

Agosta R.<sup>a</sup>, Orué M.<sup>a</sup>, Gon F.<sup>a</sup>  
a Grupo de Investigación en Enseñanza de la Ingeniería – GIEDI  
UTN Facultad Regional Santa Fe

## RESUMEN

Los desperfectos en el funcionamiento de las instalaciones de refrigeración comercial tienen un significativo impacto ambiental, ya sea elevando el consumo energético o emitiendo gases de efecto invernadero. Estos fenómenos suelen ser indetectables para los responsables de área, hasta que su avance implica mermas importantes en la capacidad de la instalación.

Estas fallas habitualmente incluyen: deficiencia en sistemas de descongelado, rotura de unidades compresoras, suciedad depositada en condensadores y pérdidas de estanqueidad.

Estudios de ADEME [1] estiman que cada año aproximadamente el 30% del fluido refrigerante contenido en los equipos frigoríficos de uso comercial, se fugan al ambiente por causa de pérdidas de estanqueidad.

Actualmente, las técnicas de detección aplicadas en la unión europea incluyen inspecciones visuales anuales y detectores de partículas de gas en suspensión en locales y equipos. Mientras tanto, la entrada en vigor de la Enmienda de Kigali, ratificada por Argentina y oficializada a través de la resolución 104/2020, anticipa un escenario de medidas restrictivas de control. [2]

Este trabajo de investigación consiste en un estudio sobre parámetros de operación de sistemas centralizados de refrigeración y factores de funcionamiento, obtenidos mediante una plataforma basada en **Internet de las Cosas**. A través de modelos estadísticos, se comparan las mediciones obtenidas, con estados de falla detectados e identificados.

Los datos procesados, concluyen la existencia de una correlación entre variaciones de temperatura de recintos refrigerados y presiones de fluido refrigerante, con fallas de estanqueidad y desperfectos locales de los equipos.

## CONCEPTOS

La refrigeración comercial se refiere al diseño, instalación y mantenimiento de unidades de refrigeración orientadas a la venta, almacenamiento, muestra y/o manipulación de productos perecederos, en establecimientos comerciales.

Se define sistema de refrigeración al conjunto de componentes interconectados que contienen refrigerante y que constituyen un circuito frigorífico cerrado, en el cual el refrigerante circula con el propósito de extraer o ceder calor (es decir, enfriar o calentar) a un medio externo al circuito frigorífico. [5].

El fluido pasa por la etapa de condensación, disminuyendo su temperatura y cambiando de estado, a través de un intercambio térmico con el medio ambiente, para continuar hacia los consumidores.

## METODOLOGÍA

El estudio tiene fines **exploratorio**, y se basa en la recolección de datos de funcionamiento realizados en una sucursal de una cadena de supermercados, durante el período septiembre de 2015 a diciembre de 2016.

Para la recolección de datos se emplearon dispositivos IoT de la marca Full Gauge, y su software gratuito de recolección de datos SITRAD [6]. Cada dispositivo de medición se denomina **estación**. La ubicación de los sensores se indica en el esquema de la instalación. Las variables seleccionadas para el relevamiento son:

