

# “Detección temprana de fallas en sistemas de refrigeración comercial para reducción del impacto ambiental”

Agosta, Rodrigo <sup>a</sup>, Orué, Matías <sup>a</sup>, Gon, Fabián <sup>a</sup>

a Grupo de Investigación en Enseñanza de la Ingeniería - GIEDI – UTN Facultad Regional Santa Fe  
ragosta@frsf.utn.edu.ar

## **Resumen**

Entre las fallas de funcionamiento de las instalaciones de refrigeración comercial, podemos distinguir aquellas que no impiden de forma inmediata el funcionamiento de la instalación, pero incrementan su gravedad con el paso del tiempo. 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. Este trabajo se centra en la detección de estas últimas.

Estudios actuales 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. Esta situación eleva el consumo energético, el costo de mantenimiento y ventean a la atmósfera gases de efecto invernadero.

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.

Este trabajo presenta un estudio sobre parámetros de operación de sistemas centralizados de refrigeración y factores de funcionamiento, el cual se sustenta en datos obtenidos con tecnología basada en “Internet de las Cosas”. Empleando herramientas de cálculo estadístico, se determina la correlación de estos parámetros, con estados de falla identificados. Esto permite el desarrollo de indicadores de control para la detección temprana de fallas de gran impacto ambiental.

## **Abstract**

Among the malfunctions of commercial frigorific installations, we can distinguish those that do not immediately prevent the operation of the installation, but increase severity over time. These phenomena are usually undetectable by those responsible for the area, until their progress implies significant losses in the capacity of the installation.

These malfunctions usually include: deficiency in defrost systems, breakage of compressor units, dirt deposited in condensers and leaks of refrigerant fluids. This work focuses on the detection of the latter.

Current studies estimate that each year approximately 30% of the refrigerant fluid contained in refrigeration equipment for commercial leaks to the environment. This situation increases energy consumption, maintenance costs and releases greenhouse gases into the atmosphere.

The detection techniques applied in the European Union include annual visual inspections and detectors of gas particles in suspension in premises and equipment.

This work presents a study on operating parameters of centralized refrigeration systems and operating factors, which is based on data obtained with technology based on "Internet of Things". Using statistical calculation tools, the correlation of these parameters with identified failure states is determined. This allow the development of control indicators for the early detection of faults with a great environmental impact.

**Palabras clave:** Refrigeración, Efecto Invernadero, Estadística, Internet de las Cosas.

## **INTRODUCCIÓN**

Estudios sobre la cantidad y diversidad de microorganismos a diversas temperaturas de

almacenamiento muestran claramente su aumento en los alimentos sin refrigerar. Esto es debido a que durante el almacenaje se producen modificaciones de los alimentos, que conducen finalmente a su descomposición, ya sea por procesos físicos, químicos, o biológicos. Así, “la cadena del frío constituye un elemento clave en la seguridad alimentaria, ya que la mayoría de los microorganismos detienen su crecimiento a bajas temperaturas, reduciéndose la descomposición de los alimentos” [1].

Según el Banco de Desarrollo de América Latina [2] más del 30% de la energía consumida en Hipermercados está destinada de forma directa a la refrigeración de alimentos (Figura 1), mientras que otras fuentes hacen extensivo este valor a supermercados [3] [4].



Figura 1: Estimaciones de consumo energético en superficies comerciales de retail [2]

Estudios expuestos por ADEME [5], estiman que cada año aproximadamente el 30% del fluido refrigerante contenido en los equipos frigoríficos de uso comercial, se fugan por causa de fallas. Esta situación eleva el consumo energético (Figura 2) y el costo de mantenimiento (Figura 3) las instalaciones [6].

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 [7].

