



## **Diseño y construcción de un banco de carga para ensayos de grupos electrógenos**

José Boher <sup>a\*</sup>, Manuel A. Mazzoletti <sup>a</sup>, Marco P. Bárbaro <sup>a</sup>, Cristian Neuendorf <sup>b</sup>, Yonathan Miño <sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.*

<sup>b</sup> *Energen Ingeniería, Oberá, Misiones, Argentina.*

joseboher77@gmail.com, mazzoletti@fio.unam.edu.ar, barbaro@fio.unam.edu.ar, cristianneue@gmail.com

---

### **Resumen**

En este trabajo se presentan las actividades realizadas en el marco de un convenio de vinculación de transferencia de tecnología entre la Facultad de Ingeniería y la empresa Energen Ingeniería de Oberá, Misiones. Esta vinculación fue realizada con el fin de diseñar y construir un prototipo de banco de cargas resistivo, que será utilizado por una empresa regional para efectuar ensayos sobre grupos electrógenos (GE) que son comercializados por la misma. El diseño se dividió en varias etapas, de las cuales, se destaca el diseño térmico realizado mediante recursos de modelado y simulación por elementos finitos para justificar la mejor disposición de las resistencias utilizadas. Además, se realizó el diseño eléctrico y mecánico utilizando software de aplicación para cada dominio. El prototipo fue construido completamente en las instalaciones de la empresa donde, a su vez, fueron realizados ensayos ante diferentes condiciones para validar el diseño propuesto. Las mediciones obtenidas de los ensayos experimentales se correspondieron con las estimaciones obtenidas de simulación de manera tal que el diseño final del prototipo resultó adecuado. Se presentan material fotográfico, resultados de simulación y conclusiones sobre los criterios utilizados en las distintas secciones de este artículo.

*Palabras Clave – banco de cargas, grupos electrógenos, diseño.*

### **1. Introducción**

Las actividades descritas en este trabajo fueron llevadas adelante en el marco de un Convenio Específico De Vinculación Tecnológica E Interés Recíproco, entre la empresa regional denominada Energen Ingeniería y el Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Energía Eléctrica (LIDEE) de la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional De Misiones, a través del cual coordinaron esfuerzos para el diseño y la implementación de un banco de cargas resistivo que permite realizar los ensayos de pruebas experimentales sobre los grupos electrógenos (GE) que comercializa la empresa.

Los bancos de carga son dispositivos electromecánicos utilizados para imponer cargas eléctricas a un sistema generador de energía, simulando cargas variables que los equipos deben alimentar en condiciones reales de funcionamiento. La versatilidad de estos equipos radica en poder participar en actividades que van desde el mantenimiento en campo hasta tareas de investigación y desarrollo, cumpliendo, además, numerosas funciones en un abanico amplio de aplicaciones industriales.

Los GE se conectan a bancos de carga por varias razones. Una de las principales es la realización de ensayos para verificar el cumplimiento de los estándares y normativas asociados al suministro eléctrico. Por otro lado, se verifica que el GE alcance una temperatura de operación óptima y que, a su vez, pueda suministrar la potencia solicitada ante una situación de emergencia.

A partir de una revisión en el mercado sobre la oferta de bancos de cargas, se observa que los más utilizados son los bancos de cargas resistivos, donde la energía provista por el generador es transformada en calor mediante la resistencia eléctrica de los elementos constitutivos del banco. En tales casos, el calor producido es evacuado mediante ventilación forzada de aire. Las principales diferencias entre los diseños de diferentes fabricantes radican en los tipos de resistencias y de ventiladores utilizados. Sin embargo, estos equipos son de alto costo de adquisición, lo que motivó a la empresa Energen a realizar un desarrollo propio, con la transferencia tecnológica por parte de la FI con integrantes del LIDEE.

Las actividades realizadas permitieron la obtención de un prototipo de banco de cargas resistivo funcional, que fue ensayado ante diferentes condiciones de funcionamiento y validado frente a los cálculos realizados por simulaciones durante las etapas de diseño. Por lo tanto, la empresa dispone de un nuevo recurso con el cual otorga la posibilidad de realizar ensayos que aspiren a la estandarización de sus productos, permitiéndole consolidarse en el área tecnológica en la que se desempeña.

## **2. Diseño del banco de cargas**

El diseño del banco de cargas se realizó luego de una revisión bibliográfica, dando enfoque en los aspectos metodológicos del diseño de estos equipos y a las características constructivas de los modelos comercializados por fabricantes reconocidos. A partir de ello, se observó que el diseño de los bancos suele ser una actividad complementaria de los temas principales de investigación [1, 2]. Por ende, su diseño, y sobre todo el diseño térmico, es realizado con criterios simplificadores. Inclusive en patentes de este tipo de bancos [3], los diseños son justificados con cálculos basados en las correlaciones de Zukauskas para un solo cilindro en lugar de considerar un banco de carga completo. Los fabricantes por su parte, como es de esperar, no publican indicaciones sobre las metodologías de desarrollo aplicado [4-7]. Lo más probable es que para su desarrollo se basen estrictamente en criterios empíricos.