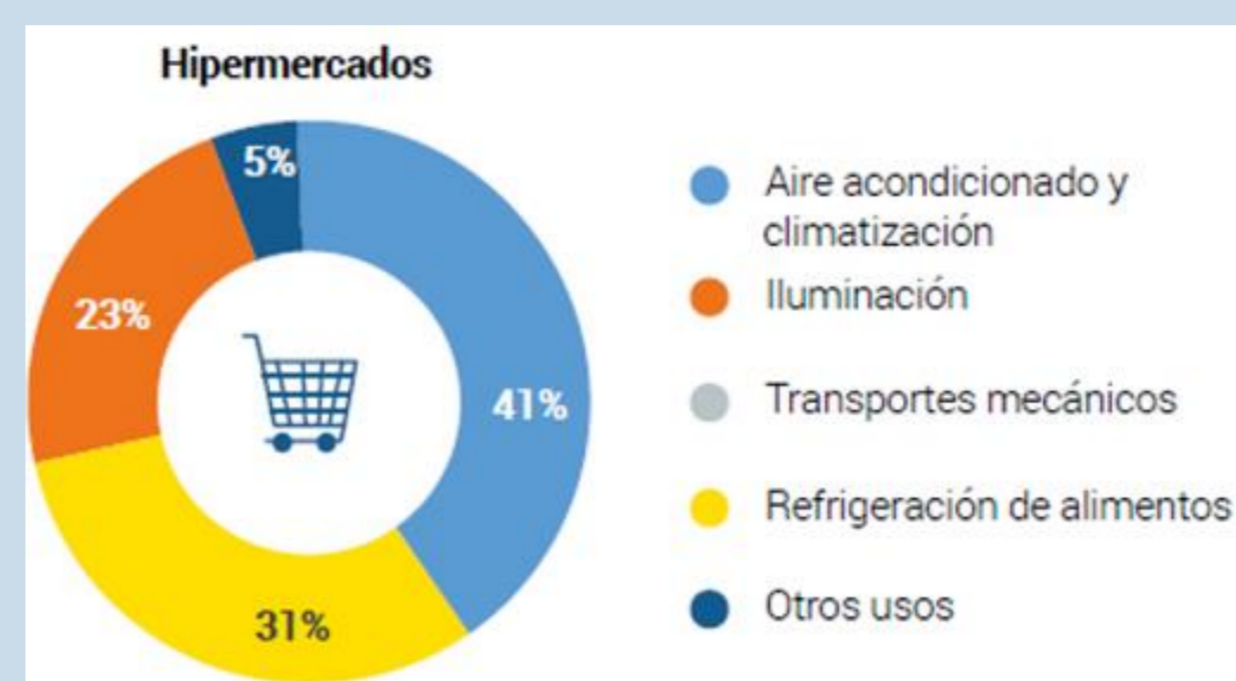
- Temperatura de cada unidad de refrigeración relevada. (A) (B)
- Presión del Distribuidor de succión (línea de baja) (C)
- Presión del colector de Impulsión (línea de alta) (D)
- Tensión de cada fase de alimentación R, S y T (E)

Se registró una medición cada cinco minutos, de cada variable monitoreada. Se consideraron datos climáticos (temperatura máxima y mínima diaria) proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional Argentino.

Se emplean herramientas estadísticas para comparar el comportamiento de las observaciones, frente a la información registrada en **órdenes de mantenimiento**, e **informes de servicio**. El objetivo es correlacionar eventos de fallas confirmadas, con valores inusuales de los parámetros observados.

