://www.clarin.com/rural/santa-fe-acordo-desarrollo-celdas-etanol-generar-electricidad_0_4gTiapqiA.html
- [3] Flow measurement requirements for low carbon fuels (hydrogen). (2020). Recuperado de: https://www.instm.org/_userfiles/pages//groupfiles/flow_measurement/Reports/flow_measurement_requirements_for_lowcarbon_fuels_hydrogen_final_report_v2.pdf
- [4] Thermal Mass Flow Sensors for Gas and Liquid Applications. (2022). Retrieved from <https://www.renesas.com/us/en/document/whp/whitepaper-mems-mass-flow-sensor?language=en>
- [5] Øvland, S. and Hansen, R.S. Materials considerations in hydrogen production. Artículo, Hydro Oil & Energy, Research Centre Porsgrunn, N-3908 Porsgrunn, Norway.
- [6] MEMS Mass flow sensor (2021). Recuperado de: <https://www.servoflo.com/images/PDF/fs5001.pdf>
- [7] Datasheet ESRF-HF (2021). Recuperado de: https://esenssys.com/es/en/new/wp-content/uploads/2021/04/DS_ESRF-HF.pdf
- [8] Bürkert Fluid Control Systems. (2022). Recuperado de: <https://www.burkert.com/en/type/2875>
- [9] Texas Instrument, Using Motor Drivers to Drive Solenoids, application note (2019). Recuperado de: https://www.ti.com/lit/an/slvae59a/slvae59a.pdf?ts=1657465376792&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



Introducción

Los controladores de flujo másico utilizados para celdas de combustibles de óxido sólido (SOFC) tienen un costo elevado para el mercado local

Área Temática:
Título del trabajo:
Autores:
Número del Trabajo:

Objetivo

Como consecuencia de estos costos, y previendo la demanda masiva de estos controladores para la implementación de la economía de hidrógeno, surgió la necesidad de analizar la factibilidad del desarrollo de dichos controladores en la Argentina.

Material y Métodos

- La definición de las características del controlador fue realizada sobre la base de una celda de combustible de 5 kW.
- Se analizaron los dispositivos que ofrecen distintas marcas, con el fin de comparar precios y características.
- Se analizaron las partes que componen un controlador de flujo másico, se investigaron los diferentes métodos de medición.

Resultados

Se puede afirmar que a nivel electrónico es viable el desarrollo local de un controlador de flujo másico para hidrógeno. En función de los sensores, la electroválvula y los circuitos electrónicos seleccionados tienen un costo local, más impuestos, de aproximadamente US\$ 1700 promedio, según sea medición directa o bypass. Lo cual representa un 30% del costo promedio de un controlador de flujo másico local.

Discusión y Conclusiones

La producción local tendría un costo financieramente factible, ya que estos costos podrían reducirse ampliamente si se produjera grandes cantidades de estos, situación que es probable si sucede una gran aceptación de la economía de hidrógeno en Argentina. Los siguientes pasos son incluir los costos estimados de la fabricación local de la parte mecánica, para la cual se están finalizando los planos, y definir y estimar los costos asociados a la certificación del controlador.

Bibliografía

Statistical Review of World Energy (2022). Recuperado de: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>



6° CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA
12° CONGRESO ARGENTINO DE ENSEÑANZA DE INGENIERÍA

Se certifica que: **Leandro Héctor Jaimes Soria**, ha realizado la **Exposición** del trabajo titulado: **SELECCIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES PARA UN CONTROLADOR DE FLUJO MÁSICO DE HIDRÓGENO**, en el **6° Congreso Argentino de Ingeniería y el 12° Congreso Argentino de Enseñanza de Ingeniería**, realizado los días 7, 8 y 9 de septiembre de 2022, en las ciudades de Resistencia (Chaco) y Corrientes (Capital), y organizado por el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI).
En prueba de ello se emite el presente certificado, a los nueve días del mes de septiembre de 2022.


