

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

Improving the cooling system to prevent the water tank from freezing:
component optimization for energy efficiency and quality in domestic
refrigerators

Martha Elia García Reboloso ¹

Tomas Norberto Martínez García ²

Karina Vega García ³

Raúl Alan Delgado Barbosa ⁴

RESUMEN

Esta investigación aborda la problemática del congelamiento del tanque de agua en el refrigerador doméstico modelo French Door Bottom Mount (FDBM) de Whirlpool, causado por fugas de aire frío debido a un gasket o espuma de espesor inadecuado en el ensamble de la torre de aire. El problema generaba un consumo energético ineficiente y recurrentes llamadas de servicio, impactando el costo y la calidad del producto. La metodología cuantitativa, enfocada en la objetividad y los números, se estructuró en fases de validación de concepto, validación de diseño y validación de proceso. Se realizaron pruebas rigurosas en el laboratorio de termodinámica, incluyendo Energy Baseline, No Load 90 y Pull Down, utilizando cámaras térmicas para la obtención de datos cuantitativos. Además, se ejecutaron pruebas de control y seguridad como la prueba de Empaque (Packaging Test) y Material Odour. Los resultados principales demostraron que la implementación de un nuevo gasket condujo a una mejora en la eficiencia energética, alcanzando un consumo de 618.1 KWh/año. Las unidades modificadas cumplieron satisfactoriamente con las especificaciones de temperatura en la prueba No Load 90 y lograron el abatimiento de temperatura en la prueba Pull Down en un promedio de 4 horas y 25 minutos, superando la especificación de 6 horas. Finalmente, los eventos de pre-piloto y piloto en planta confirmaron que el nuevo componente se ensambla de manera rápida y eficaz, sin interferencias. Se concluye que la hipótesis fue aceptada, ya que la mejora del sistema de refrigeración mediante el cambio del gasket solucionó el congelamiento del tanque, redujo las llamadas de servicio y optimizó la eficiencia energética y la calidad del producto FDBM.

PALABRAS CLAVES: Refrigeración Doméstica, Eficiencia Energética, Mejora de la Calidad, Componentes, Fugas de Aire, Validación de Proceso

¹ Profesora de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma Nuevo León. martha.garciarb@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0001-5863-0396>

² Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León. tomas.martinezgr@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0007-1406-7061>

³ Profesora de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, karina.vegagrc@uanl.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0003-1595-6398>

⁴ Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, raul.delgadobrbs@uanl.edu.mx

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

Fecha de recepción: 03 de septiembre, 2025.

Fecha de aceptación: 10 de octubre, 2025.

ABSTRACT

The objective was to implement the 'Material Coverage' methodology to solve this operational problem and optimize inventories. This research addresses the problem of water tank freezing in the Whirlpool French Door Bottom Mount (FDBM) domestic refrigerator model, caused by cold air leaks due to an inadequate thickness of the gasket or foam in the air tower assembly. This issue resulted in inefficient energy consumption and recurrent customer service calls, affecting both cost and product quality. The quantitative methodology, focused on objectivity and numerical data, was structured into phases: Concept Validation, Design Validation, and Process Validation. Rigorous testing was performed in the Thermodynamics Laboratory using thermal chambers, including Energy Baseline, No Load 90, and Pull Down tests, to obtain quantitative data. Control and safety tests, such as Packaging Tests and Material Odour, were also conducted. The main results showed that implementing the new gasket led to an improvement in energy efficiency, achieving a consumption of 618.1 KWh/year. The modified units satisfactorily met temperature specifications in the No Load 90 test and achieved temperature pull-down in an average of 4 hours and 25 minutes, surpassing the 6-hour specification. Factory pre-pilot and pilot events confirmed that the new component assemblies quickly and effectively without interference. It is concluded that the hypothesis was accepted, as improving the refrigeration system through the gasket change solved the tank freezing issue, reduced service calls, and optimized the energy efficiency and quality of the FDBM product.

KEYWORDS: Domestic Refrigeration, Energy Efficiency, Quality Improvement, Components, Air Leaks, Process Validation

INTRODUCCIÓN

La industria de la línea blanca ha incrementado su importancia dentro del comercio global, siendo Whirlpool Corporation un actor predominante a nivel mundial en la fabricación y comercialización de electrodomésticos. Esta corporación, con ventas anuales que superan los \$20 mil millones de dólares y operaciones en múltiples países, busca mantener su liderazgo garantizando la calidad y la eficiencia de sus productos. La calidad es un atributo esencial que asegura que un producto cumpla con su propósito y satisfaga las expectativas del usuario, abarcando aspectos como durabilidad, funcionalidad y eficiencia. El compromiso de Whirlpool se centra en ofrecer productos de alta calidad y servicio excepcional, lo cual requiere optimizar continuamente los costos y la eficiencia energética de sus procesos.

Planteamiento del Problema

El modelo de refrigerador doméstico French Door Bottom Mount (FDBM) presenta un problema recurrente que afecta directamente la satisfacción del cliente y la calidad del producto: el congelamiento del tanque de almacenamiento de agua. El análisis de la causa raíz identificó que este congelamiento se debe a fugas de aire frío originadas en el ensamble de la torre de aire. Específicamente, el gasket o espuma utilizada en dicho ensamble posee un espesor insuficiente, lo

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

que permite que el aire frío se desvíe hacia los laterales y la parte frontal del tanque de agua, provocando la solidificación del líquido. Esta falla genera llamadas de servicio constantes, impactando negativamente en los costos operativos y en la reputación de la calidad del producto. Adicionalmente, la solución de este issue es vital para resolver problemas de consumo energético en el modelo FDBM.

