

**PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA LOS  
EQUIPOS CRITICOS DE LA PLANTA DE RENDERING DEL FRIGORIFICO  
VIJAGUAL S.A**

**DIEGO FERNANDO GUZMAN MENDOZA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2018**

**PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA LOS  
EQUIPOS CRITICOS DE LA PLANTA DE RENDERING DEL FRIGORIFICO  
VIJAGUAL S.A**

**DIEGO FERNANDO GUZMAN MENDOZA**

**Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico**

**DIRECTOR**

**Carlos Borrás Pinilla Ph.D.**

**Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2018**

## **Dedicatoria**

*Por la sangre que un día pusiste en mi corazón  
Vengo a contar tu vida entre los hombres  
Ha desatar todas las cadenas que te ciñen al olvido  
Para que tu recuerdo sea más limpio y me alumbre los pasos  
Como un faro en las noches de luna y alegría  
Seré la expresión de tu amor lejano  
Seré el eco de tu voz  
La caricia de tus manos, la realidad de tu memoria  
Ahora soy la llama de tu vida  
La sangre que ha vuelto en la **DISTANCIA***

**Gladys Mendoza Soler**

## **Agradecimientos**

A la Universidad Industrial De Santander, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica y a todos los profesores, por la formación brinda en el transcurso de la carrera universitaria

Al profesor Carlos Borrás Pinilla, que han participado activamente en la dirección, supervisión y corrección del proyecto de grado

A la empresa Frigorífico Vijagual S.A. por la oportunidad de desarrollar en su organización el presente trabajo de grado

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION .....	18
1. OBJETIVOS.....	21
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	21
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
2. FRIGORIFICO VIJAGUAL S.A .....	23
2.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	23
2.1.1 Beneficio de bovinos y bufalinos.....	24
2.1.2 Beneficio de porcinos.....	24
2.2 MISIÓN .....	25
2.3 VISIÓN.....	25
2.4 POLÍTICAS .....	25
2.4.1 Política de calidad.....	26
2.4.2 Política de seguridad y salud en el trabajo.....	26
2.4.3 Política ambiental.....	26
3. RENDERING DE SUBPRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL.....	28
3.1 HARINA DE SANGRE .....	28
3.2 PRODUCCIÓN HARINA DE SANGRE.....	29
3.2.1 Secado tradicional. ....	29
3.2.2 Coagulación continua, centrifugación y secado.....	30
3.2.3 Coagulación, centrifugación y secado en régimen continuo.....	30
3.3 HARINA DE HUESO Y VÍSCERAS .....	32
3.3.1 Transformación por vía húmeda.....	32
3.3.2 Transformación por vía seca.....	33
3.3.2.1 Batch Rendering.....	33
4. FUNDAMENTACION TEORICA .....	36

4.1 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO .....	36
4.1.1 Primera generación 1940-1960.....	36
4.1.2 Segunda generación 1960-1985.....	37
4.1.3 Tercera generación 1985-Actualidad.....	37
4.2 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO .....	38
4.3 INDICADORES DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO .....	39
4.3.1 Tiempos de mantenimiento.....	40
4.3.2 Confiabilidad.....	41
4.3.3 Disponibilidad.....	41
4.3.4 Mantenibilidad.....	42
4.3.5 Costos.....	42
4.4 MANTENIMIENTO.....	43
4.5 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO .....	44
5. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) .....	45
5.1 DEFINICIÓN DE RCM .....	45
5.2 VENTAJAS DE APLICAR RCM .....	45
5.2.1 Mejora de la seguridad.....	46
5.2.2 Mejora del impacto ambiental.....	46
5.2.3 Aumento de Confiabilidad de la instalación.....	46
5.2.4 Aumentó en la producción.....	46
5.2.5 Disminución de costos de mantenimiento.....	46
5.3 LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS EN RCM .....	47
5.3.1 El contexto operacional.....	48
5.3.2 Funciones.....	48
5.3.3 Estándares de funcionamiento.....	49
5.3.4 Fallas funcionales.....	50
5.3.5 Modo de falla.....	50
5.3.5.1 Categorías de modos de falla.....	51
5.3.6 Efectos de falla.....	53
5.3.7 Consecuencias de falla.....	54

5.3.8 Actividades de mantenimiento.....	54
5.4 DIAGRAMA DECISIÓN .....	55
6. PROCESO PRODUCTIVO PLANTA RENDERING.....	57
6.1 PRODUCCIÓN .....	57
7. DIAGNOSTICO DEL MANTEIMINETO EN EL FRIGORIFICO VIJAGUAL S.A.....	60
7.1 METODOLOGÍA .....	60
7.2 PROCESO AUDITORIA DEL MANTENIMIENTO.....	61
7.2.1 Equipo de trabajo.....	61
7.2.2 Reconocimiento de la empresa.....	62
7.2.3 Entrevista análisis y recopilación de datos.....	62
7.3 RESULTADOS AUDITORIA .....	64
7.4 CONCLUSIONES .....	65
8. INVENTARIO Y CODIFICACION DE EQUIPOS .....	67
8.1 FORMATO DE CODIFICACIÓN .....	67
8.2 ELABORACIÓN DE FICHAS TÉCNICAS .....	71
9. MODELO AHP PARA ANÁLISIS DE CRITICIDAD .....	73
9.1 EQUIPO DE TRABAJO.....	74
9.2 CRITERIOS DE JERARQUIZACIÓN.....	75
9.2.1 Impacto en la Producción (IP).....	75
9.2.2 Costos de mantenimiento (CM). .....	76
9.2.3 Impacto en la seguridad (IS).....	76
9.2.4 Tiempo para reparar (BM).....	76
9.2.5 Severidad de falla (NS).....	77
9.2.6 Impacto ambiental (IA).....	77
9.3 PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO AHP .....	78
9.4 ESTABLECIMIENTO DE PRIORIDADES CON EL AHP .....	79
9.5 COMPARACIÓN CUALITATIVA ENTRE CRITERIOS .....	79
9.5.1 Matriz de comparaciones.....	80
9.5.2 Consistencia. ....	80

9.5.3 Jerarquización de alternativas. ....	82
9.6 APLICACIÓN DE LA TÉCNICA AHP PARA JERARQUIZAR LOS EQUIPOS DE LA PLANTA RENDERING DEL FIGORIFICO VIJAGUAL S.A .....	82
9.6.1 Comparación cualitativa entre criterios. ....	82
9.6.2 Calculo de la criticidad. ....	84
9.6.3 Resultados de la evaluación. ....	84
9.6.4 Jerarquización por nivel de importancia.....	86
9.6.5 Distribución normal. ....	88
10. ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF) PARA LOS EQUIPOS DE ALTA CRITICIDAD .....	90
10.1 NUMERO DE RIESGO PRIORITARIO NPR .....	90
10.1.1 Severidad (S):.....	91
10.1.2 OCURRENCIA (O).....	92
10.1.3 Detección (D). ....	93
10.2 CONTEXTO OPERACIONAL DECANTER CENTRÍFUGO .....	93
11. PROCESO DE DECISIÓN RCM.....	98
11.1 HOJA DE DECISIÓN .....	98
11.2 EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS.....	100
12. ESTRATEGIA GESTION DEL MANTENIMINETO .....	106
12.1 MANTENIMIENTO A CONDICION .....	107
12.1.1 Medición de vibraciones.....	108
12.1.4 Análisis de aceite. ....	108
12.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	109
13. ANÁLISIS DE COSTOS.....	111
13.1 ELEMENTOS MANTENIBLES.....	111
13.2 CLASIFICACIÓN ABC .....	114
13.3 COMPONENTES EN INVENTARIO .....	118
14. CONCLUSIONES .....	121
BIBLIOGRAFIA.....	123

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Logo Frigorífico Vijagual S.A .....	24
Figura 2. Sistemas de Calidad.....	26
Figura 3. Diagrama de Flujo producción harina de sangre. ....	29
Figura 4. Secado convencional de sangre.....	29
Figura 5. Coagulación continua, centrifugación y secado.....	30
Figura 6. Coagulación, centrifugación y secado en régimen continuo.....	32
Figura 7. Batch Rendering.....	35
Figura 8. Evolución del mantenimiento.....	38
Figura 9. Modelo gestión de mantenimiento.....	40
Figura 10. Tiempos de mantenimiento.....	41
Figura 11. Costo mantenimiento preventivo-correctivo.....	43
Figura 12. Procedimiento RCM.....	48
Figura 13. Estándares de funcionamiento.....	49
Figura 14. Falla funcional.....	50
Figura 15. Descripción de modo de falla.....	51
Figura 16. Categorías de modos de falla .....	52
Figura 17. Patrón de falla.....	53
Figura 18. Diagrama de decisión .....	56
Figura 19. % Producción (Kg).....	58
Figura 20. % ganancias brutas en COP.....	59
Figura 21. % de producción (Kg) y ganancias (Cop).....	59
Figura 22. Proceso auditoria del mantenimiento.....	63
Figura 23. Resultados auditoria.....	65
Figura 24. Ficha técnica.....	72
Figura 25. Modelo análisis de criticidad.....	73

Figura 26. Equipo de trabajo.....	74
Figura 27. Matriz de prioridades. ....	80
Figura 28. Modelo AHP diseñado para jerarquizar los equipos de la planta rendering.....	82
Figura 29. Distribución normal equipos críticos. ....	88
Figura 30. Decanter Centrífugo.....	94
Figura 31. Optimización de costos de mantenimiento. ....	115
Figura 32. Costos Molino de martillos.....	116
Figura 33. Costos Decanter centrífugo. ....	117
Figura 34. Costos Digestor. ....	117
Figura 35. Costos secador de tubos. ....	118

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Producción planta rendering .....	57
Tabla 2. Precios de referencia. ....	58
Tabla 3. Resultados auditoria .....	64
Tabla 4. Codificación áreas de producción. ....	68
Tabla 5. Tipo de equipos en el área de rendering.....	69
Tabla 6. Codificación equipos área de producción rendering. ....	70
Tabla 7. Impacto en la Producción (IP).....	75
Tabla 8. Costos de mantenimiento (CM). ....	76
Tabla 9. Impacto en la seguridad (IS).....	76
Tabla 10. Mantenibilidad.....	77
Tabla 11. Severidad de falla. ....	77
Tabla 12. Impacto ambiental.....	78
Tabla 13 Valoración de juicios .....	80
Tabla 14. Valores de RI para matrices de diferentes órdenes. ....	81
Tabla 15. Calculo de pesos. ....	83
Tabla 16. Evaluación de equipos con los criterios seleccionados.....	84
Tabla 17. Jerarquización por nivel de importancia.....	86
Tabla 18. Nivel de criticidad.....	89
Tabla 19. Equipos críticos en orden de relevancia. ....	89
Tabla 20. Severidad (s).....	92
Tabla 21. Ocurrencia (O). ....	92
Tabla 22. Detección (D). ....	93
Tabla 23. AMEF DECANter CENTRIFUGO RD DCC 02.....	95
Tabla 24. Ejemplo hoja de decisión. ....	99
Tabla 25. Evaluación de consecuencias.....	100

Tabla 26. Criterios de factibilidad técnica. ....	101
Tabla 27. Hoja de decisión Decanter Centrifugo.....	102
Tabla 28. Indicadores de resultados. ....	106
Tabla 29. Planeación de mantenimiento. ....	107
Tabla 30. Severidad vibraciones.....	108
Tabla 31. Lista de chequeo.....	110
Tabla 32. Elementos mantenibles Digestor. ....	112
Tabla 33. Elementos mantenibles Molino de martillos. ....	112
Tabla 34. Elementos mantenibles Secador de tubos.....	113
Tabla 35. Elementos mantenibles Decanter Centrifugo.....	113
Tabla 36. Clasificación ABC Digestor. ....	114
Tabla 37. Costos totales para elementos mantenibles. ....	115
Tabla 38. Factores ponderados. ....	119
Tabla 39. Elementos mantenibles para inventario. ....	120

## **LISTA DE ANEXOS**

- Anexo A. Auditoria de mantenimiento
- Anexo B. Codificación de equipos
- Anexo C. Fichas técnicas
- Anexo D. Análisis de modos y efectos de falla (AMEF)
- Anexo E. Hojas de decisión
- Anexo F. Listas de chequeo
- Anexo G. Planes de mantenimiento
- Anexo G. Costos de equipos críticos
- Anexo I. Clasificación abc
- Anexo J. Análisis de criticidad elementos mantenibles
- Anexo K. Software frigorífico Vijagual S.A
- Anexo L. Diagramas de flujo procesos productivos
- Anexo M. Certificación frigorífico Vijagual S.A

## RESUMEN

**TÍTULO:** PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA LOS EQUIPOS CRITICOS DE LA PLANTA RENDERING DEL FRIGORIFICO VIJAGUAL S.A\*

**AUTOR:**

DIEGO FERNANDO GUZMAN MENDOZA\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Rendering, RCM, Disponibilidad, Confiabilidad, Critico

**DESCRIPCIÓN:** Con el desarrollo de este proyecto de grado se aporta desde la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, conocimientos en el área de gestión de activos físicos a la empresa Frigorífico Vijagual S.A mediante un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad para los equipos críticos de la planta rendering, encargada de la generación de haría a partir de residuos de origen animal de difícil control ambiental provenientes del beneficio en la empresa Frigorífico Vijagual S.A..

Con el fin de identificar debilidades en la gestión del mantenimiento llevado a cabo en la empresa, y enfocar esfuerzos en el mejoramiento de estos fue aplicada la auditoria diagnostica de Francisco Gonzales Fernández.

Mediante la técnica de jerarquización AHP, se identificaron los equipos más críticos en la operación de la planta rendering, a estos equipos se les aplicó la filosofía de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) siguiendo las normas SAE J 1011, SAE J 1012, estableciendo las actividades de mantenimiento en función de los sistemas más críticos de cada uno de los equipos, teniendo en cuenta las consecuencias que los posibles modos de falla producen a la seguridad, ambiente y operación.

---

\* Monografía

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Carlos Borrás Pinilla, Ing. Mecánico; Ph. D, M.sc

## ABSTRACT

**TITLE:** MAINTENANCE PLAN BASED ON RELIABILITY (RCM) FOR THE CRITICAL EQUIPMENT OF THE PLANT RENDERING OF THE FRIGORIFICO VIJAGUAL S.A\*

### AUTHOR

DIEGO FERNANDO GUZMAN MENDOZA \*\*

**KEYWORDS:** Rendering, RCM, Availability, Reliability, Critical

**DESCRIPTION:** The objective of this project is to develop a maintenance model focused on the reliability of the critical equipment of the Rendering plant, responsible for the generation of flour from waste of animal origin of difficult environmental control coming from the profit in the company Frigorífico Vijagual.

In order to identify the deficiencies in the management of the maintenance carried out in the company, and focus efforts on improving these was carried out the diagnostic audit of Francisco Gonzales Fernández.

Through the AHP hierarchy technique, the most critical equipment were identified in the operation of the Rendering plant, the maintenance-based maintenance philosophy (RCM) is applied to these equipment and is applied following the SAE J 1011 and SAE J 1012 standards, establishing the maintenance activities according to the most critical systems of each of the equipment, taking into account the consequences that possible failure modes produce for safety, the environment and operation.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Mechanical Physical Engineering. School of Mechanical Engineering.

Director: Carlos Borrás Pinilla, Mechanical Engineer; Ph. D, M.Sc

## **INTRODUCCION**

Frigorífico Vijagual S.A es una empresa Santandereana fundada en el año 1996 en el Km 8 vía Bucaramanga – Rionegro, inicialmente denominada Central de Beneficio y Frigorífico de Santander – Frigosan S.A., y posteriormente cambio de denominación social a Frigorífico Vijagual S.A, es una empresa especialista en todos los procesos industriales de la carne, con certificación para exportar a los mercados más importantes del mundo.

El sistema de producción del Frigorífico Vijagual S.A esta basado en los siguientes procesos:

### **Línea de beneficio**

- Corrales de residuo, comercialización y beneficio con capacidad para 2800 bovinos
- Planta de beneficio con capacidad 120 bovinos por hora
- Salón de oreo con capacidad de 500 canales bovino
- Planta de desposte con capacidad de 1500 canales día
- Cuartos de refrigeración y congelación con capacidad de 3000 canales de bovino

### **Plantas de procesamiento de subproductos**

- Maquinaria para descarnar pieles
- Tratamiento de sangre
- Tratamiento de grasas
- Planta de compostaje de estiércol, rumen y lodos

- Producción de abono orgánico

### **Tratamiento de agua**

- Tratamiento de agua potable para suministro a los procesos productivos
- Tratamiento de aguas residuales, provenientes de los procesos productivos de la planta

### **Planta de Rendering**

- Producción de harina de hueso
- Producción de harina de sangre
- Producción de harina de vísceras

En cumplimiento con la visión de ser la mejor empresa Colombiana proveedora de servicios y productos cárnicos en todas sus manifestaciones el Frigorífico Vijagual S.A, en el año 2016 inicia el proyecto de construcción e instalación de equipos para una planta rendering que entro en funcionamiento en Abril del 2017.

La planta rendering fue construida con el objetivo de transformar todas la partes no aprovechadas del animal (sangre, pezuña, cuernos y vísceras) por medio de tratamiento térmico para la producción de harina de sangre, hueso y vísceras con alto contenido proteico, para ser comercializada con el fin de aumentar la productividad y mejorar su posición en el mercado.

Actualmente la planta de rendering del Frigorífico Vijagual S.A no cuenta con sistema de inventario y codificación de equipos, lo cual impide llevar un control del estado histórico y actual de los equipos, que posteriormente se transformaran en paradas de planta y por consiguiente en pérdidas económicas.

Por tal motivo el Frigorífico Vijagual S.A decide implementa un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), que garantice el buen funcionamiento de los equipos de la planta de rendering al tener un análisis de los posibles modos de falla en los activos, con el fin de establecer acciones de mantenimiento que permitan asegurar la alta disponibilidad y confiabilidad de la planta, conllevando a aumentar la seguridad industrial en las instalaciones, aumentar la vida útil de la maquinaria y a la reducción de paradas en planta, asegurando que las tareas de mantenimiento se hagan de una manera adecuada con tiempos y presupuestos establecidos; para así optimizar dichas labores y sacar un mayor rendimiento, ya sea de tipo económico o en tiempo de producción

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Consolidar la relación Universidad-Empresa, cumpliendo con la misión y la visión de la Universidad Industrial de Santander, mediante el desarrollo de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad, con el fin de garantizar la operación, funcionamiento continuo, confiable y seguro de los equipos utilizados en la operación de la planta de rendering del Frigorífico Vijagual S.A

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar una auditoría diagnóstica del mantenimiento llevado a cabo en la planta de rendering del Frigorífico Vijagual S.A
- Recopilar, clasificar y codificar todos los equipos y elementos que componen la planta de rendering del Frigorífico Vijagual S.A, mediante fichas técnicas, hojas de vida e Inspección de equipos, siguiendo la norma ISO 14224
- Realizar un inventario de los activos con la codificación asignada de activo fijo, número de equipo y ubicación para generar una base de datos de equipos en el software de mantenimiento del frigorífico Vijagual
- Realizar un análisis e identificación de equipos críticos teniendo en cuenta el impacto y las consecuencias que tienen en la producción.

- Realizar un análisis de modos y efectos de falla potenciales para los equipos y elementos críticos que componen la planta de rendering del Frigorífico Vijagual S.A con el fin de identificar los modos de falla dominantes, siguiendo la norma SAE J1739
- Realizar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad a los subsistemas, equipos y elementos críticos de la planta de rendering del Frigorífico Vijagual S.A

## **2. FRIGORIFICO VIJAGUAL S.A**

### **2.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

La empresa es fundada en el Km 8 vía Bucaramanga – Rionegro, el 28 de noviembre de 1996, como Sociedad Anónima, inicialmente denominada Central de Beneficio y Frigorífico de Santander – Frigosan S.A., y posteriormente cambio de denominación social a Frigorífico Vijagual S.A.

FRIGORIFICO VIJAGUAL S.A. cuenta con una estructura funcional soportada por una Asamblea de Socios que a su vez, nombra a la Junta Directiva que determina las políticas de la empresa y elige al Presidente de quien dependen las áreas de Administración, Gerencia Comercial, Recursos Humanos, Gestión Integral y Contabilidad. Lo anterior le permite responder en el desarrollo óptimo de los procesos de prestación de sus servicios.

Durante su trayectoria, se ha visto un gran desarrollo a su infraestructura con un total de área construida de 94.208 m<sup>2</sup>, innovando en tecnología y mano de obra calificada Profesional, Tecnológica y Técnica viéndose reflejada en todos sus aspectos.

**Figura 1. Logo Frigorífico Vijagual S.A**



Fuente: Frigorífico Vijagual S.A

El Frigorífico Vijagual cuenta con 2 áreas de beneficio, divididas de la siguiente manera:

**2.1.1 Beneficio de bovinos y bufalinos.** Se cuenta con tres secciones de corrales dividida de la siguiente manera:

- **RECIBO:** Corrales 24 y 36 Pasillos, que permite por corral de 14 a 16 animales
- **COMERCIALIZACIÓN:** Corrales 86 y 36 Pasillos, que permite por corral un promedio de 20 animales para obtener comercialmente 1.700 animales.
- **SACRIFICIO:** Se tiene en corrales para sacrificio diario un promedio de 544 animales por turno contando tres turnos diarios

**2.1.2 Beneficio de porcinos.** Se cuenta con una sección de Corrales para Porcinos distribuida de la siguiente manera:

- **RECIBO:** Se Cuenta con 2 Corrales los cuales tienen capacidad para 60 Porcinos por corral.
- **COMERCIALIZACION:** Se Cuenta con 10 Corrales los cuales tienen capacidad para 30 Porcinos por corral.

- **BENEFICIO:** Se Cuenta con 14 Corrales los cuales tienen capacidad para 20 Porcinos por corral.

## **2.2 MISIÓN**

Procesamos y transformamos productos cárnicos con la más alta tecnología cumpliendo la normatividad legal y ambiental para satisfacción de clientes y consumidores nacionales e internacionales. Actuando con eficiencia operacional y promoviendo el crecimiento integral de nuestros colaboradores y de los accionistas

## **2.3 VISIÓN**

Ser el líder en beneficio y desposte de bovinos bufalinos y porcinos a nivel nacional e internacional para el 2021 siendo el proveedor preferido en la prestación de servicios para la transformación y elaboración de productos cárnicos en todas sus presentaciones.

