

## TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE SERVICIOS DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL

Rodrigo Agosta <sup>1</sup>, Fabián Gon <sup>2</sup>, Matías Orué <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Grupo GIEDI – UTN Facultad Regional Santa Fe  
Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina- [ragosta@frsf.utn.edu.ar](mailto:ragosta@frsf.utn.edu.ar).

<sup>2</sup> Grupo GIEDI – UTN Facultad Regional Santa Fe  
Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina- [fgon@frsf.utn.edu.ar](mailto:fgon@frsf.utn.edu.ar)

<sup>3</sup> Grupo GIEDI – UTN Facultad Regional Santa Fe  
Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina- [morue@frsf.utn.edu.ar](mailto:morue@frsf.utn.edu.ar)

### RESUMEN

La incidencia ambiental de los grandes sistemas de refrigeración, demandan técnicas apropiadas de detección de fallas. Cambios sutiles producidos por las pérdidas graduales de capacidad quedan ocultos por las etapas de operación propias de cada unidad servida, las reposiciones de productos, la frecuencia de observación y la capacitación del observador. La observación intuitiva de parámetros de funcionamiento y las revisiones periódicas de las instalaciones pueden ser influenciadas por factores climáticos.

La inversión en tecnología digital puede reducir significativamente los costos operativos actuales. Puede optimizar los procesos empresariales existentes y reducir costos de mantenimiento de equipos, gasto energético y gastos en gestión de recursos humanos. La recolección y procesamiento estadístico de los datos, puede aportar importantes avances sobre la detección temprana de fallas que progresivamente reducen la capacidad de la instalación.

Este trabajo presenta el desarrollo de un proceso de transformación digital aplicado sobre los equipos de una cadena comercial, con el objetivo de su mejorar la gestión de inspección y mantenimiento del servicio de refrigeración para productos perecederos.

**Palabras Clave:** Refrigeración Comercial, Transformación Digital, Detección Temprana de Fallas.

### 1. INTRODUCCIÓN

Debido al impacto ambiental y los riesgos sanitarios, los reglamentos de aplicación europeos obligan a las empresarios a realizar de inspecciones periódicas [1]. Pero en Argentina no existen tales instrumentos. Por lo tanto, los procedimientos y objetivos quedan a criterio de las partes interesadas.

El desempeño inadecuado de las instalaciones de refrigeración tiene un fuerte impacto económico, afectando la relación con el cliente y la reputación de la empresa. Por este motivo,

los Supermercados e Hipermercados implementan algún tipo de control y asignación de responsabilidades. Por este motivo, las empresas suelen abordar múltiples metodologías.

En la práctica, es común tercerizar el servicio de mantenimiento a empresas con competencia en el rubro. Mientras que las acciones preventivas incluyen inspecciones mensuales y actividades programadas, las acciones correctivas que requieren solución a muy corto plazo deben ser detectadas por los encargados locales.

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. Práctica tradicional

Los sistemas remotos centralizados (SCR) de expansión directa o “centrales de refrigeración”, son equipos que sirven a más de un consumidor (Figura 2). La capacidad de refrigeración es modulada con la variación del tándem de compresión y el conjunto de condensación. El fluido frigorífico es distribuido a las unidades evaporadoras, de acuerdo a la demanda individual. La instalación se dimensiona con la capacidad adecuada para extraer el calor de los diversos equipos conectados [2].