Dados los limitados recursos disponibles para las instancias de experimentación en prototipos, se planificó diseñar, en primer lugar, un banco de cargas basándose en modelos para simulación. A través de estas herramientas, se buscó optimizar el diseño térmico del equipo para lograr un diseño óptimo para la implementación final de un prototipo.

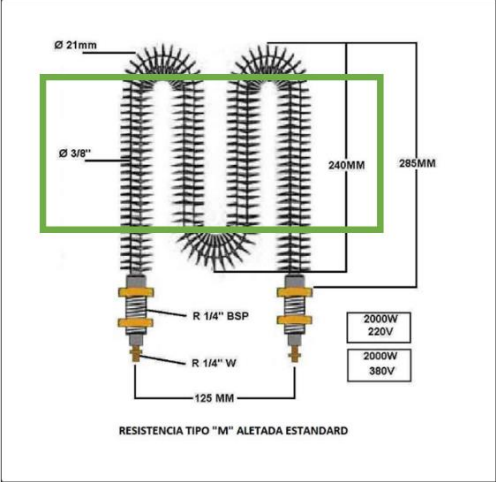
La estrategia general de diseño consistió en la separación en áreas, según la ciencia de aplicación. Por un lado, se realizó el diseño eléctrico del banco y, por otro, el diseño mecánico.

### *2.1 Diseño eléctrico*

En esta sección se describieron y definieron los circuitos eléctricos por los cuales el banco de carga logra ofrecer las prestaciones esperadas. Se proponen dos circuitos de potencia y un circuito de control o comando. Los primeros son los que conectan, por un lado, el GE a ensayar con el arreglo de resistencias eléctricas que integran el banco; y por otro, la red eléctrica de uso convencional para alimentar el ventilador y el circuito de comando. El segundo permite al usuario intervenir y controlar los circuitos de potencia, interactuando con los elementos a baja tensión. Este último es generalmente alimentado por la red pública, pero se prevé que pueda ser alimentado por el mismo GE en caso de

no disponerse la conexión a la red. Para el diseño de los circuitos se utilizó el software ETAP 12.6.0. Además, para la confección de los planos eléctricos se optó por dibujo en el software SolidWorks Electrical 2016.

De las referencias bibliográficas que se disponen, de lo usualmente utilizado por los fabricantes y de lo disponible en el mercado nacional, se define que los resistores a utilizar serán de acero inoxidable AISI 304 y de geometría tubular aletada. Estos resistores son de aplicación específica para el contacto con el aire y vienen con diferentes formas. Para este proyecto se prefiere la forma de “M”, como se verá en los apartados posteriores. En Fig. 1 y Fig. 2 pueden observarse un esquema y una foto de las resistencias descritas y finalmente adquiridas.



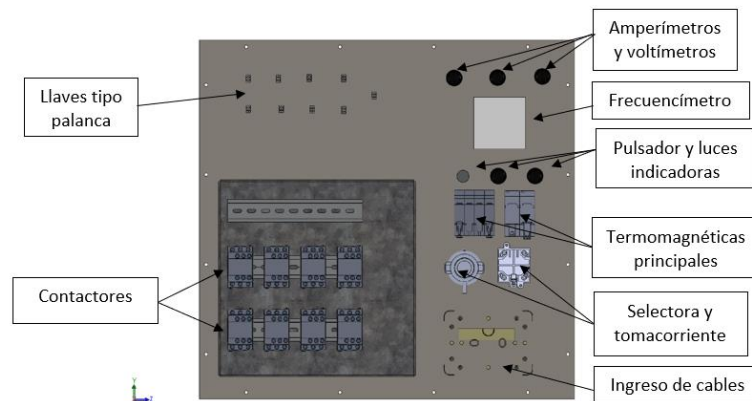
**Fig. 1. Esquema de resistencia del proveedor Diamore SA.**



**Fig. 2. Resistencias en forma de M adquiridas para el prototipo.**

Las resistencias se seleccionaron con potencias tales para lograr un rango de potencia entre 0 y 35 kVA, con pasos de incremento de 1 kVA. Esto requirió un arreglo de: 15 resistencias de 2000 W, 6 de 666 W y 3 de 333 W, que al conectarse en estrella conforman un arreglo de cargas trifásicas.

En Fig. 3 puede observarse una vista del modelo en el software SolidWorks del panel de comando del banco con todos los elementos seleccionados para los circuitos eléctricos.



**Fig. 3. Disposición diseñada para los diferentes componentes que integran los circuitos eléctricos.**

## 2.2 Diseño mecánico

El diseño mecánico involucró la definición de las dimensiones y la posición relativa del conjunto de elementos que conforman el banco de carga. Por lo tanto, se realizó un diseño térmico y un diseño estructural para asegurarse que el banco cumpla de manera satisfactoria con los requisitos mecánicos propios de este tipo de dispositivos.