## **2.4 POLÍTICAS**

Dentro de nuestra compañía contamos con cuatro políticas en las diferentes áreas:

- Política de calidad
- Política de seguridad y salud en el trabajo
- Política ambiental
- Política de prevención del consumo de sustancias psicoactivas

**2.4.1 Política de calidad.** Cumpliendo con los requisitos de la norma ISO 9001 del 2008 y el sistema HACCP, los lineamientos establecidos por la organización y los requerimientos Nacionales e Internacionales. Realizando sus operaciones de manera eficiente y eficaz, que le permita tener la mejor rentabilidad del mercado y una capacidad de respuesta efectiva, logrando la satisfacción de los clientes a través de la evaluación constante de cumplimiento de sus objetivos y metas. Mejorando continuamente nuestros procesos con tecnología, recurso humano competente e infraestructura adecuada.

**Figura 2. Sistemas de Calidad.**



Fuente: Frigorífico Vijagual S.A

**2.4.2 Política de seguridad y salud en el trabajo.** Frigorífico Vijagual S.A. para el desarrollo de sus actividades de beneficio, desposte y transformación de productos cárnicos está comprometido con la implementación, ejecución y el mantenimiento del sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, identificando los peligros, evaluando, valorando y determinando los controles de los riesgos asociados a sus procesos y actividades, garantizando el cumplimiento de todos los requerimientos legales aplicables a todos sus trabajadores, contratistas y visitantes con el fin de prevenir accidentes de trabajo y enfermedades.

**2.4.3 Política ambiental.** Frigorífico Vijagual S.A. está comprometido a proteger y conservar los recursos naturales, presentes en cada una de las actividades productivas; en el cumplimiento de la normatividad legal ambiental aplicable a nuestra organización, a través de acciones de mejoramiento continuo en todos los niveles administrativos y procesos operativos, en la implementación de las prácticas

ambientales previniendo los riesgos de contaminación capacitando a colaboradores con información actualizada de los documentos que son parte fundamental en la gestión ambiental. Se implementaran alternativas respetuosas con los recursos naturales, cuidando los usos racionales en cada uno de los procesos favoreciendo las condiciones de trabajo de los colaboradores y de la comunidad aledaña minimizando impactos que pueden llegar a alterar al medio ambiente y posicionando la organización en el mercado. Esta política también se aplicara a todos los contratistas y subcontratistas, por lo cual deberán estar comprometidos con la implementación al interior de la organización.

### **3. RENDERING DE SUBPRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL**

Es el proceso de reciclaje de tejidos animales crudos proveniente de animales de consumo, el rendering es el método más seguro y económico de convierte los desechos de carne o de pescado en sustancias aptas para alimentación animal, Inactivando los microorganismos causantes de enfermedades, mientras se recupera miles de millones de dólares en productos comercializables.

Durante el tiempo de procesamiento para destruir las poblaciones microbianas, eliminar la humedad y extraer la grasa de la proteína se aplican procesos térmicos, tecnología de separación y filtrados.

#### **3.1 HARINA DE SANGRE**

La harina de sangre es un producto de la industria cárnica con un alto contenido proteico, se obtiene por la deshidratación de la sangre con un rendimiento de 2,8 kg / animal sacrificado. La calidad de la harina de sangre puede variar dependiendo del proceso por el cual se obtenga.

Cuando se obtiene por bajas temperaturas contiene alta cantidad de proteína no degradable en el rumen y buena degradación intestinal. De acuerdo con sus características nutricionales, tiene mayor utilización en mono gástrico y en rumiantes.

**Figura 3. Diagrama de Flujo producción harina de sangre.**



## 3.2 PRODUCCIÓN HARINA DE SANGRE

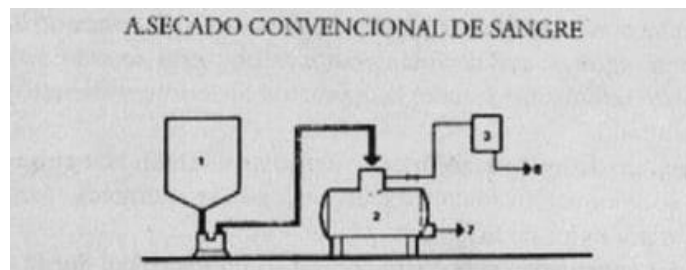
Son varios los procedimientos que se pueden seguir para la obtención de harina, a partir de sangre cruda de animal

Secado tradicional

- Coagulación-secado
- Coagulación-centrifugación-secado
- Sistema de deshidratación y secado en régimen continuo de la sangre

**3.2.1 Secado tradicional.** En este sistema de la sangre es sometida a un tamizado y es transferida a un tanque y posteriormente un secador convencional, en el que por calentamiento continuo se va evaporando el agua de constitución hasta quedar el producto con una humedad del 5% al 10%”20

**Figura 4. Secado convencional de sangre.**



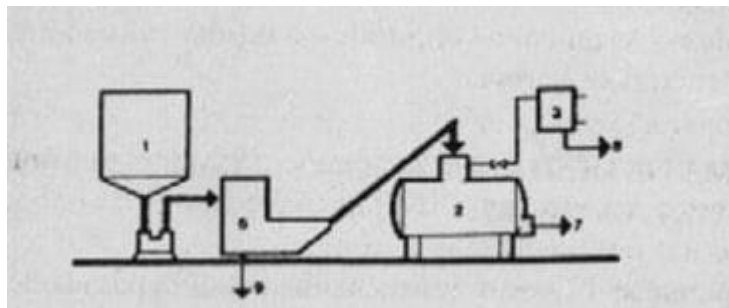
Fuente: ZOOTENISTAS. Disponible en: <http://guidovicente.blogspot.com.co/2013/02/harina-de-sangre.html>

El proceso presenta algunos inconvenientes como:

- La evaporación tiene lugar por calor con lo que se consume una muy elevada cantidad de vapor que hace que el procedimiento sea antieconómico.
- La calidad del producto final, al haber sido sometido a un calentamiento tan intenso, es muy deficiente.
- Es necesario hacer limpiezas muy frecuentes ya que se forman incrustaciones sólidas sobre las paredes del calentador que son muy difíciles de eliminar y corroen el metal del equipo.

**3.2.2 Coagulación continua, centrifugación y secado.** En este sistema, la sangre es coagulada y separada mecánicamente, en un decantador centrifugo horizontal, donde hasta el 75% del agua presente es eliminada. La sangre ya deshidratada pasa a un secado final.

**Figura 5. Coagulación continua, centrifugación y secado.**



Fuente: ZOOTENISTAS. Disponible en: <http://guidovicente.blogspot.com.co/2013/02/harina-de-sangre.html>

**3.2.3 Coagulación, centrifugación y secado en régimen continuo.** La sangre proveniente de la zona de sacrificio es filtrada para eliminar las impurezas, y pasa a un depósito. Mediante una bomba de desplazamiento positivo equipada con un variador de velocidad, se envía la sangre a un coagulador continuo que funciona por inyección de vapor.

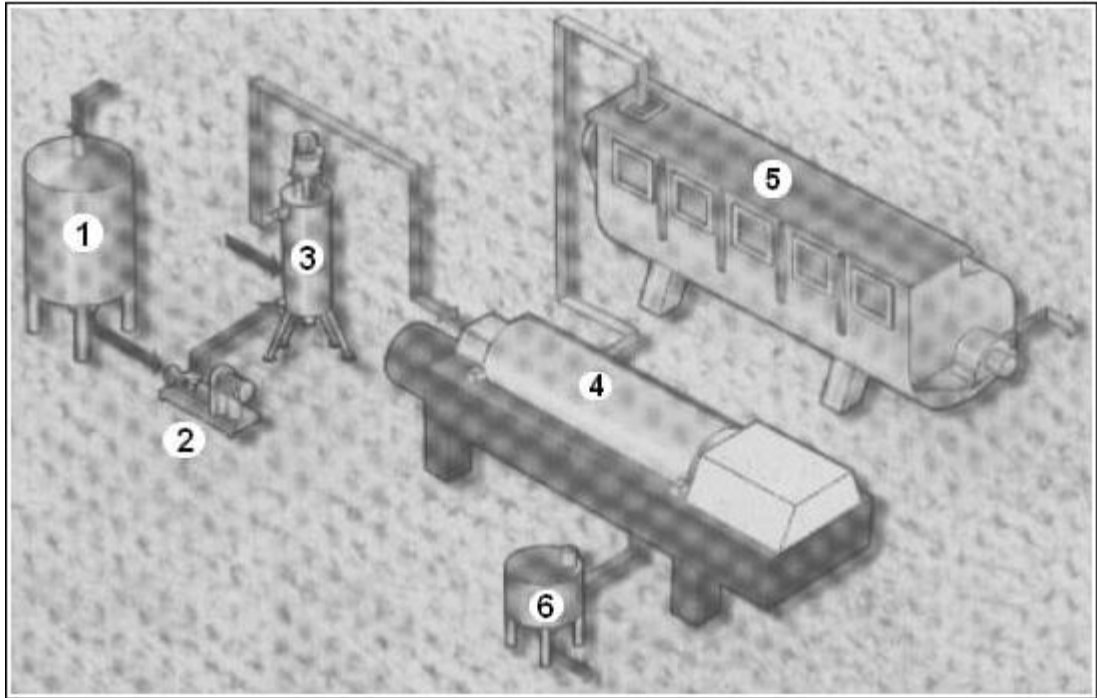
En el coagulador se inyecta vapor a la sangre entre 90 y 100 °C consiguiendo su coagulación, el movimiento de la sangre se produce por la impulsión de la bomba de desplazamiento positivo.

La sangre coagulada y caliente pasa a un decantador centrífugo donde se separan dos fases: sangre deshidratada por centrifugación y suero sanguíneo de bajo contenido en sólidos.

El suero pasa al depósito para su posterior tratamiento en una planta de aguas residuales. La sangre deshidratada, rica en sólidos (45-50%) sale del decantador en forma de una masa húmeda, que es pasada por un secador de tubos continuo. la humedad final presente en la harina de sangre después de salir del secador oscila entre 5% y 10%.

1. Deposito
2. Bomba de desplazamiento positivo
3. Coagulador continuo
4. Decanter centrifugo
5. Secador continuo
6. Depósito de suero

**Figura 6. Coagulación, centrifugación y secado en régimen continuo.**



Fuente: ZOOTENISTAS. Disponible en: <http://guidovicente.blogspot.com.co/2013/02/harina-de-sangre.html>

### **3.3 HARINA DE HUESO Y VÍSCERAS**

El objetivo principal en la obtención de esta harina es conseguir la separación de ciertos porcentajes de humedad y grasa del material en proceso

**3.3.1 Transformación por vía húmeda.** A inicios del siglo veinte se cocinaban los subproductos cárnicos en ollas con agua o en autoclaves, el cocinar en ollas permitía la separación de las grasas en el agua durante el proceso mientras que en el autoclave al exponer los subproductos a vapor directo y presión superior a la atmosférica, se aceleraba el proceso y se obtenía mayor extracción de grasa, con un mayor control de los productos finales.

Estos procesos resultan contraproducentes con respecto al objetivo de separar humedad y grasa de los tejidos sólidos, ya que dejaban gran cantidad de humedad en el material sólido, la grasa y proteínas se solubilizaban formando un caldo con el agua usada en el proceso, que posteriormente es desechada generando pérdida de estos importantes nutrientes.

**3.3.2 Transformación por vía seca.** Por razones económicas particularmente debidas a la pérdida de proteína los procesos de transformación por vía húmeda se reemplazaron por el ahora conocido sistema de transformación por vía seca en el cual los subproductos son cargados en un cilindro horizontal con agitador y camisa de calentamiento por el cual circula vapor saturado a presiones que oscilan entre 150 y 200 Kpa respectivamente. Durante este proceso, el calor transferido por el vapor que circula en la camisa de calentamiento produce que las células de la grasa se abran debido a cambios en las paredes celulares del tejido a medida que se evapora la humedad.

La operación del sistema por vía seca puede realizarse de dos maneras proceso discontinuo también llamado batch y proceso continuo que trabaja a presión atmosférica.

La automatización en el proceso continuo permite mayor control en la reducción de tamaño porque obtiene partículas uniformes, esto significa una mejor y consistente penetración de calor. También se controla eficientemente tiempo y temperatura, sin embargo, este proceso continuo se utiliza para industrias con grandes volúmenes de materia prima a procesar

**3.3.2.1 Batch Rendering.** En el proceso tipo batch por vía seca cuyas etapas se aprecian en la figura 7 el material a procesar se recibe en tolvas para almacenamiento temporal, por medio de tornillos transportadores el material avanza a una trituradora que reduce el tamaño de grano del material con el fin de mejorar

la transferencia de calor, la reducción de tamaño también permite romper las células de los tejidos para liberar grasa durante la cocción.

El material triturado es enviado al digestor en paquetes hasta completar la capacidad de trabajo, en el digestor se realiza la cocción, deshidratación, separación de humedad y liberación de grasas que se encuentran en la proteínas y matriz de los huesos.

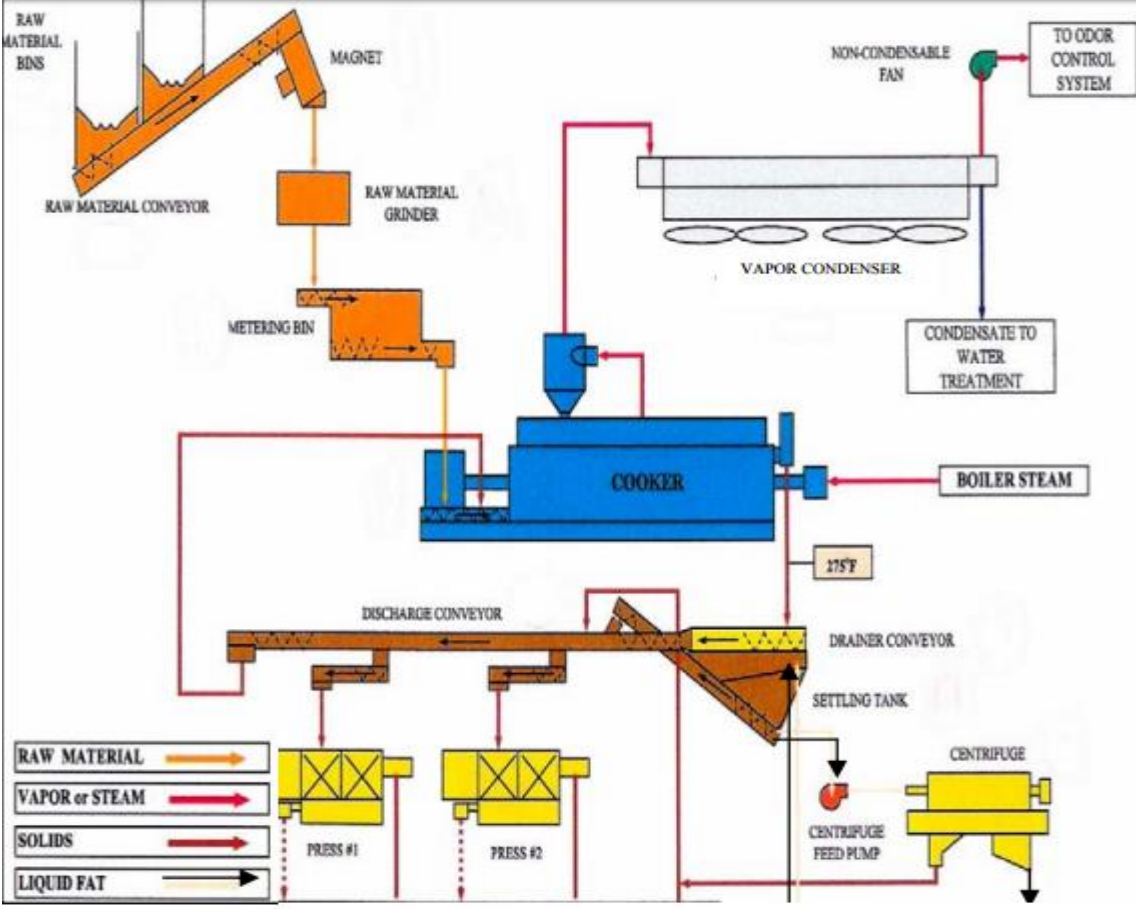
Este posee paletas para agitar el material durante el proceso térmico, el calor es transferido a la materia prima de forma indirecta por medio de una camisa de calentamiento, la materia prima es sometida a temperaturas entre 115 °C y 150 °C durante 4 o 5 horas, dependiendo del tipo de digestor y de la cantidad de materia a procesar.

El material grasoso es descargado en un tornillo transportador colador, que permite separar el material sólido de la grasa líquida, el material sólido previamente filtrado es transportado a una prensa que reducen el contenido de grasa entre un 10% y 12%.

Los sólidos que no fueron prensados son regresados al digestor. Mientras que el material sólido que se prensó pasa a un molino de martillos para su transformación en harina, el producto final es empacado en sacos para su transporte y comercialización.

La grasa filtrada en el tornillo transportador y extraída en la prensa es bombeada al decantador y posteriormente una centrifuga, que separa las impurezas sólidas de la grasa líquida, la grasa clarificada procedente de la centrifuga es almacenada para ser procesada como materia prima para otros productos.

Figura 7. Batch Rendering.



Fuente: Meeker, David. ESSENTIAL RENDERING. Virginia: 2006. P3

## 4. FUNDAMENTACION TEORICA

### 4.1 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO

El hombre siempre ha sentido la necesidad de mantener su equipo, aún las más rudimentarias herramientas o aparatos. La mayoría de las fallas que se experimentaban eran el resultado del uso y esto sigue sucediendo en la actualidad. Al principio solo se hacía mantenimiento cuando ya era imposible seguir usando el equipo (Mantenimiento correctivo), el mantenimiento ha ido evolucionando desde la simple función de arreglar y reparar los equipos para asegurar la producción hasta la concepción actual del mantenimiento con funciones de prevenir, corregir y revisar los equipos a fin de optimizar el costo global.

Con las nuevas formas de organización del trabajo, el mantenimiento tomo otros rumbos pues la función de mantenimiento adquirió especializaciones y se convirtió en una actividad con autonomía propia, dando lugar a la administración, dirección, control y planeación de la gestión de mantenimiento con el fin de brindar a la industria la disponibilidad que esta demanda.

Se puede seguir el rastro de la evolución del mantenimiento a través de tres generaciones

**4.1.1 Primera generación 1940-1960.** En esta época la industria era poco mecanizada, la mayoría de los equipos eran simples y sobredimensionado, lo que los hacia muy confiables y fáciles de reparar.

Como resultados las organizaciones solo se ocupaban de arreglar averías, rutinas de limpieza servicio y lubricación.

**4.1.2 Segunda generación 1960-1985.** En esta época aumento abruptamente la mecanización en la industria, al aumentar la dependencia de los equipos cada vez más complejos, se llegó a prestar más atención a los tiempos y costos inherentes por la parada de equipos. Esto llevo a las organizaciones a tratar de evitar las fallas, dando lugar al concepto de mantenimiento preventivo.

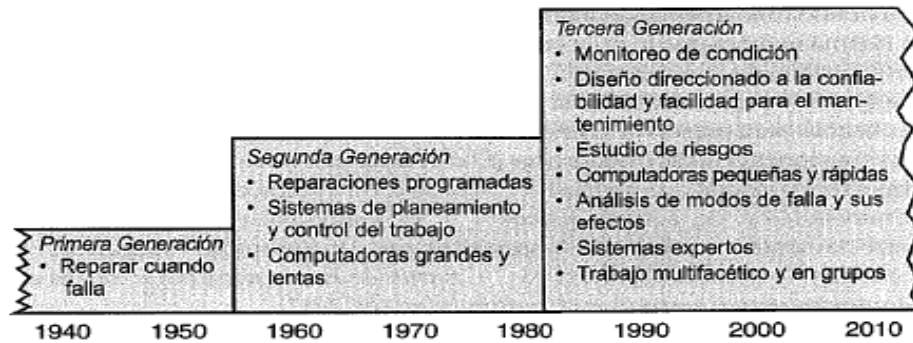
Esto consistió en reparaciones y sustituciones cíclicas de los componentes críticos del equipo, lo que llevo al crecimiento de los costos de mantenimiento comprado con otro costos operacionales, esto produjo el desarrollo de sistemas de planeación y control de mantenimiento para maximizar la vida útil delos activos.

**4.1.3 Tercera generación 1985-Actualidad.** El tiempo de parada de equipos afecta la capacidad de producción, aumenta los costos operacionales y afecta el servicio al cliente. En la actualidad factores como la confiabilidad y la disponibilidad son clave para gran parte de las organizaciones. Entre mayor sea el grado de automatización en la organización las fallas que afecten la capacidad de obtener parámetros de calidad aumentan progresivamente.

En el ambiente altamente competitivo, la dependencia a la integridad de los activos físicos cobra una nueva magnitud que va más allá del costo, que en ocasiones se torna una cuestión de supervivencia para las organizaciones.

A raíz de esto surgen nuevas filosofías de mantenimiento, se inician estudios de causa y efecto, tiene inicio el mantenimiento de detección antes de ocurrida la falla (mantenimiento predictivo). El mantenimiento es contemplado como una parte fundamental de la organización generador de beneficios. **En la figura 8** se muestra la evolución del mantenimiento según las tres generaciones ya mencionadas.

**Figura 8. Evolución del mantenimiento.**



Fuente: MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. P.7

## 4.2 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

La gestión eficiente del mantenimiento es hoy en día uno de los mayores retos dentro de las empresas. El mantenimiento hace años pasó de ser sólo un costo cuya gestión era puramente reactiva a un complejo proceso que bien gestionado puede dar a las empresas una ventaja competitiva decisiva en las circunstancias de alta competitividad actual.

La moderna gestión de mantenimiento incluye todas aquellas actividades de gestión que determinan los objetivos o metas aceptadas por la dirección del departamento de mantenimiento, estrategias o métodos de gestión que se utilizan para conseguir los objetivos aceptados. Al implementar estas estrategias se debe tener en cuenta aquellos aspectos económicos relevantes para la organización.