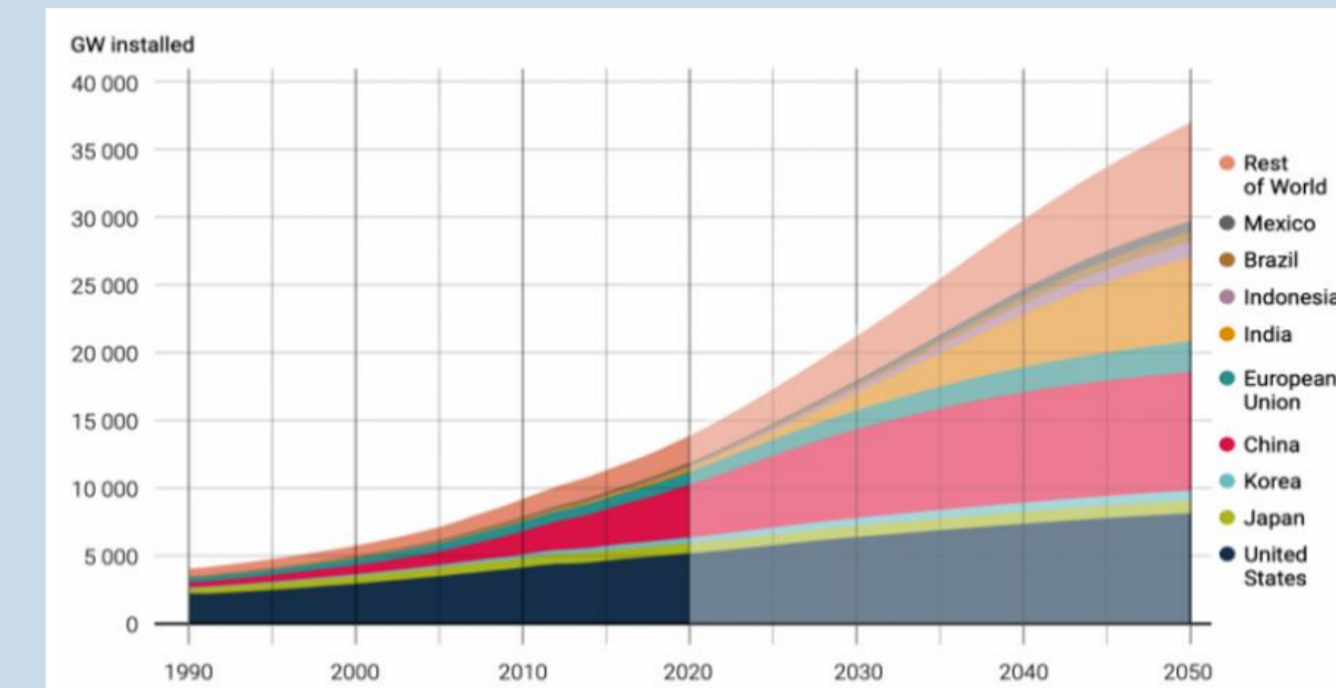
## CONTEXTO

Estimaciones de consumo energético en superficies comerciales de retail [3]



