Diseño de Prototipo para la Gestión del Mantenimiento Industrial para la empresa INGEFARM

Presentado por:
Juan Carlos Chaparro Vera
Código: 20202099005

Director: Sandro Javier Bolaños Castro
Revisor: John Jairo Londoño

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Especialización en Ingeniería de Software
Bogotá, Colombia
2021

Índice general

I CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 8

1. PROYECTO 9
1.1. Introduccion . . . 9
1.2. Planteamiento/Identificación del problema . . . 10
1.2.1. Planteamiento del problema . . . 10
1.2.2. Formulación del Problema . . . 10
1.2.3. Sistematización del Problema . . . 11
1.3. Objetivos de la Investigación . . . 12
1.3.1. Objetivo General . . . 12
1.3.2. Objetivos específicos . . . 12
1.4. Justificación de la Investigación . . . 13
1.4.1. Justificación práctica . . . 13
1.5. Hipótesis de Trabajo . . . 14
1.5.1. Hipótesis . . . 14
1.6. Marco Referencial . . . 15
1.6.1. Marco Teórico . . . 15
1.6.2. Marco conceptual . . . 20
1.7. Metodología de la investigación . . . 21
1.7.1. Tipo de Estudio . . . 21
1.7.2. Método de Investigación . . . 21
1.7.3. Técnicas y procedimientos para la recolección de la información . . . 21
1.7.4. Tratamiento de la información . . . 21
1.8. Alcances limitaciones y resultados esperados . . . 23
1.8.1. Alcances . . . 23
1.8.2. Limitaciones . . . 23
1.8.3. Resultados esperados . . . 23
1.9. Organización del trabajo de Grado . . . 24
1.10. Estudio de sistemas previos . . . 25

II DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN 27

2. INGEFARM 28
2.1. Especialista en Gerencia de Mantenimiento . . . 28

2.2. La Empresa IngeFarm 28
2.3. Proceso de Gestión de Mantenimiento de la empresa Ingefarm 30
2.4. Proceso de Gestión de Mantenimiento empresas colombianas 34
2.5. Consideraciones realizadas por el Especialista en Gerencia de Mantenimiento sobre el proceso descrito de Ingefarm 36

3. RCM **38**
3.1. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad 38
3.2. Descripción del Modelo RCM definido 42
3.3. Diagrama de flujo del Modelo RCM definido 48
3.4. Comparación modelo Ingefarm y modelo RCM definido con la investigación . 50

4. PROTOTIPO **52**
4.1. FuturaRCM 53
4.2. Construcción Base de datos para el prototipo FuturaRCM 54
4.2.1. Lógica de Negocio parametrización de Empresas, Sucursales, Áreas y levantamiento de inventarios de IngeFarm 54
4.2.2. Lógica de negocio creación de Funciones de Componentes, Fallas, Causas, Consecuencias y Acciones Preventivas 56
4.2.3. Lógica de negocio creación Tareas de Mantenimiento y Observaciones 57
4.2.4. Lógica de negocio creación de Usuarios, Roles y Permisos para ingresar a los Módulos de FuturaRCM 58
4.2.5. Valores parametrizados previamente 60
4.2.6. Procedimientos Almacenados y Consultas 61
4.3. Web API RESTful FuturaRCM 68
4.3.1. Autenticación Json Web Token 68
4.3.2. Arquitectura de Diseño 69
4.3.3. Interfaz 70
4.4. Metodología de Desarrollo 72
4.4.1. Roles creados para implementar XP 72
4.4.2. Herramientas de desarrollo 72
4.4.3. Historias de usuario 72
4.4.4. Entregas Simples 72
4.4.5. Ciclo de la metodología XP 73

5. Arquitectura Empresarial **74**
5.1. Amd 75
5.1.1. Misión de la Empresa IngeFarm 75
5.1.2. Visión de la Empresa IngeFarm 75
5.1.3. Principios de la Empresa IngeFarm 75
5.1.4. Objetivo General de la Empresa IngeFarm 75
5.1.5. Objetivo Específicos de la Empresa IngeFarm 75
5.2. Capa de Motivación 76
5.2.1. Vista de Stakeholder 76
5.2.2. Vista de Realización de Objetivos 77

5.2.3. Vista de Contribución de Objetivos . . . 77
5.2.4. Vista de Principios . . . 78
5.2.5. Vista de Realización de Requerimientos . . . 78
5.2.6. Vista de Motivación . . . 79
5.3. Capa de Estrategia . . . 80
5.3.1. Vista de Estrategia . . . 80
5.3.2. Vista de Mapa de Capacidad . . . 81
5.3.3. Vista de Realización de Resultado . . . 82
5.3.4. Vista de Mapa de Recursos . . . 83
5.4. Capa de Negocio . . . 84
5.4.1. Vista de Organización . . . 84
5.4.2. Vista de Cooperación de Actor . . . 85
5.4.3. Vista de Función de Negocio . . . 86
5.4.4. Vista de Proceso de Negocio . . . 87
5.4.5. Vista de Cooperación de Proceso de Negocio . . . 88
5.4.6. Vista de Producto . . . 89
5.5. Capa de Aplicación . . . 90
5.5.1. Vista de Comportamiento de Aplicación . . . 90
5.5.2. Vista de Cooperación de Aplicación . . . 91
5.5.3. Vista de Estructura de Aplicación . . . 92
5.5.4. Vista de Uso de Aplicación . . . 92
5.6. Capa de Tecnología . . . 93
5.6.1. Vista de Tecnología . . . 93
5.6.2. Vista de Uso de Tecnología . . . 93
5.6.3. Vista de Despliegue e Implementación . . . 94
5.6.4. Vista de Estructura de Información . . . 95
5.6.5. Vista de Realización del Servicio . . . 95
5.6.6. Vista Físico . . . 96
5.6.7. Vista de Capas . . . 97
5.7. Capa de Implementación . . . 98
5.7.1. Vista de Proyecto . . . 98
5.7.2. Vista de Migración . . . 98
5.7.3. Vista de Implementación/Migración . . . 99

III CIERRE DE LA INVESTIGACIÓN 100

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 101

7. CONCLUSIONES 102
7.0.1. Verificación, contraste y evaluación de los objetivos . . . 102
7.0.2. Síntesis del modelo propuesto . . . 102
7.0.3. Aportes originales . . . 103
7.0.4. Trabajos o Publicaciones derivadas . . . 103

8. PROSPECTIVA DEL TRABAJO DE GRADO **104**
8.0.1. Lineas de investigación futuras 104
8.0.2. Trabajos de Investigación futuros 104

IV BIBLIOGRAFÍA **105**

Índice de figuras

1.1. Fracttal Logo 25
1.2. Fracttal Software 25
1.3. EasyMaint Logo 25
1.4. EasyMaint Software 26
1.5. IngeFarm Software 26

2.1. Generación de Inventarios de Equipos y Fichas Técnicas 31
2.2. Generación Planes de Mantenimiento 32
2.3. Asignación tareas de mantenimiento 32
2.4. Ejecución plan de mantenimiento 33
2.5. Factores que más impactan en la gestión del mantenimiento en Colombia **Fuente:** Estudio del Arte del Mantenimiento ACIEM[2] 34
2.6. Edad de la maquinaria por tipo de empresa **Fuente:** Estudio del Arte del Mantenimiento ACIEM[2] 35

3.1. Modelo de proceso RCM con términos CRUD 48
3.2. Generación tareas de mantenimiento 49
3.3. Ejecución tareas de mantenimiento 49

4.1. Lógica de Negocio FuturaRCM 54
4.2. Lógica de Negocio FuturaRCM Parte 1 55
4.3. Modelo Relacional FuturaRCM Parte 1 55
4.4. Lógica de Negocio FuturaRCM Parte 2 56
4.5. Modelo Relacional FuturaRCM Parte 2 57
4.6. Lógica de Negocio FuturaRCM Parte 3 57
4.7. Modelo Relacional FuturaRCM Parte 3 58
4.8. Lógica de Negocio FuturaRCM Parte 4 59
4.9. Modelo Relacional FuturaRCM Parte 4 59
4.10. Consulta datos Empresa, Sucursales y Áreas 63
4.11. Consulta Equipos y Componentes 63
4.12. Consulta Componentes y Funciones 64
4.13. Consulta Funciones y tipo de Fallas 64
4.14. Consulta Fallas y Causa de las fallas 65
4.15. Consulta Fallas y Consecuencias 65
4.16. Consulta Fallas y Contrafallas 66
4.17. Consulta Planes de Mantenimiento 66

4.18. Modelo Web Api **Fuente:** techclub.tajamar.es 68
4.19. Implementación Api Login en software Postman 69
4.20. Distribución de capas en aplicación .Netcore FuturaRCM 69
4.21. Aplicación Visual Studio Core con el Plugin de Angular Material 70
4.22. Pantalla de Ingreso FuturaRCM 70
4.23. Pantalla Inicial 71
4.24. Pantalla Gestion Empresas 71
4.25. Ciclo de la metodología XP 73

5.1. Vista de Stakeholder 76
5.2. Vista de Realización de Objetivos 77
5.3. Vista de Contribución de Objetivos 77
5.4. Vista de Principios 78
5.5. Vista de Realización de Requerimientos 78
5.6. Vista de Motivación 79
5.7. Vista de Estrategia 80
5.8. Vista de Mapa de Capacidad 81
5.9. Vista de Realización de Resultado 82
5.10. Vista de Mapa de Recursos 83
5.11. Vista de Organización 84
5.12. Vista de Cooperación de Actor 85
5.13. Vista de Función de Negocio 86
5.14. Vista de Proceso de Negocio 87
5.15. Vista de Cooperación de Proceso de Negocio 88
5.16. Vista de Producto 89
5.17. Vista de Comportamiento de Aplicación 90
5.18. Vista de Cooperación de Aplicación 91
5.19. Vista de Estructura de Aplicación 92
5.20. Vista de Uso de Aplicación 92
5.21. Vista de Tecnología 93
5.22. Vista de Uso de Tecnología 93
5.23. Vista de Despliegue e Implementación 94
5.24. Vista de Estructura de Información 95
5.25. Vista de Realización del Servicio 95
5.26. Vista Físico 96
5.27. Vista de Capas 97
5.28. Vista de Proyecto 98
5.29. Vista de Migración 98
5.30. Vista de Implementación/Migración 99

Índice de cuadros

2.1. Cuestionario SGMI 30

3.1. Consecuencias y prioridades de las fallas 44
3.2. Tipo de tareas en RCM 45
3.3. Estados de las tareas de mantenimiento 46
3.4. Comparación Procesos IngeFarm-RCM 50
3.5. Comparación Fortalezas IngeFarm-RCM 50
3.6. Comparación Debilidades IngeFarm-RCM 51

4.1. Tabla CIUDADES 60
4.2. Tabla TIPOSDOCUMENT 60
4.3. Tabla ROLES 60
4.4. Tabla MODULOS 60
4.5. Tabla ESTADOSEQUIPOS 60
4.6. Tabla ESTADOSTAREAMTOS 60
4.7. Tabla EVALUATAREAS 61
4.8. Tabla TIPCONSECUENCIAS 61
4.9. Tabla TIPOSTAREAS 61

Parte I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Capítulo 1

PROYECTO

1.1. Introduccion

En Colombia la mayoría de empresas poseen equipos industriales que son la columna vertebral de sus negocios, estos equipos están dispuestos a manera de línea de producción y otras veces en áreas independientes, cuando un equipo tienen una falla se hace imposible que no afecte los procesos de producción de la compañía, es por esto que algunas empresas no solo les realizan un mantenimiento rutinario, si no que le dan la seriedad a este proceso a tal grado que implementan un sistema de gestión que integra a todas las áreas que poseen un tipo de vinculación con el equipo industrial.

Durante una charla con un colega Ingeniero Mecánico, me señalo algunos problemas que había tenido en su empresa por malos procesos de mantenimiento y la manera como veía que mes a mes le aumentaba el costo económico de este proceso, en ese momento recordé parte de las enseñanzas que tuve durante mi formación como Ingeniero y le sugerí revisar el proceso de mantenimiento que estaba realizando en su compañía, solicitándole me permitiera analizarlo en conjunto con él, de esta manera nace esta investigación.

Con la siguiente investigación quiero comprender como la empresa IngeFarm se está viendo afectada al no implementar procesos de gestión de mantenimiento, así mismo quiero definir si es posible que este problema lo estén teniendo algunas otras empresas colombianas, también pretendo actualizar mis conocimientos sobre el mantenimiento total productivo (TPM) complementándolo con las teorías mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y con este nuevo conocimiento diseñar un Modelo de Gestión llevándolo a un prototipo de software, que podrá ser utilizado como una herramienta que ayude y en lo posible corrija varias necesidades o problemas que enfrentan actualmente algunas empresas en Colombia.

La investigación la hare basado inicialmente en los conocimientos propios que adquirí en mi formación como Ingeniero Mecánico, así mismo tendré como guía de mi estudio, los procesos de mantenimiento de la empresa INGEFARM que se dedica a la fabricación de equipos para el sector de la industria farmacéutica, también contare con la asesoría de un Especialista en Gerencia de Mantenimiento Industrial quien me guiara en las necesidades actuales de la industria y que deberé tener en cuenta para el desarrollo de mi prototipo.

1.2. Planteamiento/Identificación del problema

1.2.1. Planteamiento del problema

Según el autor A. Kelly [5] un sistema de Gestión de Mantenimiento Industrial (GMI) es la dirección y organización de recursos para controlar la disponibilidad y funcionamiento de la plata industrial a un nivel especifico. Algunas empresas colombianas especialmente las pequeñas y medianas no poseen procesos definidos de GMI, en ciertos casos no poseen un área exclusiva que lo realice y existen escenarios donde el mantenimiento industrial lo ejecuta un técnico que aunque está capacitado en el ajuste del equipo, no lo está en la gestión en sí de realizar mantenimiento industrial

Estas situaciones descritas son producidas en su mayoría por no conocer que existen filosofías, modelos, normas o expertos que se encargan de definir o guiar en la manera como se debe gestionar correctamente el mantenimiento de un equipo industrial, en otros casos se producen porque la empresa no cuenta con los recursos tanto económicos como de infraestructura para implementarlos y algo que es muy común en la empresas que no tiene un sistema de GMI, es la falta de capacitación en temas como gestión laboral, financiera, legal, humana, como un complemento a la función técnica del personal.

Si estas empresas no implementan y se capacita en procesos de gestión de mantenimiento industrial ordenados, con bases técnicas que les permita evaluar y retroalimentarse con los resultados obtenidos, puede tener fallas o paradas continuas en los equipos y en el peor de los casos un daño terminal que afecte toda su operación, en un panorama económico si no se controla el proceso de mantenimiento se puede presentar compra de repuestos que no se necesitan, aumento de personal externo a la compañía que soluciones problemas graves y dificultad en los procesos de producción lo que conlleva a perdida de clientes

Una de estas empresas es INGEFARM, que aunque implementa ciertos niveles de GMI en sus equipos, no posee un modelo alienado a filosofías de mantenimiento que le permita medir, programar y evaluar la gestión que realiza y tal como se demostrado esto le ha generado aumentos en los costos, consecuencias en la calidad de sus productos, demora en sus proceso de fabricación y pérdida de clientes, si no inician la implementación de un proceso que satisfaga esta necesidad aumentaran los gastos de producción y no podrán competir en su mercado siendo superados por sus competidores Al desarrollar mi investigación y crear un modelo de gestión de mantenimiento industrial acorde a las necesidades actuales del mercado y lograr llevarlo a un prototipo de software, podría implementarlo en empresas con las características de INGEFARM EU evitándoles así las dificultades o problemas que están tenido por no contar con una herramienta como esta.

1.2.2. Formulación del Problema

¿Qué aspectos de la gestión de mantenimiento industrial debo conocer y profundizar para lograr definir un modelo de gestión de mantenimiento industrial que pueda llevar a un prototipo de software y que le permitiría a empresas como IngeFarm disminuir costos de

producción y mejorar la calidad de sus procesos productivos?

1.2.3. Sistematización del Problema

¿Cómo puedo comprobar que el proceso de mantenimiento que ejecuta IngeFarm no es adecuado y le está generando problemas operativos?

¿Cómo puedo generar más calidad en el producto final de una empresa que fabrica equipos industriales al implementar un proceso de gestión de mantenimiento?

¿Cómo puedo llevar un modelo de gestión de mantenimiento a una aplicación de Software para implementarlo en una compañía?

¿Qué características debería tener un modelo de gestión de mantenimiento industrial que permita ser implementado de forma rápida y paralelo a la operación en una empresa?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Definir un modelo de gestión de mantenimiento industrial que pueda llevar a un prototipo de software que lo sintetice con el fin de que sea implementado por empresas que realicen mantenimiento industrial tales como IngeFarm.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estudiar y conocer los procesos de gestión de mantenimiento que se implementan actualmente en el país, con la asistencia un especialista en Gerencia de Mantenimiento industrial que desarrolla esta actividad con el fin de definir un modelo de gestión de mantenimiento
- Investigar los procesos de mantenimiento que realiza la empresa INGEFARM por medio de visitas directas a la empresa, entrevistas a algunos de sus empleados y directivos con el fin de definir las necesidades que tiene esa compañía y que podría solucionar implementando mi modelo
- Diseñar un modelo de gestión de mantenimiento industrial teniendo como herramienta los resultados de esta investigación para implementarlo en el prototipo de un software

1.4. Justificación de la Investigación

1.4.1. Justificación práctica

Para definir un modelo de gestión de mantenimiento es necesario conocer y estudiar las normas técnicas actuales que estandarizan parte de estos procesos [4], así mismo es necesario evaluar con expertos la forma en que se deben implementar al interior de una compañía generándoles herramientas de diagnóstico, evaluación y reduciendo las fallas.

Con la implementación de un software que haya sido construido sobre un modelo de gestión de mantenimiento industrial elaborado con base en los requerimientos que sugieren algunas normas técnicas y los conceptos de un especialista en Gerencia de Mantenimiento industrial, permitiría a las empresa reducir los daños en sus equipos, disminuir el rublo invertido en la realización de sus operaciones de mantenimiento, así como llevar una hoja de vida de los mismos, dándoles un valor agregado como lo es la calidad a sus productos .

1.5. Hipótesis de Trabajo

1.5.1. Hipótesis

Entender cuáles son las metodologías de gestión de mantenimiento industrial actuales, ayudara a definir ir un modelo basado en estas filosofías, lo que permitiría implementarlas en un prototipo de software que muchas empresas podrán usar en sus procesos actuales. Contar con la asesoría de un especialista en Gerencia de Mantenimiento Industrial puede complementar de forma importante este modelo de gestión y garantizaría la confiabilidad de la aplicación

1.6. Marco Referencial

1.6.1. Marco Teórico

Gestión de mantenimiento industrial

Según el estándar británico BS-3811 se define Mantenimiento como "La combinación de todas las acciones técnicas y administrativas asociadas tendientes a conservar un ítem o restablecerlo a un estado tal que pueda realizar la función requerida"

Evolución del Mantenimiento Industrial

John Mitchell Moubray fue un ingeniero mecánico que nació el 02 de Febrero de 1949 en Sudáfrica y murió en enero de 2004, Moubray paso la mayor parte de su carrera implementando sistemas de gestión de mantenimiento primero como ingeniero de planta y luego como consultor. A principios de los años 80, inicio la aplicación industrial del proceso RCM Reliability Centered Maintenance" (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), llevándolo a escribir algunos libros especializados en RCM tales como "RCM II" el cual fue traducido al español por Ellmann, Sueiro y Asociados y del cual el ingeniero Colombiano Carlos Mario Pérez Jaramillo también realizo una adaptación al español y la ha presentado en varias de sus conferencias [9]

En su libro RCM II [6], Moubray definió cuatro generaciones del mantenimiento así:

Primera Generación (1930 a inicio de la segunda guerra mundial): Los equipos se fabricaban sobredimensionados o robustos para que fallaran poco y solo se intervenían si fallaban (Mantenimiento Correctivo).

Segunda Generación (Segunda Guerra mundial a finales de 1960): Hay mucha necesidad de equipos, debido a esto se implementan prácticas de inspección periódica para evitar lo más posibles las fallas, así mismo se implementan los primeros procesos de control automatizados debido a la poca mano de obra a causa de las guerras (Mantenimiento preventivo).

Tercera Generación (Finales de los Años 70 hasta los años 90): Existen muchos avances en la automatización industrial y en la tecnología, se empieza a hablar de lo mucho que afecta a la producción la para o fallos de los equipos, se implementan conceptos de calidad, los diseños de los equipos se realizan de tal forma que permitan ser restaurados o corregidos y que tengan una vida útil mínima (Mantenimiento total productivo o TPM).

Cuarta Generación (Finales de los años 90 hasta la actualidad): Se crean métodos de mantenimiento cuya finalidad es prevenir las fallas y tiempos de para de los equipos, se le da muchas trascendencia a aumentar la vida útil de un equipo, a minimizar los riesgo de fracaso y a cuidar el medio ambiente (mantenimiento basado en el riesgo o RBM).

El ingeniero mecánico Colombiano Oliverio García Palencia en su libro "Gestión Moder-

na del Mantenimiento Industrial" [7] nos señala que el mantenimiento industrial "son todas las actividades que se deben desarrollar en un orden lógico con el propósito de conservar en condiciones de operación segura, efectiva y económica los equipo de producción, herramientas y demás activos físicos de las diferentes instalaciones de una empresa"

El ingeniero Palencia en el desarrollo de su libro nos resalta la importancia de un buen mantenimiento industrial cuyo principal fin es "la conservación del servicio" es decir, se le realiza mantenimiento a un equipo para garantizar que la función que desempeñe se cumpla a cabalidad.

Dentro de la gestión del mantenimiento industrial es necesario hablar de sus principales metodologías las cuales son:

Mantenimiento Correctivo: Son todas las actividades que se realizan sobre equipos, maquinas o instalaciones, para corregir las causas por las cuales dejaron de prestar la calidad del servicio para la cual fueron diseñados a razón de una falla, es decir tiene como fin la recuperación inmediata de la calidad del servicio [7].

Mantenimiento Preventivo: Son todas las actividades que se realizan sobre equipos, maquinas o instalaciones antes que se presente una falla o imprevisto en ellos, permitiendo continuar con su labor de una forma eficiente y segura [7].

Mantenimiento Predictivo: Es el conjunto de actividades programadas para detectar fallas en los activos físicos antes de que sucedan y sin que afecte la operación, es decir se realizan mientras el equipo está en funcionamiento, utilizando par esto equipos de diagnóstico y pruebas no destructivas, tales como ultrasonidos, radiografías, termografía, análisis de lubricantes entre otras [7].

Es de la implementación de estas tres metodologías ya sea en conjunto o de forma independiente, que nacen estrategias modernas de mantenimiento industrial, tales como:

- Mantenimiento total productivo (TPM)
- Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
- Optimización del mantenimiento planeado (PMO)
- Optimización integral del mantenimiento (MIO)

Mantenimiento total productivo (TPM)

El Mantenimiento total productivo (TPM) se puede definir como una filosofía de mantenimiento la cual tiene como fin ser un medio para lograr la reducción de los costos de producción, teniendo como objetivo la máxima eficacia entre el hombre y el sistema de producción [10]

Las principales tareas o funciones que existen en TPM son:

- Aseguramiento de la calidad de los productos
- Mantenimiento de los sistemas de producción
- Logística interna
- Relaciones directas con los proveedores y clientes
- Planes de formación del personal
- Progreso continuo
- Participación de nuevos proyectos

Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

RCM se llama Mantenimiento centrado en la Confiabilidad porque se basa en que los activos físicos no pueden lograr mayor confiabilidad que la que da, cada uno de los componentes que lo integran y que es señalada por sus diseñadores o creadores.
El RCM se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen [6], teniendo en cuenta esto, al implementar RCM es necesario realizar unas preguntas cuya respuesta permitirá señalar que el elemento evaluado es confiable, estas preguntas son:

- ¿Cuáles son las funciones?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Qué causa que falle?
- ¿Qué sucede cuando falla?
- ¿Qué ocurre si falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?
- ¿Qué sucede si no puede prevenirse la falla?

Al resolver esta preguntas se puede garantizar una vida útil del equipo más larga, así mismo se pueden crear planes de mantenimiento más efectivos ya que evitan intervenciones preventivas que pueden afectar la producción.

Optimización del mantenimiento planeado (PMO)

El sistema de Optimización de Mantenimiento Planeado (PMO) es un método diseñado para revisar los requerimientos de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos en operación [7]. El principal objetivo del PMO es la mejora continua de sus métodos, esto se logra con el análisis de cada tarea y la falla que pueda presentar, para que esto se logre es necesario capacitar al personal que realiza de primera mano el mantenimiento en técnicas de análisis y motivarlos para que sean ellos los que ayuden a dar el paso a una

mejora continua
Como he señalado para que el PMO de pueda implementar de una manera correcta es necesario utilizar una serie de herramientas que permitan evaluar las fallas y los activos de la operación según el ingeniero Palencia las más utilizadas actualmente son:

- Análisis de la criticidad
- Análisis de los modos y efectos de fallas
- Análisis causa raíz
- Análisis del costo riesgo beneficio
- Costo del ciclo de vida
- Análisis de la confiabilidad operacional

Optimización integral del mantenimiento (MIO)

Según el artículo publicado en la revista Clepsidra de la universidad Autónoma de Colombia, por el ingeniero Palencia, el MIO propende la filosofía de la optimización integral de activos siempre en función de la orientación del negocio y el plan estratégico de la compañía, todo esto dentro de un marco global integral y estructurado [8]. Con esto se busca que las acciones que tomen todas las áreas de una compañía maximicen y mejoren los resultados de la gestión de mantenimiento, sin embargo para que esto sea posible es necesario contar como mínimo con la integración de las siguientes áreas:

- Gestión de Talento Humano
- Definición de estrategias
- Optimización de activos físicos
- Definición de estrategias

Gestión del Mantenimiento industrial

Basados en la definición del término "Mantenimiento Industrial" podemos señalar algunas actividades que hacen parte de la gestión del mantenimiento:

- Evaluar el estado y funcionamiento de los equipos
- Prevenir y corregir fallos de los equipos
- Establecer que equipos tendrán prioridad para ejecutarles algún tipo de mantenimiento
- Establecer tareas, actividades y tiempos promedios para realizar un mantenimiento
- Organización del recurso humano que ejecutara el mantenimiento

- Ejecutar los planes de mantenimiento definidos

Los autores como John Mitchell Moubray , Francisco Javier Gonzales Fernández [4] y el Ingeniero Colombiano Oliverio García Palencia [7] entre otros, quienes con sus investigaciones nos dan pautas para maximizar la eficiencia de la gestión mantenimiento industrial, coinciden en la ejecución de un ciclo del mantenimiento que se deben implementar de la siguiente manera:

- Controlar
- Planificar
- Organizar
- Implementar

Es basado en estos cuatro procesos que estos autores definen variables específicas que se deben evaluar y ejecutar para realizar correctamente la gestión del mantenimiento industrial, Sin embargo estas variables no son obligatorias para todas las compañías ya que el mantenimiento industrial se realiza acorde al entorno de la compañía, las herramientas que posee, al mantenimiento que sugiere el fabricante de los equipos que utiliza y a las condiciones físicas y económicas que posee la empresa.
Algo muy importante que se resalta en las teorías de estos autores es que la empresa debe implementar como mínimo lo siguiente:

- Debe reconocer que existe una necesidad de realizar gestión de mantenimiento industrial
- Tener un inventario de los equipos o maquinas que utilizan, de esta manera hay un mayor conocimiento técnico de ellos
- Realizar constante capacitación al personal que realiza los mantenimientos y que todos comprendan de la misma manera el modelo de gestión que utiliza la empresa
- Registrar las fallas de los equipos, con esto se logra evaluar los posibles riesgos y que todo el personal esté al tanto de estas inconsistencias o que las pueda consultar posteriormente
- Evaluar y controlar los costos que implica realizar un mantenimiento industrial, no solo económico sino en repuestos, de esta manera se pueden disminuir las consecuencias sin perder calidad en la ejecución
- lanear y programar la ejecución del mantenimiento de esta manera la producción estará involucrada y al tanto de una posible para de equipo y así mismo los daños por corrección serán mucho menos impactantes

1.6.2. Marco conceptual

Los autores como John Mitchell Moubray , Francisco Javier Gonzales Fernández [4] y el Ingeniero Colombiano Oliverio García Palencia [7] entre otros, con sus investigaciones nos dan pautas para maximizar la eficiencia de la gestión mantenimiento industrial y nos plantean la gestión de mantenimiento industrial como un ciclo integrado por procesos y variables, alguna de estas variables o términos para tener en cuenta serian:

- Mantenimiento Correctivo: es el mantenimiento en el cual se corrigen los errores de los equipos conforme van apareciendo [5]
- Mantenimiento Preventivo: es la intervención del equipo, aun si no ha presentado fallas, el objetivo es planear la ejecución oportuna del equipo antes de necesitar una reparación seria [5]
- Mantenimiento Predictivo: es un mantenimiento que se realiza basado en variables puntuales del equipo tales como vibraciones consumo de energía, temperaturas entre otros, cuando una de estas variables esta por fuera de un rango normal se verifica para evitar que pueda fallar definitivamente más adelante [5]
- Mantenimiento overhaul: en este mantenimiento el equipo se para totalmente reemplazando partes y dejando el equipo casi totalmente nuevo, permite alargar la vida del equipo, pero puede parar la producción por lo que debe ser altamente controlado y planeado
- Mantenimiento en Caliente: este tipo de mantenimiento no requiere mucho conocimiento técnico ya que solo se realizan tareas normales de limpieza y es ejecutada generalmente por el operario del equipo quien también busca visualmente encontrar posibles defectos que hagan fallar el equipo más adelante.
- Controlar: es un proceso que hace parte del ciclo de mantenimiento y que busca realizar la evaluación de los equipos y el levantamiento de inventarios y medidas que ayuden en la planeación del mantenimiento
- Planificar: en este proceso se busca definir los objetivos del mantenimiento y la prioridad de cada intervención
- Organizar: en este proceso se definen las tareas y se elige el personal que la realizara, se coordinan las tareas entre las áreas que realizaran el manteamiento
- Implementar: en este proceso se ejecuta el plan de mantenimiento y se registran los resultados para iniciar nuevamente el ciclo con el proceso de Control
- Tiempo de para o parada: Es el tiempo que requiere un equipo para estar fuera de operación mientras se le realiza una reparación o un mantenimiento

1.7. Metodología de la investigación

1.7.1. Tipo de Estudio

El tipo de estudio que llevare a acabo en esta investigación es de tipo Descriptivo, ya que durante su desarrollo definiré los procesos y variables que tendré en cuenta para diseñar mi prototipo de software, definiré un proceso el cual describirá la operación ordenada que se debe ejecutar para realizar gestión de mantenimiento industrial, todo está investigación se complementará con los resultados de la revisión de los procesos de mantenimiento que realiza la empresa INGEFARM.