Se puede demostrar que para la gestión eficaz y eficiente del mantenimiento, es posible conseguirlo entendiendo los dos siguientes aspectos:

- El proceso de gestión de mantenimiento, tiene un curso de acción, es decir una serie de pasos a seguir, esto encamina a la estructura en la eficiencia y en el

acopio de mejores prácticas en el área de mantenimiento así como en otras áreas dentro de la ingeniería

- El marco general de referencia para la gestión, está constituida por una serie de herramientas que conforman un sistema para la gestión del mantenimiento

#### **4.3 INDICADORES DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO**

Son términos numéricos que adecuadamente utilizados, puede ofrecernos una evaluación del cumplimiento de los objetivos y metas fijados por el departamento, proporciona un medio sencillo y fiable para medir logros y mejorar las prácticas de gestión.

La magnitud de los indicadores de gestión permite comparar un nivel de referencia con el fin de acoger acciones correctivas, modificativas, predictivas según lo demande el caso.

Existen tres indicadores básicos sobre los que se sustenta cualquier departamento de mantenimiento

- Confiabilidad
- Disponibilidad
- Costo

**Figura 9. Modelo gestión de mantenimiento.**

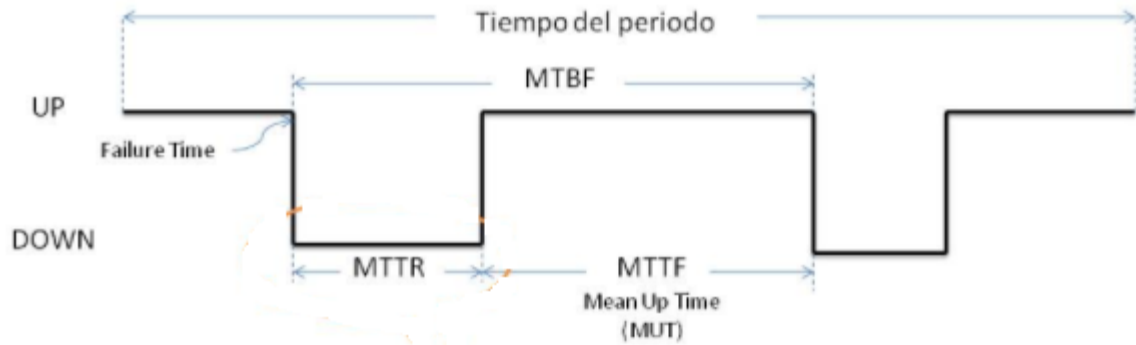


Fuente: GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco Javier, Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión

**4.3.1 Tiempos de mantenimiento.** Para el cálculo de cualquier indicador se debe tener en cuenta los tiempos de mantenimiento.

- **MTBF (Mean Time Between Failures):** Tiempo promedio entre Fallas  
$$MTBF = (\text{N}^\circ \text{ Horas periodo analizado}) / (\text{N}^\circ \text{ Fallas})$$
- **MTTR (Mean Time To Repair):** Tiempo Promedio para Reparar  
$$MTTR = (\text{N}^\circ \text{ Horas de paro por falla}) / (\text{N}^\circ \text{ de averías})$$
- **MUT (Mean Up Time):** Tiempo Promedio en Operación (up) o Tiempo promedio para fallar (**MTTF**)

**Figura 10. Tiempos de mantenimiento.**



Fuente: Notas de clase Ingeniero Carlos Borrás Pinilla

**4.3.2 Confiabilidad.** Es la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para que fue diseñado, durante el periodo de tiempo especificado y bajo las condiciones de operaciones dadas.

$$\text{CONFIABILIDAD} = \text{MTBF}/(\text{MTBF}+\text{MTTR})$$

Cuando se habla de confiabilidad el componente trabaja continuamente durante un periodo de tiempo dado, en otras palabras la función del componente no se interrumpe, el componente se pone en operación y se mantiene en operación

**4.3.3 Disponibilidad.** Es la capacidad de un activo o componente para estar en un estado óptimo para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.

$$\text{Disponibilidad} = \text{MUT}/(\text{MUT}+\text{MTTR})$$

Cuando se habla de disponibilidad el componente es puesto en operación en un instante dado y no importa lo que pase después, la función del componente puede ser interrumpida sin ningún problema.

**4.3.4 Mantenibilidad.** Es la probabilidad de que un equipo en estado de falla, pueda ser reparado a una condición específica en un periodo de tiempo dado, y usando unos recursos determinados y no importa lo que pase después, la función del componente poder ser interrumpida sin ningún problema

Si un componente tiene un 95% de Mantenibilidad en una hora, entonces habrá 95% de probabilidad de que ese componente sea reparado exitosamente en una hora.

$$\text{Mantenibilidad} = 1 - e^{-(\mu t)}$$

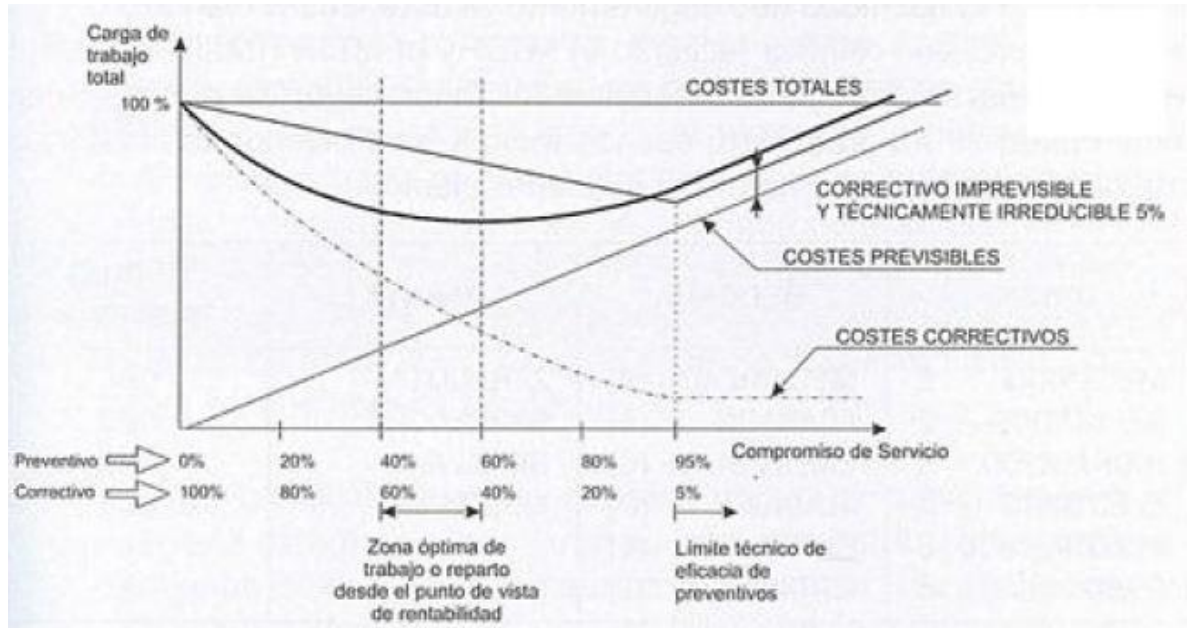
$$\mu = 1/\text{MTTR}$$

**4.3.5 Costos.** El costo es uno de los indicadores más importantes para una organización, pues este muestra cuánto gasta o invierte en el área de mantenimiento y el servicio que de este obtiene.

En la Figura 11, se expone el equilibrio entre dos tipos de mantenimiento posibles mantenimiento preventivo y correctivo englobando en el primero todas las metodologías de mantenimiento sistemático, se debe conocer por lo menos dos indicadores de costos expuestos y el porcentaje de cada mantenimiento en que se encuentra.

Lo ideal es conocer que cuesta reducir fallas aumentando el preventivo y viceversa, esto no es fácil en absoluto, pues a menudo la reducción de fallas solo se consigue modificando el sistema. Muchos autores recomiendan estudiar la posibilidad de modificar el sistema más que intentar reducir fallas con mayores actividades preventivas.

**Figura 11. Costo mantenimiento preventivo-correctivo.**



Fuente: GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco Javier, Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión

#### 4.4 MANTENIMIENTO

Mantenimiento es una serie de acciones, operaciones y actitudes mediante las cuales un sistema o equipo se restablece, o se mantiene en un estado tal que cumpla las funciones deseadas por la organización. Es un factor importante que permite minimizar costos por fallas, prolongar la vida útil de los equipos, garantizar altos niveles de calidad y productividad.

Las acciones y operaciones llevadas a cabo en el mantenimiento consisten en rutinas y tareas programadas tales como: limpieza, lubricación, inspección visual, monitoreo continuo, reacondicionamiento, sustituciones cíclicas, reparaciones y como última medida el rediseño.

En consecuencia el mantenimiento es una combinación de actividades que permite a las organizaciones identificar modos de falla y sus consecuencias en la producción, garantizando altos niveles de confiabilidad y disponibilidad.

#### **4.5 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO**

El principal propósito del mantenimiento es garantizar que los equipos y sistemas productivos cumplan con la función para la cual fueron adquiridos por la organización con la menor inversión de tiempo y dinero posible, de manera que los equipos siempre estén aptos y en condiciones de operación inmediata. Se puede decir que sus pilares son:

- Garantizar el cumplimiento de la función o funciones del equipo
- Garantizar disponibilidad y confiabilidad de los equipos.
- Reestablecer el funcionamiento de equipos a condiciones de funcionamiento productivo y de calidad.
- Optimizar los recursos económicos, humanos y tecnológicos
- Prolongar la vida útil de los activos.

## **5. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)**

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) fue desarrollado inicialmente por la industria comercial de aviación para mejorar la seguridad y la confiabilidad de sus equipos. En 1978 el Departamento de Defensa de U.S. publica un reporte escrito sobre el RCM. Desde entonces, RCM ha sido utilizado para ayudar a formular estrategias de mantenimiento de activos físicos en casi todas las áreas de trabajo humano organizado, y en casi todos los países industrializados del mundo.

### **5.1 DEFINICIÓN DE RCM**

Es una filosofía de gestión del mantenimiento en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento, en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.

El RCM está basado en el análisis de fallas, tanto aquellas que ya han ocurrido como las que se están tratando de evitar con determinadas acciones preventivas y predictivas.

### **5.2 VENTAJAS DE APLICAR RCM**

El análisis de una instalación, basándose en la metodología de RCM y la aplicación práctica de las medidas preventivas que se generan de este estudio, tiene una serie

de ventajas sobre otras formas de abordar el mantenimiento de una instalación al tratar de evitar las fallas y sus daños colaterales en producción, seguridad y medio ambiente . Estas ventajas tienen mucho que ver con se trata de un plan de mantenimiento que considera no solo los equipos, sino la instalación como un todo que va más allá de una simple suma de equipos.

**5.2.1 Mejora de la seguridad.** Al identificar, categorizar y tratar de evitar todas las fallas potenciales de la instalación con posibilidades de causar daños al personal implícitamente se está trabajando de forma efectiva en la prevención de riesgos, de una manera realmente eficaz y detallada.

**5.2.2 Mejora del impacto ambiental.** Al estudiar las fallas con implicación medioambiental y tener que prever formas de solucionarlos se está sentando las bases para evitar los accidentes y fallos con una afectación negativa al medio ambiente.

**5.2.3 Aumento de Confiabilidad de la instalación.** El indicador más impactado es el aumento en la confiabilidad, es decir, la posibilidad de que una instalación pueda sufrir una avería imprevista, una parada no programada con anterioridad disminuye notablemente.

**5.2.4 Aumentó en la producción.** Las plantas industriales cuyos modos de falla han sido estudiados y en las que se han implementado las medidas necesarias para evitarlos, acordes con la importancia de éstos, tienen producciones mayores que aquellas en las que la base del mantenimiento es mucho menos rigurosa.

**5.2.5 Disminución de costos de mantenimiento.** RCM determina que el mantenimiento sistemático solo es necesario en determinados equipos cuyas fallas resultan críticas, si una tarea de a condición es suficientemente efectiva para evitar el fallo o sus consecuencias no es necesario realizar tareas de reacondicionamiento

o de cambio cíclico de piezas, ya que estos inducen fallas que los equipos antes no tenían.

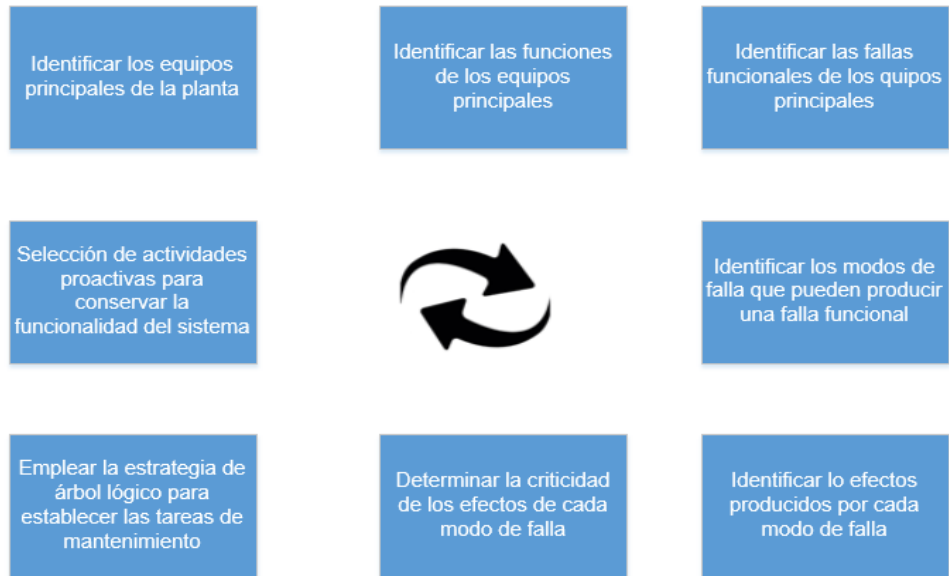
Esto tiene una consecuencia inmediata en los costos: realizando sustituciones cíclicas y reacondicionamientos cíclicos tiene un costo muy elevado, que solo está justificado en determinados equipos. Si se identifican tareas de mantenimiento a condición suficientemente efectivas los costos de mantenimiento disminuyen drásticamente

### **5.3 LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS EN RCM**

Para garantizar el éxito del RCM, según la norma SAE JA 1011, debe asegurarse de responder satisfactoriamente las siguientes siete preguntas en la secuencia que se muestra

- ¿Cuáles son las funciones y estándares de desempeño del equipo o sistema analizado (Funciones)?
- ¿De qué forma puede fallar al cumplir sus funciones (Fallas funcionales)?
- ¿Qué causa cada falla funcional (Modo de falla)?
- ¿Qué sucede cuando falla (efectos de falla)?
- ¿Qué ocurre si falla (consecuencias de falla)?
- ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir la falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra un plan para prevenir la falla?

**Figura 12. Procedimiento RCM.**



**5.3.1 El contexto operacional.** La definición de un contexto operacional de un activo físico típicamente incluye una descripción global breve de cómo se utilizará este activo, donde se utilizará, y los aspectos que gobiernan los criterios de desempeño global tales como producción, rendimiento, seguridad, integridad ambiental, y así sucesivamente.

**5.3.2 Funciones.** Antes de aplicar un proceso para determinar las tareas proactivas para que cualquier activo físico cumpla con los requerimientos deseados por la organización, se debe definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento aceptados, tan precisamente como sea posible, para esto se hace necesario definir dos cosas:

- Determinar qué es lo que el usuario desea que haga
- Asegurar que el activo es capaz de cumplir la función deseada por el usuario

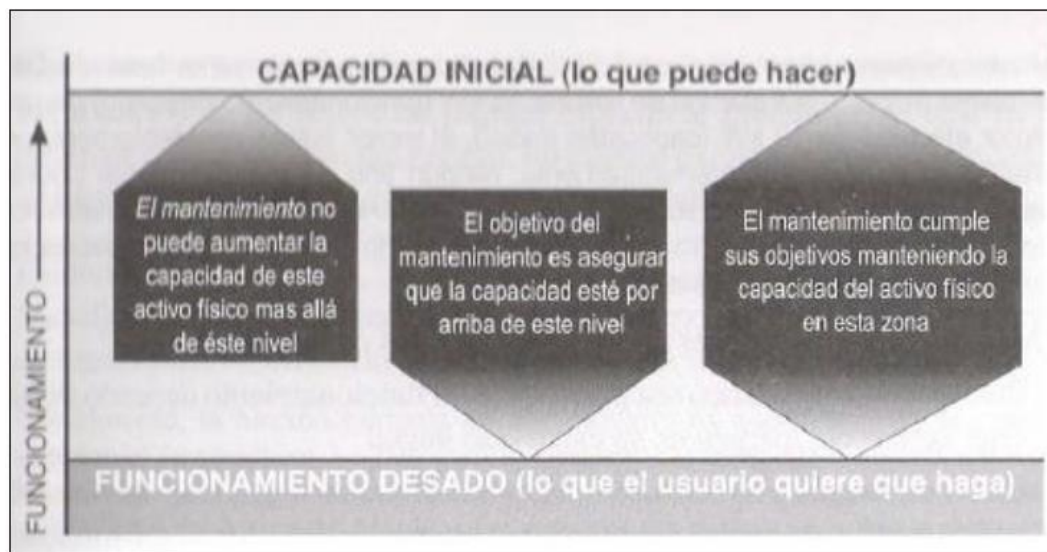
Los parámetros de operación aceptados por los usuarios pueden ser divididos en dos categorías:

- **Funciones primarias:** Esta categoría contempla los parámetros de operación del activo tales como : Capacidad de producción, velocidad de producción, calidad del producto, entre otros
- **Funciones secundarias:** Esta categoría contempla lo que el activo puede hacer aparte de las funciones primarias, la organización tiene expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, confort, integridad estructuras, economía entre otras.

**5.3.3 Estándares de funcionamiento.** La magnitud de aquello que la organización quiere que el activo haga puede definirse a través de un estándar de funcionamiento mínimo que debe estar por encima de lo deseado por la organización, pero por debajo de la capacidad inicial del equipo, es decir lo que el activo es capaz de rendir según el diseño.

En la Figura 13 se muestra la relación entre la capacidad inicial y el funcionamiento deseado por la organización.

**Figura 13. Estándares de funcionamiento.**

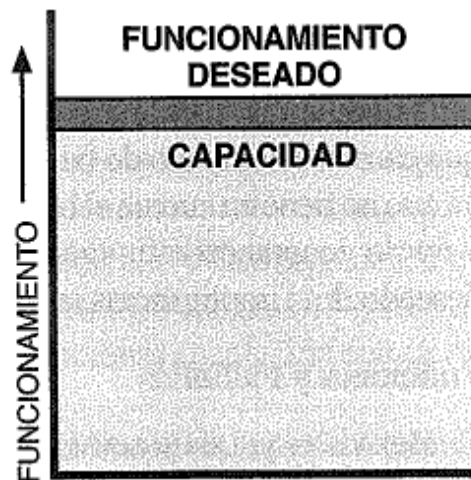


Fuente: MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. P.25

**5.3.4 Fallas funcionales.** Un activo es considerado en estado de falla cuando es incapaz de cumplir con la función deseada por la organización, en el proceso RCM un activo puede tener más de una función y cada una de ellas tiene su propio estándar de funcionamiento, por tal motivo el activo puede ser afectado por diversos estados de falla.

En el proceso RCM se define una falla en términos de pérdida de una función específica, incapacidad de cumplir una función según los estándares de funcionamiento aceptables (Fallas funcionales), más que la falla del activo como un todo.

**Figura 14. Falla funcional**



Fuente: MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. P.50

**5.3.5 Modo de falla.** Modo de falla es definido como cualquier evento que causa una falla funcional en un activo o sistema. Una completa estrategia de mantenimiento basado en RCM debe contemplar gran parte de los eventos que tengan posibilidad de amenazar la funcionalidad de un activo físico.

La mejor forma de mostrar la conexión y la diferencia entre los estados de falla funciona y los eventos que pueden causarlos es hacer un listado de fallas funcionales, y luego registrar los modos de falla que pueden causar cada falla funcional.

La Figura 15 se muestra la descripción de las fallas funcionales y los posibles modos de falla causantes de la falla funcional, la descripción de un modo de falla debe contener al menos un pronombre y un verbo. La descripción debe ser suficientemente detallada de tal forma que posibilite la selección de una política de manejo de fallas adecuada, pero no tan detallada que tome demasiado tiempo realizar el proceso de análisis.

**Figura 15. Descripción de modo de falla.**

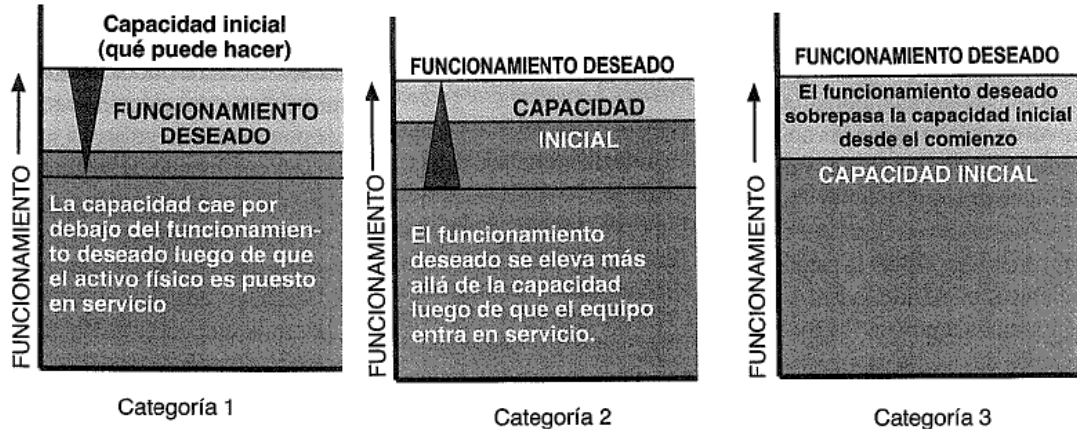
ACTIVO: Sistema de Bombeo					
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la Función)		Modo de Falla (Causa de la Falla)	
1	Transferir agua del tanque X al tanque Y, a no menos de 800 litros por minuto.	A	No disponible para transferir ninguna cantidad de agua	1	Cojinete atascado
				2	Motor quemado
				3	Impulsor suelto
				4	Cizallas en el cubo del acople debido a la fatiga
				5	Válvula de entrada atascada en posición cerrada
				6	Impulsor atascado por un objeto extraño.....etc.
		B	Transfiere menos de 800 litros por minuto	1	Impulsor desgastado
				2	Línea de succión parcialmente bloqueada....etc.