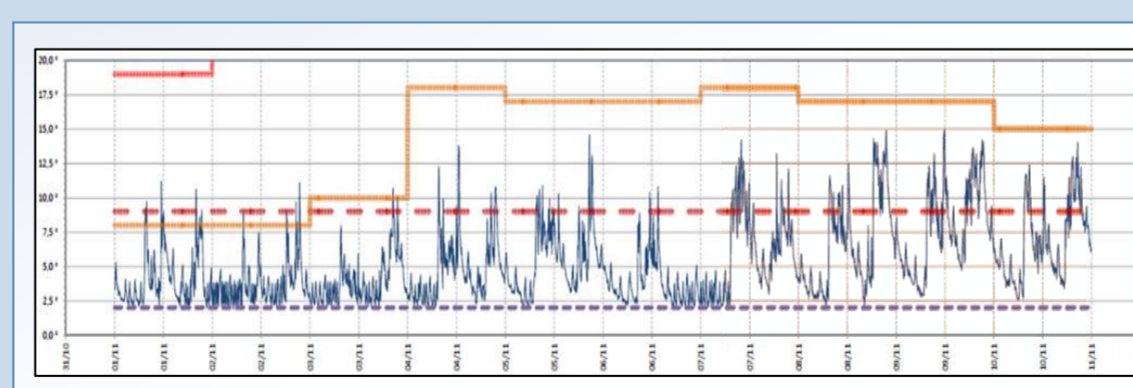
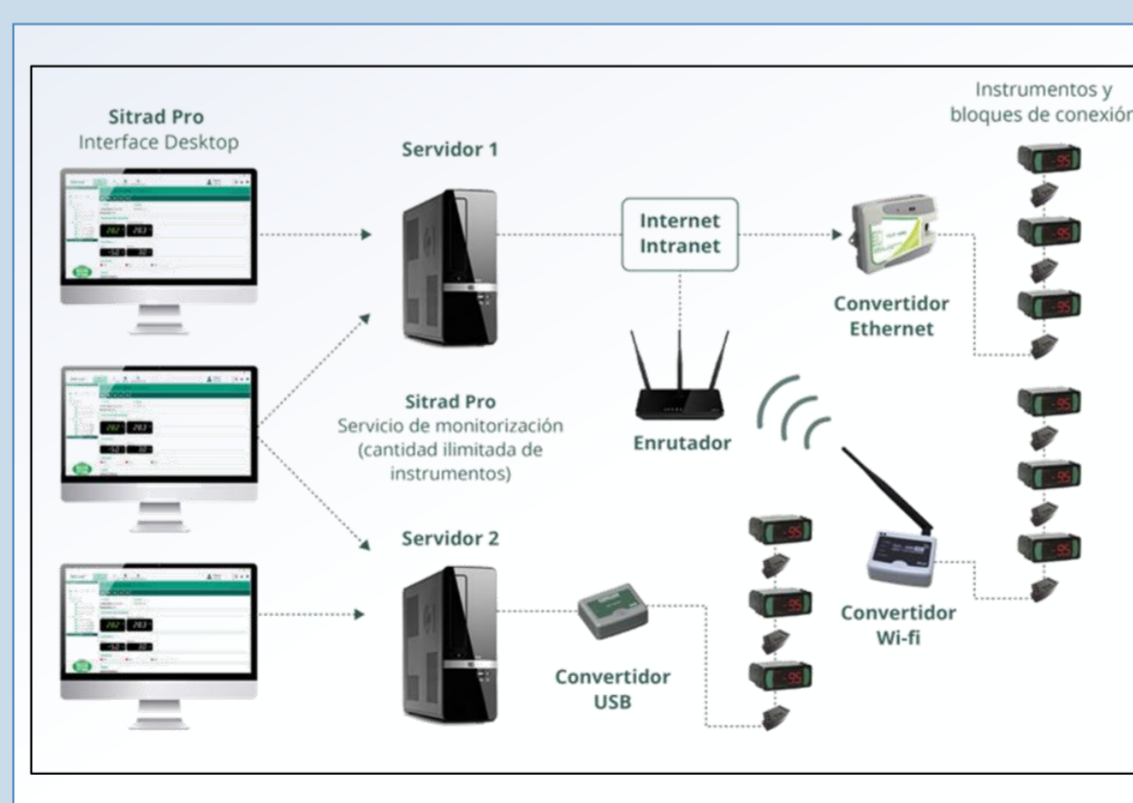
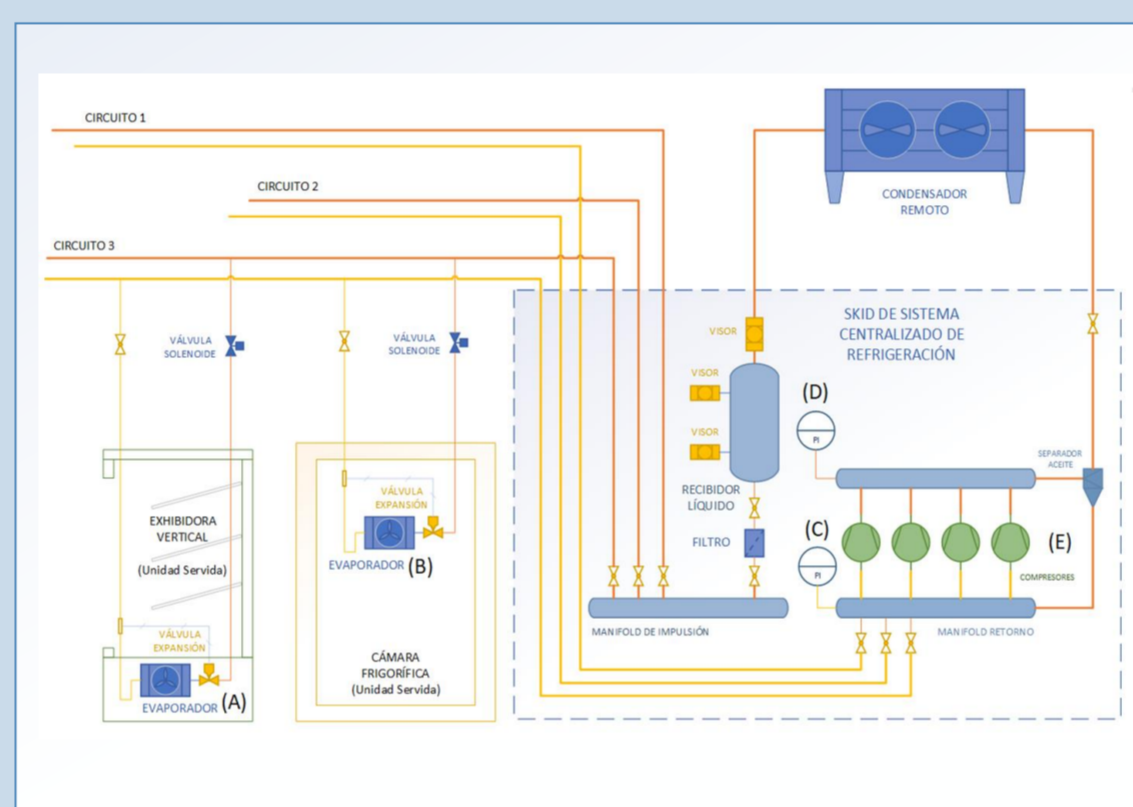
Los Hidrofluorocarburos (HFC) liberados a la atmósfera tienen graves consecuencias medioambientales. Si bien no son agresivos para la capa de ozono, su índice de impacto como gases de efecto invernadero (GWP) es enorme