1.7.2. Método de Investigación

El método de investigación será el de Análisis, ya que aunque hay muchas teorías, filosofías o modelos para realizar gestión de mantenimiento industrial, es necesario definir el proceso de acuerdo a la empresa que lo va a implementar, al país y la normatividad que lo rija y a la capacidad técnica o económica de la empresa, por lo anterior es necesario identificar cada uno de los procesos que realizan al interior las empresas colombianas y junto a la teoría propuesta por algunos autores definir las variables que más se acerquen a homologar y unificar sus procedimientos, con el objetivo que pueda ser implementado por cualquiera de ellas.

1.7.3. Técnicas y procedimientos para la recolección de la información

La principal fuente de la investigación la realizare basado en las teorías propuestas por algunos autores como John Mitchell Moubray, Francisco Javier Gonzales Fernández y el Ingeniero Colombiano Oliverio García Palencia entre otros, que definen los principales procesos que se debe implementar al realizar gestión de mantenimiento industrial, así mismo realizare un levantamiento de los procesos que realizan para ejecutar gestión de mantenimiento industrial los técnicos de la empresa INGEFARM, por ultimo con ayuda de un especialista en Gerencia de Mantenimiento Industrial realizare un modelo de gestión basado en sus conocimiento a manera de diagrama de flujo de proceso.
Como fuente secundaria tendré libros especializados en el tema, así como artículos tecnológicos que me permitan estar actualizado con las técnicas actuales que se implementan en otros países

1.7.4. Tratamiento de la información

Con el diagrama de flujo de proceso propuesto por el especialista en Gerencia de Mantenimiento y el diagrama definido basado en los autores señalados, unificare las ideas que según mi investigación se deban implementar generando un solo modelo de flujo, este modelo

lo comparare con el proceso descrito por la empresa INGEFARM y que obtendré basado en entrevistas a sus empleados y estadísticas dadas por su gerente, para evaluar cuales son las variables que no ha tenido en cuenta esta compañía y cuáles serán las que definitivamente debe llevar el prototipo resultado de la investigación.
La información definitiva obtenida de estas tres fuentes la presentare a manera de diagrama de flujo y de esta forma será más fácil llevarla a un prototipo de software ya que se podrá identificar la lógica del procedimiento y cada uno de sus actores

1.8. Alcances limitaciones y resultados esperados

1.8.1. Alcances

Con la presente investigación se definirán un proceso de gestión de mantenimiento industrial, el proceso se basara en algunas de las actividades de mantenimiento que señala el autor John Mitchell Moubray en su libro "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad" [6] y en los hallazgos obtenidos durante esta investigación
El modelo de este proceso será utilizado para diseñar un prototipo de software que lo plasme y sistematice

1.8.2. Limitaciones

Aunque el modelo que se definirá tiene la intención de ser implementado en cualquier empresa colombiana que tenga la necesidad de un proceso de gestión de mantenimiento industrial, los procesos de estudio solo serán los desarrollados por la empresa INGEFARM dado solución a las necesidades encontradas durante la observación de los procesos de esta empresa.

1.8.3. Resultados esperados

Como resultado final tendré un modelo de gestión de mantenimiento industrial, con esto podre aumentar mis conocimientos en los diferentes procesos de gestión de mantenimiento industrial y confirmare esto con el diseño de un prototipo de software que implemente lo más importante del modelo

1.9. Organización del trabajo de Grado

La presente investigación está desarrollada en tres capítulos en donde inicialmente y con base en lo señalado en el marco referencial, se realiza un análisis de los procesos de la empresa IngeFarm, en el segundo capítulo se explica la estrategia de gestión que se escogió basado en los resultados del análisis y según las recomendaciones del especialista en Gerencia de Mantenimiento, en el tercer capítulo se señalan las características que tendría el prototipo de software basado en el modelo de la estrategia definida

1.10. Estudio de sistemas previos

Teniendo en cuenta que el tipo de estudio que se está desarrollando es investigativo por medio de un análisis a los proceso de la empresa IngeFarm, no se podría definir que haya existido un modelo diferente a los explicados en el marco referencial, sin embargo y como unos de los objetivos de esta investigación es realizar un prototipo de software basado en el modelo propuesto de gestión de mantenimiento, a continuación se señalan algunos software existentes en el mercado que ayudan a implementar estos proceso de gestión.

Fracttal One

Figura 1.1: Fracttal Logo

Software de gestión de mantenimiento y activos físicos, diseñado bajo la norma ISO 55000, permite registrar, catalogar y dar de alta activos, posee un módulo de confiabilidad basado en fallas, este software reúne parte del mantenimiento preventivo y parte de la estrategia RCM, posee la opción de tener la información guardada en la nube, su precio según la página web de la compañía está en el orden de los €485 o al mes, su casa matriz se encuentra en Panamá

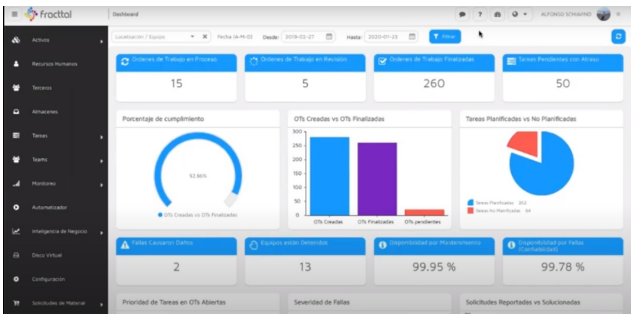


Figura 1.2: Fracttal Software

EasyMaint

Figura 1.3: EasyMaint Logo

Software para la Gestión del Mantenimiento Industrial que combina las prácticas de mantenimiento, permute controlar el mantenimiento de equipos y costos asociados del trabajo, ofrece una Gestión del Mantenimiento Preventivo, Predictivo y Correctivo, Mantenimiento Productivo Total (TPM), Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Administración de Órdenes de Trabajo, Administración de Inventarios y Compras, Amplia información de Costos de Mantenimiento, Reportes y Análisis de Fallas e Indicadores de Mantenimiento. Además podrá implementar el plan maestro de mantenimiento a través de un calendario anual de mantenimiento preventivo, posee una interfaz amigable sin embargo su instalación es de tipo cliente servidor en paralelo con una base de datos que puede ser Access o SQL Server tiene un costo de USD1500 al mes, su casa matriz se encuentra en México

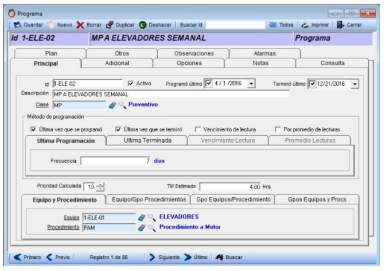


Figura 1.4: EasyMaint Software

Software libre de Gestión de mantenimiento IngeFarm

Actualmente es el software con el que IngeFarm genera sus planes de mantenimiento, está diseñado y basado en hojas de Excel con una interfaz de manejo en Visual Basic, permite generar un inventario de equipos y crear planes de mantenimiento de tipo preventivo para cada activo, posee un módulo para ingresar los proceso de mantenimiento correctivo y un último que permite generar una estadística de los equipos intervenidos



Figura 1.5: IngeFarm Software

Parte II

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Capítulo 2

INGEFARM

2.1. Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Para el desarrollo de esta investigación se conto con la ayuda y la asesoría del Ingeniero Mecánico Alberto Ávila Moreno egresado de la Fundación los Libertadores y Especialista en Gerencia de Mantenimiento de la universidad Industrial de Santander.
El ingeniero Ávila tiene experiencia en diseño y ejecución de procesos de mantenimiento industrial para empresas como:

- Laboratorio farmacéutico Quirumedicas . Jefe de mantenimiento.
- Laboratorio farmacéutico syntofarma . ING de mantenimiento.
- Productos químicos panamericanos .Jefe de mantenimiento.
- Cosmeticos Vogue . Jefe de mantenimiento
- Laboratorio natural Fresly. Jefe de mantenimiento.
- Laboratorio Opharm .Jefe de mantenimiento

Para el desarrollo de esta investigación nos referiremos a él como Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

2.2. La Empresa IngeFarm

Tal como se ha señalado en el Estudio del problema de la Investigación, muchas empresas colombiana especialmente las Pequeñas y Micro [3], que se dedican a la fabricación o mantenimiento de equipos industriales, no poseen o no implementan procesos de Gestión de Mantenimiento Industrial (GMI), algunas razones para que esto suceda fueron explicadas por la Asociación Colombia de Ingenieros ACIEM en una investigación que realizaron en el año 2009 y llamaron "Estudio Estado del Arte Mantenimiento en Colombia" [2], en este estudio señalaron lo siguiente:

- En la mayoría de empresas existe la tendencia a la tercerización de servicios de mantenimiento especializados, esto a razón que existe grandes ofertas confiables en el mercado, que además de ofrecer el servicio de mantenimiento, ofrecen certificación de calidad que pueden ser trasmitidas a los clientes de la empresa contratante.

- La mayoría de empresas que poseen sistemas de gestión de mantenimiento especializados, han tenido que capacitar a su personal en temas como gestión laboral, financiera, legal, humana, como un complemento a la función técnica, esto genera unos costos adicionales que limitan a esta implementación en empresas con baja capacidad económica

- La mayoría de inversiones que realizan las empresas cuando van creciendo lo realizan a la mejora de las instalaciones, lo que limita o posterga el rublo que asignan a programas de formación o gestión

- Muchas empresas inician en la gestión del mantenimiento implementado la utilización de software para mantenimiento desarrollado por especialistas externos, sin embargo la capacitación en el manejo de estas aplicaciones no tiene la misma prioridad, además que estas aplicaciones no tiene un desarrollo intuitivo que facilite a los usuarios su uso lo que genera que en algunos momento no se aprovechen en su totalidad

Una de las empresas colombianas que ha presentado algunas de estas dificultades para implementar un proceso de GMI es INGEFARM.

INGEFARM es una empresa colombiana fundada el 26 de Junio de 2008 por el Ingeniero Mecánico Oscar Alvarado Ballén, su actividad económica se basa en el mantenimiento, diseño y fabricación de equipos de producción farmacéutica, cosméticos y de alimentos.

En su trayectoria esta empresa ha prestado sus servicios a compañías muy reconocidas en el país tales como Laboratorios Natural Freshly, Laboratorios Dekaemd, Laboratorio homeopático London, Natural Pharma, Almapal, Laboratorios Bontal entre otros. Como podemos ver INGEFARM está vinculado con clientes muy reconocidos los cuales a su vez poseen y deben cumplir con certificaciones, estándares y reglamentos especiales tanto nacionales como internacionales para desempeñarse en la industria farmacéutica, tales como BPM (buenas prácticas de manufactura), GDP (Buenas prácticas de distribución) y requisitos normativos exigidos por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (IMVIMA) como por ejemplo lo señalado en el Artículo 2.5.3.10.8 Requisitos del servicio farmacéutico, Artículo 2.5.3.10.12 Sistema de Gestión de la Calidad o el Artículo 2.5.3.10.13 Modelo de gestión entre otros.

Para lograr cumplir con estos requerimientos y alcanzar estas certificaciones, las empresas farmacéuticas deben contar no solo con procesos de producción certificados, si no con equipos de manufactura calibrados y certificados, lo que obliga a los fabricantes como INGEFARM a mejorar y elevar la calidad de sus procesos de fabricación

2.3. Proceso de Gestión de Mantenimiento de la empresa Ingefarm

No se puede definir un Sistema de Gestión de Mantenimiento Industrial como el proceso de realizar un mantenimiento ya sea de tipo correctivo, preventivo o predictivo a los equipos que pueda tener en mi empresa, según el autor A. Kelly [5] un sistema de GMI es la dirección y organización de recursos para controlar la disponibilidad y funcionamiento de la plata industrial a un nivel especifico, es decir que compromete a casi todas la áreas y personal de una compañía, así mismo se puede concluir que el responsable de esta gestión debe poder determinar el tamaño y la carga de trabajo de mantenimiento y la organización y control de personal, repuesto y equipos necesarios para responder a esta carga.

Para lograr definir si Ingefarm posee o no un sistema de GMI se preparó un cuestionario con afirmaciones que según lo contempla las metodologías de mantenimiento tales como TPM, RCM, PMO o MIO según el Ingeniero Oliverio García debería tener un sistema de este tipo [7], se solcito al Gerente de Mantenimiento de Ingefarm que lo resolviera colocándole una calificación de 1 a 5, donde 5 señala que Ingefarm cumple completamente con la afirmación y 1 no cumple, a cada una de estas preguntas, el resultado de esta encuesta fue el siguiente:

Cuadro 2.1: Cuestionario SGMI

ITEM	AFIRMACION	CALIFICACION
1	Ingefarm posee un proceso de gestión de mantenimiento industrial	3
2	Se tiene un inventario completo y actualizado de los equipos que se utilizan en los proceso de fabricación	4
3	Los roles de los técnicos de mantenimiento como por ejemplo electricista, mecánico, electrónico están asignados al personal que implementa el proceso de mantenimiento de los equipos	2
4	Se tiene una hoja de vida que incluya las fallas que ha presentado los equipos desde su adquisición por parte de Ingefarm	2
5	Se tiene un plan de mantenimiento donde esté definido que se debe hacer y las fechas en que se debe ejecutar para cada equipo de la empresa	2
6	Existe alguna base de datos con la bitácora de las fallas de los equipos que permita decidir o valorar el momento en que se deba realizar el mantenimiento a un equipo	2
7	Se tiene una base de datos con la información de los repuestos que podría necesitar un equipo si presenta alguna falla	3
PROMEDIO		2.6

Al tener un promedio de 2.6 el total de la calificación del cuestionario, se puede concluir que aunque bien Ingefarm posee las bases para iniciar con su implementación, No posee un

Sistema de GMI.

Teniendo en cuenta que el Gerente de Mantenimiento de Ingefarm para la afirmación 1 le asigno una calificación de 3 señalando que si existe un sistema de GMI y que en los otros dio una calificación mayor a 1 señalando que de alguna manera si existe una gestión administrativa, se validó con el esta respuesta y nos describió el proceso que ellos ejecutan. Con esta información se generó los siguientes mapas de procesos:

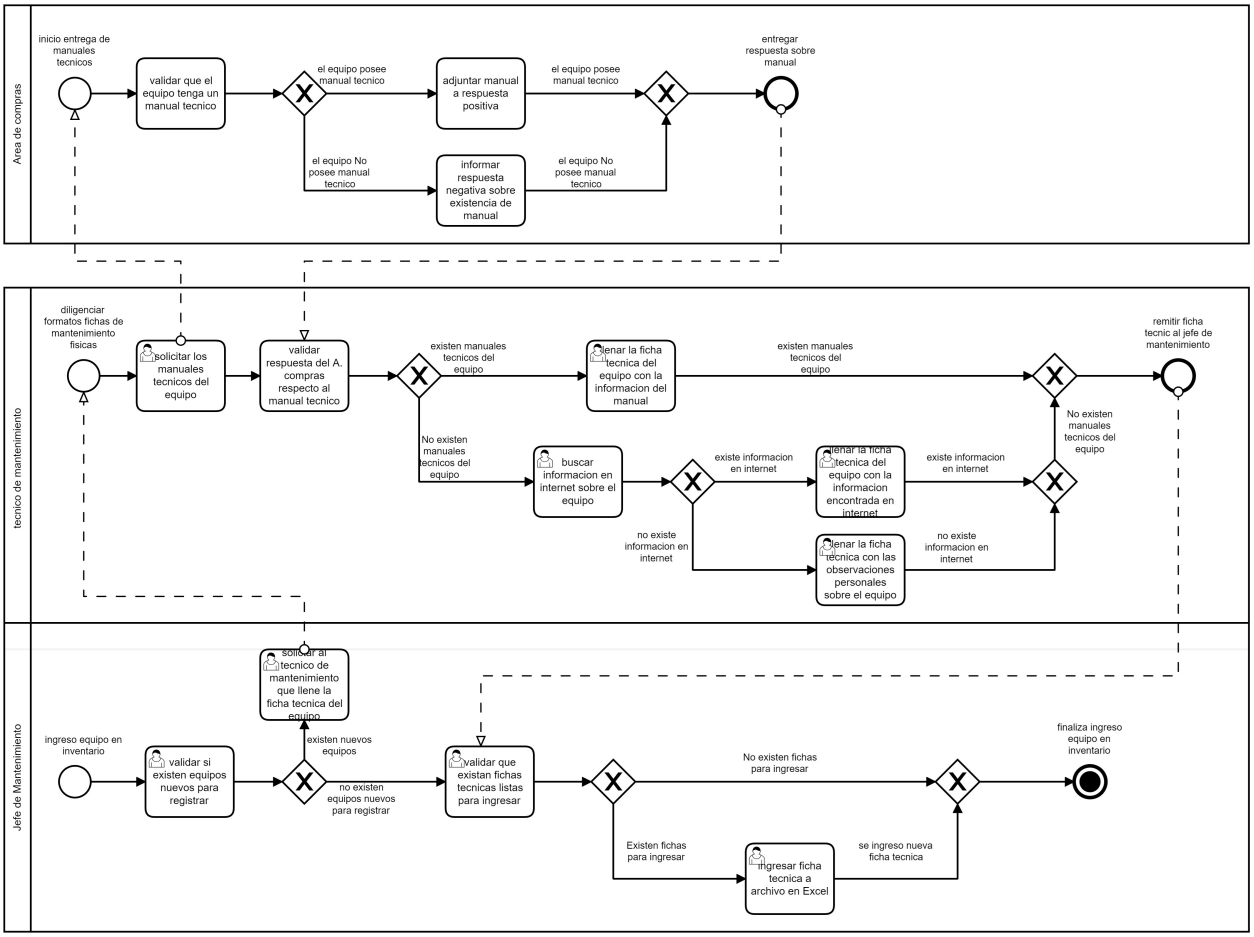


Figura 2.1: Generación de Inventarios de Equipos y Fichas Técnicas

En este diagrama 2.1 podemos ver que IngeFarm realiza un proceso en el cual recogen la información de cada uno de los equipos que ingresan a la fábrica, así mismo describen la manera como obtienen la información para llenar la ficha técnica del equipo, se puede observar que el área de Mantenimiento tienen colaboración del área de Compras para garantizar que la información del manual del equipo también esté disponible, este proceso nos señala además que IngeFarm tiene control y conocimiento, sin embargo la mayoría de estos datos esta diligenciado en formatos físicos que dificultan implementar un proceso de gestión de mantenimiento

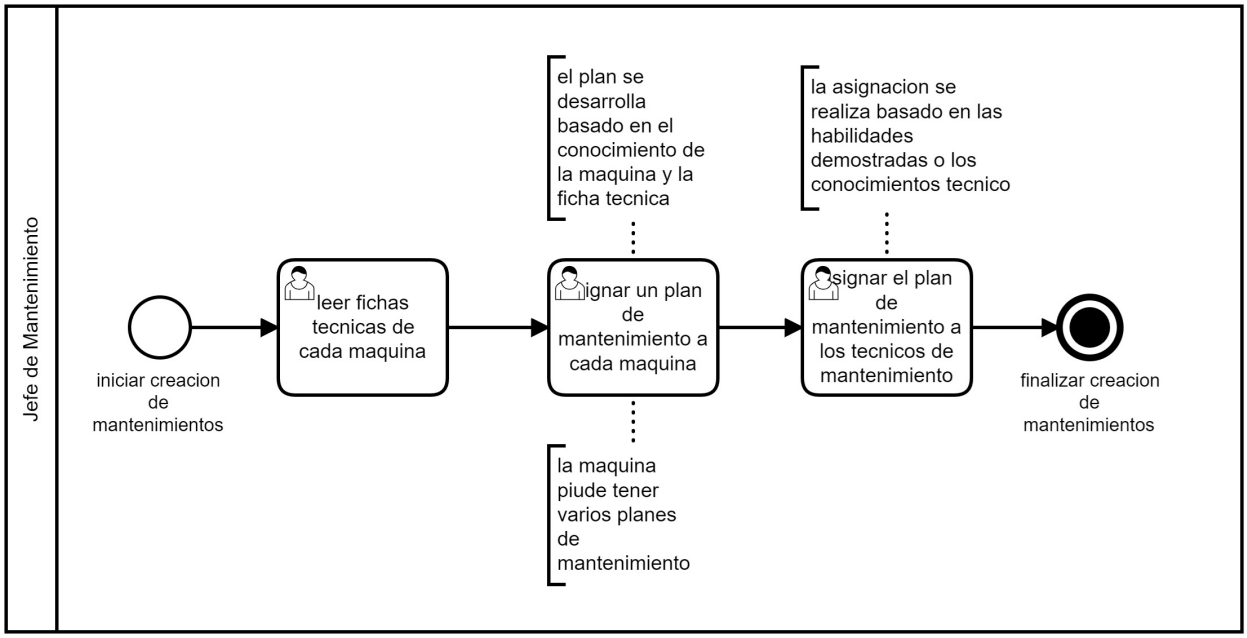


Figura 2.2: Generación Planes de Mantenimiento

Al revisar el proceso de generación de planes de mantenimiento 2.2, podemos ver que se realiza basado en la experiencia del Gerente de Mantenimiento y se compone de intervenciones cíclicas al equipo, lo que puede estar aumentado el costo del mantenimiento final ya que estas intervenciones pueden ser innecesarias o solo señalan las fallas que conoce el Gerente.

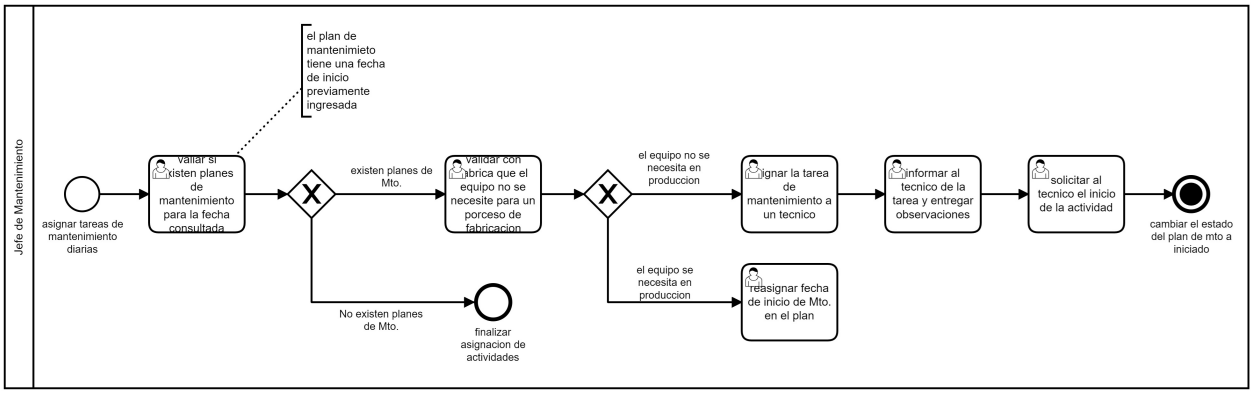


Figura 2.3: Asignación tareas de mantenimiento

En el proceso de asignar tareas de mantenimiento 2.3 se realiza una revisión con el área de Fábrica para saber si el equipo que se va a intervenir es necesario en el proceso de producción, sin embargo el equipo es puesto en parada si el daño es grave, esto evidencia que no hay una planeación correcta de los mantenimiento ya que muchas veces el equipo llega a producción con daños que afectan completamente a la fabrica

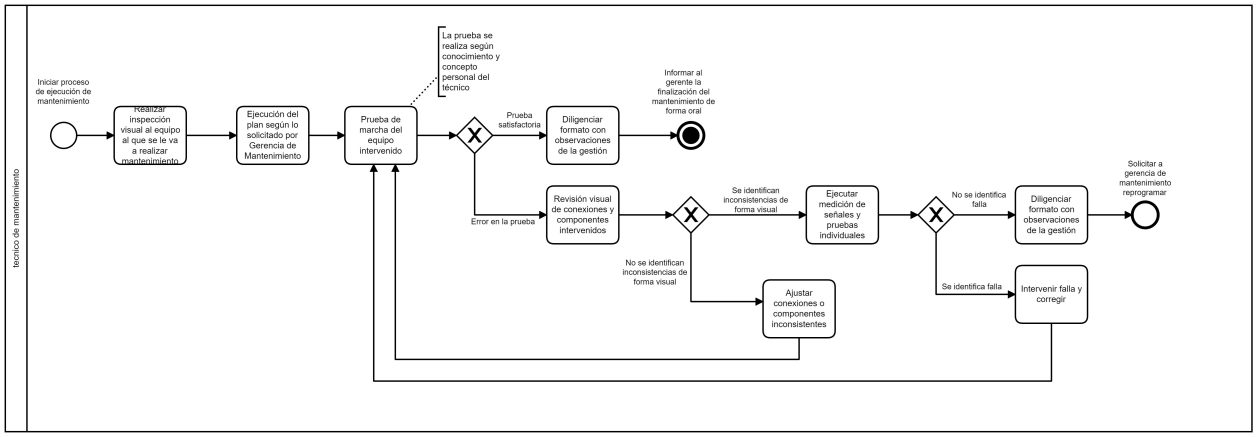


Figura 2.4: Ejecución plan de mantenimiento

El proceso de ejecución de mantenimiento 2.4 también está condicionado por nuevas fallas que pueden aparecer en el equipo intervenido, ya que si al ejecutar la prueba de marcha, si esta no funciona correctamente, se solicita una reprogramación del mantenimiento, lo que implica posibles tiempos de parada que no se han planeado previamente

2.4. Proceso de Gestión de Mantenimiento empresas colombianas

Entre los datos más importantes encontrados durante el estudio realizado por ACIEM [2] a varias empresas colombianas en tre los años 2008, 2006 y 1990 podemos encontrar lo siguiente:



Figura 2.5: Factores que más impactan en la gestión del mantenimiento en Colombia **Fuente:** Estudio del Arte del Mantenimiento ACIEM[2]

En la gráfica 2.5 podemos observar que el aspecto que más impacta al momento de implementar un proceso de gestión de mantenimiento industrial en una compañía, es la necesidad de capacitación que se le debe dar a los cargos directivos o a los líderes de los procesos de gestión de mantenimiento, ya que son ellos los que deben iniciar este proceso y velar porque se cumpla según los objetivos trazados.
Otro punto que es de gran impacto, es la necesidad de informatizar la gestión, es decir que tener un sistema de información para manejar estos procesos fue algo que afecto en su momento la implementación de estos procesos, esto se presentó mayormente porque en el año 2006 las Tecnologías de Información no eran tan asequibles o tan económicas de implementar dentro de una compañía, sin embargo tal como se evidencia en este mismo punto para el año 2008, las TI ya no son un inconveniente y si revisamos las tecnologías actuales ya se pueden acceder de forma más fácil, económica y diversa

En otra parte del estudio podemos ver que las prioridades en las compañías colombianas,

no es implementar un proceso de gestión de mantenimiento sencillamente por las siguientes razones:

- Se prefiere la tercerización de servicios de mantenimiento especializado
- Se prefiere la inversión de recursos en la mejora de instalaciones y equipos
- Se empieza a ver más la necesidad de adoptar procesos de gestión de mantenimiento cuando la maquinaria envejece más

Sobre esta última causa podríamos comprender porque las pequeñas empresas a diferencia de las más grandes no implementan procesos de gestión de mantenimiento, ya que la necesidad de estas metodologías se ve solo cuando el equipo ha empezado a completar su tiempo de vida útil, en la gráfica 2.6 podemos ver que efectivamente las PIMES son las compañías que más invierten en equipos nuevos, por lo tanto en la mayoría de casos no requieren proceso de mantenimiento más especializados

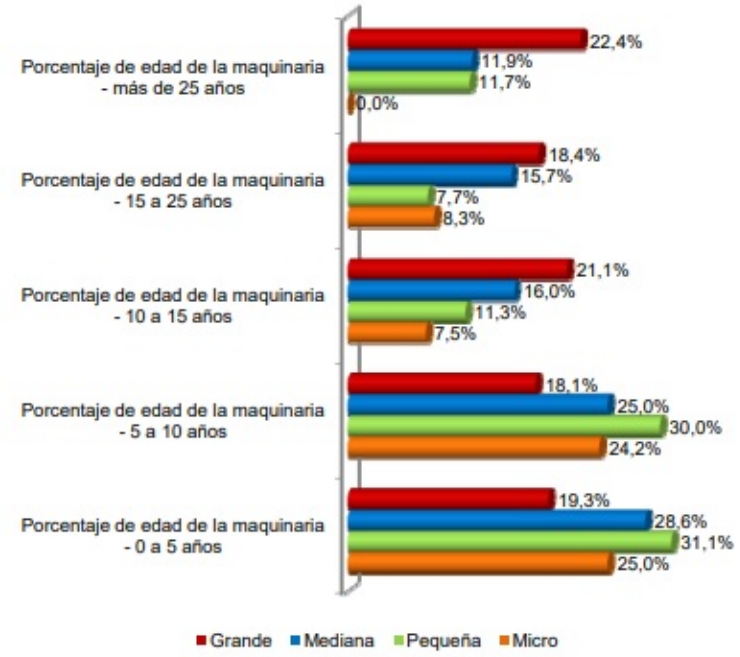


Figura 2.6: Edad de la maquinaria por tipo de empresa **Fuente:** Estudio del Arte del Mantenimiento ACIEM[2]

Como conclusión podemos decir que la hipótesis de que las PIMES en Colombia en su mayoría no implementan sistemas de gestión de mantenimiento industrial es cierto, sin embargo y tal como se define en el marco teórico, la gestión de mantenimiento alarga la vida útil de los equipos y reduce los gastos que mantenimiento y más si se aplica desde el momento en que se adquiere el equipo.

2.5. Consideraciones realizadas por el Especialista en Gerencia de Mantenimiento sobre el proceso descrito de Ingefarm

Al validar los procesos se evidencia que Ingefarm ejecuta planes de mantenimiento pero no posee un proceso formal de Gestión de Mantenimiento, se realiza esta conclusión de acuerdo a lo siguiente:

- Si comparamos su proceso con uno de tipo TPM podemos ver que se realiza mantenimiento a los equipos pero no define un mantenimiento a su sistema de producción, es decir si sus tornos o fresadoras fallan, la fabricación de equipos entra en paro total y afecta a toda la fábrica, esto porque el mantenimiento no se ejecuta pensado en el proceso si no en los equipos y herramientas
- Si lo comparamos con un proceso de tipo RCM en el cual se definen procesos basados en posibles fallas y en acciones para que no se produzcan, vemos que Ingefarm no tiene un inventario de esa posibles fallas, en cambio ejecuta el mantenimiento general y no especifico a cada máquina buscando que no se produzcan, sin embargo en la ejecución del mantenimiento no está exento que el técnico promueva un nuevo error en el equipo
- Si lo comparamos con PMO no se evidencia análisis de datos basados en los resultados de los proceso de mantenimiento, a excepción de la opción personal del gerente de mantenimiento sobre la gestión que se le debe hacer a cada equipo
- Si lo comparamos con el MIO no hay una integración de áreas y mucho menos se evidencia que el mantenimiento se haga en función del plan estratégico de la empresa

Si Ingefarm desea implementar un sistema de gestión de mantenimiento podría iniciar con el RCM, ya que dentro de la revisión de sus procesos se puede observar que hay muy buen conocimiento de la función de cada uno de sus equipos principalmente por el área encargada del mantenimiento, lo que le ayudaría a definir fallas y como intervenirlas si la necesidad que se hayan presentado previamente, así mismo RCM es una filosofía que no requiere una capacitación muy profunda como si lo pueden requerir otras y principalmente se puede recomendar su implementación por el tamaño de su planta y la cantidad de equipos de fabricación que posee actualmente lo que facilitaría que este proceso se fortalezca a medida que la empresa crezca y se consolide más.

