

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

***PROYECTO:***

**“Diseño de un Modelo de Gestión de Mantenimiento para la planta de producción de  
Paradise Ingredients, ubicada en Cartago, Costa Rica”**

**REALIZADO POR:**

Josué Castillo Villalobos

**PROFESOR GUÍA:**

Ing. Juan Pablo Arias Cartín, M. Eng.

**COORDINADOR DE PRÁCTICA:**

Ing. Greivin Barahona Guzmán, M. Eng.

**I SEMESTRE 2018**



**Carrera evaluada y acreditada por:**

*Canadian Engineering Accreditation Board  
Bureau Canadien d'Accréditation des Programmes d'Ingénierie*



CARTA DE ENTENDIMIENTO

Fecha: 2018-06-06

Señores  
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo Josué Castillo Villalobos

carné No. 200938083,  si autorizo  no autorizo, al Sistema de Bibliotecas del Tecnológico (SIBITEC), disponer del Trabajo Final de graduación, del cual soy autor, para optar por el grado de Licenciatura, en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, presentado en la fecha 2018-06-06, con el título Diseño de un Modelo de Gestión de Mantenimiento para la planta de productos de Paradise Ingredients, ubicada en Cartago, Costa Rica

para ser ubicado en el Repositorio Institucional y Catálogo SIBITEC, con el objetivo de ser visualizado a través de la red Internet.

Firma de estudiante:



Correo electrónico:

josueccc@gmail.com

Cédula No.:

114760300

## Dedicatoria

*El presente Proyecto de Graduación está dedicado a mi familia:*

*A mi padre Mariano, por enseñarme la importancia de perseverar, quien nunca me negó la ayuda y me impulsó siempre a dar lo mejor de mí, a pesar de las adversidades.*

*A mi madre Zulay, la que siempre estuvo de mi lado desde pequeño, la que se preocupó por mi bienestar todos los días y me motivó sin cansancio a seguir adelante.*

*A mi hermano Esteve, quien me sirvió de ejemplo todos los días y me brindó consejo cuando más lo necesitaba.*

*Y en general, a todos aquellos amigos que de alguna forma u otra estuvieron ahí para darme fortaleza durante mis años de estudio.*

## Agradecimientos

Quisiera agradecer al Tecnológico de Costa Rica (TEC) en todas sus instancias y, especialmente a la Escuela de Ingeniería Electromecánica, por cultivar en mí la pasión por la ingeniería, la ciencia y tecnología.

También agradezco a la empresa Paradise Ingredients por permitirme desarrollar mi Proyecto de Graduación en sus instalaciones.

# Contenido

Dedicatoria .....	3
Agradecimientos .....	5
1 Datos personales.....	14
1.1..... Estudiante	14
1.2..... Profesor guía	14
1.3..... Coordinador de Práctica Profesional	14
1.4..... Datos de la empresa	14
2 Introducción y antecedentes .....	15
3 Reseña de la empresa .....	16
4 Planteamiento del problema .....	20
4.1..... Problema por resolver	20
4.2..... Objetivo general	21
4.3.....Objetivos específicos	21
4.4..... Justificación	22
4.5.....Viabilidad	22
5 Marco teórico .....	24
5.1.....Mantenimiento: Indicadores principales de mantenimiento UNE-EN 15341	24
5.2..... Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	24
5.3..... Sistema Computarizado de Mantenimiento	29
5.4..... 6 grandes pérdidas de la filosofía TPM	30
5.5..... Cuadro de Mando Integral	32

6	Metodología .....	35
7	Alcances .....	37
8	Limitaciones .....	38
9	Cronograma proyectado para el desarrollo del proyecto.....	39
10	Situación actual .....	41
10.1	.....Estructura del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento .....	41
10.2	..... Tipos de Mantenimiento .....	42
10.2.1	Actualización de programas de mantenimiento preventivo.....	43
10.3	..... Análisis de la base de datos de mantenimiento actual .....	43
10.4	..... Revisión general de la tabla de criticidad .....	45
10.4.1	Modelos de criticidad.....	46
10.5	..... Revisión del Cuadro de Mando Integral .....	49
10.6	..... Software de gestión de mantenimiento SAP .....	49
10.7	..... Presupuesto de mantenimiento .....	50
11	Auditoría del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento .....	52
11.1	..... Establecimiento de los objetivos del Programa de Auditoría .....	53
11.2	..... Establecimiento del programa de auditoría .....	54
11.2.1	Roles y responsabilidades de la persona que gestiona el programa de auditoría....	54
11.2.2	Competencia de la persona que gestiona el programa de auditoría.....	54
11.2.3	Identificación y evaluación de los riesgos del programa de auditoría .....	54
11.2.4	Establecimiento de los procedimientos para el programa de auditoría.....	55
11.3	..... Implementación del programa de auditoría .....	55
11.3.1	Definición de objetivos, alcance y criterios de auditoría .....	55
11.3.2	Selección de los métodos de auditoría .....	56
11.3.3	Selección de los miembros del equipo auditor .....	56
11.3.4	Asignación de responsabilidad de auditoría individual.....	57