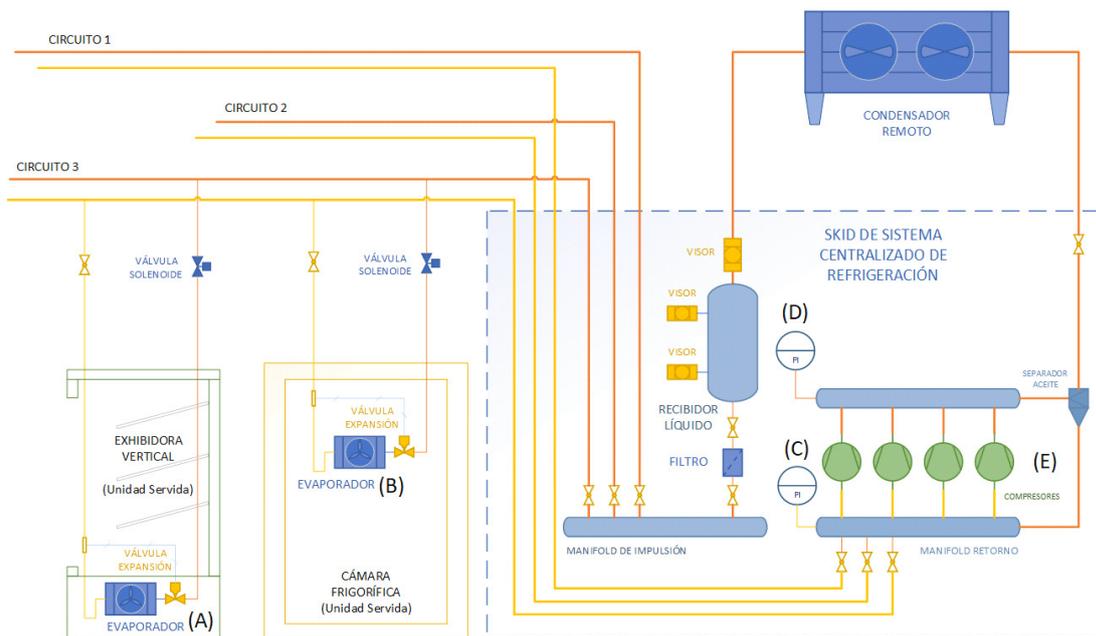


Figura 2: Esquema general de un sistema remoto centralizado de expansión directa.

Actualmente, es habitual que todas las unidades refrigeradas cuenten con un termómetro, permitiendo un registro local de observaciones y niveles de control (alarmas).

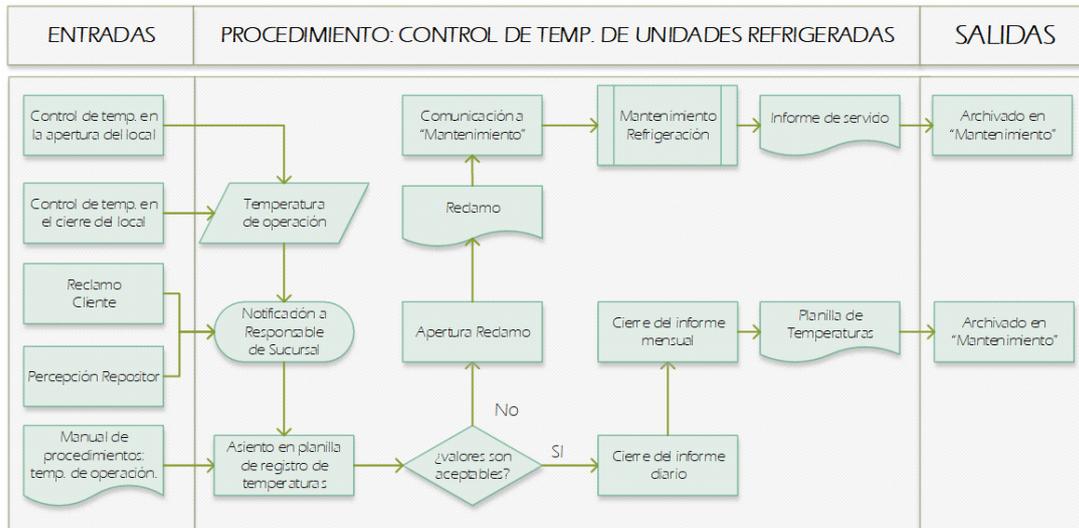


Figura 1: Ejemplo de procedimiento de control de equipos de refrigeración

Seguindo procedimientos de inspección sensorial (Figura 1), es posible detectar fallas graves del servicio. Pero tratándose de equipos con comportamiento variable (refrigeración, descongelado, parada nocturna), afectado por factores externos (temperatura, humedad, horarios de apertura y cierre de la sucursal), alterado por condiciones de uso (reposición de mercadería, proceso de limpieza) y con objetivos de desempeño dependientes de la mercadería (carnes, lácteos, pastas, vegetales, etc.), la interpretación de valores inadecuados de funcionamiento puede convertirse en una tarea exhaustiva y de alta capacitación.

Como resultado, los responsables del comercio habitualmente solo detectan fallas cuando se presentan niveles muy altos de temperatura. En el peor de los escenarios, los clientes son los que manifiestan que la mercadería exhibida se encuentra en condiciones inadecuadas.