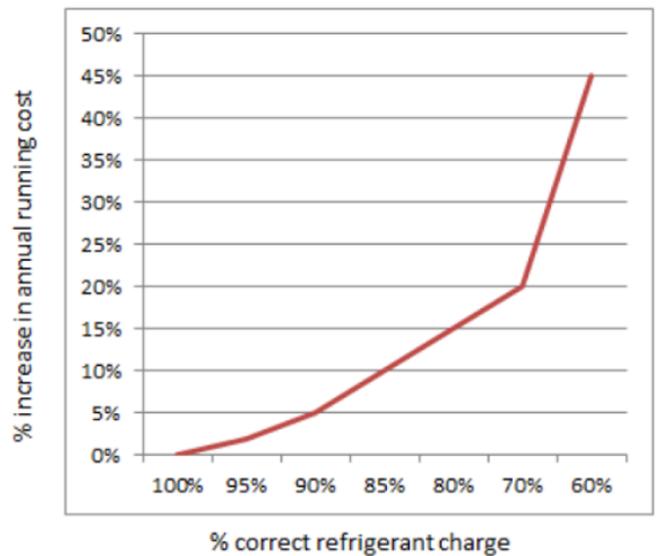


Figura 2: Incrementos en el costo de funcionamiento.

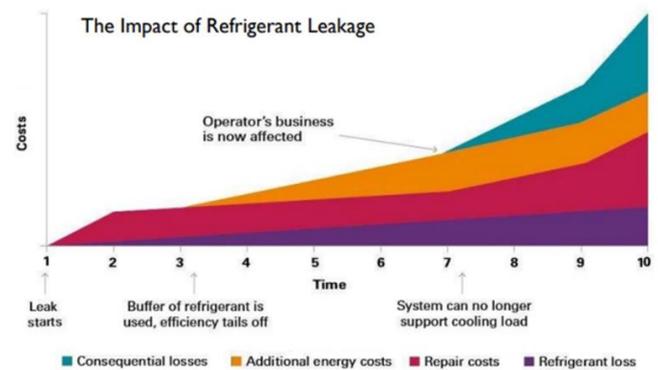


Figura 3: Incrementos en el costo de mantenimiento debido a fugas de refrigerante

Con la entrada en vigor la Enmienda de Kigali [8], ratificada por Argentina y oficializada a través de la resolución 104/2020 [9], se aguardan esquemas de medidas para desalentar el consumo. Como ha sucedido para los fluidos Clorofluorocarbonados (CFC), se espera que estas medidas impacten en los costos de reposición y disponibilidad del insumo.

Sin embargo, las complejidades del rubro no desalientan a las cadenas comerciales a incrementar su capacidad instalada. La ONU [8], espera que los principales países del mundo tripliquen la capacidad de refrigeración residencial y comercial en los próximos 30 años (Figura 4), basándose en estudios de la Agencia Internacional de Energía (IEA) [10].

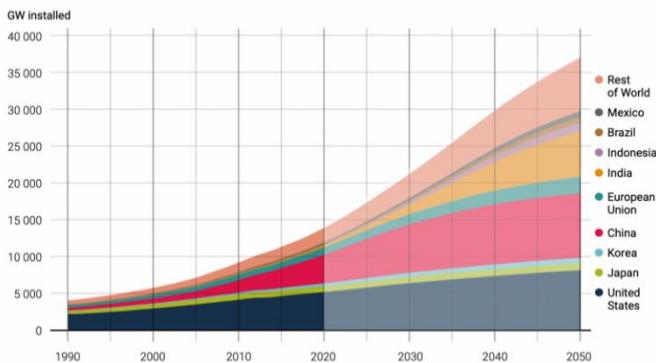


Figura 4: Proyecciones de capacidad de refrigeración residencial y comercial, publicadas en 2018 por la Agencia Internacional de Energía (IEA) [11]

La detección temprana de fallas en sistemas de refrigeración se configura como un objetivo relevante, tanto para reducir los costos de operación como para disminuir el impacto ambiental del servicio.

Con tal fin, la Unión Europea avanza sobre técnicas de detección de fugas, que incluyen inspecciones visuales anuales y detección de partículas de gas en suspensión en locales y equipos [12].

En este escenario, la IoT (“Internet of Things”) ha puesto al alcance del usuario cotidiano diversos dispositivos capaces de comunicarse con la nube, intercambiando datos para obtener conclusiones sobre desempeño de servicios y requerimientos [13].

Pero la recolección masiva de datos de funcionamiento requiere un procesamiento adecuado, que permita convertir estas “observaciones” en “información” útil para la toma de decisiones. Por lo tanto, es necesario determinar aquellos parámetros que son susceptibles a evidenciar fallas de operación en los sistemas centralizados de refrigeración.