Fuente THE ENGINEERING SOCIETY FOR ADVANCING MOBILITY LAND SEA AIR AND SPACE. JA 1012. [S.I], SAE, 2002. P.16

**5.3.5.1 Categorías de modos de falla.** Los modos de falla pueden se clasificados en tres grandes tipos:

- La capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado
- El funcionamiento deseado se eleva por encima de la capacidad inicial
- El activo físico no es capaz de hacer lo que se requiere

**Figura 16. Categorías de modos de falla**



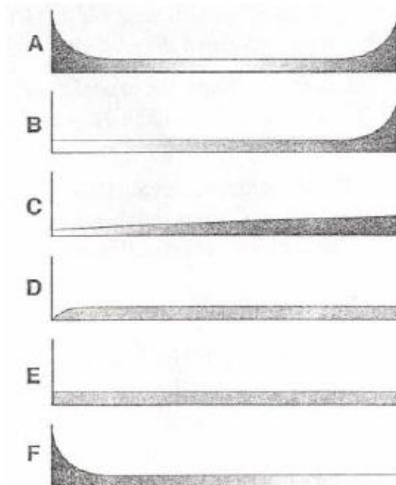
Fuente: MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. P.64

Para determinar el comportamiento de los modos de falla existen diferentes patrones de falla típicos, para los diferentes activos y componentes de una organización. Estos patrones están categorizados en seis tipos donde se compara la probabilidad de falla contra el tiempo de vida de un activo.

- **Patrón A:** Conocido como curva de la bañera, inicia con una gran incidencia de fallas ( Mortalidad infantil), seguida por una probabilidad constante o gradual de falla, y terminado en una zona de desgaste acelerado
- **Patrón B :** Muestra la probabilidad de falla constante de lento incremento, y termina en una zona de desgaste acelerado
- **Patrón C:** Muestra una probabilidad de falla que crece lentamente, pero no tiene una edad de desgaste claramente identificado.

- **Patrón D:** Muestra una baja probabilidad de falla cuando el activo es nuevo o recién salido de la fábrica, y luego un veloz incremento a velocidad constante
- **Patrón E:** muestra una probabilidad de falla constante en todas las edades del activo
- **Patrón F:** inicia con una alta probabilidad de mortalidad infantil, que finalmente cae a una probabilidad de falla constante

**Figura 17. Patrón de falla.**



Fuente: MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. P.12

**5.3.6 Efectos de falla.** Los efectos de falla están asociados a lo que sucede cuando se presenta un modo de falla. Este paso permite decidir la importancia de cada modo de falla, y por lo tanto qué nivel de mantenimiento preventivo sería necesario. Es decir, proporciona la base para decidir si merece la pena realizar el mantenimiento proactivo.

Hay que tener cuidado de no confundir efecto con consecuencia ya que mientras el primero como se mencionó se enfoca a lo que sucede cuando se presenta un modo de falla el segundo revela la importancia que este tendría.

**5.3.7 Consecuencias de falla.** Cada modo de falla tiene una consecuencia directa o indirecta sobre la organización, de manera directa impacta los indicadores de producción, la calidad del producto, satisfacción del cliente, riesgo de seguridad para los operarios, el proceso RCM clasifica las consecuencias en cinco categorías:

- Fallas con consecuencias ocultas:  
Los modos de falla ocultos no causan un impacto evidente en la organización, si no son tratadas pueden ser catastróficas
- Fallas con consecuencias en la seguridad :  
Modos de falla que potencialmente pueden muerte o lesiones de gravedad en el personal de la organización
- Fallas con consecuencias ambientales  
Modos de falla que ocasionan la infracción de normativas ambientales
- Fallas con Consecuencias operacionales  
Modos de falla que impactan directamente la producción o calidad
- Fallas con consecuencias no operacionales  
Modos de falla que no afectan la seguridad ni la operación, solo implican costos de reparación

**5.3.8 Actividades de mantenimiento.** Las actividades de mantenimiento se deciden teniendo en cuenta las posibles consecuencias en seguridad, ambientales

y producción, causadas por cada modo de falla, a partir de un proceso estructurado de preguntas contenidas en un árbol lógico de decisión.

Las respuestas que se obtiene a partir del árbol lógico de decisión, serán las tareas de mantenimiento proactivo más adecuadas para disminuir o eliminar el impacto de cada modo de falla.

#### **5.4 DIAGRAMA DECISIÓN**

Para establecer las técnicas de mantenimiento adecuadas para prevenir o mitigar las consecuencias de cada modo de falla, se usa el diagrama de decisión RCM, en el cual para cada modo de falla y la consecuencia que tiene en la organización, se determina la técnica más adecuada y técnicamente factible de mitigación de consecuencias (A condición, reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica o combinación de tareas).

El diagrama se compone de cuatro partes, en las cuales se analiza la consecuencia del modo de falla

- **H** Fallas evidentes
- **S** Consecuencias para la seguridad
- **E** Consecuencias ambientales
- **O** Consecuencias operacionales

**Figura 18. Diagrama de decisión**



Fuente: MOUBRAY, John. RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. P.204

## 6. PROCESO PRODUCTIVO PLANTA RENDERING

La planta de rendering del Frigorífico Vijagual S.A genera cuatro productos: harina de sangre, harina de hueso calcinado, harina de vísceras y cebo de res, estos productos son generados en tres procesos productivos:

- Coagulación, centrifugación y secado en régimen continuo de sangre
- Transformación por vía seca tipo Batch de hueso calcinado
- Transformación por vía seca tipo Batch de Vísceras

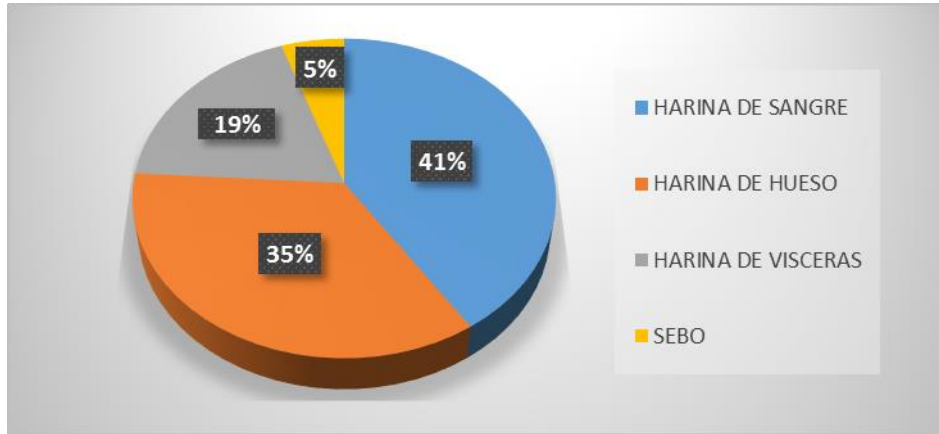
### 6.1 PRODUCCIÓN

La planta tiene una producción diaria de 4.865 Kg de producto. Ver tabla 1, el producto terminado es pesado y empacado en bultos de 40 Kg para su comercialización.

**Tabla 1. Producción planta rendering.**

PRODUCTO	PRODUCCION (Kg/Dia)	PRODUCCION (Kg/Mes)
HARINA DE SANGRE	1,948.00	58,440
HARINA DE HUESO	1,716.00	51,480
HARINA DE VISCERAS	934.40	28,032
SEBO	266.36	7,991
<b>Total</b>	<b>4,865</b>	<b>145,942.80</b>

**Figura 19. % Producción (Kg).**



En el panorama nacional cada kilogramo de producto tiene un valor de comercialización diferente. A continuación se presentan los precios de referencia, de comercialización de: harina de hueso calcinado, harina de sangre, harina de vísceras y sebo de res. La tabla 2 muestra los precios de referencia y la ganancia bruta obtenida con cada producto

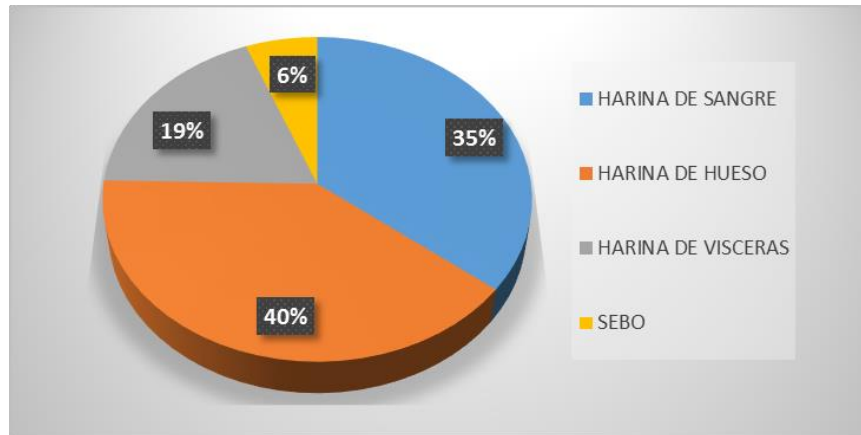
**Tabla 2. Precios de referencia.**

PRODUCTO	Cop/Kg	PRODUCCION (Cop/Dia)	PRODUCCION (Cop/Mes)
HARINA DE SANGRE	1000	1,948,000	58,440,000
HARINA DE HUESO	1200	2,059,200	61,776,000
HARINA DE VISCERAS	1100	1,027,840	30,835,200
SEBO	1200	319,632	9,588,960
<b>Total</b>		<b>5,354,672.00</b>	<b>160,640,160.00</b>

La producción de haría de sangre representa el 40% de la producción total de la planta rendering, frente a la harina de hueso y viseras que representan un 35 y 24 respectivamente, mirando desde el punto de vista de producción el producto que genera más dividendos para la organización es la harina de sangre.

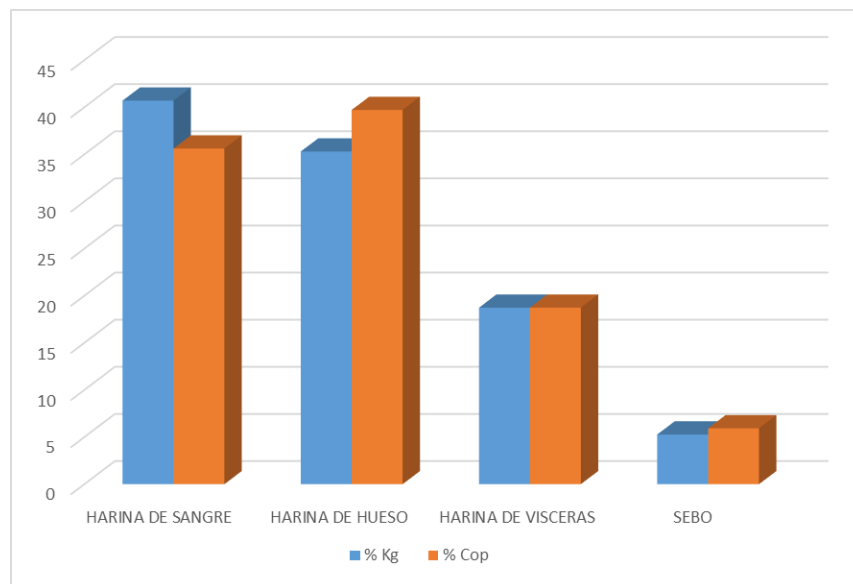
Desde un punto de vista económico la producción de harina de sangre representa 35 % de los ingresos brutos totales de la planta rendering, frente a al 40% y 25% generados por la producción de harina de hueso y vísceras, respectivamente.

**Figura 20. % ganancias brutas en COP.**



En La figura 21 se muestra una comparación entre el porcentaje de la producción total en kilogramos y el porcentaje de ganancia en pesos generado por cada una de las líneas.

**Figura 21. % de producción (Kg) y ganancias (Cop).**



## **7. DIAGNOSTICO DEL MANTEIMINETO EN EL FRIGORIFICO VIJAGUAL S.A**

El propósito de la auditoria de mantenimiento es la evaluación y diagnóstico de la gestión actual del mantenimiento llevado el la organización, con el fin de identificar cuales aspectos presentan debilidades, para enfocar esfuerzos en el mejoramiento de estos.

Actualmente existen una gran variedad de auditorías que difieren en la metodología pero su fine sigue siendo el mismo, el estudio y diagnóstico de la gestión del mantenimiento en la organización, por tal motivo el autor de este documento se inclinó por el modelo de auditoria de Francisco Gonzales Fernández:

### **7.1 METODOLOGÍA**

La auditoría consta de doce bloques de análisis que en total contemplan 128 preguntas, con las que se pretende diagnosticar con suficiente grado de certeza la situación actual del departamento de mantenimiento.

Cada pregunta tiene un valor entre 0,10 ,20 ,30 y 40 dependiendo de la importancia que tiene la misma sobre el bloque.

En caso de tener una puntuación negativa en un bloque, este debe ser objeto de estudio para tener una mejor visión de las debilidades y las propuestas de mejora, que deben ser aportadas por un equipo técnico calificado.

Los bloques contemplados en la auditoria están distribuidos de la siguiente manera:

- Organización general
- Métodos y sistemas de trabajo
- Control técnico de instalaciones y equipos
- Gestión de la carga de trabajo
- Compra y logística de repuestos y equipos
- Sistemas informáticos
- Organización del taller de mantenimiento
- Herramientas y medios de prueba
- Documentación técnica
- Personal y formación
- Contratación
- Control de actividades

## **7.2 PROCESO AUDITORIA DEL MANTENIMIENTO**

Para la obtención de resultados útiles la auditoria debe contemplar ciertas etapas complementarias al proceso

**7.2.1 Equipo de trabajo.** Conformado por personas con conocimientos específicos, en diversas materias, que se entrelazan para la consecución del objetivo. Para llegar a la meta, es importante, que desde un principio se entienda, que el éxito depende del trabajo en equipo y no de uno solo de los integrantes.

Para el desarrollo del proyecto se formó un equipo de trabajo conformado por tres personas, cada con conocimientos específicos en diferentes áreas del conocimiento

- Personal del área de mantenimiento
- Personal del área de producción de la planta rendering

- Autor del proyecto

**7.2.2 Reconocimiento de la empresa.** El equipo auditor debe conocer las diferentes áreas de producción de la organización y tener un grado de conocimiento sobre la operación de las mismas, conocer el personal encargado de la operación y mantenimiento, pues esto da una visión general de la gestión del mantenimiento llevada por la organización.

**7.2.3 Entrevista análisis y recopilación de datos.** Se vinculan al proceso personal involucrado con las labores de mantenimiento, producción, planeación y almacenamiento de repuestos, esto con la finalidad de minimizar los errores y obtener información de diferentes puntos de vista sobre la gestión llevada a cabo por la organización.

Los datos se obtienen a partir de realizar un conjunto de preguntas normalizadas dirigidas a una muestra representativa del personal de mantenimiento y producción

Figura 22. Proceso auditoria del mantenimiento.



Una muestra del material usado para recolección de información para llevar a cabo la auditoria de mantenimiento en el frigorífico Vijagual S.A es presenta en el **ANEXO A**

### 7.3 RESULTADOS AUDITORIA

La tabla 3 representaron los resultados obtenidos en la auditoria de manera ponderada para cada uno de los bloques del cuestionario.

**Tabla 3. Resultados auditoria**

	<b>BLOQUE</b>	<b>Estado Actual</b>	<b>Estado Aceptable</b>
<b>A</b>	ORGANIZACIÓN GENERAL	130	168
<b>B</b>	METODOS Y SISTEMAS DE TRABAJO	105	162
<b>C</b>	CONTROL TECNICO DE INSTALACIONES Y EQUIPOS	85	180
<b>D</b>	GESTION DE LA CARGA DE TRABAJO	165	180
<b>E</b>	COMPRA Y LOGISTICA DE REPUESTOS Y EQUIPOS	205	144
<b>F</b>	SISTEMAS INFORMATICOS	135	150
<b>G</b>	ORGANIZACIÓN DEL TALLER DE MANTENIMIENTO	135	96
<b>H</b>	HERRAMIENTAS Y MEDIOS DE PRUEBA	130	102
<b>I</b>	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	130	114
<b>J</b>	PERSONAL Y FORMACIÓN	305	222
<b>K</b>	CONTRATACION	175	168
<b>L</b>	CONTROL DE LA ACTIVIDAD	130	168

En la figura 23 se representan los resultados obtenidos en la auditoria de mantenimiento en una gráfica radial, que permite una visualización más específica sobre los aspectos que presentan debilidades en la gestión del mantenimiento, estos aspectos cuentan con una puntuación inferior a la aceptable por la metodología aplicada. La gráfica presenta dos series, estado actual de la gestión de mantenimiento en color Azul y el estado aceptable de la gestión en color naranja.

**Figura 23. Resultados auditoria.**



#### **7.4 CONCLUSIONES DE LA AUDITORIA DE MANTENIMIENTO**

- El inventario de equipos de la empresa se encuentra desactualizado, se encontraron equipos sin inventariar y otros existentes en inventario, que ya no existen en la empresa, existen algunos documentos que evidencian que en algún momento se intentó llevar registro de fichas técnicas, hojas de vida y órdenes de trabajo, pero en la mayoría la información contenida está incompleta
- La empresa adquirió un sistema de información, que permite llevar de manera más organizada las operaciones del mantenimiento, pero este aún no cuenta con toda la información, existen áreas y equipos de la empresa que no se encuentran relacionadas en el software

- No existe una coordinación de trabajos, ni estudios de mejora, no se tienen sistemas de priorización de actividades, con base a su criticidad y/o repercusiones
- No cuenta con un plan de mantenimiento definido que permita la organización anticipada y ordenada de las actividades de mantenimiento que se van a efectuar, conllevando a ello a ejecutar actividades de solo mantenimiento correctivo
- No se tiene un registro detallado, en la cual se evidencie los costos por mano de obra, materiales y tiempo empleado en la actividad de mantenimiento.

## 8. INVENTARIO Y CODIFICACION DE EQUIPOS

El Frigorífico Vijagual S.A cuenta con un sistema de codificación para la identificación de los activos pertenecientes a las diferentes áreas de producción de la organización, el código está compuesto por tres partes que representan, el área de producción donde se encuentra ubicado el equipo, el tipo de equipo y un consecutivo del número de veces que la misma clase de equipo existe dentro de los activos.

### 8.1 FORMATO DE CODIFICACIÓN

La codificación debe dar una idea clara al tipo de equipo y área de producción a la que se está haciendo referencia.

La codificación es de vital importancia porque permite establecer las relaciones en la programación del sistema de información que cada equipo requiere para ser monitoreado.

XX	-	XXX	-	##
↓		↓		↓
1		2		3

**Parte 1.** Representa el área de producción en la que se encuentra el equipo, y se compone de las dos letras más significativas del nombre del área.

El Frigorífico Vijagual S.A tenía codificado parcialmente las áreas de producción, aquellas que no contaban con la codificación respectivas fueron incluidas en este proceso.

**Tabla 4. Codificación áreas de producción.**

<b>AREA DE PRODUCCION</b>	<b>CODIGO</b>
AREA CORRALES	CO
AREA DESPOSTE	DE
AREA EMBUTIDOS	EM
AREA SUBPRODUCTOS	SU
CUARTO DE MAQUINAS	CM
LABORATORIO	LA
LINEA BOVINOS	BO
LINEA PORCINOS	PO
PLANTA RENDERING	RD
PLANTA TATAMIENTO AGUAS RESIDUALES	AR
PLANTA TRATAMIENTO AGUA POTABLE	AP
ZONA DE REFRIGERACION	RF
ZONA DE VISCERAS	VI
COCCION DE HUESO	CH
Zona Sebo	ZB

**Parte 2.** Representa el nombre del tipo de equipo y está conformado por las tres letras más significativas del nombre de equipo

**Parte 3.** Número consecutivo de veces que esta misma clase de equipo existe dentro de los activos.

**Tabla 5. Tipo de equipos en el área de rendering.**

<b>EQUIPO</b>	
Elevador Hueso	ELV
Autoclave	ATC
Tornillo transportador	TOR
Triturador hueso y vísceras	TRI
Blow Tank	BTK
Tolva alimentadora	TOL
Blow Tank	BTK
Molino Martillos	MOL
Elevador de Cangilones	ELC
Empacadora de pulmão	EMP
Digestor (Cooker)	COO
Prensa Expeler	PRE
Recipiente Mezclador	RPM
Bomba de desplazamiento positivo	BOM
Decanter centrifugo GRAT	DCC
Tanque Almacenamiento	TNQ
Coagulador continuo	CGC
Decanter centrifugo FAST	DCC
Secadora de tubos	SEC
Enfriadora	ENF
Ciclón	CIC
Torre Enfriamiento	TRE
Lavador de gases	LAB
Chimenea	CHI

La tabla 6 presenta la totalidad de los equipos existentes en el área de producción rendering, con la codificación asignada, para la posterior alimentación del software de gestión adquirido por la empresa.