## 2.2. Transformación Digital

La Internet de las cosas (IoT) “permite una comunicación de forma multidireccional entre máquinas, personas y productos, facilitando la toma de decisiones en base a la información que la tecnología recoge de su entorno. Utiliza nuevos sensores y actuadores que, en combinación con los análisis... de computación en la nube, permite máquinas autónomas y sistemas inteligentes” [3].

La arquitectura de la información basada en Internet “permite el intercambio de bienes y servicios entre todos los elementos, equipos y objetos conectados a la red. La IoT se refiere a la interconexión en red de todos los objetos cotidianos, que a menudo están equipados con algún tipo de inteligencia. En este contexto, Internet puede ser también una plataforma para dispositivos que se comunican electrónicamente y comparten información y datos específicos con el mundo que les rodea. Así, la IoT puede verse como una verdadera evolución de lo que

*conocemos como Internet añadiendo una interconectividad más extensa, una mejor percepción de la información y servicios inteligentes más completos.” [4]*

Diversas metodologías de adquisición se han materializado en la práctica en casos prácticos y en laboratorios experimentales de adquisición de datos, empleando sistemas embebidos programables. Para estos fines, se registran experiencias con plataformas de desarrollo ARDUINO [5, 6, 7] o equipos de uso frecuente en la industria, como Termistores (RTD pt100) y dispositivos HMI (human-machine interfaces) [8, 9, 10].

El mercado cuenta con diversos dispositivos específicamente destinados al seguimiento y control de sistemas de refrigeración, provistos por marcas de alcance internacional. Ejemplos de estos son: SITRAD [11], NOVUS [12], entre otras aplicaciones. Su implementación ofrece al usuario importantes ventajas (soporte técnico, intercambiabilidad de dispositivos, actualización de hardware y firmware, entre otras).

### 3. METODOLOGÍA

El relevamiento de datos se ejecutó empleando el paquete comercial SITRAD [12], provisto por Full Gauge Control (Figura 3). Para la captura y resguardo de datos, se empleó computación de borde. Con este enfoque, el procesamiento y almacenamiento de los datos se produce en la sucursal donde se generan, evitando pérdidas asociadas a inestabilidades de comunicación en la intranet de la cadena. Los datos almacenados en el servidor local pueden ser transferidos como paquetes de información periódicos, cuando son requeridos para su análisis.

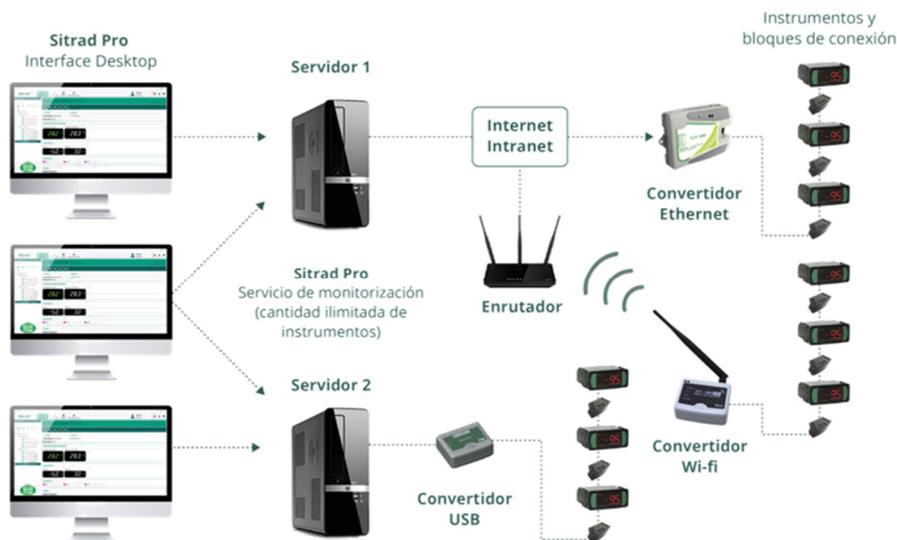


Figura 3: Estructura del sistema instalado.

Las variables de funcionamiento seleccionadas para relevamiento fueron:

- Temperatura de consumidor (temperatura del aire en la succión de los forzadores de los evaporadores). (Figura 2, A y B): Estaciones 3; 10; 11 y 12.
- Presión de Baja en el colector de succión de los compresores (aproximadamente igual a la presión de evaporación y línea de retorno). (Figura 2, C): Estación 7.
- Presión de Alta en el colector de descarga de los compresores (aproximadamente igual a la presión en condensador y línea de distribución). (Figura 2, D): Estación 8.
- Tensión de alimentación (Fase R, S y T). (Figura 2, E). Estación 9.