Objetivos y Pregunta de Investigación

El objetivo general de esta investigación es optimizar el consumo energético en el sistema de refrigeración del modelo FDBM, rectificando el flujo de aire mediante el cambio de componentes para obtener mejoras en el costo y la calidad del producto final. Para alcanzar esta meta, se establecieron diversos objetivos específicos:

- 1) Recabar información sobre el congelamiento del tanque y evaluar el potencial ahorro económico.
- 2) Identificar el problema mediante análisis de datos de costo y gráficos de funcionamiento para contrastar la situación actual con la propuesta de mejora.
- 3) Planear y ejecutar pruebas de laboratorio para validar el consumo energético y la seguridad para el cliente.
- 4) Analizar los resultados gráficos para tomar la decisión óptima respecto al gasket propuesto.
- 5) Programar eventos en planta para validar el ensamble y la funcionalidad del nuevo componente en la producción.

Hipótesis: ¿La mejora del sistema de refrigeración mediante el cambio de componentes (gaskets o foam) eliminará las fugas de aire, solucionando el congelamiento del tanque de agua, reduciendo las llamadas de servicio y generando un ahorro económico, a la vez que se mejora la calidad del producto FDBM?

Contexto, Variables y Definiciones

La investigación se desarrolló en el contexto de la planta de Whirlpool México, específicamente utilizando los recursos del laboratorio de termodinámica en el departamento CETEC, donde se simulan condiciones reales de uso mediante cámaras térmicas.

La metodología empleada es de naturaleza cuantitativa, priorizando la objetividad y el análisis numérico para validar los resultados. El marco teórico de la tesis se enfoca en la evolución de los conceptos y herramientas de calidad, desde la inspección visual hasta la Gestión de Calidad Total (TQM), destacando la importancia del control estadístico de procesos (SPC) y la mejora continua (Kaizen). En este contexto, se considera que la calidad en productos se refiere a su fiabilidad y cumplimiento de especificaciones técnicas.

Las variables principales

Variable Independiente (Intervención): La modificación e implementación del nuevo gasket o foam con el espesor adecuado en el ensamble de la torre de aire del modelo FDBM.

Variables Dependientes (Mediciones de Resultado): Se miden la eficiencia energética (consumo en KWh/año), la calidad funcional (temperaturas en el compartimiento del refrigerador (RC) y congelador (FC), tiempo de abatimiento de temperatura en la prueba Pull Down y cumplimiento de criterios No Load 90), y la calidad percibida/costo (reducción en llamadas de servicio por tanque de agua congelado).

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

Limitaciones y Alcance de la Investigación

La investigación tiene un alcance definido, centrándose exclusivamente en el sistema de refrigeración del refrigerador doméstico modelo FDBM producido por Whirlpool. La metodología se basa fuertemente en la recolección de datos cuantitativos obtenidos de pruebas de laboratorio rigurosas (como Energy Baseline, No Load 90 y Pull Down).

Una limitación reconocida en el estudio es el enfoque predominantemente cuantitativo, sugiriéndose para futuras investigaciones la conveniencia de combinar metodologías cualitativas y cuantitativas para un análisis más exhaustivo. Además, aunque la muestra representativa para la producción total de FDBM fue calculada (en aproximadamente 23 unidades), las pruebas de validación se realizaron con un número específico de unidades de línea base y modificadas (4 a 6 unidades por prueba clave).

JUSTIFICACIÓN

La relevancia de esta investigación se fundamenta en la necesidad práctica y económica de la industria de electrodomésticos, la cual exige la optimización de costos y el aseguramiento de la calidad total de sus productos. El estudio aborda directamente un issue crítico en el refrigerador modelo French Door Bottom Mount (FDBM) de Whirlpool: el congelamiento del tanque de agua, cuya causa raíz se identificó como una fuga de aire frío generada por un gasket de espesor inadecuado en el ensamble de la torre de aire. La perpetuación de esta falla resulta en recurrentes llamadas de servicio, lo cual incrementa los costos operativos y deteriora la satisfacción del cliente.

Por lo tanto, el porqué de esta investigación radica en la necesidad urgente de pasar de una calidad reactiva (solución de fallas en campo) a un control de calidad preventivo mediante la modificación del diseño y la validación rigurosa.

La relevancia social y económica del proyecto se enfoca en el para qué se aplica la mejora de componentes, centrándose en la eficiencia energética. La búsqueda de un mejor rendimiento energético permite que el producto sea catalogado como de alta calidad y contribuye a la reducción del consumo eléctrico en los hogares. Esta disminución en la demanda energética se traduce directamente en un ahorro económico para las familias que utilizan el producto. Así, la investigación no solo soluciona un problema funcional (agua congelada), sino que también tiene un impacto positivo en el gasto doméstico y promueve productos sostenibles y de mayor eficiencia en el mercado. Véase Gráfico 1. “Llamadas de servicio”.

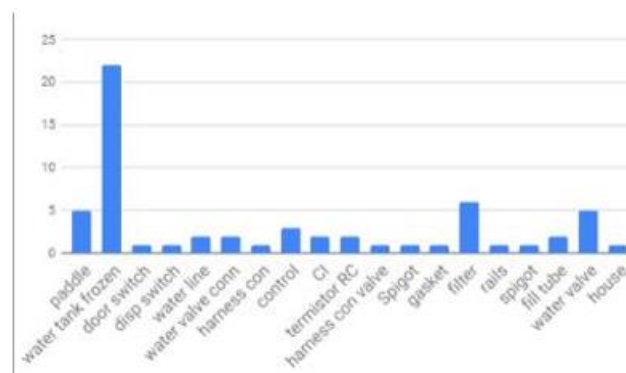


Gráfico 1. Llamadas de servicio.

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

Desde una perspectiva académica y metodológica, el estudio utiliza la objetividad y los números mediante una rigurosa metodología cuantitativa. Se emplearon herramientas de gestión de calidad y control estadístico de procesos (SPC) para la validación del concepto, diseño y proceso.

