



SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

“2019 Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata”

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN I.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
MANTENIMIENTO BASADO EN CONOCIMIENTO EN LA
EMPRESA FRICONGELADOS CITLALTEPETL S.A. DE C.V.”.

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA
ADMINISTRATIVA

PRESENTA:

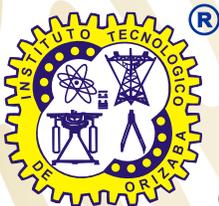
Ing. Carlos Alberto Montiel Ibarra

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Eduardo Roldán Reyes

CODIRECTOR DE TESIS:

Dr. Guillermo Cortés Robles



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO.

MARZO 2019



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

FECHA: 27/03/2019
DEPENDENCIA: POSGRADO
ASUNTO: Autorización de Impresión
OPCIÓN: I

C. CARLOS ALBERTO MONTIEL IBARRA
CANDIDATO A GRADO DE MAESTRO EN:
INGENIERIA ADMINISTRATIVA

De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros de Enseñanza Técnica Superior, dependiente de la Dirección General de Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

"DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONOCIMIENTO EN LA EMPRESA FRICONGELADOS CITLALTEPETL S.A. DE C.V.".

Comunico a Usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

A T E N T A M E N T E

P.A.
[Signature]
DR. RUBEN POSADA GOMEZ
JEFE DE LA DIV. DE ESTUDIOS DE POSGRADO

C.A. TITULACIÓN



SECRETARIA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO
TECNOLÓGICO
DE ORIZABA



Avenida Oriente 9 Núm. 852, Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320 Orizaba, Veracruz, México

Tel. 01 (272) 7 24 40 96, Fax. 01 (272) 7 25 17 28 e-mail: orizaba@itorizaba.edu.mx

www.orizaba.tecnm.mx





SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

FECHA : 11/03/2019

ASUNTO: Revisión de Trabajo Escrito

C. DR. RUBEN POSADA GOMEZ
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACION.
P R E S E N T E

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C. :

CARLOS ALBERTO MONTIEL IBARRA

la cual lleva el título de:

"DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONOCIMIENTO EN LA EMPRESA FRICONGELADOS CITLALTEPETL S.A. DE C.V.".

Y concluyen que se acepta.

A T E N T A M E N T E

PRESIDENTE : DR. EDUARDO ROLDAN REYES
SECRETARIO : DR. GUILLERMO CORTES ROBLES
VOCAL : M.C. MARCOS SALAZAR MEDINA
VOCAL SUP. : M.C. MODESTO RAYGOZA BELLO

FIRMA

FIRMA

FIRMA

FIRMA


EGRESADO(A) DE LA MAESTRIA EN **INGENIERIA ADMINISTRATIVA**

OPCION: I **Tesis**



Avenida Oriente 9 Núm. 852, Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320 Orizaba, Veracruz, México

Tel. 01 (272) 7 24 40 96, Fax. 01 (272) 7 25 17 28 e-mail: orizaba@itorizaba.edu.mx

www.orizaba.tecnm.mx



Agradecimientos

A DIOS por el don de la vida, por que sin duda me ha dado mucho más de lo que merezco, sin Él, nada de esto sería posible.

Mi familia

A mi esposa, por tu amor, compañía, consejos y tantos momentos de felicidad. Gracias por este maravilloso caminar juntos, porque nuestra historia juntos no ha hecho más que comenzar.

A mis padres, por todo su amor, comprensión y valiosos consejos. Por guiar mis pasos y apoyar siempre mis sueños y decisiones, por enseñarme lo importante del trabajo duro y la responsabilidad., me han dado todo sin esperar nada a cambio

A mi hermano, por tu compañía, por los ratos de felicidad y también de tristeza. Por una vida juntos contando con tu apoyo incondicional.

A mis suegros, por todo el apoyo y amor que me han dado. Por recibirme siempre en su casa con los brazos abiertos.

A mis cuñados, gracias por el cariño y todos los buenos momentos.

A mis abuelos, tíos, primos y sobrinos por su invaluable compañía y cariño.

Mis compañeros

A Iris, Marcos, Mariela, Damna, Hugo, Joab, Iván y Lulú por acompañarme en esta aventura.

Mis maestros

Al Dr. Eduardo Roldán Reyes y al Dr. Guillermo Cortés Robles por su apoyo y dirección para la culminación de esta tesis y en general de la maestría. Gracias por todos los buenos momentos, por hacer que de gusto y ganas de asistir a clase. Sin duda me llevo muchas enseñanzas de ambos, no solo a nivel profesional sino personal.

Al Maestro Marcos Salazar Medina y al Dr. Modesto Raygoza Bello, por su guía y esfuerzo para concluir con éxito esta encomienda.

Al Dr. René López Flores de la Universidad Autónoma de Yucatán, por su valiosa contribución y paciente guía para la realización del software incluido en esta tesis

A la Dra. Edna Araceli Romero Flores, a la Maestra Alma Gabriela Alcalde Pérez y al Dr. Fernando Aguirre y Hernandez, por su apoyo y valiosos consejos.

Al personal de Fricongelados S.A. de C.V, en especial al Sr. Emilio y Erik Aguilar por darme la confianza y facilidades para realizar este proyecto de tesis en su gran empresa.

A toda la plantilla de maestros de la Maestría en Ingeniería Administrativa y personal de apoyo del tecnológico, con especial mención a las señoras Cecy y Marilú, sin ustedes esto no hubiera sido posible.

Por ultimo, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, por la aportación económica para la realización de los estudios de posgrado.

Resumen

El mantenimiento industrial ha sido una parte vital para mantener los costos de los procesos productivos controlados. Tradicionalmente, el concepto del mantenimiento ha sido percibido como la acción de esperar a que el equipo se encuentre fuera de servicio por falla, lo que genera una gran cantidad de paros de operación. Por esta razón se hizo necesario considerar el mantenimiento desde diferentes perspectivas y bajo nuevos enfoques con el propósito de buscar alternativas que incrementen su desempeño. Si bien no todos los enfoques o filosofías de mantenimiento funcionan bajo ese concepto, dejar que el equipo deje de funcionar, es cierto que, en la mayoría de los casos, si el sistema de mantenimiento utilizado en la empresa no es aplicado correctamente, invariablemente se presentaran las fallas antes de poder evitarlo.

Dentro de los diferentes enfoques de mantenimiento se tiene el preventivo y el predictivo; pero hay algunos factores que, por su misma concepción no contemplan. Estos tipos de mantenimiento evolucionaron a filosofías más avanzadas como el mantenimiento basado en conocimiento, proactivo, basado en condición y centrado en confiabilidad. En este proyecto se aplicarán técnicas de estas filosofías para desarrollar un programa que agilice y mejore la forma de realizar el mantenimiento. Es importante resaltar también que la eficiencia del programa de mantenimiento, en cualquier empresa, recae en gran medida en la experiencia, habilidades y práctica de los técnicos involucrados.

Esto en conjunto será la base para un sistema de administración del mantenimiento basado en el conocimiento. Los resultados obtenidos en la presente tesis ayudarán a implementar el sistema de mantenimiento propuesto, y maximizar determinar en un futuro el impacto del mismo para reducir costos, disminuir y, en un mediano plazo, eliminar los paros no programados y maximizar la vida útil de los activos.

Palabras clave

Mantenimiento Basado en Conocimiento, modos de falla, monitoreo, Razonamiento Basado en Casos, e-maintenance.

Abstract

Industrial maintenance has been a vital part in keeping the production processes costs under control. Traditionally, the maintenance concept has been perceived as the action of waiting for the equipment to be out of service due to failure, which generates a large number of downtime cases. For this reason, it has been necessary to consider the treatment from other perspectives and under new approaches with the purpose of looking for alternatives that increase its performance. Meanwhile not all approaches or maintenance philosophies work under that concept, letting the equipment to stop working, it is true that, in most cases, if the maintenance system used in an enterprise is not applied correctly, invariably failures will be presented before they can be avoid.

Within the different maintenance approaches, there is the preventive and the predictive; but there are some factors that, by their very conception, are no taken into consideration. These types of maintenance evolved to a more advanced philosophy such as Knowledge Based Maintenance, proactive, condition based and focused on reliability. In this project techniques of these philosophies will be applied to develop a program that speeds up and improves the way of performing maintenance. It is important to highlight that the efficiency of the maintenance program, in any company, falls to a large extent on the experience, skills and practice of the technicians involved.

All this together is the basis for a Knowledge-Based Maintenance management system. The results obtained at present, are useful to implement the proposed maintenance system, and maximize the useful time, and reduce the assets downtimes.

Keywords

Knowledge-based maintenance, performance indicators, failure modes, monitoring, Cased Based Reasoning, e-maintenance.

CONTENIDO

Resumen.....	VI
Palabras clave	VI
Abstract.....	VII
Keywords.....	VII
Capítulo 1 Generalidades.....	16
1.1. Introducción	16
1.2. Posicionamiento de la tesis	18
1.2.1. Cobertura de servicio de la empresa.....	19
1.2.2. Descripción del área de aplicación del diagnostico.....	21
1.3. Planteamiento del problema.....	22
1.4. Objetivo General	24
1.4.1. Objetivos particulares	24
1.5. Justificación.....	25
1.6. Propuesta de solución.....	26
1.7. Metodología	26
1.7.1. Planificación	27
1.7.2. Análisis	28
1.7.3. Aplicación.....	28
1.7.4. Revisión.....	28
1.7.5. Diseño.....	28
1.7.6. Implementación	29
1.8. Organización de la tesis	29

Capítulo 2 Marco Teórico.....	31
2.1. Introducción	31
2.2. Estado del arte	32
2.3. Mantenimiento industrial	35
2.4. Mantenimiento basado en el conocimiento.....	35
2.5. Mantenimiento proactivo	36
2.5.1. Causa de falla	36
2.5.2. Modo de falla.....	36
2.5.3. Efectos de falla	37
2.5.4. Fallas potenciales.....	37
2.6. Mantenimiento basado en confiabilidad	38
2.6.1. FMEA	38
2.6.2. Análisis de Criticidad	38
2.6.3. Criticidad	39
2.6.4. Equipo critico	39
2.6.5. Equipo no critico	39
2.7. Mantenimiento basado en condición.....	39
2.8. Sistemas basados en conocimiento	40
2.9. Razonamiento basado en casos	42
2.9.1. Caso	43
2.9.2. Ventajas del Razonamiento Basado en Casos	43
2.10. Programa.....	44
2.11. Programación Orientada a Objetos.....	44
2.12. Java	44
2.13. IDE Eclipse Java Oxygen.....	45

2.14.	jCOLIBRI	45
2.15.	UML	46
2.16.	Conclusión.....	46
Capítulo 3 Estudio preliminar para generación y recopilación de datos		47
3.1.	Introducción	47
3.2.	Lógica del Sistema basado en Conocimiento.....	47
3.3.	Familiarización con el departamento de mantenimiento	50
3.4.	Componentes críticos y no críticos de los sistemas de refrigeración.....	51
3.5.	Determinación de los costos de mantenimiento.....	52
3.5.1.	Costos indirectos	52
3.5.2.	Costos directos de mantenimiento.....	53
3.6.	Procedimiento de fallas de equipo de refrigeración en la empresa.....	54
3.7.	Formatos para mantenimiento.....	55
3.8.	Análisis de fallas de los equipos de refrigeración.....	57
3.8.1.	Diagrama Causa-efecto	57
3.8.2.	Matriz de fallas	58
3.9.	Estados aceptables de operación.....	59
3.10.	Base de datos de fallas.....	65
3.11.	Conclusión.....	71
Capítulo 4 Diseño del Sistema de Mantenimiento Basado en Conocimiento		72
4.1	Introducción	72
4.2	Estructura del sistema	72
4.1.1	Base de conocimientos del sistema	73
4.3	Definición de variables a utilizar en el sistema.....	78
4.4	Diseño preliminar de la interfaz gráfica del sistema.....	79

4.5	Programación del sistema	82
4.6	Validación del sistema	83
4.7	Definición de la estructura de casos para el programa.....	84
4.8	Diseño de la lógica del programa.....	85
4.8.1	Diagrama caso-uso, desde la perspectiva del usuario.	85
4.8.2	Diagrama de clases	87
4.8.3	Diagrama de secuencia	89
4.9	Desarrollo del programa.....	91
4.9.1	Elaboración de clases de Java.....	91
4.9.2	Corrida de pruebas.....	91
4.9.3	Elaboración de base de datos de casos	92
4.9.4	Elaboración de interfaz gráfica utilizando el módulo Window Builder.....	93
4.9.5	Ejecución del programa.....	94
4.10	Conclusión.....	95
Capítulo 5 Implementación del Sistema de Mantenimiento Basado en Conocimiento.....		96
5.1.	Introducción	96
5.2.	Instalación del programa.....	96
5.3.	Implementación y prueba del sistema.....	96
5.3.1.	Inicio de sesión en el sistema	97
5.3.2.	Búsqueda de casos	99
5.3.3.	Solución de casos	101
5.3.4.	Calificación y generación de nuevos casos	105
5.3.5.	Base de datos en SQLite.....	107
Resultados		109
Intervenciones realizadas		109

Costos de mantenimiento.....	110
Conclusiones	113
Recomendaciones	114
Indicadores de disponibilidad y utilización de equipos	114
Indicadores de costos	116
ANEXOS	117
Anexo 1. Reporte de análisis de Fallas (Sírbase consultar extenso en memoria electrónica)	117
Anexo 2. Reporte de estancia de investigación UADY (Sírbase consultar extenso en memoria electrónica)	118
Anexo 3. Interfaz del sistema KBM Citlaltepctl (Sírbase consultar extenso en memoria electrónica).....	119
Anexo 4. Código fuente del sistema KBM Citlaltepctl (Sírbase consultar extenso en memoria electrónica)	120
Anexo 5. Artículo publicado en la revista Journal CIM, Vol. 6, Núm. 1. (Sírbase consultar extenso en memoria electrónica)	121
Anexo 6. Registro de software KBM Citlaltepctl, ante Instituto Nacional del Derecho de Autor, INDAUTOR.	122
Anexo 7. Entrega de software y manual de operación a la empresa. (Sírbase consultar extenso en memoria electrónica)	123
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	124

Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1.1-Ubicación de la empresa</i>	19
<i>Ilustración 1.2-Fricongelados Citlaltepctl, S.A. de C.V.</i>	19
<i>Ilustración 1.3-Desarrollo del proyecto</i>	27
<i>Ilustración 2.1- Formas de transmitir y adquirir conocimiento (Nonaka, 1999)</i>	41
<i>Ilustración 2.2 - Ciclo de razonamiento basado en casos, (Cordero Morales, Ruiz Constanten, & Torres Rubio, 2013)</i>	42
<i>Ilustración 3.1 - Esquematización de la lógica del sistema experto</i>	49
<i>Ilustración 3.2 – Formato actual de mantenimiento</i>	55
<i>Ilustración 3.3 – Formato para mantenimiento interno</i>	56
<i>Ilustración 3.4 – Formato para mantenimiento externo</i>	56
<i>Ilustración 3.5 - Diagrama Causa y Efecto</i>	57
<i>Ilustración 3.6 - Número de reportes de fallas, periodo mayo-octubre 2017</i>	67
<i>Ilustración 3.7 - Ocurrencia de fallas, por falta de limpieza</i>	67
<i>Ilustración 3.8 - Ocurrencia de fallas, cambio de componentes</i>	68
<i>Ilustración 3.9 - Ocurrencia de fallas, cambio de equipo</i>	68
<i>Ilustración 3.10 - Ocurrencia de fallas para corrección</i>	69
<i>Ilustración 3.11 - Diagrama de Pareto de Falla</i>	70
<i>Ilustración 4.1 – Propuesta de pantalla de inicio del Sistema de Mantenimiento</i>	80
<i>Ilustración 4.2 – Propuesta de pantalla de búsqueda de casos</i>	81
<i>Ilustración 4.3 – Lógica del logaritmo KNN</i>	82
<i>Ilustración 4.4 – Prueba Split en 4 para precisión del sistema</i>	84
<i>Ilustración 4.5 – Diagrama caso-uso</i>	86
<i>Ilustración 4.6 – Diagrama de clases</i>	88
<i>Ilustración 4.7 – Diagrama de secuencia (nuevo caso)</i>	90
<i>Ilustración 4.8 – Diagrama de secuencia (consulta caso)</i>	90
<i>Ilustración 4.9 – Escritura de clases de Java</i>	91
<i>Ilustración 4.10 – Pruebas del programa</i>	92
<i>Ilustración 4.11 – Base de datos en Eclipse</i>	92

<i>Ilustración 4.12 – Base de datos en SQLite</i>	93
<i>Ilustración 4.13 – Programación de interfaz gráfica del programa en Window Builder</i>	94
<i>Ilustración 4.14 – Ejecución del programa</i>	95
<i>Ilustración 5.1 – Pantalla de inicio del sistema</i>	97
<i>Ilustración 5.2 – Introducción de parámetros para búsqueda de casos</i>	99
<i>Ilustración 5.3 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 1)</i>	100
<i>Ilustración 5.4 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 1)</i>	101
<i>Ilustración 5.5 – Descripción del caso</i>	102
<i>Ilustración 5.6 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 2)</i>	102
<i>Ilustración 5.7 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 2)</i>	103
<i>Ilustración 5.8 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 3)</i>	103
<i>Ilustración 5.9 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 3)</i>	103
<i>Ilustración 5.10 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 4)</i>	104
<i>Ilustración 5.11 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 4)</i>	104
<i>Ilustración 5.12 – Calificar Caso</i>	105
<i>Ilustración 5.13 – Crear nuevo caso</i>	106
<i>Ilustración 5.14 – SQLite Manager para bases de datos SQLite</i>	107
<i>Ilustración 5.15 – Menú raíz de base de datos de casos en SQLite Manager</i>	107
<i>Ilustración 5.16 – Visualización de casos</i>	108
<i>Ilustración 5.17 – Costo de producto reemplazado</i>	110

Índice de Tablas

<i>Tabla 1.1-Costo de reemplazo de producto, Enero-Junio 2017</i>	23
<i>Tabla 1.2- Costo de reemplazo de producto, total año 2016.</i>	23
<i>Tabla 2.1-Trabajos de referencia</i>	32
<i>Tabla 2.2- Proyectos realizados en la empresa</i>	34
<i>Tabla 3.1-Modelos de congeladores</i>	50
<i>Tabla 3.2-Clasificación de fallas</i>	51
<i>Tabla 3.3-Costos de reemplazo de producto</i>	53
<i>Tabla 3.4-Clasificación de fallas y descripción</i>	58
<i>Tabla 3.5-Acciones correctivas</i>	59
<i>Tabla 3.6-Estados aceptables de operación</i>	59
<i>Tabla 3.7- Extracto de fallas de equipos de refrigeración (ver anexo para más detalle)</i>	60
<i>Tabla 3.8-Vista de fallas por componente</i>	62
<i>Tabla 3.9-Extracto de la Base de datos de fallas (ver anexo para más detalle)</i>	65
<i>Tabla 4.1-Base de casos</i>	74
<i>Tabla 4.2 – Definición de variables</i>	78
<i>Tabla 4.3 – Ponderación de variables</i>	79
<i>Tabla 4.4 – Resumen de casos para validación del sistema</i>	83
<i>Tabla 4.5 – Extracto de base de datos de casos</i>	85
<i>Tabla 5.1 – Datos a ingresar en el sistema</i>	98
<i>Tabla 5.2 – Resumen de porcentajes de similitud</i>	106
<i>Tabla 5.3 – Intervenciones de mantenimiento</i>	109
<i>Tabla 5.4 – Autonomía de vehículos de la empresa</i>	111
<i>Tabla 5.5 – Distancias a puntos de venta</i>	112

Capítulo 1

Generalidades

1.1.Introducción

En los últimos años se ha observado un gran auge en cuanto al uso de tecnologías de información que auxilien a la gestión de diversos procesos en las industrias. La evolución tecnológica aunada a la siempre incremental atención al cliente ha influenciado grandemente las prácticas industriales. Esto ha hecho evidente que existen tendencias que han modificado a las industrias, entre las que destacan el outsourcing, que han cambiado la forma en que se gestiona el mantenimiento. Debido a que las actividades relacionadas con este, en muchas ocasiones pueden no garantizar confiabilidad, disponibilidad de equipo, y un correcto monitoreo y sistemas de control en su totalidad, ya que son actividades realizadas por terceros.

Las políticas de optimización del mantenimiento han cambiado considerablemente durante la últimas décadas, de mantenimiento basado en fallas (mantenimiento correctivo) pasando por mantenimiento basado en condición hasta llegar al mantenimiento por diseño (Potes Ruiz, Kamsu-Foguem, & Noyes, 2013). Esta situación impacta, pero sobre todo generan una gran cantidad de información que antes, por las limitantes de los medios de comunicación no traspasaban las fronteras de las organizaciones en las que se generaba. Lo cierto es que cada vez la información se va haciendo más accesible para todos. Los datos, y más importante aún, la gestión de los mismos, se ha vuelto una parte medular de cualquier ámbito cotidiano. En el Congreso de Mantenimiento y Confiabilidad de México 2016, se hizo alusión a la importancia de la información de la siguiente forma: “A la materia prima tradicional, se ha unido en estos días una nueva, más delicada, invisible, poderosa, indomable y muchas veces olvidada; los datos. A estos se han referido muchos como el nuevo petróleo de estos tiempos, pero se han olvidado de añadir que para extraerlo hace falta una infraestructura considerable, costosa y que necesita ser cuidada y mantenida.” (Noria Latín América, 2016).

Aunado a lo anterior se ha demostrado que la experiencia es vital para la gestión del mantenimiento, si bien es importante seguir una metodología para la aplicación de este, esta ayuda a hacer frente a situaciones que no hayan sido documentadas. Es por esta razón que es importante implementar una herramienta que sirva para capitalizar estas experiencias. En determinados casos, el no tener documentos que respalden ese cúmulo de experiencias representa un problema, puesto que la información está latente, pero no se hace uso de ella; esto se observa con especial interés en el área de mantenimiento.

Con base en la experiencia de diversos profesionales en el tema, al no contar con datos estadísticos que demuestren el contexto de nuestro país y de la región en este apartado, se sabe que el mantenimiento correctivo y preventivo en las empresas no es redituable. El primero se traduce en altos costos de mantenimiento ya que este entra en función solo al presentarse una falla, se detiene la producción si la falla detiene el funcionamiento de un equipo crítico; el segundo entra en función, aunque no se presente la falla, se hace en función de las recomendaciones de los fabricantes, pero se puede llegar a aplicar, aunque no sea necesario aun, lo que se traduce en gastos prematuros de mantenimiento. De igual forma, en muchas ocasiones las fallas que se producen, así como las soluciones implementadas para corregirlas, no son transmitidas correctamente a todos los miembros de los equipos de mantenimiento. Lo que ocasiona reincidencia de las fallas, así como mal uso de tiempo y recursos en buscar soluciones a problemas ya conocidos.

Es aquí donde se abre un área de oportunidad para el mantenimiento basado en conocimiento, buscando establecer un correcto flujo de la información recabada por técnicos e ingenieros. El objetivo de este proyecto es reunir las experiencias de profesionales expertos en el área y en conjunto con metodologías y herramientas, desarrollar un programa de permita una correcta gestión de mantenimiento. Aunado a conjuntar la experiencia de estos expertos se utilizará como estrategia el concepto de mantenimiento digital (e-maintenance), el cual se define como una estrategia de mantenimiento en donde las tareas son programadas digitalmente utilizando datos de equipos reales obtenidos gracias a tecnologías digitales, por ejemplo, dispositivos móviles, sensores remotos, monitoreo de condiciones, ingeniería del conocimiento, telecomunicaciones y tecnologías de internet. (Muller, Crespo Marquez, & Iung, 2008). Esto es posible mediante la utilización de un historial de fallas de los equipos,

soluciones aplicadas en fallos anteriores y condiciones normales de operación. Para que mediante un continuo monitoreo de estas condiciones de operación, se puedan establecer indicadores que permitan observar el impacto que suponen las fallas de estos equipos.

1.2.Posicionamiento de la tesis

La empresa en la que se realiza este diagnóstico tuvo su origen gracias al Sr. Emilio Aguilar Enríquez, propietario de la misma. Ya que para el año 1992 siendo él, parte de la plantilla laboral del Grupo Bimbo, fue testigo de cómo esta era absorbida por la multinacional empresa británica UNILEVER, la cual se dedica a la producción y distribución de productos tan diversos como alimentos hasta productos de cuidado personal. Si bien en la actualidad Grupo Bimbo ya no es propiedad de UNILEVER; al momento de realizarse dicha fusión el Sr. Emilio fue transferido a la también filial del grupo transnacional, helados Holanda. Al ser el encargado de la distribución de los productos Holanda en la región centro del estado de Veracruz, fue adquiriendo experiencia en este rubro. Por lo que para el año de 1998 en que llegó el tiempo de la jubilación del señor Emilio se le presentaron dos propuestas; recibir su finiquito por concepto de jubilación o hacerse cargo de la distribuidora de helados Holanda en la región, pero ya bajó su propiedad. Como era de esperarse, gracias a la visión de negocios y a la costumbre de trabajo duro con la que cuenta la familia, la distribuidora de helados Holanda en la región de Orizaba, Fricongelados Citlaltepctl, quedó constituida.

Fricongelados Citlaltepctl ha sabido posicionarse como una empresa líder en el ramo, ya que de 300 clientes que poseía en el año de su fundación ha tenido un crecimiento admirable hasta llegar a la cantidad de 1700 en la actualidad, en el área de cobertura que comprende parte de los estados de Veracruz, Puebla y Oaxaca.

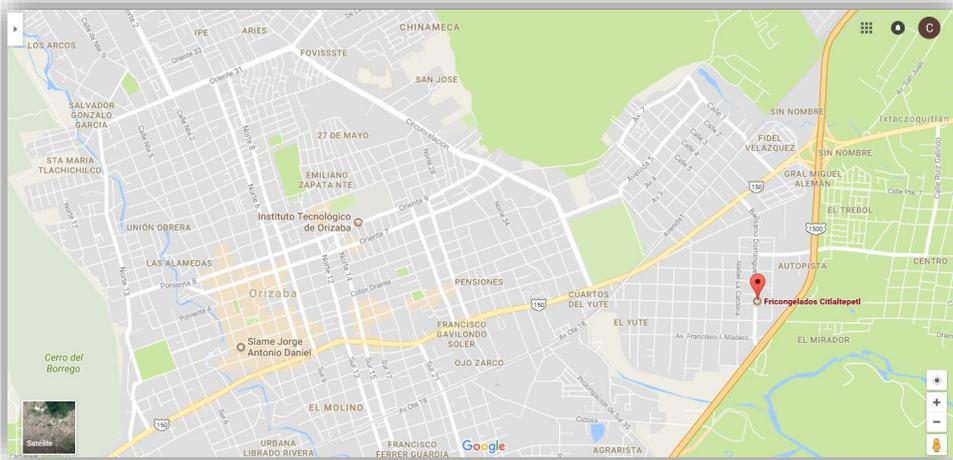


Ilustración 1.1-Ubicación de la empresa



Ilustración 1.2-Fricongelados Citlaltepétl, S.A. de C.V.