Implementar un sistema de gestión de mantenimiento en Ingefarm lo beneficiaria de la siguiente manera:

- Mejoraría el control de los costos de inversión del mantenimiento de equipos
- Alargaría más la vida útil de sus equipos de producción
- Motivaría a su personal de mantenimiento ya que lo involucraría con otras áreas como son producción y ventas

- El trabajo se haría más controlado y menos improvisado, mejorando la cantidad de horas que se aplican al mantenimiento, dando como resultado mejor ambiente laboral de sus empleados y mejorando el trabajo en equipo.

Capítulo 3

RCM

3.1. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Como se ha definido anteriormente RCM (Reliability Centred Maintenance) o Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es una metodología que nace entre los años 1960 y 1980 que busca aumentar la vida útil de los activos y así mismo manejar las consecuencias de sus fallas.

El RCM nace en la compañía de aviación United Airlines ya que fueron sus empleados Stanley Nowlan y Howard Heap quienes en su libro " Reliability Centered Maintenance" acuñaron el termino, este libro se basó en la investigación realizada por más de 20 años con la aviación comercial de los Estados unidos de América. Al final de los 1950 la aviación comercial mundial estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues [9] donde la mayoría de las causas eran fallas en los equipos, si esta estadística hubiera continuado hasta el día de hoy, se estarían presentado alrededor de dos accidentes aéreos diariamente, según la aeronáutica civil Colombiana en el año 2020 solo se presentaron 20 accidentes durante todo el año 2020 en nuestro país [1].

Basados en el libro de Nowlan y Heap, en 1978 la aviación comercial en Estados Unidos publicó un estudio de patrones de falla en los componentes de aviones, centrando el mantenimiento en prevenir estas fallas cambiando así todas las costumbres que hasta el momento se tenía sobre el mantenimiento, es de señalar que para esta época el mantenimiento solo significaba "Proceso de reparaciones periódicas" y el RCM lo cambia por "un proceso para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente" .

A principios de los años 80 el ingeniero John Mitchell Moubray inicio la aplicación industrial del proceso RCM, lo que le permitió escribir el libro "RCM II", el cual era una recopilación de estudios de procesos y analítica de fallas ya más adaptada a la industria en general y no solo a la aviación [6], Moubray señala que el RCM "se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la compone", pero para poder definir esta relación es necesario saber exactamente cuáles son estos elementos que la componen, por lo que sugiere siempre realizar inicialmente un inventario de todos los equipos de la compañía para evaluar cuales

son los factibles para aplicar la revisión del RCM

Posterior al definir un inventario de equipos, Moubray propone realizar las siguientes preguntas sobre los equipos seleccionados:

Pregunta uno: ¿Cuáles son sus funciones?
Cada equipo tiene una función específica por la cual fue adquirido y así mismo debe tener unos estándares de funcionamiento específicos desde el momento de su diseño, si no conocemos estas funcionalidades podemos estar perdiendo capacidad o promoviendo un daño sin darnos cuenta, por ejemplo, la salida de corriente de un generador eléctrico puede entregar entre 12 y 24 Voltios, pero si entrega solo 9 talvez algunos equipos conectados al él pueden trabajar, pero no es la funcionalidad para la cual fue diseñado y se puede estar dando por una falla del equipo

Pregunta dos: ¿De qué forma puede fallar?
Entender la funcionalidad de un equipo y sus estándares permite definir las posibles fallas que pueda tener, siempre que se define una funcionalidad es necesario definir la forma como puede que esta falle, tal como se explicó en el ejemplo del generador eléctrico, la falla no fue sistemática es decir no dejo al equipo en un paro total, se puede definir más como una falla funcional, sin embargo definirla me puede dar a entender cómo evitar que ocurra

Pregunta tres: ¿Qué causa que falle?
Si ya definió la forma como puede fallar la función de un equipo, se puede empezar a definir cómo evitar esa falla, sin embargo es necesario aclarar que al responder esta pregunta no se deben describir los síntomas si no la causa que originó la falla, en el ejemplo del generador la causa que no entregue los 12 voltios puede ser un daño en los condensadores o una resistencia mal asignada, en dado caso estas dos causas se deben definir para esta sola falla

Pregunta cuatro: ¿Qué sucede cuando falla? Con esta pregunta se quiere definir la importancia de cada falla y por lo mismo el nivel del mantenimiento que se le debe dar, responder esta pregunta me permite obtener señales externas al equipo que me informan que efectivamente existe una falla, para el caso del generador lo que pasa cuando falla es que entrega menos voltaje sin embargo posterior a esto se pueden desencadenar otros escenarios como que los motores no se inicien entre otros, definir los sucesos posteriores a la falla me permite evaluar sus consecuencias

Pregunta cinco: ¿Qué ocurre si falla?
Con esta pregunta complementamos un poco el nivel de importancia que se le dio a la falla, es decir definimos cual es la consecuencia que se da si se presenta la falla, al llegar a esta pregunta podemos ver que tenemos una comprensión mucho mayor del equipo evaluado y sus funciones, si definimos claramente cuáles son las consecuencias de que se presente un fallo, podemos categorizar estas consecuencias para definir las prioridades y el esfuerzo que se deben tener para encontrar ese fallo. RCM clasifica las consecuencias de la siguiente manera:

- Consecuencias de las fallas no evidentes: estas consecuencias generalmente no están

ligadas directamente al equipo evaluado, por ejemplo si la luz de un recinto esta baja, puede ser un problema de la línea de conexión al sistema o que hay muchos elementos conectados al generador, pero también pude ser consecuencia de que el generador este fallando, esto puede hacer que se presente un problema más grave para la empresa, si definimos que una disminución en la luz puede ser una consecuencia de falla no evidente del generador, podemos definir un procedimiento para que no se convierta en una falla más grave y podamos controlarla

- Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: este tipo de fallas son las que afectan directamente al personal o al medio ambiente, en RCM hay una prioridad máxima para este tipo de fallas ya que las personas están por encima de la producción o de los equipos

- Consecuencias Operacionales: este tipo de fallas generalmente cuestan dinero a la compañía ya que afectan a la producción, a los clientes o a la calidad del producto final, el costo de la consecuencia nos puede definir el costo que se puede destinar para evitarla y su novel de importancia entre todas las consecuencias

- Consecuencias No Operacionales: este tipo de fallas no afecta al personal, al medio ambiente o a la operación, generalmente se pueden solucionar con reparaciones no costosas para la compañía

Si la falla no tiene consecuencias significativas es decir no se logra definir en alguna de estas categorías, no es necesario ingresarlas en el proceso del RCM sin embrago es necesario aplicarle un rutuna básica como inspección, lubricación o servicio para que no se convierta en una consecuencia significativa

Pregunta seis: ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?
Según la teoría de evolución del mantenimiento tal como la definió el ingerido Moubray [6], la Segunda Generación señala que el mantenimiento de equipos se debe realizar de forma planeada y rutinaria, esta filosófica es muy aplicada actualmente y por una sencilla razón: "los equipos tiene una vida útil y solo empiezan a fallar luego de un periodo de tiempo", por esta razón se realiza un mantenimiento preventivo antes de que finalice este periodo, así mismo si se tiene un historial de la fallas es más fácil determinar la vida útil de los equipos, esto ha generado que muchas empresas no apliquen un mantenimiento sistemático como lo plantea el RCM, sin embargo también es cierto que si la falla no tiene consecuencias significativas el mantenimiento preventivo puede funcionar. RCM no incita a evitar este mantenimiento es más reconoce sus tareas más importantes como pueden ser [9]:

- Tarea basada en la condición: esta tarea está muy ligada al RCM ya que se basa en el hecho de que la mayor parte de las fallas dan alguna advertencia de que algo va a suceder, generalmente son evidencias físicas identificables, por ejemplo un ruido fuera de lo común en un motor puede señalar que su eje o su rodamiento puede fallar en algún momento. se puede definir así que esta tarea se aplica siempre y cuando el equipo deje de cumplir con el estándar de funcionamiento que se desea

- Tareas de Reacondicionamiento Cíclico y de Sustitución Cíclica: esta tarea se basa en que las partes de los equipos deben ser remplazadas en un tiempo determinado,

según el criterio del fabricante o de una estadística de fallas, inclusive se puede definir el reemplazo o cambio total del equipo, sin embargo la unidad de medida para esto debe estar bien definida tal como ciclos operativos, tiempo de uso, unidades fabricadas, distancia recorrida entre otros, así mismo estas tareas deben tener un orden lógico de prioridades

Como podemos ver para prevenir posibles fallas, RCM nos sugiere aplicar las tareas más importantes del mantenimiento preventivo a cada una de ellas

Pregunta siete: ¿Qué sucede si no puede prevenirse la falla?
Esta pregunta permite definir si la acción preventiva que se creó para la falla fue suficiente o inclusive si es necesaria de implementar, es decir, que pasa si la pieza que se reemplazó o que se intervino no corrige el error, la única manera de definir esto es por medio de una prueba del equipo y mediciones de señales, por otra parte que pasa si el costo de reparación es mucho mayor al costo de la consecuencia del fallo, o si la acción tomada para prevenir el daño al personal o al medio ambiente no reduce significativamente ese daño, en todos los casos si la acción que se implementó para prevenir la falla no reduce significativamente el riesgo o no se puede medir posteriormente, es necesario rediseñar esta acción, prácticamente resolver esta pregunta me permite hacer una evaluación de las decisiones que se tomaron para prevenir las fallas

Como se ha señalado, para implementar el RCM es necesario realizar un inventario de equipos y contestar las siete preguntas básicas, sin embargo en la práctica este proceso no lo puede realizar solamente el personal de mantenimiento, es necesario contar con la experiencia del personal operativo, de producción y de ventas entre otros, ya que son ellos con su conocimiento y experiencia en el manejo de los equipos quienes dan el grado de certeza para la definición de las acciones que se deben efectuar

3.2. Descripción del Modelo RCM definido

Como se planteó el RCM está basado en 7 preguntas que permiten definir la confiabilidad de los equipos de cualquier empresa, sin embargo se debe recalcar que no necesariamente a todos los equipos se les debe aplicar esta revisión, solamente deberían ser tenidos en cuenta aquellos cuyas fallas pueden generar consecuencias relevantes y que se pueden categorizar según lo define RCM en su pregunta cinco.

Teniendo en cuenta lo detallado por el ingeniero Moubray en su libro RCM II [6] y las sugerencias del Especialista en Gerencia de Mantenimiento, podríamos realizar la siguiente descripción de un proceso de mantenimiento basado en la confiabilidad:

1. **Definir la persona que va a estar en el rol de Facilitador**

   Esta persona será la responsable de asegurar que se realicen las preguntas de forma correcta y en el orden especifico, que vele y permita que las reuniones entre todos los actores que resolverán cada una las preguntas se lleve de forma ordenada y exista siempre un consenso de ideas que faciliten su desarrollo, que garantice el inventario de cada uno de los componentes o equipos de la compañía

2. **Definir la persona que va a estar en el rol de Auditor**

   Esta persona será la responsable de evaluar si las consecuencias de las fallas y la selección de las tareas definidas son correctas o no, es necesario que esta persona tengo un buen conocimiento del equipo evaluado, es por esto que este rol puede rotar entre el personal de la compañía y le daría a este proceso de evaluación una mayor exactitud en sus resultados

3. **Definir la Empresa en la cual se va a implementar el proceso de RCM**

   En este paso se debe señalar claramente cuál sería la empresa que aplicara el RCM en sus procesos, esto permite definir una ontología de áreas y componentes que cumplirían tareas específicas dentro del modelo RCM

4. **Definir las sucursales de la empresa**

   Esto permite definir la ubicación geográfica del lugar donde se realizara la aplicación del modelo RCM, además que una empresa puede poseer varias sucursales, lo que precisa definir exactamente en cuál de ellas se realizara el proceso

5. **Definir las áreas que componen la empresa**

   Esto me permite definir una ubicación precisa en la sucursal y me ayuda a conocer más fácilmente donde se encuentra el equipo en la sucursal

6. **Realizar un inventario de los equipo de la compañía**

   Como se explicó anteriormente el inventario es la columna vertebral del proceso RCM porque me permite definir exactamente los equipos a los que se les aplicará este proceso, el inventario debe contener como mínimo los siguientes parámetros:

- Nombre operacional: es el nombre con el cual se identifica el equipo
- Número de identificación interno: es un valor alfanumérico único asignado por la empresa al equipo
- Fabricante: nombre del fabricante del equipo
- Fecha de fabricación: fecha en que se fabricó el equipo
- Función específica: descripción de la función principal del equipo
- Fecha de adquisición por la empresa: fecha en la cual fue adquirido el equipo
- Modelo: modelo del equipo
- Código de fabricación: es el código asignado por el fabricante al equipo
- Área a la que pertenece el equipo

7. **Definir los componentes de cada equipo que deberían ser intervenidos durante el proceso del RCM**

   Cada equipo puede tener varias partes o componentes que pueden ser revisados individualmente, se debe definir cada uno de estos componentes para señalar si la función que cumple puede tener una falla que genere una consecuencia relevante en el equipo, la definición de estos compontes debe estar integrada como mínimo por los siguientes parámetros:

   - Número de identificación interno del equipo
   - Nombre operacional del componente
   - Número de identificación interno del componente
   - Nombre operacional del componente
   - Fabricante del componente
   - Función específica del componente en el equipo

8. **Definir las funciones de cada equipo y componente**

   Para cada equipo y componente definido se debe especificar las funciones, las cuales en la mayoría de las veces deben estar acompañadas de un nivel de funcionamiento mínimo y máximo, que me permite saber si el equipo está cumpliendo o no con su tarea, además que si en dado caso este nivel no está en entre los rangos de cumplimiento me alerta sobre una posible falla del equipo, las funciones debería contener como mínimo lo siguiente:

   - Consecutivo interno de la función
   - Número de identificación interno del equipo o componente
   - Nombre operacional del componente o componente
   - Función específica del componente en el equipo
   - Unidad de medida del nivel de funcionalidad
   - nivel mínimo

- nivel máximo

9. **Definir fallas asociadas a las funciones**

   Siempre que se defina una función se debe definir la falla que pueda presentar, sin embargo se debe aclarar que una función puede tener varias fallas diferentes, la definición de esta falla sencillamente es una declaración de la situación que se puede presentar, esta definición debe tener como mínimo:

   - Consecutivo interno de la función
   - Consecutivo interno de la falla
   - Definición de la falla

10. **Definir la situación que puede provocar la falla**

    Si de define una falla es necesario definir una o más causas por la que se presente, esta definición debe tener como mínimo:

    - Consecutivo interno de la falla
    - Definición de la falla
    - Consecutivo interno de la situación de la falla
    - Situación que genera la falla

11. **Definir qué pasa cuando se presentan la falla y la consecuencia**

    Se debe definir qué sucede cuando se presenta la falla, así mismo se deben evaluar las consecuencias de este suceso, tal como se señaló anteriormente las consecuencias tienen un nivel jerárquico que me definen la prioridad del mantenimiento que se debe realizar, estos niveles pueden ser:

Cuadro 3.1: Consecuencias y prioridades de las fallas

ORDEN	CONSECUENCIA	SUSTENTACIÓN DEL ORDEN
1	Seguridad y medio ambiente	Puede poner en peligro al personal o incumplir con la normatividad ambiental
2	Operacional	Puede genera costos de operación altos y problemas con la producción
3	Falla no evidente	La falla no afecta directamente al equipo pero puede afectar a otros
4	No Operacional	No afecta al personal la operación o a otros equipos

La definición de las situaciones que se presenta durante la falla y las consecuencias, debe tener como mínimo:

- Consecutivo interno de la falla
- Definición de la falla

- Situación que se presenta
- Consecuencia

12. **Definir el proceso a realizar para evitar la falla**

    Teniendo en cuenta que ya se definió las fallas, las causas que la generaron y sus consecuencias, se puede definir la tarea que se debe realizar para que no se presenten, estas tareas pueden ser de tres tipos:

Cuadro 3.2: Tipo de tareas en RCM

ITEM	TAREA	DEFINICION
1	Basada en la condición	Se ejecuta cuando una medición señala un posible fallo en el equipo
2	Reacondicionamiento cíclico	Se realiza un mantenimiento preventivo al equipo en un momento definido
3	Sustitución Cíclica	Se realiza el reemplazo completo del equipo o componente en un momento definido

    Adicional a definir qué tipo de tarea se va a realizar, se debe definir la acción que se hará en esa tarea, esta acción debe contener el proceso exacto y si es necesario la medición o niveles de funcionalidad que debe tener el equipo luego de la ejecución del mantenimiento, estas tareas se deben componer de lo siguiente:

    - Consecutivo interno de la tarea
    - Consecutivo interno de la falla
    - Definición de la falla
    - Tarea
    - Descripción de la acción
    - Fecha inicial de ejecución
    - Ciclo de ejecución en días

13. **Evaluar cada una de las acciones que se definieron para evitar las fallas**

    Esta parte del proceso lo debe ejecutar una persona que no haya estado en la definición de las fallas, consecuencias y acciones del proceso RCM, es por esta razón que antes de iniciar el proceso se especificó quien tendrá este rol de Auditor, el auditor debe tomar cada una de las acciones definidas, debe evaluar si efectivamente esta acción evita que se presente la falla o disminuye el nivel de la consecuencia, así mismo es necesario que el auditor también evalué que la acción tenga alguna forma de medición para definir si sirve o no, si no se cumple con ninguna de estas dos condiciones la acción definida no se debe implementar.

14. **Generación tareas de mantenimiento**

    En los puntos anteriores se definió como aplicar el proceso de RCM a cada equipo o componente, con la información definida se puede crear las órdenes de mantenimiento las cuales se generan a partir de la información definida en la tarea a realizar para evitar la falla y su ciclo de ejecución, así mismo si para una misma fecha hay varias tareas, el orden de ejecución lo da la jerarquía de la consecuencia de las fallas, asociadas a estas tareas

    - Consecutivo interno de la orden de trabajo
    - Fecha de ejecución
    - Identificación del técnico de mantenimiento
    - Nombre del técnico de mantenimiento
    - Sucursal donde se realizará el mantenimiento
    - Área donde se realizará el mantenimiento
    - Consecutivo interno del equipo que se intervendrá
    - Nombre del equipo que se intervendrá
    - Consecutivo de la falla a evitar
    - Falla a evitar
    - Situación que provoca la falla
    - Consecutivo interno de la tarea
    - Tarea
    - Descripción de la acción

15. **Actualización estados de las tareas de mantenimiento**

    Al finalizar el día laboral o la labor encargada, el técnico de mantenimiento que realiza la tarea, debe informar si esta finalizo o no, de esta manera el gerente de mantenimiento definirá si al día siguiente solicita seguir con la tarea o la finaliza y solicita realizar una nueva, en cada caso el técnico debe anexar a la orden de trabajo, las observaciones realizadas durante la ejecución de la tarea, los estados de estas tareas se pueden definir así:

Cuadro 3.3: Estados de las tareas de mantenimiento

ITEM	ESTADO
1	Programada
2	En ejecución
3	Finalizada

16. **Generación de hojas de vida de los equipos**

    Con la información recogida en los procesos señalados anteriormente, se puede generar una hoja de vida de los equipos la cual contendría los siguientes datos:

- Consecutivo interno del equipo
- Nombre del equipo
- Fabricante del equipo
- Fecha de fabricación del equipo
- Función específica: descripción de la función principal del equipo
- Fecha de adquisición por la empresa
- modelo del equipo
- Código de fabricación
- Área a la que pertenece el equipo
- Fecha de mantenimiento
- Tarea realizada
- Descripción de la acción realizada en el mantenimiento

17. **Opción para que fabrica verifique el estado del equipo antes de utilizarlo**

    Teniendo en cuenta que RCM se aplica para prevenir las fallas en los equipos y no para corregirlas, el Área de Fabrica puede tener la confianza de que pude utilizar el equipo en cualquier momento, siempre y cuando no posea una tarea de mantenimiento en estado de ejecución o programada.

3.3. Diagrama de flujo del Modelo RCM definido

La descripción del modelo RCM que se plantea con esta investigacion se puede representar gráficamente por medio de términos CRUD de la siguiente manera:

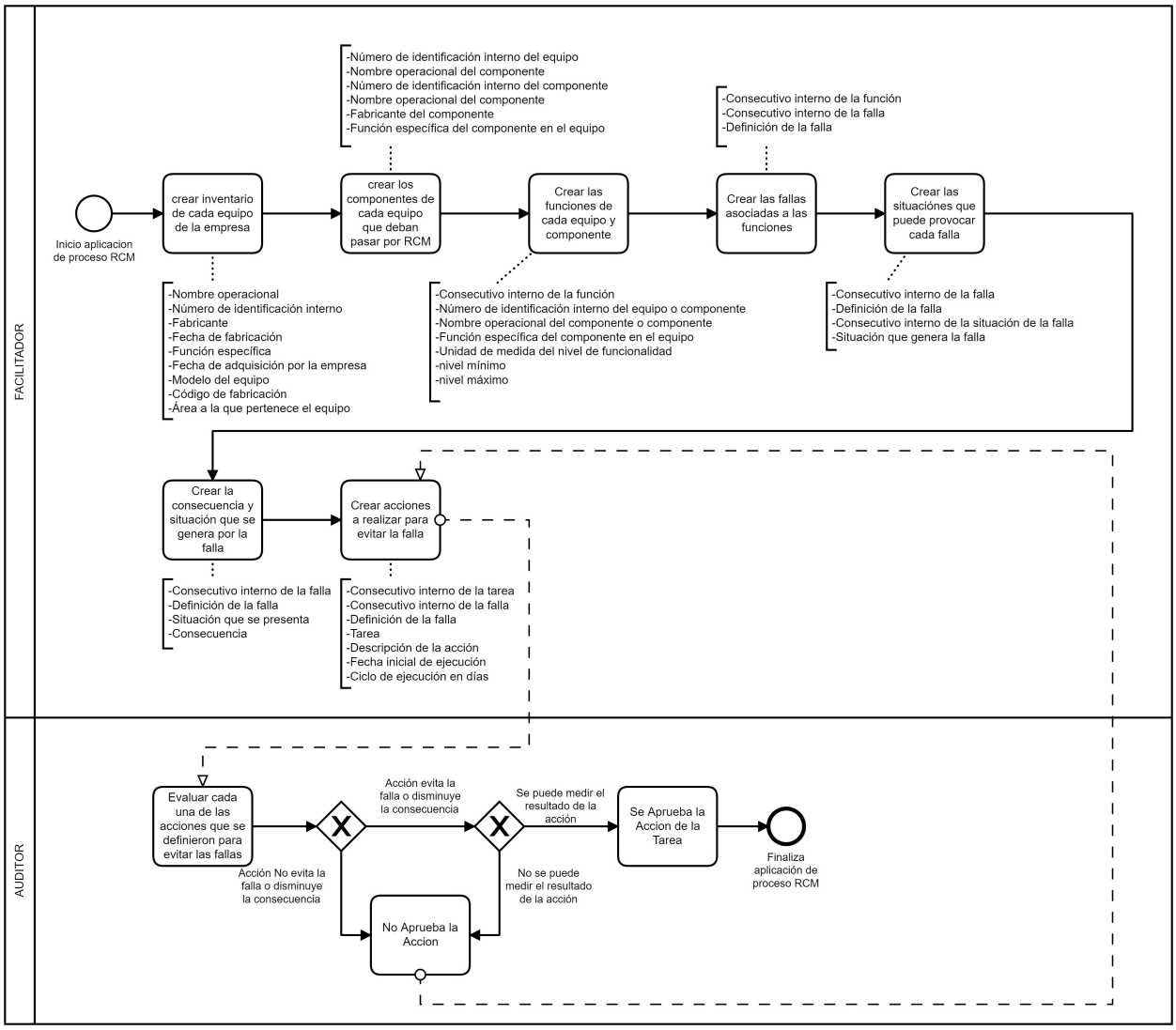


Figura 3.1: Modelo de proceso RCM con términos CRUD

En la figura 3.1 podemos ver la colaboración que existe entre los roles de Facilitador y Auditor, los cuales son los encargados de aplicar el proceso RCM a cada uno de los equipos de la Fabrica

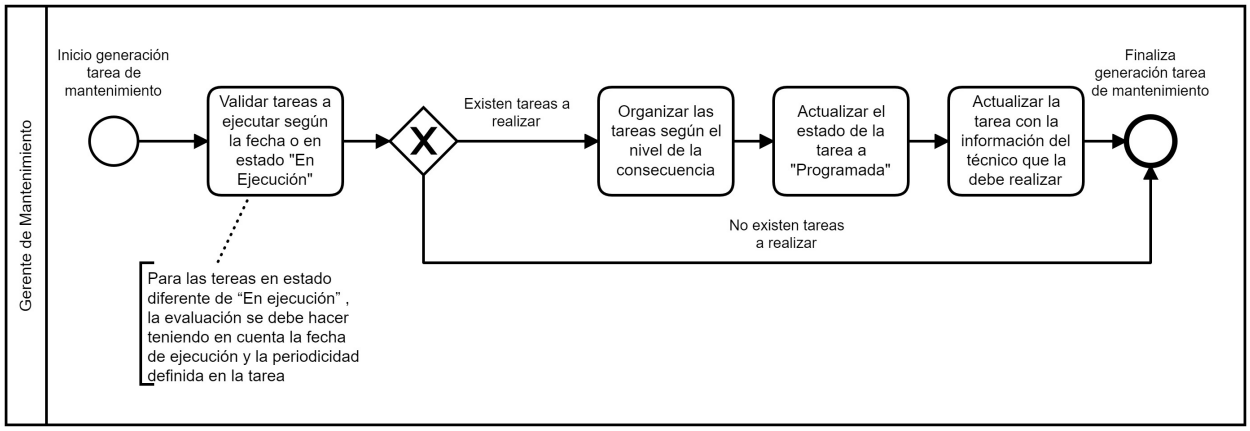


Figura 3.2: Generación tareas de mantenimiento

En la figura 3.2 podemos ver el proceso que se realiza para crear una tarea de mantenimiento, este proceso es ejecutado por el rol de Gerente de Mantenimiento, algo muy importante es que así existan tareas anteriores que no hayan sido finalizadas y tareas nuevas, el orden de ejecución está dado por el nivel de la consecuencia definido en la falla

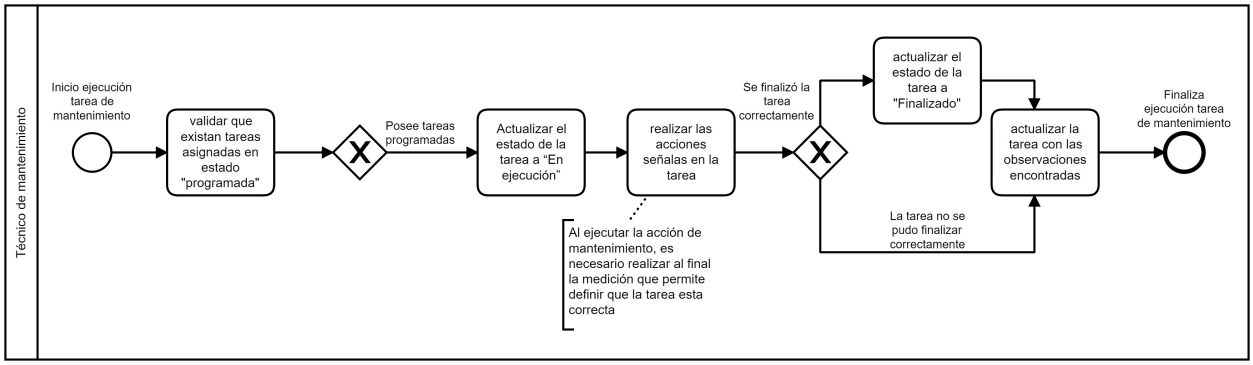


Figura 3.3: Ejecución tareas de mantenimiento

En la figura 3.3 podemos ver el proceso que se realiza para ejecutar el plan de mantenimiento, lo más importante en este proceso es que la tarea finaliza si la medición de los resultados está acorde a la información ingresada en la actividad que previene la falla

3.4. Comparación modelo Ingefarm y modelo RCM definido con la investigación

A continuación se hace una comparación de entre el modelo de gestión de mantenimiento industrial que implementa actualmente IngeFarm y el modelo RCM definido con esta investigación de los procesos que se realizan, esto señalando las Fortalezas y Debilidades de cada uno:

Cuadro 3.4: Comparación Procesos IngeFarm-RCM

	REVISION PROCESO	
PROCESO	**MODELO ACTUAL INGEFARM**	**MODELO PLANTEADO RCM**
Definición de perfiles	no existe este proceso	Existe el proceso
Levantamiento de inventarios	Existe el proceso	Existe el proceso
Definición de planes de mantenimiento	Existe el proceso	Existe el proceso
Definición de stock de repuestos	no existe este proceso	Existe el proceso
Ejecución de planes de mantenimiento	Existe el proceso	Existe el proceso
Actualización de datos de los equipos	Existe el proceso	Existe el proceso
Evaluación gestión del mantenimiento	no existe este proceso	Existe el proceso
Cooperación con otras áreas	Existe el proceso	Existe el proceso
Aumento rendimiento operativo	Existe el proceso	Existe el proceso

Cuadro 3.5: Comparación Fortalezas IngeFarm-RCM

	FORTALEZAS	
PROCESO	**MODELO ACTUAL INGEFARM**	**MODELO PLANTEADO RCM**
Definición de perfiles	Existe el personal suficiente para cumplir con las labores que asigne el líder	Debido a que las actividades diarias están definidas previamente y en consenso bajo el liderazgo del Facilitador, la mayoría del personal conoce estas actividades y puede saber el estado en que cada una se encuentra, permitiendo un cambio de gestor en cualquier momento
Levantamiento de inventarios	Existe colaboración con el área de comprar para su realización	El inventario no solo se hace por el equipo, si no que se incluye cada uno de sus componentes más significativos, lo que permite definir previamente los posibles repuestos o proveedores
Definición de planes de mantenimiento	Existen planes definidos para que sean realizados por el personal técnico	El plan se define en conceso entre los operarios y los técnicos, permitiendo un mejor resultado final
Definición de stock de repuestos	No existen fortalezas ya que no lo implementan	El stock se define en las acciones que se toman para prevenir la falla, lo que permite tenerlos listos antes de iniciar el proceso de mantenimiento
Ejecución de planes de mantenimiento	Existe retroalimentación con los resultados	La gestión es puntual para los componentes del equipo, lo que permite que no haya un sobre costo o daños por intervenciones innecesarias
Actualización de datos de los equipos	Se realiza con la finalización del mantenimiento	Se lleva un control de cada parte intervenida lo que permite generar hojas de vida más detalladas
Evaluación gestión del mantenimiento	No existen fortalezas ya que no lo implementan	La evaluación la puede realizar directamente el técnico ya que existen unos niveles de funcionalidad definidos y medibles, con los que asegura la efectividad del mantenimiento
Cooperación con otras áreas	La cooperación se presenta durante el levantamiento de los inventarios	Los planes de mantenimiento se definen en consenso con todas las áreas, fabrica puede saber de forma clara si el equipo está disponible o no
Aumento rendimiento operativo	Se realiza mantenimiento para que los equipos puedan estar disponibles	Se disminuyen los costos del proceso de mantenimiento, alarga la vida útil de los equipos, hay mayor seguridad en la disponibilidad del equipo por parte de fábrica, el producto final se genera con más calidad

Cuadro 3.6: Comparación Debilidades IngeFarm-RCM

	DEBILIDADES	
PROCESO	**MODELO ACTUAL INGEFARM**	**MODELO PLANTEADO RCM**
Definición de perfiles	Si falta alguien del personal no es claro que actividad está realizando o no completo	Es necesario que los perfiles de facilitador y auditor lo cumplan personas diferentes
Levantamiento de inventarios	No se identifica los proveedores de los repuestos de la maquina	Es necesario que se realice inventario de todos los equipos para que no existan fallas en cadena durante el proceso
Definición de planes de mantenimiento	El plan se desarrolla con la experiencia del gerente o el técnico y no en posibles daños que pueda presentar	Es necesario un conocimiento del equipo para poder definirlo
Definición de stock de repuestos	No lo implementan este proceso lo que genera posibles sobre costos en el mantenimiento	Es necesario un conocimiento del equipo para poder definirlo
Ejecución de planes de mantenimiento	El mantenimiento en general y produce más tiempo de parada del equipo	Se debe definir un nivel mínimo y máximo de funcionalidad del componente evaluar la gestión
Actualización de datos de los equipos	Solo si se presentan fallas se actualiza la información	La actualización se debe complementar con la experiencia que tuvo el técnico durante la intervención del equipo
Evaluación gestión del mantenimiento	La evaluación se basa en que el equipo funcione según el criterio del gerente de mantenimiento	El técnico debe asegurar que el componente funciona según los niveles definidos
Cooperación con otras áreas	No existen sugerencias por parte de los operarios	Debe existir disposición de todo el equipo para que la gestión tenga mayores resultados positivos
Aumento rendimiento operativo	Existen mucho sobre costos, aumento de tiempos de parada, en algunos casos se requiere de personal experto en el equipo para intervenirlo	Es necesario que exista conocimiento de los equipos para definir las fallas, debe existir compromiso por parte de todos los actores para realizar la gestión

Como podemos ver en la comparación del modelo actual de IngeFarm con el modelo RCM, podemos concluir que el de RCM le trae más beneficios a esta empresa y se convierte en un aliado en el desarrollo de la gestión estratégica de IngeFarm.