El proyecto demuestra cómo el análisis profundo, apoyado por tecnologías como las cámaras térmicas y pruebas estandarizadas (Energy Baseline, No Load 90, Pull Down), permite aplicar los principios de la mejora continua (Kaizen) y el Control de Calidad Total (TQC) en un entorno de fabricación masiva. El uso de fases de Validación de Concepto (CV), Diseño (DV) y Proceso (PV) establece un modelo reproducible para futuros proyectos de costo y calidad. Véase Tabla 1. Tabla comparativa de vacíos

Tabla 1. Tabla comparativa de vacíos.

| Eje de Análisis | Vacío o Enfoque Tradicional | Contribución de esta Investigación |
|---------------------------|---|---|
| Calidad Diseño y Falla | Detección de problemas mediante de inspección final o quejas de cliente, implicando costos de incumplimiento. | Prevención de fugas de aire frío a través de la modificación y validación del <i>gasket</i> en la etapa de diseño/proceso. |
| Desempeño Energético | Consumo energético ineficiente debido a desviaciones de flujo de aire. | Optimización y cuantificación de la eficiencia energética, logrando un consumo de 618.1 KWh/año y un abatimiento de temperatura superior a la especificación. |
| Integración Industrial | Validación de componentes aislada, sin asegurar la factibilidad de ensamble en línea. | Implementación de fases pre-piloto y piloto en planta para validar el ensamble rápido y eficaz del nuevo componente por el operador de línea. |

METODOLOGÍA

Diseño de Investigación y Enfoque. La presente investigación adoptó una metodología cuantitativa, fundamentada en el análisis objetivo y numérico de datos, utilizando herramientas matemáticas y estadísticas para procesar resultados y determinar el tamaño de la muestra representativa. El proyecto se estructuró rigurosamente en un modelo de tres fases consecutivas de validación, centradas en la mejora de costo y calidad: 1) Validación del Concepto (CV), 2) Validación del Diseño (DV) y 3) Validación del Proceso (PV). Este diseño garantiza la factibilidad económica y técnica antes de la implementación en la línea de producción.

Hipótesis de Trabajo. La investigación se centró en la validación de la siguiente hipótesis: Si se realiza la mejora del sistema de refrigeración mediante la modificación de componentes (*gaskets* o *foam*), se logrará la eliminación de las fugas de aire frío, resolviendo el problema del congelamiento del tanque de agua. Se espera que esta intervención reduzca las llamadas de servicio por este *issue* y, consecuentemente, genere un ahorro económico y una mejora en la calidad general del producto French Door Bottom Mount (FDBM).

Variables y Definiciones. La variable independiente clave en este estudio fue la implementación del nuevo *gasket* o *foam* con el espesor adecuado en el ensamble de la torre de aire del refrigerador FDBM. Este cambio busca corregir las fugas de aire frío que impactaban directamente en el tanque de agua.

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

Las variables dependientes midieron el impacto de la intervención en el rendimiento y la calidad del producto:

1. Eficiencia Energética: Cuantificada en consumo de energía (KWh/año) y evaluada mediante la prueba *Energy Baseline*.
2. Rendimiento del Sistema de Refrigeración: Medido por el tiempo de abatimiento de temperatura (*Pull Down*) y el cumplimiento de rangos de temperatura en condición *No Load 90*.
3. Calidad y Costo Operacional: Evaluado mediante la reducción esperada de llamadas de servicio por tanque de agua congelado y la correcta validación del ensamble en planta.

Población y Muestra

La población objeto de estudio fueron los refrigeradores del modelo French Door Bottom Mount (FDBM) fabricados por Whirlpool México, con un volumen de producción actual de 137,673 unidades. Para determinar la muestra representativa, se aplicó el método estadístico para un volumen conocido, utilizando un nivel de confianza del 95% ($Z=1.96$), una probabilidad de éxito esperada del 96% ($p=0.96$) y una precisión de 4% ($q=0.04$). El cálculo arrojó un tamaño de muestra representativa "n" de aproximadamente 22.8216 unidades.

$$N * Z^2 * p * q$$

$$n = d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q$$

$$(30) * 1.96^2 * 0.96 * 0.04$$

$$n = 0.04^2 * (30 - 1) + 1.96^2 * 0.96 * 0.04$$

$$N = 137,673 * 3.8416 * 0.96 * 0.04$$

$$(0.0016 * 29) + 3.8416 * (0.96 * 0.04)$$

$$n = 4.4255$$

$$0.0464 + 0.1475$$

$$4.4255$$

$$N = 0.1939$$

$$n = 22.8216$$

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

Instrumentos y Entorno de Prueba

Las pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Termodinámica de la planta de Whirlpool México. El instrumental clave incluyó:

- Cámaras Térmicas: Utilizadas para simular condiciones reales de uso en los hogares, modificando la temperatura y humedad del ambiente.
- Sensores de Temperatura (Termopares): Empleados para instrumentar las unidades y permitir a los técnicos de termodinámica leer los datos de temperatura del refrigerador (RC) y congelador (FC) desde sus sistemas.
- Laboratorio de Empaque: Utilizado para las pruebas de Stack Lean (Estiba) y Centro de Gravedad, simulando el trayecto en transporte para garantizar la seguridad del componente y la estética de la unidad.
- Formatos Estandarizados: Se utilizó el Formato A3 para documentar el desarrollo del proyecto, el análisis de costos y la información estadística. Además, se emplearon reportes AHAM para obtener los datos gráficos y numéricos del consumo energético.