1.2.1. Cobertura de servicio de la empresa

Dentro de los servicios que oferta la empresa a sus clientes se encuentra la distribución de productos Holanda a los puntos de venta, así como el mantenimiento a los equipos de refrigeración otorgados a comodato. Los 1700 puntos de venta se encuentran distribuidos

principalmente en el estado de Veracruz y en menor cantidad en Puebla y Oaxaca de la siguiente forma:

- Veracruz
Córdoba, Fortín, Tlacotepec, Coscomatepec, Tezonapa, Cuitláhuac, Orizaba, La perla, Santa Ana Atzacan, Ixhuatlancillo, Cd. Mendoza, Río Blanco, Nogales, Mariano Escobedo, Rafael Delgado, Tlilapan, San Andrés, Ixtaczoquitlán, Huatusco y Acultzingo.
- Puebla
Ajalpan, Tehuacán. Azumbilla, Altepexi, Santiago Miahuatlán, San Juan Miahuatlán, Acatlán, Cd. Serdán, Palmar de Bravo y Totutla.
- Oaxaca
Teotitlan y Vicente.

La cobertura de este servicio se realiza por medio de 5 rutas, las cuales parten de la empresa y realizan visitas a todos los puntos de venta. Cabe mencionar que cada de una de estas rutas de reparto, se encargan de la distribución de producto y el reemplazo de producto dañado por concepto de fallas de equipos de refrigeración, en caso de ser necesario.

Ruta 1: De Tehuacán a ciudad Serdán, Puebla.

Ruta 2: De Fortín a la Tinaja, Veracruz.

Ruta 3: De Orizaba a Ciudad Mendoza, Veracruz.

Ruta 4: Entre Zongolica, Maltrata e Ixtaczoquitlán, Veracruz.

Ruta 5: La cuál cubre los lugares más alejados y que no cubren el resto de las rutas.

1.2.2. Descripción del área de aplicación del diagnóstico

El área sujeta a estudio en el presente documento es la de mantenimiento, la cual es la encargada de ofrecer servicio a los equipos de refrigeración de la empresa. Se debe hacer énfasis en que la empresa Fricongelados Citlaltepétl, S.A de C.V. funciona como intermediario entre la marca Holanda, propiedad de UNILEVER, y los puntos de venta. Estos puntos de venta varían, desde las tiendas de abarrotes hasta las tiendas de conveniencia como lo son Oxxo, 7/24, Farmacias Guadalajara, por mencionar algunos. El convenio entre empresa y punto de venta se da bajo el formato de comodato, en el cuál la empresa proporciona un equipo congelador en el cual almacenar el producto. De igual forma, se garantiza la atención técnica gratuita para el equipo de refrigeración, la cual ampara desde mantenimientos menores como la limpieza de equipo, hasta fallas que comprometan el funcionamiento del mismo.

El área de mantenimiento está liderada por el técnico Rubén Darío Sánchez Fernández, quien es el encargado de realizar el mantenimiento de los equipos de refrigeración. Los servicios que ofrecen este departamento se dividen en dos tipos:

Servicio externo – Es el que se realiza directamente en los puntos de venta de los productos. Actualmente se realiza por petición expresa del cliente a fin de detectar y corregir problemas en el funcionamiento de los equipos “in situ”.

Servicio interno – Este tipo de servicio es que se realiza en el interior de la empresa en los equipos que de acuerdo a la severidad de falla que hayan presentado, se hace necesario ingresarlos a sus instalaciones a fin de aplicar un mantenimiento más completo y que no comprometa el estado de conservación de los productos.

1.3.Planteamiento del problema

El área de aplicación de este proyecto se encuentra en el ramo de distribución de alimentos congelados, concretamente en la empresa Fricongelados Citlaltepétl S.A. de C.V., situada en la ciudad de Orizaba, Veracruz. Esta es una empresa encargada de la distribución y venta de helados de la marca Holanda a tiendas de abarrotes y de conveniencia, perteneciente al grupo Unilever. Esta organización fue establecida en agosto de 1998, por medio de un acuerdo visionario con la empresa Unilever y el Sr. Emilio Aguilar Enríquez. Fricongelados Citlaltepétl ha sabido posicionarse como una empresa líder en el ramo, ya que de 300 clientes que poseía en el año de su fundación ha tenido un crecimiento admirable hasta llegar a la cantidad de 1700 en la actualidad, en el área de cobertura que comprende parte de los estados de Veracruz, Puebla y Oaxaca.

La empresa Fricongelados S.A. de C.V., si bien cuenta con la infraestructura necesaria para satisfacer las necesidades de sus clientes, y de igual forma es un referente en la distribución de alimentos congelados, tiene un área de oportunidad muy importante en la forma de dar mantenimiento a sus equipos. Ya que aproximadamente el 86.4% del mantenimiento realizado a sus equipos congeladores, se hace de forma correctiva. Es importante recalcar que al momento de quedar fuera de servicio un equipo, se ocasionan pérdidas para la empresa en la forma de producto, paletas y helados, dañados al producirse paradas imprevistas de los congeladores. Por esta razón es necesaria una propuesta para reducir o evitar estos gastos innecesarios.

Para determinar los costos en este rubro, el área administrativa de la empresa realiza un recuento del producto que se ha reemplazado a los puntos de venta. Este producto debe encontrarse dañado, es decir, ya no ser apto para consumo por haberse descongelado, esto ocurre cuando los equipos de refrigeración presentan fallas que impidan que el producto se congele.

El concentrado de producto reemplazado, en el periodo comprendido de enero a junio de 2017, se muestra de la siguiente forma observado por ruta de distribución:

Tabla 1.1-Costo de reemplazo de producto, Enero-Junio 2017

RUTA	IMPORTE
1	14805.39
2	12824.53
3	6565.13
4	11746
5	6716.52
TOTAL	52657.57

Revisando el histórico de la empresa para producto dañado en el año 2016, se observa la siguiente tabla:

Tabla 1.2- Costo de reemplazo de producto, total año 2016.

RUTA	IMPORTE NC
1	\$ 14,178.34
2	\$ 23,726.65
3	\$ 13,192.88
4	\$ 24,063.86
5	\$ 16,062.67
RUTAS	\$ 4,282.59
TOTAL	\$ 95,506.99

Estas cantidades representan solo el concepto de reemplazo de producto, sin embargo, también deben considerarse los costos relacionados a la movilización del técnico a los puntos de venta en forma urgente para atender los paros no programados de equipo. Estos costos no pueden ser determinados fácilmente por el área de contabilidad, ya que fluctúan según las actividades que deje de realizar el técnico en el taller de la empresa, así como los desplazamientos en ocasiones de varios kilómetros. De igual forma se detectó que los formatos de órdenes de trabajo, utilizados en la empresa actualmente, no contemplan todos los campos necesarios para la elaboración de un historial de falla de los equipos y el costo de las actividades referentes al mantenimiento. Pero es importante mencionar, que si se

eliminar la incidencia de mantenimiento correctivo, como consecuencia directa se erradica la aplicación de mantenimiento de emergencia y disminuyen los costos de mantenimiento.

Aunado a lo anterior es importante reconocer, con la tendencia de los mercados actuales, en conjunto con la forma de hacer negocios que se ha venido gestando en los últimos años, es importante establecer un diferenciador; el cual ayude a posicionar a la empresa en un nivel competitivo mayor. Este diferenciador se presenta en forma de E-business, el cual por definición dice es el término utilizado para administrar y conducir negocios mediante el uso de tecnologías de la información e internet (Damanpour & Damanpour, 2001).

1.4. Objetivo General

Desarrollar e implementar un sistema basado en conocimiento que capitalice las experiencias de mantenimiento de los equipos de refrigeración dentro de la empresa Fricongelados Citlaltepeltl, S.A. de C.V.

1.4.1. Objetivos particulares

Realizar un estudio técnico del estado actual del mantenimiento en la empresa para establecer los modos de fallo e identificar los estados aceptables de operación de los equipos de refrigeración.

Desarrollar un análisis del historial de fallas para elaborar una base de datos en donde se identifiquen los fallos críticos, su frecuencia y sus soluciones.

Definir y estructurar una base de datos, que sirva para desarrollar un Sistema de Razonamiento Basado en Casos el cual dará sustento al sistema de mantenimiento de la empresa.

Validar el Sistema de Mantenimiento Basado en Conocimiento para la gestión del mantenimiento de equipos de refrigeración en la empresa.

1.5. Justificación

Con base en una estancia de diagnóstico en el área de mantenimiento de esta empresa se ha identificado que cerca del 90% del mantenimiento aplicado es correctivo, esto de acuerdo al histórico de mantenimiento generado en la empresa en el periodo Mayo-octubre 2017. Esto se traduce en tiempos muertos de operación, paradas no programadas de los equipos de refrigeración, que se reflejan en un bajo nivel de producción y como es de esperarse pérdidas económicas en forma de producto dañado y mantenimiento de “emergencia”.

Como cualquier empresa consiente de sus objetivos y de cómo alcanzarlos, la empresa busca reducir sus costos para hacer más eficientes sus procesos, es decir, aprovechar de mejor manera los recursos de los que dispone, tanto económicos como humanos. Es por esta razón que se ha detectado un área de oportunidad en la forma en que se gestiona el mantenimiento en la empresa.

Es imperativo tomar en cuenta factores que ciertas filosofías o formas de aplicar el mantenimiento no contemplan. En el caso del mantenimiento correctivo, se incrementan los costos, en ocasiones por la premura en la adquisición de piezas, con el objetivo de minimizar las pérdidas económicas que resultan de detener los procesos de producción.

La teoría marca que el mantenimiento industrial comenzó con el tipo correctivo, y este evolucionó al preventivo, por lo que lo lógico sería pensar en aplicar un sistema de mantenimiento preventivo en la empresa Fricongelados Citlaltepeltl, S.A de C.V. Concretamente en el caso de la empresa se presenta un fenómeno interesante, puesto que el mantenimiento se programa con base a la experiencia del técnico encargado del mismo; sin embargo dicha programación no se realiza con una fundamentación necesariamente técnica, ya que no existe información concreta por parte de los fabricantes en los manuales de los equipos de refrigeración. El único que conoce esa información, con base a la experiencia es el técnico experto, por tanto, esta no puede transmitirse de forma sistemática a los demás colaboradores; se encuentra de forma tácita. Es por esta razón que es necesaria la implementación de un programa de mantenimiento que satisfaga las necesidades particulares de la empresa, que tome en cuenta la experiencia del técnico de refrigeración para poder garantizar el funcionamiento continuo y óptimo de los equipos de refrigeración.

La viabilidad de este proyecto radica en que la empresa, como parte de la evolución y la cultura de mejora continua con la que cuenta, reúne ciertas características necesarias para implementación de este tipo de mantenimiento, entre las que destacan:

- Compromiso de la dirección y colaboradores para facilitar, tanto la información como el tiempo, para la realización de las actividades a desarrollar como parte del proyecto.
- Resiliencia por parte de los miembros de la empresa para adoptar nuevas formas de realizar sus actividades cotidianas, entre las que destaca el uso de tecnologías de información.
- Capacidad de mejora y apertura para modificar procesos con la finalidad de mejorarlos.
- Infraestructura para la adopción del sistema de mantenimiento basado en conocimiento.
- Cantidad de equipos, y componentes de los mismos, relativamente pequeña; lo que facilita la implementación del sistema.

1.6.Propuesta de solución

“Implementar un Sistema Basado en Conocimiento que, mediante un sistema de razonamiento basado en casos auxilie en la capitalización de experiencias del área de mantenimiento y permita eficientar la gestión del mismo, con la finalidad de aumentar la productividad de los activos y la consecución de objetivos de la empresa Fricongelados Cítlaltepetl S.A de C.V.”

1.7.Metodología

La metodología del proyecto es una propuesta que tiene como punto principal el recuperar y capitalizar las experiencias de mantenimiento a equipos de refrigeración en la empresa. Con

esa finalidad, se dividirá en 6 áreas, las cuales serán, las que se muestran en la ilustración 1.3. En ella se muestran las herramientas a utilizar, y en qué etapa se utilizarán.

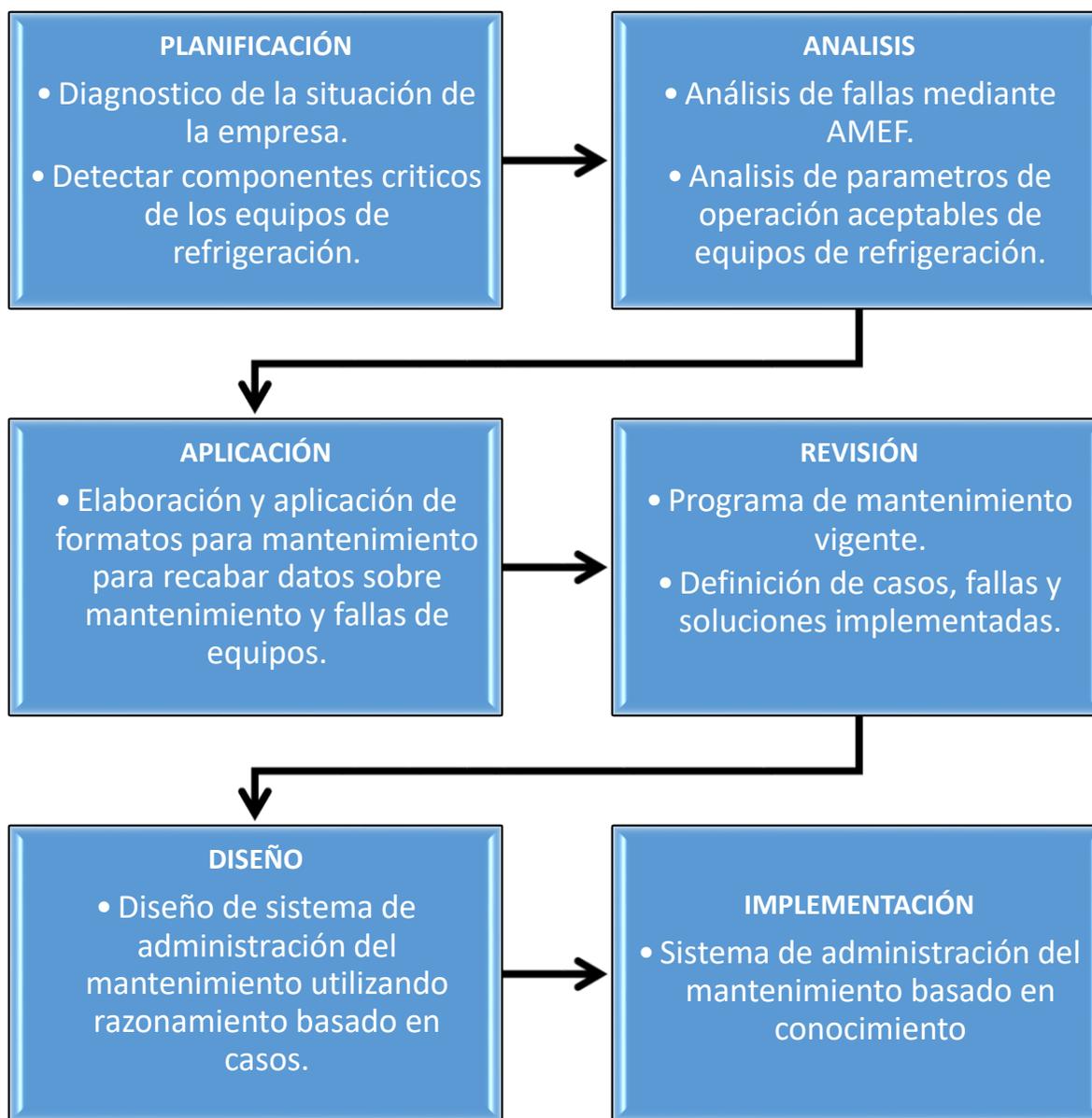


Ilustración 1.3-Desarrollo del proyecto

1.7.1. Planificación

Esta etapa es para la familiarización con la empresa e identificar cada uno de los procesos llevados a cabo en ella, mediante una estancia de análisis de fallas. Conocer la forma en que opera, como se relaciona con sus clientes, los servicios que ofrece, los activos con los que

cuenta, así como su estructura organizacional. Delimitar las actividades de las que se encarga el departamento de mantenimiento de equipos de refrigeración y quienes prestan ese servicio. Observar y analizar los equipos de refrigeración, marcas y modelos utilizados en ella; características y diseño. También se determinará la criticidad de cada uno de los componentes de los equipos, por medio de una matriz de selección de equipos críticos.

1.7.2. Análisis

Analizar el historial de fallas de los componentes detectados previamente como críticos, detectar fallos ocultos y crónicos y realizar una base de datos de los mismos, para un mejor control y orden. Estudio de los parámetros de operación de los equipos para determinar modos de falla y condiciones normales de operación. Definir los costos que las actividades de mantenimiento generan en la empresa, con un enfoque principal en los costos generados cuando el mantenimiento se realiza a grandes distancias y con retraso.

1.7.3. Aplicación

Elaborar e implementar formatos para realización de mantenimiento en la empresa. Evaluación y aplicación de indicadores de desempeño en la empresa, en el área de mantenimiento.

1.7.4. Revisión

Revisar programa de mantenimiento vigente para detectar áreas de oportunidad, detectar si el mantenimiento no se realiza de forma empírica. Modificar o implementar procedimientos para el desarrollo y aplicación del mantenimiento.

1.7.5. Diseño

Realizar el diseño del programa de mantenimiento, tomando en cuanto la información recopilada previamente en la base de datos de fallos de componentes, parámetros de

operación y detectar modos de falla. Generar un sistema de Razonamiento Basado en Casos que conjunte las experiencias de mantenimiento del experto de la empresa, programado en Java y que utiliza el módulo jColibri; y a su vez integre los resultados obtenidos de un Análisis de Modo y Efecto de falla. Con el objetivo que presente alternativas de solución para las fallas presentadas en los equipos de refrigeración y estas puedan ser atendidas de forma más eficiente.

1.7.6. Implementación

Implementar el sistema de administración realizado en el área de mantenimiento de equipos de refrigeración de la empresa Fricongelados, S.A. de C.V. Después evaluar el desempeño del mantenimiento antes y después de implementado el sistema. Dicha evaluación se realiza en conjunto con el personal de mantenimiento de la empresa, con especial atención en el experto del área.

1.8. Organización de la tesis

La presente tesis consta de 5 capítulos los cuáles se describen brevemente a continuación:

Capítulo. 1 Generalidades.

Se describe el contexto de la empresa y el área en que se desarrolla la investigación definiendo el planteamiento del problema, así como la justificación para la realización del proyecto; esto con base en los objetivos que persigue la tesis, así como los resultados que se espera de la investigación

Capítulo. 2 Marco teórico

Contiene toda la investigación documental que sirve como base para la realización del proyecto, sirve como base para familiarizar al lector de la tesis con conceptos básicos de métodos, filosofías y herramientas utilizadas en el desarrollo de la tesis.

Capítulo. 3 Estudio preliminar para generación y recopilación de datos.

Se realiza una estancia de observación dentro de la empresa, para determinar y analizar la forma en que se realiza el mantenimiento en ella. Estudiando los procesos realizados al interior de la empresa con la finalidad de emitir un diagnóstico y definir la forma en que se implementará la solución propuesta.

Capítulo. 4 Diseño del Sistema de Mantenimiento Basado en Conocimiento

En esta fase se tiene el diseño del sistema utilizando los datos generados y recopilados en el capítulo anterior, esto con la finalidad de dar sustento numérico al proyecto, y así en conjunto al almacenamiento de las experiencias del área de mantenimiento, generar un sistema que satisfaga las necesidades de la empresa.

Capítulo. 5 Implementación del Sistema de Mantenimiento Basado en Conocimiento

Comprende la implementación del sistema de mantenimiento desarrollado en el área seleccionada de la empresa, de tal forma que sirva como apoyo determinar una forma más eficiente de gestionar el mantenimiento en la empresa.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1.Introducción

En la actualidad, las tecnologías de información y comunicaciones, TIC, dentro de los entornos globales de competencia, son imprescindibles para que las empresas inmersas en estos generen valor y logren posicionarse en niveles de competitividad de clase mundial. Para que las TIC sean un habilitador diferenciador de las organizaciones, es necesario concentrar su utilización en las competencias claves de negocio de las empresas y articularlas en conjunto con las condiciones externas de sus entornos regionales, (Rivera González & Scheel Mayenberger, 2009).

Esto es particularmente importante en las empresas del sector industrial y de servicios, como es el caso de la empresa Fricongelados Citlaltepelt S.A. de C.V.; en la cual se ha identificado que un punto crítico de la empresa es la administración de tecnologías de información, principalmente en el área de mantenimiento. Ya que el mantenimiento que realiza en los congeladores en los que coloca los productos que ofrece a sus clientes es de vital importancia, puesto que de no tener un correcto funcionamiento se compromete el tiempo de vida de los mismos.

Este proyecto se enfoca en el desarrollo, elaboración y posterior implementación de un programa para la administración del mantenimiento que se ajuste a las necesidades de la empresa. Para lograr esto, se hará uso de técnicas de las distintas filosofías de mantenimiento existentes. Se utilizarán herramientas de:

- KMB – Mantenimiento basado en conocimiento
- Mantenimiento proactivo
- RCM - Mantenimiento basado en confiabilidad
- CBM – Mantenimiento basado en condición

2.2.Estado del arte

El mantenimiento industrial, si bien tuvo un origen simple, en el cual lo único que se realizaba era corregir las fallas cuando estas ocurrían, es un concepto tan antiguo como la industria misma. Sin embargo, así como se han modificado y mejorado los procesos de producción para hacerlos más eficientes, lo cierto es que esta misma evolución también ha migrado a la aplicación del mantenimiento mismo. Existe gran cantidad de artículos, revistas, libros y proyectos que definen los diferentes tipos de mantenimiento, analizados e implementados desde diferentes enfoques y a diferentes industrias. A continuación, en la tabla 4.1, se muestran algunos de los trabajos que sirven de referencia para alcanzar el objeto de este proyecto.

Tabla 2.1-Trabajos de referencia

FUENTE	ENFOQUE	CAMPO DE APLICACIÓN	HERRAMIENTA	VENTAJAS	DESCRIPCIÓN
(López Ramos, 2017)	“Sistema de mantenimiento basado en el conocimiento o mediante razonamiento de casos”	Mantenimiento industrial	Mantenimiento basado en conocimiento Razonamiento basado en casos	Estrategia CBR, mantenimiento o basado en casos y modos de falla.	Tesis que explica la aplicación de un modelo de mantenimiento basado en casos.
(H. Cherkaoui & A. Grall, 2016)	“On the Assessment of Performance and Robustness of Condition-Based Maintenance Strategies”	Mantenimiento industrial	Mantenimiento basado en condición Optimización	Estrategia CBM, mantenimiento o basado en condición Degradación y modo de falla	Muchos trabajos de investigación han demostrado que el mantenimiento basado en condición es muy eficiente para incrementar la disponibilidad y bajos costos de mantenimiento.

(Oliveira, Lopes, & Rodrigues, 2016)	“Use of maintenance performance indicators by companies of the industrial hub of Manaus”	Mantenimiento industrial	Medición del desempeño del mantenimiento	Efecto de las diferentes prácticas de mantenimiento	El objeto de estudio es identificar y analizar el uso de indicadores de desempeño de mantenimiento de un centro de actividad industrial.
(Vishnu & Regikumar, 2016)	“Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study”	Mantenimiento industrial Mantenimiento basado en la confiabilidad	Análisis RCM, Mantenimiento Basado en la confiabilidad	Análisis de causas de falla y sus consecuencias para la seguridad y operatividad.	RCM es una estrategia que selecciona las estrategias ideales para mantenimiento basándose en la criticidad y confiabilidad de los equipos.
(Morales Huerta, 2013)	“Desarrollo de un sistema experto para determinar los índices de energía específica y las condiciones de operación de un horno recuperativo HEYE durante el proceso de elaboración de vidrio”	Mantenimiento industrial	Razonamiento basado en casos, CBR. Sistemas expertos.	Aplicación en un sistema de producción real. Recuperación de casos Reutilización y adaptación de casos Revisión de casos Almacenamiento de casos (proceso de adquisición de nuevos conocimientos.	Uso de razonamiento basado en casos para eficientar la operación de un horno para la elaboración de vidrio.
(Luz & ROBLES, 2011)	El mantenimiento basado en el conocimiento: fundamentos y aplicación	Mantenimiento industrial	Basado en un aplicación real e una empresa manufacturera	Descripción de un modelo conceptual para el desarrollo de un sistema bajo el enfoque del mantenimiento o basado en el conocimiento.	En este enfoque se busca no solo corregir o predecir un comportamiento de fallo, sino conservar los conocimientos generados durante la resolución de problemas.
(Eid, Frenkel, & Khvatskin, 2011)	“MSS equivalent parameters assessment: maintenance management of	Mantenimiento industrial Sistemas de refrigeración	Indicadores de desempeño. Evaluación de parámetros de operación.	Considera importante la confiabilidad de los sistemas de refrigeración. Uso de parámetros	Se presenta un método para calcular diferentes parámetros de confiabilidad en sistemas de refrigeración multi-estado.

	refrigeration system”			para observar rangos de falla.	
(Cortés Islas, 2010)	“Diseño de un entrenador médico para el área de neonatología del hospital regional de rio blanco usando razonamiento basado en casos”	Mantenimiento industrial	Framework JCOLIBRI Razonamiento basado en casos, CBR Sistemas expertos.	Transferencia de conocimientos del personal.	Elaboración de un sistema basado en casos, mediante el uso de sistemas expertos para el área de neonatología.
(Muller et al., 2008)	On the concept of e-maintenance : Review and current research	Mantenimiento industrial		Definición del concepto de e-maintenance	E-mantenimiento provee una oportunidad para una nueva generación de mantenimiento en las industrias,
(Salazar, 2003)	Productividad en el mantenimiento de industrias manufactureras	Mantenimiento industrial	Indicadores de desempeño	Definición de los principales indicadores de desempeño utilizados en mantenimiento industrial.	El mantenimiento representa un gran costo operativo. Se apoya de los indicadores para controlar este.

Ninguno de los trabajos aquí mencionados tiene el desarrollo e implementación de un sistema de administración basado en el conocimiento como el que se desea abordar. Sin embargo, si presentan un excelente punto de referencia para el enfoque a considerar.

Tabla 2.2- Proyectos realizados en la empresa

FUENTE	ENFOQUE	CAMPO DE APLICACIÓN	HERRAMIENTA	VENTAJAS	DESCRIPCIÓN
(Mejía Torres, 2014)	<i>"Creación de equipos auto-dirigidos en la empresa Fricongelados</i>	Mantenimiento industrial	Diagrama de Pareto Hojas de control Lluvia de ideas	Priorización de actividades de mantenimiento	Proyecto basado en la creación de equipos auto dirigido y poder

	<i>Citlaltepetl, S.A. de C.V., para la implementación de un sistema de seguridad y mantenimiento industrial"</i>			según su criticidad	dar solución a problemas de seguridad y mantenimiento, esto con la implementación de un programa de mantenimiento preventivo.
--	--	--	--	--------------------------------	--

La empresa como tal cuenta con trabajos relacionados con la programación de mantenimiento, sin embargo, ninguno de estos cuenta con el enfoque que se aborda en el presente proyecto, es por esta razón que se hizo necesario desarrollar un programa de mantenimiento que se amoldara a los requerimientos de la empresa.