**Tabla 6. Codificación equipos área de producción rendering.**

<b>N°</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>CODIGO</b>		
1	Elevador Hueso	CH	ELV	01
2	Autoclave	CH	ATC	01
3	Tornillo transportador	CH	TOR	01
4	Triturador hueso y vísceras	CF	TRI	01
5	Tornillo transportador	CH	TOR	01
6	Blow Tank	CH	BTK	03
7	Tolva alimentadora	RD	TOL	01
8	Blow Tank	RD	BTK	01
9	Digestor (Cooker)	RD	COO	03
10	Tolva alimentadora	RD	TOL	02
11	Tornillo transportador	RD	TOR	03
12	Tornillo transportador	RD	TOR	04
13	Molino Martillos	RD	MOL	01
14	Tornillo transportador	RD	TOR	05
15	Elevador de Cangilones	RD	ELC	01
16	Empacadora de pulmão	RD	EMP	01
17	Tornillo transportador	ZB	TOR	06
18	Triturador hueso y vísceras	ZB	TRI	02
19	Tornillo transportador	ZB	TOR	07
20	Blow Tank	ZB	BTK	02
21	Digestor (Cooker)	RD	COO	01
22	Digestor (Cooker)	RD	COO	02
23	Tolva alimentadora	RD	TOL	03
24	Tornillo transportador	RD	TOR	08
25	Prensa Expeler	RD	PRE	01
26	Recipiente Mezclador #2	RD	RPM	02
27	Bomba de desplazamiento positivo	RD	BOM	01
28	Recipiente Mezclador #1	RD	RPM	01
29	Bomba de desplazamiento positivo	RD	BOM	02
30	Decanter centrifugo GRAT	RD	DCC	01
31	Recipiente Mezclador	RD	RPM	03
32	Bomba de desplazamiento positivo	RD	BOM	03
33	Bomba de desplazamiento positivo	RD	BOM	04
34	Tanque Almacenamiento	ZB	TQN	03
35	Tanque Transporte	ZB	TNQ	01
36	Tanque #2	RD	TNQ	02
37	Tanque#4	RD	TNQ	04
38	Bomba de desplazamiento positivo	RD	BOM	05



N°	EQUIPO	CODIGO		
39	Bomba de desplazamiento positivo	RD	BOM	06
40	Coagulador continuo	RD	CGC	01
41	Coagulador continuo	RD	CGC	02
42	Decanter centrifugo FAST	RD	DCC	02
43	Secadora de tubos	RD	SEC	01
44	Tolva alimentadora	RD	TOL	04
45	Tornillo transportador	RD	TOR	10
46	Molino	RD	MOL	02
47	Enfriadora	RD	ENF	01
48	Tornillo transportador	RD	TOR	11
49	Ciclón	RD	CIC	01
50	Ciclón	RD	CIC	02
51	Ciclón	RD	CIC	03
52	Torre Enfriamiento	RD	TRE	01
53	Lavador de gases	RD	LAB	01
54	Ciclón	RD	CIC	01
55	Ciclón	RD	CIC	01
56	Chimenea	RD	CHI	01

## 8.2 ELABORACIÓN DE FICHAS TÉCNICAS

Las fichas técnicas facilitan la búsqueda de información acerca de los equipos, para el personal encargado del mantenimiento de la planta, como al personal de compras y producción. Reducen el tiempo de búsqueda de información y agiliza el pedido de repuestos específicos para cada equipo de la planta.

Las fichas técnicas incluyen imagen, datos técnicos, codificación, ubicación, tiempo promedio de trabajo y los componentes más relevantes de este. En el **Anexo C** se encuentran las fichas técnicas elaboradas para la planta rendering del frigorífico Vijagual

Figura 24. Ficha técnica.

	<b>Ficha Tecnica</b>		<b>Código:</b> <b>FO-MTA-02</b>
	<b>PROCESO DE RECURSOS TECNOLÓGICOS</b>		Versión: 05 Pág: 1 de 2
<b>ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO</b>			
NOMBRE: Triturador hueso/visceras SERIAL: 3047.010.001 MODELO: TH-75 N° INVENTARIO: CH-TRI-01 MARCA: THOR VOLTAJE: 220 POTENCIA: 75 KW FECHA DE INSTALACIÓN: AÑO FABRICACION: 2012 PROVEEDOR: Thor Máquinas e Montagens GARANTÍA: No			
<b>MANTENIMIENTO</b> <input checked="" type="checkbox"/>			
<b>AREA UBICACIÓN: RENDERING</b>			
<b>PERSONAL ENCARGADO DE MANTENIMIENTO</b>		<b>OBSERVACIONES GENERALES</b>	
INTERNO: <input checked="" type="checkbox"/>	EXTERNO: <input type="checkbox"/>		
<b>TIPO DE MANTENIMIENTO</b>			
CORRECTIVO: <input type="checkbox"/>	PREVENTIVO: <input checked="" type="checkbox"/>		
<b>PERIODICIDAD DE MANTENIMIENTO</b>			
MENSUAL: <input type="checkbox"/>	TIMESTRAL: <input type="checkbox"/>		
SEMESTRAL: <input type="checkbox"/>	ANUAL: <input type="checkbox"/>		
<b>PERIODICIDAD DE USO DIARIO</b>		<b>MANUALES</b>	<b>N° DE MANUAL</b>
0H-8H <input type="checkbox"/>	8H-16 <input checked="" type="checkbox"/>	DE MANTENIMIENTO: <input checked="" type="checkbox"/>	
16H-24H <input type="checkbox"/>	POR DEMANDA <input type="checkbox"/>	DE USUARIO: <input checked="" type="checkbox"/>	
<b>COMPONENTES MANTENIBLES</b>			
<b>NOMBRE</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>CANTIDAD</b>	
Correas	5vx-1120	4	
Rodamientos	SKF 22224 CC/W33	2	
Cojinete , lado accionamiento	FMC SAF 22224 TS BP	1	
Tuerca de fijacion	MK 24	1	
MOTOR	Siemens 75 cv 60 Hz	1	

## 9. MODELO AHP PARA ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y necesario mejorar la confiabilidad operacional.

**Figura 25. Modelo análisis de criticidad.**



## 9.1 EQUIPO DE TRABAJO

El análisis de criticidad, técnica clave a la hora de definir la futura estrategia de mantenimiento dentro de la empresa. Por ello, dentro del mismo hay que tener en cuenta todos los aspectos estratégicos de la organización.

Esta visión, requiere que en el desarrollo del análisis participe no sólo el personal destinado al mantenimiento de los equipos, el cual va a ser el usuario principal del análisis, sino que también será necesario contar con personal procedentes de otras áreas de la empresa como el medio ambiente, seguridad y producción.

**Figura 26. Equipo de trabajo.**



- **Personal de producción** la presencia del personal de producción es un requisito indispensable para el éxito del análisis de criticidad, como operarios conocen los principales riesgos de una posible falla, la experiencia del personal de producción será fundamental para la mejorar la efectividad del análisis
- **Personal de mantenimiento** su objetivo es exponer los problemas principales que desde el punto de vista de esta área puedan generar las fallas, así como

describir las acciones que se están tomando para evitarlos y la indisponibilidad que se puede presentar a partir de una falla mirando los tiempos de reparación

- **Personal de seguridad industrial** El personal de seguridad será el encargado de aportar y aprobar la documentación concerniente a medidas de seguridad, protocolos de actuación y evaluaciones de riesgos desde el punto de vista de prevención de riesgos laborales, como consecuencia del debate generado con operadores y mantenedores se pueden generar modificaciones y propuestas de mejora en la seguridad de la planta y de los equipos

## 9.2 CRITERIOS DE JERARQUIZACIÓN

Los criterios definidos para determinen la evaluación de la criticidad, fueron seleccionados por el autor con asesoría del equipo de trabajo.

**9.2.1 Impacto en la Producción (IP).** Representa la producción aproximada porcentualmente que se deja de obtener (Por día), debido a fallas ocurridas. Se define como la consecuencia inmediata de la ocurrencia de la falla, que puede representar un paro total o parcial de los equipos del sistema estudiado y al mismo tiempo el paro del proceso productivo de la unidad.

**Tabla 7. Impacto en la Producción (IP).**

IP	IMPACTO EN PRODUCCION
5	Perdidas de producción superiores 75 %
4	Perdidas entre 50% y 75% de la producción total
3	Perdidas entre 25% y 50% de la producción total
2	Perdidas entre 10% y 25% de la producción total
1	Perdidas de producción inferiores al 10 %

Fuente: Notas de clase Ingeniero Carlos Borrás Pinilla.

**9.2.2 Costos de mantenimiento (CM).** Se refiere al costo promedio por falla requerido para restituir el equipo a condiciones óptimas de funcionamiento, incluye labor, materiales y transporte.

**Tabla 8. Costos de mantenimiento (CM).**

CM	IMPACTO COSTOS DE MANTENIMIENTO
4	Costo reparación superior a 5.000.000 COP
3	Costo reparación esta entre 2.000.000 y 4.000.000 COP
2	Costo reparación esta entre 500.000 y 2.000.000 COP
1	Costo reparación inferior a 500.000 COP

Fuente: Notas de clase Ingeniero Carlos Borrás Pinilla.

**9.2.3 Impacto en la seguridad (IS).** Denota la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones y en los cuales alguna persona pueda o no resultar lesionada.

**Tabla 9. Impacto en la seguridad (IS).**

IS	IMPACTO EN SEGURIDAD
5	puede causar pérdidas humanas
4	Causa lesiones o heridas graves con incapacidad temporal superior a 30 días
3	Causa lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días
2	Causa lesiones o heridas leves no incapacitantes
1	No existe ningún riesgo en la salud

Fuente: Notas de clase Ingeniero Carlos Borrás Pinilla.

**9.2.4 Tiempo para reparar (BM).** Es el tiempo promedio por día empleado para reparar la falla. Se considera desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible para cumplirla nuevamente.

**Tabla 10. Mantenibilidad.**

<b>BM</b>	<b>MANTENIBILIDAD</b>
5	tiempo reparación superior 12 horas
4	No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción parcialmente
3	tiempos de reparación entre 4 y 12 horas
2	Se tienen unidades de reserva que pueden cubrir de forma parcial la producción
1	se cuenta con unidades de reserva en línea y/o tiempos de reparación inferiores a 4 horas

Fuente: Notas de clase Ingeniero Carlos Borrás Pinilla

**9.2.5 Severidad de falla (NS).** Representa los efectos que pueden traer consigo las fallas una vez que estas ocurren dentro de un contexto operacional específico de la unidad evaluada.

**Tabla 11. Severidad de falla.**

<b>NS</b>	<b>NIVEL DE SEVERIDAD DE LA FALLA</b>
5	Perdida de función para la que fue diseñado el equipo
4	Mal funcionamiento del equipo disminuyendo la calidad del servicio
3	Perdida en la eficiencia del equipo
2	Fallas difíciles de reconocer por el departamento de producción y cuyos efectos serán insignificativos en el proceso
1	Fallas que son identificables por el departamento de producción y no afectan la eficiencia del proceso

Fuente: Notas de clase Ingeniero Carlos Borrás Pinilla

**9.2.6 Impacto ambiental (IA).** Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones produciendo la violación de cualquier regulación ambiental, además de ocasionar daños a otras instalaciones.

**Tabla 12. Impacto ambiental.**

IA	IMPACTO AMBIENTAL
5	Fallas que generan incumplimiento de normas ambientales , quejas de la comunidad
3	Contaminación ambiental moderada, se manifiesta en un espacio reducido de la planta
2	Incidente ambiental fácil de contener
1	No originan impacto ambiental

Fuente: Notas de clase Ingeniero Carlos Borrás Pinilla

### **9.3 PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO AHP**

La metodología AHP es una poderosa y flexible herramienta de toma de decisiones multicriterio, utilizada en problemas en los cuales necesitan evaluarse aspectos tanto cualitativos como cuantitativos. La técnica AHP ayuda a los analistas a organizar los aspectos críticos de un problema en una estructura jerárquica similar a la estructura de un árbol familiar, reduciendo las decisiones complejas a una serie de comparaciones que permiten la jerarquización de los diferentes aspectos evaluados.

El AHP está fundamentado en:

- La estructuración del modelo
- Priorización de los elementos del modelo jerárquico
- Comparaciones binarias entre los elementos.
- Evaluación de los elementos mediante asignación de “pesos”
- Ranking de las alternativas de acuerdo con los pesos dados
- Síntesis.
- Análisis de Sensibilidad

El AHP frente a otros métodos de decisión presenta ventajas como, presentar un sustento matemático, medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común, permite la participación de diferentes personas y generar consenso, verifica el índice consistencia para hacer correcciones de ser necesario.

#### **9.4 ESTABLECIMIENTO DE PRIORIDADES CON EL AHP**

Definir los criterios de decisión en forma de objetivos jerárquicos. La jerarquización se estructura en diferentes niveles: iniciándose en el tope con la definición del objetivo principal del proceso de jerarquización, luego se definen los niveles intermedios y finalmente, en el nivel más bajo se describen las alternativas a ser comparadas.

#### **9.5 COMPARACIÓN CUALITATIVA ENTRE CRITERIOS**

Evaluar (pesar) los diferentes criterios, sub-criterios y alternativas en función de su importancia correspondiente en cada nivel. La importancia entre cada uno de los criterios se calcula a partir de una comparación cualitativa entre criterios de forma apareada, criterios cualitativos y cuantitativos pueden ser comparados usando juicios informales para obtener los pesos y las prioridades. Para criterios cualitativos la técnica utiliza simples comparaciones apareadas, para determinar los pesos y poder evaluarlos

**Tabla 13 Valoración de juicios**

Juicios	Puntuacion
igual	1
Moderado	2
Fuerte	3
Extremo	4

**9.5.1 Matriz de comparaciones.** Se denominada matriz de prioridades a la que resume las prioridades para cada alternativa en términos de cada criterio. La prioridad global para cada alternativa de decisión se resume en el vector columna que resulta del producto de la matriz de prioridades, con el vector de prioridades de los criterios. Para  $m$  criterios y  $n$  alternativas se tiene:

**Figura 27. Matriz de prioridades.**

$$\begin{array}{l}
 \text{Alternativa 1} \\
 \text{Alternativa 2} \\
 \dots \\
 \text{Alternativa n}
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 \text{Criterio 1} & \text{Criterio 2} & \dots & \text{Criterio m} \\
 P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\
 P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm}
 \end{pmatrix}$$

**9.5.2 Consistencia.** El AHP ofrece un método para medir el grado de consistencia de las opiniones apareadas que proporcionan los decisores. Si el grado de consistencia es aceptable, puede continuarse con el proceso de decisión. Si el grado de consistencia es inaceptable, quien toma las decisiones debe reconsiderar y posiblemente modificar sus juicios sobre las comparaciones antes de continuar con el análisis.

Para evaluar la congruencia de los juicios se calcula el radio de inconsistencia (IR). Antes de determinar una inconsistencia, es necesario estimar el índice de consistencia (CI) de una n x n matriz de juicios.

Donde CI está definido por:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Donde  $\lambda_{\max}$  es el máximo auto valor de la matriz. De esta forma IR es definido por:

$$I_R = \frac{CI}{RI}$$

Dónde RI es el valor aleatorio promedio de CI para una n x n matriz. Los valores de RI son mostrados en la Tabla 12.

**Tabla 14. Valores de RI para matrices de diferentes órdenes.**

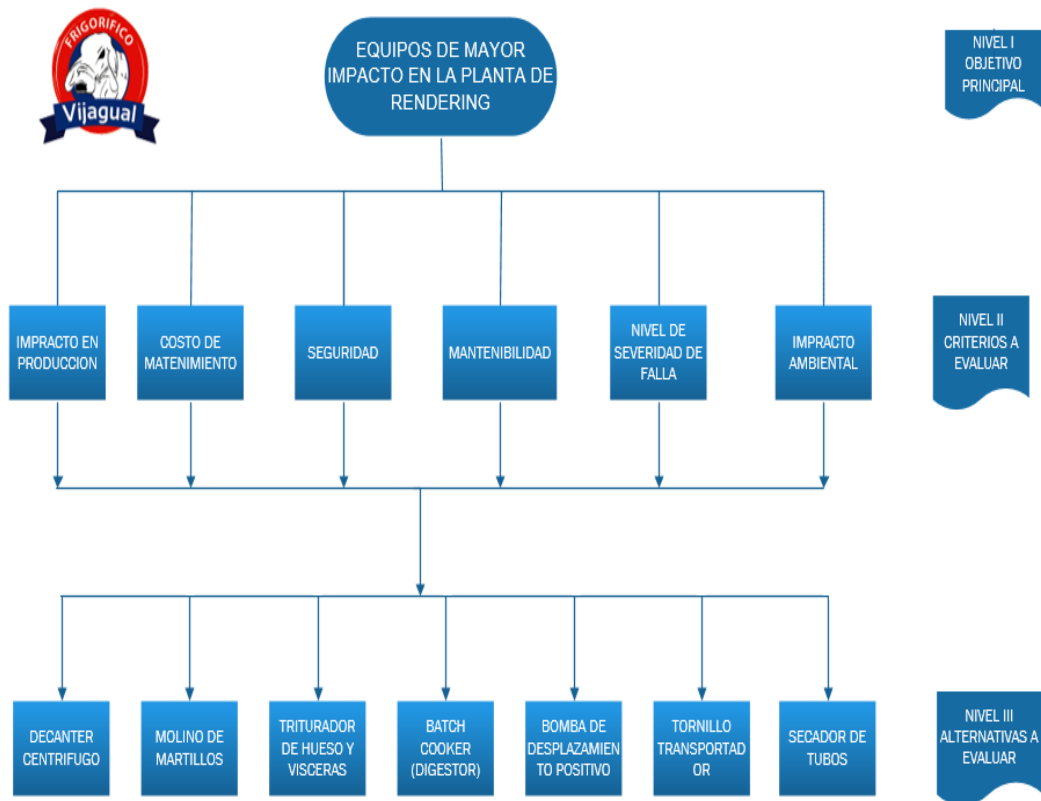
N	1	2	3	4	5	6	7
RI	0	0	0.57	0.89	1.11	1.25	1.35

Los juicios pueden ser considerados aceptables si  $IR \leq 0.1$  en casos de inconsistencia, el proceso de evaluación para la matriz evaluada es inmediatamente repetido. Inconsistencias superiores a 0,1 o más justifican una mayor investigación de los criterios evaluados.

**9.5.3 Jerarquización de alternativas.** Para cada alternativa (equipo a jerarquizar), se calcula el nivel de preferencia en una escala 0.0 y 1.0, obteniendo como resultado alternativas jerarquizadas en función de los criterios de decisión evaluados

## 9.6 APLICACIÓN DE LA TÉCNICA AHP PARA JERARQUIZAR LOS EQUIPOS DE LA PLANTA RENDERING DEL FIGORIFICO VIJAGUAL S.A

**Figura 28. Modelo AHP diseñado para jerarquizar los equipos de la planta rendering.**



**9.6.1 Comparación cualitativa entre criterios.** El modelo AHP diseñado propone jerarquizar los sistemas y equipos evaluando criterios relacionados con el impacto que generan las fallas funcionales de los diferentes equipos.

Se procede a evaluar el nivel de importancia de cada uno de los criterios seleccionados (impacto en producción, costo de mantenimiento, seguridad, mantenibilidad, impacto ambiental). La importancia entre cada uno de los criterios se calcula a partir de una comparación cualitativa entre criterios de forma apareada.

**Tabla 15. Calculo de pesos.**

CRITERIOS	IP	CM	IS	BM	NS	IA	SUMA	PESO
IP	1	1	2	2	3	2	11.00	0.266
CM	1	1	1/2	2	2	2	8.50	0.206
IS	1/2	2	1	1	1	1	6.50	0.157
BM	1/2	1/2	1	1	2	1	6.00	0.145
NS	1/3	1/2	1	1/2	1	1	4.33	0.105
IA	1/2	1/2	1	1	1	1	5.00	0.121
Suma	3.83	5.50	6.50	7.50	10.00	8.00		

Total 41.33

• **Calculo de consistencia de juicios**

$$\lambda = [3,83 \ 5,50 \ 6,50 \ 7,50 \ 10,00 \ 8,00] *$$

$$\lambda = 6.28$$

$$CI = \frac{\lambda - 6}{5}$$

$$CI=0.056$$

$$IR = \frac{CI}{RI}$$

$$IR=0.044$$

11,0
8,50
6,50
6,00
4,33
5,00

Como el índice de consistencia (IR)  $IR \leq 0.1$  los juicios son tomados como aceptables y se puede continuar con el proceso AHP.

**9.6.2 Calculo de la criticidad.** Una vez comprados y definido el peso relativo entre criterios, se procede a determinar la criticidad de los equipos.

La criticidad se define como la suma de la puntuación asignada al equipo para cada uno de los criterios multiplicado por el peso relativo de cada uno de los criterios.

$$\text{Criticidad} = IP \cdot \text{Peso}_{IP} + CM \cdot \text{Peso}_{CM} + IS \cdot \text{Peso}_{IS} + BM \cdot \text{Peso}_{BM} + NS \cdot \text{Peso}_{NS} + IA \cdot \text{Peso}_{IA}$$

**9.6.3 Resultados de la evaluación.** A continuación se presentan los resultados obtenidos en la evaluación realizada a los 56 equipos de la Planta rendering del Frigorífico Vijagual S.A en función de cada uno criterios explicados anteriormente (impacto en producción, costo de mantenimiento, seguridad, mantenibilidad, impacto ambiental).