Martina Perduca
Vicepresidente 6° CADI 12° CAEDI


José Leandro Basterra
Presidente 6° CADI 12° CAEDI


Nestor Braidot
Presidente CONFEDI





Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

• Anexo II



UNLaM - SECyT

Programa PROINCE

FI-013

FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE ALUMNOS INTEGRANTES DE EQUIPOS DE INVESTIGACIÓN

Unidad Académica: DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA E INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS

Código: C2-ING-079

Título del Proyecto: Estudio De Factibilidad para El Desarrollo De Un Sistema mecánico Y De

Control De Flujo De Gases Para Celdas De Combustible

Director del Proyecto: FAUROUX, Luis Enrique

Fecha de inicio: 01/01/2021

Fecha de finalización: 31/12/2022

1. Datos del alumno

Apellido y Nombre: Spano, Rodrigo Fernando

DNI: 40395630

Unidad Académica: Depto. de Ingeniería e Invest. Tecnológicas

Carrera que cursa: Ingeniería en Electrónica

Período evaluado: 2022

2. Dictamen de evaluación de desempeño del alumno:

Colocar una cruz donde corresponda

2.1 Satisfactorio: X

2.1 No satisfactorio:

Fundamentos del dictamen:

Realizo las tareas asignadas con responsabilidad. Buena predisposición para aceptar recomendaciones y correcciones. Realizo presentación oral de forma fluida y convincente en Conversatorio Proyectos de investigación en gestión medioambiental 2022.

.....
.....
.....

3. Propuesta de continuidad en el proyecto (si corresponde según duración estimada)

Colocar una cruz donde corresponda

3.1 Continuar en el presente proyecto:

3.2 No continuar en el presente proyecto: X

San Justo, 1 de febrero de 2023

Mg. Fauroux, Luis E.

.....
Lugar y fecha

.....
Firma del Director

.....
Aclaración de firma



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



UNLaM - SECyT

Programa CyTMA2

FC-013

FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE ALUMNOS INTEGRANTES DE EQUIPOS DE INVESTIGACIÓN

Unidad Académica: Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas DIIT

Código: C2-ING-079

Título del Proyecto: *Estudio De Factibilidad para El Desarrollo De Un Sistema mecánico Y De Control De Flujo De Gases Para Celdas De Combustible*

Director del Proyecto: Fauroux, Luis E.

Fecha de inicio: 1/1/2021

Fecha de finalización: 31/12/2022

1. Datos del alumno

Apellido y Nombre: Kowalski, Franco A.

DNI: 41893248

Unidad Académica: DIIT

Carrera que cursa: Ingeniería Mecánica

Período evaluado: 1/1/2022 al 31/12/2022

2. Dictamen de evaluación de desempeño del alumno:

Colocar una cruz donde corresponda

2.1 Satisfactorio: X

2.1 No satisfactorio:

Fundamentos del dictamen:

El alumno se dedicó a las tareas que se le asignaron en el cronograma de trabajo, las que consistieron en la búsqueda bibliográfica, y el análisis de las características generales de los controladores y la confección de planos. Los resultados de sus tareas se sumaron a las conclusiones realizadas por los integrantes del equipo. En este sentido se le ha brindado participación al alumno en todas las áreas de su interés.

En el transcurso del año 2022, se enfocó en el análisis de acciones necesarias, presupuestos, factibilidad técnica y económica, y realización de planos, demostrando interés y consultando sobre las distintas aplicaciones que tienen los conocimientos desarrollados en otras materias que son de su competencia. De esta forma, obtuvo un enfoque práctico, además de demostrar voluntad de presentar sus propuestas.

3. Propuesta de continuidad en el proyecto (si corresponde según duración estimada)

Colocar una cruz donde corresponda

3.1 Continuar en el presente proyecto:

3.2 No continuar en el presente proyecto: X

San Justo, 1 de febrero de 2023

Mg. Fauroux, Luis E.

.....
Lugar y fecha

.....
Firma del Director

.....
Aclaración de firma