2.3.Mantenimiento industrial

El mantenimiento dentro de una empresa, es el conjunto de actividades a realizar con la finalidad de preservar los bienes de la misma. Al realizar el mantenimiento correctamente, se incrementa la vida útil del equipo en cuestión, se evita el reemplazo prematuro de piezas o del equipo mismo, se reducen los gastos inherentes a tener el equipo fuera de funcionamiento y se asegura que se tendrá en condiciones idóneas para su funcionamiento.

2.4.Mantenimiento basado en el conocimiento

El mantenimiento basado en el conocimiento, *Knowledge Based Maintenance-KMB*, por sus siglas en ingles), es una etapa evolutiva del concepto de mantenimiento que incorpora la administración del conocimiento como estrategia para incrementar la productividad y disponibilidad de un equipo. En este enfoque se busca no solo corregir o predecir un comportamiento de fallo, una disconformidad en un proceso o una pérdida de disponibilidad de un equipo, sino además, conservar los conocimientos generados durante la resolución de los problemas intrínsecos a este tipo de situaciones o a las actividades de mantenimiento, con

el propósito de utilizarlos cuando se presente una situación similar, (Luz & ROBLES, 2011). Este tipo de mantenimiento, se basa en la experiencia que tienen las personas encargadas del mantenimiento de equipo, así como los supervisores de mismo. Es por esta razón que se hace necesario seguir la metodología propuesta por este tipo de mantenimiento.

2.5.Mantenimiento proactivo

Es una filosofía de mantenimiento, dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria, (Mantenimiento Mundial, 2009). El objetivo principal de este tipo de mantenimiento es que, al detectar las causas de falla, estas sean atacadas para evitar que sigan acrecentándose hasta llegar a un modo de falla. Para este fin, se hace un monitoreo de los parámetros de operación de los equipos para mantenerlos dentro de los límites permitidos de operación, es decir, las condiciones en las que pueda funcionar el equipo sin presentar fallas, o se reduzca significativamente la incidencia de las mismas.

2.5.1. Causa de falla

Circunstancias asociadas con el diseño, manufactura, instalación, uso y mantenimiento que hayan conducido a una falla.

2.5.2. Modo de falla

Es un evento que causa una falla funcional o pérdida de función, (Carolina Altmann, s/f), es decir, identificar los eventos que puedan haber causado un estado de falla. Este tipo de sucesos arrojan datos acerca de las condiciones que se presentaron para que se suscitara una falla. El reconocer los distintos modos de falla ayudará a orientar las acciones que se tomen

para prevenir, corregir o detectar la falla. En los modos de falla se incluyen todos los estados de falla que puedan haberse presentado en un periodo de tiempo dado, así como también, estados de falla que tienen la posibilidad de ocurrir, aunque no hayan ocurrido aún.

Los modos de falla pueden ser imputables a:

- Desgaste de equipo por operación
- Errores humanos
- Diseño
- Mala o nula administración de recursos que necesita el equipo para operar

2.5.3. Efectos de falla

Este concepto, trata de describir las consecuencias que tiene el que se presente cada modo de falla.

Los efectos de falla, deben contener información de acuerdo al impacto que representan en:

- Evidencia que la falla ha ocurrido
- Riesgo de seguridad para el personal
- Riesgo para la producción u operaciones
- Riesgo para el medio ambiente
- Si existen daños como consecuencia directa de la falla

2.5.4. Fallas potenciales

Dentro de esta clasificación se encuentran las fallas que dan algún indicio de su ocurrencia antes que se presenten.

2.6.Mantenimiento basado en confiabilidad

Es un proceso utilizado para determinar lo que debe hacerse para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operativo presente, (Fernando Espinosa Fuentes, 2013). (Vishnu & Regikumar, 2016).

Es el conjunto óptimo entre el mantenimiento correctivo, preventivo, basado en condición y proactivo. Las ventajas principales de cada uno de los tipos de mantenimiento en lugar de ser aplicadas independientemente, se integran para aprovechar sus fortalezas y así, maximizar la confiabilidad de los equipos e instalaciones, minimizando los costos de ciclo de vida.

2.6.1. FMEA

El Analisis de Modo y Efecto de Falla, Failure Mode Effect Analysis o FMEA por sus siglas en inglés, es un método práctico para determinar y evaluar las posibles fallas o errores que pueden suceder y permite además priorizarlos según sus respectivos impactos en un proceso, servicio o proyecto, (Manufactura Inteligente, 2015). Este análisis es de vital importancia para detectar como como y en donde se producen las fallas para así evitarlas, lo que repercutirá en la continuidad operacional de los procesos de producción.

2.6.2. Análisis de Criticidad

Permite establecer jerarquías entre:

- Instalaciones
- Sistemas
- Equipos
- Elementos de un equipo

2.6.3. Criticidad

Es una metodología que permite dirigir recursos de la manera más efectiva en áreas donde se mas importante mantener o mejorar la confiabilidad operacional (Cardona Tovar, 2015). Esto se aplicará dentro del proceso seleccionado de la empresa, con el fin de identificar cuáles son los equipos idóneos para desarrollar el sistema de administración de mantenimiento, usando la siguiente clasificación,

2.6.4. Equipo critico

Es aquel que cuando falla, produce una parada total o suspensión drástica de la producción. Es decir, afecta substancialmente el funcionamiento normal del sistema productivo. Solamente cuando es reparado este equipo, se puede reiniciar la producción. El tiempo que permanezca fuera de servicio e igual al tiempo en el cual no hay producción.

2.6.5. Equipo no critico

Es aquel cuya falla no afecta el sistema productivo. Puede estar fuera de servicio, sin causar pérdidas o reducciones de producción.

2.7.Mantenimiento basado en condición

El Mantenimiento Basado en la Condición (CBM) es una estrategia de mantenimiento que tiene como objetivo extender la vida útil de las máquinas, aumentar la productividad y reducir los costos de operación diarios, (Deere & Company, 2017). Este tipo de mantenimiento toma como base las condiciones en las que opera el equipo seleccionado, con base al entorno,

temperaturas, ubicación y uso que se le da; para así determinar la periodicidad y tipo de mantenimiento a aplicar.

2.8.Sistemas basados en conocimiento

Son sistemas que se apoyan de un software el cual sirve para hacer gestión del conocimiento disponible.

Los sistemas basados en el conocimiento (SBC), típicos del campo de la IA, no son más que programas para computadoras que simulan las cadenas de razonamiento que realiza un experto para resolver un problema de su dominio, (Gallardo, Carmen, & Ávila Ávila, 2008).

La principal diferencia de este tipo de software radica en que hace uso del conocimiento disponible en una organización, con base a la experiencia de expertos en determinadas actividades realizadas en ellas.

La función esencial de estos sistemas es la manipulación del conocimiento disponible en un problema con la finalidad de obtener una solución, sino optima, lo más adecuada posible para la resolución del mismo.

Todo sistema basado en conocimiento debe tener al menos tres componentes que son:

- Base de conocimiento

Representa los conocimientos almacenados acerca del tema de interés, estos en forma de reglas. Esta base es generada por un sistema experto.

- Memoria de trabajo

Contiene información específica acerca de las entradas de datos.

- Máquina de inferencia

Esta se encarga de utilizar la memoria de trabajo y mediante la base de conocimiento identifica las reglas que ayuden a llegar a las conclusiones que resuelvan el problema tratado.

Es por esta razón que es necesario un medio que auxilie a la creación de conocimiento mediante la interacción de conocimiento tácito y el explícito. Este proceso es responsabilidad completa de las personas dentro de la organización y es llamada “conversión del conocimiento”, la cual puede realizarse de cuatro formas de acuerdo a la ilustración 16 (Nonaka, 1999):



Ilustración 2.1- Formas de transmitir y adquirir conocimiento (Nonaka, 1999)

De acuerdo a la figura anterior es importante observar las siguientes definiciones:

- **Socialización:**
Esta se da al adquirir conocimiento al compartir experiencias con los demás miembros de la organización.
- **Interiorización**
Surge al momento de convertir el conocimiento explícito a tácito de forma de aprendizaje kinestésico, es decir, aprender haciendo.
- **Exteriorización**
Se basa en el proceso de conversión de conceptos tácitos en explícitos, con la finalidad de transmitir las experiencias a otros miembros de la organización de forma que sea entendible.
- **Combinación**
Este concepto se refiere al tomar dos conocimientos explícitos, compararlos y complementarlos. Por ejemplo, en una empresa en la que se compartes conocimientos por medios de presentaciones, charlas, conferencias, entre otras.

2.9. Razonamiento basado en casos

El Razonamiento Basado en Casos, CBR por sus siglas en inglés, es un proceso de la inteligencia artificial en computadoras el cual sirve para entender y resolver nuevos problemas. En este tipo de razonamiento, el “razonador” recuerda una situación similar previa a la presente y se usa para resolver el nuevo problema. El razonamiento basado en casos puede significar adaptar soluciones pasadas a nuevas demandas; utilizando casos antiguos para criticar nuevas soluciones, o razonar de precedentes para interpretar una nueva situación o crear una situación equitativa al nuevo problema, (Kolodner, 1992).

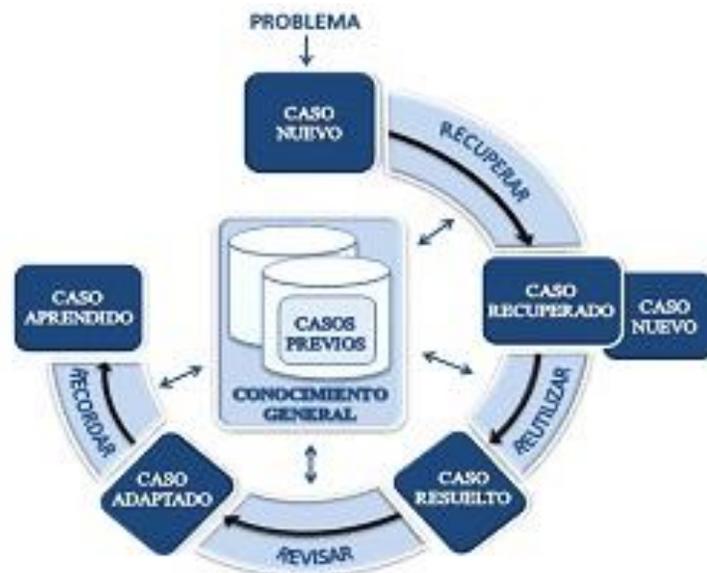


Ilustración 2.2 - Ciclo de razonamiento basado en casos, (Cordero Morales, Ruiz Constanten, & Torres Rubio, 2013)

Etapas para la generación de una base para Razonamiento Basado en Casos

El proceso para la generación de casos para el razonamiento y resolución de problemas (Luz & ROBLES, 2011) es el siguiente:

- 1) **Fase de obtención.** Para poder realizar un análisis que tenga un punto de comparación, es necesario contar con una base de casos que guarde cierta similitud con los que se ha presentado anteriormente. De tal forma que se puedan tomar como referencia para dar solución a los nuevos. Para analizar la muestra de destino, CBR busca un caso similar, es decir, retomar la experiencia de un problema anterior que se cree es similar al nuevo y muestra las soluciones aplicadas en ese problema pasado.
- 2) **Fase de Adaptación o reutilización.** En esta fase se usa la información de los casos almacenados para proponer soluciones al nuevo caso presentado, adaptando esas soluciones con base a la similitud entre casos.
- 3) **Fase de Revisión.** Se realiza una revisión acerca del impacto que tiene la solución propuesta para solucionar el nuevo caso presentado. En esta fase valida la solución propuesta por el programa con la que propondría el experto humano.
- 4) **Fase de retención o almacenamiento.** En esta última fase, el sistema recibe la puntuación del experto, en el caso presentado, para así guardar el caso para futuras referencias. Si es exitoso para reutilizarlo, y si no, para evitarlo.

2.9.1. Caso

Un caso se debe entender como una situación que ya tuvo lugar, esta da como resultado una experiencia. Estas experiencias, para el desarrollo de programas de Razonamiento Basado en Casos, se componen de dos partes principales; un problema y la solución a ese problema. De igual forma es importante para que ese problema pueda ser consultado en un sistema CBR, y posteriormente arroje un resultado, que exista una descripción del problema. Esa descripción debe ser clara y definir correctamente sus atributos o parámetros.

2.9.2. Ventajas del Razonamiento Basado en Casos

Como ventajas para el desarrollo e implementación de sistemas de Razonamiento Basado en Casos se pueden mencionar las siguientes:

- Disminución o eliminación total de la dependencia del experto.

- Se reduce el tiempo en el que se adquiere el conocimiento.
- Evita la repetición de errores previos.
- Reduce el tiempo de búsqueda de una solución a un problema recurrente o que ya se haya presentado con anterioridad.

El desarrollo del programa, se enfoca en los fundamentos del Razonamiento Basado en Casos, sin embargo, es necesario cimentar correctamente las bases de cómo se encuentra conformado el IDE Eclipse, ya que es mediante este software que se desarrolla el sistema de mantenimiento

A continuación, se definen algunos conceptos básicos para entender mejor el programa a realizar.

2.10. Programa

Conjunto de instrucciones que sigue una computadora para alcanzar un resultado específico. El programa se escribe en un lenguaje de programación.

2.11. Programación Orientada a Objetos

Al momento de escribir un programa, se debe tener en cuenta el problema, así como la solución propuesta para resolverlo. Dentro de los modelos existentes para desarrollo de programas, se encuentra la Programación Orientada a Objetos o por sus siglas, POO. La principal característica de este modelo de programación es la existencia de dos conceptos clave, clases y objetos. Las clases engloban las operaciones y datos del programa que sirven para conceptualizar lo que se desea programar; los objetos son los conceptos definidos en las clases, pero enriquecidos con atributos (características del objeto) y métodos (operaciones a realizar por el objeto).

2.12. Java

Es un lenguaje de Programación Orientada a Objetos basado en C++ desarrollado por Sun Microsystems. Su principal característica es la versatilidad que tienen los programas escritos

en este lenguaje para ejecutarse en múltiples plataformas con la utilización de una Máquina Virtual de Java, JVM por sus siglas en inglés. Aunado a lo anterior otro punto fuerte importante de Java es la versatilidad con la que cuenta para programas de servidor utilizando JSP, JavaBeans y JSF.

2.13. IDE Eclipse Java Oxygen

Es un entorno de desarrollo integrado, o IDE por sus siglas en inglés, de código abierto, el cual sirve para desarrollar aplicaciones en Java. Desarrollado por la fundación Elipse cuyo único objetivo, es fomentar el desarrollo de software de forma gratuita. Dentro de las bondades que ofrece este IDE, destacan:

- Se puede editar el código y no solo plantillas.
- Se pueden agregar módulos o plugins, para agregar funciones al sistema.
- Auxilia a programas mediante ayudas intuitivas para observar errores lógicos en el código.
- Facilidad para desarrollar sistemas multiplataforma.

2.14. jCOLIBRI

Definido por sus autores como una plataforma que sirva para resolver problemas de Razonamiento Basado en Casos, la cual fue diseñada en la Universidad Complutense de Madrid. Una de las virtudes de jColibri, es que puede integrarse a manera de plugin al IDE Eclipse para poder desarrollar aplicaciones CBR en Java.

Tiene dos versiones de acuerdo al grado de conocimientos en programación que posean los usuarios:

- Colibri Studio: Es para usuario con conocimientos muy básicos de programación, en el que solo tienen acceso a la interfaz gráfica de programa. Mediante la utilización de plantillas previamente cargadas en el programa, permite crear aplicaciones CBR de forma sencilla.

- jColibri: Para usuarios con conocimiento más robustos en programación en Java y Programación Orientada a Objetos. En esta versión se puede utilizar las capacidades completas de la plataforma, ya que se pueden construir aplicaciones CBR escribiendo el código de forma que satisfaga las necesidades específicas del diseñador.

2.15. UML

El Lenguaje Unificado de Modelado, UML por sus siglas en inglés, es la forma más utilizada para modelar sistemas de programación orientados a objetos. Esto se logra de forma gráfica, ya que ayuda a tener un mejor entendimiento del diseño lógico de los programas a desarrollar; esto debido a que se puede descomponer el programa en cada una de sus partes, y poder describir las funciones de cada una de sus partes y ver como se interrelacionan.

2.16. Conclusión

En este capítulo se abordaron los conceptos de base para la formulación y el desarrollo de la tesis. Puede observarse que las nuevas herramientas brindan ventajas importantes para la implementación de sistemas de mantenimiento con una eficiencia mucho mayor que los enfoques tradicionales, ya que la idea es integrar las tecnologías de información a las tareas habituales de mantenimiento. Un ejemplo de esto es la integración que existe de un software con algo, en ocasiones burdo, como lo puede ser el mantenimiento industrial. Esto da como resultado un sistema de mantenimiento potenciado, ya que se puede obtener un sistema que no solo nos recuerde cuando dar mantenimiento, sino el cómo realizarlo y la periodicidad de este.

Capítulo 3

Estudio preliminar para generación y recopilación de datos

3.1.Introducción

En este capítulo se abordan los resultados obtenidos en la estancia de diagnósticos de fallas llevada a cabo en la empresa, con el fin de obtener conclusiones acerca de la forma en que se presentan las diferentes fallas en los equipos de congelación de la empresa. Esto mediante diferentes técnicas, entre las que destaca el Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), el cual tiene como objetivo determinar

3.2.Lógica del Sistema basado en Conocimiento

Mediante una estancia en la empresa Fricongelados Citlaltepetl, S.A. de C.V., se analizan y diagnostican los equipos de refrigeración, con lo cual se pretende recabar la información necesaria sobre la forma en que se aplica el mantenimiento, para así generar un Sistema Basado en Conocimiento. De esta forma determinar el impacto del sistema de mantenimiento vigente para disminuir los paros no programados y pérdidas de producto.

Al aplicar el programa de mantenimiento a desarrollar se pretende:

- Determinar los componentes críticos de los equipos que supongan fallas funcionales.
- Contar con un diagnóstico completo sobre el funcionamiento y estados normales de operación.
- Reducción de tiempo de capacitación de personal de nuevo ingreso a la empresa.
- Reducir la dependencia del técnico experto para la realización del mantenimiento.
- Eliminar la programación de mantenimiento de forma empírica.
- Elaboración de un software para la gestión del mantenimiento en la empresa que sistematice el mismo, evitando así pasar por alto alguna actividad.

- Maximizar la vida útil de los componentes y equipos, así como la productividad del recurso humano.
- Eliminar paros no programados.
- Eliminar gastos innecesarios en mantenimiento.
- Reducir los gastos de la empresa por concepto de producto dañado.
- Reducir y posteriormente eliminar la incidencia el mantenimiento correctivo.
- Reducir el tiempo de capacitación de personal de nuevo ingreso al área de mantenimiento y ventas de la empresa.
- Disminuir el tiempo que el personal de mantenimiento se tenga que ausentar de la empresa por atención de fallas de los equipos.
- Poner al alcance de los demás miembros de la organización la información relacionada con el mantenimiento a los equipos de refrigeración.
- Implementar un programa de mantenimiento adecuado a las necesidades de la empresa que tome en cuenta la experiencia de mantenimiento de los trabajadores.

Por lo cual, para obtener una vista más detallada de la forma en que este sistema funciona, se puede observar la ilustración 3.1. En este diagrama de flujo, se puede observar lo que el sistema ayudará, a la persona encargada de realizar el mantenimiento, a realizar desde el momento que se detecte una falla hasta que esta se solucione.

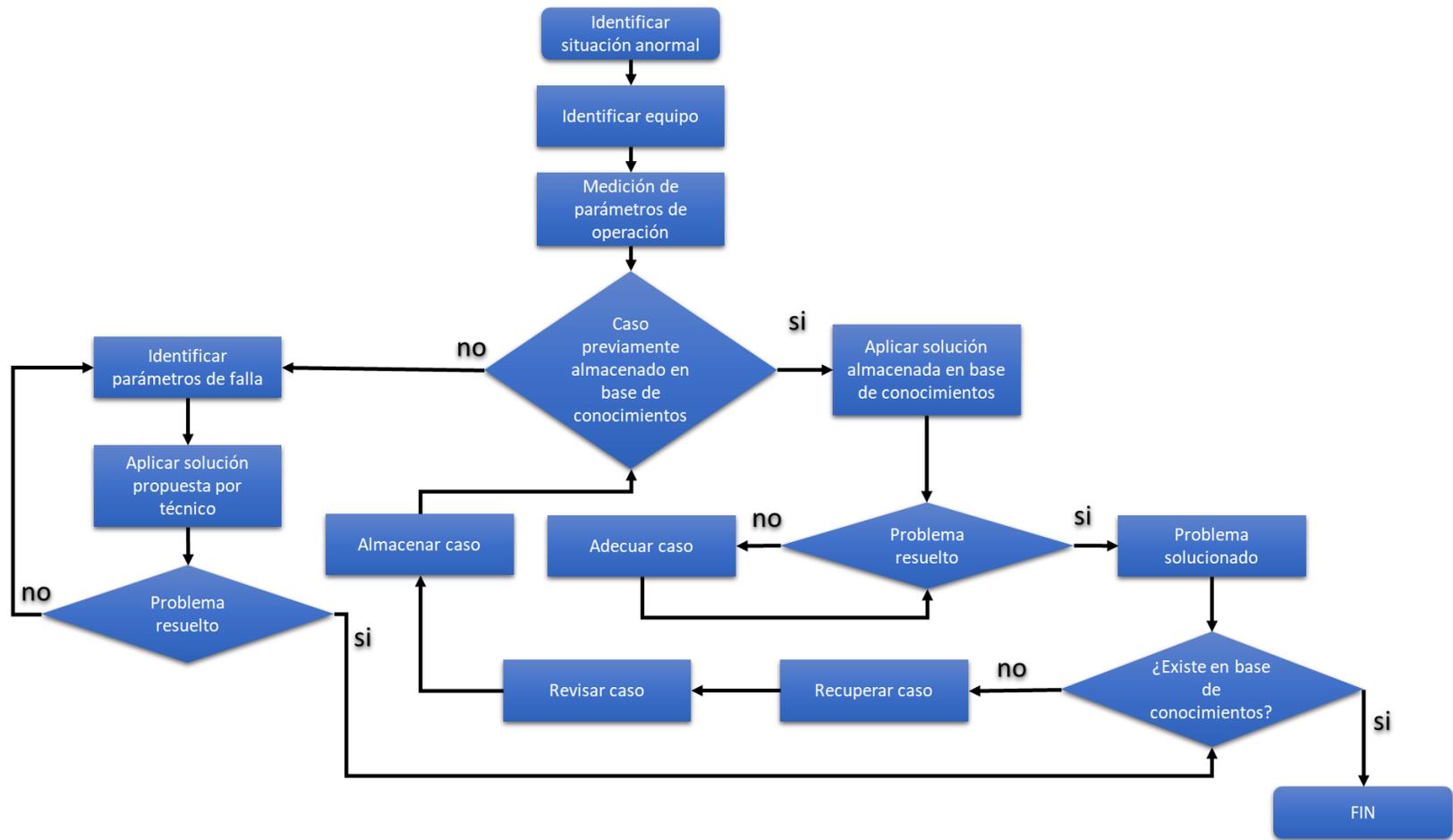


Ilustración 3.1 - Esquematización de la lógica del sistema experto

3.3.Familiarización con el departamento de mantenimiento

La empresa Fricongelados Citlaltepelt ofrece servicios de mantenimiento a los congeladores que asigna en comodato, es decir, que presta mediante un contrato a los dueños de a los puntos de distribución de productos Holanda, los cuales también vende la misma empresa. Estos equipos son suministrados a su vez por UNILEVER y empresas con las que tiene convenios comerciales. Los equipos en lo que se realizará el análisis corresponden a 7 marcas, las cuales son:

- Ojeda
- Metalfrio
- AHT
- Enerfrezzer
- Fricon
- Haier
- Imbera

De estas marcas se desprenden los siguientes modelos:

Tabla 3.1-Modelos de congeladores

MODELOS						
OJEDA	METALFRIO	AHT	ENERFREZZER	FRICON	HAIER	IMBERA
(OJEDA)	(METALF)	(AHT)	(ENERF)	(FRCON)	(HAIER)	(IMBER)
CHP-68	SD-180	RIO S68	SD-180	SGE	SD 158C	EHF 07
CHP-68H	SD-182	RIO S100	SD-260	SGE		EHF 10
CHP-68HE	MSC-30H	RIO S125				
CHP 105	SD45 (CT)	COUNTERTOP CTF100CN				
CHP 105H	SD260					
CHP-105HE	SD282					
CH 170	CPC 25U					
CH170H						
CHP 170						
CT90 (CT)						
CT90 H						

En total son 29 los modelos de equipos que son utilizados en la empresa.

3.4. Componentes críticos y no críticos de los sistemas de refrigeración

La criticidad de los componentes de los equipos de refrigeración de la empresa es importante ya que permite dar prioridad a las acciones encaminadas a resolver ciertas fallas, dando prioridad a unas sobre otras y va en función de la siguiente clasificación:

Tabla 3.2-Clasificación de fallas

Gravedad de falla	Descripción
Funcional	Paro total del equipo
Crítica	Permite el funcionamiento del equipo pero puede escalar su gravedad a funcional
Degradante	Afecta el funcionamiento óptimo del equipo pero continua operando
Latente	Reparaciones menores que no suponen fallas funcionales
Menor	Reparaciones de aspectos visuales principalmente, que no afectan el funcionamiento en general

Por lo que los componentes detectados como críticos son los siguientes:

- Termostato
- Relevador
- Capacitor
- Motor ventilador
- Aspa de ventilador
- Protector térmico
- Compresor
- Cable
- Clavija

De igual forma se detectaron componentes no críticos, pero que se les da mantenimiento por parte del área técnica:

- Tapas
- Ruedas
- Empaques
- Manguera térmica
- Tolva motor
- Manija
- Imagen

Cabe mencionar que los servicios de mantenimiento realizados a los equipos de refrigeración de la empresa en su totalidad, son del tipo correctivo. Es decir, solo se da mantenimiento a los equipos asignados a cada punto de venta, una vez que han fallado.

3.5.Determinación de los costos de mantenimiento

Para saber el impacto económico del departamento de mantenimiento, con la finalidad de detectar las dimensiones del área de oportunidad que existe, es necesario realizar una revisión de las órdenes de servicio que tiene la empresa. Dichas órdenes deben amparar las actividades realizadas tanto de forma interna como externa, es decir, mantenimiento realizado a los equipos en los puntos de venta y mantenimiento realizado en el taller de la empresa.

Se realiza la revisión de las órdenes de servicio para el periodo histórico de enero-junio de 2017. Se eligió este periodo y no en el que se realizan la presente estancia con el objetivo que las muestra seleccionadas sea representativa, ya que un periodo de un mes es difícil alcanzar dicho objetivo.

3.5.1. Costos indirectos

Estos costos no pueden imputarse como tal a un activo u operación de mantenimiento, sin embargo, crecen o decrecen en función de la aplicación de la correcta o incorrecta aplicación de este. En el caso de la empresa, son los costos relacionados a producto dañado por paros imprevisto de operación de los equipos de refrigeración, así como el traslado no programado de personal para atender mantenimiento correctivo en los puntos de venta.