## DESARROLLO

### Sistemas centralizados de refrigeración de uso comercial. Descripción general.

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”. [14].

La instalación se dimensiona con la capacidad adecuada para extraer el calor de los diversos equipos

conectados. Los requerimientos de cada equipo servido (unidad de refrigeración) dependen de sus condiciones de diseño, ocupación, productos almacenados, condiciones ambientales, entre otros.

Podemos agrupar sus componentes de un sistema central de refrigeración (SCR) en: consumidores, compresión y condensación. Cada uno de ellos incluye los elementos esenciales y los auxiliares para su funcionamiento.

La interconexión entre estos equipos se hace a través de las tuberías de distribución (tubos que trasladan el fluido refrigerante), que consta de una línea de impulsión y una línea de retorno.

El circuito se configura con la etapa de compresión (Figura 5), compuesta por uno o más compresores y elementos auxiliares. Su misión es descargar fluido refrigerante en forma de vapor sobrecalentado a la línea de impulsión. 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. Luego continuar la distribución a los consumidores.

La distribución puede realizarse a través de uno o más ramales de impulsión (circuitos). El fluido en los ramales de impulsión pasa por los consumidores (que contiene los elementos de expansión y evaporación), retornando a la etapa de compresión a través de la línea de retorno. Los consumidores pertenecientes a un mismo circuito se encuentra conectado “en paralelo

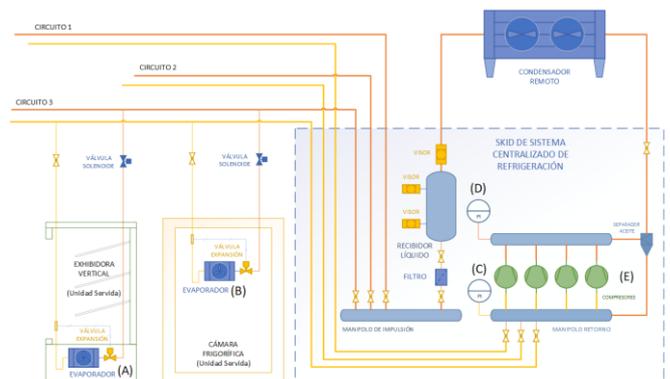


Figura 5: Componentes típicos de una instalación de refrigeración comercial.

Los consumidores requieren fluido refrigerante en estado líquido a temperaturas cercanas al ambiente y a “presión de alta”, proveniente de la etapa de “condensación”. De acuerdo con la demanda de frío (cantidad de calor que se requiere evacuar), tomará fluido de la línea de impulsión. El ingreso de fluido refrigerante a cada consumidor se habilita a través de una electroválvula. La electroválvula es comandada por un control de temperatura automático (termostato),

que verifica de forma continua la evolución de la temperatura del consumidor. En un sistema on/off, si se detecta un aumento que supera el nivel de centro, se habilita el paso del líquido y alimenta los intercambiadores de calor. Al llegar a la temperatura objetivo, se interrumpe el suministro de líquido.

Luego de la electroválvula, el fluido pasa por el elemento de expansión (habitualmente, válvula de expansión). El fluido refrigerante que atraviesa los evaporadores ingresa a la línea de retorno (línea de aspiración o línea “de baja presión”). Diversos consumidores pueden solicitar fluido refrigerante, de acuerdo con sus condiciones particulares de servicio. El sistema completo es un circuito cerrado, herméticamente sellado. En condiciones de funcionamiento adecuado, el gasto másico de fluido refrigerante es constante.

Si por algún motivo la provisión de fluido refrigerante no es suficiente para suplir la demanda, la temperatura en la línea de retorno aumenta, aumentando también su presión.

Los consumidores conectados a sistema centralizado más habituales son:

- Exhibidoras horizontales (mostradores o bateas). Mueble abierto o con puertillas de acceso al comerciante.
- Exhibidoras verticales (murales). Mueble abierto o con puertas de acceso para el cliente.
- Isla (pozo de frío). Mueble abierto o con puertillas de acceso para el cliente.
- Cámaras frigoríficas.

## **MEDOTOLOGÍA**

### **Recolección de datos**

El estudio tiene fines “exploratorios”, 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 de la marca Full Gauge, y su software gratuito de recolección de datos SITRAD [15]. Cada dispositivo de medición se denomina “estación”.