Capítulo 4

PROTOTIPO

4.1. FuturaRCM

Teniendo en cuenta que uno de los objetivos específicos de esta investigación es diseñar un prototipo de software basado en el modelo definido en el capítulo 3 de este documento, a continuación se describirá el prototipo planteado y el cual se denomina FuturaRCM.

4.2. Construcción Base de datos para el prototipo FuturaRCM

Como se señaló en el capítulo 3 en el cual describimos la "Inteligencia de Negocio" de FuturaRCM, podemos definir a continuación las lógicas de negocio en la cual se basa el diseño de la base de dato que utilizara el prototipo y el modelo relacional de cada lógica. Tal como vemos en la imagen 4.1, el sistema se moverá basado en las Actas de Mantenimiento y permitirán desarrollar la Inteligencia de Negocios.

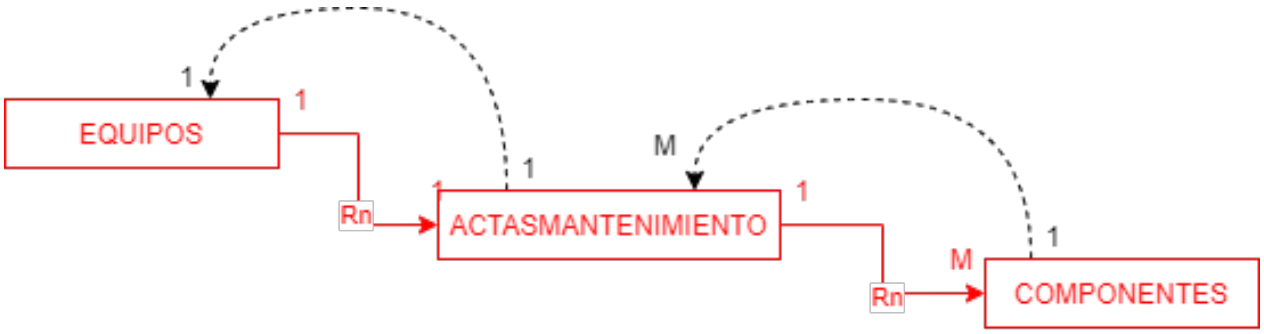


Figura 4.1: Lógica de Negocio FuturaRCM

4.2.1. Lógica de Negocio parametrización de Empresas, Sucursales, Áreas y levantamiento de inventarios de IngeFarm

La gerencia de fábrica es la encargada de definir las sucursales y las áreas de la empresa, a las cuales se asignaran cada uno de los Equipos del inventario realizado por la Gerencia de Mantenimiento, a su vez la Gerencia de Mantenimiento es la encargada de definir los Componentes técnicos que integran a cada Equipo.

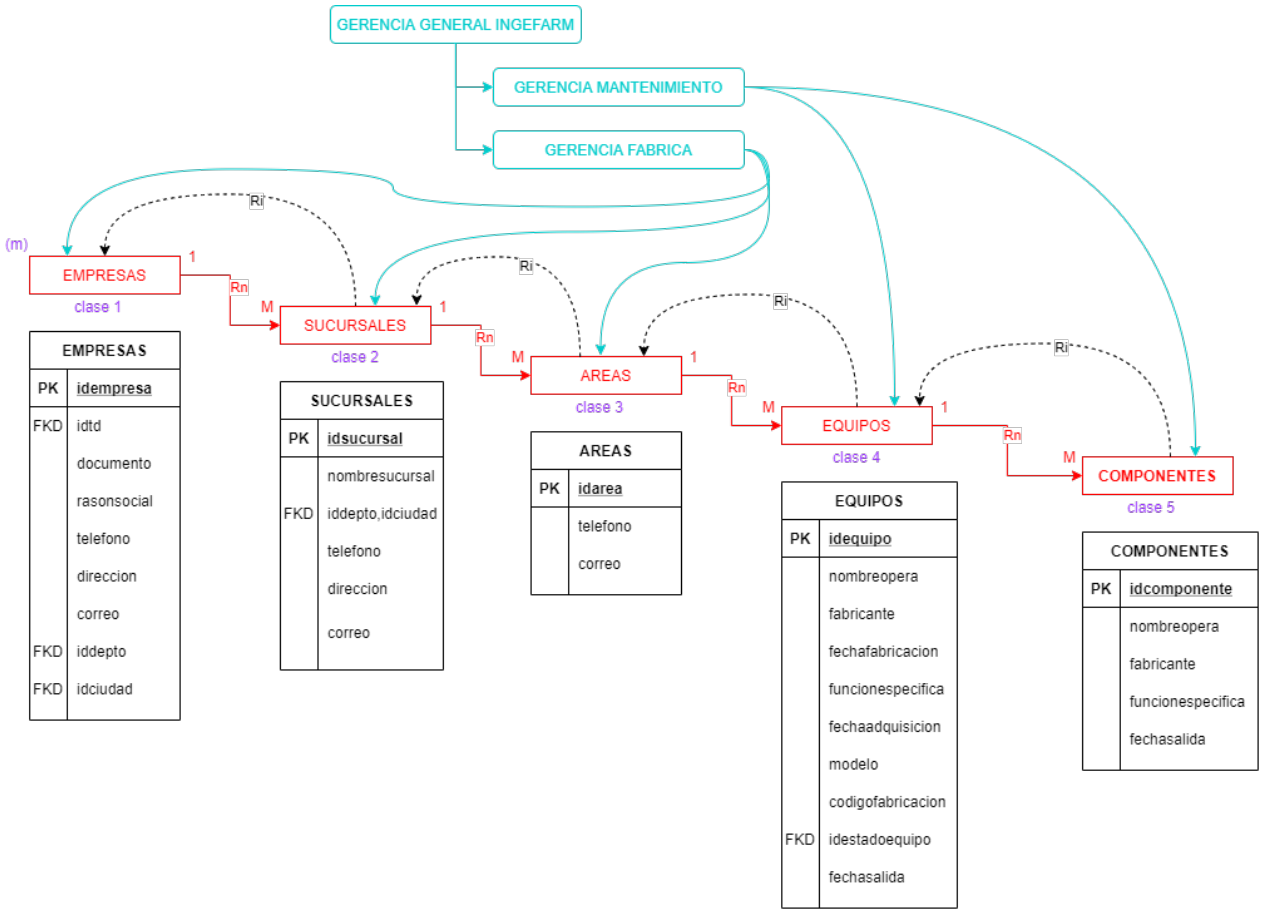


Figura 4.2: Lógica de Negocio FuturaRCM Parte 1

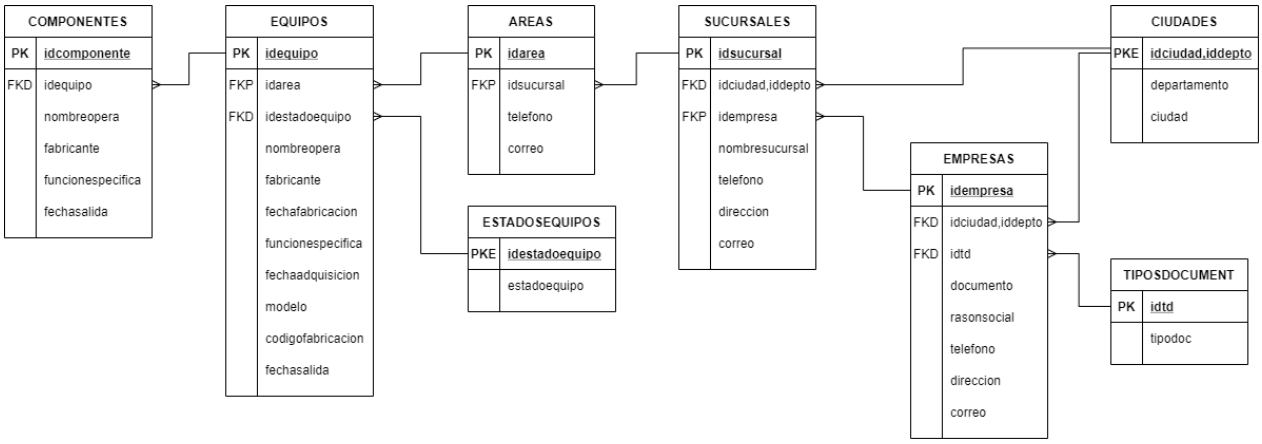


Figura 4.3: Modelo Relacional FuturaRCM Parte 1

4.2.2. Lógica de negocio creación de Funciones de Componentes, Fallas, Causas, Consecuencias y Acciones Preventivas

La Gerencia de Mantenimiento y la Gerencia de Fabrica en consenso, son los que definen los roles de Facilitador y Auditor, el Facilitador es el encargado de liderar el proceso para definir las Funciones de los Equipos y las Fallas que pueden presentar estas funciones, posterior a definir la fallas deberá definir las Causas, las Consecuencias y las acciones para prevenirlas, esto último denominado de otra forma podría ser las Contrafallas, el Auditor deberá Revisar, Aceptar o Rechazar estas Contrafallas.

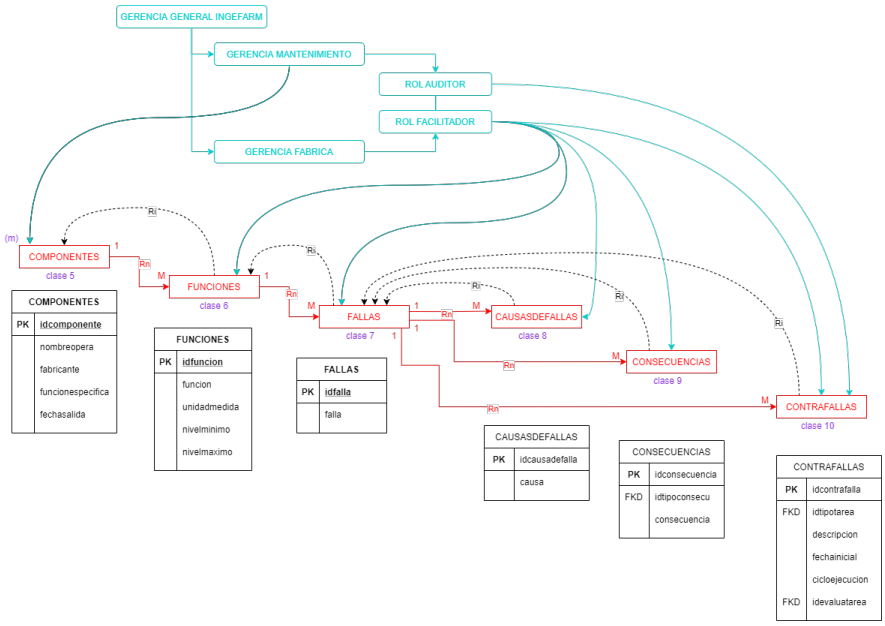


Figura 4.4: Lógica de Negocio FuturaRCM Parte 2

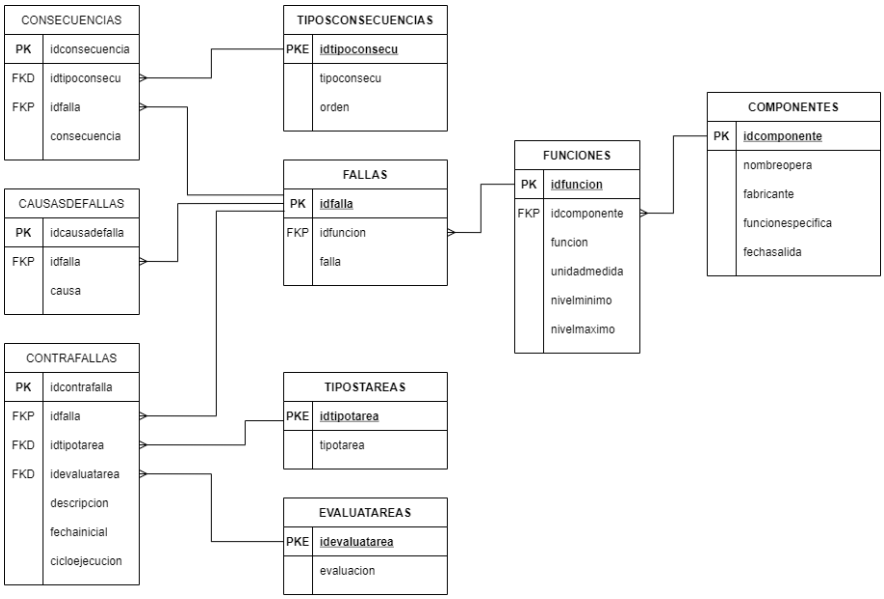


Figura 4.5: Modelo Relacional FuturaRCM Parte 2

4.2.3. Lógica de negocio creación Tareas de Mantenimiento y Observaciones

Definidas las Contrafallas, la Gerencia de Mantenimiento deberá crear las Tareas de Mantenimiento para que sean ejecutadas por los Técnicos, quienes además de realizar la gestión técnica y finalizar la Tarea, podrán realizar observaciones sobre cada una, permitiendo así retroalimentar y mejorar el proceso.

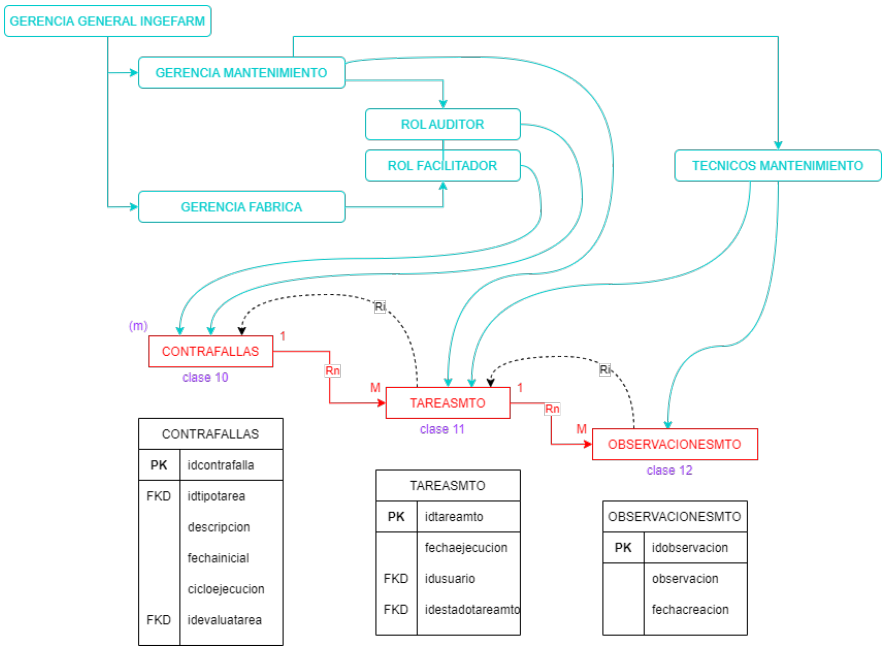


Figura 4.6: Lógica de Negocio FuturaRCM Parte 3

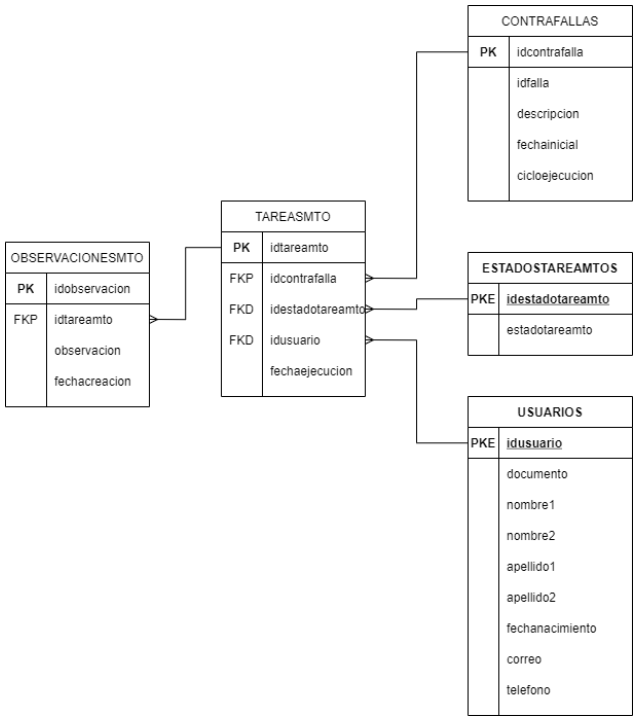


Figura 4.7: Modelo Relacional FuturaRCM Parte 3

4.2.4. Lógica de negocio creación de Usuarios, Roles y Permisos para ingresar a los Módulos de FuturaRCM

El área de Recursos Humanos podrá definir los Usuarios que podrán utilizar FuturaRCM, el Administrador de Seguridad podrá definir los Roles y Módulos a los que el Usuario tendrá Permiso de ingresar.

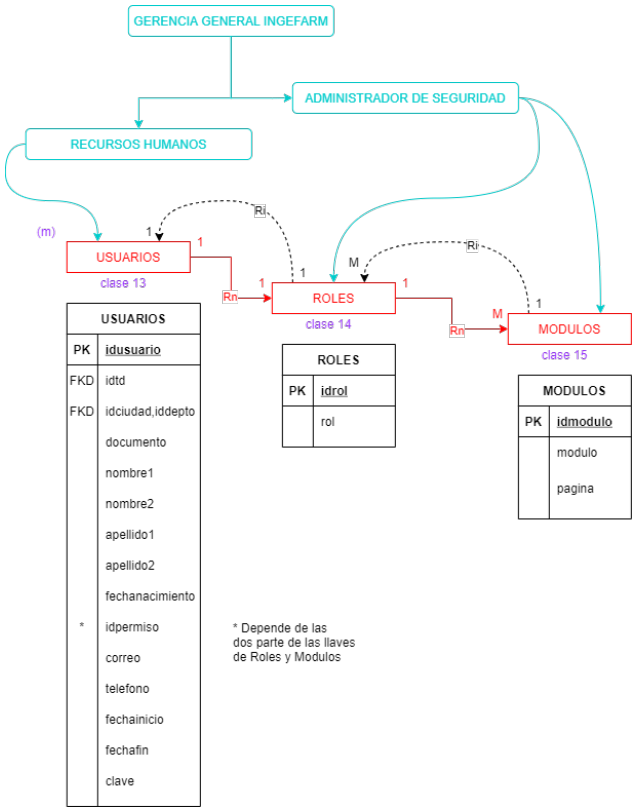


Figura 4.8: Lógica de Negocio FuturaRCM Parte 4

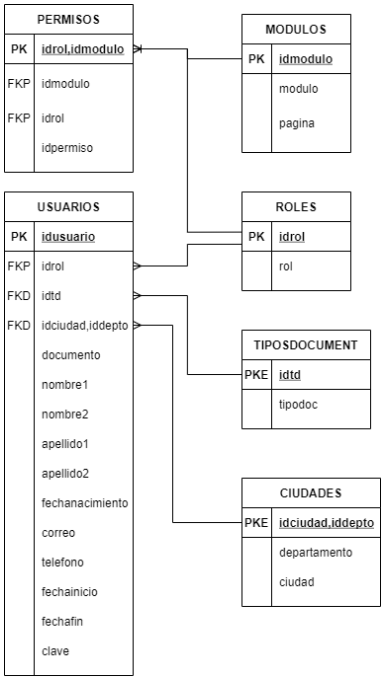


Figura 4.9: Modelo Relacional FuturaRCM Parte 4

4.2.5. Valores parametrizados previamente

Cuadro 4.1: Tabla CIUDADES

CIUDADES			
idciudad	**iddepto**	**ciudad**	**departamento**
1	11	Bogota	Cundinamarca

Cuadro 4.2: Tabla TIPOSDOCUMENT

TIPOSDOCUMENT	
idtd	**tipodoc**
1	CC
2	NI
3	CE
4	PE
5	TI
6	PA

Cuadro 4.3: Tabla ROLES

ROLES	
idrol	**rol**
1	ADMINISTRADOR
2	FACILITADOR
3	AUDITOR
4	GESTOR
5	CONSULTAS

Cuadro 4.4: Tabla MODULOS

MODULOS		
idmodulo	**modulo**	**pagina**
1	EMPRESA	NULL
2	FALLAS	NULL
3	INVENTARIOS	NULL
4	PLANES DE MANTENIMIENTO	NULL

Cuadro 4.5: Tabla ESTADOSEQUIPOS

ESTADOSEQUIPOS	
idestadoequipo	**estadoequipo**
1	ACTIVO
2	CANCELADO

Cuadro 4.6: Tabla ESTADOSTAREAMTOS

ESTADOSTAREAMTOS	
idestadotareamto	**estadotareamto**
1	PROGRAMADA
2	EN EJECUCION
3	FINALIZADA

Cuadro 4.7: Tabla EVALUATAREAS

EVALUATAREAS	
idevaluatarea	**evaluacion**
1	ACEPTADA
2	RECHAZADA
3	PENDIENTE REVISION
4	EN REVISION

Cuadro 4.8: Tabla TIPCONSECUENCIAS

TIPCONSECUENCIAS		
idtipoconsecu	**tipoconsecu**	**orden**
1	Seguridad y medio ambiente	1
2	Operacional	2
3	Falla no evidente	3
4	No Operacional	4

Cuadro 4.9: Tabla TIPOSTAREAS

TIPOSTAREAS	
idtipotarea	**tipotarea**
1	BASADA EN LA CONDICION
2	REACONDICIONAMIENTO CICLICO
3	SUSTITUCION CICLICA

4.2.6. Procedimientos Almacenados y Consultas

Como ya se señalo es necesario parametrizar algunas tablas para el correcto funcionamiento del prototipo, a continuación se muestran algunos procedimientos y resultados de consultas que son necesarios para el manejo de la capa de negocio y que son cosumidos por los Api del prototipo:

Procedimiento almacenado para crear planes de mantenimiento: Al momento de ejecutar el procedimiento, toma todas las tareas de mantenimiento (tareasmto) que esten en estado "2-EN EJECUCION" y les actualiza la fecha de ejecución a la fecha actual del sistema, posteriormente por medio de un cursor, toma cada uno de las Contrafallas que están en estado Aprobadas y le calcula la nueva fecha de ejecución, esto lo hace basado en los parámetros "fechainicial" y "cicloejecucion" de esa misma tabla, si ya existen tareas de mantenimiento que estén en estado Finalizadas, FuturaRCM calcula la próxima fecha de ejecución basada en la fecha en que se realizó la tarea, por ultimo verifica que no exista una tareas ya creada en estado programada para la misma Contrafecha, si no existen tareas en estado programada para la contrafalla, crea a nueva tarea de mantenimiento en la base de datos, en el resultado señala la cantidad de planes de trabajo que creo.

```
alter procedure [dbo].[PRG_CreaPlanMantenimiento](@v_usuario nvarchar(20))
as
begin try

declare @v_idcontrafalla bigint;
declare @v_fechainicial date;
declare @v_fechaUltMto date;
```

```
declare @v_fechaProxMto date;
declare @v_cicloejecucion int;
declare @v_fechaactual date=GETDATE();
declare @v_creaplan int=1;
declare @v_planescreados int=0;
declare @v_idusuario int;

select @v_idusuario=idusuario from usuarios where usuario=@v_usuario;

if not exists(select idusuario from usuarios where usuario=@v_usuario)
begin
select 'El Usuario Ingresado no Existe en FuturaRCM';
return
end

select @v_idusuario=idusuario from usuarios where usuario=@v_usuario;

update tareasmto
set fechaejecucion=@v_fechaactual
where idestadotareamto=2;

declare CursorCreaPlanMto cursor for
select c.idcontrafalla,
       c.fechainicial,
       c.cicloejecucion
from contrafallas c
where c.idevaluatarea=1;

open CursorCreaPlanMto

FETCH CursorCreaPlanMto INTO @v_idcontrafalla,@v_fechainicial,@v_cicloejecucion

WHILE (@@FETCH_STATUS = 0 )

begin

         set @v_creaplan=1;

         select @v_fechaUltMto=isnull(max(fechaejecucion),@v_fechainicial)
         from tareasmto t
         where idcontrafalla=@v_idcontrafalla
         and idestadotareamto=3;

         set @v_fechaProxMto=dateadd(day,@v_cicloejecucion,@v_fechaUltMto)

         if exists(select *
                   from tareasmto t
                   where t.idcontrafalla=@v_idcontrafalla
                     and t.idestadotareamto=2)
         begin
             set @v_creaplan=0
         end

         if exists(select *
                   from tareasmto t
                   where t.idcontrafalla=@v_idcontrafalla
                     and t.idestadotareamto=1
                     and fechaejecucion=@v_fechaProxMto)
         begin

             set @v_creaplan=0
         end

         if @v_creaplan=1
         begin
             insert into tareasmto(idcontrafalla,fechaejecucion,idestadotareamto,fechacreacion,idusuariocrea)
             values(@v_idcontrafalla,@v_fechaProxMto,1,@v_fechaactual,@v_idusuario);

             set @v_planescreados=@v_planescreados+1
         end

FETCH CursorCreaPlanMto INTO @v_idcontrafalla,@v_fechainicial,@v_cicloejecucion

end

CLOSE CursorCreaPlanMto

DEALLOCATE CursorCreaPlanMto

select 'Se crearon ' + CONVERT(VARCHAR,@v_planescreados) + ' Planes de Mantenimiento' respuesta;
return

end try

begin catch
end catch
```

Consulta datos Empresa, Sucursales y Áreas :

```
select e.idempresa
,ptd.tipodoc empresaTd
,e.documento empresadocumento
,e.rasonsocial empresa
,e.telefono empresatelefono
,e.direccion empresadireccion
,e.correo empresacorreo
,pc.departamento emresadepto
,pc.ciudad empresaciudad
,s.idsucursal
,s.nombresucursal sucursalnombre
,pc1.departamento sucursaldepto
,pc1.ciudad sucursalmunicipio
,s.telefono sucursaltelefono
,s.direccion sucursaldireccion
,s.correo sucursalcorreo
,a.idarea
,a.telefono
,a.correo
,a.nombrearea
from empresas e
inner join ciudades pc on (e.idciudad=pc.idciudad)
                      and (e.iddepto=pc.iddepto)
inner join tiposdocument ptd on (ptd.idtd=e.idtd)
inner join sucursales s on (e.idempresa=s.idempresa)
inner join ciudades pc1 on (s.idciudad=pc1.idciudad)
                      and (s.iddepto=pc1.iddepto)
inner join areas a on (s.idsucursal=a.idsucursal);
```

idempresa	empresaTd	empresadocumento	empresa	empresatelefono	empresadireccion	empresacorreo	emresadepto	empresaciudad
1	NI	8099999999	IngeFarm	31111111111	Carrera 24 # 56-67	ingefarm@gmail.com	Cundinamarca	Bogota

idsucursal	sucursalnombre	sucursaldepto	sucursalmunicipio	sucursaltelefono	sucursaldireccion	sucursalcorreo
1	Ingefarm Bogota	Cundinamarca	Bogota	31111111111	cr 34 56 78	ingefarmsuc@gmail.com

idarea	telefono	correo	nombrearea
1	32222222222	area1@gmail.com	Fabrica

Figura 4.10: Consulta datos Empresa, Sucursales y Áreas

Consulta Equipos y Componentes :

```
select e.idarea,
       e.idequipo,
       e.nombreopera equipo,
       e.fabricante equipofarbicante,
       e.fechafabricacion equipofechfabrica,
       e.fechaadquisicion equipofechadquisicion,
       e.modelo equipomodelo,
       e.codigofabricacion equipcodfabricacion,
       c.idcomponente,
       c.nombreopera componente,
       c.fabricante componentefabricante
from equipos e
inner join componentes c on (e.idequipo=c.idequipo)
```

idarea	idequipo	equipo	equipofarbicante	equipofechfabrica	equipofechadquisicion	equipomodelo	equipcodfabricacion
1	1	Fresadora con cabezal vertical	Inamil	01/06/1997	01/05/2019	FT-TMH05	5KVHD

idequipo	idcomponente	componente	componentefabricante
1	1	motor	siemens
1	2	Bandas de cambio de revoluciones	siemens
1	3	Caja de velocidad de los avances	siemens
1	4	Caja del sistema eléctrico	siemens
1	5	Sistema de refrigeración	siemens
1	6	Mesa	siemens
1	7	Fresa	siemens
1	8	Palancas de avance	siemens
1	9	Cabezal divisor	siemens