**Tabla 16. Evaluación de equipos con los criterios seleccionados.**

CODIGO			IP	IP/ Total	ICM	CM/ Total	IS	ISM/ Total	BM	BM/ Total	NS	NS/ Total	IA	IA/ Total	Criticidad
CH	ELV	01	3	0.057	1	0.036	2	0.077	1	0.033	5	0.067	2	0.083	0.056
CH	ATC	01	4	0.075	1	0.036	3	0.115	3	0.100	3	0.040	2	0.083	0.074
CH	TOR	01	2	0.038	1	0.036	1	0.038	1	0.033	5	0.067	1	0.042	0.040
CH	TRI	01	3	0.057	2	0.071	3	0.115	3	0.100	5	0.067	2	0.083	0.079
CH	TOR	02	3	0.057	1	0.036	1	0.038	1	0.033	5	0.067	1	0.042	0.045
CH	BTK	03	3	0.057	2	0.071	1	0.038	1	0.033	5	0.067	1	0.042	0.053
RD	TOL	01	2	0.038	2	0.071	1	0.038	1	0.033	3	0.040	1	0.042	0.045
RD	BTK	01	3	0.057	2	0.071	1	0.038	1	0.033	5	0.067	1	0.042	0.053
RD	COO	03	5	0.094	3	0.107	3	0.115	3	0.100	4	0.053	3	0.125	0.101
RD	TOL	02	2	0.038	1	0.036	1	0.038	1	0.033	5	0.067	1	0.042	0.040
RD	TOR	03	2	0.038	1	0.036	1	0.038	1	0.033	5	0.067	1	0.042	0.040
RD	TOR	04	5	0.094	1	0.036	1	0.038	1	0.033	5	0.067	1	0.042	0.055
RD	MOL	01	4	0.075	3	0.107	3	0.115	3	0.100	5	0.067	4	0.167	0.102
RD	TOR	05	5	0.094	1	0.036	1	0.038	1	0.033	5	0.067	1	0.042	0.055

CODIGO			IP	IP/ Total	ICM	CM/ Total	IS	ISM/ Total	BM	BM/ Total	NS	NS/ Total	IA	IA/ Total	Criticidad
RD	ELC	01	3	0.057	3	0.107	1	0.038	5	0.167	5	0.067	1	0.042	0.079
RD	EMP	01	4	0.075	3	0.107	2	0.077	3	0.100	5	0.067	1	0.042	0.081
ZB	TOR	06	3	0.075	1	0.045	1	0.038	1	0.042	5	0.085	1	0.029	0.054
ZB	TRI	02	3	0.075	2	0.091	3	0.115	3	0.125	5	0.085	1	0.029	0.087
ZB	TOR	07	3	0.075	1	0.045	1	0.038	1	0.042	5	0.085	1	0.029	0.054
ZB	BTK	02	3	0.075	2	0.091	1	0.038	1	0.042	3	0.051	1	0.029	0.060
RD	COO	01	4	0.100	1	0.045	3	0.115	1	0.042	3	0.051	3	0.088	0.076
RD	COO	02	4	0.100	1	0.045	3	0.115	1	0.042	3	0.051	3	0.088	0.076
RD	TOL	03	1	0.025	1	0.045	1	0.038	1	0.042	5	0.085	1	0.029	0.041
RD	TOR	08	2	0.050	1	0.045	1	0.038	1	0.042	5	0.085	1	0.029	0.047
RD	PRE	01	3	0.075	2	0.091	2	0.077	3	0.125	4	0.068	2	0.059	0.083
RD	RPM	02	2	0.050	1	0.045	1	0.038	1	0.042	1	0.017	2	0.059	0.044
RD	BOM	01	2	0.050	1	0.045	1	0.038	1	0.042	3	0.051	2	0.059	0.047
RD	RPM	01	2	0.050	1	0.045	1	0.038	1	0.042	1	0.017	2	0.059	0.044
RD	BOM	02	2	0.050	1	0.045	1	0.038	1	0.042	3	0.051	2	0.059	0.047
RD	DCC	01	3	0.075	2	0.091	2	0.077	3	0.125	5	0.085	3	0.088	0.088
RD	RPM	03	1	0.025	1	0.045	1	0.038	1	0.042	1	0.017	2	0.059	0.037
RD	BOM	03	1	0.025	1	0.045	1	0.038	1	0.042	3	0.051	2	0.059	0.041
RD	TQN	00	1	0.025	1	0.045	1	0.038	1	0.042	1	0.017	3	0.088	0.041
RD	BOM	04	0	0.000	1	0.045	1	0.038	1	0.042	3	0.051	2	0.059	0.034
ZB	TNQ	03	2	0.045	1	0.050	1	0.050	1	0.040	3	0.063	2	0.077	0.052
ZB	TNQ	01	2	0.045	1	0.050	1	0.050	1	0.040	3	0.063	2	0.077	0.052
RD	TNQ	02	2	0.045	1	0.050	1	0.050	1	0.040	3	0.063	2	0.077	0.052
RD	TNQ	04	2	0.045	1	0.050	1	0.050	1	0.040	3	0.063	2	0.077	0.052
RD	BOM	05	5	0.114	2	0.100	1	0.050	2	0.080	2	0.042	3	0.115	0.089
RD	BOM	06	4	0.091	1	0.050	1	0.050	2	0.080	2	0.042	2	0.077	0.068
RD	CGC	01	4	0.091	1	0.050	2	0.100	1	0.040	2	0.042	2	0.077	0.070
RD	CGC	02	4	0.091	1	0.050	2	0.100	1	0.040	2	0.042	2	0.077	0.070
RD	DCC	01	5	0.114	2	0.100	2	0.100	3	0.120	4	0.083	3	0.115	0.107
RD	SEC	01	5	0.114	2	0.100	2	0.100	3	0.120	5	0.104	1	0.038	0.100
RD	TOL	04	1	0.023	1	0.050	1	0.050	1	0.040	1	0.021	1	0.038	0.037
RD	TOR	10	2	0.045	1	0.050	1	0.050	1	0.040	5	0.104	1	0.038	0.052
RD	MOL	02	2	0.045	2	0.100	2	0.100	3	0.120	3	0.063	1	0.038	0.077
RD	ENF	01	3	0.068	2	0.100	1	0.050	3	0.120	5	0.104	1	0.038	0.080
RD	TOR	11	1	0.023	1	0.050	1	0.050	1	0.040	5	0.104	1	0.038	0.046

**9.6.4 Jerarquización por nivel de importancia.** Respecto a los valores obtenidos para cada uno de los equipos, Tabla 16, en función de cada uno de los seis criterios, definidos por el equipo de trabajo, se procede a ordenarlos por el nivel de importancia, de mayor a menor. A continuación en la Tabla 17 se presentan los resultados de la jerarquización de equipos para la planta rendering del Frigorífico Vijagual S.A.

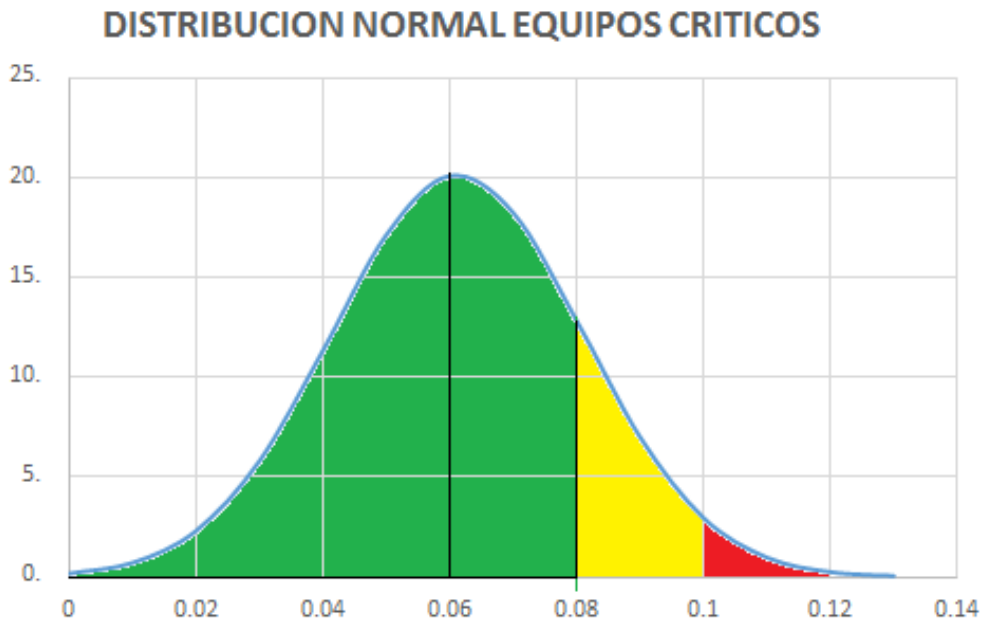
**Tabla 17. Jerarquización por nivel de importancia.**

<b>EQUIPO</b>	<b>CODIGO</b>			<b>CRITICIDAD</b>
Decanter centrifugo FAST	RD	DCC	02	0.107
Molino Martillos	RD	MOL	01	0.102
Digestor (Cooker)	RD	COO	03	0.101
Secadora de tubos	RD	SEC	01	0.100
Bomba de desplazamiento positivo	RD	BOM	05	0.089
Decanter centrifugo GRAT	RD	DCC	01	0.088
Triturador hueso y vísceras	ZB	TRI	02	0.087
Prensa Expeler	RD	PRE	01	0.083
Empacadora de pulmão	RD	EMP	01	0.081
Enfriadora	RD	ENF	01	0.080
Triturador hueso y vísceras	CF	TRI	01	0.079
Elevador de Cangilones	RD	ELC	01	0.079
Molino	RD	MOL	02	0.077
Digestor (Cooker)	RD	COO	01	0.076
Digestor (Cooker)	RD	COO	02	0.076
Autoclave	CH	ATC	01	0.074
Coagulador continuo	RD	CGC	01	0.070
Coagulador continuo	RD	CGC	02	0.070
Bomba de desplazamiento positivo	RD	BOM	06	0.068
Blow Tank	ZB	BTK	02	0.060
Elevador Hueso	CH	ELV	01	0.056
Tornillo transportador	RD	TOR	04	0.055

<b>EQUIPO</b>	<b>CODIGO</b>			<b>CRITICIDAD</b>
Tornillo transportador	RD	TOR	05	0.055
Tornillo transportador	ZB	TOR	06	0.054
Tornillo transportador	ZB	TOR	07	0.054
Blow Tank	CH	BTK	03	0.053
Blow Tank	RD	BTK	01	0.053
Tanque Almacenamiento	ZB	TQN	03	0.052
Tanque Transporte	ZB	TNQ	01	0.052
Tanque #2	RD	TNQ	02	0.052
Tanque#4	RD	TNQ	04	0.052
Tornillo transportador	RD	TOR	10	0.052
Bomba de desplazamiento positivo	RD	BOM	01	0.047
Bomba de desplazamiento positivo	RD	BOM	02	0.047
Tornillo transportador	RD	TOR	08	0.047
Tornillo transportador	RD	TOR	11	0.046
Tornillo transportador	CH	TOR	01	0.045
Tolva alimentadora	RD	TOL	01	0.045
Recipiente Mezclador #2	RD	RPM	02	0.044
Recipiente Mezclador #1	RD	RPM	01	0.044
Tanque Almacenamiento	RD	TNQ	00	0.041
Bomba de desplazamiento positivo	RD	BOM	03	0.041
Tolva alimentadora	RD	TOL	03	0.041
Tornillo transportador	CH	TOR	01	0.040
Tolva alimentadora	RD	TOL	02	0.040
Tornillo transportador	RD	TOR	03	0.040
Recipiente Mezclador	RD	RPM	03	0.037
Tolva alimentadora	RD	TOL	04	0.037
Bomba de desplazamiento positivo	RD	BOM	04	0.034

**9.6.5 Distribución normal.** Con los valores arrojados por el proceso de jerarquización AHP, se modela una distribución normal, con el fin de determinar los equipos críticos, moderadamente críticos y no críticos.

**Figura 29. Distribución normal equipos críticos.**



Media ( $\mu$ )	0.061
Desviacion Estandar	0.020

Los equipos que obtienen un puntaje de jerarquización hasta una desviación estándar arriba de la media ( $\mu$ ) son catalogados como no críticos, equipos con puntajes de jerarquización que se encuentran entre una y dos desviaciones estándar arriba de la media ( $\mu$ ), son catalogados como moderadamente críticos y los equipos con puntuaciones de jerarquización superiores a dos desviaciones estándar arriba de la media ( $\mu$ ) son catalogados como críticos.

**Tabla 18. Nivel de criticidad.**

<b>Nivel criticidad</b>	<b>Rango</b>
No Critico	0.02 — 0.08
Mediana Criticidad	0.08 — 0.10
Alta Criticidad	0.10 — 0.12

**Tabla 19. Equipos críticos en orden de relevancia.**

<b>EQUIPO</b>	<b>CODIGO</b>			<b>CRITICIDAD</b>
Decanter centrifugo FAST	RD	DCC	02	0.107
Molino Martillos	RD	MOL	01	0.102
Digestor (Cooker)	RD	COO	03	0.101
Secadora de tubos	RD	SEC	01	0.100
Bomba de desplazamiento positivo	RD	BOM	05	0.089
Decanter centrifugo GRAT	RD	DCC	01	0.088
Triturador hueso y vísceras	ZB	TRI	02	0.087
Prensa Expeler	RD	PRE	01	0.083
Empacadora de pulmão	RD	EMP	01	0.081
Enfriadora	RD	ENF	01	0.080
Triturador hueso y vísceras	CF	TRI	01	0.079
Elevador de Cangilones	RD	ELC	01	0.079
Molino	RD	MOL	02	0.077
Digestor (Cooker)	RD	COO	01	0.076
Digestor (Cooker)	RD	COO	02	0.076

Los resultados del análisis de criticidad de la planta de rendering del Frigorífico Vijagual S.A muestran cuatro equipos en la zona de alta criticidad, 11 equipos en la zona de mediana criticidad y 40 equipos en la zona de baja criticidad.

## **10. ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF) PARA LOS EQUIPOS DE ALTA CRITICIDAD**

AMEF es una herramienta usada como método para identificar la severidad de potenciales fallas funcionales, causas y efectos que produce la falla de un elemento en su contexto operativo, ofrece entradas para medidas de mitigación y reducción de riesgos, también incluye una estimación del nivel de importancia de cada modo de falla a través del número prioritario de riesgo (NPR).

Uno de los factores más importantes para la implementación exitosa de un programa de AMEF es tiempo y oportunidad. Significa que es una acción “antes-del evento”, y no un ejercicio “después del hecho”. El AMEF debe hacerse antes de la implementación de un producto o proceso en el cual existe el potencial de modos de falla. Las acciones que resulten de un AMEF pueden reducir o eliminar la probabilidad de implementar un cambio que crearía incertidumbre en la organización.

Una máquina puede fallar por decenas de razones, un grupo de máquinas o sistema, como una línea de producción, puede fallar por cientos de razones. Por estas razones el análisis de modos y efectos de falla (AMEF) solo es aplicado a los equipos más críticos.

### **10.1 NUMERO DE RIESGO PRIORITARIO NPR**

Herramienta que permite jerarquizar los modos de falla de un sistema, evaluando cada uno de ellos con factores ponderados de severidad, ocurrencia y detección.

$$\text{NPR} = (\text{S}) * (\text{O}) * (\text{D})$$

Al aplicar el criterio NPR a cada modo de falla se pretende identificar cuáles de ellos generan mayor impacto en los parámetros normales de funcionamiento de un activo dentro de la planta.

El NPR cae en un rango del 1 a 730 y proporciona un indicador relativo para la evaluación de los modos de falla. Los modos de falla con altos NPR serán de prioridad, cuando se estén definiendo las acciones proactivas de mitigación.

A continuación, se definen y se ponderan los conceptos de severidad, ocurrencia y detección a fin de calcular el número prioritario de riesgo de cada modo de falla definido para los equipos críticos.

**10.1.1 Severidad (S):** Analizan los efectos potenciales de falla, representa la gravedad de la falla para el usuario o para una operación posterior, se evalúa en una escala del 1 a 9

**Tabla 20. Severidad (s).**

<b>EFEECTO</b>	<b>RANGO</b>	<b>CRITERIO</b>
<b>No</b>	<b>1</b>	Sin efecto
<b>Muy Poco</b>	<b>2</b>	Cliente no molesto, Poco efecto en el desempeño del articulo o sistema
<b>Poco</b>	<b>3</b>	Cliente molesto, Poco efecto en el desempeño del articulo o sistema
<b>Menor</b>	<b>4</b>	Efecto moderado en el desempeño del articulo o sistemas, cliente insatisfecho
<b>Significativo</b>	<b>5</b>	Desempeño de articulo se ve afectado, pero es operable y esta salvo, falla parcial, cliente inconforme
<b>Mayor</b>	<b>6</b>	Desempeño del articulo seriamente afectado, pero es funcional y esta a salvo, cliente insatisfecho
<b>Serio</b>	<b>7</b>	Articulo inoperable, pero a salvo
<b>Extremo</b>	<b>8</b>	Peligro potencial, capaz de discontinuar el uso del articulo. Se cumple con el reglamento del gobierno en materia de riesgo
<b>Peligroso</b>	<b>9</b>	Efecto peligroso, incumpliendo de las normas gubernamentales

Fuente: Notas de clase Ingeniero Carlos Borrás Pinilla

**10.1.2 OCURRENCIA (O).** Estima la probabilidad de ocurrencia de un modo de falla específico.

**Tabla 21. Ocurrencia (O).**

<b>EFEECTO</b>	<b>RANGO</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PROBABILIDAD</b>
Remota	1	Falla improbable. No existen fallas asociadas con este proceso o con un producto casi identico	1 en 500
Poca	2	Fallas aisladas asociadas con el proceso	1 en 150
Moderada	3	Fallas ocaciones	1 em 100
	4		1 en 80
	5		1 en 50
Alta	6	Este proceso a uno similar a fallado a menudo	1 en 30
	7		1 en 15
Muy alta	8	Falla es casi inevitable	1 en 6
	9		1 en 30

Fuente: Notas de clase Ingeniero Carlos Borrás Pinilla

**10.1.3 Detección (D).** Indican la probabilidad que el modo de falla sea detectado por el usuario antes que genere una falla funcional.

**Tabla 22. Detección (D).**

	RANGO	CRITERIO	Probabilidad de deteccion
Alta	1	La falla es una caracterisrica funcional obvia	99.99%
Mediana mente	5	Es muy problable detectar la falla. El defecto es una caracteristica obvia	99.50%
Baja	7	La falla es una caracteristica facilmente detectable	98%
Muy baja	9	No es facil detectar la falla por metodos usuales, pruebas manualoes o de los sentidos	90%

Fuente: Notas de clase Ingeniero Carlos Borrás Pinilla

Los modos de falla son clasificados según el número prioritario de riesgo (NPR) de acuerdo a la puntuación obtenida:

- Modos de falla prioritarios **NPR < 25**
- Modos de falla altamente prioritarios **26 < NPR < 70**
- Modos de falla críticamente prioritarios **NPR > 70**

## 10.2 CONTEXTO OPERACIONAL DECANTER CENTRÍFUGO

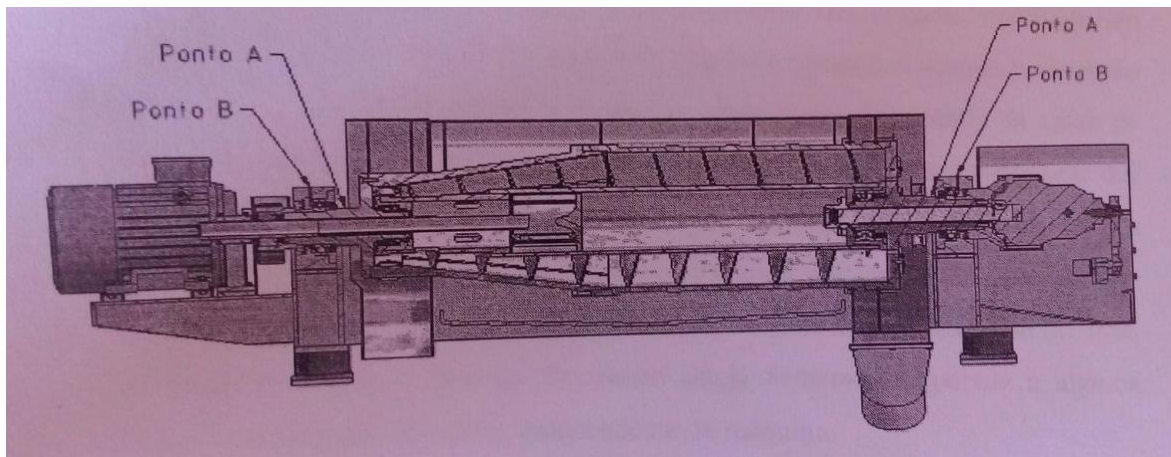
El Decanter Centrífugo separa dos fases de diferentes pesos específicos, principalmente en la clarificación de líquido que contiene sólidos en suspensión.

La separación sólido-líquido pasa en el interior de un tambor rodante con forma cilíndrico truncado-cónico.

La sangre coagulada y caliente entra en el decanter a razón de 2100 Kg/h, en la zona del rotor donde se unen la parte cónica y cilíndrica a través de un tubo alojado en el eje hueco del tornillo transportador. A la salida de este tubo, el líquido que gira en el rotor sufre una aceleración, hasta alcanzar la velocidad de 3630 rpm, lo que supone una fuerza centrífuga de 2650 veces mayor que la fuerza de la gravedad. Como consecuencia de esta gran fuerza centrífuga a la que se ve sometida la sangre coagulada, los corpúsculos sólidos se depositan en la pared del donde son arrastrados por el tornillo sin fin de forma constante hacia el final de la sección cónica del aparato, las partículas líquidas corren por las espiras de la rosca en dirección al extremo cilíndrico del tambor.


El decanter deshidratar 2100 Kg/h de plasma sanguíneo, a una humedad de 24%


**Figura 30. Decanter Centrífugo.**




Fuente: Manual de usuario Fast industrias

**Tabla 23. AMEF DECANTER CENTRIFUGO RD DCC 02.**

AMEF HOJA DE INFORMACION RCM				SISTEMA PLANTA RENDERING						
				SUBSISTEMA: DECANTER FAST						
Cod . F	Función	Cod. FF	Descripción falla funcional	Cod. MF	Modo Falla	Efectos Falla	S	O	D	NPR
1	Deshidratar plasma sanguíneo a una tasa 2100 kg/h a una humedad de 24%	A	Decanter no deshidrata	1	Alta vibración por exceso o ausencia de producto	Parada de la maquina afectando 100 % de la producción de harina de sangre	4	2	3	24
				2	Vibración por falla en rodamientos		5	3	2	30
1		B	Tambor bloqueado	1	Rodamientos principales trabados		6	3	5	90
				2	Incrustaciones entre la carcasa y el tambor		4	5	2	40
1		C	Conjunto tambor rosca bloqueado	1	Caudal de alimentación excesivo		3	2	5	30
				2	Baja velocidad diferencial entre tambor-rosca		4	3	4	48
				3	Fluido de alimentación muy viscoso		5	1	5	25
				4	Correas flojas		4	4	2	32
1		D	Maquina con vibraciones excesivas	1	Desgaste de los rodamientos del tambor y la rosca		4	4	5	80
				2	Desbalance en las partes rotativas		4	3	5	60
				3	perdida de elasticidad rotura de los aislantes de vibración		5	3	5	75
				4	Mala limpieza en el interior del rotor		4	4	3	48
	5			Mal montaje, piezas del rotor damnificadas	6	2	3	36		

AMEF HOJA DE INFORMACION RCM				SISTEMA PLANTA RENDERING						
				SUBSISTEMA: DECANTER FAST						
Cod. F	Función	Cod. FF	Descripción falla funcional	Cod. MF	Modo Falla	Efectos Falla	S	O	D	NPR
1	Deshidratar plasma sanguíneo a una tasa 2100 kg/h a una humedad de 24%	E	Ruido excesivo en las piezas de transmisión	1	Rodamientos desgastados	Se produce alta temperatura y mucho ruido en el sistema cuando el equipo está en funcionamiento, vibraciones, excesivo desgaste de piezas por fricción. También se observa una condición anormal en las características del aceite.	4	4	5	80
				2	Desgaste de engranajes y rodamientos del reductor de velocidad		6	4	4	96
				3	Residuos metálicos en el aceite lubricante		5	3	5	75
				4	Correas reventadas		6	4	2	48
				5	Poleas Seltas		4	3	2	24
				6	Poleas desalineadas		4	3	2	24
				7	Aceite usado incorrecto		5	2	3	30
				8	Aceite en uso deteriorado		5	3	3	45
				9	Bajo nivel de aceite		6	4	2	48
				10	Temperatura de aceite superior a 70 °c		6	6	2	72
				11	Holgura de rodamientos demasiado grande o pequeña		4	2	3	24
				12	sellos de rodamientos desajustados		6	3	3	54
				13	Dientes de engranejes partidos total o parcialmente		7	3	2	42

AMEF HOJA DE INFORMACION RCM				SISTEMA PLANTA RENDERING						
				SUBSISTEMA: DECANTER FAST						
Cod. F	Función	Cod. FF	Descripción falla funcional	Cod. MF	Modo Falla	Efectos Falla	S	O	D	NPR
1	Deshidratar plasma sanguíneo a una tasa 2100 kg/h a una humedad de 24%	E		14	Corrosion en dientes de engranajes		5	2	4	40
				15	Picadura en dientes de engranes		6	2	3	36
				16	Grietas en dientes de engranes		6	2	4	48
		F	Velocidad de rotor muy baja, o tiempo de partida muy demorado	1	Caída de tensión en la red	Mal funcionamiento del equipo, perdida de eficiencia, no decantación	3	2	4	24
				2	Voltaje nominal de la red inferior al del motor		4	2	5	40
				3	Daños en el motor		8	2	3	48
		G	Excesiva absorción de energía eléctrica por el motor principal	1	Suciedad o grudo parcial entre el tambor y la carcaza	sobrecarga en el motor, arranque brusco del equipo, fallan componentes del motor	4	5	3	60
				2	parámetros del inversor desprogramados		4	3	3	36

El análisis completo, de modos y efectos de falla (AMEF) aplicado a los equipos críticos puede ser observado en el **Anexo D**

## 11. PROCESO DE DECISIÓN RCM

Como se mencionó anteriormente para establecer las técnicas de mantenimiento adecuadas para prevenir o mitigar las consecuencias de cada modo de falla, se usa el diagrama de decisión RCM ver figura 18, en el cual para cada modo de falla y la consecuencia que tiene en la organización, se determina la técnica más adecuada y técnicamente factible de mitigación de consecuencias (A condición, reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica o combinación de tareas).