Durante la etapa de puesta a punto del sistema, las recolecciones de datos se realizaron sin observación en tiempo real, ni intervención en el proceso de decisión. El objetivo fue reunir datos adecuados para el desarrollo de cartas de control [13], operando con el sistema tradicional.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Datos recolectados

Se trasladan las gráficas de datos obtenidos durante el período 01/09/2015 al 01/03/2017, para ejemplificar la variabilidad de los datos y su contraste con la variabilidad de las temperaturas ambientes.

Los datos graficados corresponden a los valores medios de cada turno de trabajo diario, permitiendo observar la variabilidad entre franjas horarias e incidencia de luz solar. Se presentan, además, los datos de temperaturas máximas y mínimas diarias, declaradas por el servicio meteorológico nacional.

#### 4.1.1. Temperatura de consumidores

La Figura 4 muestra las lecturas de temperatura de dos estaciones distintas (3 y 11). A cada una de ellas le corresponde una temperatura objetivo distinta, asociada con el producto a preservar. La gráfica presenta una variabilidad importante de las lecturas, acompañada por la variabilidad de la temperatura ambiente. Además, en la estación 3 se puede observar la incidencia de un efecto escalón (cambio de nivel) entre abril de 2016 y febrero de 2017, correspondiente a un cambio de configuración del equipo.

En forma similar, la Figura 5 muestra las lecturas de temperatura de las estaciones 10 y 12. A partir de mayo de 2016 se observa un claro efecto de cambio de nivel en la estación 10, debida a un cambio de configuración del equipo. La estación 12 presenta varios cambios de nivel. Esta gráfica pone de manifiesto la diferencia entre la variabilidad de temperaturas entre distintos equipos. La estación 12, por ejemplo, presenta una variabilidad muy superior a la estación 10.