Las variables seleccionadas para el relevamiento son:

- Presión del colector de descarga de compresores (línea de alta): Coincide aproximadamente con la presión de condensación y con la presión al ingreso del dispositivo de expansión (Estación 7).

- Presión del Distribuidor de succión de compresores (línea de baja): Coincide aproximadamente con la presión de expansión y la presión de la línea de retorno (Estación 8).

- Tensión de cada fase de alimentación R, S y T (Estación 9).

- Temperatura del recinto refrigerado de cada unidad de refrigeración relevada. (Estaciones 3, 10, 11 y 12)

Para el experimento, se considerarán solamente los equipos que se encuentren vinculados a la red de adquisición de datos, y servidos por la SCR. No se consideran equipos con unidades condensadoras individuales.

Para la conformación de la base de datos, se registró una medición cada cinco minutos, de cada variable monitoreada.

Además, 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.

### **Procesamiento estadístico**

El procesamiento de los datos se realiza empleando el software MINITAB 17©. Como eje central se utiliza el Modelo Lineal General, y las herramientas de cálculo asociadas-

Para limitar la influencia de efectos estacionales, el estudio exploratorio se realiza en períodos mensuales.

Para analizar la influencia de fallas registradas, se establece el factor Servicio, con dos niveles:

- Mantenimiento (MAN): solicitud de mantenimiento en cualquiera de los componentes del sistema de refrigeración de la sucursal.

- Observación (OBS): Estado normal de observación, sin sospechas de funcionamiento anormal.

Además, reviste interés determinar la influencia de factores temporales como:

- Turno (Matutino, Vespertino, Nocturno): El estudio se realiza comparando la influencia de los turnos Matutino (M) y Nocturno (N), eliminando el turno Vespertino (V), debido a que su comportamiento es influenciado por fechas y días particulares.

- Día de la semana (L, M, X, J, V, S, D): Establece si existen comportamientos distintos entre días de la semana, determinando la influencia de la agenda semanal.

Durante el desarrollo del estudio se presentan variaciones en la temperatura objetivo de las unidades

de refrigeración. Estos cambios de “objetivo de control” se asocian al factor “Escalón”. El nivel del factor cambia sólo si se ha cambiado la temperatura objetivo de control de la unidad estudiada.

El procedimiento sigue las bases teóricas recomendadas por los estudios de Probabilidad y Estadística (Pulido y La Salazar, 2013; Walpole, Myers, Myers y Ye, 2012) y Diseño de Experimentos (Montgomery, 2004) (Pulido y La Salazar, 2012), y consta de las siguientes instancias:

El objetivo de este análisis estadístico es determinar variables que estén correlacionadas con los “llamados a servicio de mantenimiento” (Factor Servicio, condición MAN). Las variables respuesta analizadas, son los datos recolectados por los sensores. Los factores “Turnos”, “Día Semana”, “Mes-Año” y “T.A.” se incluirán en el estudio para examinar su correlación con el funcionamiento en falla, y determinar su preponderancia en la explicación de la variación de los parámetros monitoreados.

1- Reducción de datos: Obtención de valores medios para cada turno de cada día observado, con objetivo de reducir el número de datos y mantener un diseño balanceado.

2-Declaración del Intervalo de Confianza adoptado para el estudio preliminar.

3-Prueba de normalidad de los datos: Pruebas de Anderson-Darling sobre las observaciones.

4-Gráfica de efectos principales.

5-Análisis del Modelo General Lineal: Los valores medios por turno y por día se someterán al análisis general lineal, con los factores “Turnos”, “Servicio”, “Mes-Año”, “T.A”.

6-Comprobación supuestos del ANOVA:

6.a-Supuesto: Idoneidad del modelo (gráfica Residuos Vs Ajustes)

6.b-Supuesto: Independencia (gráfica Residuos Vs Orden)

6.c-Supuesto: Normalidad (prueba de Normalidad de Residuos)

6.d-Supuesto: Homogeneidad de variancia (prueba estadística de Bartlett o Levenne).

## RESULTADOS

### Resultados del Modelo Lineal General.

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 en 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.