11.3.5	Gestión del resultado del programa de auditoría .....	57
11.3.6	Monitoreo del programa de auditoría .....	57
11.3.7	Revisión y mejora del programa de auditoría .....	57
11.4	..... Ejecución de la auditoría .....	58
11.5	..... Preparación y distribución del informe de auditoría .....	59
12	Modelo de Gestión de Mantenimiento.....	62
12.1	.....Diseño del Modelo de Gestión de Mantenimiento para el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients .....	65
12.1.1	Modelo de gestión planteado para el Departamento .....	65
12.1.2	Relaciones entre las diferentes áreas del modelo .....	68
13	Evidencias de implementación temprana del Modelo de Gestión de Mantenimiento propuesto.....	74
13.1	..... Revisión de planes de mantenimiento preventivo .....	74
13.2	..... Análisis de la Tabla de Criticidad Actual .....	75
13.3	..... Formato de sugerencias de mantenimiento .....	76
13.3.1	Boleta de sugerencias para el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento.....	76
13.4	..... Formato de RCM .....	77
14	Indicadores del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento .....	78
14.1	..... Norma VDI-2893 .....	79
14.1.1	Etapa 1: Auto análisis, representación del proceso de negocio .....	80
14.1.2	Etapa 2: Definición de los objetivos de mantenimiento y su ubicación en las diferentes perspectivas .....	81
14.1.3	Etapa 3: Establecimiento de los factores medibles.....	82
14.1.4	Etapa 4: Establecimiento de los números básicos, recolección y procesamiento de los datos, clarificación de la situación de los datos .....	83
14.1.5	Etapa 5: Identificación y evaluación de las dependencias entre números básicos ..	83
14.1.6	Etapa 6: Formación de los indicadores .....	83
14.2	..... Norma AENOR EN 15341:2007 .....	83



14.2.1	Factores de influencia externos .....	85
14.2.2	Factores de influencia internos .....	86
14.2.3	Indicadores económicos claves .....	86
14.2.4	Indicadores técnicos claves .....	87
14.2.5	Indicadores organizacionales claves .....	89
15	Análisis económico del Modelo de Gestión de Mantenimiento propuesto .....	91
15.1	.....Estimación de los costos de implementación del modelo .....	91
15.1.1	Horas hombre para actualización de lista de equipos críticos.....	92
15.1.2	Horas hombre para el análisis RCM de equipos críticos .....	94
15.1.3	Horas hombre para clasificación de los repuestos en bodega como A, B o C .....	94
15.1.4	Horas hombre para actualización de los programas de mantenimiento y su inserción en SAP	95
15.1.5	Horas hombre para supervisión del ciclo de actividades de mantenimiento.....	95
15.1.6	Horas hombre para análisis de Costo de Ciclo de Vida ( <i>Life Cycle Cost Analysis, LCCA</i> )	95
15.1.7	Horas hombre para análisis de órdenes de trabajo completadas .....	96
15.1.8	Horas hombre para análisis de sugerencias de mantenimiento de los colaboradores	97
15.1.9	Costos totales de implementación del modelo de gestión de mantenimiento propuesto.....	98
15.2	.....Proyección de ahorros económicos producto de la implementación del modelo .....	99
15.2.1	Reducción de volúmenes de inventario no circulante .....	99
15.2.2	Reducción en tiempo en ejecución de órdenes de trabajo .....	100
15.2.3	Reducción de horas de paro por mantenimientos no programados producto de la mejora en confiabilidad al implementar RCM .....	100
15.2.4	Reducción del desperdicio considerando 6 grandes pérdidas de la filosofía Mantenimiento Productivo Total ( <i>Total Productive Maintenance, TPM</i> ).....	101
15.2.5	Resumen de la proyección de ahorros económicos producto de la implementación del modelo .....	102
15.3	.....Análisis de viabilidad financiera para la implementación del modelo de gestión de mantenimiento propuesto .....	102
15.3.1	Período de recuperación (PR) .....	103
15.3.2	Valor actual neto (VAN).....	103
15.3.3	Tasa interna de retorno (TIR) .....	103

15.3.4	Índice de deseabilidad (ID).....	104
15.3.5	Resumen de indicadores financieros y viabilidad de implementación .....	104
16	Recomendaciones .....	105
17	Conclusiones.....	107
	Bibliografía .....	108
	Anexos .....	111
	Anexo 1: Cuestionario de auditoría.....	111