Para determinar los costos en este rubro, el área administrativa de la empresa realiza un recuento del producto que se ha reemplazado a los puntos de venta. Este producto debe encontrarse dañado, es decir, ya no ser apto para consumo por haberse descongelado, esto ocurre cuando los equipos de refrigeración fallan.

El concentrado de producto reemplazado en el periodo antes mencionado se muestra de la siguiente forma observado por ruta de distribución:

Tabla 3.3-Costos de reemplazo de producto

RUTA	IMPORTE
1	14805.39
2	12824.53
3	6565.13
4	11746
5	6716.52
TOTAL	52657.57

Lo que quiere decir que se ha tenido este volumen de pérdidas económicas por reemplazo de producto dañado. Esto debido a que la mayoría del mantenimiento que se da a los equipos es de tipo correctivo, lo que supone que las fallas de funcionamiento comprometen la conservación de los productos congelados.

3.5.2. Costos directos de mantenimiento

Son los costos inherentes a los activos y operaciones de mantenimiento, entre estos se encuentran:

- Costos de mano de obra

Estos son los relacionados al tiempo empleado por el técnico para la aplicación de mantenimiento a los equipos, en función de la atención a las órdenes de trabajo; reparación de componentes y/o reemplazo de estos o de equipos.

- Costos de refacciones

Son los costos que genera el reemplazo de componentes de los equipos de refrigeración.

Estos costos se pueden determinar con base en las órdenes de trabajo, sin embargo, después de revisarlas, se detectó que no fueron llenadas correctamente o no cuentan con los campos necesarios para obtener la información necesaria, lo que se traduce en falta de datos para el costeo.

3.6.Procedimiento de fallas de equipo de refrigeración en la empresa

Este es el procedimiento que se sigue regularmente al momento que el usuario detecta una falla o falla potencial en uno de los equipos, así como las actividades a desempeñar por parte del técnico después de producido el reporte.

1. Reporte de falla o condición inusual por parte del cliente a oficinas, supervisor o al técnico directamente, según sea el caso.
2. Atención vía telefónica por parte del técnico, da recomendaciones para solucionar el problema.
3. Acude técnico, auxiliar de mantenimiento o supervisor a verificar estado del equipo.
4. Si se soluciona el problema en sitio, se deja operando equipo, sino se cambia por otro.
5. Ingresa equipo con falla a taller.
6. Revisión de funcionamiento en operación.
7. Se corrobora falla.
8. Se canaliza equipo a almacén de mantenimiento, almacén de garantía o almacén de baja según sea el caso.
9. Mantenimiento equipo, si aplica.
10. Se realizan pruebas de funcionamiento, si aplica.
11. Equipo listo para salir a mercado, si aplica.

FORMATO MANTENIMIENTO INTERNO FRICONGELADOS CITLALTEPETL S.A. DE C.V.		 																											
VISTA POR EQUIPO																													
MARCA: _____ MODELO: _____ NO. SERIE: _____ NÚMERO ECONÓMICO: _____ ALMACEN: _____	FECHA DE INGRESO: _____ FECHA DE INICIO: _____ FECHA DE TERMINACIÓN: _____ TIEMPO DE EJECUCIÓN: _____																												
DESCRIPCIÓN DE LA FALLA																													

DIAGNÓSTICO TÉCNICO																													

CAUSAS																													

ACTIVIDADES REALIZADAS																													

REFACCIONES UTILIZADAS																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Termostato</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Relevador</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Capacitor</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Motor ventilador</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Aspa de ventilador</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Protector térmico</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Cable</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Clavija</td></tr> </table>		Termostato		Relevador		Capacitor		Motor ventilador		Aspa de ventilador		Protector térmico		Cable		Clavija	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Tapa</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Rueda</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Empaque</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Tolva motor</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Manija</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Imagen</td></tr> </table>		Tapa		Rueda		Empaque		Tolva motor		Manija		Imagen
	Termostato																												
	Relevador																												
	Capacitor																												
	Motor ventilador																												
	Aspa de ventilador																												
	Protector térmico																												
	Cable																												
	Clavija																												
	Tapa																												
	Rueda																												
	Empaque																												
	Tolva motor																												
	Manija																												
	Imagen																												
FOR-FMI-00/00																													

Ilustración 3.3 – Formato para mantenimiento interno

FORMATO MANTENIMIENTO EXTERNO FRICONGELADOS CITLALTEPETL S.A. DE C.V.		 																											
VISTA POR EQUIPO																													
MARCA: _____ MODELO: _____ NO. SERIE: _____ NÚMERO ECONÓMICO: _____ CIUDAD: _____ ESTADO: _____ NOMBRE NEGOCIO: _____ RUTA: _____	FECHA DE REPORTE: _____ FECHA DE INICIO: _____ FECHA DE TERMINACIÓN: _____ TIEMPO DE EJECUCIÓN: _____ PRODUCTO DAÑADO: <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">SI</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">NO</td> </tr> </table>	SI	NO																										
SI	NO																												
DESCRIPCIÓN DE LA FALLA																													

CAUSAS																													

ACTIVIDADES REALIZADAS																													

REFACCIONES UTILIZADAS																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Termostato</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Relevador</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Capacitor</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Motor ventilador</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Aspa de ventilador</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Protector térmico</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Cable</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Clavija</td></tr> </table>		Termostato		Relevador		Capacitor		Motor ventilador		Aspa de ventilador		Protector térmico		Cable		Clavija	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Tapa</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Rueda</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Empaque</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Tolva motor</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Manija</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"> </td><td>Imagen</td></tr> </table>		Tapa		Rueda		Empaque		Tolva motor		Manija		Imagen
	Termostato																												
	Relevador																												
	Capacitor																												
	Motor ventilador																												
	Aspa de ventilador																												
	Protector térmico																												
	Cable																												
	Clavija																												
	Tapa																												
	Rueda																												
	Empaque																												
	Tolva motor																												
	Manija																												
	Imagen																												
FOR-FME-00/00																													

Ilustración 3.4 – Formato para mantenimiento externo

3.8. Análisis de fallas de los equipos de refrigeración

Para el análisis de fallas de los equipos de refrigeración de la empresa se contó con el apoyo del técnico Rubén Darío Sánchez Fernández, encargado de las labores de mantenimiento tanto interno como externo.

3.8.1. Diagrama Causa-efecto

Para el análisis de las fallas, se realizaron diagramas de causa y efecto, con ayuda del software Minitab 17, con la finalidad de observar las causas y los efectos que estas ocasionan en los equipos de refrigeración como se muestra a continuación:

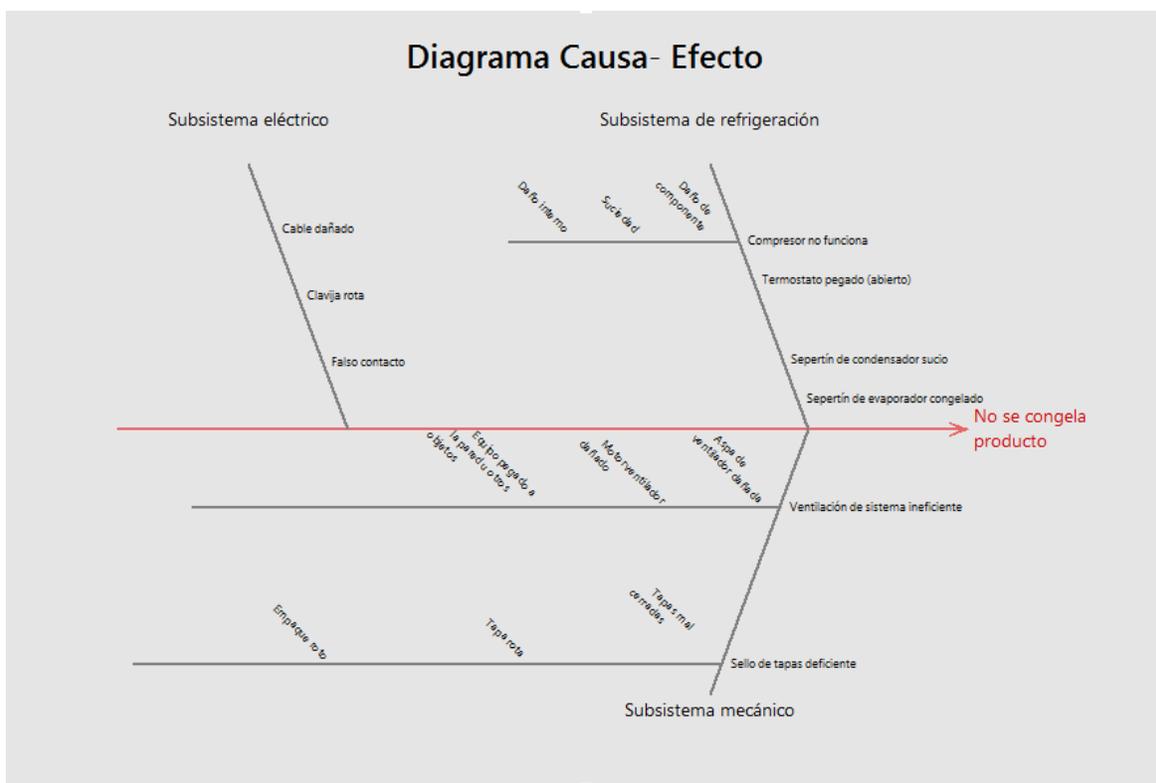


Ilustración 3.5 - Diagrama Causa y Efecto

3.8.2. Matriz de fallas

Se realizó una matriz, con la asesoría del técnico especialista en refrigeración de la empresa, en las que se estipulan las fallas que se presentan en los equipos. De igual forma se establecieron las posibles causas de estas, los puntos a verificar en caso de presentarse las fallas y las acciones correctivas a realizarse.

Para tal efecto, se estableció una clasificación que sirviera para ordenar las fallas por orden de criticidad, y se dividieron los componentes de los equipos en 3 subsistemas para una mejor comprensión y delimitación de los mismos,

- Subsistema de refrigeración
- Subsistema mecánico
- Subsistema eléctrico

La clasificación de fallas se muestra en la tabla 3.4 a continuación:

Tabla 3.4-Clasificación de fallas y descripción

Clave de falla	Gravedad de falla	Descripción
A	Funcional	Paro total del equipo
B	Crítica	Permite el funcionamiento del equipo, pero puede escalar su gravedad a funcional a corto plazo
C	Degradante	Afecta el funcionamiento óptimo del equipo, pero puede continuar su funcionamiento
D	Latente	Reparaciones menores que no suponen fallas funcionales
E	Menor	Reparaciones de aspectos visuales de los equipos principalmente, que no afectan el funcionamiento en general

De igual forma para las acciones correctivas aplicadas a cada uno de las fallas, se establecieron sintetizadas, como se muestra en la tabla 3.5:

Tabla 3.5-Acciones correctivas

Acciones correctivas	Abreviatura
Verificación y corrección	VC
Limpieza	L
Cambio de componente	CC
Cambio de equipo	CE

3.9.Estados aceptables de operación

Con base a la experiencia del experto en el mantenimiento a los equipos refrigeración de la empresa, se pudieron determinar los parámetros entre los que debe fluctuar el funcionamiento de los equipos. Esto con la finalidad de garantizar el funcionamiento continuo de los mismos, mejor aprovechamiento de los recursos; económicos, energía eléctrica, tiempo de vida de los equipos y componentes.

Estos estados aceptables de operación están definidos en la tabla 3.6:

Tabla 3.6-Estados aceptables de operación

Parámetro	Rango
Temperatura en compartimiento de refrigeración	-21°C a -18°C
Amperaje de motor compresor (según modelo)	2 a 1.1 A
Temperatura ambiente	T < a 30°C
Temperatura de compresor	40°C a 50°C

Con la información obtenida, la matriz quedó establecida como se muestra en la tabla 3.7:

Tabla 3.7- Extracto de fallas de equipos de refrigeración (ver anexo para más detalle)

Modo de falla	Causa de falla	Efecto de falla	Verificar	Acción correctiva	Clave de falla	Observaciones
1 No se congela el producto	Subsistema de refrigeración					
	Compresor no funciona	Equipo no enfría	Que compresor realice ciclo	CE	A	
	Termostato se queda pegado (abierto)	No se realiza el ciclo de refrigeración	Funcionamiento de termostato	CC	A	
	Serpentín de condensador sucio	Sobrecalentamiento del sistema de refrigeración	Estado de serpentín	L	C	
	Serpentín de evaporador congelado		Estado de serpentín	L	C	
	Subsistema mecánico					
	Incorrecto sello de la tapas	No se alcanza temperatura optima de operación del equipo	Empaque de tapas o que no estén rotas	CC	D	
	Ventilación de sistema ineficiente	Sobrecalentamiento del sistema de refrigeración	Separación mínima de 15 cm de otros objetos	VC	C	
	Subsistema eléctrico					
	Cable o clavija dañado	Funcionamiento intermitente del equipo	Estado de cable y clavija	CC	B	

2	Equipo hace ruido	Falso contacto		Correcta conexión de clavija	VC	C		
		Subsistema mecánico						
		Partes sueltas				VC	D	Instalación eléctrica no adecuada
		Desbalanceo de ventilador	Ruido anormal	Verificar estado y funcionamiento de componente	CC	C		
		Ruptura en aspa de ventilador			CC	C		
Fuga en serpentín	Equipo no enfría correctamente	Nivel de gas, fugas visibles y amperaje	CC	B				

.....

7	No enciende equipo	Subsistema eléctrico						
		Falla en relevador	No se realiza el ciclo de refrigeración	Instalación eléctrica, variaciones de voltaje y funcionamiento de componente	CC	A		
		Falla en capacitor		Instalación eléctrica, variaciones de voltaje y funcionamiento de componente	CC	A		
		Falla en protector térmico	No se realiza el ciclo de refrigeración / Enfriamiento deficiente del circuito	Funcionamiento de componente	CC	A		
		Falla en compresor	No se realiza el ciclo de refrigeración	Funcionamiento de componente	CE	A		

Posteriormente se realizó una tabla en la que se colocaron todos los componentes identificados como críticos y no críticos, así como las fallas más recurrentes en cada uno de ellos, sus modos de falla como componente, las causas de estas fallas, efectos y las acciones correctivas, como se muestra en la tabla 3.8.; estas a su vez pueden ayudar a prevenir esas fallas.

Tabla 3.8-Vista de fallas por componente

Componente	Descripción	Modo de falla	Causas	Efectos	Clave de falla	Acción correctiva	Observaciones	
1	Termostato	Permite funcionamiento pero no regula	Diseño Suciedad Sobrecalentamiento Uso	Desgaste del equipo/mayor consumo de energía eléctrica Mayor consumo de energía eléctrica	B	CC		
		Se queda pegado (cerrado)	Trabajo constante					
		Se queda pegado (abierto)	No permite el funcionamiento de equipo	Diseño Uso Sobrecalentamiento Suciedad	No enfría equipo	A		
		No realiza correctamente su función	Apertura y cierre intermitente aleatorio	Diseño Uso Sobrecalentamiento Exceso de escarcha Suciedad	Enfriamiento deficiente del equipo	C	L/CC	
2	Relevador	Se quema	Se quema	Instalación eléctrica no adecuada Variaciones de voltaje Uso	No opera equipo	A	CC	Verificar instalación eléctrica

3	Capacitor	Se revienta	No permite arranque de compresor/no almacena corriente	Uso Variaciones de voltaje Falla de relevador	No opera equipo	A	CC	Verificar instalación eléctrica
4	Motor ventilador	No opera	No opera	Uso Variaciones de voltaje Suciedad	Desgaste del equipo Mayor consumo de energía eléctrica	B	L/CC	
		Ruido extraño	Opera con sonido anormal	Suciedad	Desgaste del componente Pobre enfriamiento de circuito	D	L	
		Vibra en exceso	Opera con vibración excesiva	Equipo mal nivelado Componente mal atornillado	Desgaste del componente	D	VC	Verificar colocación de equipo e instalación de componente
5	Aspa de ventilador	Ruido y vibración extraña	Opera con vibración y ruido anormal	Desbalanceado/ruptura de aspa Ruptura de alabe	Desgaste de componente Enfriamiento deficiente de circuito	D	VC/CC	
6	Protector térmico	Deja de funcionar	Se queda abierto	Sobrecalentamiento Uso	No opera equipo	A	CC	
7	Compresor	No arranca	No funciona	Falla de energía eléctrica Contacto en falso o dañado	No opera equipo	A	Reestablecer energía/CE	
			No enfría equipo	Fuga de gas	No enfría equipo	A	CE	

		Funciona pero no comprime		Daño interno de compresor			
8	Cable	Equipo apagado	Equipo en corto o apagado	Instalación eléctrica no adecuada Variaciones de voltaje Uso	Enfriamiento deficiente o nulo del equipo	B	RE/CC
9	Clavija	Equipo apagado	El equipo no opera o funciona intermitentemente	Falso contacto Uso	Enfriamiento deficiente o nulo del equipo	B	RE/CC
10	Tapas	Tapa estrellada o rota	No se alcanza la temperatura ideal para la conservación del producto	Uso incorrecto	Enfriamiento deficiente o nulo del equipo	C	CC
11	Rueda	No se puede desplazar equipo	No se puede cambiar equipo de ubicación	Uso	No se puede cambiar el equipo de ubicación	E	L/CC
12	Empaque	Componente roto o dañado	No se alcanza la temperatura ideal para la conservación del producto	Uso	Enfriamiento deficiente del equipo	C	CC
13	Tolva motor	Componente roto o dañado	N/A	Uso incorrecto		D	CC
14	Manija	Componente dañado o faltante	No se pueden abrir las tapas del congelador	Uso	No se puede acceder al producto rápidamente	E	CC
15	Imagen	Componente dañado o faltante	Mal aspecto del equipo	Uso	Mala imagen del congelador	E	CC

3.10. Base de datos de fallas

Con el objetivo de contar con un concentrado de las fallas que se han presenta en el periodo seleccionado de mayo a octubre de 2017, se realizó una base de datos, en las que se pueden observar las fallas presentadas, así como los componentes afectados y la importancia de estas fallas para la continuidad en la operación de los equipos, esta base de datos se observa a continuación en la tabla 3.9:

Tabla 3.9-Extracto de la Base de datos de fallas (ver anexo para más detalle)

FORMATO PARA ANALISIS DE FALLAS
FRICONGELADOS CITLALTEPETL S.A. DE C.V.



VISTA GENERAL

GENERALES			DIAGNOSTICO				TIEMPO		COSTOS		
MARCA	MODELO	COMPONENTE	FALLA	CAUSA	Importancia	SOLUCIÓN	FECHA FALLA	FECHA ATENCIÓN	TIEMPO ATENCIÓN	REFACCIONES	DAÑO PRODUCTO
may-17											
OJEDA	CHP-105	COMPRESOR	DAÑO	USO	A	CE	01/05/17	01/05/17	N/D	NINGUNA	
OJEDA	CHP-105H	TUBERÍA	FUGA	USO	B	CE	04/05/17	04/05/17	N/D	NINGUNA	
OJEDA	CHP-106HE	COMPRESOR	DAÑO	USO	A	CE	07/05/17	08/05/17	N/D	NINGUNA	
AHT	RIO-S100	CLAVIJA	FALSO	USO	B	VC	08/05/17	08/05/17	N/D	NINGUNA	
OJEDA	CHP-68	N/D	FUGA	USO	B	CE	10/05/17	10/05/17	N/D	NINGUNA	
OJEDA	CHP-105H	N/D	FUGA	USO	B	CE	11/05/17	12/05/17	N/D	NINGUNA	
FRCON	SGI-6	N/D	FUGA	USO	B	CE	16/05/17	16/05/17	N/D	NINGUNA	

OJEDA	CHP-105	TERMOSTATO	DAÑO	USO	C	CC	18/05/17	18/05/17	N/D	TERMOSTATO	
FRCON	SGI-6	CONTROL DE TEMPERATURA	CALIBRADOR	USO	C	VC	18/05/17	18/05/17	N/D	NINGUNA	
OJEDA	CHP-105	TERMOSTATO	DAÑO	USO	C	CC	19/05/17	19/05/17	N/D	TERMOSTATO	
OJEDA	CHP-105H	CLAVIJA	FALSO	USO	B	VC	25/05/17	25/05/17	N/D	NINGUNA	
OJEDA	CHP-68H	LLANTAS	DAÑO	USO	D	CC	26/05/17	26/05/17	N/D	LLANTAS	
METFR	SD-180	TERMOSTATO	DAÑO	USO	A	CC	30/05/17	30/05/17	N/D	TERMOSTATO	
jun-17											
HAIER	SD158C	IMAGEN	CAMBIO	USO	E	CE	01/06/17	01/06/17	N/D	IMAGEN	
OJEDA	CHP-105H	MANGUERA	DAÑO	USO	D	CC	02/06/17	02/06/17	N/D	MANGUERA	
OJEDA	CHP-105HE	N/D	FUGA	USO	B	CE	02/06/17	02/06/17	N/D	N/D	

.....

oct-17											
OJEDA	CHP-68	IMAGEN / LLANTAS	CAMBIO/ DAÑO	USO	E/D	CC	05/10/17	05/10/17	N/D	IMAGEN/LLANTAS	
FRCON	SGI-6	N/D	FUGA	USO	A	CE	05/10/17	05/10/17	N/D	NINGUNA	
FRCON	SGI-6	IMAGEN	CAMBIO	USO	E	CC	11/10/17	11/10/17	N/D	IMAGEN	
METFR	N/D	CONTROL / TAPAS	CALIBRADOR/ DAÑO	USO	B/C	VC/CC	11/10/17	11/10/17	N/D	TAPAS	
OJEDA	CHP-105HE	TOLVA	DAÑO	USO	D	CC	11/10/17	11/10/17	N/D	TOLVA	

Como resumen de la anterior base datos, el número de reportes presentados en el periodo analizado, se muestra en la ilustración 3.6:

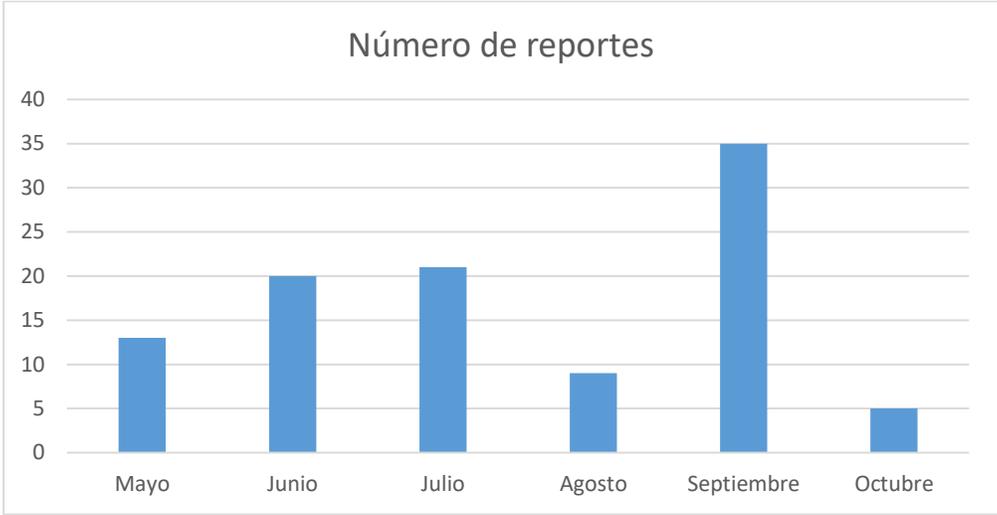


Ilustración 3.6 - Número de reportes de fallas, periodo mayo-octubre 2017

Del total de reportes de falla anteriores, se tiene un total de 103 en el periodo de seis meses seleccionado, con un promedio de 17.17 reportes atendidos mensualmente. Posteriormente se realiza una clasificación de acuerdo a la importancia de las fallas de los mismos. Esto se observa de mejor forma en las ilustraciones 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10.