Las tablas 1 a 7 trasladan información de los análisis realizados. Se transcriben los valores de R<sup>2</sup>, indicador estadístico de las bondades del modelo y los factores asociados para predecir la variación de la respuesta. La siguiente columna indica la contribución del factor Servicio, para explicar el comportamiento de la variable.

Las columnas de Falla indican el resultado de las tareas de mantenimiento en la sucursal, distinguiendo en verde las fallas del servicio central (SCR) y en amarillo las fallas locales (solo a la unidad de refrigeración relevada por la estuación).

La columna de residuos atípicos distingue entre valores grandes y valores poco comunes. Estos valores ayudan a interpretar el resultado de la prueba de normalidad. El estudio particular de los datos con residuos “Grandes” y “Poco comunes” permite mejorar los resultados de las pruebas de normalidad de residuos, validando el supuesto del ANOVA. Debido a que el desarrollo tiene fines exploratorios, no se aborda el refinamiento de datos y el tratamiento de residuos atípicos.

Tabla 1 - Estación 3: Exhibidora vertical. Variable: Temperatura de recinto refrigerado

Año	Mes	R <sup>2</sup>	Factor Servicio	Residuos Grandes + Poco comunes	Falla SCR	Falla Local	Supuesto ANOVA Distrib. Normal
2015	Sep	71,16%	6,64%	3 + 8	Gas	NO	NO
	Oct	84,18%	4,04%	4 + 8	NO	NO	SI
	Nov	88,13%	-	3 + 8	NO	NO	NO
	Dic	78,52%	1,10%	4 + 0	NO	NO	SI
2016	Ene	78,52%	13,28%	1 + 2	Gas	NO	SI
	Feb	94,96%	2,11%	2 + 7	NO	NO	SI
	Mar	77,74%	0,23%	1 + 7	NO	NO	SI
	Abr	63,37%	4,29%	2 + 5	NO	NO	SI
	May	51,68%	-	4 + 4	NO	NO	SI
	Jun	49,37%	0,22%	2 + 5	NO	NO	NO
	Jul	68,21%	0,31%	3 + 5	NO	NO	NO
	Ago	82,17%	21,08%	2 + 11	Gas	NO	NO
	Sep	68,45%	4,96%	1 + 10	NO	NO	SI
	Oct	62,05%	-	3 + 11	NO	NO	NO
	Nov	84,84%	5,36%	2 + 0	NO	NO	NO
	Dic	75,00%	-	6 + 6	NO	NO	SI

Tabla 2 - Estación 10: Cámara de vegetales. Variable: Temperatura de recinto.

Año	Mes	R <sup>2</sup>	Factor Servicio	Residuos Grandes + Poco comunes	Falla SCR	Falla Local	Supuesto ANOVA Distrib. Normal
2015	Sep	50,77%	20,81%	1 + 8	Gas	-	SI
	Oct	40,74%	2,29%	2 + 8	-	-	SI
	Nov	67,32%	-	1 + 8	NO	NO	SI
	Dic	11,21%	0,26%	1 + 0	NO	NO	NO
2016	Ene	56,54%	12,60%	4 + 2	Gas	NO	SI
	Feb	61,67%	8,42%	8 + 7	NO	NO	SI
	Mar	51,57%	13,95%	3 + 7	NO	Apa-gado	SI
	Abr	78,00%	1,37%	4 + 5	NO	NO	NO
	May	41,60%	-	2 + 4	NO	NO	SI
	Jun	52,59%	7,77%	3 + 5	NO	NO	NO
	Jul	55,44%	0,49%	2 + 5	NO	NO	SI
	Ago	77,00%	17,59%	2 + 11	Gas	NO	NO
	Sep	67,81%	1,80%	5 + 10	NO	NO	NO
	Oct	59,44%	-	3 + 11	NO	NO	NO
	Nov	53,33%	1,12%	3 + 0	NO	NO	NO
	Dic	50,94%	-	3 + 7	NO	NO	NO

Tabla 4 - Estación 12: Cámara de productos lácteos y panificación. Variable: Temperatura de recinto.