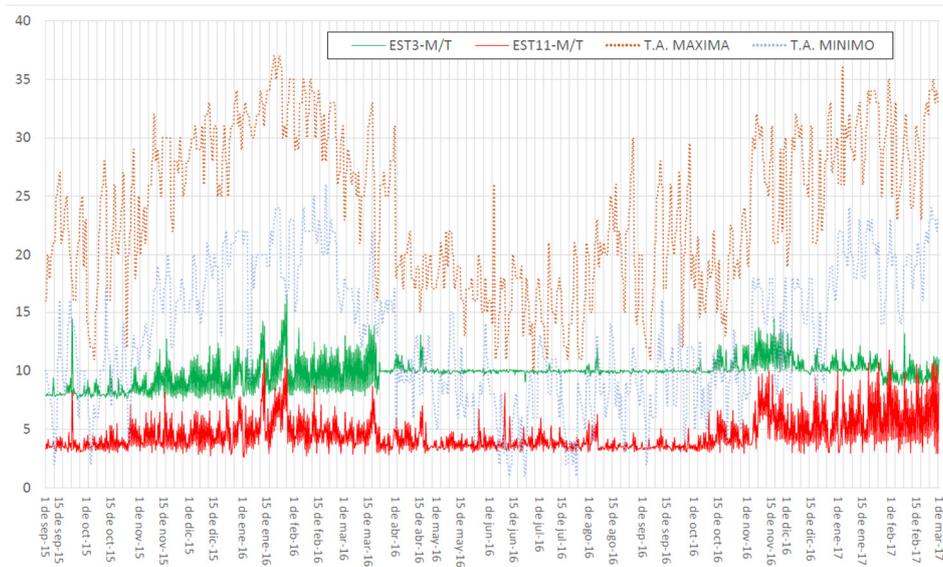


Figura 4: Temperaturas de las estaciones 3 y 11

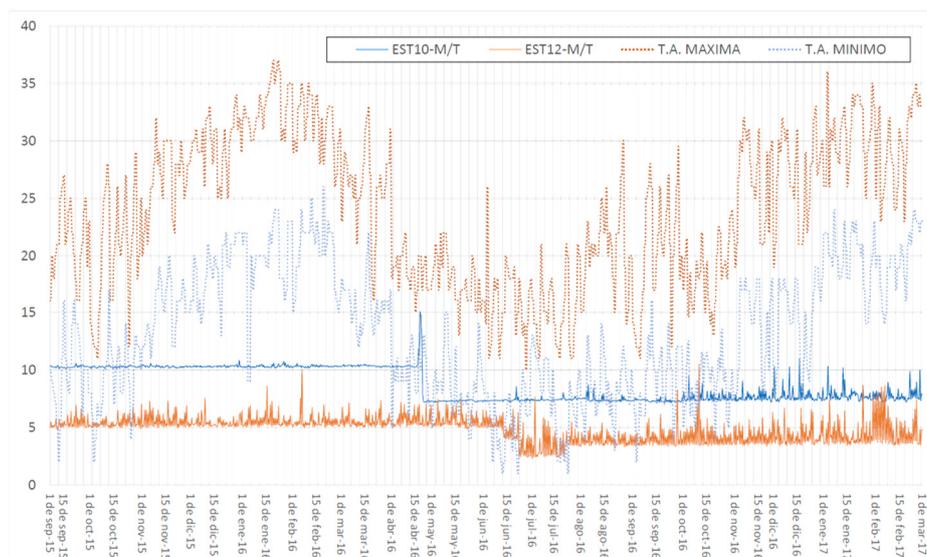


Figura 5: Temperaturas de las estaciones 10 y 12

#### 4.1.2. Presión

La Figura 6 pone de manifiesto los datos recolectados de presión de alta (estación 7) y presión de baja (estación 8).

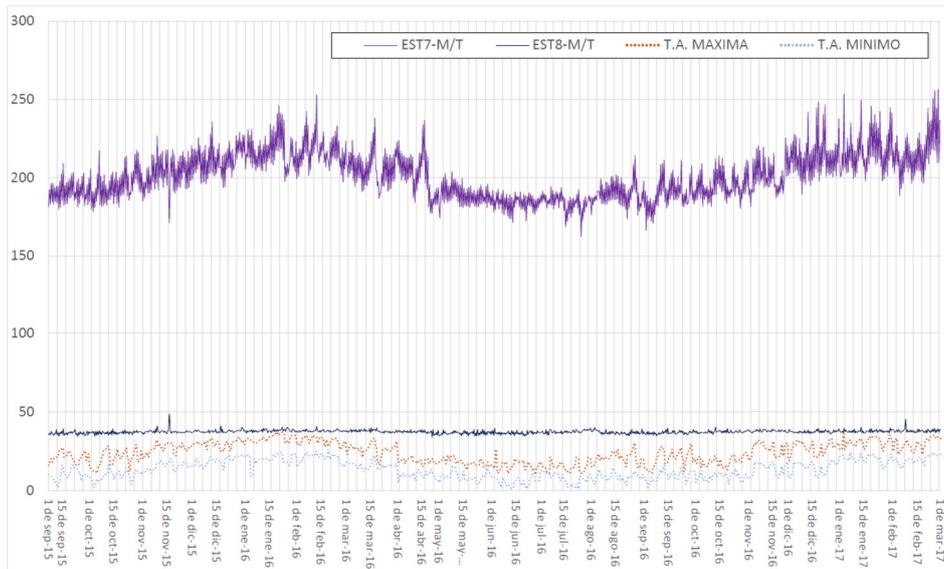


Figura 6: Presiones en las estaciones 7 y 8.

#### 4.1.3. Tensión de alimentación

La Figura 7 muestra los datos de tensión de alimentación a pie de tablero de la central de refrigeración.