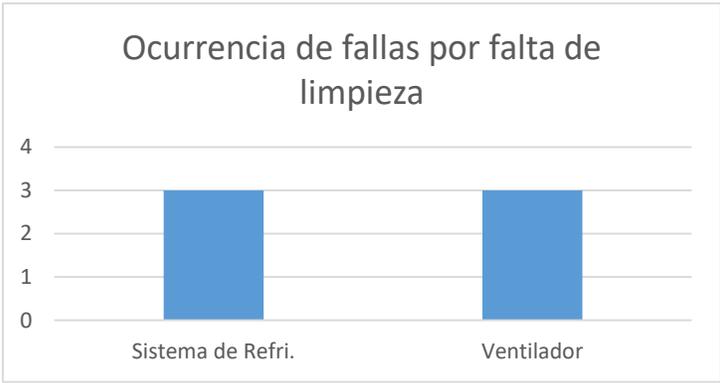


Ilustración 3.7 - Ocurrencia de fallas, por falta de limpieza

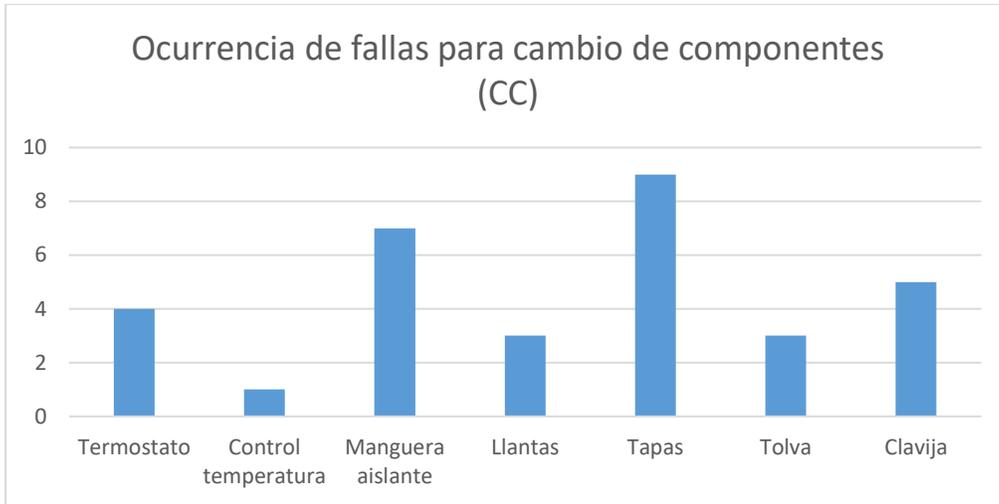


Ilustración 3.8 - Ocurrencia de fallas, cambio de componentes

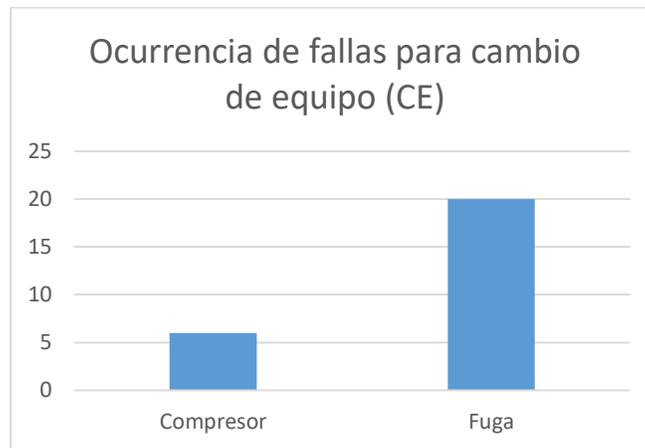


Ilustración 3.9 - Ocurrencia de fallas, cambio de equipo

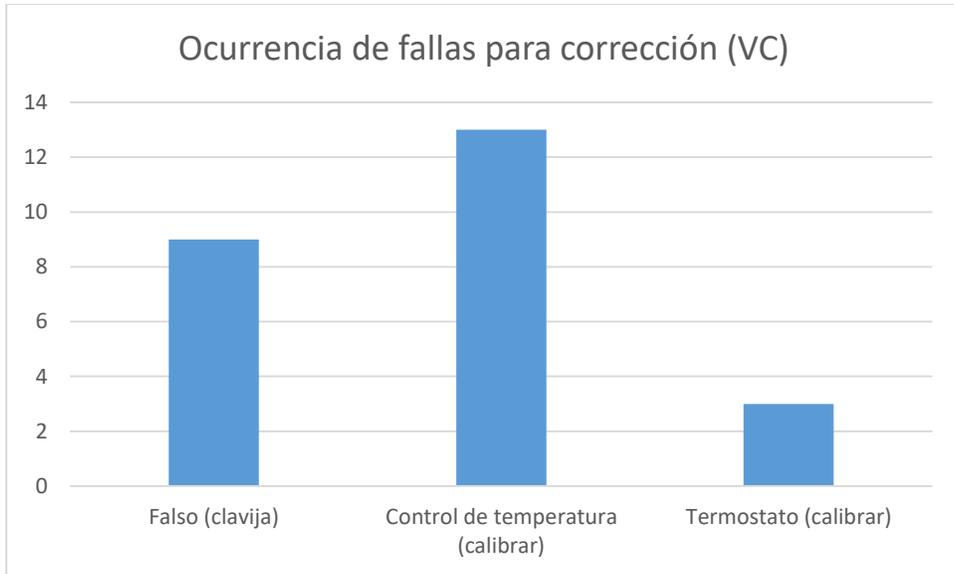


Ilustración 3.10 - Ocurrencia de fallas para corrección

Para dar tratamiento a los datos obtenidos en esta base de datos, se hace uso de Minitab 17, con la finalidad de realizar un diagrama de Pareto que ayude a determinar la recurrencia de las fallas y la importancia de las mismas:

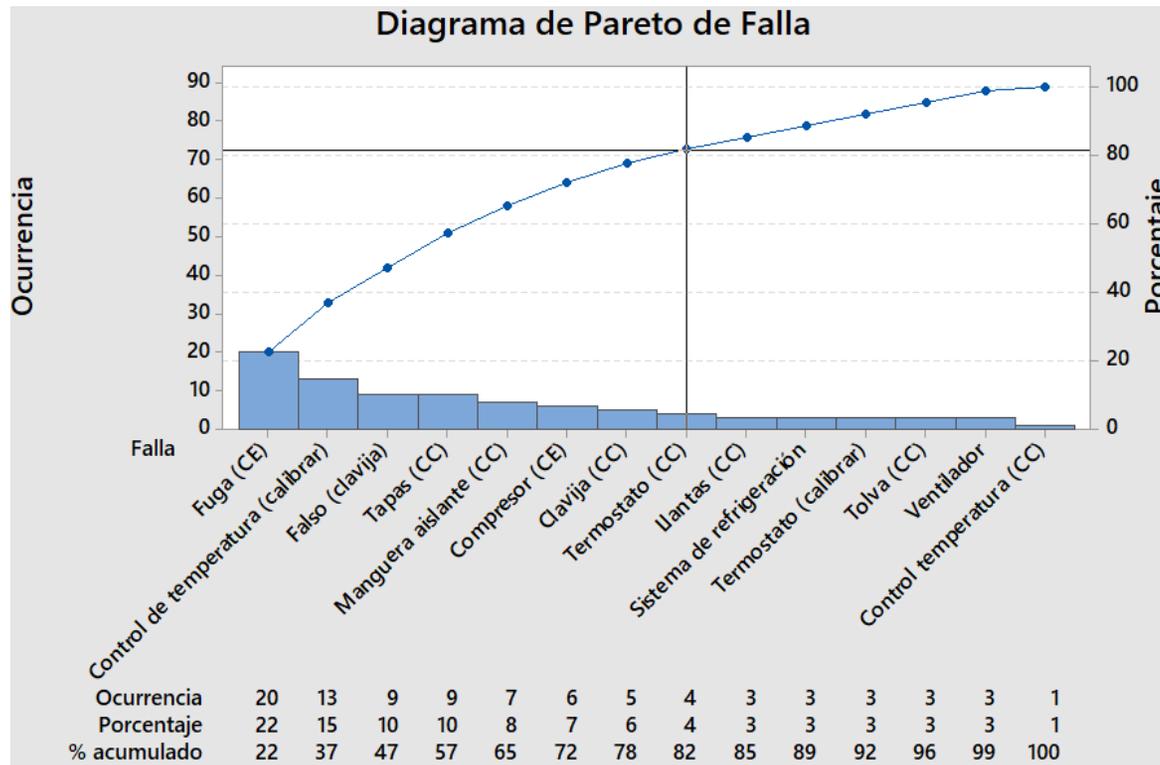


Ilustración 3.11 - Diagrama de Pareto de Falla

Se observa en la gráfica anterior, mediante el principio 80-20, los problemas vitales y los triviales, lo que nos indica que se deben establecer acciones correctivas para identificar la causa raíz de estas y así disminuirlas o eliminarlas.

3.11. Conclusión

En este capítulo se abordaron los conceptos de base para la formulación y el desarrollo de la tesis. Puede observarse que las nuevas herramientas brindan ventajas importantes para la implementación de sistemas de mantenimiento con una eficiencia mucho mayor que los enfoques tradicionales, ya que la idea es integrar las tecnologías de información a las tareas habituales de mantenimiento. De igual forma, en ocasiones, la forma de realizar las actividades, el “know how”, se encuentra latente en las mentes de los expertos, sin embargo, no permea al resto de elementos de equipo de trabajo. Un ejemplo de esto es la integración que existe de un software con algo, en ocasiones burdo, como lo puede ser el mantenimiento industrial. Esto da como resultado un sistema de mantenimiento potenciado, ya que se puede obtener un sistema que no solo nos recuerde cuando dar mantenimiento, sino el cómo realizarlo.

Capítulo 4

Diseño del Sistema de Mantenimiento Basado en Conocimiento

4.1 Introducción

La temática de este capítulo radica en establecer lo necesario para la elaboración de Sistema de Mantenimiento Basado en Conocimiento. Esto comenzando por lo básico que es, la base de conocimiento, la cual se determinó con la ayuda del experto en mantenimiento de la empresa, es decir, la base de conocimiento no contiene información que no haya sido generada evaluada por el experto. Dentro de esta se encuentran delimitados los casos, de forma genérica, que se pueden presentar durante la operación de los equipos de congelación. Posteriormente se hará énfasis en el desarrollo de la interfaz gráfica del software que ayudará a hacer el sistema amigable con el usuario. Y por último la validación del sistema que, con la guía del experto, apuntará la precisión de la base de casos, esto con la finalidad que sea práctica en el uso diario de los usuarios en la empresa.

La generación de este sistema de mantenimiento fue gracias a una estancia de investigación realizada en la Universidad Autónoma de Yucatán en el periodo del 8 de agosto al 30 de septiembre de 2018 (consultar anexo).

4.2 Estructura del sistema

Todo sistema basado en conocimiento debe estar dotado de una estructura, la cual defina la forma en que el sistema está conformado. De tal forma, que las funciones del mismo se encuentren correctamente establecidas y permita dar soluciones útiles y verídicas en la medida de lo posible. Esto considerando cada uno de los parámetros de los que se puede auxiliar para dar un soporte numérico a la operación del sistema en cuestión.

El conocimiento almacenado en este sistema se determinó y condensó con ayuda de la base de datos obtenida en el capítulo anterior de esta tesis con base en la estancia de diagnóstico de fallas en la empresa.

Este tipo de software es diferente de otros ya que el conocimiento disponible dentro de la organización se encuentra en forma tácita, es decir, dentro de cada una de las personas encargadas del mantenimiento.

Para entender lo anterior es importante hacer una observación con respecto a la forma en que se encuentra el conocimiento en las empresas, en las que se utiliza el conocimiento explícito principalmente, mediante el uso de manuales y procedimientos. Sin embargo, en el caso particular de la empresa, este no se encuentra de esta forma; se encuentra tácito, es decir en la “memoria” del experto en refrigeración.

4.1.1 Base de conocimientos del sistema

Es el primer paso en la generación del sistema de conocimiento, si bien en el capítulo 3 se trato acerca de una base de datos de fallas, estas fue un concentrado de todas las fallas presentadas durante el periodo mayo-octubre 2017. Como resultado de este base de datos, se genera una base de casos, en la cual están almacenados todos los casos presentados en la empresa de una forma genérica, como se puede observar a continuación en la tabla 4.1:

Tabla 4.1-Base de casos

CASO	Modo de falla	Causa de falla	Efecto de falla	Acción correctiva	Clave de falla
1	No se congela el producto	Compresor no funciona	Equipo no enfría	Verificar que realice ciclo, verificar amperaje, si es menor a 1A, cambiar.	A
2		Termostato se queda pegado (abierto)	No se realiza el ciclo de refrigeración	Verificar funcionamiento de termostato, si no hace correctamente la apertura y cierre, cambiar el componente.	A
3		Serpentín de condensador sucio	Sobrecalentamiento del sistema de refrigeración	Estado de serpentín, que no se encuentre dañado, sino cambiar equipo.	C
4		Serpentín de evaporador congelado		Estado de serpentín, que no se encuentre dañado, sino cambiar equipo.	C
5		Incorrecto sello de la tapas	No se alcanza temperatura optima de operación del equipo	Verificar que empaque de tapas o que tapas no estén rotas	D
6		Ventilación de sistema ineficiente	Sobrecalentamiento del sistema de refrigeración	Observar separación mínima de 15 cm de otros objetos	C
7		Cable o clavija dañado	Funcionamiento intermitente del equipo	Estado de cable y clavija	B

8		Falso contacto		Correcta conexión de clavija	C
9	Ruido anormal o excesivo en equipo	Partes sueltas	Ruido anormal	Verificar estado y funcionamiento de componente, si esta dañado el ventilador, cambiar.	D
10		Desbalanceo de ventilador			C
11		Ruptura en aspa de ventilador			C
12	Ruido anormal o excesivo en equipo	Equipo no está nivelado	Vibración excesiva	Colocación de equipo en superficie plana, que no tenga elementos debajo que lo desnivelen Verificar estado y funcionamiento de componente, si está dañado el ventilador, cambiar.	D
13		Desbalanceo de ventilador			C
14		Ruptura en aspa de ventilador			C
15	Equipo caliente	No funciona ventilador	Sobrecalentamiento del sistema de refrigeración	Verificar estado y funcionamiento de componente, si está dañado el ventilador, cambiar.	B D
16		Exceso de escarcha	No se alcanza temperatura optima de operación del equipo	Limpiar exceso de escarcha	D
17		Ventilación de sistema ineficiente	Sobrecalentamiento del sistema de refrigeración	Colocación de equipo, que no esté obstruida su ventilación o cerca de un punto caliente	D
18	Equipo trabaja en exceso / no	Exceso de escarcha	No se alcanza temperatura optima de operación del equipo	Limpiar exceso de escarcha	D
19					D

	deja de trabajar compresor	Ventilación de sistema ineficiente	Sobrecalentamiento del sistema de refrigeración	Colocación de equipo, que no esté obstruida su ventilación o cerca de un punto caliente	
20		Incorrecto sello de la tapas	No se alcanza temperatura optima de operación del equipo	Empaque de tapas o que no estén rotas	D
21		Termostato se queda pegado (cerrado)	El equipo opera constantemente	Verificar funcionamiento de termostato, si no hace correctamente la apertura y cierre, cambiar el componente.	B
22		Serpentín de condensador sucio	Sobrecalentamiento del sistema de refrigeración	Estado de serpentín, que no se encuentre dañado, sino cambiar equipo.	C
23		Serpentín de evaporador congelado		Estado de serpentín, que no se encuentre dañado, sino cambiar equipo.	C
24	No se congela el producto uniformemente	Incorrecto sello de la tapas	No se alcanza temperatura optima de operación del equipo	Empaque de tapas o que no estén rotas	D
25		Exceso de escarcha		Limpiar exceso de escarcha	D
26	No se congela el producto uniformemente	Colocación de equipo	No se alcanza temperatura optima de operación del equipo y sobrecalentamiento del sistema de refrigeración	Colocación de equipo, que no esté obstruida su ventilación o cerca de un punto caliente	D
27		Fuga en serpentín	Equipo no enfría correctamente	Nivel de gas, fugas visibles y amperaje no mejor a 1A.	B

28	No enciende equipo	Falla en relevador	No se realiza el ciclo de refrigeración	Instalación eléctrica, variaciones de voltaje y funcionamiento de componente	A
29		Falla en capacitor		Instalación eléctrica, variaciones de voltaje y funcionamiento de componente	A
30		Falla en protector térmico	No se realiza el ciclo de refrigeración / Enfriamiento deficiente del circuito	Funcionamiento de componente	A
31		Falla en compresor	No se realiza el ciclo de refrigeración	Funcionamiento de componente	A

4.3 Definición de variables a utilizar en el sistema

Para definir las variables que se procesaran en el sistema se toma como base los estados aceptables de operación definidos en el capítulo 3, estas variables observadas en la tabla 4.2, son los parámetros de control de los equipos de refrigeración. Si estos parámetros se encuentran fuera de los rangos establecidos anteriormente, se compromete la operación continua de los equipos y por relación directa, el estado del producto, en este apartado radica su importancia.

Por lo anterior, se definen como variables las siguientes:

Tabla 4.2 – Definición de variables

Variable	Unidad de medida	de Tipo de carácter
Equipo en operación	N/D	Boolean
Temperatura en congelador	°C (grados Celsius)	Double
Amperaje en motor	A (Ampere)	Double
Temperatura en circuito de refrigeración	°C (grados Celsius)	Double
Falla	N/D	String

Es importante explicar que si bien solo se describen 5 variables para el sistema en la tabla 4.2, de igual forma se incluye una sexta variable, llamada variable de holgura. El uso de esta variable es útil para los cálculos de similitud que realiza en sistema; la existencia de la variable de holgura es con la finalidad de ayudar a una futura adecuación del sistema, por si es necesario incluir otros parámetros para la búsqueda de casos. Las variables definidas en la tabla 4.2 son en realidad las utilizadas para la descripción del problema, es decir, como describe el usuario del programa el problema que presentan los equipos de refrigeración. De

acuerdo a lo anterior, la ponderación de las variables queda definida como se muestra en la tabla 4.3:

Tabla 4.3 – Ponderación de variables

Variable	Ponderación (%)
Equipo en operación	30
Temperatura en congelador	20
Amperaje en motor	15
Temperatura en circuito de refrigeración	15
Falla	18
TOTAL	98%

Por lo que se puede observar en la tabla 4.3, el total de similitud que puede alcanzar un caso al introducir las 5 variables al sistema es de 98%, esto debido a la existencia de la variable de holgura con un 2% de ponderación. La ponderación de las variables se determina con base en el análisis de fallas realizado, en la proporción en que cada una de las variables resulta determinante para la identificación de fallos, aunado a la experiencia del técnico experto en mantenimiento de equipos de refrigeración de la empresa.

4.4 Diseño preliminar de la interfaz gráfica del sistema

Para la realización del software es necesaria una interfaz gráfica que sea amigable con el usuario, esto con la finalidad de ser hacer intuitivo el uso en el día a día, y hacer las actividades de mantenimiento más sencillas y ágiles.

Con el objetivo de hacer una interfaz del software de mantenimiento amigable con el usuario, que exploraron opciones por medio del compilador Borland C++, el cual sirve para desarrollar aplicaciones multiplataforma. La interfaz del sistema se puede observar a continuación en las ilustraciones 4.1 y 4.2, en las cuales se tienen las dos funciones principales del software las cuales son:

Pantalla 1: Inicio de sesión:

En esta pantalla se da la bienvenida al personal al sistema el usuario introduce su nombre de usuario y su contraseña para posteriormente hacer uso del sistema.

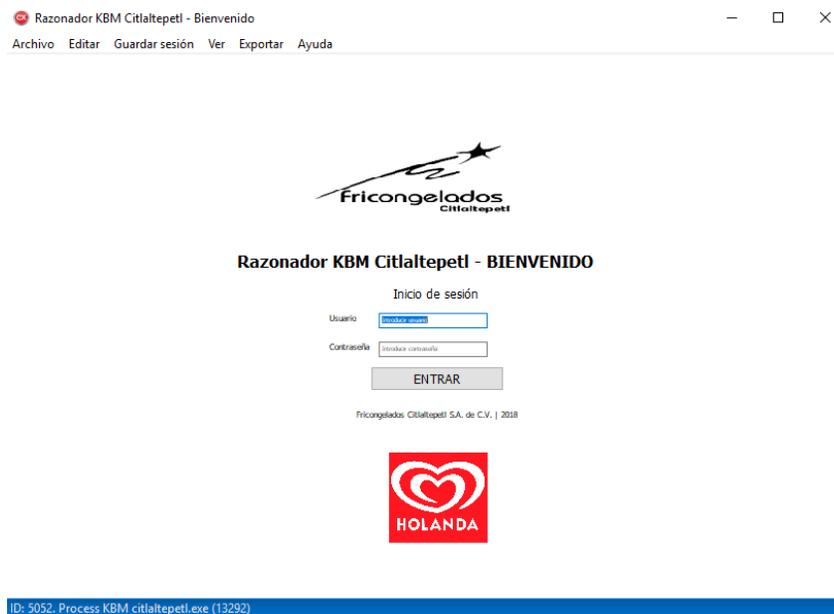


Ilustración 4.1 – Propuesta de pantalla de inicio del Sistema de Mantenimiento

Pantalla 2: Búsqueda de casos:

Aquí el usuario se da a la tarea de buscar los casos que necesite para la realización de las tareas de mantenimiento. Esto siguiendo la lógica siguiente:

Etapa 1: Se introduce la marca de equipo y modelo, esto con la finalidad de dar un seguimiento más específico al tipo de equipo que se le está dando la atención. Como tercer paso, se introduce si el equipo se encuentra operando o no ya que, si está apagado, esto supone que el equipo se encuentra en un tipo de falla A. Al ser este tipo de fallas de carácter funcional, acota la búsqueda, y no son necesarios más parámetros de control.

Etapa 2: En este apartado se vaciaron los datos de los parámetros de control del equipo, si es que este se encuentra operando, de tal forma que el programa recupere los casos con base a los siguientes parámetros.

Ejemplo:

Modo de falla: “El equipo no congela”

Amperaje en motor compresor: 1 Ampere

Temperatura interior de equipo: -10°C

Busqueda de casos

Archivo Editar Guardar sesión Ver Exportar Ayuda

Busqueda de casos

Etapa 1

Introducir marca de equipo

Introducir modelo de equipo

Equipo encendido

Llenar los campos de etapa 2, solo si el equipo se encuentra encendido

Etapa 2

Modo de falla

Amperaje en motor compresor

Temperatura interior de equipo

Recuperar casos

Fricongelados Citaltepeti

HOLANDA

Ilustración 4.2 – Propuesta de pantalla de búsqueda de casos

4.5 Programación del sistema

Para la programación del sistema de mantenimiento, y como tal el razonador de casos del mismo, se hace uso del sistema de razonamiento de casos de la Universidad Complutense de Madrid, jColibri.

La estructura de la lógica del programa se hace con base a una de las funciones incluidas en el programa que es el algoritmo de Vecino más Cercano, o “Simple KNN”, K-Nearest Neighbor Simple por sus siglas en inglés. El cuál tiene como estructura lógica, con la que funciona el modulo jColibri de Java, la que se observa en la ilustración 4.3:

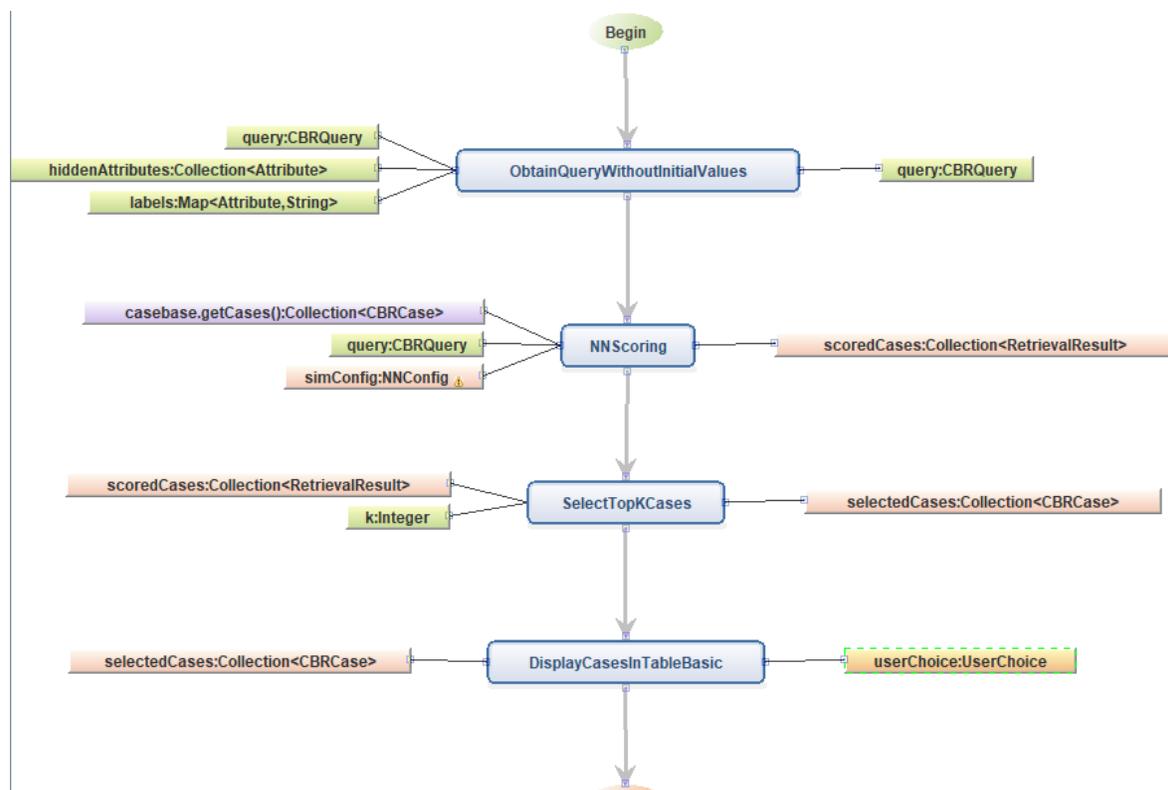


Ilustración 4.3 – Lógica del algoritmo KNN

En la ilustración anterior se puede apreciar que el algoritmo lo que realiza al momento de realizar la búsqueda de casos en el sistema, es hacerlo mediante una lógica de coincidencias. En la cual busca los casos que se ajusten en mayor medida a los parámetros introducidos en la pantalla de búsqueda de casos. En el que mediante va aceptando o rechazando resultados según se ajusten al caso en cuestión.

4.6 Validación del sistema

Para la validación de las propuestas de solución arrojadas por el sistema en el apartado de búsqueda de casos, se realizó un método llamado de validación cruzada o de Split en 4. En este método se toma una muestra de la población total de casos. Los resultados de esta muestra se contrastan entre los favorables y los no deseables, después estos se validan con el experto en mantenimiento, lo cual dio como resultado lo que se observa en la tabla 4.4 y la ilustración 4.4:

Tabla 4.4 – Resumen de casos para validación del sistema

		SI	NO
Casos	1-7	6	1
Casos	8-14	5	2
Casos	15-21	4	3
Casos	22-28	7	0
Total casos	28	22	6

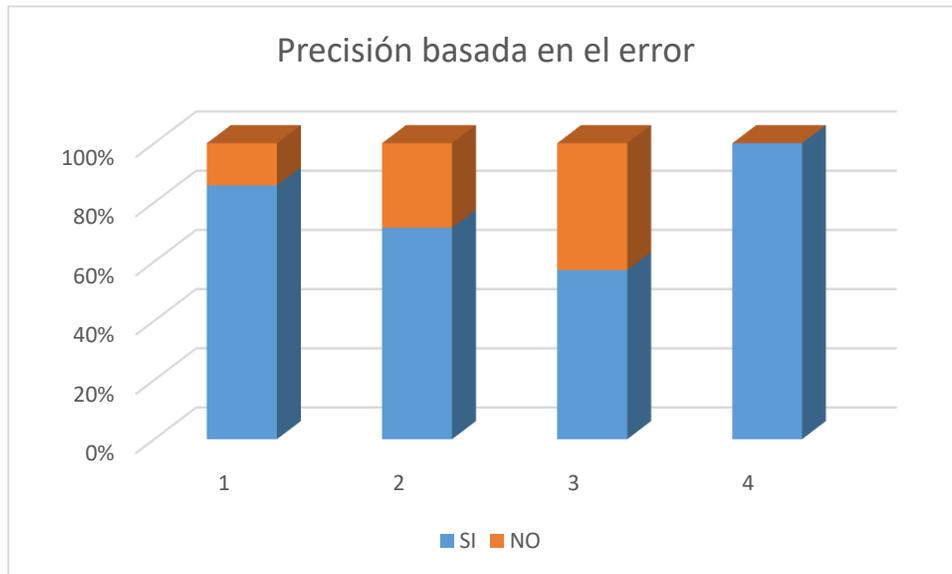


Ilustración 4.4 – Prueba Split en 4 para precisión del sistema

Precisión
 basada en 0.21428571
 el error

Lo cual da como resultado que, de una muestra de 28 casos, el 78.58% resultaron favorables, demostrando que nuestro sistema está cerca del 80 % de efectividad.

4.7 Definición de la estructura de casos para el programa

Utilizando información recolectada con anterioridad en la empresa acerca de las fallas más frecuentes y sus soluciones, se elaboró una base de datos. Sin embargo, se hizo necesario modificar la estructura de esta base para sus datos pudieran utilizarse de una forma más practica el en programa a desarrollar. En la tabla 4.5 se puede apreciar un extracto de la estructura de los casos con base a los requerimientos del software con el que se realizó el programa.