Procedimiento Metodológico Detallado

Esquema 1. Diagrama de Flujo del Procedimiento Metodológico por Fases

| Fase de Validación | Objetivo Principal | Actividades Clave | Resultados Requeridos para Aprobación |
|--------------------|--|---|--|
| CV | Concepto: Evaluar factibilidad económica y técnica del cambio de <i>gasket</i> . | Pruebas de Laboratorio (Energía, <i>No Load 90</i> , <i>Pull Down</i>). Pruebas de Seguridad (<i>Packaging Test</i> , <i>Odour</i>). | Datos cuantitativos positivos: Mejora de consumo energético y cumplimiento de especificaciones de temperatura y seguridad. |
| DV | Diseño: Controlar procesos y evitar interferencias. | Análisis y posible ajuste del diseño del nuevo componente. | Componentes validados para ensamble sin interferencias. |
| PV | Proceso: Validar ensamble en línea de producción. | Construcción Pre-piloto (15 unidades). Construcción Piloto (30 unidades vendibles). | Ensamble rápido y eficaz por operador de línea. Aprobación final por subsistemas de ingeniería. |

El procedimiento se ejecutó mediante las tres fases de validación (Véase Esquema 1. Diagrama de Flujo del Procedimiento Metodológico por Fases), con las unidades instrumentadas previamente en el Laboratorio de Preparación:

Fase CV (Validación del Concepto): Se enfocó en la factibilidad técnica y económica. Se corrieron pruebas rigurosas en el laboratorio de termodinámica, incluyendo la prueba *Energy Baseline* (evaluando los puntos MM, CC y WW) para determinar el consumo energético, la prueba *No Load 90* (cumplimiento de rangos de temperatura, Figura 2. Tabla de Aprobación de Criterio para Prueba No Load), y la prueba *Pull Down* (tiempo de abatimiento de temperaturas). Adicionalmente, se realizaron pruebas de control y seguridad, como el *Packaging Test* (Estiba y Centro de Gravedad) y *Materials Odour*. Los resultados positivos de estas pruebas eran requeridos para avanzar a la siguiente fase.

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

| Ambient (°F) | Control Setting | | | Design Target (°F) | | Electronic Control Approval Criteria | | | | Control with gas filled temperature sensing tubes and for mechanically controlled mechanisms in the RC and FC compartments | | | | Single ElectroMechanical Control Approval Criteria | | | |
|--------------|-----------------|----|--------|--------------------|----|--------------------------------------|----------|---------|----------|--|----------|---------|----------|--|----------|---------|----------|
| | RC | FC | Heater | RC | FC | RC°F | limit | FC°F | limit | RC°F | limit | FC°F | limit | RC°F | limit | FC°F | limit |
| 110PD | - | - | H | Electronic | | 50 | max @6hr | 10 | max @6hr | | | | | | | | |
| 110PD | - | - | H | Dual Evap BM | | 70 | max @6hr | 20 | max @6hr | | | | | | | | |
| 110PD | C | W | H | ElectroMechanical | | | | | | 50 | max @6hr | 10 | max @6hr | 50 | max @6hr | 10 | max @6hr |
| 110BO | C | C | H | | | 35 | max | 2 | max | 35 | max | 2 | max | 35 | max | 2 | max |
| 30HL | W | W | H | 45 | 5 | 48 | MAX | 15 | MAX | 48 | max | 15 | MAX | 48 | MAX | 15 | MAX |
| | W | C | H | 45 | -5 | 48 | max | | | 51 | max | | | | | | |
| | M | M | H | 37 | 0 | 35 to 41 | range | -5 to 4 | range | 35 to 42 | range | -6 to 4 | range | 35 to 42 | range | -6 to 4 | range |
| | C | W | H | 33 | 5 | 32 | min | | | 28 | min | | | | | | |
| | C | C | H | 33 | -5 | 32 | min | -10 | min | 28 | min | -10 | min | 34 | max | | |
| 70HL | W | W | H | 45 | 5 | 48 | max | 10 | max | 48 | max | 15 | max | 48 | max | | |
| | W | C | H | 45 | -5 | 48 | max | -10 | min | 48 | max | -10 | min | | | | |
| | M | M | H | 37 | 0 | 35.5 to 38.5 | range | -3 to 3 | range | 34 to 40 | range | -3 to 6 | range | 34 to 40 | range | -3 to 6 | range |
| | C | W | H | 33 | 5 | 32 to 25 | range | 10 | max | 28 | min | 15 | max | | | | |
| | C | C | H | 33 | -5 | 32 to 35 | range | -10 | min | 28 | min | -10 | min | 32 to 35 | range | | |
| 55HL | M | M | H | 37 | 0 | 32 | min | 8 | Max | 32 | Min | 8 | Max | 34 | Max | 8 | Max |
| 70 to 90 | M | M | H | 37 | 0 | -1 to 3 | Range | -4 to 2 | Range | 0 to 4 | Range | -7 to 2 | Range | -1 to 3 | Range | -4 to 2 | Range |

Figura 2. Tabla de Aprobación de Criterio para Prueba No Load.

Fase DV (Validación del Diseño): Una vez validados los resultados positivos en la Fase CV, se procedió a validar el diseño de los nuevos componentes. En esta etapa, si se consideraba necesario, se realizaban ajustes en el diseño de los componentes para asegurar que los procesos estuvieran controlados y se eliminaran las interferencias en el ensamble.