Figura 4.11: Consulta Equipos y Componentes

Consulta Componentes y Funciones :

```
select c.idcomponente,
       c.nombreopera componente,
       f.idfuncion,
       f.funcion,
       f.unidadmedida,
       f.nivelminimo,
       f.nivelmaximo
from componentes c
inner join funciones f on (c.idcomponente=f.idcomponente)
```

idequipo	idcomponente	componente	componentefabricante	idfuncion	funcion	unidadmedida	nivelminimo	nivelmaximo
1	1	motor	siemens	1	Suministra energía rotacional	RPM	430	2000
1	2	Bandas de cambio de revoluciones	siemens	2	Transmitir energía mecánica del motor a un eje	RPM	430	2000
1	3	Caja de velocidad de los avances	siemens	4	Controlar la velocidad de avance en los sentidos x,y,z	RPM	430	2000
1	4	Caja del sistema eléctrico	siemens	5	Mantener encendidos todos los componentes electricos	voltaje	220	220
1	5	Sistema de refrigeración	siemens	6	Refrigerar la piezas y herramientas de operación	nivel litros	7.4	7.4
1	6	Mesa	siemens	7	Sirve como base para la pieza y permite su corte en varias direcciones	grados angulares	90	90
1	7	Fresa	siemens	8	Crea superficies planas o contornos	desgaste	0	0
1	8	Palancas de avance	siemens	9	Dan diferentes direcciones a la mesa	deformaciones	0	0
1	9	Cabezal divisor	siemens	10	Permite modelar piñones mediante agujeros en un circulo	milimetros	25	25

Figura 4.12: Consulta Componentes y Funciones

Consulta Funciones y tipo de Fallas :

```
select f.idcomponente,
       f.idfuncion,
       f.funcion,
       f.unidadmedida,
       f.nivelminimo,
       f.nivelmaximo,
       fall.idfalla,
       fall.falla
from funciones f
inner join fallas fall on (f.idfuncion=fall.idfuncion)
```

idcomponente	idfuncion	funcion	unidadmedida	nivelminimo	nivelmaximo	idfalla	falla
1	1	Suministra energía rotacional	RPM	430	2000	1	No proporciona energía rotacional
1	1	Suministra energía rotacional	RPM	430	2000	2	La energía rotacional suministrada es intermitente
2	2	Transmitir energía mecánica del motor a un eje	RPM	430	2000	3	No transmite la rotación hacia otros compontes
2	2	Transmitir energía mecánica del motor a un eje	RPM	430	2000	4	La transmisión de rotación hacia otros componentes es deficiente
4	5	Mantener encendidos todos los componentes electricos	voltaje	220	220	7	Cortocircuito
4	5	Mantener encendidos todos los componentes electricos	voltaje	220	220	8	Se quemaron aparatos eléctricos y electrónicos
5	6	Refrigerar la piezas y herramientas de operación	nivel litros	7.4	7.4	9	Suciedad del aceite de refrigeración
5	6	Refrigerar la piezas y herramientas de operación	nivel litros	7.4	7.4	10	Fugas en la bomba de aceite
5	6	Refrigerar la piezas y herramientas de operación	nivel litros	7.4	7.4	11	Mangueras deformadas y con fugas
6	7	Sirve como base para la pieza y permite su corte en varias direcciones	grados angulares	90	90	12	desnivel de la mesa
7	8	Crea superficies planas o contornos	desgaste	0	0	13	Se parte o se desgasta la fresa
8	9	Dan diferentes direcciones a la mesa	deformaciones	0	0	14	Se rompe
9	10	Permite modelar piñones mediante agujeros en un circulo	milimetros	25	25	15	Se quiebra y se unen agujeros
9	10	Permite modelar piñones mediante agujeros en un circulo	milimetros	25	25	16	Daño del usillo divisor
9	10	Permite modelar piñones mediante agujeros en un circulo	milimetros	25	25	17	Daño de la guia de ruedas
3	4	Controlar la velocidad de avance en los sentidos x,y,z	RPM	430	2000	19	Desgaste y falla de los engranajes y ejes de la caja
3	4	Controlar la velocidad de avance en los sentidos x,y,z	RPM	430	2000	20	Fallas en el sistema eléctrico de la caja de velocidades

Figura 4.13: Consulta Funciones y tipo de Fallas

Consulta Fallas y Causa de las fallas :

```
select fall.idfuncion,
       fall.idfalla,
       fall.falla,
       cau.idcausadefalla,
       cau.causa
from fallas fall
inner join causasdefallas cau on (fall.idfalla=cau.idfalla)
```

idfuncion	idfalla	falla	idcausadefalla	causa
1	1	No proporciona energía rotacional	1	Se excedió la corriente nominal que pueden soportar los bobinados
1	2	La energía rotacional suministrada es intermitente	2	Alto uso del motor
2	3	No transmite la rotación hacia otros compontes	3	Exceso de tensión
2	4	La transmisión de rotación hacia otros componentes es deficiente	4	Fatiga debido al exceso de trabajo
5	7	Cortocircuito	7	Mal asilamiento de los conductores
5	8	Se quemaron aparatos eléctricos y electrónicos	8	Deficiencia en la regulación de tensión
6	9	Suciedad del aceite de refrigeración	9	Malos filtros de aceite
6	10	Fugas en la bomba de aceite	10	Sellos o empaques averiados
6	11	Mangueras deformadas y con fugas	11	Alta presión y fatiga del material
7	12	desnivel de la mesa	12	El terreno de la base cede y el gran tiempo de uso de la fresadora
8	13	Se parte o se desgasta la fresa	13	por fatiga o dureza del material a labrar
9	14	Se rompe	14	Exceso de fuerza y fatiga
10	15	Se quiebra y se unen agujeros	15	Exceso de uso, mal uso de la herramienta
10	16	Daño del usillo divisor	16	Fatiga y exceso de esfuerzos
10	17	Daño de la guia de ruedas	17	Mucha fricción
4	19	Desgaste y falla de los engranajes y ejes de la caja	18	Falta de lubricación
4	20	Fallas en el sistema eléctrico de la caja de velocidades	19	Mal aislamiento y cortos en los conductores eléctricos

Figura 4.14: Consulta Fallas y Causa de las fallas

Consulta Fallas y Consecuencias :

```
select fall.idfuncion,
       fall.idfalla,
       fall.falla,
       consec.idconsecuencia,
       consec.consecuencia,
       tcon.tipoconsecu,
       tcon.orden
from fallas fall
inner join consecuencias consec on (fall.idfalla=consec.idfalla)
inner join tipconsecuencias tcon on (consec.idtipoconsecu=tcon.idtipoconsecu)
```

idfuncion	idfalla	falla	idconsecuencia	consecuencia	tipoconsecu	orden
1	1	No proporciona energía rotacional	5	Fresadora no inicia	Operacional	2
1	2	La energía rotacional suministrada es intermitente	6	La maquina arranca pero para para en cualquier momento	Operacional	2
2	3	No transmite la rotación hacia otros compontes	7	el motor se sobrecalienta y puede provocar corto	Seguridad y medio ambiente	1
2	4	La transmisión de rotación hacia otros componentes es deficiente	8	La maquina arranca pero para para en cualquier momento	Operacional	2
4	19	Desgaste y falla de los engranajes y ejes de la caja	9	puede presentar un daño de transmision	Operacional	2
4	20	Fallas en el sistema eléctrico de la caja de velocidades	10	no genera cambio de velocidad	Falla no evidente	3
5	7	Cortocircuito	11	puede generar un incendio	Seguridad y medio ambiente	1
5	8	Se quemaron aparatos eléctricos y electrónicos	12	puede generar un corto	Falla no evidente	3
6	9	Suciedad del aceite de refrigeración	13	No refrigera la herramienta dañando el material	Operacional	2
6	10	Fugas en la bomba de aceite	14	se pierde aceite	Falla no evidente	3
6	11	Mangueras deformadas y con fugas	15	se pierde aceite	Falla no evidente	3
7	12	desnivel de la mesa	16	la pieza trabajada puede salir mal	Operacional	2
8	13	Se parte o se desgasta la fresa	17	no se puede continuar con la fabricacion	Operacional	2
9	14	Se rompe	18	no se puede manipular la maquina	Falla no evidente	3
10	15	Se quiebra y se unen agujeros	19	la pieza trabajada puede salir mal	Falla no evidente	3
10	16	Daño del usillo divisor	20	no se puede manipular la maquina	Operacional	2
10	17	Daño de la guia de ruedas	21	no se puede manipular la maquina	Operacional	2

Figura 4.15: Consulta Fallas y Consecuencias

Consulta Fallas y Contrafallas :

```
select fall.idfuncion,
       fall.idfalla,
       fall.falla,
       cotra.idcontrafalla,
       tipt.tipotarea,
       cotra.descripcion,
       cotra.fechainicial,
       cotra.cicloejecucion,
       esta.evaluacion
from fallas fall
inner join contrafallas cotra on (fall.idfalla=cotra.idfalla)
inner join tipostareas tipt on (tipt.idtipotarea=cotra.idtipotarea)
inner join evaluatareas esta on (esta.idevaluatarea=cotra.idevaluatarea)
```

idfuncion	idfalla	falla	idcontrafalla	tipotarea	descripcion	fechainicial	cicloejecucion	evaluacion
1	1	No proporciona energia rotacional	2	BASADA EN LA CONDICION	Medidores de corriente en los bobinados	03/05/2021	10	ACEPTADA
1	2	La energia rotacional suministrada es intermitente	3	SUSTITUCION CICLICA	cambio de escobillas cada 3 meses	03/05/2021	90	ACEPTADA
2	3	No transmite la rotación hacia otros compontes	4	REACONDICIONAMIENTO CICLICO	Revisión de la tensión de las poleas	03/05/2021	90	ACEPTADA
2	4	La transmisión de rotación hacia otros componentes es deficiente	5	SUSTITUCION CICLICA	Revisar el estado de las bandas con posible cambio	03/05/2021	15	ACEPTADA
4	19	Desgaste y falla de los engranajes y ejes de la caja	6	REACONDICIONAMIENTO CICLICO	Revisar y lubricar puntos de lubricación	03/05/2021	15	ACEPTADA
4	20	Fallas en el sistema eléctrico de la caja de velocidades	7	REACONDICIONAMIENTO CICLICO	Revisar el sistema eléctrico, manteniéndolo limpio y bien aislado	03/05/2021	15	ACEPTADA
5	7	Cortocircuito	8	REACONDICIONAMIENTO CICLICO	Revisar el sistema eléctrico	03/05/2021	180	ACEPTADA
5	8	Se quemaron aparatos eléctricos y electrónicos	9	SUSTITUCION CICLICA	Instalar sistemas de medida y reguladores de tensión para poderla controlar	03/05/2021	180	ACEPTADA
6	9	Suciedad del aceite de refrigeración	10	REACONDICIONAMIENTO CICLICO	Limpieza y revisión de filtros con posible cambio	03/05/2021	7	RECHAZADA
6	10	Fugas en la bomba de aceite	11	SUSTITUCION CICLICA	Revisión de la bomba y mangueas	03/05/2021	90	ACEPTADA
6	11	Mangueras deformadas y con fugas	12	SUSTITUCION CICLICA	Revisar el estado de las mangueras	03/05/2021	15	ACEPTADA
7	12	desnivel de la mesa	13	SUSTITUCION CICLICA	Revisar el nivel de la mesa con un elemento de nivel de precision	03/05/2021	30	ACEPTADA
8	13	Se parte o se desgasta la fresa	14	BASADA EN LA CONDICION	Revisar tipo de material a fresar y material de la fresa posible cambio de la fresa	03/05/2021	2	ACEPTADA
9	14	Se rompe	15	BASADA EN LA CONDICION	Revisar deformaciones de la herramienta	03/05/2021	30	ACEPTADA
10	15	Se quiebra y se unen agujeros	16	BASADA EN LA CONDICION	Revisar agujeros del cabezal con calibrador posible cambio	03/05/2021	60	ACEPTADA
10	16	Daño del usillo divisor	17	BASADA EN LA CONDICION	Revisar centro con calibrador posible cambio	03/05/2021	90	EN REVISION
10	17	Daño de la guia de ruedas	18	BASADA EN LA CONDICION	Revisar distancia entre ejes y desgaste posible cambio	03/05/2021	90	ACEPTADA

Figura 4.16: Consulta Fallas y Contrafallas

Consulta Planes de Mantenimiento :

```
select tarea.idtareamto,
       tarea.idcontrafalla,
       tarea.fechaejecucion,
       usu.nombre1 + ' ' + usu.apellido1 nombretecnico,
       estta.estadotareamto,
       cotra.descripcion,
       tcon.orden,
       co.nombreopera componente,
       eq.nombreopera equipo,
       ar.nombrearea,
       ar.telefono areatelefono,
       ar.correo areacorreo,
       ciu.departamento,
       ciu.ciudad
from tareasmto tarea
inner join usuarios usu on (tarea.idusuario=usu.idusuario)
inner join contrafallas cotra on (cotra.idcontrafalla=tarea.idcontrafalla)
inner join consecuencias con on (cotra.idfalla=con.idfalla)
inner join tipconsecuencias tcon on (con.idtipoconsecu=tcon.idtipoconsecu)
inner join estadostareamtos estta on (tarea.idestadotareamto=estta.idestadotareamto)
inner join fallas fa on (cotra.idfalla=fa.idfalla)
inner join funciones fu on (fu.idfuncion=fa.idfuncion)
inner join componentes co on (co.idcomponente=fu.idcomponente)
inner join equipos eq on (co.idequipo=eq.idequipo)
inner join areas ar on (ar.idarea=eq.idarea)
inner join sucursales suc on (suc.idsucursal=ar.idsucursal)
inner join ciudades ciu on (suc.idciudad=ciu.idciudad)
                       and (suc.iddepto=ciu.iddepto)
order by tarea.fechaejecucion,tcon.orden;
```

idtareamto	idcontrafalla	fechaejecucion	orden	nombretecnico	estadotareamto	descripcion	componente	equipo	nombrearea	areatelefono	areacorreo	departamento	ciudad
46	14	05/05/2021	2	Tecnico Tecnico	PROGRAMADA	Revisar tipo de material a fresar y material de la fresa posible cambio de la fresa	Fresa	Fresadora con cabezal vertical	Fabrica	32222222222	area1@gmail.com	Cundinamarca	Bogota
35	2	13/05/2021	2	Tecnico Tecnico	PROGRAMADA	Medidores de corriente en los bobinados	motor	Fresadora con cabezal vertical	Fabrica	32222222222	area1@gmail.com	Cundinamarca	Bogota
38	5	18/05/2021	2	Tecnico Tecnico	PROGRAMADA	Revisar el estado de las bandas con posible cambio	Bandas de cambio de revoluciones	Fresadora con cabezal vertical	Fabrica	32222222222	area1@gmail.com	Cundinamarca	Bogota
39	6	18/05/2021	2	Tecnico Tecnico	PROGRAMADA	Revisar y lubricar puntos de lubricación	Caja de velocidad de los avances	Fresadora con cabezal vertical	Fabrica	32222222222	area1@gmail.com	Cundinamarca	Bogota
40	7	18/05/2021	3	Tecnico Tecnico	PROGRAMADA	Revisar el sistema eléctrico, manteniéndolo limpio y bien aislado	Caja de velocidad de los avances	Fresadora con cabezal vertical	Fabrica	32222222222	area1@gmail.com	Cundinamarca	Bogota
44	12	18/05/2021	3	Tecnico Tecnico	PROGRAMADA	Revisar el estado de las mangueras	Sistema de refrigeración	Fresadora con cabezal vertical	Fabrica	32222222222	area1@gmail.com	Cundinamarca	Bogota
45	13	02/06/2021	2	Tecnico Tecnico	PROGRAMADA	Revisar el nivel de la mesa con un elemento de nivel de precision	Mesa	Fresadora con cabezal vertical	Fabrica	32222222222	area1@gmail.com	Cundinamarca	Bogota
47	15	02/06/2021	3	Tecnico Tecnico	PROGRAMADA	Revisar deformaciones de la herramienta	Palancas de avance	Fresadora con cabezal vertical	Fabrica	32222222222	area1@gmail.com	Cundinamarca	Bogota
48	16	02/07/2021	3	Tecnico Tecnico	PROGRAMADA	Revisar agujeros del cabezal con calibrador posible cambio	Cabezal divisor	Fresadora con cabezal vertical	Fabrica	32222222222	area1@gmail.com	Cundinamarca	Bogota
37	4	01/08/2021	1	Tecnico Tecnico	PROGRAMADA	Revisión de la tensión de las poleas	Bandas de cambio de revoluciones	Fresadora con cabezal vertical	Fabrica	32222222222	area1@gmail.com	Cundinamarca	Bogota
36	3	01/08/2021	2	Tecnico Tecnico	PROGRAMADA	cambio de escobillas cada 3 meses	motor	Fresadora con cabezal vertical	Fabrica	32222222222	area1@gmail.com	Cundinamarca	Bogota
49	18	01/08/2021	2	Tecnico Tecnico	PROGRAMADA	Revisar distancia entre ejes y desgaste posible cambio	Cabezal divisor	Fresadora con cabezal vertical	Fabrica	32222222222	area1@gmail.com	Cundinamarca	Bogota
43	11	01/08/2021	3	Tecnico Tecnico	PROGRAMADA	Revisión de la bomba y mangueas	Sistema de refrigeración	Fresadora con cabezal vertical	Fabrica	32222222222	area1@gmail.com	Cundinamarca	Bogota
41	8	30/10/2021	1	Tecnico Tecnico	PROGRAMADA	Revisar el sistema eléctrico	Caja del sistema eléctrico	Fresadora con cabezal vertical	Fabrica	32222222222	area1@gmail.com	Cundinamarca	Bogota
42	9	30/10/2021	3	Tecnico Tecnico	PROGRAMADA	Instalar sistemas de medida y reguladores de tensión para poderla controlar	Caja del sistema eléctrico	Fresadora con cabezal vertical	Fabrica	32222222222	area1@gmail.com	Cundinamarca	Bogota

Figura 4.17: Consulta Planes de Mantenimiento

Teniendo en cuenta la lógica del negocio que posee la Base de Datos FuturaRCM y que se encuentra diseñada sobre tablas altamente parametrizables, se pueden además de las consultas señaladas realizar otras como:

- Hoja de vidas de los equipos
- Estadísticas de mantenimiento
- Estadísticas de tareas por usuario
- Estadísticas de los equipos o componentes que más requieren mantenimiento
- Inventarios de fallas
- Estadísticas de las áreas que más necesitan mantenimiento
- Mantenimiento planeados a futuro
- Estado en tiempo real de los equipos

4.3. Web API RESTful FuturaRCM

Teniendo en cuenta que la lógica de negocio de FuturaRCM se encuentra en Base de datos y se maneja por medio de procedimientos almacenados, es muy fácil crear servicios Api que consuman estos procedimientos y generen objetos Json para posteriormente mostrarlos en una interfaz WEB, el sistema planteado para esto en un Web API RESTful desarrollado en .Netcore, la ventaja con este framework es que es multiplataforma y permite ser desplegado en cualquier tipo de sistema operativo.

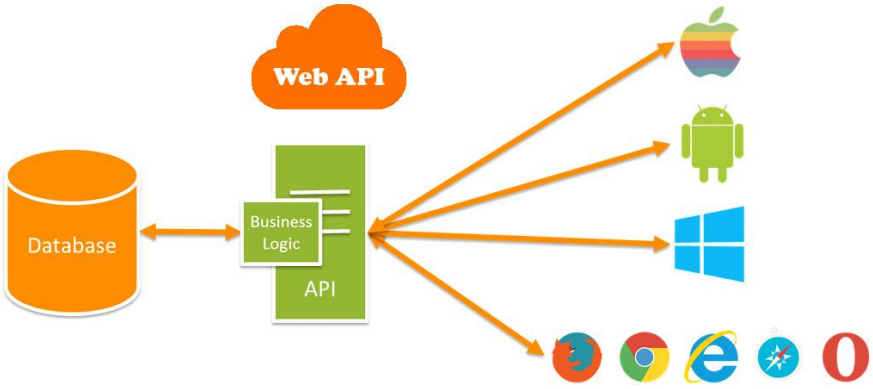


Figura 4.18: Modelo Web Api **Fuente:** techclub.tajamar.es

4.3.1. Autenticación Json Web Token

Gracias a las librerías que se pueden utilizar en .Netcore se puede desarrollar un sistema que al recibir la confirmación de autenticación de base de datos, devuelva un objeto Json con un Token el cual lo utilizara el usuario como llave para cualquier transacción entre la interfaz y la Base de datos, en la figura 4.19 podemos ver el Token generado por el Api Login

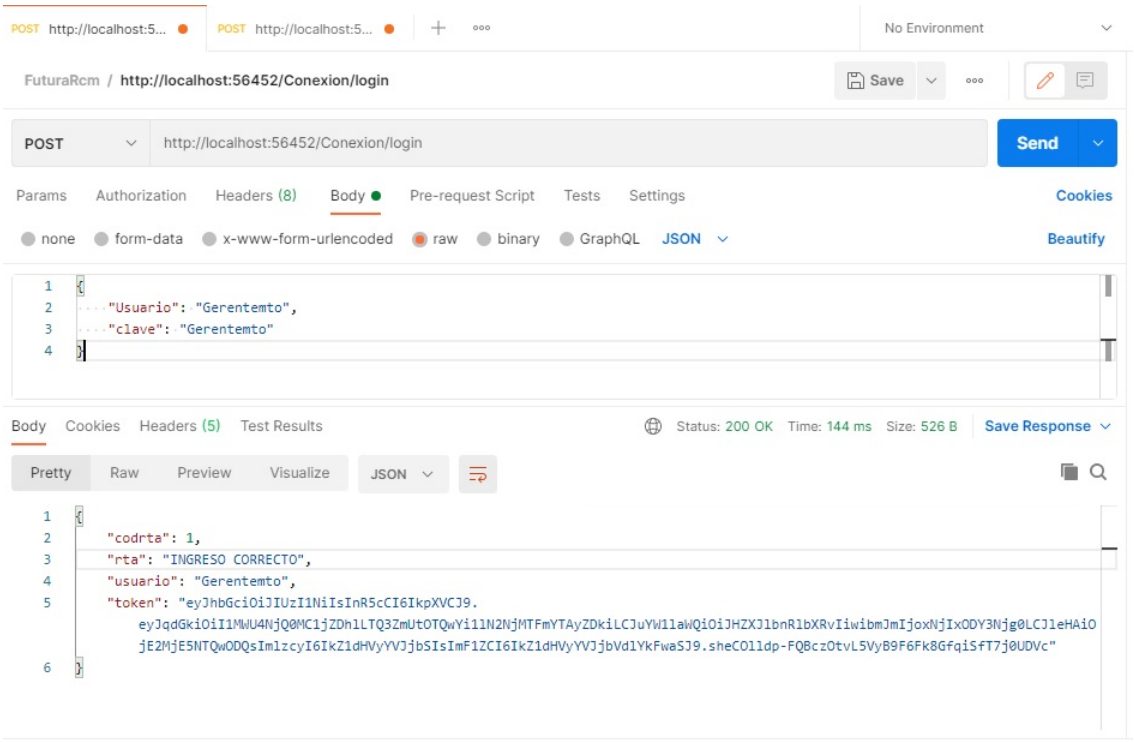


Figura 4.19: Implementación Api Login en software Postman

4.3.2. Arquitectura de Diseño

Para el desarrollo del API RESTful se manejó un modelo de capas la cuales son la Persistencia en donde se encuentra toda la relación con la base de datos, el Modelo donde se controlan los accesos y las clases de los objetos y la lógica que es en donde se realizan los cálculos o validaciones de negocio que no se pueden manejar desde base de datos y accesos específicos al sistema

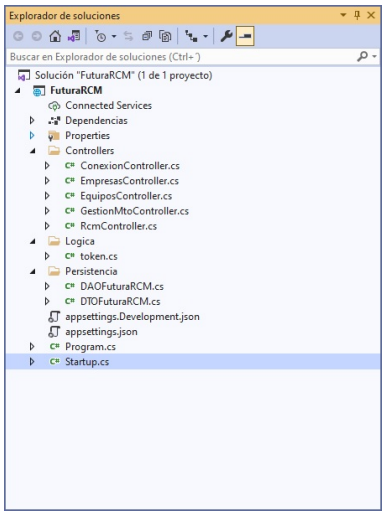


Figura 4.20: Distribución de capas en aplicación .Netcore FuturaRCM

Como podemos ver en la figura 4.20, para el desarrollo del API RESTful, se utilizaron 5 controladores definidos a razón de la lógica de negocio de FuturaRCM y en los cuales de definieron los EndPoints que consumirán la interfaz gráfica, los controladores son los siguientes:

- ConexionController
- EmpresasController
- EquiposController
- GestionMtoController
- RcmController

4.3.3. Interfaz

El FrontEnd del prototipo está diseñado en Angular Material, esta herramienta permite desarrollar la interfaz con una arquitectura de diseño tal como MVC y maneja el lenguaje TypeScript el cual es Fuertemente Tipado, permite un fácil consumo de los Api diseñados en .Net Core y se puede desplegar en cualquier tipo de servidor.

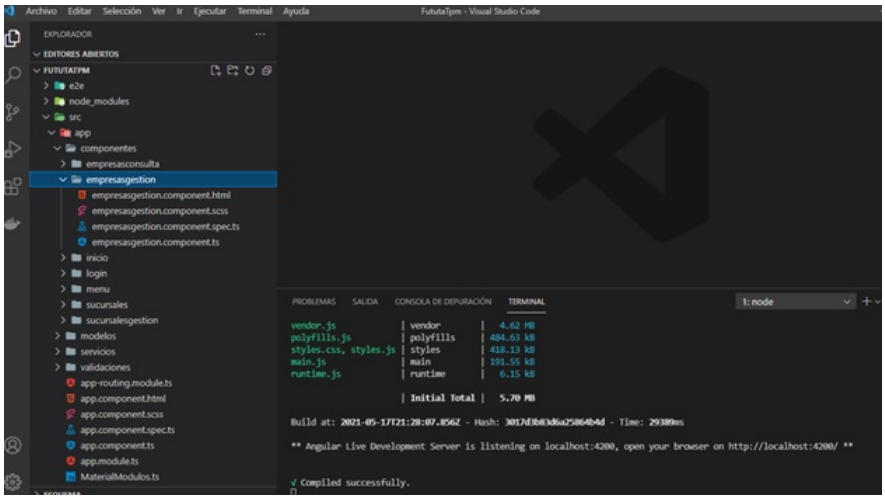


Figura 4.21: Aplicación Visual Studio Core con el Plugin de Angular Material



Figura 4.22: Pantalla de Ingreso FuturaRCM



Figura 4.23: Pantalla Inicial



Figura 4.24: Pantalla Gestion Empresas

4.4. Metodología de Desarrollo

Para diseñar y desarrollar el prototipo FuturaRCM se utilizó la Metodología Ágil XP (Extreme Programming), esto debido a que durante el desarrollo del modelo se lograron identificar y dividir las principales partes del proceso y se podían tener avances de cada una en un corto tiempo, de esta manera se lograba una retroalimentación por parte del Especialista en Gerencia de Mantenimiento y la empresa Ingefarm.

4.4.1. Roles creados para implementar XP

Cliente: El Rol de cliente estuvo a cargo del Gerente de Mantenimiento de la empresa IngeFarm, así mismo y basado en los modelos desarrollados, quien estableció las prioridades y los alcances de cada fase de entrega.

Programador y Tester: El diseño de la base de datos, la arquitectura de los servicios y el desarrollo del Prototipo, así como las pruebas iniciales estuvo a cargo del investigador de este proyecto Juan Carlos Chaparro Vera, esto debido la experiencia adquirida durante la observación de los procesos de IngeFarm y el diseño del modelo.

Coach: Para este rol el Especialista en Gerencia de Mantenimiento basado en su experiencia de procesos, fue el encargado de revisar que las entregas del prototipo estuvieran acordes a lo planteado en los modelos y no se perdiera el hilo del proceso.

Consultor: El rol de consultor se compartió entre el Especialista en Gerencia de Mantenimiento y el investigador de este proyecto Juan Carlos Chaparro Vera.

4.4.2. Herramientas de desarrollo

Debido a que la programación solo estuvo a cargo de una persona, lo cual no es aconsejado en la metodología XP, se optó por utilizar SQL Sever para el desarrollo de la base de datos, .Netcore para el desarrollo de los Api y Angular para el desarrollo del Frontend de la aplicación, ya que el programador tenía experiencia con el manejo de estas tres herramientas.

4.4.3. Historias de usuario

Para el manejo de historias de usuario se utilizaron los diagramas de flujo y las descripciones de cada uno de los pasos del modelo señalado en el Capítulo 3 Sección 3.2 de este trabajo de investigación.

4.4.4. Entregas Simples

Debido al corto tiempo de entrega fue necesario planificar entregas semanales de cada uno de los procesos identificados y que no tuvieran la necesidad de probarlos en conjunto con algún otro proceso, a diferencia de otras Metodologías Agiles como por ejemplo Scrum,

la Metodología XP se basa en tiempos de entregas más cortos lo que beneficio el desarrollo del prototipo

4.4.5. Ciclo de la metodología XP

En la imagen 4.25 podemos ver el ciclo del proceso de desarrollo utilizando la metodología XP

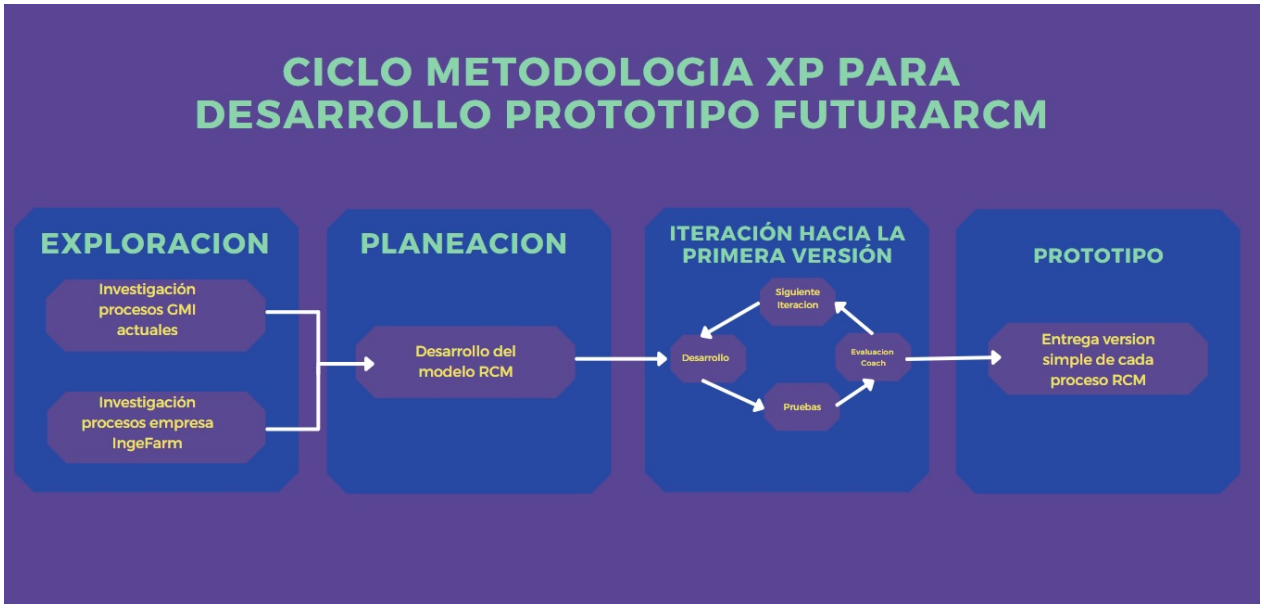


Figura 4.25: Ciclo de la metodología XP

Capítulo 5

Arquitectura Empresarial

Teniendo en cuenta que ya se definió un modelo de gestión de mantenimiento basado en la estrategia moderna RCM y un prototipo de software denominado FuturaRCM, a continuación se explicara por medio de un análisis de alto nivel como se puede unificar los objetivos del modelo con los objetivos estratégicos y de negocio de la empresa IngeFarm, todo esto con ayuda de las tecnologías de la información.