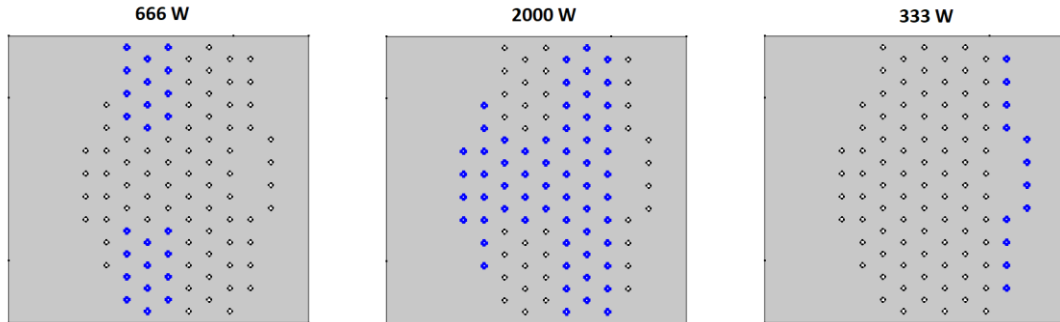
El diseño térmico del banco consistió en determinar las temperaturas que alcanzarán los distintos elementos involucrados y asegurar límites térmicos que garanticen un rendimiento y confiabilidad aceptables. Las principales variables que intervinieron son: la disposición geométrica de los resistores, la velocidad del aire, el caudal de aire; y las temperaturas relativas del aire y los resistores.

Inicialmente se realizaron cálculos manuales mediante las correlaciones de Zukauskas [8], que definen ecuaciones específicas para los intercambiadores de calor. No obstante, tomando la región de la resistencia encerrada por el recuadro verde de la Fig. 1, fue posible considerar cada resistencia como 4 tubos horizontales y aletados, que al disponerlos en forma escalada fue posible estimar temperaturas globales del banco completo. Sin embargo, esta metodología no permitió observar las temperaturas internas, ni discriminar las resistencias por sus potencias, limitando considerablemente un análisis térmico. Además, la correlación de Zukauskas solamente considera un flujo de aire uniforme sobre los tubos, y a priori se disponía de un ventilador axial para refrigerar las resistencias, lo que representa un flujo concentrado que se expande antes de refrigerar a todas las resistencias.

Dada las limitaciones descritas, un análisis más detallado de las temperaturas que pueden esperarse se realizó utilizando un software de simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD). En tal caso fue posible ordenar la posición relativa de las resistencias para mejorar el desempeño de la refrigeración, teniendo en cuenta las características del ventilador seleccionado a priori y las potencias individuales de cada resistencia.

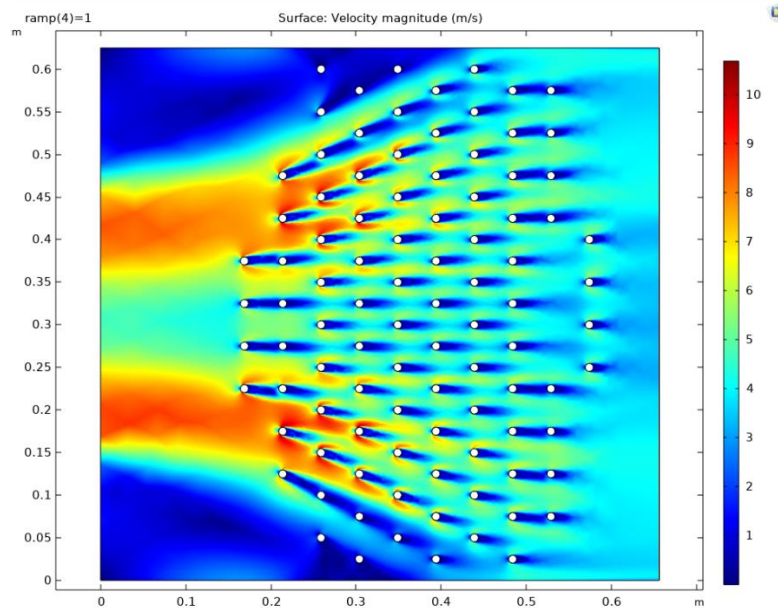
En la Fig. 4 se puede observar el modelo construido en COMSOL Multiphysics 5.5, consistente en un corte longitudinal sobre el banco de cargas, donde cada resistencia es representada por 4 tubos

en forma vertical. En dicha figura, se representa en color azul los conjuntos de resistencia según sus potencias. La distribución observada es el resultado del análisis que fue realizado sobre el modelo diseñado.