Proyecciones de capacidad de refrigeración residencial y comercial, publicadas en 2018 (IEA) [4]



La fuga de refrigerante produce una marcha excesiva de los equipos electromecánicos, aumentando el consumo eléctrico y reduciendo su vida útil, aumentando la huella de carbono del servicio de refrigeración.

## DATOS CON TECNOLOGÍA IOT



## RESULTADOS

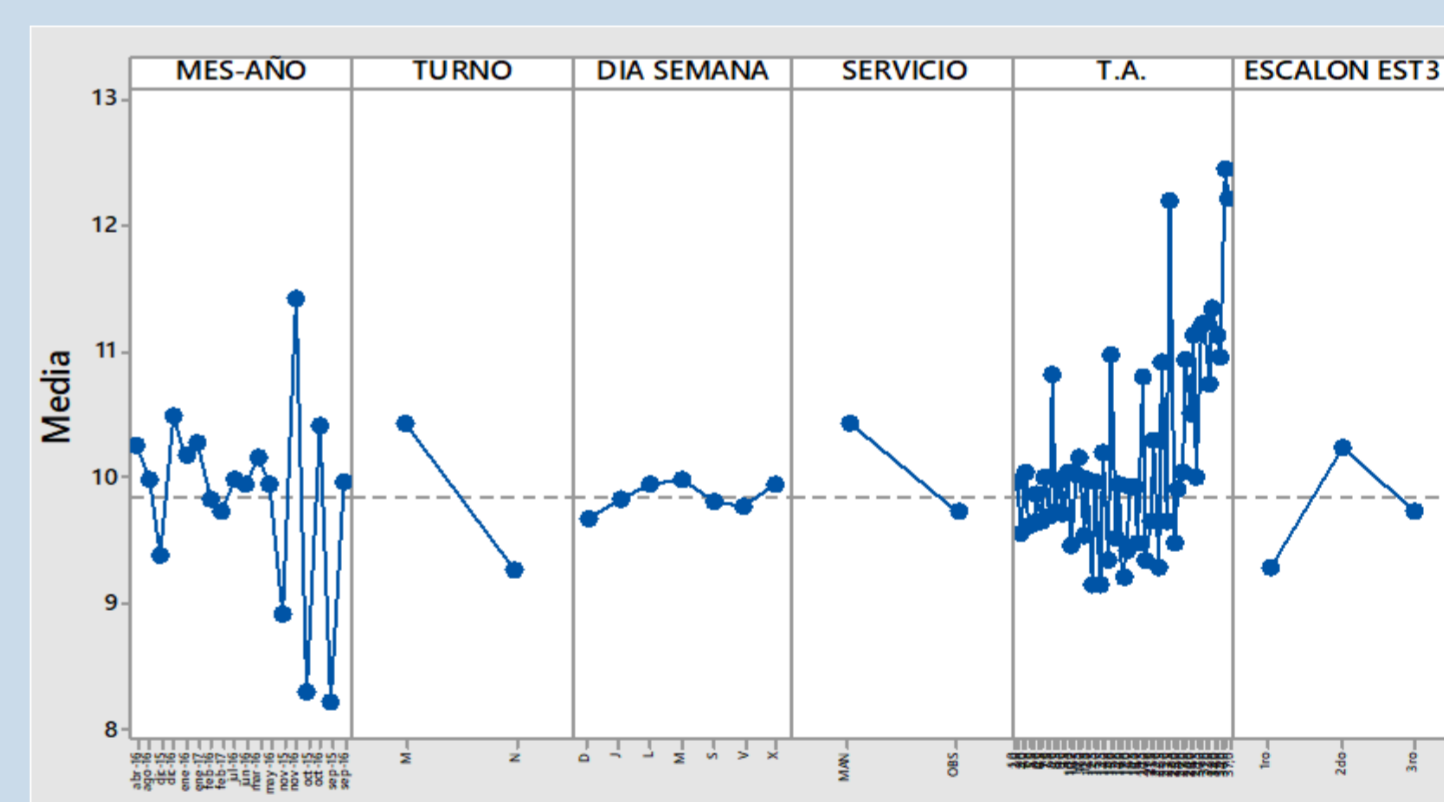
Para el procesamiento de los datos, se empleó un Modelo Lineal General [7], empleando el software MINITAB 17®.