5.1. Amd

5.1.1. Misión de la Empresa IngeFarm

Solventar las necesidades de nuestros clientes en cuanto a maquinaria industrial especializada en laboratorios de medicamentos, a través de la flexibilidad y versatilidad de nuestros recursos. Para ello tenemos en cuenta la seguridad de nuestros trabajadores, la máxima eficiencia de nuestros procesos y el respeto por el medio ambiente

5.1.2. Visión de la Empresa IngeFarm

Ser una empresa líder en el sector de los servicios Industriales a nivel Internacional. Ser reconocida por la Excelencia, la mejora continua, y la polivalencia y maestría sobre las nuevas tecnologías

5.1.3. Principios de la Empresa IngeFarm

- Trabajo en equipo
- Compromiso
- Calidad
- Innovación
- Responsabilidad
- Cuidado del medio ambiente

5.1.4. Objetivo General de la Empresa IngeFarm

Entregar productos de calidad a nuestros clientes fabricados con equipos certificados que les generen confianza y seguridad ayudándolos a alcanzar el éxito y el progreso en el desarrollo de sus actividades

5.1.5. Objetivo Específicos de la Empresa IngeFarm

- Fabricación de equipos industriales de calidad
- Brindarles a nuestros clientes equipos confiables que les permita asegurar sus procesos productivos
- Garantizar que nuestros equipos de fabricación tienen un mantenimiento correcto y certificado
- Implementar proceso de gestión de mantenimiento industrial centrado en la confiabilidad (RCM)

5.2. Capa de Motivación

5.2.1. Vista de Stakeholder

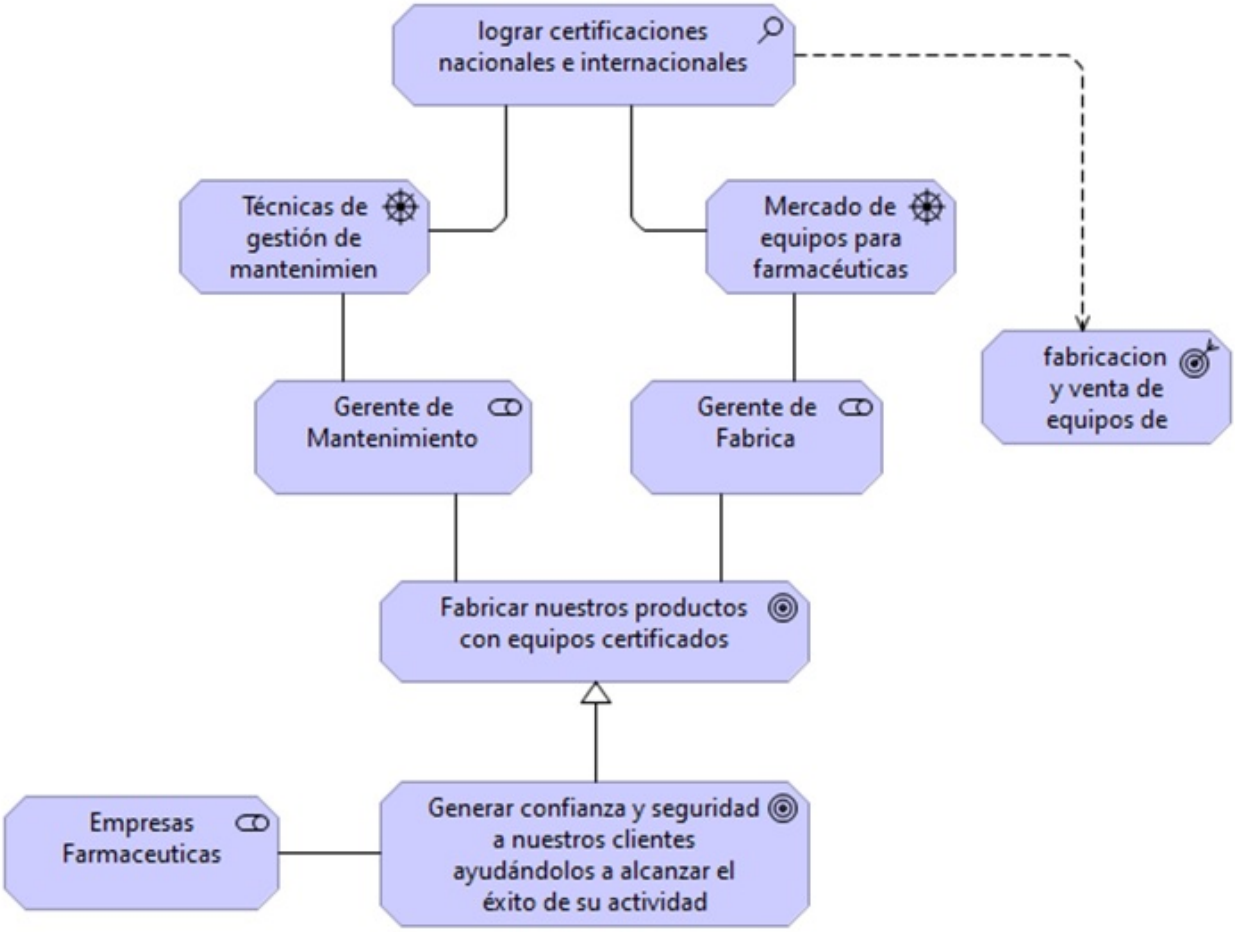


Figura 5.1: Vista de Stakeholder

5.2.2. Vista de Realización de Objetivos

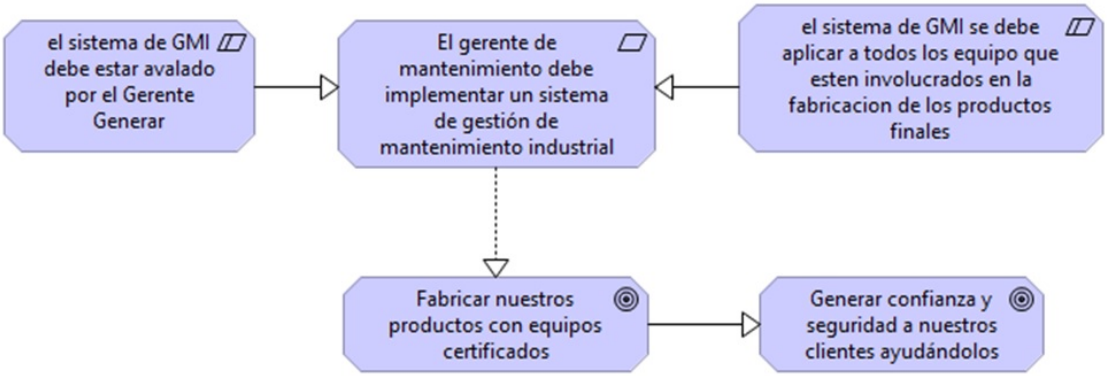


Figura 5.2: Vista de Realización de Objetivos

En esta figura podemos ver la restricciones que existen para lograr el objetivo de "fabricar nuestros productos con equipos certificados" y que a su vez se transforma en la confianza de los clientes, todo esto por el requerimiento del Gerente de Mantenimiento que implementa un sistema de gestión de mantenimiento

5.2.3. Vista de Contribución de Objetivos

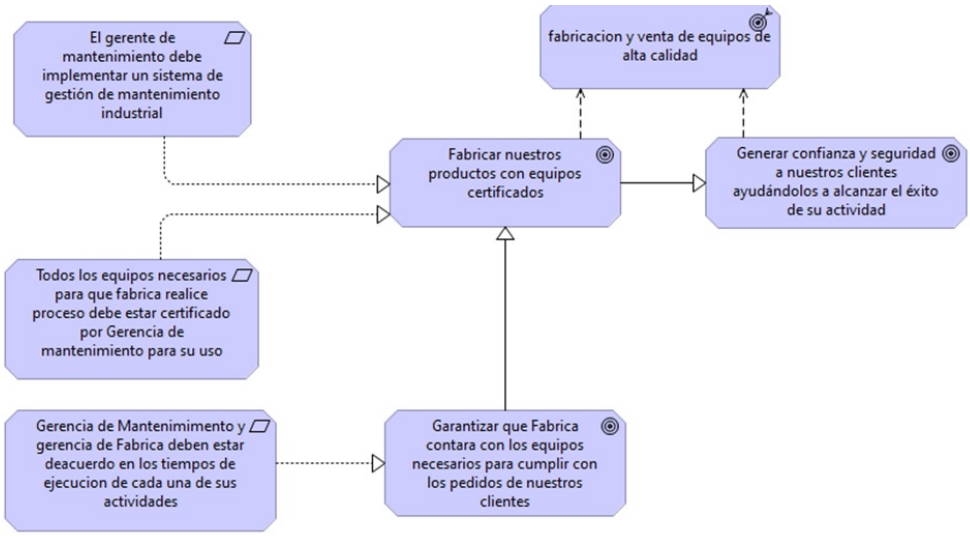


Figura 5.3: Vista de Contribución de Objetivos

En esta figura podemos ver las restricciones que existen ya para todos los objetivos específicos de la compañía, todo en busca de la fabricación y venta de equipos de alta calidad

5.2.4. Vista de Principios

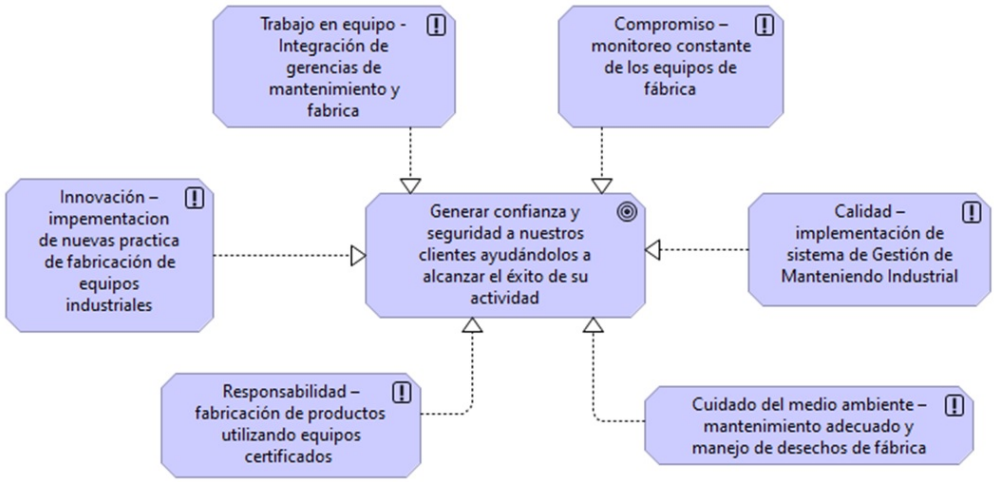


Figura 5.4: Vista de Principios

5.2.5. Vista de Realización de Requerimientos

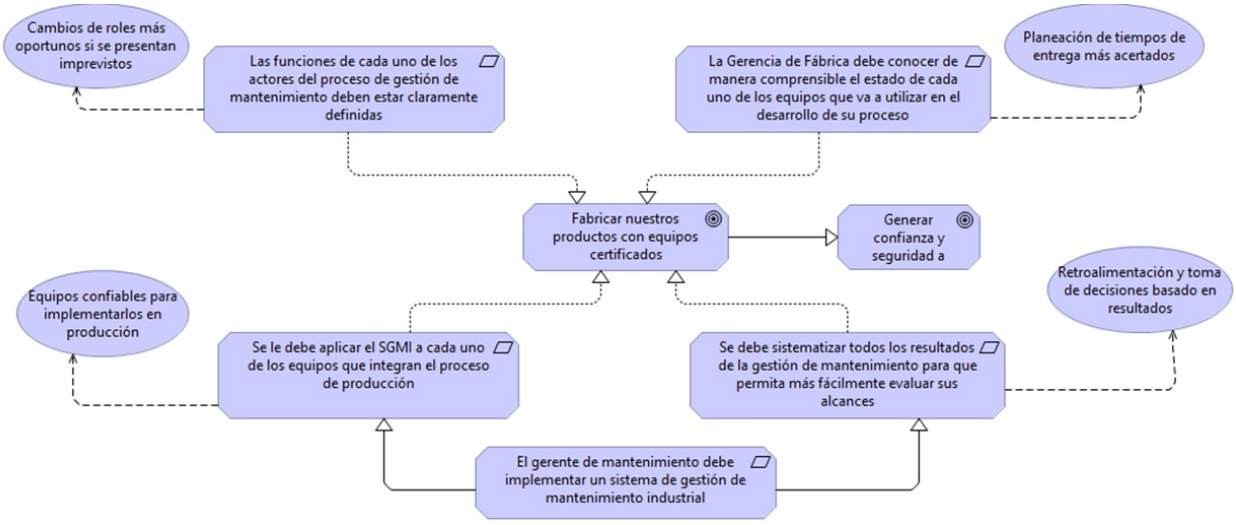


Figura 5.5: Vista de Realización de Requerimientos

En esta figura podemos ver los objetos de valor que se generan a partir de los requerimientos y que contribuyen a lograr el objetivo final

5.2.6. Vista de Motivación

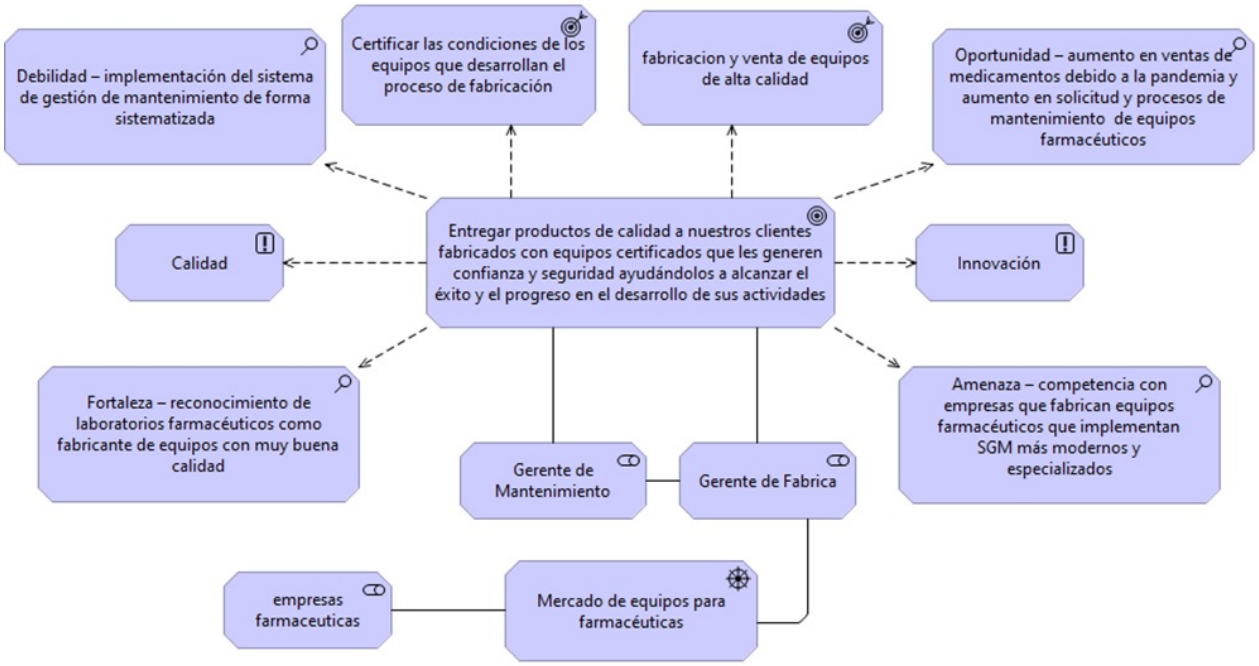


Figura 5.6: Vista de Motivación

5.3. Capa de Estrategia

5.3.1. Vista de Estrategia

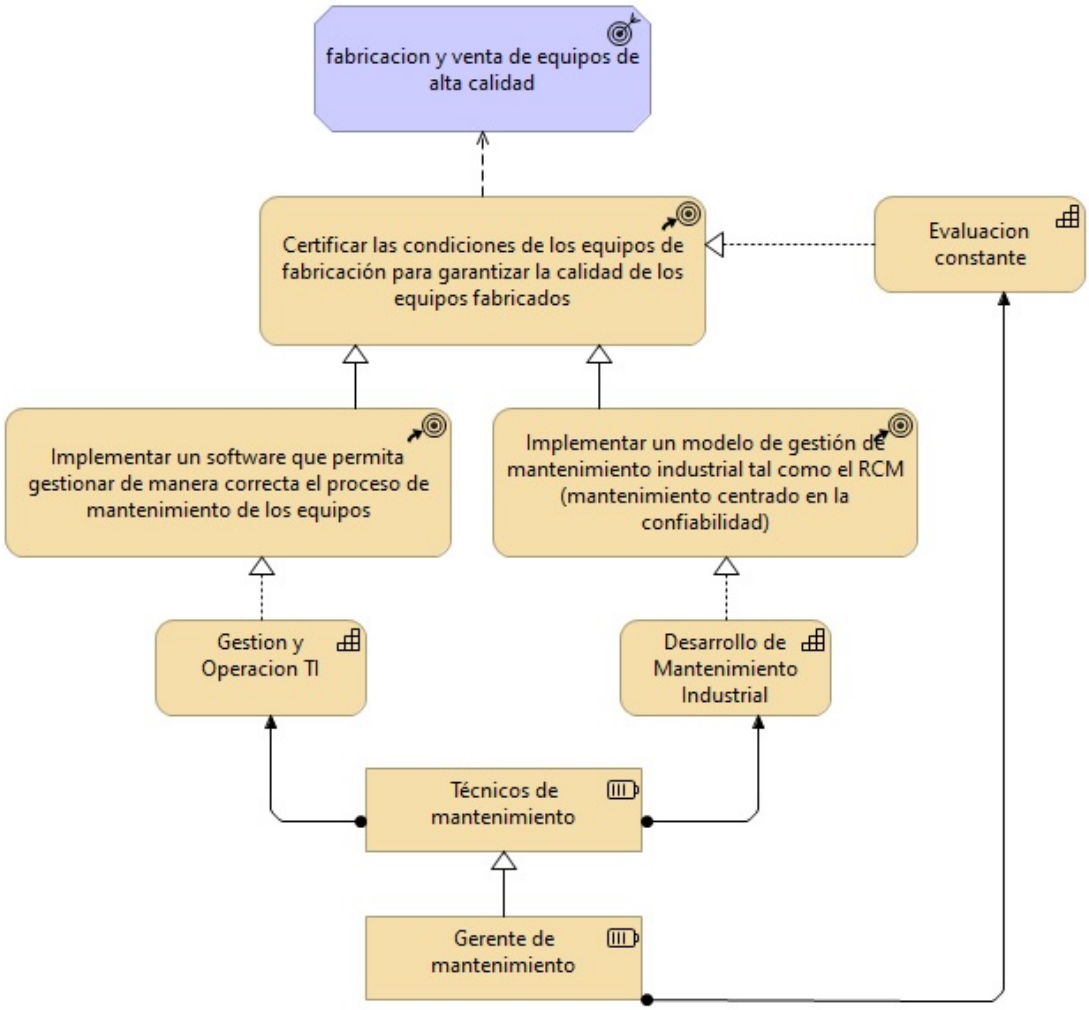


Figura 5.7: Vista de Estrategia

En esta figura podemos ver el curso de acción que realiza dese el gerente de mantenimiento para alcanzar el objetivo de fabricación y venta de equipos de calidad

5.3.2. Vista de Mapa de Capacidad

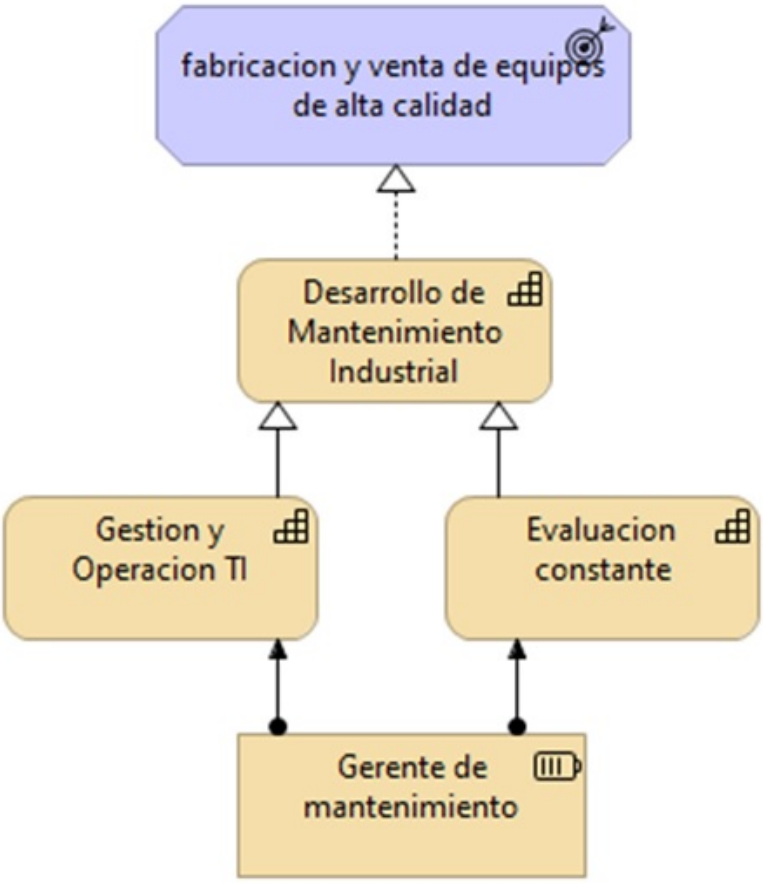


Figura 5.8: Vista de Mapa de Capacidad

5.3.3. Vista de Realización de Resultado

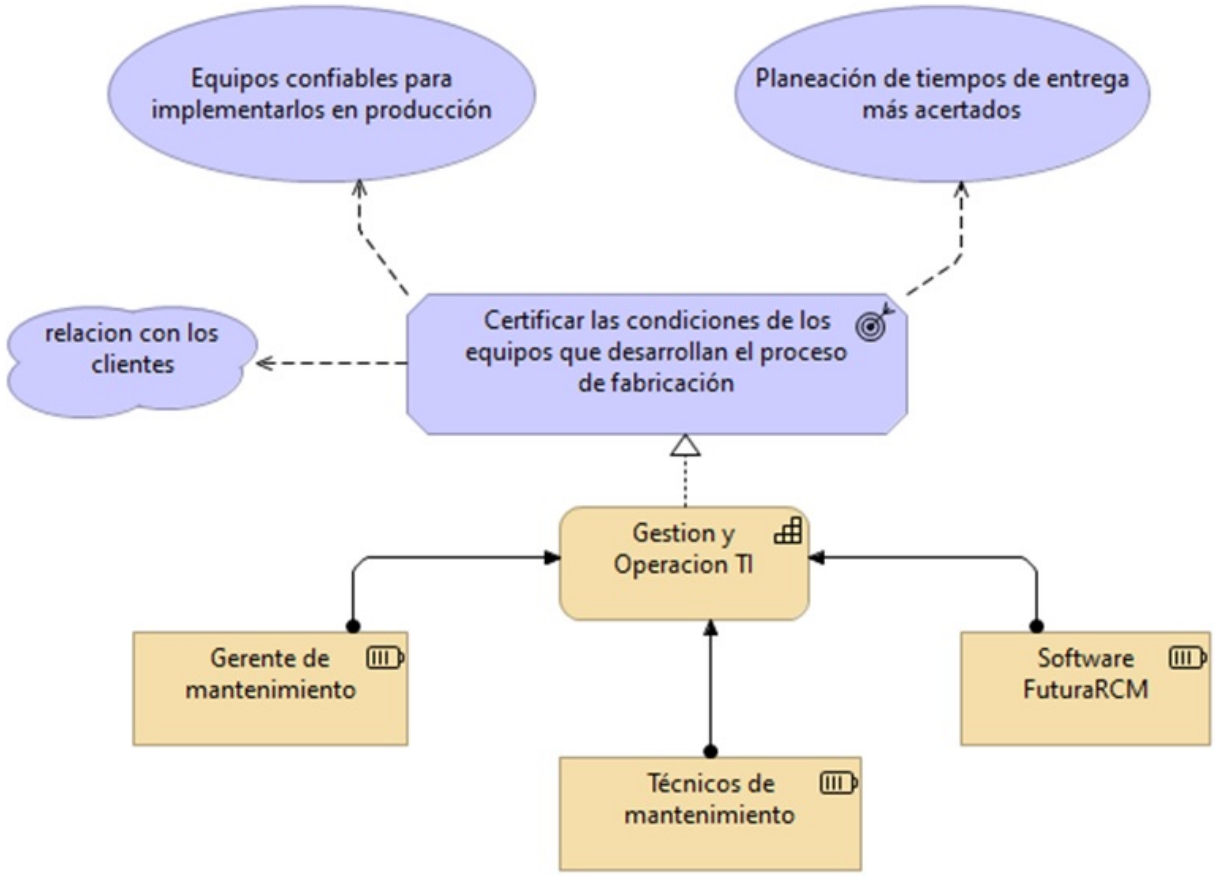


Figura 5.9: Vista de Realización de Resultado

En esta figura podemos ver la manera como a través de la gestión y operaciones de sistemas de información se alcanza los objetivos y además se consiguen objetos de valor tal como son: una mejor planeación de la fábrica y la confianza de los equipos que utiliza

5.3.4. Vista de Mapa de Recursos

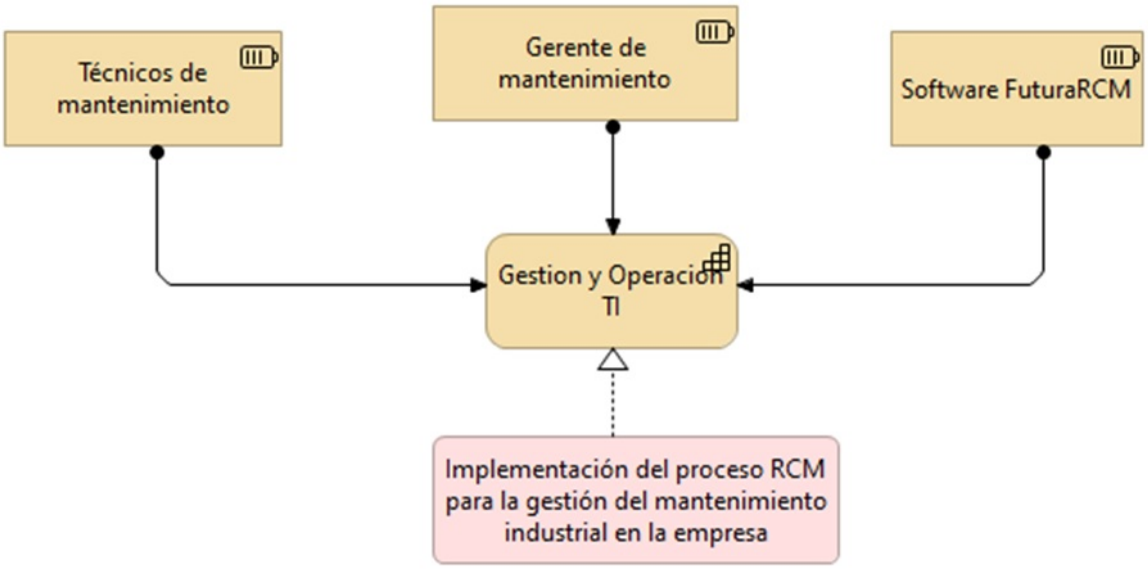


Figura 5.10: Vista de Mapa de Recursos

En esta figura podemos ver que un recurso como el Software FuturaRCM permite crear un plan de trabajo el cual hará parte del modelo de negocio de IngeFarm