Fase PV (Validación del Proceso): Esta fase se llevó a cabo en la línea de producción de la planta, requiriendo la aprobación de los subsistemas (Ingeniería, Producción, Materiales, etc.). Consistió en la realización de pruebas pre-piloto (15 unidades) y piloto (30 unidades vendibles). Se validó la rapidez y eficacia del ensamble del nuevo *gasket* por el operador de línea, el correcto funcionamiento de soldaduras, y se midió el tiempo de ensamble para asegurar que no se afectara la producción. Véase Figura 1. Planeación de Pruebas. Véase también Tabla 2. Unidades Utilizadas en Pruebas de Validación Clave.

| Arquitectura | Glis | # Serial | Laboratorio | Prueba | Status |
|--------------|-----------|------------|----------------|-----------------|----------|
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | defining |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | defining |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | defining |
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | defining |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | defining |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | defining |
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | defining |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | defining |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | defining |
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 90° | defining |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 90° | defining |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 90° | defining |
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 90° | defining |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 90° | defining |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 70° | defining |
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 70° | defining |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 70° | defining |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 70° | defining |
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 70° | defining |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Home Economics | Materials Odour | defining |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Home Economics | Materials Odour | defining |

Figura 1. Planeación de Pruebas

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

Tabla 2. Unidades Utilizadas en Pruebas de Validación Clave

| Tipo de Prueba | Unidades de Línea Base (Sin cambio) | Unidades Modificadas (Con nuevo <i>Gasket</i>) | Propósito de la Prueba |
|-----------------------------|--|--|---|
| Energy Baseline / Energy | 4 | 4 | Determinar consumo energético (KWh/año) y cumplimiento de termostato. |
| No Load 90 | 2 | 4 | Verificar que las temperaturas (RC y FC) se mantengan dentro de especificación a 90° F de ambiente. |
| Pull Down | N/A (Se evaluó el tiempo de abatimiento en las 4 unidades modificadas) | | Confirmar la capacidad de la unidad para alcanzar temperaturas objetivo en menos de 6 horas. |
| Validación del Proceso (PV) | N/A | 15 (Pre-piloto, para pruebas) | Validar el ensamble en la línea de producción y funcionalidad del componente. |
| Validación del Proceso (PV) | N/A | 30 (Piloto, vendibles) | Validar la producción masiva sin interferencias ni fallas de línea. |

Problemas y Limitaciones Enfrentadas

El proyecto implicó una inversión considerable de tiempo y herramientas de trabajo para su realización, lo cual hizo crucial la evaluación inicial del ahorro económico durante la fase CV para determinar su factibilidad. Aunque la metodología cuantitativa fue efectiva para la validación numérica de la mejora (eficiencia energética, tiempo de abatimiento), se reconoce en las recomendaciones que para futuros estudios sería conveniente complementar este enfoque con metodologías cualitativas y utilizar muestras más representativas de la población total.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados cuantitativos obtenidos a lo largo de las fases de Validación de Concepto (CV), Validación de Diseño (DV) y Validación de Proceso (PV) confirman la aceptación de la hipótesis planteada, demostrando que la mejora del sistema de refrigeración mediante el cambio del *gasket* eliminó las fugas de aire frío que causaban el congelamiento del tanque de agua. Este enfoque se alinea con los principios de prevención en la calidad (Crosby, 1987), buscando corregir el defecto en el diseño del ensamble y no simplemente detectarlo al final del proceso. La implementación del nuevo componente en el *dampener* del compartimiento de refrigeración (RC) no solo solucionó el *issue* reportado en campo, sino que también optimizó la eficiencia energética y la calidad funcional del producto FDBM. Véase la Figura 2. Resultados de Energía Línea Base.

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

| ENG NUMBER | UNIDAD 1 | | UNIDAD 2 | | UNIDAD 3 | | UNIDAD 4 | |
|----------------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| LAB REQUEST | 2716980 | | 2716980 | | 2716980 | | 2716980 | |
| test | 474008 | 2716980 | 473682 | 474101 | 474508 | 473779 | 486546 | 486796 |
| STALL | 231 | | 232 | | 233 | | 234 | |
| Thermostat Position | MM | CC | MM | WW | MM | CC | MM | WW |
| Power (W) TPAR | 96.9 | 91.5 | 95.3 | 100.6 | 95 | 86.7 | 96 | 102.8 |
| CAB 1 AVG | 41.7 | 34.5 | 39.8 | 46.9 | 41.8 | 34.3 | 38.1 | 48.7 |
| CAB 2 AVG | 38 | 30.8 | 38.1 | 45.1 | 40.2 | 32.5 | 35.8 | 46.6 |
| CAB 3 AVG | 37.4 | 30 | 38.5 | 45.5 | 40.2 | 32.3 | 35.5 | 46.1 |
| AVG RC | 39.03 | 31.77 | 38.80 | 45.83 | 40.73 | 33.03 | 36.47 | 47.13 |
| FC 1 AVG | -0.8 | -7.8 | 0.5 | 7.1 | 0.3 | -7 | -0.2 | 7.3 |
| FC 2 AVG | -2.9 | -9.2 | -0.8 | 5.3 | -1.9 | -8.7 | -2 | 4.9 |
| FC 3 AVG | -2.3 | -9 | -0.3 | 5.9 | -1.5 | -8.5 | -1.5 | 5.6 |
| AVG FC | -2.00 | -8.67 | -0.20 | 6.10 | -1.03 | -8.07 | -1.23 | 5.93 |
| ON | 0:29:41 | 0:59:25 | 0:23:05 | 0:19:55 | 0:27:34 | 0:58:00 | 0:25:49 | 0:17:23 |
| OFF | 0:20:14 | 0:17:01 | 0:17:20 | 0:25:03 | 0:18:38 | 0:16:17 | 0:16:16 | 0:21:21 |
| Run time | 59.47% | 77.74% | 57.11% | 44.29% | 59.67% | 78.08% | 61.35% | 44.88% |
| cycle/hr | 1.20 | 0.78 | 1.48 | 1.33 | 1.3 | 0.81 | 1.43 | 1.55 |
| Cycle/24hrs | 28.80 | 18.72 | 35.52 | 31.92 | 31.2 | 19.44 | 34.32 | 37.2 |
| Energy kWh/ temps | 1.4400 | 1.709 | 1.384 | 1.148 | 1.395 | 1.676 | 1.4730 | 1.205 |
| Energy kWh/d (ADC) | 1.4740 | 1.749 | 1.42 | 1.191 | 1.435 | 1.725 | 1.5100 | 1.246 |
| Interpolate kWh/year | 622.4 | | 599.9 | | 631.6 | | 618.5 | |
| RVF | -0.8% | | 2.9% | | -2.2% | | -0.1% | |

Figura 2. Resultados de Energía Línea Base.