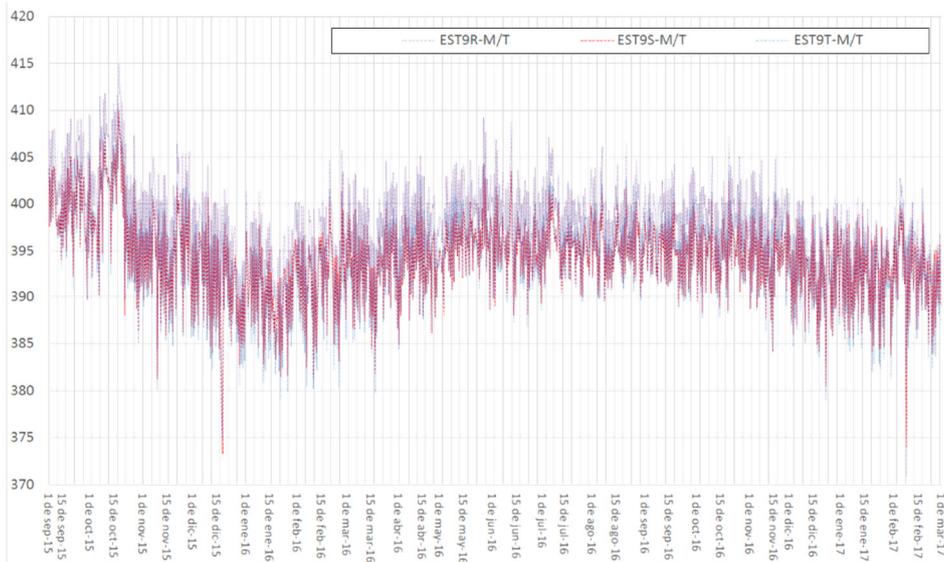


Figura 7: Tensiones de alimentación

#### 4.2. Desarrollo de un evento de falla.

Durante la recolección de datos para el estudio preliminar del sistema, se produjo un evento de falla por pérdida de estanqueidad (Figura 8). A medida que la se redujo la carga de fluido frigorífico, el sistema perdió capacidad. En las gráficas de evolución de temperaturas de la estación, se observa como las temperaturas se incrementan con el paso del tiempo.

A partir de la fecha 01/11 comenzó el aumento progresivo de las temperaturas medias del recinto refrigerado. Durante las observaciones diarias, los responsables locales no detectaron el evento, incluso cuando las condiciones se agravaron a partir del 04/11. La detección se produjo después del 07/11. La restitución del sistema fue posterior al 11/11.

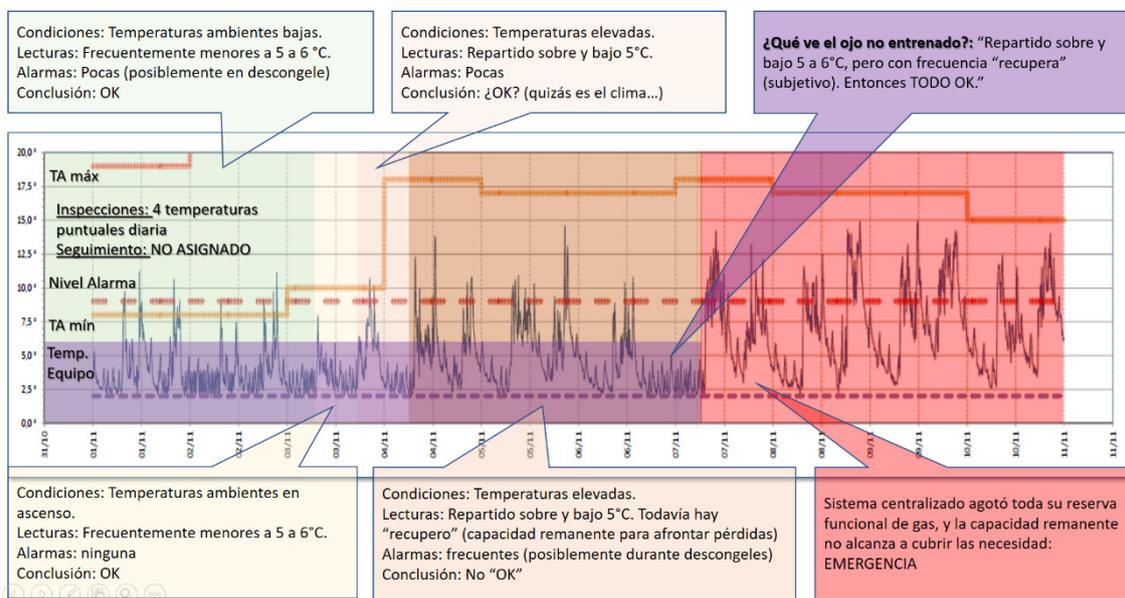


Figura 8: Caso real de desarrollo de una falla por pérdida de estanqueidad

Los datos procesados, permite observar que las temperaturas medias aumentaron entre el 04/11 y el 07/11, respecto a las lecturas entre el 31/10 y el 02/11.

### 5. CONCLUSIONES

Los datos recolectados en diversos equipos presentan comportamientos de interés para su análisis. Las lecturas de temperatura de equipos cambiaron en variabilidad y valor medio, durante el período observado. Durante un evento de falla corroborado, se registraron cambios en el comportamiento respecto a los períodos de funcionamiento normal. Esto indica una factibilidad de la detección de funcionamientos irregulares, empleando los datos relevados.