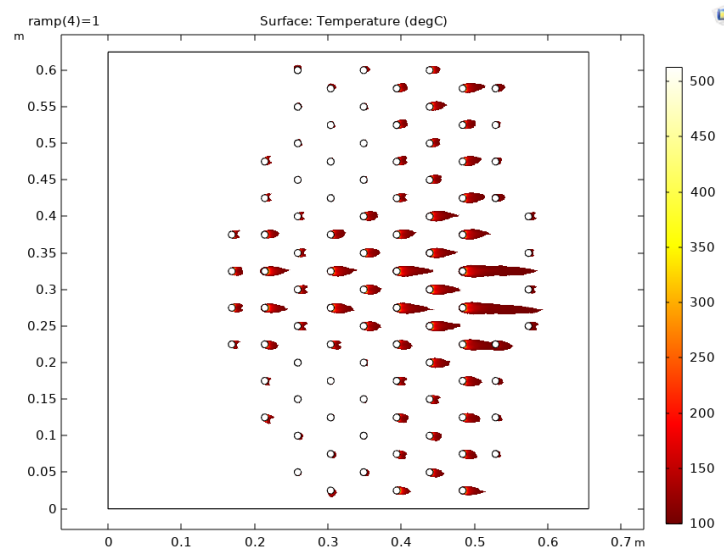


**Fig. 4. Disposición final de las resistencias según sus potencias.**

En la Fig. 5 y la Fig. 6 se presentan los resultados de simulación obtenidos. En la primera figura se muestran los valores del vector velocidad en m/s dentro del recinto. Sobre el contorno izquierdo (0 m) pueden observarse las velocidades con la que el ventilador insufla el aire exterior para la refrigeración de las resistencias. Además, puede notarse como el aire movilizado por el ventilador debe primero expandirse para cubrir todo el arreglo de resistencias. Por ello, considerando esta distribución no se logra refrigerar adecuadamente algunos de los tubos de las resistencias ubicadas en los extremos superior e inferior. En la Fig. 6 se presentan las superficies de temperaturas mayores a 100°C, donde puede observarse que las resistencias con mayores temperaturas se encuentran en el centro (0.3-0.5 m) y sobre las filas finales (0.6 m).



**Fig. 5. Superficie de valores de la magnitud de velocidad.**

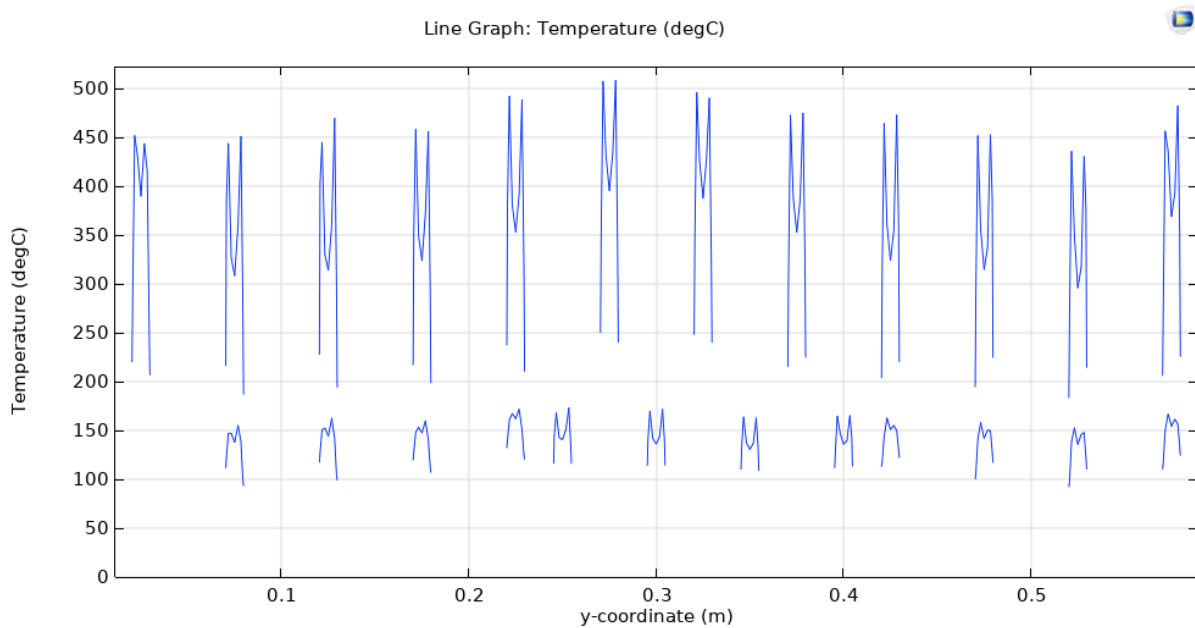


**Fig. 6. Superficie de valores de temperatura mayores a 100°C.**

Notar que las resistencias en los extremos tienen menores temperaturas a pesar de tener menos refrigeración. Esto se debe a que las resistencias de 666 W se ubicaron en este lugar para lograr el efecto observado. Estrategias de optimización de este tipo pudieron aplicarse gracias a las observaciones que permiten las simulaciones realizadas en los softwares.