Año	Mes	R <sup>2</sup>	Factor Servicio	Residuos Grandes + Poco comunes	Falla SCR	Falla Local	Supuesto ANOVA Distrib. Normal
2015	Sep	65,16%	7,21%	4 + 8	Gas	NO	SI
	Oct	74,27%	1,59%	3 + 8	NO	NO	SI
	Nov	82,75%	NO	4 + 8	NO	NO	NO
	Dic	33,82%	1,01%	3 + 0	NO	NO	NO
2016	Ene	66,40%	0,30%	4 + 2	Gas	NO	NO
	Feb	68,28%	0,30%	2 + 7	NO	NO	NO
	Mar	61,77%	1,72%	3 + 7	NO	NO	NO
	Abr	71,75%	0,33%	1 + 5	NO	NO	SI
	May	60,99%	NO	3 + 4	NO	NO	NO
	Jun	90,17%	0,89%	2 + 5	NO	NO	SI
	Jul	81,36%	1,40%	2 + 5	NO	NO	NO
	Ago	90,91%	0,00%	3 + 11	Gas	NO	SI
	Sep	82,55%	1,28%	2 + 10	NO	NO	SI
	Oct	58,40%	NO	3 + 11	NO	NO	NO
	Nov	74,64%	0,83%	1 + 0	NO	NO	SI
	Dic	70,33%	NO	4 + 7	NO	NO	SI

Tabla 3 - Estación 11: Cámara de productos cármicos. Variable: Temperatura de recinto.

Año	Mes	R <sup>2</sup>	Factor Servicio	Residuos Grandes + Poco comunes	Falla SCR	Falla Local	Supuesto ANOVA Distrib. Normal
2015	Sep	73,58%	29,73	3 + 8	Gas	NO	NO
	Oct	76,16%	0,90%	4 + 8	NO	NO	NO
	Nov	81,44%	NO	3 + 8	NO	NO	SI
	Dic	76,64%	5,86%	4 + 0	NO	NO	SI
2016	Ene	82,72%	16,70%	3 + 2	Gas	NO	SI
	Feb	87,37	0,81%	3 + 7	NO	NO	SI
	Mar	79,40%	0,09%	5 + 7	NO	NO	SI
	Abr	72,77%	8,45%	2 + 5	NO	NO	SI
	May	69,66%	-	2 + 4	NO	NO	NO
	Jun	62,93%	14,72%	1 + 5	NO	Blo-queo	NO
	Jul	82,45%	7,37%	4 + 5	NO	NO	SI
	Ago	85,69%	46,66%	3 + 11	Gas	NO	SI
	Sep	75,89%	0,00%	2 + 10	NO	NO	SI
	Oct	80,45%	-	3 + 11	NO	NO	SI
	Nov	76,40%	23,15%	2 + 0	NO	Blo-queo	SI
	Dic	84,79%	-	4 + 7	NO	NO	SI

Tabla 5 - Estación 7: Presión de Alta en SCR. Variable: Presión

Año	Mes	R <sup>2</sup> Variable : Presión.	Factor Servicio	Residuos Grandes + Poco comunes	Falla SCR	Falla Local	Supuesto ANOVA Distrib. Normal
2015	Sep	94,44%	0,58%	1 + 8	Gas	NO	SI
	Oct	88,99%	0,02%	2 + 8	NO	NO	SI
	Nov	75,81%	NO	1 + 8	NO	NO	NO
	Dic	72,55%	6,79%	2 + 0	NO	NO	SI
2016	Ene	82,80%	0,81%	2 + 2	Gas	NO	SI
	Feb	88,37%	0,60%	4 + 7	NO	NO	SI
	Mar	94,07%	0,02%	4 + 7	NO	NO	SI
	Abr	74,75%	12,90%	2 + 5	NO	NO	SI
	May	81,77%	NO	2 + 4	NO	NO	NO
	Jun	88,62%	0,03%	3 + 5	NO	NO	NO
	Jul	74,65%	1,39%	1 + 5	NO	NO	SI
	Ago	92,77%	0,82%	1 + 11	Gas	NO	NO
	Sep	94,88%	6,95%	1 + 10	NO	NO	SI
	Oct	80,71%	NO	2 + 11	NO	NO	NO
	Nov	91,22%	2,28%	1 + 8	NO	NO	SI

	Dic	89,24%	NO	2 + 7	NO	NO	SI
--	-----	--------	----	-------	----	----	----

Tabla 6 - Estación 8: Presión de Baja en SCR. Variable: Presión.