Tabla 4.5 – Extracto de base de datos de casos

CASO	Modo de falla	Parámetros de control	Comprobación	Causa de falla	
1	No se congela el producto	Temperatura congelador > -18°C Amperaje < 1A Temperatura de sistema de refrigeración < 50°C	Verificar que compresor realice ciclo	Falla interna de compresor	
2		Temperatura congelador > -18°C Amperaje > 1A Temperatura de sistema de refrigeración < 50°C	Verificar que compresor realiza ciclo y no trabaja en exceso	Termostato se queda pegado (abierto)	
3		Temperatura congelador > -18°C Amperaje > 1A Temperatura de sistema de refrigeración > 50°C	Verificar estado del serpentín, que no esté sucio o congelado.	Serpentín de evaporador congelado	
4		Temperatura congelador > -18°C Amperaje > 1A Temperatura de sistema de refrigeración < 50°C	Exceso de escarcha en congelador	Incorrecto sello de la tapas / falta de limpieza	
5		Temperatura congelador > -18°C Amperaje > 1A Temperatura de sistema de refrigeración > 50°C	Verificar separación mínima de 15 cm de otros objetos (lado rejilla de ventilador)	Ventilación de sistema ineficiente	
6		Temperatura congelador > -18°C Amperaje < 1A Temperatura de sistema de refrigeración < 50°C	Observar funcionamiento de equipo en general, que el funcionamiento no sea intermitente, verificar estado de clavija y cable	Cable o clavija dañados	
7		Temperatura congelador > -18°C Amperaje > 1A Temperatura de sistema de refrigeración < 50°C	Observar funcionamiento de equipo en general, verificar correcta conexión de clavija	Falso contacto	
8		Temperatura congelador > -18°C Amperaje > 1A Temperatura de sistema de refrigeración < 50°C	Verificar funcionamiento de motor de ventilador, que no haya partes sueltas	Partes sueltas	
9		Ruido anormal o excesivo en equipo	Temperatura congelador > -18°C Amperaje > 1A Temperatura de sistema de refrigeración < 50°C	Verificar funcionamiento de motor ventilador, observar presencia de roces en carcasa	Desbalanceo de ventilador
10		Temperatura congelador > -18°C Amperaje > 1A Temperatura de sistema de refrigeración > 50°C	Verificar funcionamiento de motor ventilador, observar presencia de roces en carcasa y/o vibración excesiva	Ruptura en aspa de ventilador	
11			Temperatura congelador < -18°C Amperaje > 1A Temperatura de sistema de refrigeración < 50°C	Observar funcionamiento de equipo en general, verificar presencia de ruido o vibración excesiva. Corroborar correcta nivelación de equipo y/o daño en llantas	Equipo no esta nivelado

4.8 Diseño de la lógica del programa

Para el diseño de la estructura lógica del sistema se realizaron diagramas de caso uso, diagrama de clases y diagramas de secuencias. Estos se realizaron en UML con la finalidad que, de forma gráfica, se puedan definir de mejor forma las distintas etapas del sistema. De igual forma se puede apreciar la composición de las clases, así como la secuencia con la que se ejecuta el programa.

4.8.1 Diagrama caso-uso, desde la perspectiva del usuario.

Para mostrar la forma en que el usuario interactúa con el sistema, se recurrió a la elaboración de un diagrama caso-uso. En este diagrama, elaborado en formato UML, se muestran las

diferentes instancias que forman parte del sistema, así como la forma en que se relacionan, en la ilustración 4.5 se ilustra tal efecto:

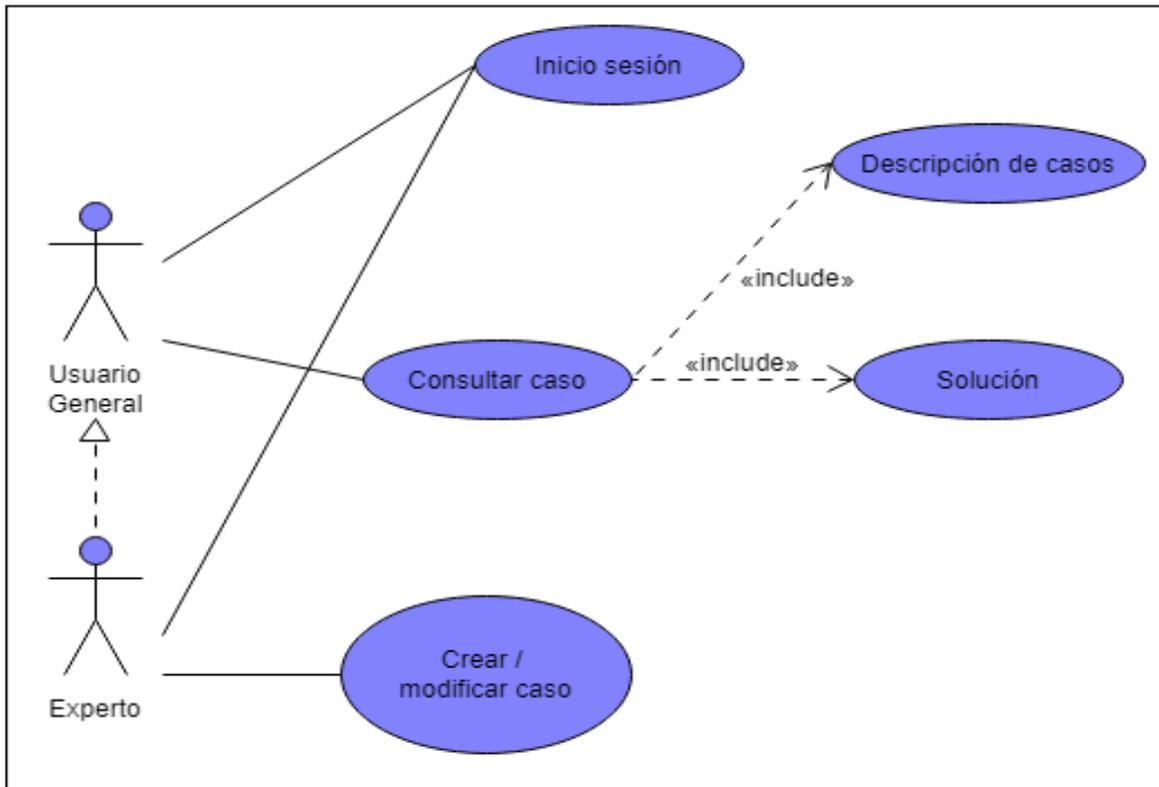


Ilustración 4.5 – Diagrama caso-usuario

Usuario general

Se entiende por usuario aquel que podrá realizar uso del sistema la diferencia con el experto radica en los permisos con los que cuenta cada uno.

Experto

El experto, si bien es un usuario también, tiene la facultad de modificar o crear casos, el usuario general solo realizar consultas.

Inicio de sesión

Su función es restringir el acceso al sistema, a través del uso de un nombre de usuario y contraseña. Desde esta instancia se definen los permisos otorgados para el sistema con base al tipo de usuario que inicie sesión.

Consulta de caso

Esta etapa del sistema es la encargada de mostrar al usuario una serie de campos en los cuales puede escribir los parámetros de búsqueda de casos, de tal forma que se puedan buscar con base a un mayor índice de similitud.

Descripción de casos

El sistema mostrará los casos que haya encontrado similares en una mayor proporción a los parámetros de búsqueda introducidos al sistema por el usuario.

Solución

Después que el usuario haya seleccionado los casos que más se ajusten a sus necesidades específicas con base a los criterios de búsqueda, el sistema mostrará las soluciones utilizadas para resolver cada uno de los casos. En esta misma instancia se puede otorgar una valoración a las soluciones presentadas, con base a la utilidad que tengan para resolver las consultas realizadas.

Crear /modificar caso

Da la capacidad al sistema de modificar casos existentes y o crear casos desde cero. Esto con la finalidad de afinar o robustecer la base de datos de casos con los que cuenta el sistema, de tal forma que se tenga la capacidad de ser adaptable a las necesidades de los usuarios.

4.8.2 Diagrama de clases

Como una forma de definir, tanto los atributos como los procedimientos en los que se verían involucradas las clases, levemente definidas en el diagrama caso-uso, se elaboró un diagrama de clases como el que se observa en la ilustración 4.6:

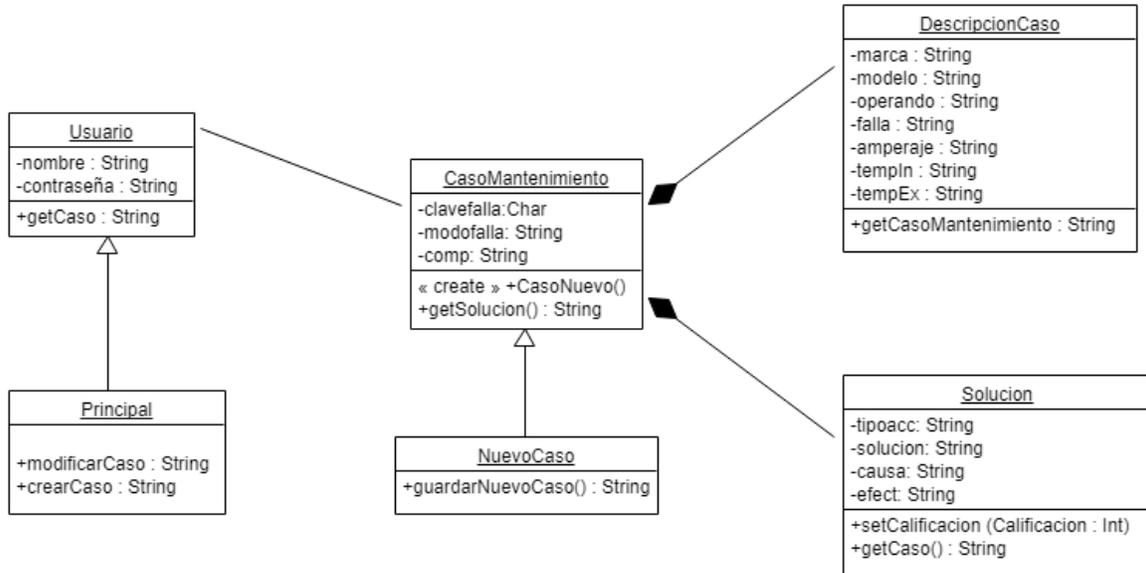


Ilustración 4.6 – Diagrama de clases

Usuario

En esta clase se tienen los atributos para inicio de sesión del sistema, como método se tiene la búsqueda de usuario para acceder al sistema. Se encuentra asociada a la clase de CasoMantenimiento.

DescripcionCaso

Es la clase encargada de describir la falla al sistema, esto con la finalidad de acotar la búsqueda en el CBR. De esta forma se obtienen una búsqueda de casos que se ajusten de mejor forma a los criterios de la falla presentada. Las asociaciones de esta clase son dos: la primera con la clase CasoMantenimiento de tipo herencia.

Principal

Clase que se encarga de modificar y/o crear casos que se encuentran en el CBR. Tiene una relación de herencia con la clase DescripcionFallaUsuarioGeneral.

NuevoCaso

Clase encargada de introducir casos nuevos al CBR, tiene una relación de dependencia con la clase DescripcionFallaUsuarioPrincipal.

CasoMantenimiento

Esta clase tiene como función principal desplegar los casos que mejor se ajustan a los criterios de búsqueda introducidos en la clase de descripción de falla. Cuenta con una relación de herencia con la clase nuevoCaso y de composición con la clase descripcionFallaUsuarioGeneral.

Solucion

Clase que tiene como objetivo mostrar las soluciones propuestas, en orden de importancia decreciente, para la falla presentada; así como las causas y efectos que tiene la falla en cuestión. Muestra una relación de composición con la clase descripciónCaso.

4.8.3 Diagrama de secuencia

Una vez definidas, tanto la forma en que interactúa el usuario como el programa, así como las funciones que tendrá cada una de las clases, se realizó un diagrama de secuencia. Un diagrama de secuencia sirve para definir la ruta lógica que seguirá el programa al momento de ejecutarse, se tal forma que se pueda observar que cada función del programa se realice adecuadamente sin entorpecer una a la otra. Se elaboraron dos diagramas, uno para la consulta de casos como funcional principal, ilustración 4.8 y otro como la introducción de los casos de nueva creación al sistema, ilustración 4.7.

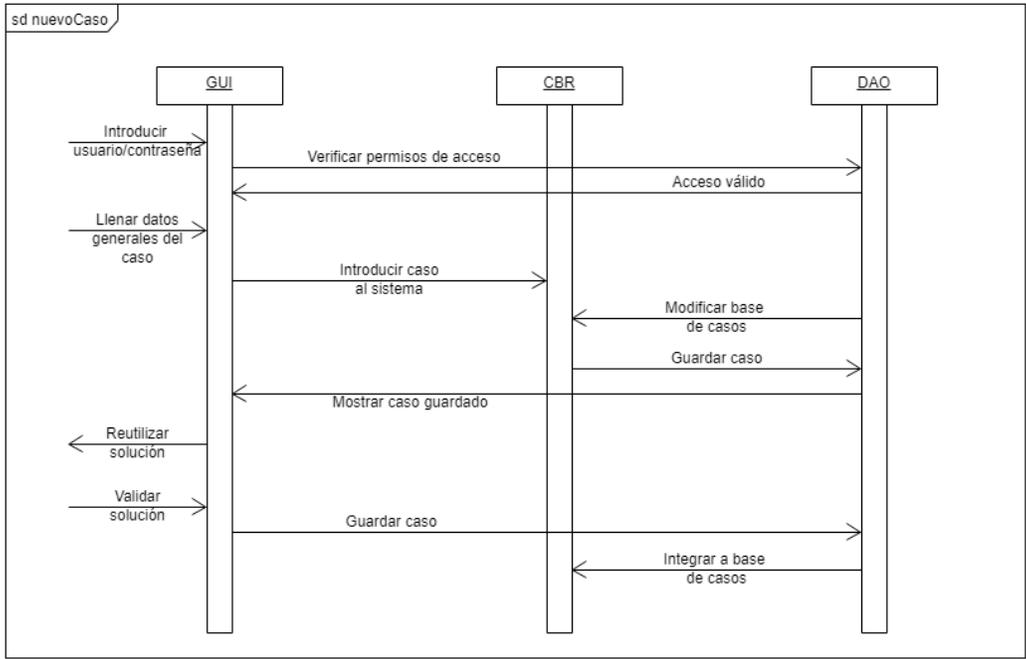


Ilustración 4.7 – Diagrama de secuencia (nuevo caso)

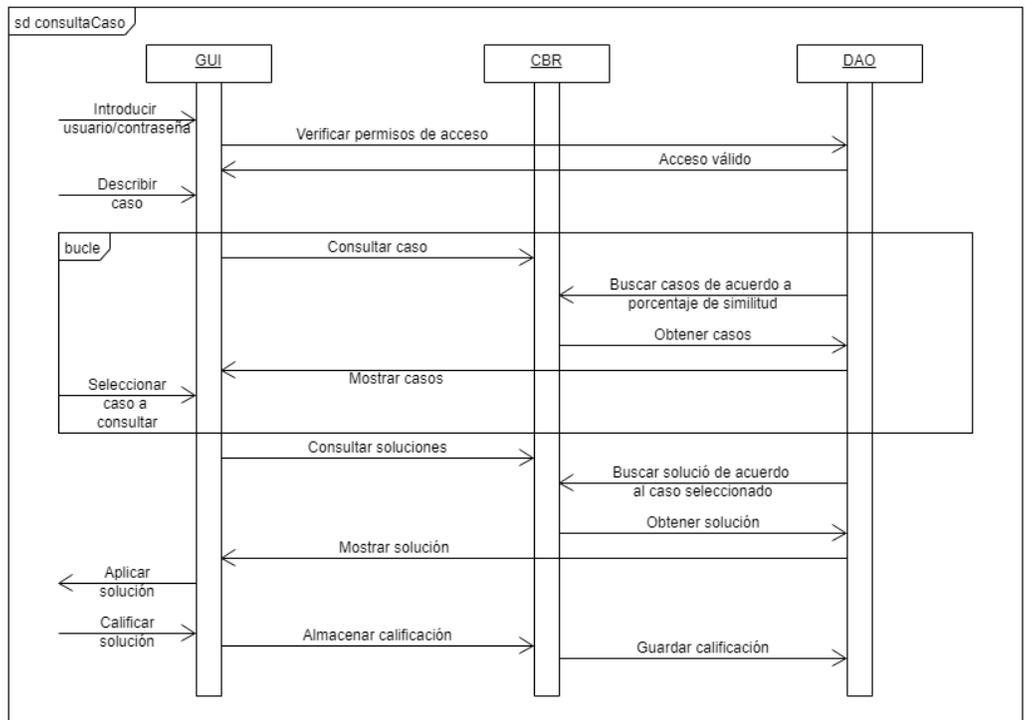


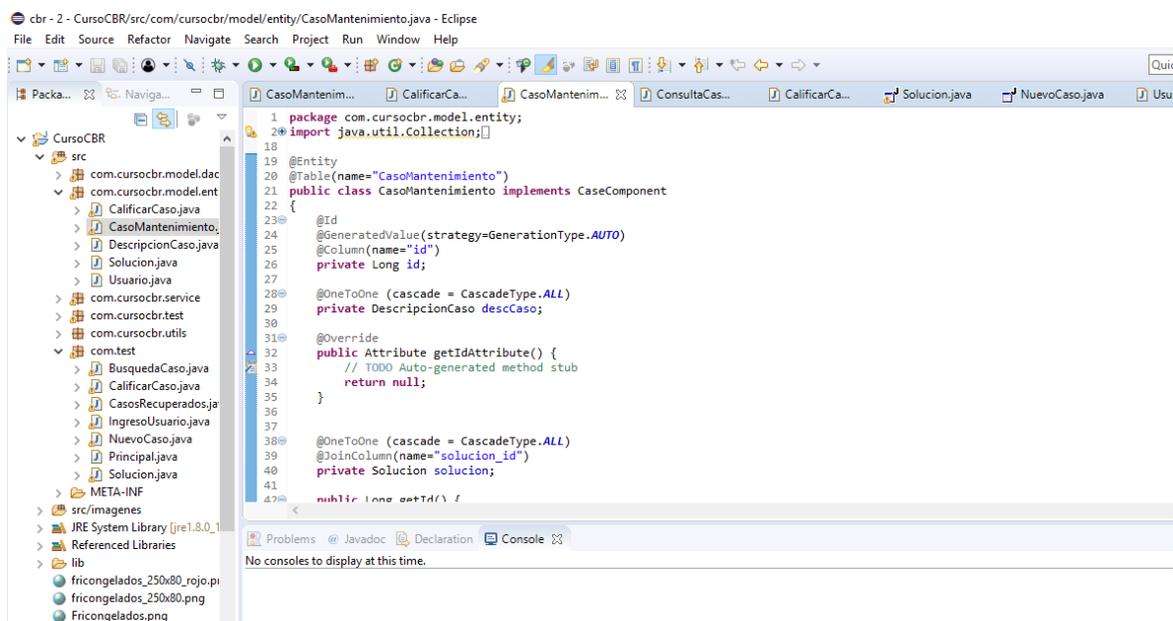
Ilustración 4.8 – Diagrama de secuencia (consulta caso)

4.9 Desarrollo del programa

Después de definir la estructura lógica del programa, el siguiente paso fue escribir el programa en Eclipse Oxygen. Lo cual se puede observar en las siguientes figuras.

4.9.1 Elaboración de clases de Java

En esta etapa es en donde comienza la programación del programa, ya que con la información definida en el diagrama de clases se comenzaron a escribir las clases directamente en el programa, lo cual se observa en la ilustración 4.9:



```
1 package com.cursocbr.model.entity;
2 import java.util.Collection;
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18 @Entity
19 @Table(name="CasoMantenimiento")
20 public class CasoMantenimiento implements CaseComponent
21 {
22     @Id
23     @GeneratedValue(strategy=GenerationType.AUTO)
24     @Column(name="id")
25     private Long id;
26
27     @OneToOne (cascade = CascadeType.ALL)
28     private DescripcionCaso descCaso;
29
30
31     @Override
32     public Attribute getIdAttribute() {
33         // TODO Auto-generated method stub
34         return null;
35     }
36
37
38     @OneToOne (cascade = CascadeType.ALL)
39     @JoinColumn(name="solucion_id")
40     private Solucion solucion;
41
42     public Long getId() {
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
```

Ilustración 4.9 – Escritura de clases de Java

4.9.2 Corrida de pruebas

Una vez que se tuvieron las clases elaboradas en el programa, se hizo necesario la realización de pruebas, ilustración 4.10, que ayudaran a observar el comportamiento del mismo. Esto con la finalidad de detectar errores.

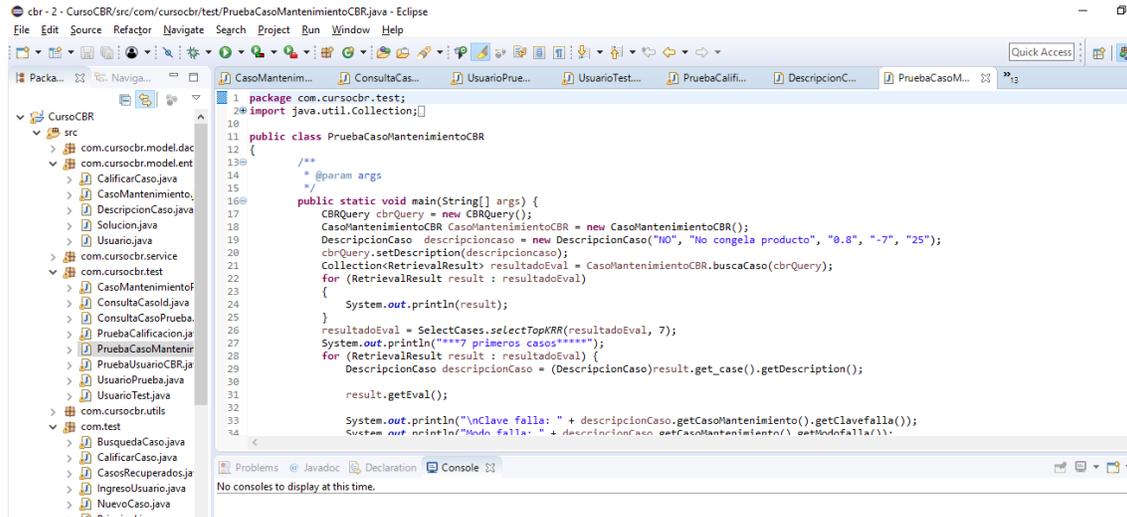


Ilustración 4.10 – Pruebas del programa

4.9.3 Elaboración de base de datos de casos

Debido al tamaño de la base de datos a crear para efectos del programa, se pudo introducir directamente en Eclipse, lo cual se puede observar en la ilustración 4.11. La base está constituida de acuerdo a los parámetros determinados en la etapa de definición de la estructura de casos.

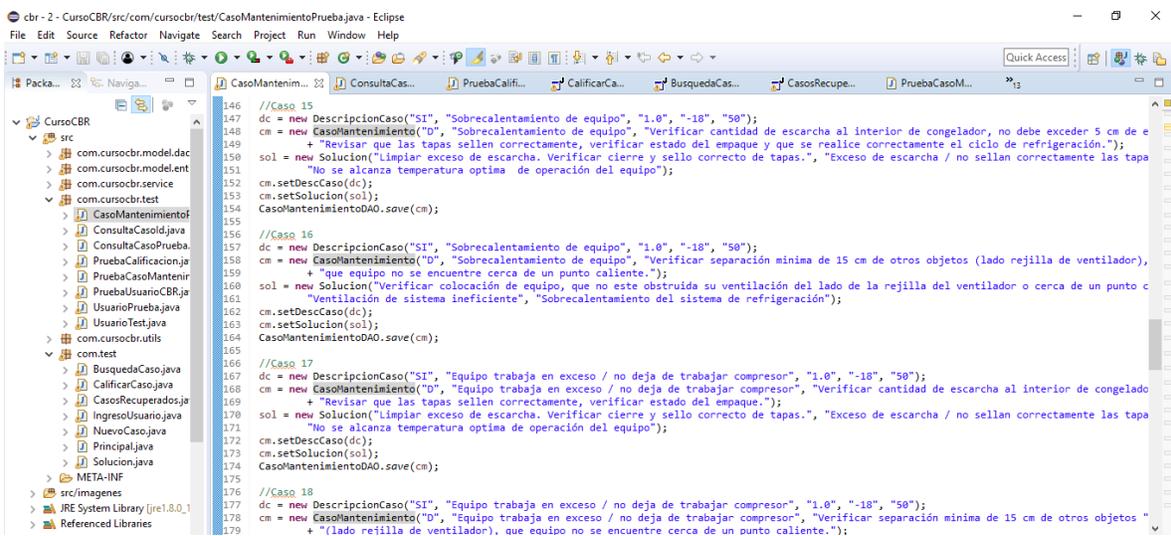


Ilustración 4.11 – Base de datos en Eclipse

En la ilustración 4.12 se puede observar la forma en que está constituida la base de datos en SQLite. Es importante destacar que de la forma en que se aprecia en la figura es como aparece la información en las consultas realizadas en el programa, esto con base en los parámetros introducidos en la sección de búsqueda.

rowid	id	clavefalla	comprobacion	modofalla	descCaso_descripcioncaso_id	solucion_id
1	1	A	Verificar que compresor realice c...	No congela producto	1	1
2	2	A	Verificar que compresor realiza c...	No congela producto	2	2
3	3	B	Verificar estado del serpentín, que...	No congela producto	3	3
4	4	D	Verificar escarcha en equipo de ...	No congela producto	4	4
5	5	C	Observar separación mínima de ...	No congela producto	5	5
6	6	B	Observar funcionamiento de equ...	No congela producto	6	6
7	7	C	Observar funcionamiento de equ...	No congela producto	7	7
8	8	D	Verificar funcionamiento de mot...	Ruido anormal o excesivo en equ...	8	8
9	9	C	Verificar funcionamiento de mot...	Ruido anormal o excesivo en equ...	9	9
10	10	C	Verificar integridad de aspas de ...	Ruido anormal o excesivo en equ...	10	10
11	11	D	Observar funcionamiento de equ...	Vibración anormal o excesiva en ...	11	11
12	12	C	Verificar funcionamiento de mot...	Vibración anormal o excesiva en ...	12	12
13	13	C	Verificar integridad de aspas de ...	Vibración anormal o excesiva en ...	13	13
14	14	B	Verificar funcionamiento de mot...	Sobrecalentamiento de equipo	14	14
15	15	D	Verificar cantidad de escarcha al ...	Sobrecalentamiento de equipo	15	15
16	16	D	Verificar separación mínima de 1...	Sobrecalentamiento de equipo	16	16
17	17	D	Verificar cantidad de escarcha al ...	Equipo trabaja en exceso / no de...	17	17
18	18	D	Verificar separación mínima de 1...	Equipo trabaja en exceso / no de...	18	18
19	19	D	Verificar cantidad de escarcha al ...	Equipo trabaja en exceso / no de...	19	19
20	20	B	Verificar que compresor realiza c...	Equipo trabaja en exceso / no de...	20	20

SELECT rowid, * FROM "CasoMantenimiento";

Ilustración 4.12 – Base de datos en SQLite

4.9.4 Elaboración de interfaz gráfica utilizando el módulo Window Builder.

Después de terminar las pruebas y determinar que el programa realizaba las funciones que se desean, se comenzó la elaboración de las ventanas, ilustración 4.13, en las que se desplegará la información al usuario. Este punto es importante puesto que, si el usuario tiene un ambiente familiar al momento de utilizar el programa, será más fácil y practica su utilización.