Sin embargo, distintos factores de servicio inciden en el desempeño de los equipos (meses del año, días de la semana, turnos del día, jornadas laborales, condiciones particulares de marcha, temperatura ambiente, etc.), lo cual representa un obstáculo para el análisis intuitivo, influyendo negativamente en el proceso de toma de decisiones. En adición, la complejidad de

esta tarea aumenta, considerando el seguimiento de múltiples equipos con características disímiles.

Por lo tanto, se concluye que es necesario un procesamiento estadístico, que aisle efectos de factores externos, transformando los datos en información útil.

La transformación digital aplicada al seguimiento del desempeño del servicio de refrigeración, permite obtener un número importante de mediciones, en frecuencias considerables. Esto facilita la visualización de comportamientos ocultos para las metodologías tradicionales, posibilitando la detección temprana de eventos de falla progresivas.

Los datos digitalizados, pueden ser trasladados a requerimiento, para su procesamiento. La centralización otorga al personal capacitado los medios adecuados para el análisis y comparación de diversos escenarios. Estas ventajas potencian las competencias del personal, mejorando la eficiencia y eficacia de los miembros altamente capacitados de la organización. Permite la toma de decisiones informada y una distribución racional de recursos.

## REFERENCIAS

- [1] Boletín Oficial del Estado Español. *Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias*. Boletín Oficial del Estado, Real Decreto 552/2019. Año 2019.
- [2] Creus J. A. *Tratado práctico de refrigeración automática (Doceava Edición)*. Marcombo SA. Barcelona, Año 1971. ISBN: 84-267-1140-5.
- [3] OECD. *Enabling the Next Production Revolution: the Future of Manufacturing and Services - Interim Report: Meeting of the OECD Council at Ministerial Level*. Paris, 2016.
- [4] Silvestre S., Salazar, J. *El mundo Internet of Things (IoT) (Primera edición)*. Erasmus+, Año 2019.
- [5] Chavarría-Domínguez F., Jimenez-Silva I., Hernandez-Barabata F., Noble-Perez H. *Diseño de interfaz de control y adquisición de datos para un prototipo didáctico de refrigeración*. Revista del Diseño Innovativo, Volumen 3, Número 7, páginas 1-7, Año 2019. <https://doi.org/10.35429/jid.2019.7.3.1.7>
- [6] Corte E., Flores C., Jara N., Cesar Isaza C. *Sistemas de refrigeración doméstica - estado del arte de las mejoras en la eficiencia energética*. Revista de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca Ecuador, Número 9, Año 2015.
- [7] Roffé F., Lombardero G. O., Sánchez G. *Desarrollo de un sistema para el registro de variables termodinámicas en un equipo de enfriamiento*. Revista Elektron, Volumen 5, Número 1, página 7-14, Año 2021. <https://doi.org/10.37537/rev.elektron.5.1.123.2021>
- [8] Cuevas C., Fonseca N. *Modelado de un sistema de refrigeración caracterizado en un rango amplio de condiciones de operación / Modelling of a refrigeration system characterized under extended operating conditions*. Ingeniare, revista chilena de ingeniería, Volumen 24, Número 4, Año 2016. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052016000400016>

- [9] Mendoza-Miranda J. M., Belman-Flores J. M., Gallegos-Muñoz A., Mota-Babiloni A., Navarro-Esbrí, J. *Computational tool for experimental refrigeration system analysis using spreadsheets | Herramienta computacional para analizar un sistema experimental de refrigeración usando hojas de cálculo*. Revista Dyna (Spain), Volumen 89, Número 6, Año 2014. <https://doi.org/10.6036/7255>
- [10] Ochoa G. V., Rodríguez K. C., Agudelo L. M., Guerra C. P. y Abella J. C. (2017). *Instrumentación y control de un banco de fallas de refrigeración y acondicionamiento de aire utilizando LABVIEW®*. Revista Espacios, Volumen 38, Número 57, página 10, Año 2017. ISSN 0798 1015.
- [11] Full Gauge Controls. SITRAD. USER GUIDE. 2014
- [12] Novus Automation, SUPERVIEW, Manual de Instrucciones. ([www.novusautomation.com](http://www.novusautomation.com))
- [13] Pulido H. G., La Salazar, R. D. V. *Control estadístico de la calidad y seis sigmas (Tercera Edición)*. McGraw Hill Education. Año 2013. ISBN: 978-970-10-6912-7