Debido a que las máximas temperaturas se observan en las resistencias ubicadas en el extremo opuesto al ingreso del aire (0.6 m), en la Fig. 7 se grafican las temperaturas en °C sobre la superficie

de las últimas dos filas de resistencias. La figura es discontinua ya que contiene las temperaturas sobre las superficies visibles desde la salida del banco, graficadas sobre un eje vertical.



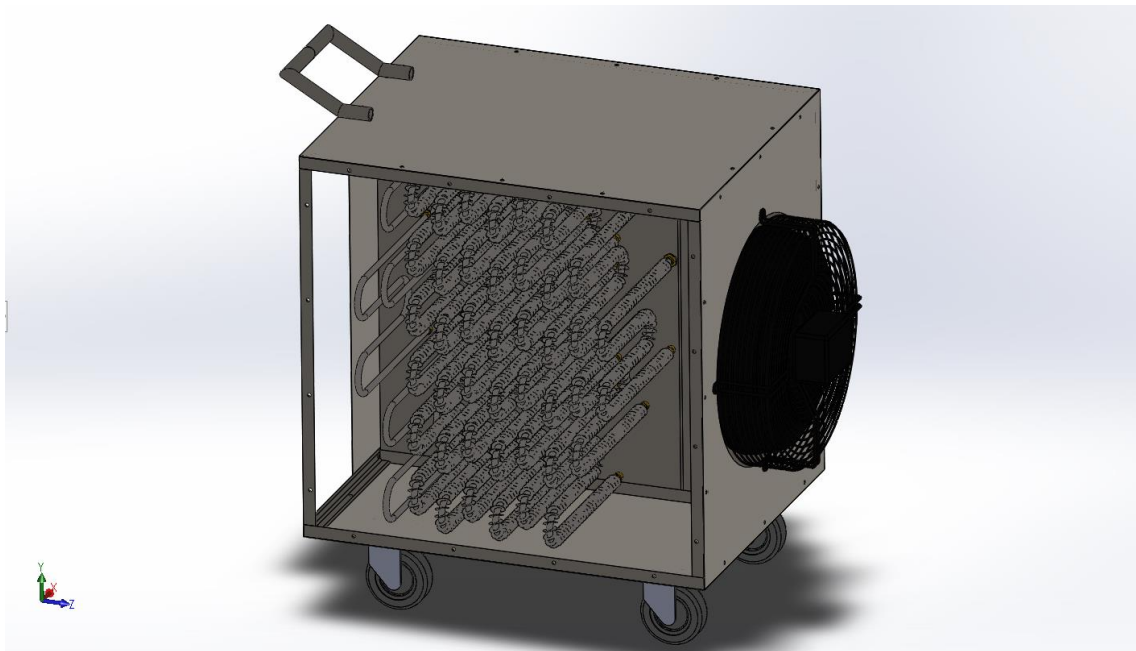
**Fig. 7. Temperaturas de la superficie de las últimas dos filas de resistencias a capacidad nominal.**

El propósito de la Fig. 7 radica en visualizar las máximas temperaturas alcanzadas de todo el banco de cargas. Al conocerse la temperatura máxima de operación de las resistencias permite determinar la mejor configuración. Por lo tanto, con las simulaciones realizadas hasta aquí fue posible definir el diseño final adoptado en términos de esfuerzos térmicos.

El diseño estructural del prototipo fue realizado completamente en el software SolidWorks v2016. En la Fig. 8 se expone una vista del banco sin uno de sus paneles laterales para visualizar la disposición de las resistencias. Por medio del modelo en 3D se extrajeron los planos necesarios para la construcción de los diferentes componentes de la estructura.

### **3. Construcción del prototipo**

El prototipo fue construido en las instalaciones de la empresa. Se utilizaron materiales disponibles en comercios de la zona, aspecto que fue considerado durante el diseño del modelo 3D. Por un lado, la estructura soporte del banco se fabricó de perfil L 20x20x3 mm, y los paneles del cerramiento con chapa lisa de acero de espesores 14, 18 y 22. Por otro, los elementos eléctricos se adquirieron en comercios de la región. La totalidad del cableado fue realizado con cables que soportan altas temperaturas, valores de hasta 180°C en régimen permanente.



**Fig. 8. Corte del diseño en 3D en software SolidWorks 2016 del banco de cargas.**

En la Fig. 9 y la Fig. 10 pueden observarse registros fotográficos del prototipo durante su construcción en las instalaciones de la empresa. Es posible reconocer las similitudes con el modelo en 3D diseñado en la Fig. 8, del cual se ha basado.