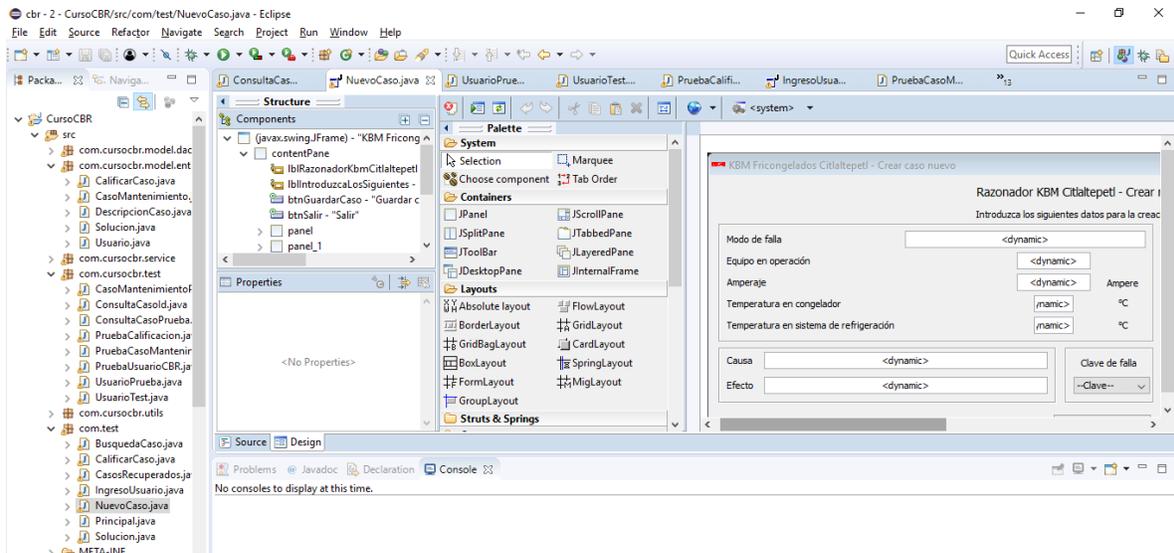


Ilustración 4.13 – Programación de interfaz gráfica del programa en Window Builder

4.9.5 Ejecución del programa.

Por último, se realiza la ejecución del programa para observar la programación y funcionalidad de la interfaz, se analiza el programa en busca de errores y se guarda en una versión ejecutable para su entrega a la empresa.

En la ilustración 4.14 se puede observar la pantalla de inicio del sistema, al cual se accede mediante un nombre de usuario y contraseña, con la finalidad que solo personal autorizado de la empresa tenga acceso al programa y la base de casos.

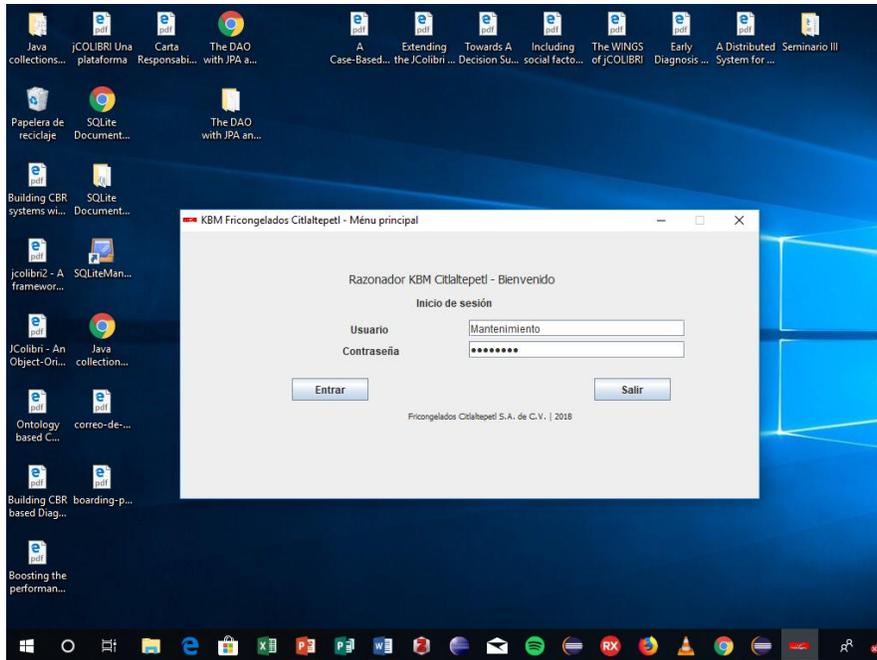


Ilustración 4.14 – Ejecución del programa

4.10 Conclusión

En este capítulo se abordó la parte medular de la generación del programa de mantenimiento, se definieron las variables a utilizar, se definió la forma en que debería funcionar el programa en general; la secuencia de actividades que realizará el programa, así como la interrelación entre cada una de las funciones y clases del sistema. La elaboración del programa de Razonamiento basado en casos para la empresa, se realizó en Java, esto con el objetivo de poder migrarse en un futuro a otras plataformas de una forma más sencilla, específicamente hablando de plataformas móviles como teléfonos inteligentes o tabletas.

Capítulo 5

Implementación del Sistema de Mantenimiento Basado en Conocimiento

5.1.Introducción

En este capítulo se aborda la puesta en marcha del programa de mantenimiento desarrollado, de tal forma que el personal pueda hacer uso del mismo para las actividades de mantenimiento que se llevan a cabo en la empresa. La idea principal detrás de la puesta en marcha del programa a desarrollar, es que sea sencillo e intuitivo, que la familiarización con este no signifique un esfuerzo adicional a las actividades diarias de los técnicos de mantenimiento de la empresa.

5.2.Instalación del programa

El software fue desarrollado en la plataforma Eclipse de Java y puede ser ejecutado y utilizado en ella sin problema alguno, sin embargo, para una mejor adaptación del personal y con el objetivo de hacer más amigable la interfaz del sistema se migrará el sistema a una versión ejecutable. Este archivo ejecutable del sistema se podrá copiar a cualquier equipo de cómputo que se desee utilizar para las tareas de mantenimiento, sin la necesidad de un proceso complicado y lento, de instalación.

5.3.Implementación y prueba del sistema

Una vez instalado el archivo ejecutable del programa, se pide al técnico de mantenimiento de la empresa que inicie sesión en el sistema, ilustración 5.1, seguido de la realización de una consulta en el software, con un caso hipotético definido de acuerdo a su experiencia.

5.3.1. Inicio de sesión en el sistema

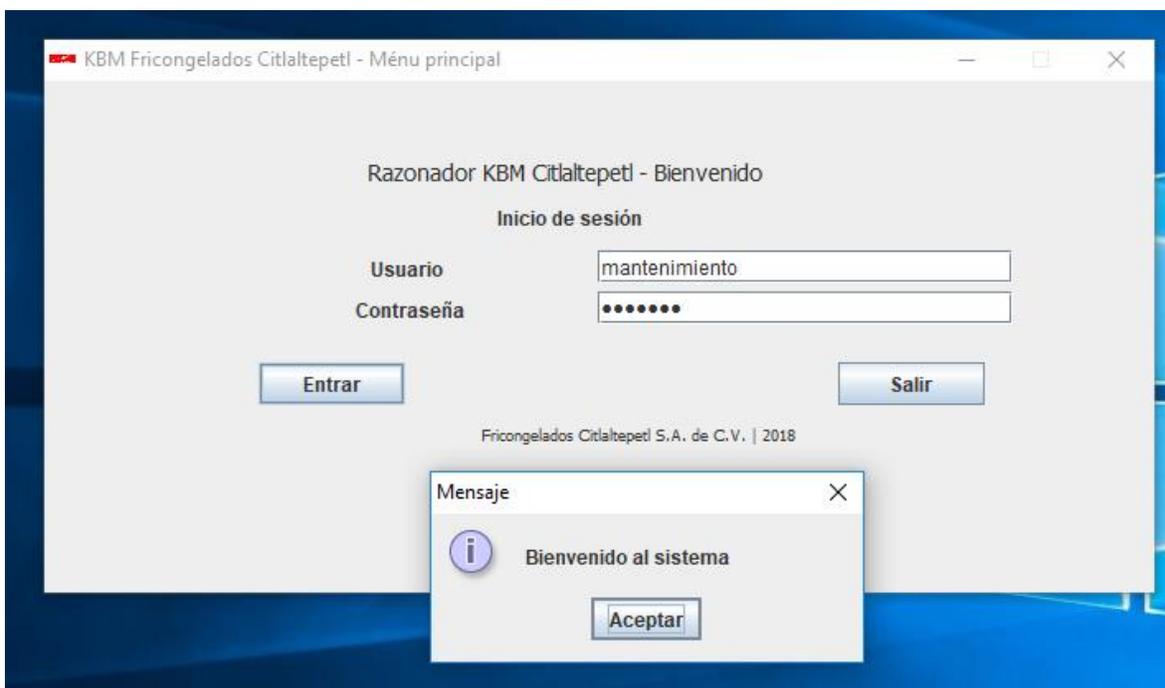


Ilustración 5.1 – Pantalla de inicio del sistema

Como siguiente punto, en la ilustración 5.2, se puede observar la pantalla de búsqueda de casos. Aquí es donde se introducen los parámetros que ayudaran a realizar la búsqueda al interior del sistema. Estos parámetros se definirán previa evaluación y toma de lecturas en el equipo de refrigeración, así como parte de lo observado por el encargado de realizar el mantenimiento.

Los parámetros a introducir se definen de la siguiente forma:

- **Equipo en operación:** Se refiere al estado del equipo en el momento de la evaluación, si realiza el ciclo de enfriamiento con normalidad o no, definir si el compresor está funcionando.
- **Temperatura en congelador:** Es la temperatura medida dentro del compartimiento de congelación, es decir, en donde se coloca el producto. Generalmente se mide, colgando el termómetro en el centro del compartimiento de congelación.

- Amperaje en motor compresor: Es el amperaje que presenta el compresor al momento de estar en funcionamiento.
- Temperatura de circuito de refrigeración: Se refiere a la temperatura medida en el compartimiento en donde se encuentra el compresor, ventilador y serpentín.
- Falla: Es la posible falla que, la persona encargada de realizar el mantenimiento, haya detectado en el equipo de refrigeración al momento de analizarlo.

En el caso presentado a continuación, se utilizarán los datos de la tabla 5.1, propuestos por el técnico de la empresa para observar el desempeño del programa:

Tabla 5.1 – Datos a ingresar en el sistema

Parámetro	Valor	Unidades de medida
Equipo en operación	Si	No definidas
Temperatura en congelador	- 21	Grados Celsius (°C)
Amperaje en motor compresor	1.2	Ampere (A)
Temperatura en circuito de refrigeración	50	Grados Celsius (°C)
Falla	Sobrecalentamiento de equipo	No definidas

5.3.2. Búsqueda de casos

KBM Fricongelados Citlaltepetl - Busqueda de casos

Razonador KBM Citlaltepetl - Parámetros de búsqueda

Introduzca los siguientes datos para búsqueda de c...

¿Equipo en operación? SI

Temperatura en congelador -21 °C

Amperaje en motor compresor 1.2 Ampere

Temperatura de circuito de refrigeración 50 °C

Falla

-----Elegir tipo de falla-----

- Elegir tipo de falla-----
- No congela producto
- Ruido anormal o excesivo en equipo
- Vibración anormal o excesiva en equipo
- Sobrecalentamiento de equipo
- Equipo trabaja en exceso / no deja de trabajar compresor
- No congela producto uniformemente
- No enciende equipo

Ilustración 5.2 – Introducción de parámetros para búsqueda de casos

Al observar los casos que el sistema arroja como resultado de la consulta, se presentan los casos recuperados con base a los datos introducidos en la pantalla de búsqueda, se elige el que presenta un mayor porcentaje de similitud, de esta forma se observará si la solución propuesta se ajusta a los criterios de búsqueda introducidos en la pantalla anterior. Los casos recuperados, así como su porcentaje de similitud se observan en la ilustración 5.3. Es importante observar que, en la pantalla de resultados de búsqueda, también se presenta la comprobación de la falla, ilustración 5.4; esto tiene como objetivo auxiliar al encargado de realizar el mantenimiento, mediante una serie de pasos y recomendaciones, a determinar si la falla que se está presentando en el equipo de refrigeración se asemeja a la que seleccionará en el sistema.

Las partes que componen esta sección son:

- Id caso: Es el número con el que se encuentra guardado el caso presentado en la base de datos.
- Clave: Se refiere a la clave de falla del caso, con base a su criticidad.
- Similitud: Es el porcentaje de similitud del caso recuperado con la descripción del caso introducida por el usuario.
- Modo de falla: Es la forma en que está fallando el equipo de refrigeración, es decir, la condición anormal que presenta que lo aleja de sus condiciones normales de operación.
- Comprobación: Es el procedimiento a seguir para determinar si el modo de falla corresponde o no a lo observado por el usuario en el equipo de refrigeración.

KBM Fricongelados Citlaltepetl - Resultados de búsqueda de casos

Razonador KBM Citlaltepetl - Casos recuperados

Seleccione el caso a revisar

Id. Caso	Clave	Similitud
29	B	70.0%
14	B	50.0%
15	D	50.0%
16	D	50.0%
2	A	30.0%
3	B	30.0%
4	D	30.0%

Obtener solución Regresar

Ilustración 5.3 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 1)

Modo de falla	Comprobación
Sobrecalentamiento de equipo	Despues de realizar la limpieza, volver a conectar equipo y verificar que alcance t...
Sobrecalentamiento de equipo	Verificar funcionamiento de motor ventilador
Sobrecalentamiento de equipo	Verificar cantidad de escarcha al interior de congelador, no debe exceder 5 cm de...
Sobrecalentamiento de equipo	Verificar separación minima de 15 cm de otros objetos (lado rejilla de ventilador).
No congela producto	Verificar que compresor realiza ciclo y no trabaja en exceso
No congela producto	Verificar estado del serpetín, que no esté sucio o congelado.
No congela producto	Verificar escarcha en equipo de no mas de 5 cm de espesor

Ilustración 5.4 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 1)

5.3.3. Solución de casos

Es la sección en donde se muestra la propuesta de solución a implementar, con la finalidad de corregir la falla que corresponde a la descripción de caso que introdujo en usuario en la búsqueda. Los datos presentados son:

- Modo de falla: Presenta el modo de falla definido en la sección anterior.
- Solución: Describe el procedimiento a realizar para la solución de la falla presentada.
- Causa: Es el componente o función que no se está realizando de forma correcta en el equipo, razón por la se ve interrumpido o alterado su funcionamiento.
- Efecto: Se refiere a la consecuencia que presenta el equipo de refrigeración debido a la causa de falla.

En la ilustración 5.5, se puede observar la descripción del caso que el usuario ingreso, así como la solución propuesta para ese caso. En esta etapa el usuario puede determinar si el caso se ajusta a los criterios ingresados, o con base a la descripción que se da del caso realizar la captura de un caso nuevo. Esta prueba se realiza con otras 3 descripciones de caso para observar el desempeño del programa, esto se puede observar en las ilustraciones 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 y 5.11.



Ilustración 5.5 – Descripción del caso

Razonador KBM Citlalpetel - Casos recuperados

Seleccione el caso a revisar

Id. Caso	Clave	Similitud	Modo de falla
1	A	85.0%	No congela producto
25	A	64.9%	No enciende equipo
26	A	64.9%	No enciende equipo
27	A	64.9%	No enciende equipo
28	A	64.9%	No enciende equipo
2	A	55.0%	No congela producto
3	B	55.0%	No congela producto

Ilustración 5.6 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 2)

Modo de falla	Comprobación
No congela producto	Verificar que compresor realice ciclo
No enciende equipo	Revisar estado de relevador, que no esté quemado
No enciende equipo	Revisar estado de capacitor, que no esté quemado
No enciende equipo	Revisar estado de protector térmico, que no esté quemado
No enciende equipo	Revisar que compresor realice correctamente su funcionamiento
No congela producto	Verificar que compresor realiza ciclo y no trabaja en exceso
No congela producto	Verificar estado del serpetín, que no esté sucio o congelado.

Ilustración 5.7 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 2)

Razonador KBM Citaltepetl - Casos recuperados

Seleccione el caso a revisar

Id. Caso	Clave	Similitud	Modo de falla
14	B	65.0%	Sobrecalentamiento de equipo
15	D	65.0%	Sobrecalentamiento de equipo
16	D	65.0%	Sobrecalentamiento de equipo
2	A	44.9%	No congela producto
3	B	44.9%	No congela producto
4	D	44.9%	No congela producto
5	C	44.9%	No congela producto

Ilustración 5.8 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 3)

Modo de falla	Comprobación
Sobrecalentamiento de equipo	Verificar funcionamiento de motor ventilador
Sobrecalentamiento de equipo	Verificar cantidad de escarcha al interior de congelador, no debe ...
Sobrecalentamiento de equipo	Verificar separación mínima de 15 cm de otros objetos (lado rejil...
No congela producto	Verificar que compresor realiza ciclo y no trabaja en exceso
No congela producto	Verificar estado del serpetín, que no esté sucio o congelado.
No congela producto	Verificar escarcha en equipo de no mas de 5 cm de espesor
No congela producto	Observar separación mínima de 15 cm de otros objetos en lado ...

Ilustración 5.9 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 3)

Razonador KBM Citlaltepeltl - Casos recuperados

Seleccione el caso a revisar

Id. Caso	Clave	Similitud	Modo de falla
8	D	70.0%	Ruido anormal o excesivo en equipo
9	C	70.0%	Ruido anormal o excesivo en equipo
10	C	70.0%	Ruido anormalo excesivo en equipo
2	A	50.0%	No congela producto
3	B	50.0%	No congela producto
4	D	50.0%	No congela producto
5	C	50.0%	No congela producto

Ilustración 5.10 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 4)

Modo de falla	Comprobación
Ruido anormal o excesivo en equipo	Verificar funcionamiento de motor de ventilador, que no haya partes sueltas
Ruido anormal o excesivo en equipo	Verificar funcionamiento de motor ventilador, observar si hay presencia de roces ...
Ruido anormalo excesivo en equipo	Verificar integridad de aspas de ventilador, si esta dañado el ventilador, cambiar.
No congela producto	Verificar que compresor realiza ciclo y no trabaja en exceso
No congela producto	Verificar estado del serpentín, que no esté sucio o congelado.
No congela producto	Verificar escarcha en equipo de no mas de 5 cm de espesor
No congela producto	Observar separación mínima de 15 cm de otros objetos en lado rejilla de ventilad...

Ilustración 5.11 – Presentación de resultados de búsqueda (Caso 4)

Como se menciona con anterioridad, en el caso que un caso pruebe ser satisfactorio para el usuario, se procede a la pantalla “calificar caso” observada en la ilustración 5.12, en caso contrario y de ser necesaria la adaptación del mismo, se procede a la pantalla de nuevo caso de la ilustración 5.13.

5.3.4. Calificación y generación de nuevos casos

Es la sección en la que se define si el caso y la solución mostrada fue de utilidad o no para eliminar la falla. Aquí se realizan preguntas al usuario sobre si la información mostrada para la resolución fue de utilidad o no, y si la solución fue correcta. De igual forma se le asigna una calificación de 10, si la solución fue muy útil, o de 5, si fue útil, pero si presenta una solución parcial al problema. En este último caso, se puede realizar la adaptación del caso en el botón adaptar solución.

KBM Fricongelados Citlaltepetl - Calificar caso

Razonador KBM Citlaltepetl - Calificar caso

Introduzca los siguientes datos para calificar el caso ...

¿El caso fue de utilidad? Sí

¿La solución fué correcta? Sí, se solucionó el problema.

Solución satisfactoria 10 - Muy útil

Calificación 5 5 - Útil

La solución necesita adaptación

Calificar Adaptar Solución

Regresar

Ilustración 5.12 – Calificar Caso

Ultima sección presentada, en esta se puede realizar la modificación del caso seleccionado, o generar un caso desde cero, para alimentar la base de casos. Con la finalidad de auxiliar al en la generación del caso, en esta ventana se conservan los datos de descripción de caso que el usuario introdujo en primera instancia, así como la causa, efecto y solución propuesta; sin embargo, todos los datos pueden ser modificados si el usuario así lo considera pertinente para la generación del nuevo caso.

Es importante destacar que en los Sistema de Razonamiento Basado en casos como el utilizado en la presente tesis, existe un efecto no deseado, el cual es el llamado “arranque en frío”. Este efecto puede definirse como el estado que se presenta en el Sistema de Razonamiento si ninguno de los casos recuperados en la búsqueda ofrece una solución

satisfactoria, con un porcentaje de similitud mayor al 50%, y no existe ninguna descripción correcta en la base de casos. La solución lógica es la creación de un nuevo caso, pero para evitar ese “arranque en frío”, el programa recupera la descripción introducida por el usuario al realizar la búsqueda de casos y rellena los campos respectivos en la pantalla de generación de nuevo caso. De esta forma, el usuario del sistema, ya cuenta con una descripción que se ajusta a lo observado y medido en el sistema de refrigeración intervenido.

Ilustración 5.13 – Crear nuevo caso

En la tabla 5.2, se puede observar un resumen de los porcentajes de similitud presentados en el sistema con base en las descripciones de caso introducidas al sistema por el usuario.

Tabla 5.2 – Resumen de porcentajes de similitud

Caso	Modo de falla	Porcentaje de similitud
1	Sobrecalentamiento de equipo	70%
2	No congela producto	85%
3	Sobrecalentamiento de equipo	65%
4	Ruido anormal o excesivo en equipo	70%

5.3.5. Base de datos en SQLite

Una vez capturada la información que conformará el nuevo caso este se almacena en una base de datos, como se muestra en la ilustración 5.14, la cual podrá ser modificada cuando lo desee el usuario mediante la creación de un nuevo caso, esta información se puede revisar en las ilustraciones 5.15 y 5.16 mediante el programa SQLite Manager, el cual para fines de visualización solamente, se usó en su versión de prueba.

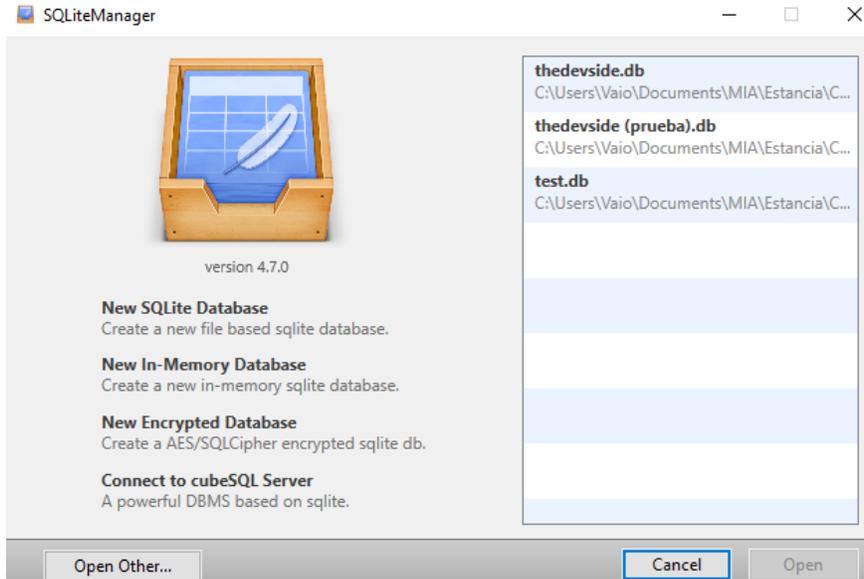


Ilustración 5.14 – SQLite Manager para bases de datos SQLite

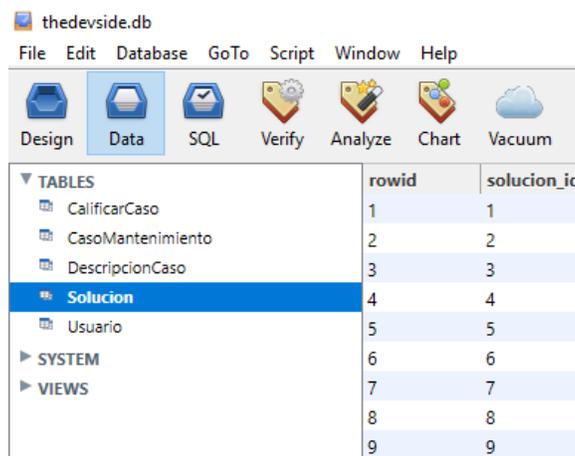


Ilustración 5.15 – Menú raíz de base de datos de casos en SQLite Manager

solucion_id	causa	efecto	solucion
1	Falla interna de compresor	Equipo no enfría correctamente	Cambiar equipo
2	Termostato se queda pegado (abierto)	No se realiza el ciclo de refrigeración / Enfriamiento defici...	Verificar funcionamiento de termostato, si no hace correct...
3	Serpentín de evaporador congelado	Sobrecalentamiento del sistema de refrigeración	Verificar que no exista daño de serpentín, si esta dañado, ...
4	Incorrecto sello de la tapas / falta de limpieza	No se alcanza temperatura optima de operación del equi...	Verificar que tapas o empaques de tapas no esten dañad...
5	Ventilación ineficiente de sistema	Sobrecalentamiento del sistema de refrigeración	Verificar separación minima de 15 cm de otros objetos (la...
6	Cable o clavija dañados	Funcionamiento intermitente del equipo	Verificar estado de cable y clavija, que no haya daño en c...
7	Falso contacto	Funcionamiento intermitente del equipo	Verificar correcta conexión de clavija, asegurar con un cin...
8	Partes sueltas	Ruido anormal	Realizar apriete de partes moviles de sistema de refrigera...
9	Desbalanceo de ventilador	Ruido anormal	Verificar estado y funcionamiento de componente, si esta...
10	Ruptura en aspa de ventilador	Ruido anormal	Verificar integridad de aspas de ventilador, si esta dañado...
11	Equipo no esta nivelado	Vibración excesiva y ventilación deficiente	Verificar colocación de equipo en superficie plana, que no...
12	Desbalanceo de ventilador	Vibración excesiva y ventilación deficiente	Verificar estado y funcionamiento de componente, si esta ...
13	Ruptura en aspa de ventilador	Vibración excesiva y ventilación deficiente	Verificar estado y funcionamiento de componente, si esta ...
14	No funciona ventilador	Sobrecalentamiento del sistema de refrigeración	Verificar estado y funcionamiento de componente, si esta ...
15	Exceso de escarcha / no sellan correctamente las tapas.	No se alcanza temperatura optima de operación del equi...	Limpiar exceso de escarcha. Verificar cierre y sello correct...
16	Ventilación de sistema ineficiente	Sobrecalentamiento del sistema de refrigeración	Verificar colocación de equipo, que no este obstruida su v...
17	Exceso de escarcha / no sellan correctamente las tapas.	No se alcanza temperatura optima de operación del equi...	Limpiar exceso de escarcha. Verificar cierre y sello correct...
18	Ventilación de sistema ineficiente	Sobrecalentamiento del sistema de refrigeración	Verificar colocación de equipo, que no este obstruida su v...
19	Incorrecto sello de la tapas	No se alcanza temperatura programada en control de te...	Estado de empaque de tapas o que no esten rotas, sino c...
20	Termostato se queda pegado (cerrado)	El equipo opera constantemente. Producto congelado en ...	Verificar funcionamiento de termostato, si no hace correct...