Las observaciones en la base de datos se reducen al *valor medio* de cada *turno*, de cada *día* de un *mes*. El análisis se realizó períodos mensuales, para reducir los efectos estacionales.

Todos los análisis se realizaron considerando un intervalo de confianza de 95% y distribuciones significativamente **no normales**, de acuerdo a los resultados de las pruebas de Anderson-Darling [7].

Las fallas del sistema son abordadas por el factor *servicio*.

Las gráficas indican una correlación importante entre estados de fallas y aumentos en los valores observados.



## CONCLUSIONES

El análisis de los datos indica que es posible asociar comportamientos particulares de variables mesurables, con fenómenos de falla del sistema centralizado de refrigeración.

La presión de descarga de los compresores (línea de impulsión) y las tensiones de alimentación, no presentaron correlación significativa con los eventos de falla por pérdida de estanqueidad.

La presión de aspiración de los compresores (línea de retorno), presenta correlación con la reducción del fluido que evoluciona en el circuito.

Las temperaturas de recinto refrigerado, tomadas en la aspiración de los electroforzadores de los evaporadores, presentan comportamientos que dependen de la unidad relevada. En síntesis, algunos equipos responden con mayor sensibilidad a la falla por fuga de refrigerante. La identificación de estos equipos posibilita optimizar procedimientos de recolección y procesamiento de datos. La información resultante puede configurarse en una poderosa herramienta para la detección temprana de este tipo de fallas, reduciendo los efectos negativos sobre el medio ambiente.

## REFERENCIAS

[1] E. Devin et al. (2015). *Etude sur le confinement des fluides frigorigènes*. [Online]. Disponible en <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/confinement-fluides-frigorigenes-2015.pdf>.

[2] Presidencia de la República Argentina (2020). *Resolución 104/2020*: <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/227532/20200406#>, *Boletín Oficial República Argentina*. [Online]. Disponible en <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/227532/20200406#>.

[3] MGM International (2018). *Manual para la Evaluación de Proyectos de Eficiencia Energética para el Sector de Grandes Superficies*. Dirigido a: Clientes de Instituciones Financieras: CAF. Consultado en 14 oct. 2021. [Online]. Disponible en <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1311>.

[4] T. Michineau, O. Calmels, S. Barrault y D. Clodic (2019). *Alternatives to high GWP refrigerants in refrigeration & air-conditioning applications*. doi: 10.18462/iir.icr.2019.0552

[5] Boletín Oficial del Estado Español (2019). "Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias. (Real Decreto 552/2019)", *Boletín Oficial del Estado*, 2019.

[6] Full Gauge Controls (2014). "SITRAD. User guide"

[7] Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos* (Segunda Edición): Limusa Wiley