### 11.1 HOJA DE DECISIÓN

El análisis de las consecuencias de cada modo de fallas es el siguiente paso para el estudio de la filosofía RCM, dependiendo de su gravedad, se justifica si es necesario realizarle una tarea de mantenimiento proactivo.

La hoja de decisión permite asentar las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisión.

En el **Anexo E** se encuentran las hojas de decisión para cada uno de los equipos críticos

**Tabla 24. Ejemplo hoja de decisión.**

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA PLANTA RENDERING										Cod.	Elaborado por <b>DIEGO GUZMAN</b>	Hoja N°				
			SUBSISTEMA										Cod.	Fecha					
			Molino Martillos RD-MOL-01											10/07/2017					
INFORMACION DE REFERENCIA			MODO DE FALLA				EVALUACION CONSECUCIAS				H1 H2 H3 S1 S2 S3 O1 O2 O3			Accion a falta de			Tipo Actividad	Tarea Propuesta	Intervalo inicial
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4							
1	A	1													Reacondicionamiento	inspección, verificación, balanceo y rectificación de martillos	3 Meses		
1	A	2													Reacondicionamiento	Rectificacion por soldadura	Anual		
1	B	1													Sustitucion Ciclica	Cambio de martillos	3 años		
1	B	2													A Condición	Inspección visual y Ajuste de pernos de sujecion	Mensual		
1	B	3													A Condición	Inspección visual del material	Diario		

- Las columnas **F**, **FF** y **FM** identifican el modo de falla que se analiza en esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias de las Hojas de Información del análisis AMEF y las hojas de decisión.
- Las columnas tituladas **H**, **S**, **E**, **O**, y **N** son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla
- Las tres columnas siguientes (tituladas H1, H2, H3, etc.) registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, qué tipo de tarea
- Si se hace necesario responder cualquiera de las preguntas "a falta de", las columnas encabezadas con H4 y H5, o la S4 son las que permiten registrar esas respuestas

Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada, si la hay y la frecuencia con la que debe hacerse, la columna Tarea Propuesta también se utiliza

para registrar los casos en los que se requiere rediseño, o si se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

## 11.2 EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS

Las preguntas H, S, E, y O en la Figura 18. Se hacen para cada modo de falla, y las respectivas respuestas son registradas en la hoja de decisión teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- cada modo de falla es ubicado en solo una categoría de consecuencias. Entonces, si es clasificado como que tiene consecuencias ambientales, no evaluamos también sus consecuencias operacionales
- una vez que las consecuencias del modo de falla han sido categorizadas. Se buscar una tarea proactiva adecuada

**Tabla 25. Evaluación de consecuencias.**

INFORMACION DE REFERENCIA			MODO DE FALLA	EVALUACION CONSECUENCIAS				
F	FF	MF		H	S	E	O	
1	A	1	Distribución inadecuada de martillos	NO				← Falla Oculta
1	A	2	Desgaste no uniforme de martillos	SI	SI			← Consecuencias para la seguridad
1	B	1	Perdida de filos en los martillos	SI	NO	SI		← Consecuencias ambientales
1	B	2	Desgaste en pasadores	SI	NO	NO	SI	← Consecuencias Operacionales
1	B	3	Falla en martillos por elementos extraños	SI	NO	NO	NO	← Consecuencias No operacionales

**Tabla 26. Criterios de factibilidad técnica.**

H1	H2	H3
S1	S2	S3
O1	O2	O3
N1	N2	N3
NO	SI	
NO	SI	
NO	NO	SI

← ¿ Es técnicamente factible realizar una tarea para detectar si esta ocurriendo una falla o esta a punto de ocurrir ?

← ¿Es técnicamente factible realizar una tarea de reacondicionamiento cíclico para reducir la frecuencia de falla ?

← ¿Es técnicamente factible realizar una tarea de sustitución cíclica para reducir la frecuencia de falla ?

**Tabla 27. Hoja de decisión Decanter Centrifugo.**

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA PLANTA RENDERING											Cod.	Elaborado por <b>DIEGO GUZMAN</b>	Hoja N°			
			SUBSISTEMA: DECANTER CENTRIFUGO											Cod.	Fecha 10/07/2017				
INFORMACION DE REFERENCIA			MODO DE FALLA	EVALUACION CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	Accion a falta de			Tipo Actividad	Tarea Propuesta	Intervalo inicial			
F	FF	MF		H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3				H4	H5	S4
1	A	1	Alta vibración por exceso o ausencia de producto	SI	NO	NO	SI	NO	SI								Reacondicionamiento	Ajuste de los parametro de operación de la bomba que entrega el producto	1 Mes
1	A	2	Vibración por falla en rodamientos	SI	NO	NO	SI	SI									A Condición	Inspección visual y medición por ensayo no destructivo (tintas, ultrasonido, partículas magnéticas,	8 Meses
1	B	1	Rodamientos principales trabados	SI	NO	NO	SI	NO	SI								Combinacion de tareas	Inspección visual, medición por ensayo no destructivo y cambio de rodamiento de ser necesario	8 Meses
1	B	2	Incrustaciones entre la carcasa y el tambor	SI	NO	NO	SI	SI									A Condición	limpieza del tambor y rosca despues de terminada la operación	Diario
1	C	1	Caudal de alimentación excesivo	SI	NO	NO	SI	NO	SI								Reacondicionamiento	Ajuste de los parametro de operación de la bomba que entrega el producto	Diario
1	C	2	Baja velocidad diferencial entre tambor-rosca	SI	NO	NO	SI	NO	SI								Reacondicionamiento	Inspección y ajuste de parámetros en display de operación	Diario
1	C	3	Fluido de alimentación muy viscoso	NO				NO	NO	NO					NO		Sin tarea progrmada		
1	C	4	Correas flojas	SI	NO	NO	SI	NO	SI								Reacondicionamiento	Inspección visual, alineación y/o sustitución de correa.	Semanal
1	D	1	Desgaste de los rodamientos del tambor y la rosca	NO				SI									A Condición	Inspección por termografía y medición de vibraciones en el motor.	8 Meses

HOJA DE DECISION RCM				SISTEMA PLANTA RENDERING									Cod.	Elaborado por <b>DIEGO GUZMAN</b>		Hoja N°
				SUBSISTEMA DECANTER CENTRIFUGO									Cod.	Fecha 10/07/2017		
INFORMACION DE REFERENCIA			MODO DE FALLA	EVALUACION CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	Accion a falta de			Tipo Actividad	Tarea Propuesta	Intervalo inicial
F	FF	MF		H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	D	2	Desbalance en las partes rotativas	NO				NO	SI					Reacondicionamiento	Inspección de parámetros y solicitud de balanceo de contrapesas.	1 Mes
1	D	3	perdida de elasticidad rotura de los aislantes de vibración	NO				SI						A Condición	Inspección visual y toma de muestra de aceite para estudio	8 Meses
1	D	4	Mala limpieza en el interior del rotor	SI	NO	NO	SI	NO	SI					Reacondicionamiento	limpieza del tambor y rosca despues de terminada la operación	Diario
1	D	5	Mal montaje, piezas del rotor damnificadas	NO				NO	SI					Reacondicionamiento	alineación y apriete de tornillería de los soportes del rotor.	1 Mes
1	E	1	Rodamientos desgastados	NO				NO	NO	NO			SI	Combinacion de tareas	Inspección visual y cambio de rodamientos si es necesario	4 Meses
1	E	2	Desgaste de engranajes y rodamientos del reductor de velocidad	SI	NO	NO	SI	SI						A Condición	Inspección por termografía y medición de vibraciones en el motor.	4 Meses
1	E	3	Residuos metálicos en el aceite lubricante	NO				SI						A Condición	Inspección visual y toma de muestra de aceite para estudio	4 Meses
1	E	4	Correas reventadas	SI	NO	NO	SI	NO	SI					Reacondicionamiento	Inspección visual, sustitución y alineación de correa.	1 Mes
1	E	5	Poleas Seltas	SI	NO	NO	SI	SI						A Condición	Inspección visual y ajuste de tornillería de polea del motor	1 Mes

HOJA DE DECISION RCM			SISTEMA PLANTA RENDERING										Cod.	Elaborado por <b>DIEGO GUZMAN</b>	Hoja N°							
			SUBSISTEMA										Cod.	Fecha 10/07/2017								
INFORMACION DE REFERENCIA			MODO DE FALLA	EVALUACION CONSECUENCIAS				H1			H2			H3			Accion a falta de			Tipo Actividad	Tarea Propuesta	Intervalo inicial
								S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5	S4						
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3													
1	E	6	Poleas desalineadas	SI	NO	NO	SI	NO	SI									Reacondicion amiento	Inspección visual, alineación y ajuste de tornillería de polea del motor.	1 Mes		
1	E	7	Aceite usado incorrecto	NO				NO	NO	NO	NC	NC	NO					Sin tarea progrmada				
1	E	8	Aceite en uso deteriorado	NO				SI										A Condición	Inspección visual y toma de muestra de aceite para estudio	Semanal		
1	E	9	Bajo nivel de aceite	SI	NO	NO	SI	NO	SI									Reacondicion amiento	Inspección visual y completar al nivel de aceite recomendado por el fabricante.	Semanal		
1	E	10	Temperatura de aceite superior a 70 °c	NO				SI										A Condición	Inspección visual y medición de temperatura del aceite.	Semanal		
1	E	11	Holgura de rodamientos demasiado grande o pequeña	NO				SI										A Condición	Verificacion de vibraciones en caja reductora.	4 Meses		
1	E	13	Dientes de engranajes partidos total o parcialmente	NO				SI										A Condición	Inspección visual y medición de vibraciones en caja reductora.	4 Meses		
1	E	14	Corrosion en dientes de engranajes	NO				SI										A Condición	Inspección visual y medición de vibraciones en caja reductora.	4 Meses		
1	E	15	Picadura en dientes de engranes	NO				SI										A Condición	Inspección visual y medición de vibraciones en caja reductora.	4 Meses		

HOJA DE DECISION RCM				SISTEMA PLANTA RENDERING				Cod.		Elaborado por DIEGO GUZMAN		Hoja N°							
				SUBSISTEMA				Cod.		Fecha 10/07/2017									
INFORMACION DE REFERENCIA			MODO DE FALLA		EVALUACION CONSECUENCIAS				Accion a falta de			Tipo Actividad	Tarea Propuesta		Intervalo inicial				
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	S1	S2					S3	H4	H5	S4
1	E	16	Grietas en dientes de engranes	NO				SI									A Condición	Inspección visual y medición por ensayo no destructivo (tintas, ultrasonido, partículas magnéticas,	12 Meses
1	F	1	Caída de tensión en la red eléctrica	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI						Sin tarea programada		
1	F	3	Daños en el motor	SI	NO	NO	SI	SI									A Condición	Inspección de bobinas con pinza volti-amperimétrica y megóhmetro.	4 Meses
1	G	1	Suciedad o grudo parcial entre el tambor y la carcasa	SI	NO	NO	SI	SI									A Condición	Inspección visual y limpieza del tambor y carcasa	Diario
1	G	2	parámetros del inversor desprogramados	NO				NO	SI								Reacondicionamiento	Verificación de parámetros y reacondicionamiento de lógica específica.	Semanal

## 12. ESTRATEGIA GESTION DEL MANTENIMINETO

La aplicación correcta de la filosofía RCM concluye completando las hojas de decisión. Estas detallan una cantidad determinada de tareas rutinarias que requieren ser hechas a intervalos regulares para asegurar que el activo continúe haciendo aquello por lo que la organización decidió adquirirlo.

En todo proceso RCM se definen indicadores de resultados, con los cuales se pretende medir la eficiencia de la metodología implementada, en reuniones con el equipo de trabajo se definieron como indicadores de resultado: Confiabilidad, Disponibilidad y mantenimiento correctivo.

**Tabla 28. Indicadores de resultados.**

INDICADOR DE RESULTADO	META
Confiabilidad	96%
Disponibilidad	96%
Mantenimiento Correctivo	10%

Se tomó como indicador principal la confiabilidad, debido a que según la experiencia de los equipos de mantenimiento y producción es el de mayor impacto al retorno de la inversión de la compañía.

**Tabla 29. Planeación de mantenimiento.**

PLANEACION DE MANTENIMIENTO PLANTA RENDERING	
<b>MISION</b>	El departamento de mantenimiento del frigorífico Vijagual llevara a cabo el mantenimiento en la planta Rendering siguiendo la metodología RCM
<b>OBJETIVO</b>	En un periodo de 1 año tener una confiabilidad de 96% en la planta Rendering
<b>INDICADORES DE MANTENIMIENTO</b>	Medición de la confiabilidad mensual de la planta rendering posterior a la implementación del plan de mantenimiento propuesto
	Medición de la disponibilidad mensual de la planta posterior a la implementación del plan de mantenimiento propuesto
	Medición del mantenimiento correctivo mensual en la planta Rendering posterior a la implementación del plan de mantenimiento propuesto

## 12.1 MANTENIMIENTO A CONDICION

Es una metodología o técnica de mantenimiento, también conocida como “Mantenimiento Predictivo”, que se realiza con base en las condiciones o parámetros de los equipos, en los que se establecen algunos límites o ventanas operacionales y se verifica el comportamiento de dichos parámetros o límites establecidos, es muy importante dentro de la gestión de mantenimiento puesto que predice los modos de falla antes que ocurran y se evita realizar tanto Mantenimiento Preventivo innecesario que demandaría recursos tiempo, dinero, personal y de la organización.

Son usados ensayos de carácter no destructivo orientados a realizar seguimiento del funcionamiento de los activos para detectar signos de advertencia que indiquen si alguno de sus componentes o sistemas no estén trabajando de la manera correcta.

A continuación se especifican las pruebas realizadas en la planta rendering del Frigorífico Vijagual S.A

**12.1.1 Medición de vibraciones.** El análisis de vibraciones se propone que se realice a los motores y las cajas reductoras con una frecuencia de 12 meses o antes si se presenta algún indicio de falla y la operación lo amerita.

En el análisis de la vibración se deben considerar la aceleración, la velocidad y envolvente para determinar con exactitud los niveles permisibles de operación para este tipo de máquinas.

Con la norma ISO 2373 se evalúa la severidad de la vibración, aplicada a motores eléctricos de corriente alterna trifásica y a motores de corriente continua con alturas de eje (distancia vertical entre la base del motor y la línea central el eje) entre 80 y 400 mm. La tabla 30 establece los límites de severidad de las vibraciones.

**Tabla 30. Severidad vibraciones.**

Grado DE CALIDAD	Regimen de servicio	Valor maximo de velocidad de vibracion RMS para ejes de altura H mm		
	Rpm	80<H< 132	132<H<225	225<H<400
		mm/s	mm/s	mm/s
Normal	600 a 3600	1.8	2.8	4.5
Reducido	600 a1800	0.71	1.12	1.8
	1800 a 3600	1.12	1.8	2.8
Especial	600 a 1800	0.45	0.71	1.12
	1800 a 3600	0.71	1.12	1.8


**12.1.4 Análisis de aceite.** Se plantea realizar un muestreo de aceite de la caja reductora de la unidad de bombeo mecánico cada 8 meses o antes si por su estado o condición se requiere. Estas muestras son enviadas al laboratorio de aceites, de

acuerdo con el informe de resultados se procede a programar el cambio de aceite o se toman acciones proactivas si existe una alerta de falla en progreso.

## **12.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

La ejecución del Mantenimiento Preventivo se realiza bajo listas de chequeo, para los sistemas de los activos críticos, el técnico ejecutará estas actividades de manera sistemática y de acuerdo a su especialidad: mecánica o electricidad, en el **Anexo F** se aprecian las listas de chequeo para los equipos críticos

Tabla 31. Lista de chequeo.

			
<b>LISTA DE CHEQUEO DIGESTOR PLANTA RENDERING FRIGORIFICO VIJAGUAL S.A</b>			
FECHA DE CHEQUEO	DD	MM	AA
<b>Cuerpo Digestor</b>	<b>CHEQUEO</b>		<b>OBSERVACIONES</b>
Se evidencian fugas en los sellos del digestor	SI	NO	
Se evidencian fugas en las valvulas de vapor	SI	NO	
lecturas defectuosas en los sensores	SI	NO	
<b>Caja Reductora</b>	SI	NO	
Nivel de aceite adecuado	SI	NO	
Tapas o sellos de rodamientos desajustados	SI	NO	
Ruidos interno caja reductora	SI	NO	
Corrosion en dientes de engranajes	SI	NO	
Aceite en uso deteriorado	SI	NO	
Presencia de fuga por lo sellos	SI	NO	
<b>Transmision de potencia</b>	SI	NO	
Correas distencionadas	SI	NO	
Poleas desalineadas	SI	NO	
Poleas sueltas	SI	NO	
Correas reventadas	SI	NO	
<b>Motor</b>	SI	NO	
Motor correctamente instalado	SI	NO	
Soportes de motor instalados	SI	NO	
Rotor bloqueado	SI	NO	
Carcasa del motor suelta	SI	NO	
Vibracion anormal del motor	SI	NO	
Acople del motor deficiente	SI	NO	
Motor desbalanceado	SI	NO	
Tornillos de fijacion sueltos	SI	NO	
Eje de motor torcido o deformado	SI	NO	
_____ Firma Tecnico De Mantenimiento			

## **13. ANÁLISIS DE COSTOS**

En las organizaciones con el fin de disminuir los costos por tiempos de reparación, se crea un inventario con repuestos para los equipos más significativos en términos productivos, sin embargo, mantener todos los elementos de una maquina en inventarios resulta muy costoso, incluso más que las pérdidas de producción generadas por una falla.

Para determinar las cantidades óptimas de elementos mantenibles en inventario se realiza un análisis de costos a cada uno de los equipos críticos de la planta rendering, teniendo en cuenta la siguiente clasificación:

- Costos que tienen relación directa con las operaciones de mantenimiento (mano de obra, materiales repuestos, subcontratación y almacenamiento )
- Costos por pérdidas de producción a causa de fallas, pérdidas por fallas en la calidad del producto y mal funcionamiento de los equipos.