Año	Mes	R <sup>2</sup>	Factor Servicio	Residuos Grandes + Poco comunes	Falla SCR	Falla Local	Supuesto ANOVA Distrib. Normal
2015	Sep	87,67%	10,42%	1 + 8	Gas	NO	SI
	Oct	80,19%	0,05%	3 + 8	NO	NO	SI
	Nov	36,16%	NO	1 + 8	NO	NO	NO
	Dic	22,28%	4,66%	2 + 0	NO	NO	NO
2016	Ene	55,42%	9,78%	2 + 2	Gas	NO	SI
	Feb	50,37%	2,02%	3 + 7	NO	NO	NO
	Mar	55,67%	6,00%	5 + 7	NO	NO	SI
	Abr	63,29%	6,16%	1 + 5	NO	NO	SI
	May	68,62%	NO	4 + 4	NO	NO	SI
	Jun	81,83%	1,01%	0 + 5	NO	NO	SI
	Jul	49,55%	0,05%	5 + 5	NO	NO	SI
	Ago	71,09%	30,18%	3 + 11	Gas	NO	SI
	Sep	76,06%	1,37%	4 + 10	NO	NO	NO
	Oct	59,50%	NO	2 + 11	NO	NO	SI
	Nov	18,27%	8,22%	2 + 0	NO	NO	SI
	Dic	67,59%	NO	3 + 7	NO	NO	SI

Tabla 7 - Estación 9: Fase R (SCR). Variable: tensión.

Año	Mes	R <sup>2</sup>	Factor Servicio	Residuos Grandes + Poco comunes	Falla SCR	Falla Local	Supuesto ANOVA Distrib. Normal
2015	Sep	79,56%	0,07%	1 + 8	SI	NO	SI
	Oct	68,66%	0,52%	2 + 8	NO	NO	SI
	Nov	85,11%	NO	2 + 8	NO	NO	SI
	Dic	66,47%	0,75%	4 + 0	NO	NO	SI
2016	Ene	72,86%	7,12%	3 + 2	SI	NO	SI
	Feb	76,29%	0,15%	1 + 7	NO	NO	SI
	Mar	89,68%	0,15%	3 + 7	NO	NO	SI
	Abr	82,04%	2,46%	0 + 5	NO	NO	SI
	May	78,30%	NO	3 + 4	NO	NO	SI
	Jun	73,92%	0,20%	2 + 5	NO	NO	SI
	Jul	63,64%	0,00%	2 + 4	NO	NO	SI
	Ago	85,07%	0,14%	1 + 11	SI	NO	SI
	Sep	83,52%	0,23%	3 + 10	NO	NO	NO
	Oct	81,44%	NO	3 + 11	NO	NO	SI
	Nov	66,47%	0,03%	2 + 0	NO	NO	SI

	Dic	89,39%	NO	0 + 7	NO	NO	SI
--	-----	--------	----	-------	----	----	----

Al interpretar los resultados del modelo lineal general para las temperaturas de las unidades de refrigeración servidas por el SCR, se observó que las estaciones 3; 10 y 11 presentaron variabilidad explicada por la aparición de fallas de estanqueidad del circuito de refrigeración (Gas). De las tres estaciones, la 11 presentó la mayor correlación. La variabilidad temperatura de la estación 12 no pudo ser explicada por la aparición de esta falla.

La variable “presión de alta”, relevada por la estación 7 no presentó correlación con los eventos de falla manifestados en el período de estudio

La variable “presión de baja”, relevada por la estación 8 presentó correlación con eventos de falla por pérdida de estanqueidad.

Solo se presentan los estudios de la fase R, debido a que la ausencia de fallas en el suministro eléctrico resultó en la correlación nula entre el factor Servicio y la variable respuesta Tensión.

Con distintos aportes para cada caso, los factores principales en todos los análisis resultaron: “Turno”, “Temperatura Ambiente”, “Servicio” y “Escalón”. El factor “Día de la semana” presentó una contribución escasa, como puede observarse en la gráfica de efectos principales de la estación 3 (Figura 6).