5.4. Capa de Negocio

5.4.1. Vista de Organización

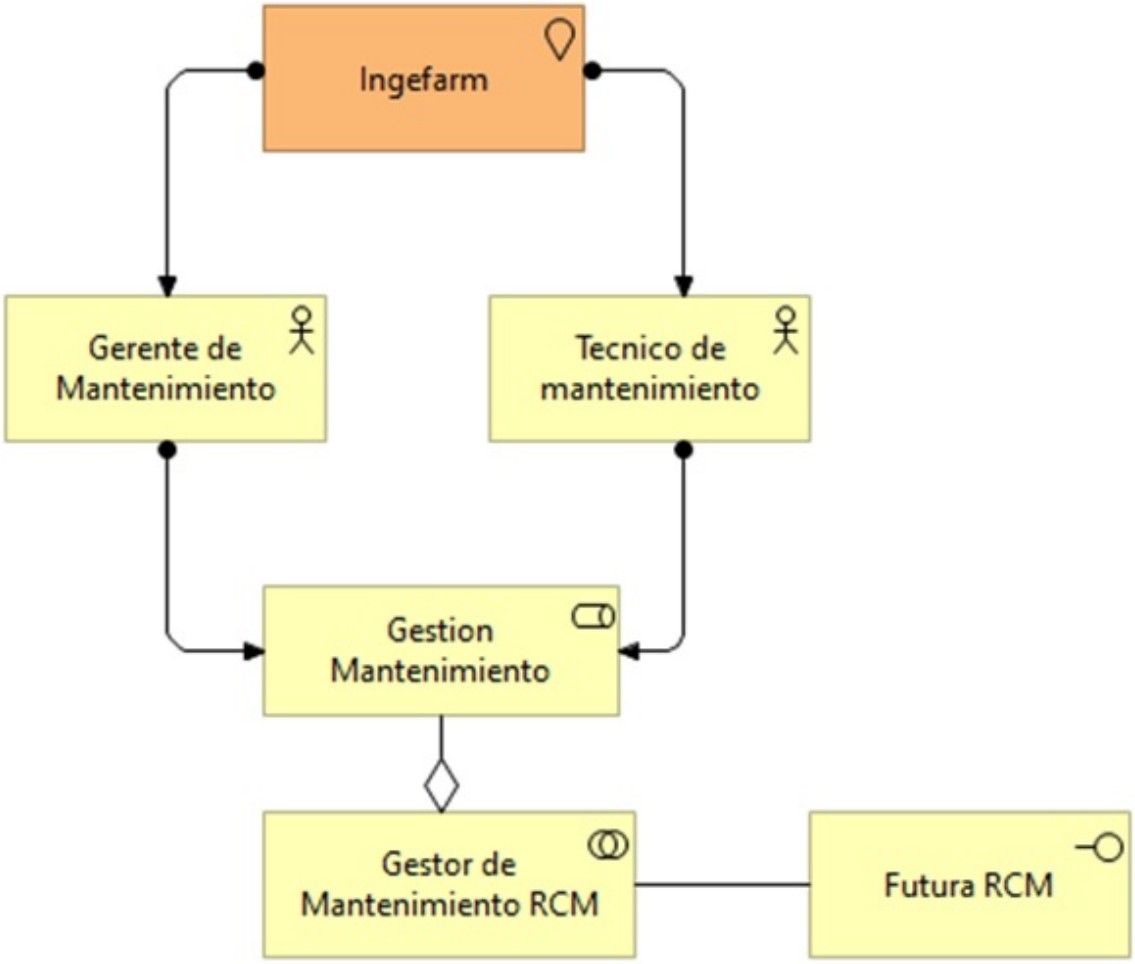


Figura 5.11: Vista de Organización

5.4.2. Vista de Cooperación de Actor

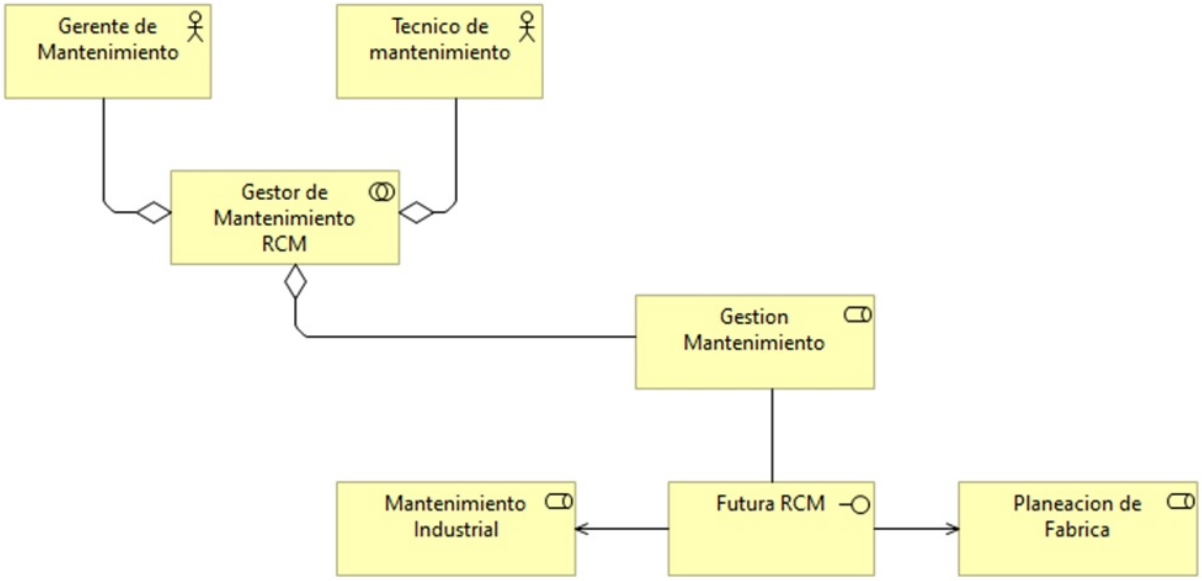


Figura 5.12: Vista de Cooperación de Actor

5.4.3. Vista de Función de Negocio

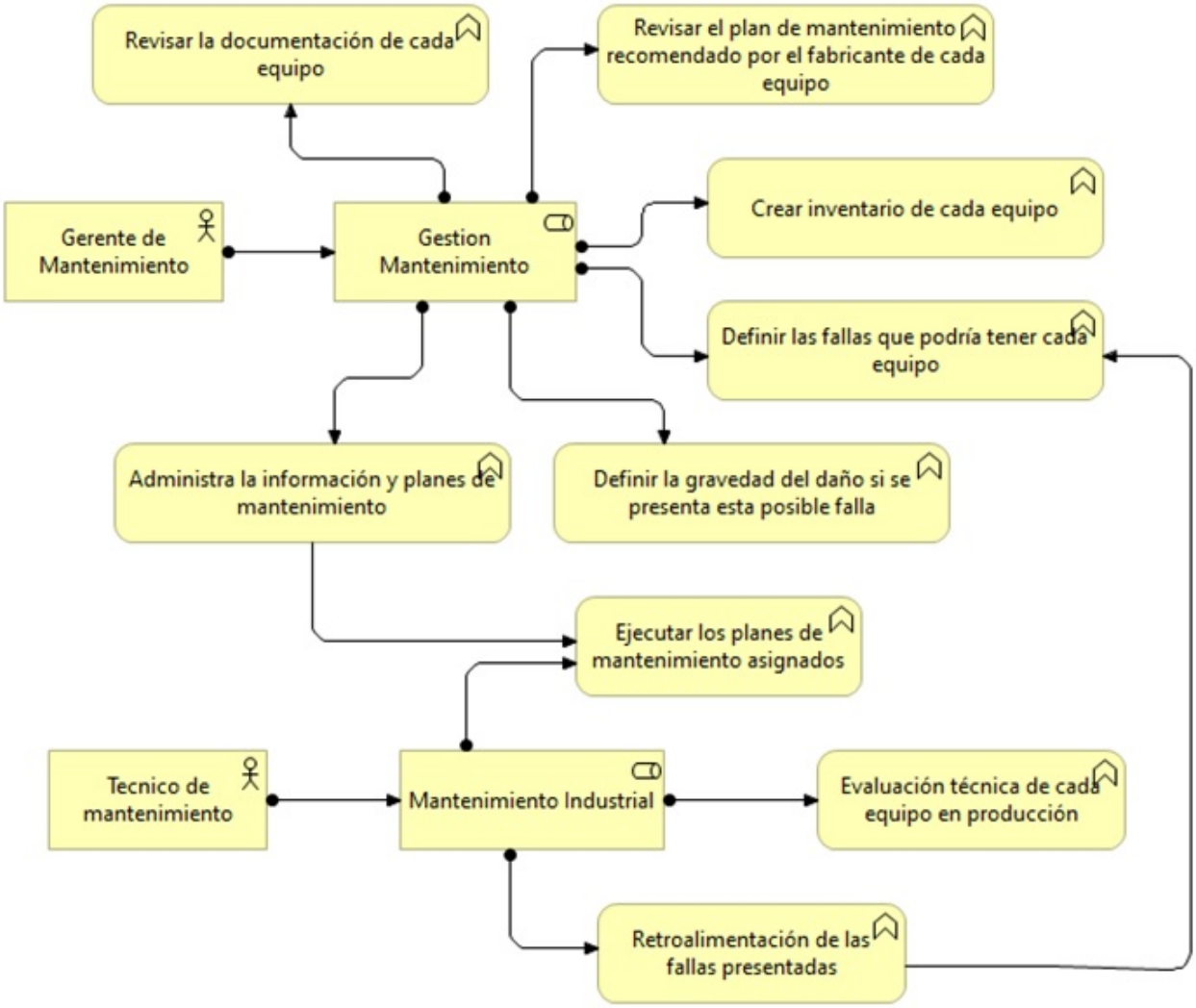


Figura 5.13: Vista de Función de Negocio

En esta figura podemos ver que se definen roles y cada uno tiene varias funciones en el negocio

5.4.4. Vista de Proceso de Negocio

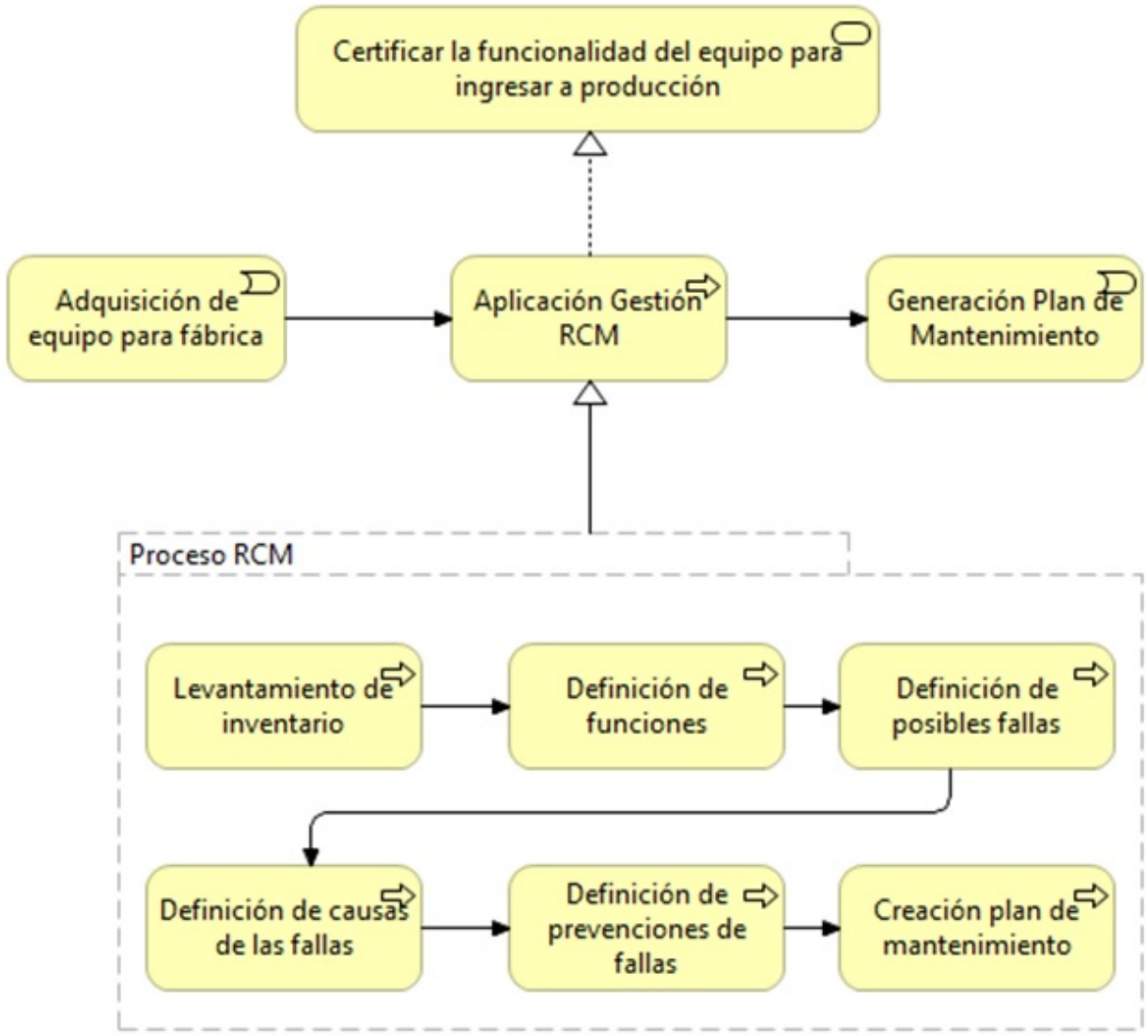


Figura 5.14: Vista de Proceso de Negocio

En esta figura podemos ver como al aplicar el proceso RCM genera unos eventos en el negocio y a su vez me permite entregar un servicio que es la certificación funcional de los equipos

5.4.5. Vista de Cooperación de Proceso de Negocio

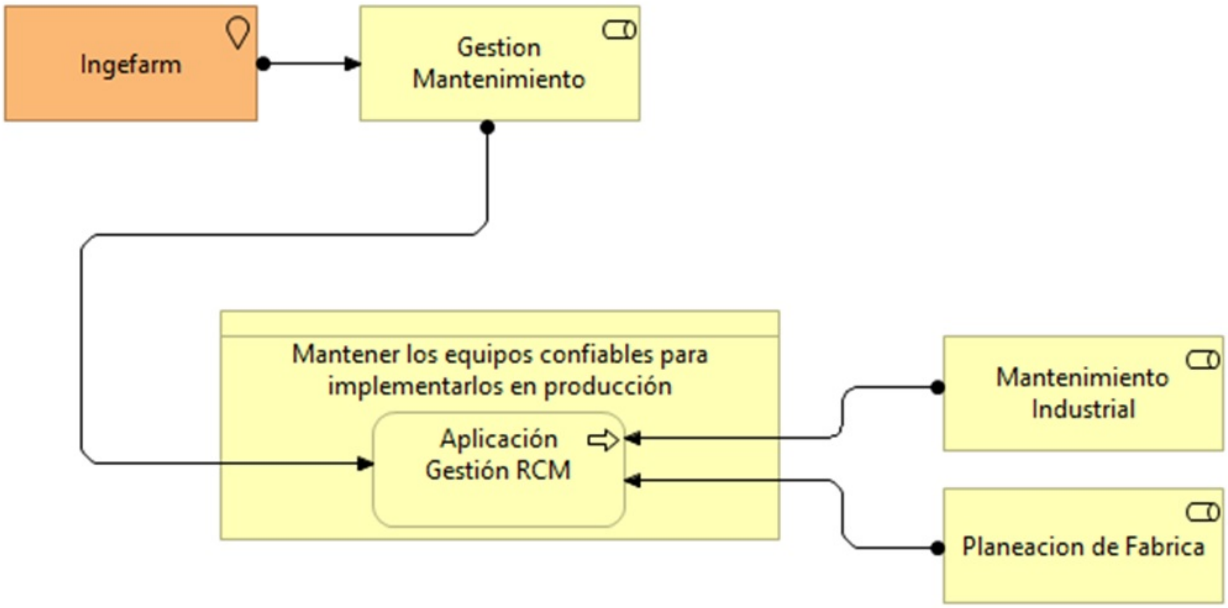


Figura 5.15: Vista de Cooperación de Proceso de Negocio

En esta figura podemos ver los roles más importantes que integrarían el proceso CMR

5.4.6. Vista de Producto

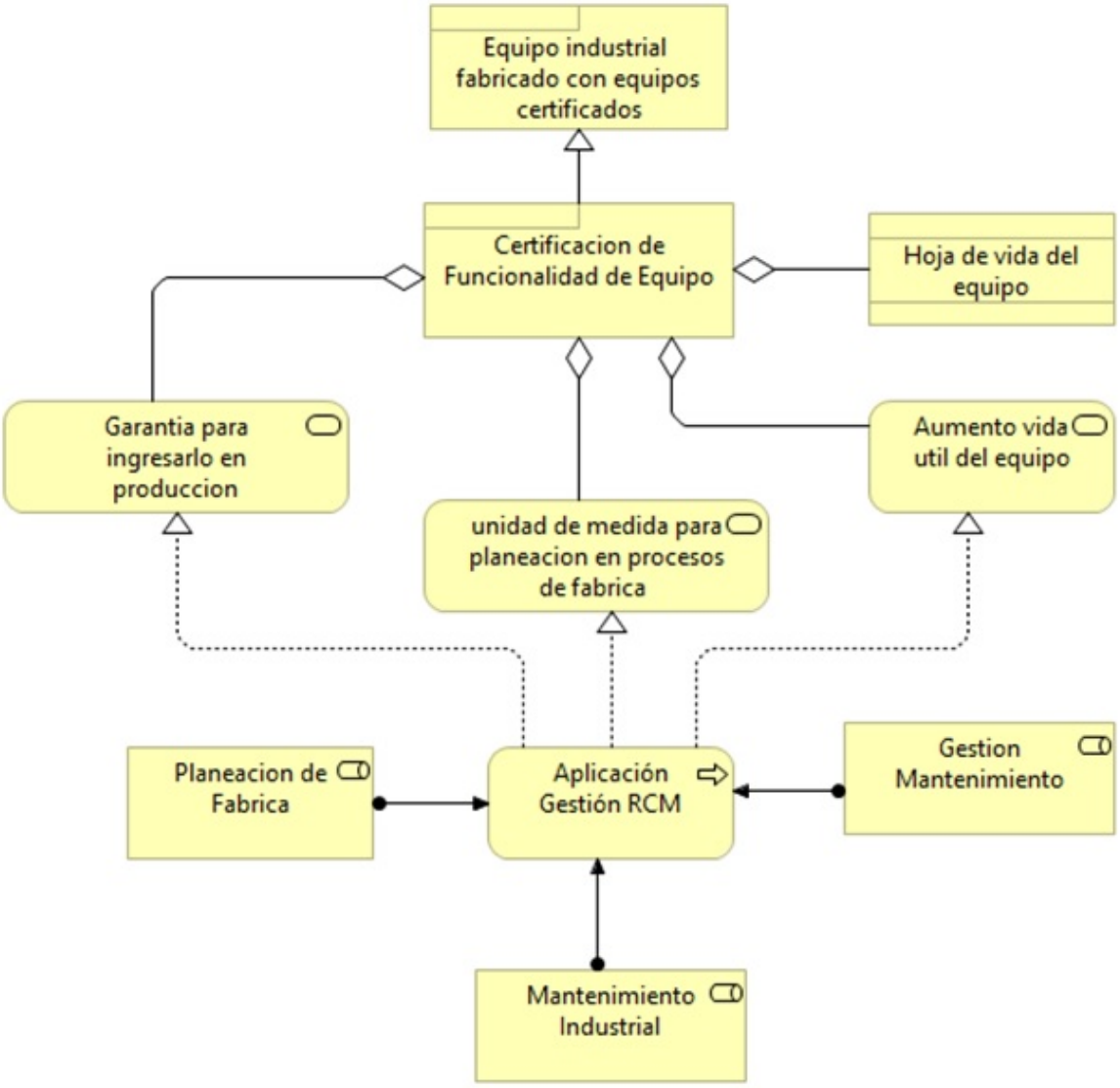


Figura 5.16: Vista de Producto

En esta figura podemos ver los objetos de valor que se generan al implementar un proceso de RCM, así como los productos que este proceso puede entregar

5.5. Capa de Aplicación

5.5.1. Vista de Comportamiento de Aplicación

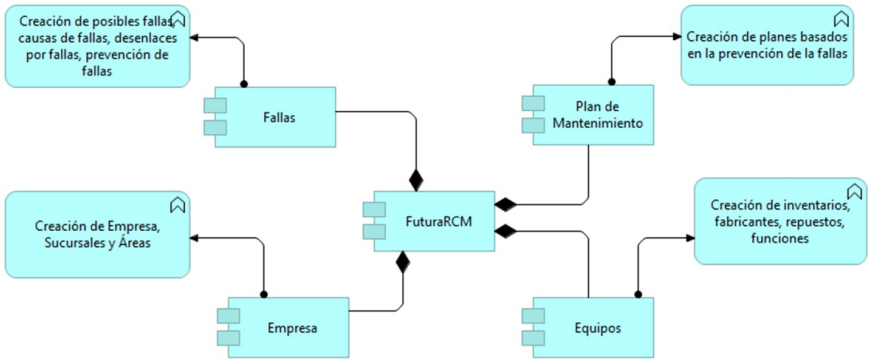


Figura 5.17: Vista de Comportamiento de Aplicación

En esta figura podemos ver los módulos principales que integran el prototipo de software FuturaRCM y las funciones que tiene en el negocio

5.5.2. Vista de Cooperación de Aplicación

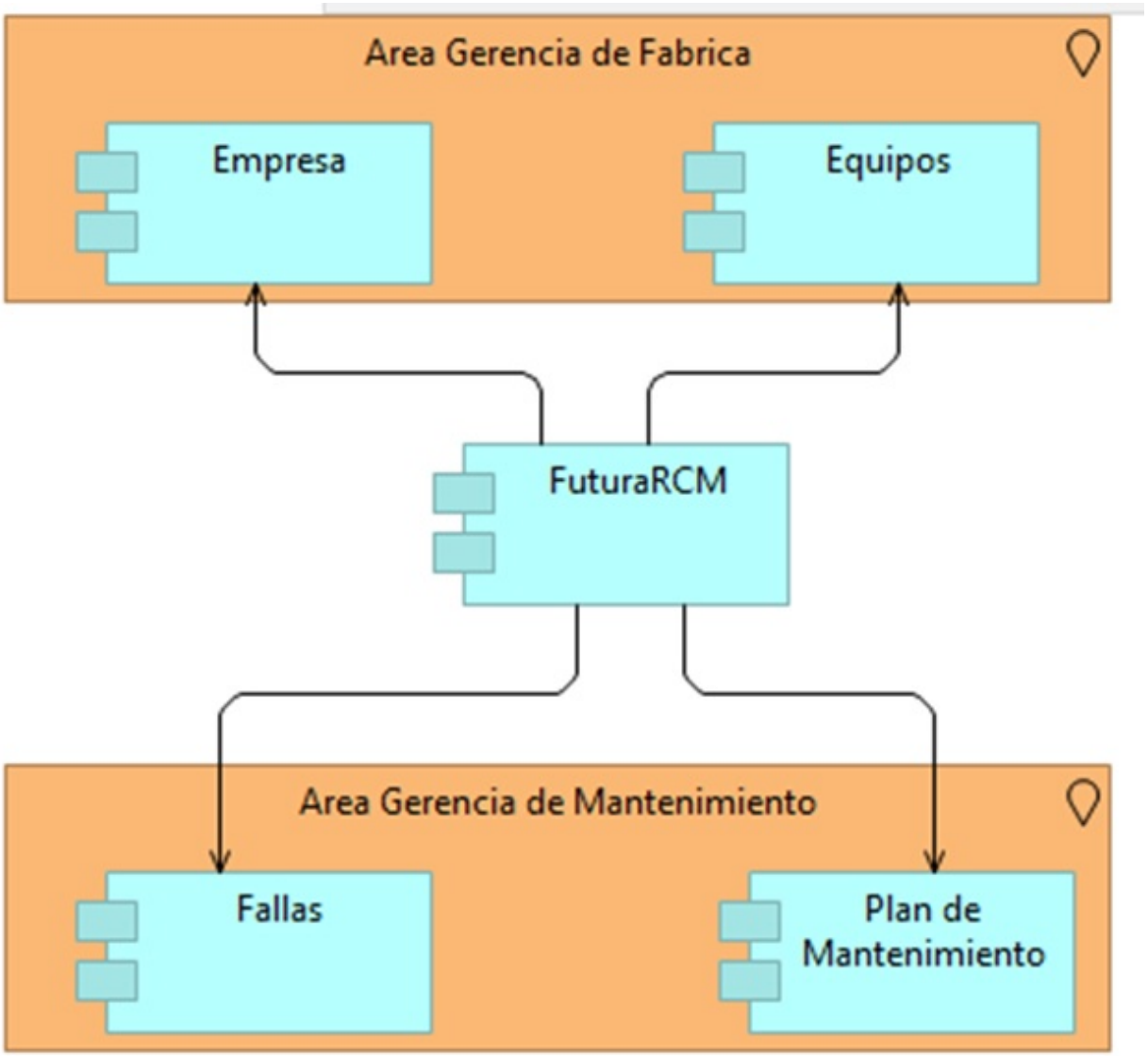


Figura 5.18: Vista de Cooperación de Aplicación

5.5.3. Vista de Estructura de Aplicación

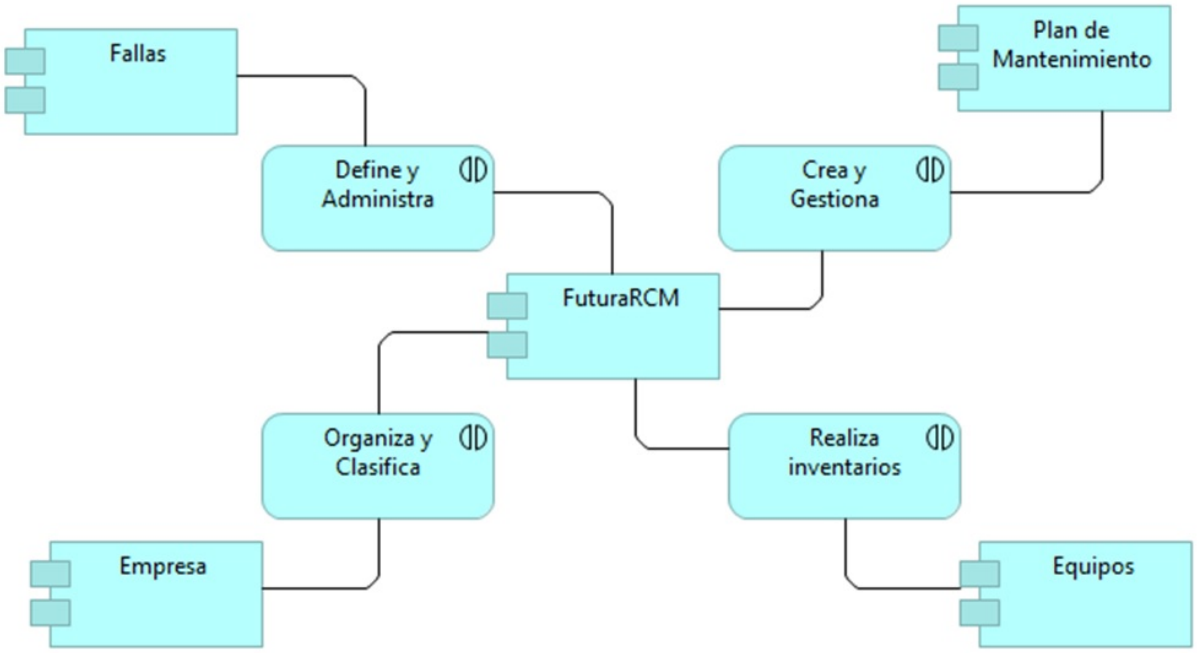


Figura 5.19: Vista de Estructura de Aplicación

En esta figura podemos ver como la interacción de cada uno de los módulos del prototipo FuturaRCM

5.5.4. Vista de Uso de Aplicación

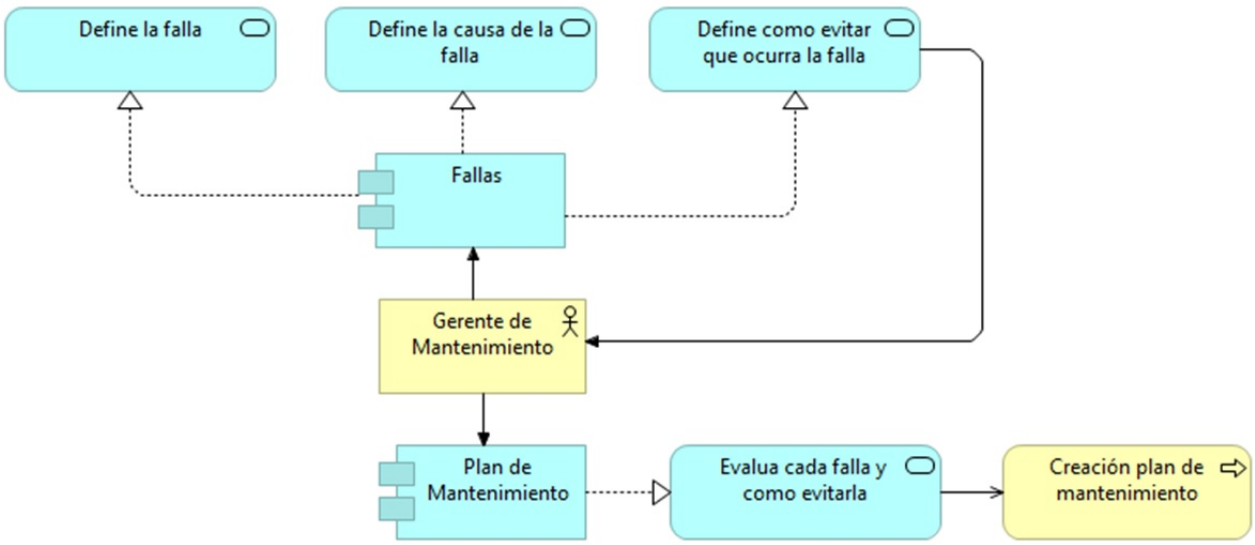


Figura 5.20: Vista de Uso de Aplicación

5.6. Capa de Tecnología

5.6.1. Vista de Tecnología

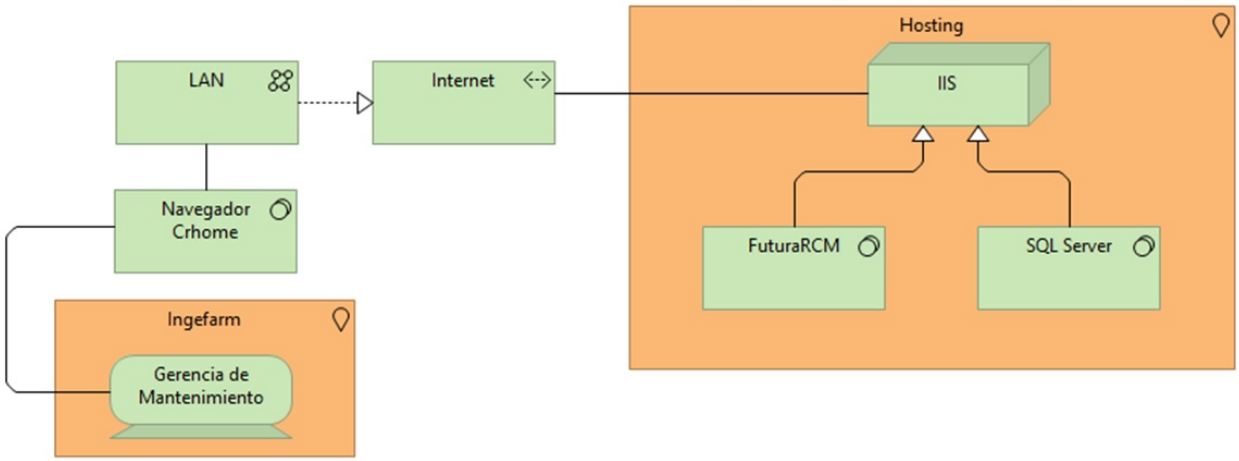


Figura 5.21: Vista de Tecnología

En esta figura podemos ver la tecnología que implementa el prototipo FuturaRCM, el cual está dispuesto en un servidor de tipo IIS con una base de datos de tipo SQL Server