### **13.1 ELEMENTOS MANTENIBLES**

A continuación se presentan tabulados los elementos mantenibles más relevantes de cada uno de los equipos críticos de la planta rendering

**Tabla 32. Elementos mantenibles Digestor.**

ITEM	CANTIDAD	CODIGO	PIEZA
1	6	1.004.128.0005	CORREAS
2	1	2.054.544.1710	POLEA CONDUCTORA
3	1	1.005.140.1624	POLEA CONDUcida
4	1	2.054.544.3729	REDUCTOR
5	1	1.005.140.0576	MOTOR
6	2	1.004.117.0336	RODAMIENTO
7	3	1.005.141.0400	VALVULA CUCHILLA
8	1	2.054.544.3725	SEPARADOR DE CONDENSADO
9	2	1.004.117.1882	VALVULA DE COMPUERTA
10	1	2.054.544.3728	FILTRO DE VAPOR
11	1	1.005.141.3257	VALVULA REGULADORA
12	1	1.004.117.1878	PURGADOR DE BOLA
13	2	1.005.141.3816	SELLOS CORAZA

**Tabla 33. Elementos mantenibles Molino de martillos.**

ITEM	CANTIDAD	CODIGO	PIEZA
1	2	06.101.00182	CHAPA DE DESGASTE
2	6	06.101.00005	AMORTIGUADOR
3	2	06.101.00053	CRIBA
4	5.2 m	01.040.0011	CADENAS
5	1	01.040.0015	PLACA MAGNETICA
6	1		MOTOR
7	1	01.040.0038	ACOPLAMIENTO
8	2	01.040.0094	MANCAL
9	2	01.040.00178	RODAMIENTO
10	2	01.040.0034	ANILLO DE BLOQUEO
11	2	01.040.00137	RETENEDOR
12	2	01.040.0027	BUJE
13	48	06.101.0040	MARTILLO
14	4	06.101.0030	SEPARADOR DISCO/MARTILLO
15	8	06.101.0032	SEPARADOR MARTILLO/LATERAL
16	12	06.101.0023	SEPARADOR MARTILLO/DISCO
17	28	06.101.0025	SEPARADOR MARTILLO
18	15	06.101.0033	EJE DE MARTILLOS
19	2	06.101.0011	ANILLO DE FIJACION

**Tabla 34. Elementos mantenibles Secador de tubos**

ITEM	CANTIDAD	CODIGO	PIEZA
1	1	2.054.544.1682	MOTOREDUCTOR
2	1	2.054.544.3719	VALVULA ROTATIVA
3	1	1.004.128.0003	VALVULA REDUCTORA DE PRESION
4	2	2.054.544.1722	RODAMIENTOS
5	5.2 m	1.004.128.4243	CADENA
6	2	2.054.544.3748	SELLOS

**Tabla 35. Elementos mantenibles Decanter Centrifugo.**

ITEM	CANTIDAD	CODIGO	ELEMENTO
1	1	1.003.090.2234	MOTOR
2	6	2.054.544.4134	ARANDELA CHAPA ESTICADOR DO MC
3	3	1.006.143.3766	CORREA
4	1	2.054.544.3759	SOPORTE DE POLEAS DO MOTOR
5	1	2.054.544.3745	POLEA DO MOTOR REDUTOR
6	1	2.054.544.3742	POLEA DO MOTOR TAMBOR
7	1	2.054.544.3719	PROTECCION DE CAJA REDUCTORA
8	1	2.054.544.3721	PROTECCION DE TAMBOR
9	1	2.054.544.3755	SEPARADOR DE RODAMIENTO
10	1	2.054.544.3756	DISCO DE FIJACION
11	1	2.054.544.3752	DISCO DE RETENÇÃO DO MANCAL
12	1	2.054.544.3757	RODAMIENTO LADO LÍQUIDO
13	2	1.005.141.3813	ROLAMENTO
14	2	2.054.544.3751	DISCO EXPULSOR DE RODAMIENTO
15	1	2.054.544.3758	MANCAL DO SÓLIDO
16	1	2.054.544.3753	DISCO DE RETENÇÃO
17	1	2.054.544.3750	TAPA ENTRADA DEL RODAMIENTO
18	1	2.054.544.1722	ANILLO SOPORTE DE PUENTES
19	2	2.054.544.3736	RASPADOR DE LODO
20	2		COROA 3ª REDUÇÃO

En el **Anexo H**. se pueden observar las tablas de costos de cada uno de los equipos críticos, analizando si se mantienen existencias, o no, en inventario de componentes mantenibles para los equipos críticos.

## 13.2 CLASIFICACIÓN ABC

La clasificación ABC permite identificar el rango óptimo de componentes que por mantenimiento se deben tener en inventario, para la optimización de costos.

Como muestra la Tabla 36. La clasificación ABC inicia ordenando los costos de mantenimiento preventivo de menor a mayor en la columna uno, la columna dos representa el porcentaje acumulado de la cantidad monetaria usada acumulada para mantenimiento preventivo, la columna tres representa el costo de tener cierto porcentaje de elementos en mantenimiento preventivo.

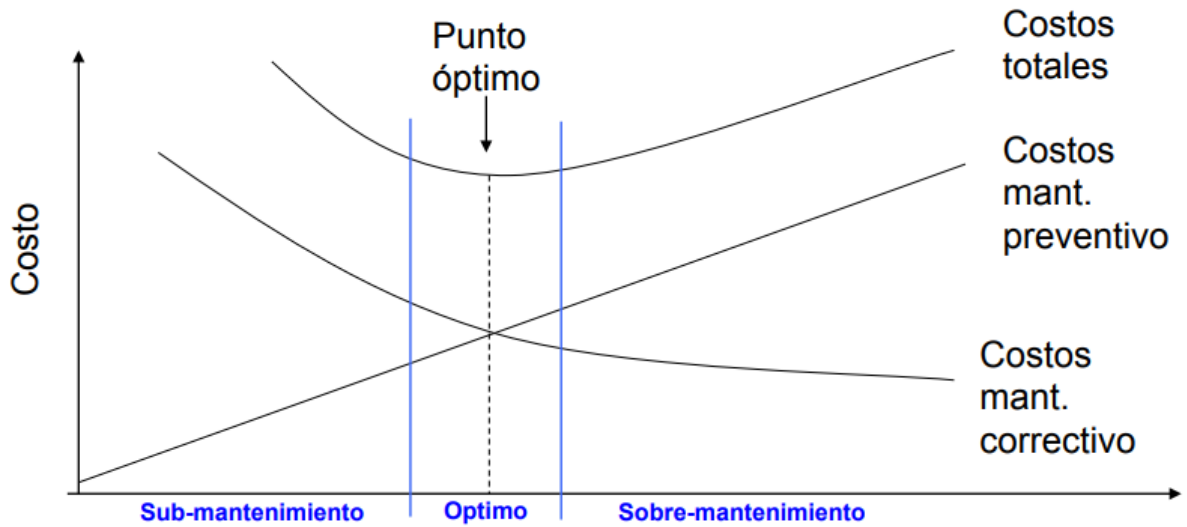
**Tabla 36. Clasificación ABC Digestor.**

preventivo	%_prev	Prev_modif	Suma	Corre_Modif	%_corre	Correctivo
0	0.00	0	18928624.13	18928624.13	100.00	228750
97178.75	7.7	97178.75	18797052.88	18699874.13	92.3	7261565.625
109188.75	15.4	206367.5	11644676	11438308.5	84.6	4570625
193406.25	23.1	399773.75	7267457.25	6867683.5	76.9	2979500
243187.5	30.8	642961.25	4531144.75	3888183.5	69.2	978375
249314.375	38.5	892275.625	3802084.125	2909808.5	61.5	945250
315887.5	46.2	1208163.125	3172721.625	1964558.5	53.8	729875
389840	53.8	1598003.125	2832686.625	1234683.5	46.2	339772
875106.25	61.5	2473109.375	3368020.875	894911.5	38.5	266750
1148262.5	69.2	3621371.875	4249533.375	628161.5	30.8	227162.5
1201481.25	76.9	4822853.125	5223852.125	400999	23.1	179475
3702100	84.6	8524953.125	8746477.125	221524	15.4	118401
5690218.75	92.3	14215171.88	14318294.88	103123	7.7	103123
9046236.094	100.0	23261407.97	23261407.97	0	0.0	0

La clasificación ABC para los equipos críticos se puede observar en el **Anexo I**

La tabla de clasificación ABC, no permite identificar el rango óptimo de componentes que por mantenimiento preventivo, se deben tener en inventario, a partir de la tabla de clasificación ABC se genera una gráfica para determinar dicho punto

**Figura 31. Optimización de costos de mantenimiento.**

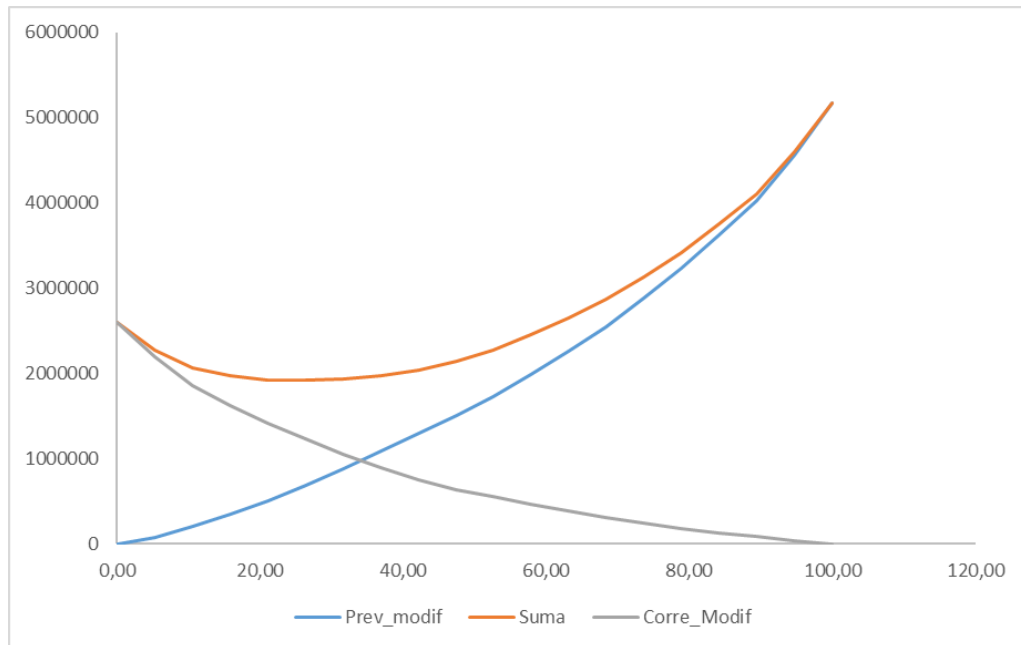


Fuente: Notas de clase Ingeniero Alberto Pertuz, 2017

**Tabla 37. Costos totales para elementos mantenibles.**

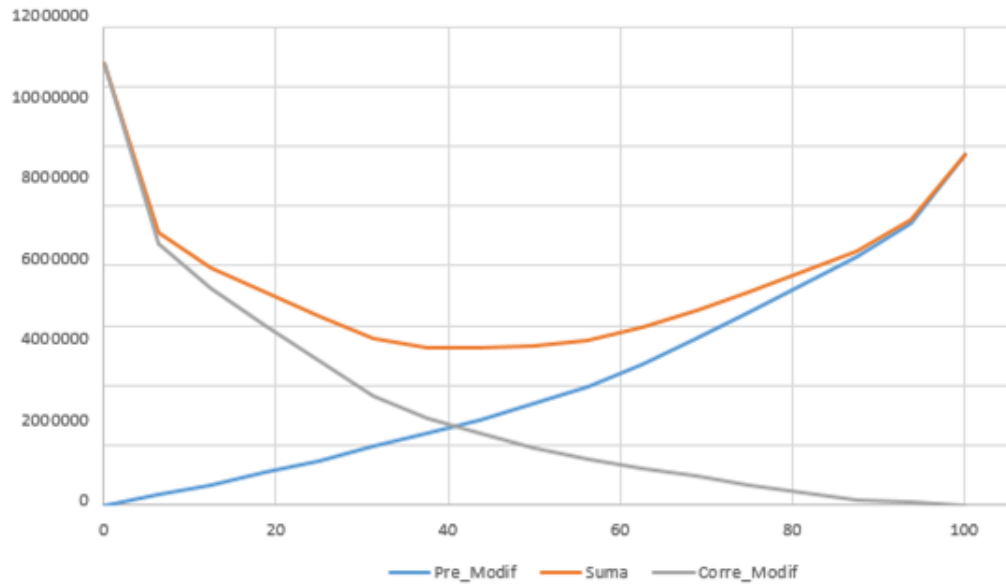
EQUIPO	COSTO CORRECTIVO	COSTO PREVENTIVO
MOLINO DE MARTILLOS	2599879	5177881.56
DECANTER CENTRIFUGO	10317823	11571711.9
DIGESTOR	18928624.13	23261407.97
SECADOR	12450197	14140761.88

**Figura 32. Costos Molino de martillos.**



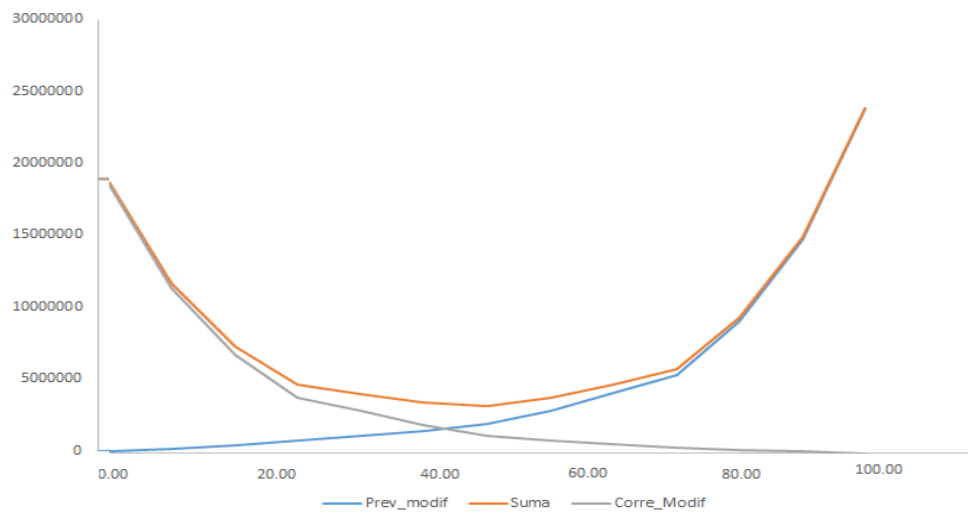
La figura 32. Costos molino de martillos, muestra el punto óptimo de componentes mantenibles que se deben tener en inventario es el 36% de los elementos analizados, es decir en inventario deben estar los 6 componentes más importantes para este equipo.

**Figura 33. Costos Decanter centrífugo.**



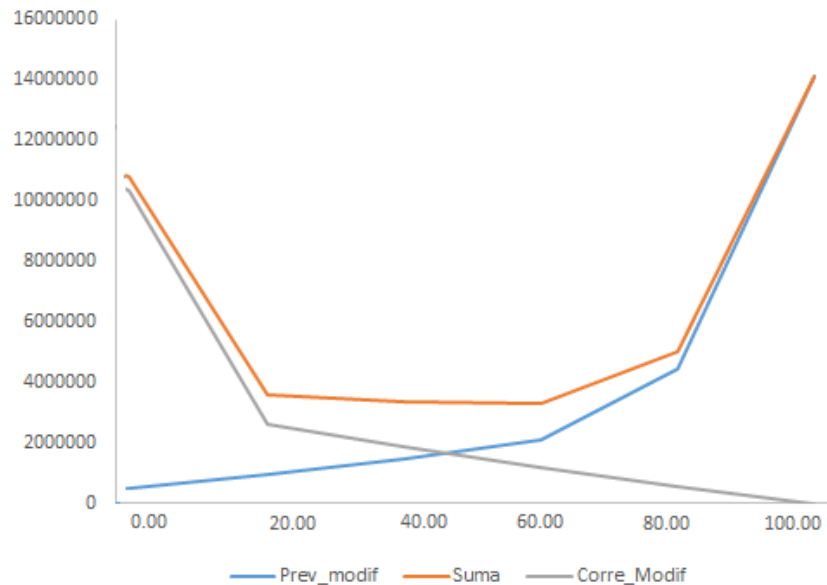
La figura 33. Costos Decanter centrífugo, muestra el punto óptimo de componentes mantenibles que se deben tener en inventario es el 42.3% de los elementos analizados, es decir en inventario deben estar los 8 componentes más importantes para este equipo.

**Figura 34. Costos Digestor.**



La figura 34. Costos Digestor, muestra el punto óptimo de componentes mantenibles que se deben tener en inventario es el 39.7% de los elementos analizados, es decir en inventario deben estar los 5 componentes más importantes para este equipo.

**Figura 35. Costos secador de tubos.**



La figura 35. Costos Secador de tubos, muestra el punto óptimo de componentes mantenibles que se deben tener en inventario es el 41.7% de los elementos analizados, es decir en inventario deben estar los 3 componentes más importantes para este equipo.

### 13.3 COMPONENTES EN INVENTARIO

Con la clasificación ABC realizada a cada uno de los equipos críticos, se determinó la cantidad de componentes mantenibles que deben existir en inventarios, sin embargo la clasificación ABC no muestra cuáles de ellos.

Para determinar que componentes de cada equipo se deben en inventario, se realiza un análisis de criticidad a cada equipo, para determinar los componentes más importantes para este.

Para determinar la criticidad de los componentes se realiza un análisis con factores ponderados.

**Tabla 38. Factores ponderados.**

FACTORES PONDERADOS		
IMPACTO OPERACIONAL	PERDIDAS DE PRODUCCION 1-30 %	2
	PERDIDAS DE PRODUCCION 30-65 %	6
	PERDIDAS DE PRODUCCION 65-100 %	10
COSTO DE MATENIMIENTO	COSTO ENTRE 0-100.000	2
	COSTO ENTRE 100.000-500.000	4
	COSTO ENTRE 500.000-1.500.000	6
	COSTO MAYORES A 1.500.000	8
MANTENIBILIDAD	TIEMPO REPARACION 1-2 HORAS	1
	TIEMPO REPARACION 2-4 HORAS	4
	TIEMPO REPARACION 4-8 HORAS	8
	TIEMPO REPARACION MAS DE 8 HORAS	10
PROBABILIDAD DE FALLA	REMOTA	2
	BAJA	4
	MODERADA	6
	ALTA	8

Fuente: Notas de clase del Ingeniero Carlos Borrás Pinilla.

El **Anexo J**. Presenta el análisis de criticidad que se hizo a cada uno de los componentes mantenibles de los equipos críticos de la planta rendering.

Con los valores de criticidad obtenidos se procede a identificar los componentes mantenibles que se deben tener en inventario.

**Tabla 39. Elementos mantenibles para inventario.**

EQUIPO	ITEM	CANTIDAD	CODIGO	ELEMENTO
<b>MOLINO DE MARTILLOS</b>	7	1	01.040.0038	ACOPLAMIENTO
	8	2	01.040.0094	MANCAL
	1	2	06.101.00182	CHAPA DE DESGASTE
	4	5.2 m	01.040.0011	CADENAS
	9	2	01.040.00178	RODAMIENTO
	18	5	06.101.0033	EJE DE MARTILLOS
<b>DECANTER CENTRIFUGO</b>	15	1	2.054.544.3758	MANCAL LADO SÓLIDO
	3	3	1.006.143.3766	CORREA
	12	1	2.054.544.3757	RODAMIENTO LADO LÍQUIDO
	13	2	1.005.141.3813	RODAMIENTO
	20	2		CORONA 3ª REDUCCION
<b>DIGESTOR</b>	13	2	1.005.141.3816	SELLOS CORAZA
	6	2	1.004.117.0336	RODAMIENTO
	1	6	1.004.128.0005	CORREAS
	11	1	1.005.141.3257	VALVULA REGULADORA
<b>SECADOR DE TUBOS</b>	2	1	2.054.544.3719	VALVULA ROTATIVA
	4	2	2.054.544.1722	RODAMIENTOS
	3	1	1.004.128.0003	VALVULA REDUCTORA DE PRESION

## 14. CONCLUSIONES

- Se desarrolló una auditoría interna al departamento de mantenimiento, que muestra de forma general las buenas prácticas y los aspectos a mejorar en el desarrollo de la planeación, gestión y ejecución del mantenimiento. La auditoría fue el punto de partida para el desarrollo del proyecto
- Se realizó el inventario y codificación a los equipos de la planta rendering, teniendo como referencia la sección de la organización en la que se encuentran, tipo de equipo, y cantidad de equipos similares, para la posterior alimentación del software Geminus Business Management adquirido por la organización. Dando como resultado un mayor control en el orden, identificación, agrupación y registro de fallas
- Se realizó un análisis de criticidad aplicando el modelo de jerarquización AHP, usando criterios de ponderación (Impacto en producción, costos de mantenimiento, impacto en seguridad, mantenibilidad, impacto ambiental). Con el fin de direccionar los esfuerzos y recursos a los equipos más significativos de la planta rendering del Frigorífico Vijagual S.A
- Se aplicó la filosofía RCM a los equipos críticos de la planta rendering, desarrollando, análisis de modos y efectos de falla (AMEF) y hojas de decisión siguiendo las normas SAE J 1739, apoyado en el manual Offshore Reliability-Data Handbook (OREDA 2002) y el libro Mantenimiento Centrado en confiabilidad de John Moubray.
- Se establece conjuntamente con el personal de Mantenimiento del Frigorífico Vijagual S.A las estrategias necesarias para: mitigar las consecuencias de los

modos de falla, mejorar los indicadores de resultados (Confiabilidad, Disponibilidad y mantenimiento correctivo) y cumplir con las metas de la implementación de la filosofía RCM.

- Se realizó un análisis de costos, en el cual se definió la cantidad de componentes mantenibles, para cada uno de los equipos críticos que deben existir en el inventario, con el fin de reducir costos en tiempos de transporté y mantenimiento
- Se realizó una capacitación al ingeniero y coordinador encargados de la planeación del mantenimiento, con el fin de familiarizarlos en la filosofía RCM, explicando la importancia del cumplimiento de las actividades propuestas en el proyecto

## BIBLIOGRAFIA

AMOROCHO GUALDRON, Nancy. ARDILA ALVAREZ Jorge. Modelo gerencial de mantenimiento (rcm) para la planta de producción de grapas y puntillas el caballo. Bucaramanga, 2012. Trabajo de grado como requisito para optar al título de Especialista en gerencia de mantenimiento. Universidad Industrial De Santander. Facultad de ingenierías Fisico-Mecanicas

ANSI Chrysler llc; ford motor company y general motors corporation. Análisis de modos y efectos de fallas potenciales. 4 ed.[S.I], ,2001.110 P.

BELTRAN FERNADEZ, Catalina. PERDONO ROBAYO, William. Aprovechamiento de la sangre de bovino para la obtencion de harina de sangre y plasma sanguineo en el matadero santa cruz de malambo atlantico. Bogotá, 2007, 193 P. Trabajo de grado para optar al título de Ingenieros De Alimentos. Universidad De La Salle. Facultada de ingeniería de alimentos

GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco Javier, Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión, Madrid España, 2004. P. 101-203.

GUERRERO BOLAÑOS, Alejandro, Técnicas de jerarquización de activos industriales aplicadas a la industria minera. Sevilla, 2013, 130 P. Universidad de Sevilla

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION, Petroleum, petrochemical and gas industries; Collection and Exchange of Realiability and Maintance data for Equipment. [SI], ISO, 1999

MEJIA MORALES, Jorge. Análisis de vibraciones en motores eléctricos asincrónicos trifásicos. San Carlos Guatemala, 130 P. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Universidad De San Carlos Guatemala. Facultad De Ingeniería.

OREDA PARTICIPANTS. Offshore Reliability-Data Handbook. 4 ed.[SI], Norsk Hydro ASA,2002

PARRA MÁRQUEZ, Carlos. CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo Métodos de análisis de criticidad. Nota 5: Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de activos. Ingeman. Departamento de Administración Industrial. Escuela de Ingeniería. Universidad de Sevilla. Septiembre 2012.

SAE, The engineering society for advancing mobility land sea air and Space. JA 1011. [S.I], 1999. 12 P.

SAE, The engineering society for advancing mobility land sea air and space. JA 1012. [S.I], 2002. 62 P.