Análisis de la Eficiencia Energética y Rendimiento Térmico

La eficiencia energética del modelo FDBM fue evaluada mediante la prueba *Energy Baseline*, demostrando una mejora significativa tras la implementación del nuevo *gasket* y la corrección del flujo de aire. La línea base de consumo, evaluada en cuatro unidades, arrojó un promedio de 618.1 KWh/año, con la unidad 1 registrando inicialmente 622.4 KWh/año. Esta optimización es crucial para que los productos sean catalogados como de alta calidad, reduciendo el consumo energético en los hogares y mejorando el gasto económico familiar. El análisis del reporte AHAM (Véase *Figura 3. Gráfica de Temperaturas de la Prueba de Energía*) permitió identificar el pico de *wattage* durante el ciclo de descongelamiento, crucial para calcular el consumo energético y verificar el cumplimiento de los puntos de control del termostato (M-M, C-C y W-W).

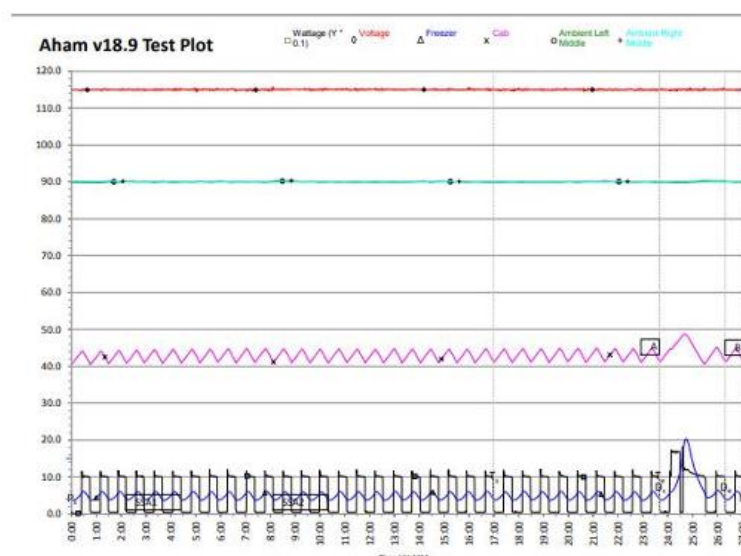


Figura 3. Gráfica de Temperaturas de la Prueba de Energía.

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

En cuanto al rendimiento térmico, la prueba No Load 90 validó que las unidades modificadas cumplieran rigurosamente con las especificaciones de temperatura, a diferencia de las unidades de línea base que se encontraban fuera de rango. Para un ambiente de 90°F, las unidades modificadas mantuvieron el área de refrigeración (RC) entre 35 y 41°F y el congelador (FC) entre -5 y -4°F, confirmando que el nuevo diseño del ensamble evitaba las fugas de aire frío, estabilizando así las temperaturas internas. Véase Figura 4. Resultados de Prueba No Load.

| Project | Model | Product | AMB | Setting | Resistencia | RC AVG | RC min | RC max | Status | FC AVG | Status | AVG |
|-----------|--------------|-----------|-----|---------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| bb Gasket | WRF560SEH203 | 23U205525 | 90 | CC | ON | 34.95 | 32 | 50 | OK | -9.14 | OK | |
| bb Gasket | WRF560SEH203 | 23U205527 | 90 | MM | ON | 37.08 | 35 | 41 | OK | -2.37 | OK | |
| bb Gasket | WRF560SEH203 | 23U205528 | 90 | WW | ON | 43.66 | 45 | 45 | OK | 5.04 | OK | |
| bb Gasket | WRF560SEH203 | 23U205525 | 90 | CC | ON | 34.34 | 32 | 50 | OK | -8.93 | OK | CC |
| bb Gasket | WRF560SEH203 | 23U205527 | 90 | MM | ON | 37.1 | 41 | 41 | OK | -2.4 | OK | 35.68 |
| bb Gasket | WRF560SEH203 | 23U205528 | 90 | WW | ON | 46.95 | 45 | 45 | OK | 1.95 | OK | MM |
| bb Gasket | WRF560SEH203 | 23U205525 | 90 | CC | ON | 33.42 | 32 | 50 | OK | -9.89 | OK | 37.43 |
| bb Gasket | WRF560SEH203 | 23U205527 | 90 | MM | ON | 36.07 | 35 | 41 | OK | -4.14 | OK | WW |
| bb Gasket | WRF560SEH203 | 23U205528 | 90 | WW | ON | 46.28 | 45 | 45 | OK | 3.05 | OK | 45.07 |

Figura 4. Resultados de Prueba No Load.