5.6.2. Vista de Uso de Tecnología

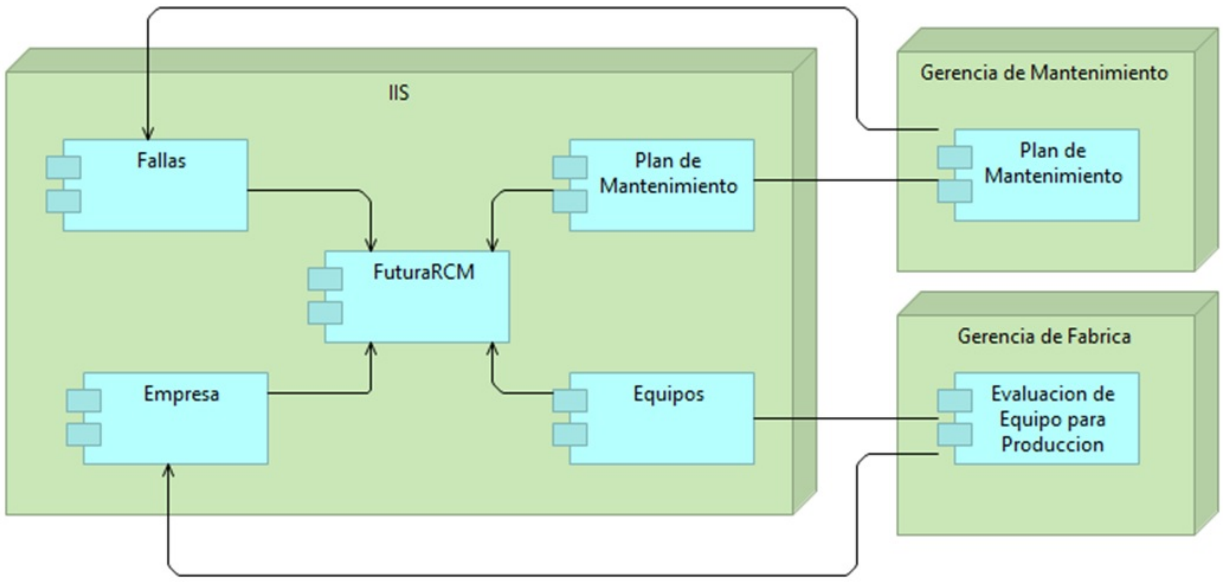


Figura 5.22: Vista de Uso de Tecnología

En esta figura podemos ver la manera como los actores del negocio, se comunican con la aplicación a travéz de sus módulos y esta les retorna la información requerida

5.6.3. Vista de Despliegue e Implementación

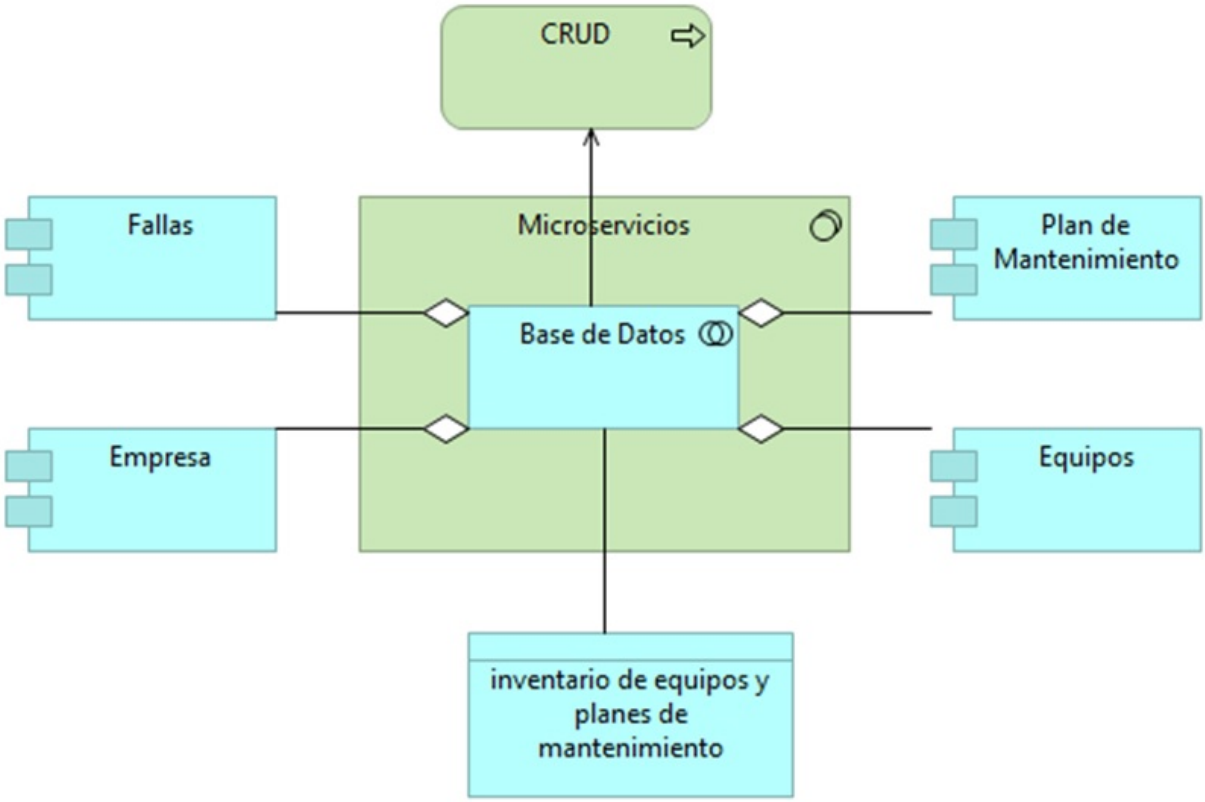


Figura 5.23: Vista de Despliegue e Implementación

En esta figura podemos ver como a través de una arquitectura de microservicios en la cual está diseñado el prototipo FuturaRCM y los métodos CRUD en base de datos proporciona unos datos como lo son el inventario de equipos y los planes de mantenimiento

5.6.4. Vista de Estructura de Información

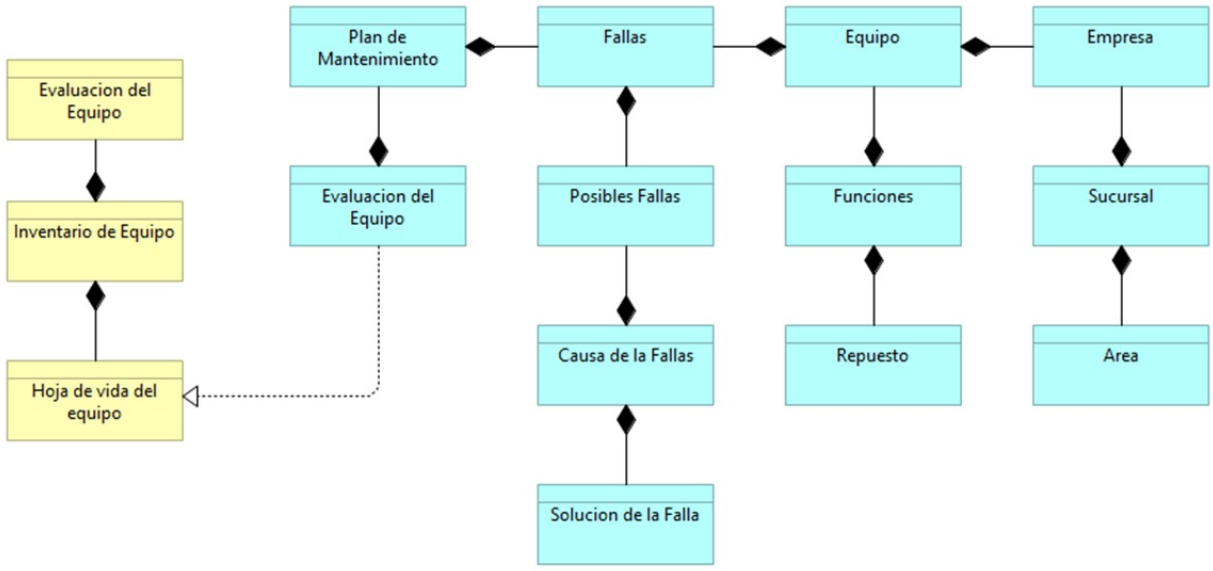


Figura 5.24: Vista de Estructura de Información

En esta figura podemos ver los diferentes módulos y sub módulos que integran el prototipo FuturaRCM y los objetos de datos que se pueden generar

5.6.5. Vista de Realización del Servicio

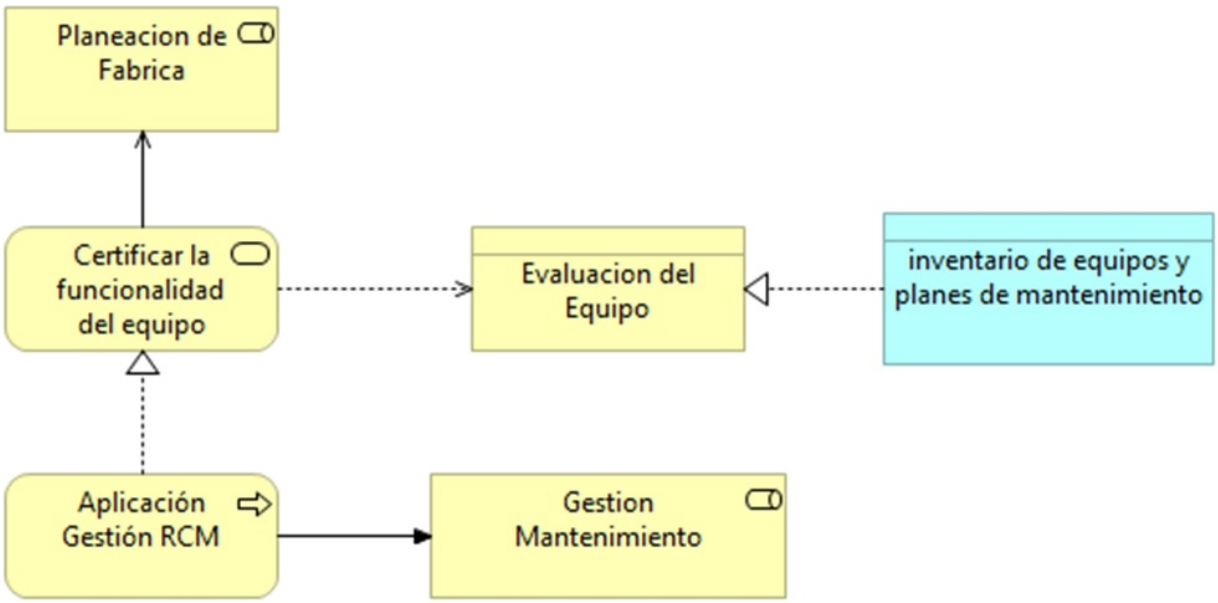


Figura 5.25: Vista de Realización del Servicio

5.6.6. Vista Físico

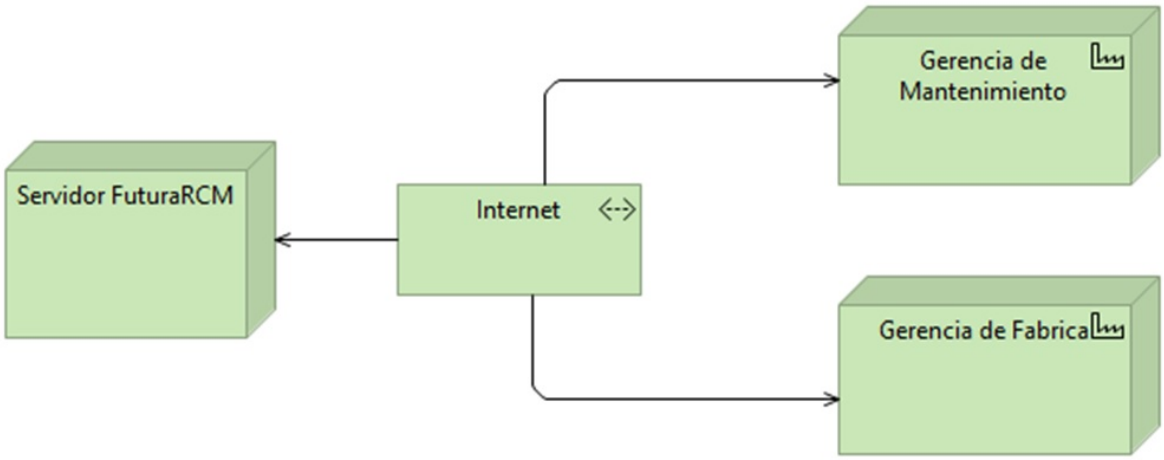


Figura 5.26: Vista Físico

5.6.7. Vista de Capas

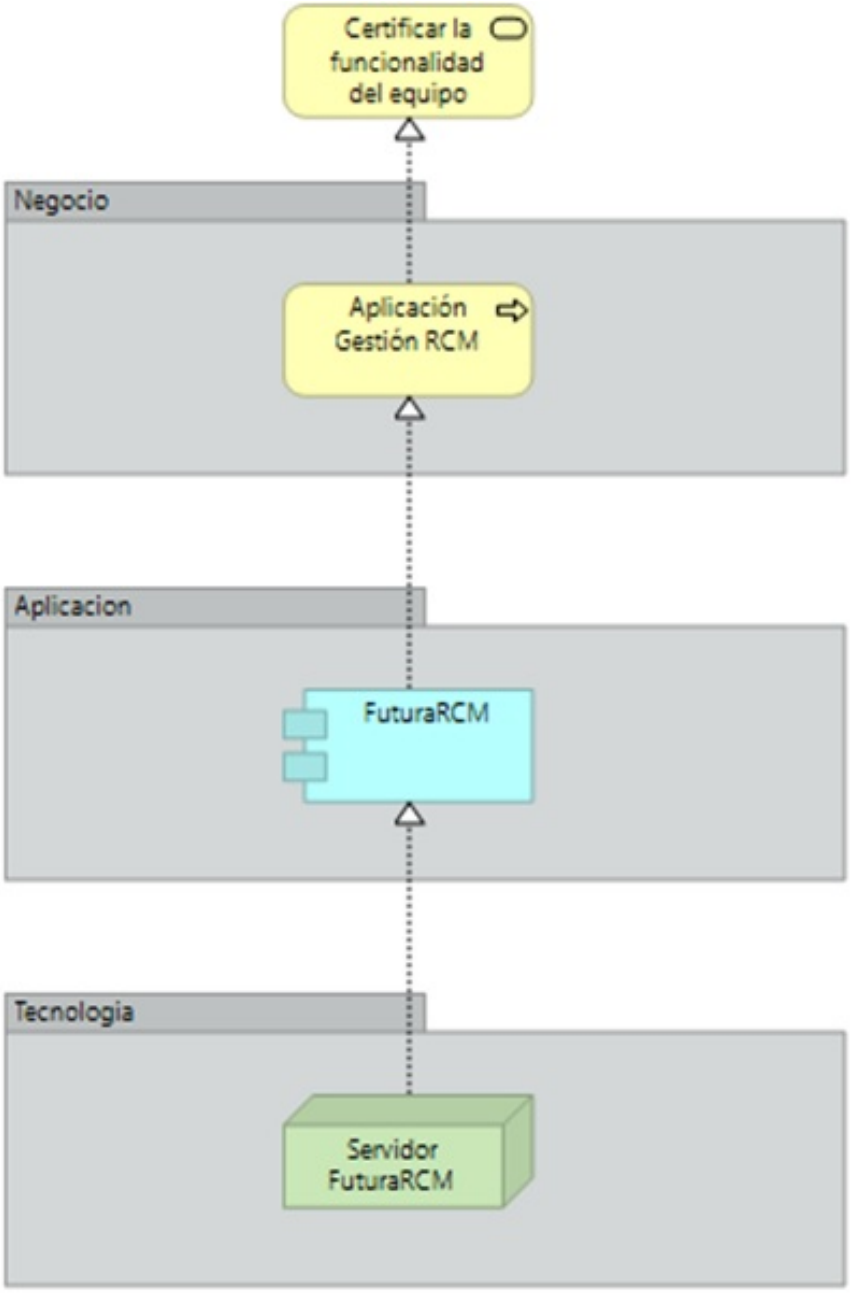


Figura 5.27: Vista de Capas

En esta figura podemos ver como el prototipo a través de las capas de tecnología, aplicación y negocio señaladas anteriormente, entrega un servicio al negocio el cual es certificar la funcionalidad de los equipos

5.7. Capa de Implementación

5.7.1. Vista de Proyecto

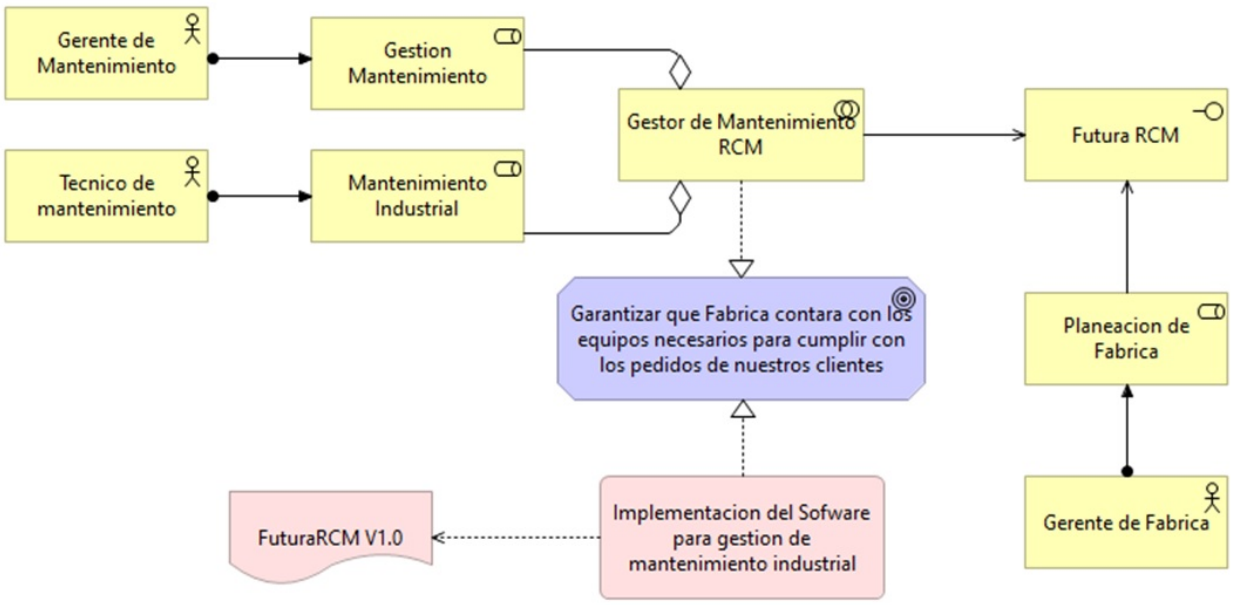


Figura 5.28: Vista de Proyecto

5.7.2. Vista de Migración

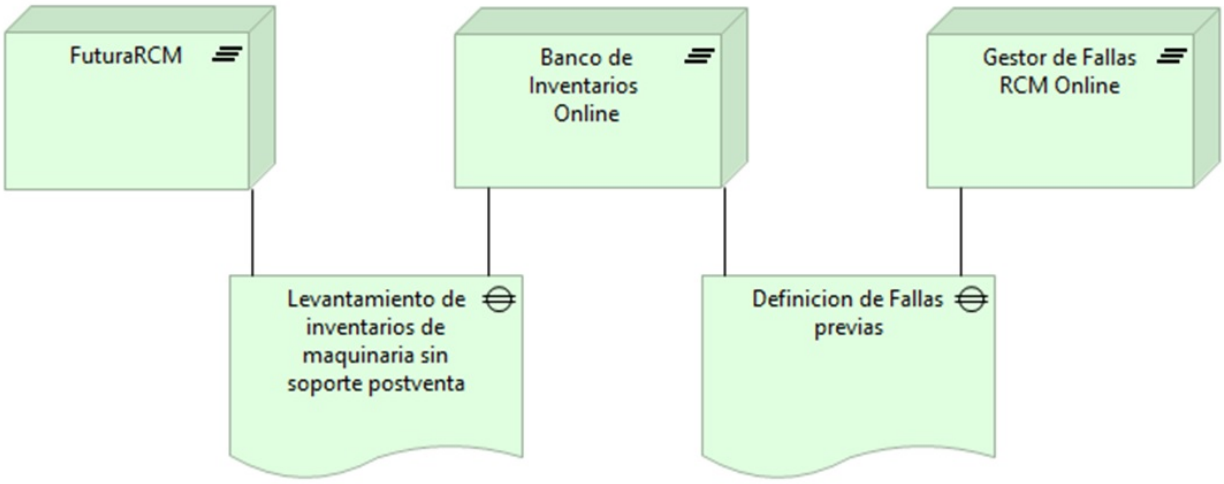


Figura 5.29: Vista de Migración

5.7.3. Vista de Implementación/Migración

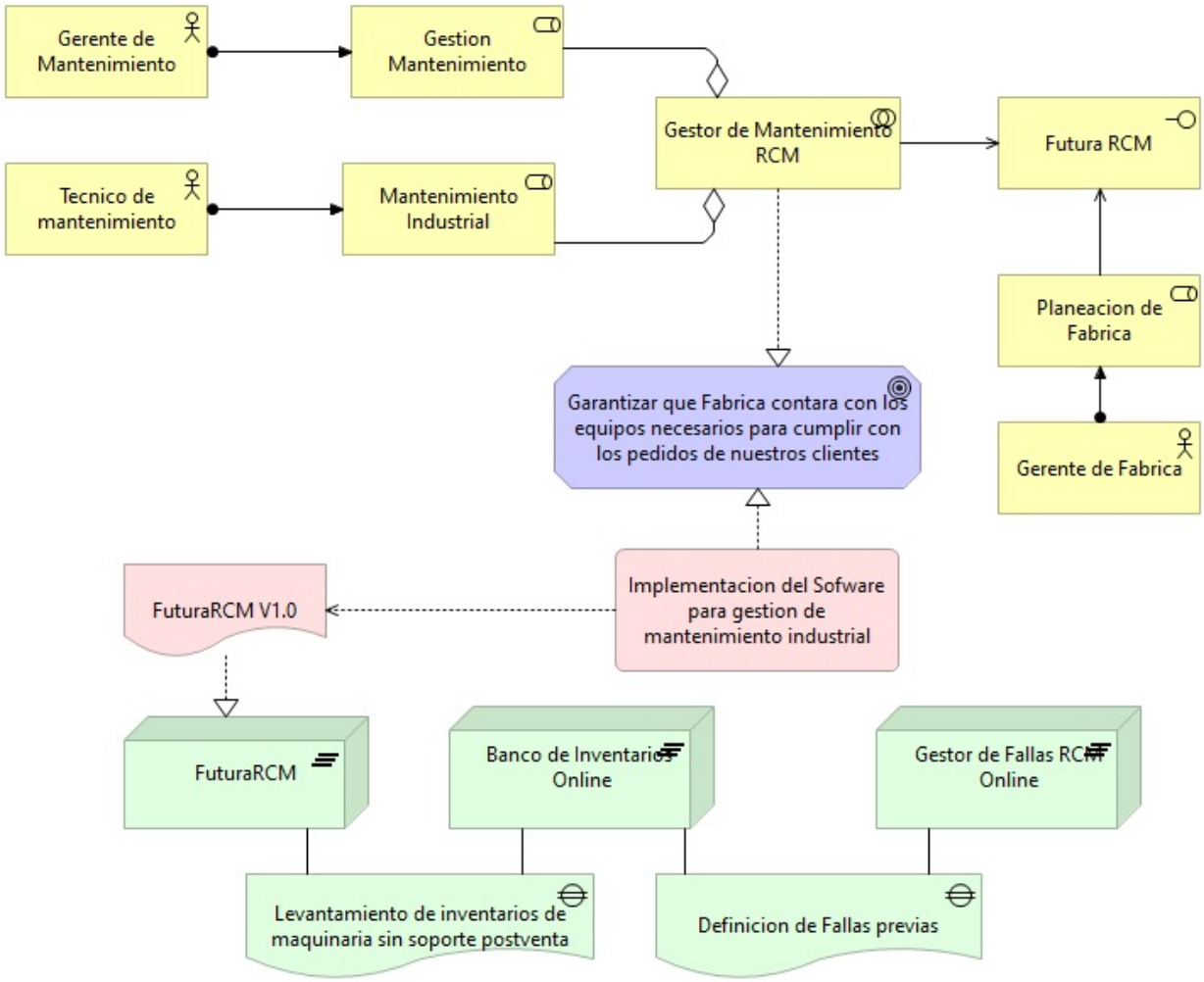


Figura 5.30: Vista de Implementación/Migración

En esta figura podemos ver como a través de la colaboración de los actores del área de mantenimiento y la gerencia de fábrica se ejecuta y alimenta el prototipo FuturaRCM, algo muy importante es que este prototipo permite formular nuevos procesos tales como un banco de inventarios de equipos y un gestor de fallas online que podría mejorar a FuturaRCM

Parte III

CIERRE DE LA INVESTIGACIÓN

Capítulo 6

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de esta investigación se logró definir un modelo de gestión de mantenimiento industrial basado en el resultado de los análisis de los proceso de la empresa IngeFarm, de las experiencias señaladas por los Ingenieros Jhon Moubray, Oliverio García Palencia y Carlos Mario Pérez y de las sugerías del Especialista en Gerencia de Mantenimiento industrial el Ingeniero Alberto Ávila.

Se logró evidenciar por medio de comparación de procesos, que el modelo de gestión de mantenimiento RCM genera más beneficios a las empresas pequeñas como IngeFarm, que la no implementación de un sistema de este tipo.

Se logró sustentar con hechos que la implementación de este modelo en la empresa Ingefarm, podía reducir los costos de sus operaciones y aumentar la vida útil de sus equipos.

Se logró definir una estructura del modelo que puede ser implementada fácilmente como una aplicación de software, para esta investigación se planteó la idea del prototipo el cual se nombró FuturaRCM.

El prototipo FuturaRCM al ser basado en arquitectura de servicios Api RestFul, puede ser llevado a aplicación no solo WEB si no aplicación para teléfonos móviles, dando nuevas ideas de implementación para un futuro.

Capítulo 7

CONCLUSIONES

7.0.1. Verificación, contraste y evaluación de los objetivos

Como se señala en el capítulo 3 de esta investigación el objetivo genera de "Definir un modelo de gestión de mantenimiento industrial que pueda llevar a un prototipo de software que lo sintetice con el fin de que sea implementado por empresas que realicen mantenimiento industrial tales como IngeFarm." Fue cumplido ya que se logró definir y evaluar un modelo de GMI y a partir de este modelo se propuso un prototipo de software para su implementación

Para el desarrollo del Marco Referencial y el capítulo 3 de esta investigación, se cumplió con el objetivo específico de "Estudiar y conocer los procesos de gestión de mantenimiento que se implementan actualmente en el país, con la asistencia un especialista en Gerencia de Mantenimiento industrial que desarrolla esta actividad con el fin de definir un modelo de gestión de mantenimiento".

En cuanto al objetivo específico "Investigar los procesos de mantenimiento que realiza la empresa INGEFARM por medio de visitas directas a la empresa, entrevistas a algunos de sus empleados y directivos con el fin de definir las necesidades que tiene esa compañía y que podría solucionar implementando mi modelo" en esta investigación se dedicó el capítulo 2 para explicar los resultados de los análisis de los proceso de la empresa Ingefarm, así como la organización y entrega de la información recogida.

Para el objetivo "Diseñar un modelo de gestión de mantenimiento industrial teniendo como herramienta los resultados de esta investigación para implementarlo en el prototipo de un software" en el capítulo 4 se explica los alcances y la metodología utilizada para la implementación del modelo en un prototipo de software que se denominó FuturaRCM.

7.0.2. Síntesis del modelo propuesto

El método de investigación utilizado en este trabajo fue el de Análisis descriptivo, esto permitió conocer de forma correcta el proceso de Mantenimiento de IngeFarm y lograr detectar las debilidades y necesidades de esta compañía, con el modelo RCM sugerido para ellos, se logra disminuir en gran medida los problemas encontrados durante el análisis, sin embargo

como también se realizó una revisión de los estados de otras PIMES colombianas, se puede señalar que el modelo se puede aplicar a cualquier otra compañía y también se obtendrán excelentes resultados.

7.0.3. Aportes originales

- Se definió un proceso de tipo RCM pensado especialmente para una compañía pequeña.
- Se planteó la idea que a partir de los resultados de este modelo, se podria crear un repositorio de fallas y llevarlo a una aplicación web que pueda ser utilizada por otros procesos RCM, mejorando así las acciones implementadas para evitarlas.
- Se definió un prototipo de software pensado en evolucionar y basado en tecnología webApi para que sus servicios puedan ser consumidos por aplicaciones independientes.
- Se dio solución a un problema de una compañía colombiana.

7.0.4. Trabajos o Publicaciones derivadas

Se definió un mapa de procesos de tipo BPMn diseñado en la aplicación Camunda la cual permite automatizar las tareas y crear software a partir de los modelos, esto permitirá explorar otras maneras de llevar el modelo a diferentes aplicaciones.

Capítulo 8

PROSPECTIVA DEL TRABAJO DE GRADO

8.0.1. Lineas de investigación futuras

- Basado en el modelo RCM es posible implementar nuevos proceso que integren a las áreas de Inventarios y costos, con el fin que se pueda asignar presupuestos de forma mas acertada rápida y confiable para la operación de fábrica, esta línea de investigación se debe llevar a un modelo económico lo que podría generar nuevos resultados y tal vez una nueva metodología de Gestión de Mantenimiento Industrial.
- Investigar si este modelo se puede implementar en otra empresa que no sean Ingefarm, podría señalar si el modelo es general o personalizado.

8.0.2. Trabajos de Investigación futuros

Cuando de definen las fallas en un proceso RCM es necesario tener conocimiento previo de los equipos para poder definir correctamente estas fallas, sin embargo si se desarrolla una aplicación que implemente un proceso de Machine Learning y que de sugerencias sobre la definición de fallas de los equipos basado en las experiencias de otros usuarios, la mayor debilidad del RCM podría ser solucionada, lo que concluye que investigar sobre proceso de inteligencia artificial aplicada a este modelo lo mejoraría considerablemente.

Parte IV

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

[1] Aeronautica Civil Colombiana. www.aerocivil.gov.co., 2021.

[2] Asociación Colombiana de Ingenieros. Estudio estado del arte mantenimiento en colombia 2008. Technical report, ACIEM, 2009.

[3] Presidencia de la Republica de Colombia. Decreto 957 por el cual define las micro, pequeñas y medianas empresas, 2009.

[4] Francisco Javier Gonzales. *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado*. ., 2005.

[5] A Kelly. *Gestión del mantenimiento industrial*. ., 1998.

[6] John Moubray. *Mantenimiento centrado en confiabilidad- Edicion Español*. ., 2004.

[7] Oliverio Garcia Palencia. *Gestion Moderna del Mantenimiento Industrial*. ., 2012.

[8] Oliverio Garcia Palencia. Mio: Hacia la tero tecnología de clase mundial. *Revista Clepsidra*, 2015.

[9] Carlos Mario Perez. *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)-Adaptacion*. ., 2015.

[10] Francisco Rey Sacristan. *Mamtenimiento total de la produccion (TPM): Proceso de implantacion y desarrollo*. ., 2001.