**Fig. 9. Instalación de las resistencias en el banco.**



**Fig. 10. Prototipo final con todos los paneles.**

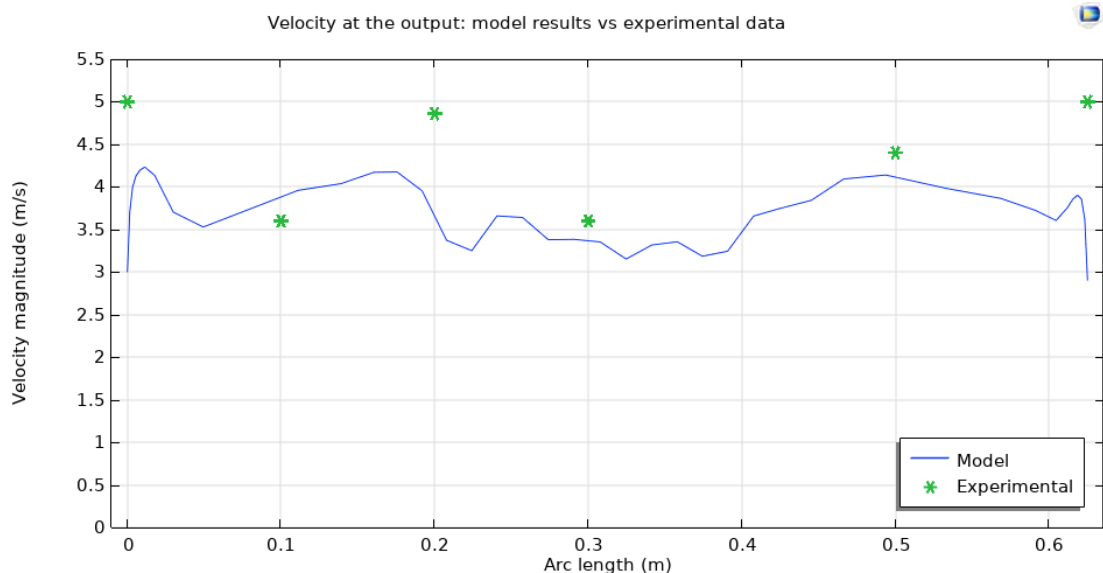
#### **4. Ensayo del banco de cargas y validación experimental**

El prototipo construido se sometió a varias pruebas experimentales para verificar su desempeño y validar los cálculos realizados mediante las simulaciones. En la **Fig. 11** puede observarse un ejemplo del prototipo final siendo ensayado mediante un GE de 115 kVA de la empresa.



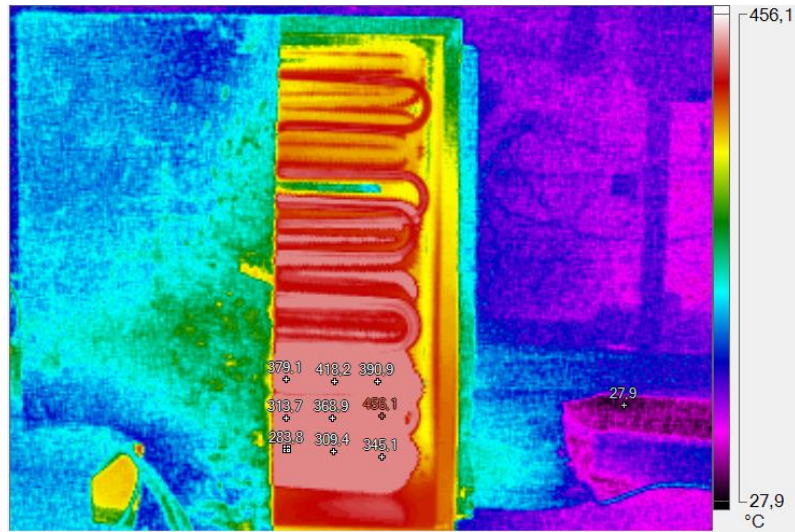
**Fig. 11.** El banco de cargas durante una de las pruebas en las instalaciones de la empresa.

Primero se realizó una medición del flujo de aire a la salida del banco. Dicha medición se realizó sin temperatura y se utilizó un anemómetro tipo turbina modelo DT-8897 CEM. En base a estas mediciones se contrastaron con los valores obtenidos por simulación. En la Fig. 12 se muestran en puntos de color verde los valores medidos y en línea continua de color azul el resultado de simulación. Según lo observado en la Fig. 12, es posible notar la similitud en orden de magnitud de las velocidades en m/s, así como el mismo patrón de comportamiento a lo largo de toda la extensión del banco.