Ilustración 5.16 – Visualización de casos

Resultados

Para determinar el impacto del sistema desarrollado para la gestión del mantenimiento en la empresa, se pueden observar los siguientes factores.

Intervenciones realizadas

Se refiere al total de servicios realizados por parte de los técnicos a los equipos de refrigeración directamente en los puntos de venta.

El periodo analizado comprende cuatro meses, del mes de noviembre de 2018 a febrero de 2019, en los que el sistema de mantenimiento ya se encuentra implementado. Debido a que no se tienen datos aún de noviembre y diciembre de 2019, se contrastaron solamente los resultados de enero y febrero de 2017, 2018 y 2019, como se puede observar en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 – Intervenciones de mantenimiento

	2017	2018	2019
	Número de intervenciones		
<i>ENERO</i>	10	11	8
<i>FEBRERO</i>	14	9	5
TOTAL	24	20	13

Esta disminución de intervenciones se puede observar de mejor forma con base a los costos de reemplazo de producto en la ilustración 5.17, solo por este concepto se puede ver una disminución del 19.14% con respecto al 2018 y del 31.55% en 2017 en el mes de enero; del 30.98% en 2018 y del 56.27% en febrero del 2017.

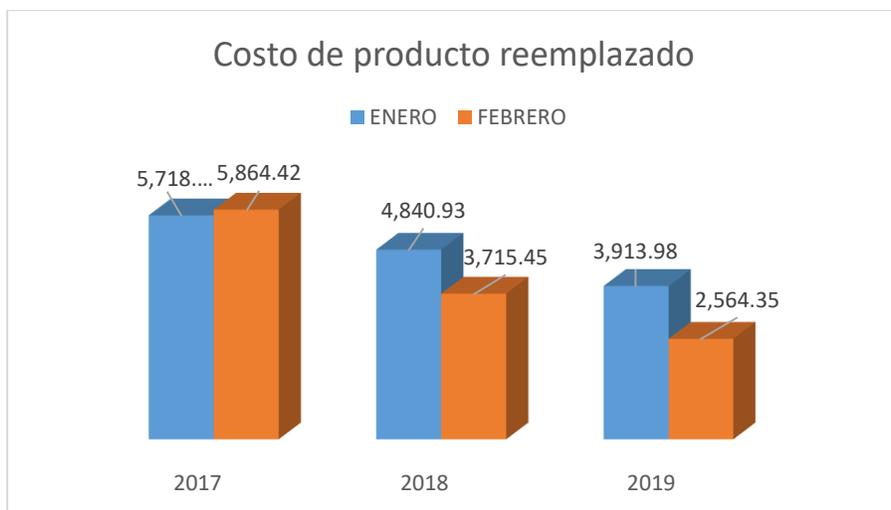


Ilustración 5.17 – Costo de producto reemplazado

Cabe señalar que, de la disminución de intervenciones observadas en el año 2019 como resultado del uso del programa de mantenimiento implementado, solo se realizaron 5 intervenciones en enero y 4 en febrero.

Costos de mantenimiento

Los costos por mantenimiento se dividen dos vertientes, costos directos e indirectos de mantenimiento, como se definió en el capítulo 3 de la presente tesis.

- Costos directos

Debido a políticas de la empresa, no se pudieron obtener los salarios percibidos por el personal, técnico y ayudante de mantenimiento de equipos de refrigeración, por tanto, no se pueden determinar los costos directos de mantenimiento.

Sin embargo, se puede hacer un análisis de los costos indirectos, con rubros tales como el desplazamiento en carretera del personal, así como el costo por reemplazo de producto, lo cual sirve para no perder de vista el impacto económico

- Costos indirectos

Dentro de este rubro se consideran los costos por reemplazo de producto definidos en la ilustración 5.14 analizada anteriormente, sin embargo, si se toman en cuenta los costos indirectos de mantenimiento, solamente por concepto de desplazamiento de los técnicos a los puntos de venta, se puede observar lo siguiente:

- Autonomía de Vehículos

Los vehículos utilizados para el traslado de personal a los puntos de venta son las siguientes marcas y modelos, como se muestra en la tabla 5.4, los cuales dan los siguientes rendimientos:

Tabla 5.4 – Autonomía de vehículos de la empresa

Marca y modelo	Rendimiento en litros
Nissan NP-300	9
Chevrolet Tornado	8.7

Nota: Costo de gasolina magna \$ 18.45

- Desplazamiento

Las distancias mostradas en la tabla 5.5, corresponden a los 9 servicios no realizados, es decir, que no fue necesaria la intervención por parte de los técnicos de mantenimiento, debido a la implementación del sistema en enero y febrero de 2019.

Tabla 5.5 – Distancias a puntos de venta

Ubicación punto de venta	Distancia en kilómetros	Costo de traslado (combustible)
Veracruz		
Acultzingo	32.5	\$133.25
Coscomatepec	33.9	\$138.99
Cuitláhuac	44.5	\$188.74
Huatusco	53.3	\$218.53
Tezonapa	72.9	\$309.20
Puebla		
Azumbilla	50	\$212.07
Tehuacán	70.6	\$299.44
Ciudad Serdán	74	\$303.40
Palmar de Bravo	79.6	\$337.61

- Costos adicionales

Estos son los montos adicionales a cada uno de los viajes realizados a los puntos de venta por parte de los técnicos.

- Viáticos: \$100
- Casetas (según destino): hasta \$300

Conclusiones

Como conclusiones de la presente tesis se exponen las siguientes:

- El programa desarrollado en esta tesis tiene como base teórica el Razonamiento Basado en Casos, el cual tiene como objetivo fundamental capturar y capitalizar la experiencia de los expertos en el mantenimiento, con la finalidad de que esté disponible para cualquier usuario de la empresa. De esta forma se disminuye la dependencia del experto, se pueden atender y solucionar las fallas sin necesidad que el experto tenga que ir personalmente hasta los puntos de venta, localizados a grandes distancias. Se podría en un futuro, capacitar a los propios clientes en la utilización del sistema para de esta forma, ellos mismos detectar y solucionar las fallas de los equipos.
- Si se contara con un historial de fallas de los componentes o de los equipos en general o información correctamente documentada acerca de las fallas que se han presentado, se podría hacer un mejor uso del sistema, y así elaborar un programa más robusto en cuanto a datos generados se refiere.
- JColibri es una herramienta que puede ser de gran utilidad para la gestión del mantenimiento, ya que potencialmente puede eliminar tiempo muerto al momento de tomar decisiones, en cuanto a diagnosticar las fallas de un equipo y sus posteriores reparaciones, o si se dan las condiciones, evitar que ocurran las averías del todo. Esto mediante un programa de mantenimiento predictivo correctamente sustentado en un historial de fallas preciso y confiable. De igual forma se podrán identificar causas de fallos ocultos y crónicos que pudieran ser imputables no a los equipos, sino al lugar en donde se encuentran operando, infraestructura, así como las condiciones de operación relacionadas con malas prácticas de dueños o administradores de los establecimientos y el uso de los clientes; lo que permitiría establecer cursos de acción para eliminarlos.
- Cabe señalar que algo deseable en la utilización de sistemas CBR es la utilización continua, ya que esto permite que el o los usuarios que hagan uso del sistema puedan ir enriqueciendo y engrosando el catálogo de casos, es decir, “enseñarle” al sistema nuevas formas de resolver problemas.

- Una de las virtudes de contar con una base de datos como la que se reunió para la realización de este programa, en conjunto con la posibilidad de hacer consultas al sistema, sin duda será de gran ayuda para el proceso de capacitación de personal de reciente ingreso a la empresa. Debido a que les puede ser ahorrar tiempo valioso en el proceso de familiarización con el área de mantenimiento de la empresa.

Recomendaciones

El CBR generado a partir de la presente tesis tiene un gran potencial de crecimiento, ya que, combinado con otras técnicas específicas para el control y medición del desempeño de sistemas de las diferentes áreas de la empresa, pueden coadyuvar a hacer más eficiente la forma en que se realizan los diferentes procesos, tanto productivos como administrativos.

Con una precisión del sistema cercana al 80%, cabe señalar que el sistema puede mejorarse, sobre todo en la base de casos, esta se puede nutrir con parámetros más precisos, es decir, monitoreados en tiempo real y ajustados con base a cada uno de los equipos. Esto con base en un historial de fallas mejor constituido y definido con la situación y condiciones de operación de los congeladores.

Es importante mencionar que el aplicar los formatos para recopilación de datos de mantenimiento propuestos en esta tesis, pueden ser de gran ayuda al momento de elaborar el historial de fallas por equipo e indicadores de productividad en el área de mantenimiento. Algunos indicadores propuestos serían de disponibilidad y utilización de equipos, así como de costos; los que se muestran a continuación:

Indicadores de disponibilidad y utilización de equipos

- Disponibilidad total: Permiten estimar el tiempo en que se espera este un equipo en condiciones de operar.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas de mantenimiento}}{\text{Horas totales}} \dots\dots\dots \text{Eq. 1}$$

- Disponibilidad por averías: Permite estimar el tiempo que se utiliza en mantenimiento por fallas.

$$\text{Disponibilidad por falla} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas fuera de servicio por falla}}{\text{Horas totales}} \dots\dots\dots \text{Eq. 2}$$

- Tiempo medio entre fallas: Es el tiempo que existe entre la puesta en marcha de un equipo y una falla.

$$\text{TMEF} = \frac{\text{Horas del periodo analizado}}{\text{Número de fallas}} \dots\dots\dots \text{Eq. 3}$$

- Tiempo medio entre reparaciones: Es el tiempo que existe en la reparación de un equipo.

$$\text{TMER} = \frac{\text{Horas de paro por fallo}}{\text{Número de fallas}} \dots\dots\dots \text{Eq. 4}$$

- Tiempo de funcionamiento: Es la relación que existe entre el tiempo deseado de funcionamiento y el tiempo real de operación del equipo.

$$\text{TF} = \frac{\text{Tiempo deseado de funcionamiento} - \text{Inactividad de equipo}}{\text{Tiempo deseado de funcionamiento}} \dots\dots\dots \text{Eq. 5}$$

Indicadores de costos

- Proporción de costo de mano de obra de mantenimiento: Permiten estimar el costo referente a las horas utilizadas para mantenimiento y es costo de mano de obra.

$$\text{Costo medio mano obra} = \frac{\text{Número de horas de mantenimiento}}{\text{Costo por hora de mano de obra}} \dots\dots\dots \text{Eq. 6}$$

- Costos de mantenimiento: Permiten estimar el costo del mantenimiento en la actualidad contra los costos esperados.

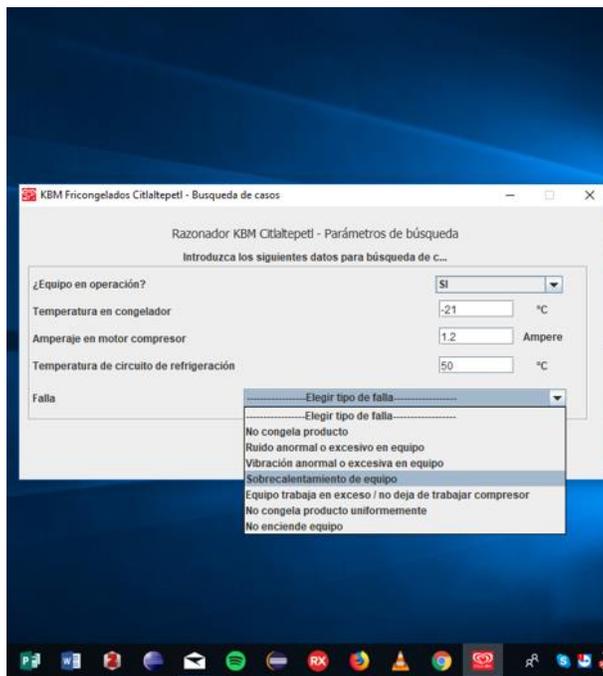
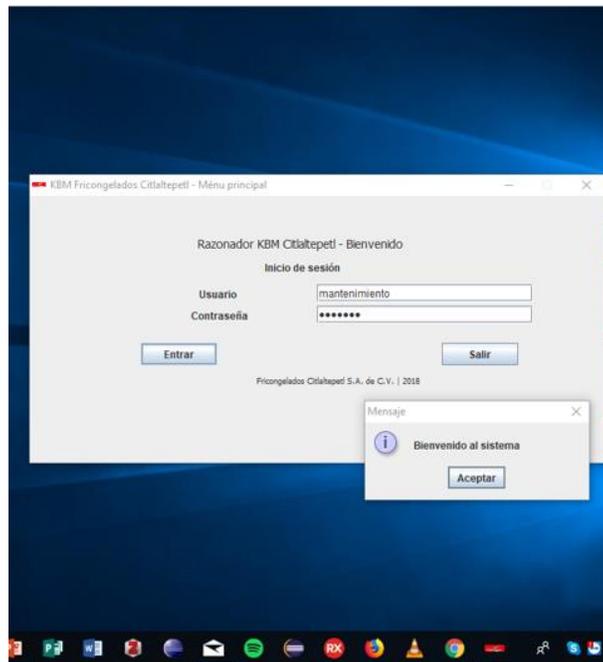
$$\text{Costo proyectado} = \frac{\text{Costo actual de mantenimiento}}{\text{Costo esperado de mantenimiento}} \dots\dots\dots \text{Eq. 7}$$

Por último, con la finalidad de potenciar la funcionalidad y accesibilidad del programa, se pensó en realizar el sistema en Java, ya que este ofrece una mayor ventaja sobre otros lenguajes de programación para su migración y adaptación a diferentes plataformas, como es el caso de teléfonos inteligentes o tabletas.

Anexo 2. Reporte de estancia de investigación UADY (Sírbase consultar extenso en memoria electrónica)

	UADY UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN	FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA UNIDAD DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
Mérida, Yucatán, a 30 de septiembre de 2018		
Asunto: Constancia de Liberación De Movilidad		
DR RUBEN POSADA GOMEZ Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación Instituto Tecnológico de Orizaba Orizaba, Ver.		
Por este conducto hacemos de su conocimiento que el estudiante C. MONTIEL IBARRA CARLOS ALBERTO con número de control: M06010699 alumno de esta Institución de la Maestría en INGENIERIA ADMINISTRATIVA , ha concluido su Movilidad en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán; con fecha de inicio 8 de agosto y Terminación 30 de septiembre de 2018. Durante la estancia estuvo bajo la supervisión del DR. RENE LÓPEZ FLORES , Profesor-Investigador en la misma Facultad.		
Bajo la asesoría del DR. EDUARDO ROLDAN REYES profesor investigador del INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ORIZABA cuya función es ser TUTOR en la aplicación de la Movilidad.		
Sirva la presente para los fines que convenga.		
Atentamente “Luz, Ciencia y Verdad”		
 Dr. Cristian Carrera Figueiras Jefe de la Unidad de Posgrado e Investigación		FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA UNIDAD DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Anexo 3. Interfaz del sistema KBM Citlaltepelt (Sírbase consultar extenso en memoria electrónica)



Anexo 4. Código fuente del sistema KBM Citlaltepctl (Sír vase consultar extenso en memoria electrónica)

CÓDIGO FUENTE

Principal.java

```
package com.test;

public class Principal {

    public static void main(String[] args)
    {
        IngresoUsuario ventana = new IngresoUsuario();
        ventana.setVisible (true);
    }

}
```

IngresoUsuario.java

```
package com.test;

import com.cursocbr.model.dao.UsuarioDAO;
//import com.cursocbr.service.UsuarioCBR;
import com.cursocbr.service.UsuarioCBR;

public class IngresoUsuario extends JFrame {

    private JPanel contentPane;
    public static JTextField textField;
    public static JPasswordField passwordField;

    public IngresoUsuario() {
        setResizable(false);

        setIconImage(Toolkit.getDefaultToolkit().getImage("C:\\Users\\Vaio\\Documents\\MIA\\Estancia\\Curso CBR\\src\\imagenes\\fricongelados_250x80_rojo.png"));
        setTitle("KBM Fricongelados Citlaltepctl - M\u00E9nu principal");
        setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
        setBounds(100, 100, 680, 340);
        contentPane = new JPanel();
        contentPane.setBorder(new EmptyBorder(5, 5, 5, 5));
        setContentPane(contentPane);

        JLabel titulo1 = new JLabel("Razonador KBM Citlaltepctl - Bienvenido");
        titulo1.setFont(new Font("Tahoma", Font.PLAIN, 14));
        titulo1.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);

        JLabel titulo2 = new JLabel("Inicio de sesi\u00F3n");
        titulo2.setHorizontalAlignment(SwingConstants.CENTER);
    }
}
```

Anexo 5. Artículo publicado en la revista Journal CIM, Vol. 6, Núm. 1. (Sírvese consultar extenso en memoria electrónica)

Journal CIM Vol. 6, Núm. 1
Coloquio de Investigación Multidisciplinaria 2018

ISSN 2007-8102

Generación de una base de conocimientos de mantenimiento para una empresa distribuidora de Helados

C. A. Montiel Ibarra, E. Roldán Reyes^{1*}, G. Cortés Robles¹, R. López Flores¹, G. Cabrera Zepeda¹

¹División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba, Tecnológico Nacional de México, Av. Oriente 9, 852, C.P. 94300, Orizaba, Ver., México

*carlos.montielibarra@outlook.com

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Una correcta administración del mantenimiento no es evitar que las fallas ocurran, sino centrar esfuerzos en hacer uso de la experiencia y utilizarla cuando se requiera. Una forma de aprovechar y dar uso a la información, y que ha demostrado ser eficiente para este tipo de aplicaciones, se da en la forma del razonamiento basado en casos. Que es una herramienta de inteligencia artificial que emula la manera en que las personas resuelven los problemas mediante el uso de experiencias previas.

Para demostrar la eficiencia de este instrumento en una situación práctica, se presenta un caso de estudio en el área de mantenimiento de una empresa distribuidora de alimentos congelados ubicada en Orizaba, Veracruz. En donde se generó una base de experiencias que condensa las mejores alternativas de solución de fallas de los equipos de refrigeración de la empresa, que también auxiliará a capacitar al personal de reciente ingreso.

Palabras clave: Gestión del conocimiento, Razonamiento Basado en Casos, Mantenimiento Basado en Conocimiento, base de experiencias.

Abstract

A correct maintenance management, is not only to prevent failures from occurring, but to focus efforts on making use of the experiences, and use them when required. One way to take advantage of and use the collected information, and that has shown to be efficient for this type of applications, is in the form of Case Based Reasoning. Which is an artificial intelligence tool that it is use to emulate what a human expert does when solving problems, by using previous experiences.

In order to demonstrate the effectiveness of this instrument in a practical situation, a case study is presented in the maintenance area of a frozen food distribution company located in Orizaba, Veracruz. Where a base of experiences was generated, that condenses the best failure solutions alternatives for the refrigeration equipment at the company, as well as support for the training of recent entry maintenance staff.

Keywords: Knowledge management, Case Based Reasoning, Knowledge Based Maintenance, experiences data base.

Introducción

El uso y capitalización del conocimiento es sin duda un catalizador para el desarrollo de la competitividad en las organizaciones. Se ha demostrado que el establecer metodologías que ayuden a extraer, organizar y difundir experiencias, relativas a la resolución de problemas previos, entre los miembros de las empresas resulta ser un recurso crucial para un mejor posicionamiento en el mercado.

Por esta razón es trascendental pensar en las empresas como sociedades del conocimiento. Una sociedad del conocimiento no persigue como finalidad un ingreso económico por la aplicación del conocimiento en sí. Esta valora el conocimiento en función de los intereses y problemas que satisface de igual forma busca la justicia social, en otras palabras, desarrollo para todos. Es importante pensar en las organizaciones como creadoras de

Anexo 7. Entrega de software y manual de operación a la empresa. (Sírvasse consultar extenso en memoria electrónica)



Orizaba, Ver., a 26 de febrero de 2019

Asunto: Entrega de Software

DR ALBINO MARTÍNEZ SIBAJA
Encargado de la División de Estudios de Posgrado e Investigación
Instituto Tecnológico de Orizaba
Orizaba, Ver.

Por este conducto hacemos de su conocimiento que el estudiante **C. MONTIEL IBARRA CARLOS ALBERTO** con número de control: **M06010699** alumno de esta Institución de la Maestría en **INGENIERÍA ADMINISTRATIVA**, ha entregado en tiempo y forma el **SOFTWARE** a la empresa **FRICONGELADOS CITLALTEPETL S.A. DE C.V.**

Bajo la asesoría del **DR. EDUARDO ROLDAN REYES** profesor investigador del **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ORIZABA** cuya función es ser **DIRECTOR DE TESIS**.

Sirva la presente para los fines que convenga.

**FRICONGELADOS
"CITLALTEPETL"
S. A. DE C. V.**

ATENTAMENTE

ING. ERICK AGUILAR CASTILLO
GERENTE GENERAL
FRICONGELADOS CITLALTEPETL S.A. DE C.V.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Carolina Altmann. (s/f). Las Técnicas de Monitoreo de Condición, como herramienta del Mantenimiento Proactivo. Recuperado el 19 de mayo de 2017, de <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/tecnicas-monitoreo.pdf>
- Cordero Morales, D., Ruiz Constanten, Y., & Torres Rubio, Y. (2013). Sistema de Razonamiento Basado en Casos para la identificación de riesgos de software. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 7(2), 222–239.
- Cortés Islas, H. (2010). “DISEÑO DE UN ENTRENADOR MÉDICO PARA EL ÁREA DE NEONATOLOGÍA DEL HOSPITAL REGIONAL DE RIO BLANCO USANDO RAZONAMIENTO BASADO EN CASOS”. Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz.
- Crespo Marquez, A., & Gupta, J. N. D. (2006). Contemporary maintenance management: process, framework and supporting pillars. *Omega*, 34(3), 313–326. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.11.003>
- Damanpour, F., & Damanpour, J. A. (2001). E-business e-commerce evolution: perspective and strategy. *Manage. Financ.*, 16–33.
- Deere & Company. (2017). John Deere Construcción: Soporte al Producto Mantenimiento Basado en la Condición. Recuperado el 19 de mayo de 2017, de https://www.deere.com/es_LA/services_and_support/construction_product_support/construction_condition_based_maintenance/construction_condition_based_maintenance.page
- Deitel, P. J. (2016). *Java How To Program*, 10/E. PI.

- Eid, M., Frenkel, I., & Khvatskin, L. (2011). MSS Equivalent parameters assessment: maintenance management of refrigeration system. *Journal/ MESA*, 2(3), 299–309.
- Fernando Espinosa Fuentes. (2013). *CONCEPCION RCM MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD*.
- Gallardo, E., Carmen, M. del, & Ávila Ávila, R. (2008). Aplicaciones de la inteligencia artificial en la Medicina: perspectivas y problemas. *ACIMED*, 17(5), 0–0.
- Guardati. (2016). *ESTRUCTURAS DE DATOS BASICAS. PROGR.* (1st edition). Alfaomega.
- H. Cherkaoui, K. T. H., & A. Grall. (2016). On the Assessment of Performance and robustness of condition-based maintenance strategies. *IFAC papers online*.
- Jantunen, E., Emmanouilidis, C., Arnaiz, A., & Gilabert, E. (2011). e-Maintenance: trends, challenges and opportunities for modern industry. *IFAC Proceedings Volumes*, 44(1), 453–458. <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.02824>
- JColibri - An Object-Oriented Framework.pdf. (s/f).
- Joyanes. (2011). *Programacion En Java 6* (Edición: 1). MCGRAW HILL EDUCATION.
- Kolodner, J. L. (1992). An introduction to case-based reasoning. *Artificial Intelligence Review*, 6(1), 3–34. <https://doi.org/10.1007/BF00155578>
- López Ramos, L. A. (2017). *Sistema de mantenimiento basado en el conocimiento mediante razonamiento de casos*. Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz.
- Luz, J. R. de la, & ROBLES, G. C. (2011). *El mantenimiento basado en el conocimiento: fundamentos y aplicación: La capitalización de experiencias como eje rector del mantenimiento*. Editorial Académica Española.
- Mantenimiento Mundial. (2009). Mantenimiento Mundial. Recuperado el 19 de mayo de 2017, de <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/lubproact.asp>

- Manufactura Inteligente. (2015, octubre 11). FMEA- Failure Mode Effect Analysis. Recuperado el 19 de mayo de 2017, de <http://www.manufacturainteligente.com/fmea-failure-mode-effect-analysis/>
- Mejia Torres, J. J. (2014). *Creación de equipos auto-dirigidos en la empresa Fricongelados Citlaltepeltl, S.A. de C.V., para la implementación de un sistema de seguridad y mantenimiento industrial* (Reporte de residencias profesionales externas). Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz.
- Morales Huerta, R. (2013). “*DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO PARA DETERMINAR LOS INDICES DE ENERGÍA ESPECIFICA Y LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE UN HORNO RECUPERATIVO HEYE DURANTE EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE VIDRIO*”. Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz.
- Muller, A., Crespo Marquez, A., & Iung, B. (2008). On the concept of e-maintenance: Review and current research. *Reliability Engineering & System Safety*, 93(8), 1165–1187. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2007.08.006>
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1999). *Organizacion Creadora de Conocimiento, La*. México: Oxford University Press.
- Noria Latín América. (2016). CMCM-2017. Recuperado el 3 de abril de 2017, de <http://www.cmcm.com.mx/>
- Oliveira, M., Lopes, I., & Rodrigues, C. (2016). Use of Maintenance Performance Indicators by Companies of the Industrial Hub of Manaus. *Procedia CIRP*, 52, 157–160. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.071>
- Oswaldo, C. (2006). *Fundamentos De Programacion Piensa En C*. Pearson Consumo.

- Potes Ruiz, P. A., Kamsu-Foguem, B., & Noyes, D. (2013). Knowledge reuse integrating the collaboration from experts in industrial maintenance management. *Knowledge-Based Systems*, 50, 171–186. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2013.06.005>
- Rivera González, A., & Scheel Mayenberger, C. (2009). Utilización de las TIC y su impacto en la competitividad de las empresas latinoamericanas. *Revista Universidad y Empresa*, 16(January-June 2009), 71.
- Rumbaugh, J., Jacobson, I., & Booch, G. (2004). *The Unified Modeling Language Reference Manual*, (2 edition). Boston: Addison-Wesley Professional.
- Salazar, L. L. A. (2003, abril 21). Productividad en el mantenimiento de industrias manufactureras. Recuperado el 19 de mayo de 2017, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lii/arias_s_ll/portada.html
- Santiago García Garrido. (2016). INDICADORES EN MANTENIMIENTO. Recuperado el 18 de mayo de 2017, de <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/300-indicadores-en-mantenimiento>
- Vishnu, C. R., & Regikumar, V. (2016). Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study. *Procedia Technology*, 25, 1080–1087. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.211>
- Watson, I. (1997). *Applying Case-Based Reasoning: Techniques for Enterprise Systems*. San Francisco, Calif: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Zhang, Y., Andrews, J., Reed, S., & Karlberg, M. (2017). Maintenance processes modelling and optimisation. *Reliability Engineering & System Safety*, 168, 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.02.011>