El tiempo de abatimiento de temperatura (*Pull Down*) también superó satisfactoriamente la especificación. La especificación requería que la unidad alcanzara 10°F en el FC y 50°F en el RC en un periodo máximo de 6 horas. Las cuatro unidades evaluadas con los nuevos componentes lograron el abatimiento de temperatura en un tiempo promedio de 4 horas y 25 minutos, situándose 1 hora y 35 minutos por debajo del límite máximo establecido. Este resultado (*Figura 5. Resultados de Prueba Pull Down*) confirma que el sistema de refrigeración, optimizado por la correcta carga de refrigerante y el buen desempeño de los nuevos componentes, opera con una alta eficiencia.

| PRODUCT | UNIDAD 1 | UNIDAD 2 | UNIDAD 3 | UNIDAD 4 |
|-------------|------------|------------|------------|------------|
| MODEL | FDBM | FDBM | FDBM | FDBM |
| SERIAL | 4686984 | 4686985 | 46886986 | 46886987 |
| STALL | 41 | 42 | 43 | 44 |
| PROJECT | New gasket | New gasket | New gasket | New gasket |
| RESULTS | OK | OK | OK | OK |
| TEST NUMBER | 50044 | 50045 | 50046 | 50047 |
| SETTING | CC | CC | CC | CC |

Figura 5. Resultados de Prueba Pull Down.

Validación de Calidad, Control y Proceso

La rigurosidad metodológica incluyó pruebas de control y seguridad para el cliente, alineándose con una Gestión de Calidad Total (TQM), donde la fiabilidad del producto es esencial. El Packaging Test, incluyendo la prueba de Estiba (*Stack Lean*), confirmó que el nuevo *gasket* no afectaba la integridad estructural de la unidad durante el transporte y almacenamiento. Los resultados demostraron que el desplazamiento de inclinación hacia adelante (38.3 mm) y el desplazamiento lateral (8.44 mm) se mantuvieron dentro de la especificación máxima de 40 mm y 15 mm, respectivamente, asegurando la aprobación del producto para la logística. Adicionalmente, la prueba Materials Odour determinó que el nuevo material era aprobatorio y seguro para el almacenamiento de alimentos. Véase Figura 6. Resultados Estiba.

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

| | DECIMALES | | | | | | | |
|----------------|-----------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|
| | STACK 1 | | STACK 2 | | STACK 3 | | STACK 4 | |
| | Front | Right side | Front | Right side | Front | Right side | Front | Right side |
| Medida inicial | 3.25 | 1.25 | 2.5 | 1.25 | 3.125 | 2 | 3.5 | 1.125 |
| 1er medida | 3.375 | 1.5 | 3.25 | 1.5 | 3.5 | 2.25 | 3.625 | 1.5 |
| 2da medida | 3.625 | 1.5 | 3.25 | 1.5 | 3.5 | 2.25 | 3.5 | 1.5 |
| 3era medida | 3.625 | 1.5 | 3.25 | 1.5 | 3.5 | 2.25 | 3.625 | 1.5 |
| 4ta medida | | | | | | | | |
| Incremento 1-0 | 0.125 | 0.25 | 0.75 | 0.25 | 0.375 | 0.25 | 0.125 | 0.375 |
| Incremento 2-1 | 0.25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.125 | 0 |
| Incremento 3-2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.125 | 0 |
| Incremento 4-3 | -3.625 | -1.5 | -3.25 | -1.5 | -3.5 | -2.25 | -3.625 | -1.5 |

Figura 6. Resultados Estiba.

Finalmente, la Validación del Proceso (PV) en la línea de producción cerró el ciclo de mejora continua (*Kaizen*). Los eventos pre-piloto (15 unidades) y piloto (30 unidades vendibles) demostraron que el nuevo *gasket* podía ser ensamblado por el operador de línea de manera rápida y eficaz, sin causar interferencias con otros componentes (como el EPS) y sin generar paros en la producción. La aprobación por parte de los subsistemas de Ingeniería y Producción garantizó que la solución es sostenible a gran escala, concluyendo satisfactoriamente la implementación del proyecto de costo y calidad. Véase Figura 7. Ensamble de Gasket en el Damper.



Figura 7. Ensamble del Gasket en el Damper.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La presente investigación se desarrolló con el objetivo general de optimizar el consumo energético en el sistema de refrigeración del modelo FDBM mediante la rectificación del flujo de aire, lo cual fue alcanzado satisfactoriamente. El problema inicial del congelamiento del tanque de agua, causado por fugas de aire debido a un *gasket* delgado en el ensamble de la torre de aire, fue solventado mediante la implementación de un nuevo componente, según confirman los resultados cuantitativos. Por lo tanto, se concluye que la hipótesis de investigación fue aceptada. El cambio del *gasket* eliminó las fugas de aire, solucionando el *issue* que generaba llamadas de servicio recurrentes, mejorando así la calidad del producto FDBM y el funcionamiento del sistema de refrigeración.

Las implicaciones de los hallazgos son significativas en términos de calidad y eficiencia operativa. Las pruebas de *Energy Baseline* demostraron una eficiencia energética mejorada, obteniendo un

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

consumo de 618.1 KWh/año con el nuevo componente. Además, las unidades modificadas superaron la prueba *Pull Down* al lograr el abatimiento de temperatura en un tiempo promedio de 4 horas y 25 minutos, significativamente menor al límite de 6 horas requerido por la especificación. Asimismo, la prueba *No Load 90* confirmó que las temperaturas del RC y FC se mantuvieron dentro de los rangos solicitados por los aprobadores, garantizando el correcto funcionamiento del sistema de control eléctrico de temperaturas.

El éxito del proyecto se consolidó mediante la aplicación rigurosa de la metodología por fases de Validación de Concepto (CV), Validación de Diseño (DV) y Validación de Proceso (PV). Los eventos pre-piloto y piloto en planta (15 unidades de prueba y 30 unidades vendibles) validaron que el nuevo *gasket* puede ser ensamblado por el operador de línea de manera rápida y eficaz, sin presentar interferencias con otros componentes (como el EPS). Este cumplimiento integral de la validación del proceso asegura que la mejora es sostenible y factible para la producción masiva, brindando resultados satisfactorios en cuanto a eficiencia energética y ensamble de componentes. Véase Tabla 3. Cumplimiento de Objetivos Específicos. Véase también Figura 8. Test Plan Concluido.