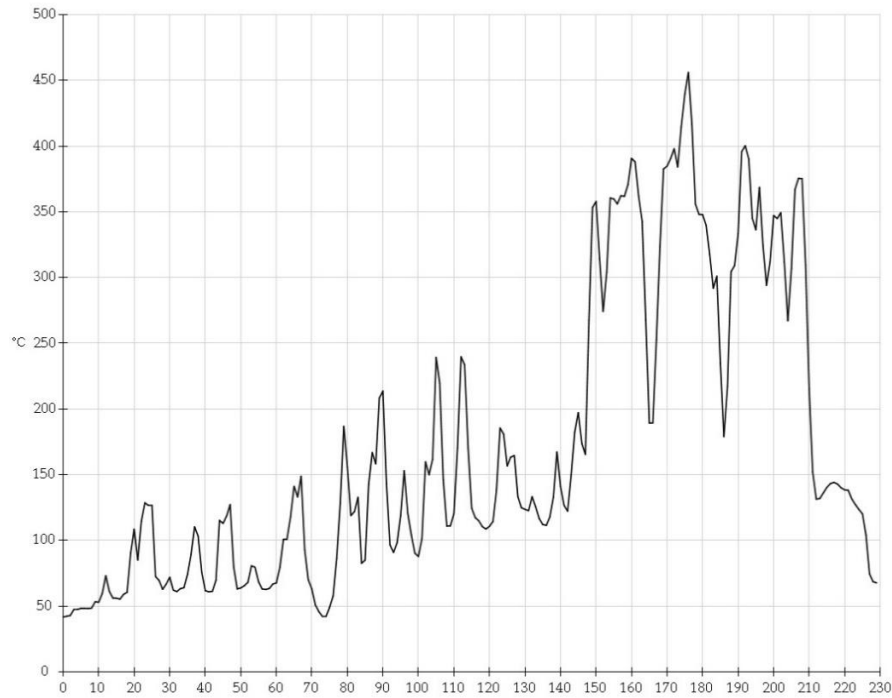
**Fig. 12.** Comparación de los resultados de simulación con las mediciones realizadas.

Por otra parte, se realizaron mediciones de temperaturas utilizando una cámara termográfica marca Fluke Ti32. Con la misma se obtuvieron imágenes termográficas que se muestran en la Fig. 13, consistente en la salida del banco de cargas funcionando a 75% de su capacidad nominal. En dicha figura se resaltan los valores de las zonas con mayor temperatura que ha registrado el instrumento.



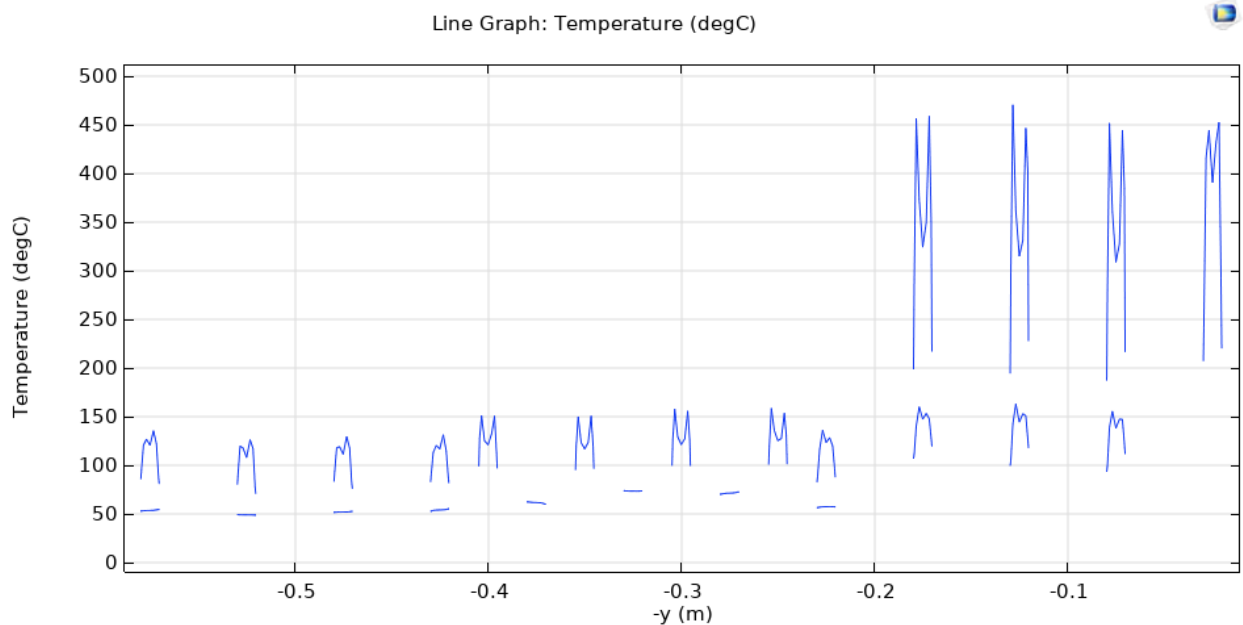
**Fig. 13. Termografía de la salida del banco de cargas funcionando a 75% de capacidad nominal.**

Con base en las mediciones termográficas, en la Fig. 14 se grafican los valores de temperatura sobre la superficie de las resistencias, que han sido obtenidos de la termografía de la Fig. 13.