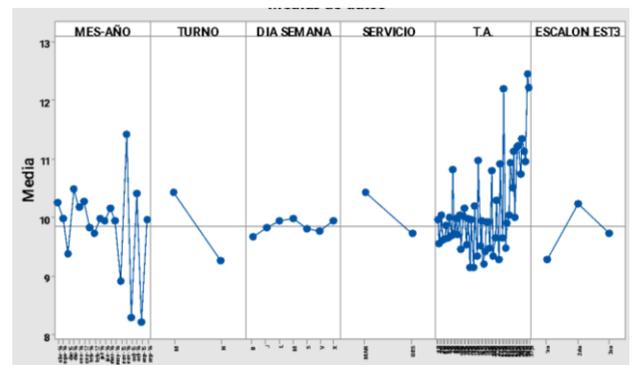


Figura 6: Gráfica de efectos principales de la estación 3.

## CONCLUSIONES

El análisis de los datos indica que es posible asociar comportamientos particulares de variables mensurables, 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.

Sin embargo, a pesar de la conveniencia de reducir los puntos de vigilancia, debe considerarse el efecto de las fallas locales de las unidades de refrigeración.

Por lo tanto, es posible concluir que este estudio sienta las bases para el diseño de un control estadístico de fallas, que contribuya a mantener la calidad de suministro de productos refrigerados, en instalaciones comerciales, con procedimientos amigables al medio ambiente, reduciendo riesgos empresariales y aumentando la confianza del cliente.

## REFERENCIAS

- [1] V. Pires, R. Rivas y P. García-Fraile, “Análisis metagenómico de la evolución de las comunidades microbianas en alimentos sometidos a refrigeración y en condiciones de ausencia de frío,” *FarmaJournal*, vol. 4, no. 2, pp. 73–84, 2019. doi: 10.14201/fj2019427384
- [2] MGM International, *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>.
- [3] Gamma Ingenieros SA, *Diagnóstico energético del sector Retail. Informe Final*. [Online]. Disponible en [http://old.acee.cl/576/articulos-61760\\_doc\\_pdf.pdf](http://old.acee.cl/576/articulos-61760_doc_pdf.pdf).
- [4] T. Michineau, O. Calmels, S. Barrault y D. Clodic, *Alternatives to high GWP refrigerants in refrigeration & air-conditioning applications*. doi: 10.18462/iir.icr.2019.0552
- [5] S. Barrault, *Detection de Fuite. Etude sur les moyens de detection de fuite des installations de refrigeration de climatisation*. doi: 10.13140/RG.2.2.28287.20647. [Online]. Disponible en <https://bibliothèque.ademe.fr/air-et-bruit/1916-detection-de-fuite-etude-sur-les-moyens-de-detection-de-fuite-des-installations-de-refrigeration-de-climatisation.html>.
- [6] D. Bostock, *Refrigerant Loss, System Efficiency and Reliability– A Global Perspective*.
- [7] UN Climate Change, *Global Warming Potentials (IPCC Second Assessment Report), United Nations Climate Change*.
- [8] ONU, *La Enmienda de Kigali logra 100 ratificaciones e impulsa la acción climática: ONU Programa para el medio ambiente*. [Online]. Disponible en <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/la-enmienda-de-kigali-logra-100-ratificaciones-e-impulsa>.
- [9] Presidencia de la República Argentina, *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#>.
- [10] United Nations Environment Programme y International Energy Agency, *Cooling Emissions and Policy Synthesis Report*.
- [11] ONU, *Sistemas de enfriamiento sostenibles podrían reducir años de emisiones de gases de efecto invernadero y ahorrar billones de dólares: ONU, ONU Programa para el Medio Ambiente*. [Online]. Disponible en <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/sistemas-de-enfriamiento-sostenibles-podrian-reducir>.
- [12] E. Devin *et al.*, *Etude sur le confinement des fluides frigorigènes*. [Online]. Disponible en <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/confinement-fluides-frigorigenes-2015.pdf>.
- [13] S. Silvestre y J. Salazar, *El mundo Internet of Things (IoT)*. (only electronic form): Erasmus+, 2019.
- [14] Boletín Oficial del Estado Español, “Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus

instrucciones técnicas complementarias. (Real Decreto 552/2019),” *Boletín Oficial del Estado*, 2019.

[15] Full Gauge Controls, “SITRAD. USER GUIDE,” 2014.