Tabla 3. Cumplimiento de Objetivos Específicos.

| Objetivo Específico | Cumplimiento | Fuente de Verificación |
|---|--------------|---|
| 1. Recabar información de la problemática (congelamiento) y evaluar ahorro económico. | si | Análisis de llamadas de servicio y evaluación económica en fase CV. |
| 2. Identificar el problema mediante análisis de datos de costo y gráficos. | si | Análisis de causa (fuga de aire por <i>gasket</i> delgado) y contraste con la situación actual. |
| 3. Planear y ejecutar pruebas (consumo energético, control y seguridad). | si | Ejecución de <i>Energy Baseline</i> , <i>No Load 90</i> , <i>Pull Down</i> , <i>Packaging Test</i> y <i>Materials Odour</i> . |
| 4. Analizar los gráficos y tomar la decisión óptima sobre el <i>gasket</i> propuesto. | si | Análisis de reportes AHAM y datos de termodinámica, confirmando la mejora y el cumplimiento de especificaciones. |
| 5. Programar eventos en planta para validar el ensamble del nuevo componente. | si | Realización y aprobación de eventos pre-piloto y piloto, validando ensamble rápido y eficaz. |

| Arquitectura | Glis | # Serial | Laboratorio | Prueba | Status |
|--------------|-----------|------------|----------------|-----------------|----------|
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | complete |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | complete |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | complete |
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | complete |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | complete |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | complete |
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | complete |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | complete |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Termodinamica | Energia | complete |
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 90° | complete |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 90° | complete |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 90° | complete |
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 90° | complete |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 90° | complete |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 90° | complete |
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 70° | complete |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 70° | complete |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 70° | complete |
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | No load 70° | complete |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Home Economics | Materials Odour | complete |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Home Economics | Materials Odour | complete |
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | Pull Down | complete |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Termodinamica | Pull Down | complete |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Termodinamica | Pull Down | complete |
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Termodinamica | Pull Down | complete |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Packing | Packing | defining |
| FDBM | 23U205528 | VSC4498710 | Packing | Packing | defining |
| FDBM | 23U205525 | VSC4498710 | Packing | Packing | defining |
| FDBM | 23U205527 | VSC4498710 | Packing | Packing | defining |

Figura 8. Test Plan Concluido

Mejorar el sistema de refrigeración para que no congele el tanque de agua: optimización de componentes para la eficiencia energética y calidad en refrigeradores domésticos

Con el propósito de complementar la solución implementada y asegurar la continuidad de la mejora de la calidad en el departamento de refrigeración, se establecen las siguientes recomendaciones: Es crucial continuar con el monitoreo de la eficiencia energética del modelo FDBM que ahora incluye los nuevos componentes. Este seguimiento debe ser constante para verificar la sostenibilidad del ahorro obtenido y para mantenerse actualizado respecto a las ofertas disponibles en el mercado que puedan conducir a futuras mejoras de otros componentes dentro del sistema de refrigeración.

Se sugiere desarrollar mejoras en las etiquetas de los compresores con la finalidad de prevenir posibles fallos relacionados con quemaduras de etiquetas o problemas en la lectura de información de estos componentes. Este paso aseguraría la integridad de los datos de los activos críticos del sistema de enfriamiento.

Para futuros proyectos enfocados en la mejora de costo y calidad, se recomienda seguir utilizando la metodología estructurada en fases (CV, DV, PV) y las pruebas de validación rigurosas. Finalmente, de cara a futuras investigaciones académicas, se considera conveniente analizar el fenómeno en muestras más representativas de la población objeto de estudio y combinar metodologías cualitativas y cuantitativas para obtener un análisis más exhaustivo y profundo

REFERENCIAS

- Alhajeri, M. H., Koluib, A. M., Alajmi, R., & Kalim, S. P. (2009). Effect of Coolant Temperature on the Condensation Heat Transfer in Air-Conditioning and Refrigeration Applications. *Experimental Heat Transfer: A Journal of Thermal Energy Generation, Transport, Storage, and Conversion*.
- Case, K., Nor, A., & Teoh, P. C. (2010). A diagnostic service tool using FMEA. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*.
- Crosby, P. B. (1987). [Referencia del trabajo original no especificado; Principios de Calidad].
- Iyengar, R. S., Sekhar, C., Karimabad, A. S., Haghighat, F., & Zhu, K. (2015). A Comparative Study of Leakage Characteristics between an Under Floor Air Distribution System and an Over Head Air Distribution System. *International Journal of Ventilation*.
- Jason Martin, Mattias Elg & Ida Gremyr (2020). The Many Meanings of Quality: Towards a Definition in Support of Sustainable Operations. *Total Quality Management & Business Excellence*.
- Johansson, E., Witell, L. y Elg, M. (2013). Cambiando la iniciativa de calidad: ¿cambia realmente el perfil de calidad? *Total Quality Management & Business Excellence*.
- Kenton Graviss Senior Product Developer & Jacek M. Zurada Professor (1998). A Neural Network Controller for Optimal Temperature Control of Household Refrigerators. *Intelligent Automation & Soft Computing*.
- K. Palm, J. Lilja & H. Wiklund (2014). The challenge of integrating innovation And quality management practice. *Total Quality Management & Business Excellence*.
- Loushine, T. W., Hoonakker, P. L. T., Carayon, P., y Smith, M. J. (2006). Gestión de calidad y seguridad en la construcción. *Gestión de calidad total y excelencia Empresarial*.
- WEI-HAN TAO, JYI-YU SUN & CHIH-CHEN CHANG (2001). THE DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENT REFRIGERATORS. *Chemical Engineering Communications*.