**Fig. 14. Temperatura de la superficie de las resistencias a la salida del banco de cargas.**

Para contrastar los resultados de simulación con los resultados de la Fig. 14, se ha simulado en el modelo la misma condición de funcionamiento con que se han obtenido las mediciones. El resultado computacional obtenido se presenta en la Fig. 15.



**Fig. 15. Temperaturas de la superficie de las últimas dos filas de resistencias a carga parcial.**

La Fig. 14 presenta los valores sobre una línea vertical coincidente con el máximo valor de temperatura observado y puede ser comparada directamente con los resultados de simulación presentados en Fig. 15. Ambas figuras presentan un comportamiento similar, distribuyéndose las mayores temperaturas sobre los extremos donde existe mayor número de resistencias en funcionamiento. Además, los valores de temperatura tienen igual orden de magnitud. En particular, los picos de temperatura de ambas figuras poseen valores muy semejantes, lo mismo puede decirse de los valles de la Fig. 14 con los extremos de cada pico de la Fig. 15. Considerando que la cámara termográfica fue configurada para las superficies de las resistencias, en las diferencias de temperaturas encontradas pueden considerarse o interpretar como uno de los factores que afecta u origina las distintas emisividades propias de las superficies de los componentes del banco, tanto de las resistencias como de las protecciones laterales y componentes de fondo, así como de las condiciones de ambas al momento del ensayo (material, pintura, oxido, etc.)

Esta comparación de resultados permite validar de manera experimental el modelo utilizado, y definirlo como una herramienta adecuada para la optimización del diseño térmico del banco de cargas.

El prototipo construido resulto satisfactorio y representa una herramienta fundamental para la empresa. El mismo será utilizado para la adición de mayores prestaciones al banco, como ser control digital y registro de mediciones.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se validó de manera experimental un prototipo de banco de cargas diseñado en 3D y simulado en diferentes softwares de dominio multifísico. Los resultados experimentales se han correspondido adecuadamente con las simulaciones. En base a la metodología de diseño propuesta, el modelado del banco de cargas mediante un corte sobre el plano longitudinal vertical podría ser suficiente para la realización de un análisis térmico computacional del diseño. Bajo este esquema, también sería posible analizar en detalle la distribución de temperaturas del conjunto de resistencias, resultando en una herramienta útil para optimizar los diseños antes de la instancia de prototipo. Si bien los resultados de temperatura no son numéricamente iguales, los órdenes de magnitud si se corresponden de manera satisfactoria. Lo mismo puede decirse de la forma de la curva de temperatura sobre las resistencias. El prototipo de banco de cargas resultó satisfactorio y representa una nueva herramienta disponible en la empresa para su utilización en los ensayos de GE.

Como trabajo futuro se propone evaluar otros tipos de ventiladores o diseños alternativos de banco de cargas. Además, se pretende proteger el prototipo diseñado bajo la modalidad de Modelo de utilidad o Modelo Industrial.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido llevado a cabo gracias al financiamiento provisto por la empresa Energen Ingeniería, que ha aportado los recursos económicos para la realización de los estudios y la construcción del prototipo. Se agradece a la Secretaría General de Ciencia y Tecnología de la U,Na,M por el financiamiento recibido para la ejecución del proyecto de investigación 16/I1140-IDP.

## Referencias

- [1] N. Chrysochoidis-Antos, "The conceptual design of a safety system: For the 5MW Deepwind offshore floating vertical-axis wind turbine," 2014.
- [2] H. Schmidt, J. Lineberry, and J. Chapman, "An innovative demonstration of high power density in a compact MHD (magnetohydrodynamic) generator," Tennessee Univ., Tullahoma, TN (USA). Space Inst., 1990.
- [3] D. J. Tierney Jr, "Variable resistance, liquid-cooled load bank," ed: Google Patents, 1996.
- [4] A. P. Technologies. *ASCO Load Banks*, Schneider Electric, 2019. [Online]. Available: <https://www.ascopower.com/mx/es/products/load-banks.jsp>.
- [5] R.-U. Inc. *Reoload 310*, 2018. [Online]. Available: [https://www.reo-usa.com/us\\_en/products/electrical-test-technology/ohmic-load-units.html](https://www.reo-usa.com/us_en/products/electrical-test-technology/ohmic-load-units.html).
- [6] P. I. SRL. *Bancos de carga*, 2009. [Online]. Available: [https://proind.com.ar/uploadsarchivos/03\\_03\\_bancos\\_de\\_carga\\_88.pdf](https://proind.com.ar/uploadsarchivos/03_03_bancos_de_carga_88.pdf).
- [7] I. Avtron loadbank. *Avtron Bancos de Carga*.
- [8] Y. A. C. a. A. J. Ghajar, *Transferencia de Calor y Masa: Fundamentos y aplicaciones*, Cuarta ed. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2011.