## Índice de tablas

<i>Tabla 1: Objetivos, actividades y herramientas para la ejecución del proyecto</i>	35
<i>Tabla 2: Costos vs presupuesto de las diferentes áreas objeto de mantenimiento durante el 2016.</i>	51
<i>Tabla 3: Índices de conformidad por área del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients</i>	60
<i>Tabla 4: Resumen de las perspectivas del BSC y las metas de mantenimiento en cada una de ellas</i>	82
<i>Tabla 5: Indicadores de mantenimiento para el Departamento de acuerdo con la norma UNE 15341</i>	90
<i>Tabla 6: Resumen de órdenes de trabajo tipo PM01 y PM02 por año en Paradise Ingredients</i>	97
<i>Tabla 7: Resumen de los costos de implementación del modelo de gestión de mantenimiento propuesto</i>	98
<i>Tabla 8: Beneficios económicos estimados por proceso productivo por reducción del Tiempo Medio entre Fallos en Paradise Ingredients</i>	100
<i>Tabla 9: Valor estimado de la producción por proceso productivo en Paradise Ingredients</i>	101
<i>Tabla 10: Resumen de ahorros proyectados producto de la implementación del modelo de gestión propuesto</i>	102
<i>Tabla 11: Resumen de indicadores financieros calculados para la implementación del modelo de gestión propuesto</i>	104

## Índice de figuras

Figura 1: Proceso productivo del banano en Paradise Ingredients. Fuente: Elaboración propia.	17
Figura 2: Diferentes categorías de producto y presentaciones que comercializa Paradise Ingredients. Fuente: (Paradise Ingredients, 2017)	17
Figura 3: Política “cero” aplicada en diferentes áreas de la empresa. Fuente: (Paradise Ingredients, 2016)	18
Figura 4: Principios corporativos de Paradise Ingredients. Fuente: (Paradise Ingredients, 2017)	18
Figura 5: Áreas de crecimiento personal de Paradise Ingredients. Fuente: (Paradise Ingredients, 2017)	19
Figura 6: Estructura típica de un grupo de análisis RCM. Fuente: (Pistarelli, 2010)	25
Figura 7: Patrones de falla típicos en los equipos de la industria. Fuente: (Moubray, 1997)	28
Figura 8: Diagrama de decisión abreviado de RCM.. Fuente: (Pistarelli, 2010)	29
Figura 9: Cuadro comparativo de las 6 principales pérdidas de la filosofía TPM. Fuente: (Cuatrecasas, 2003).	31
Figura 10: Elementos clave que forman el Balanced Scorecard. Fuente: (Balanced Scorecard Institute, 2017)	33
Figura 11: Las cuatro perspectivas básicas de un Balanced Scorecard. .Fuente: (Balanced Scorecard Institute, 2017)	34
Figura 12: Diagrama de Gantt para la ejecución de la práctica profesional en Paradise Ingredients. Fuente.: Elaboración propia.	40
Figura 13: Organigrama del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients. Fuente: Elaboración propia	41
Figura 14: árbol de decisión de criticidad FLOC’s de los equipos. Fuente: Paradise Ingredients, 2018	45
Figura 15: Ejemplo de flujograma para la determinación de la criticidad de los equipos. Fuente: (Parra & Crespo, 2012)	47
Figura 16: Ejemplo de Matriz de riesgo generada usando el método Criticidad Total por Riesgo. Fuente: (Parra & Crespo, 2012)	48
Figura 17: Flujo de proceso para la gestión de la auditoría. Fuente: (ISO 19011, 2011)	53
Figura 18: Métodos de auditoría planteados por la ISO 19011. Fuente: (ISO 19011, 2011)	56
Figura 19: Diagrama de flujo para la ejecución de la auditoría y sus etapas. Fuente: (ISO 19011, 2011)	59
Figura 20: Gráfico radial que muestra los resultados de la auditoría ejecutada en el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients. Fuente: elaboración propia.	60
Figura 21: Valores de referencia para los índices de conformidad del cuestionario de auditoría. Fuente: (García Garrido, 2003)	60
Figura 22: Ciclo de trabajo de mantenimiento. Fuente: (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, & Crespo, 2013)	63

<i>Figura 23: Modelo de Gestión de mantenimiento planteado por (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, &amp; Crespo, 2013). Fuente: (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, &amp; Crespo, 2013)</i>	64
<i>Figura 24: Modelo de gestión propuesto para el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients.. Fuente: elaboración propia.</i>	67
<i>Figura 25: Actividades a realizar según el nivel empresarial para la implementación del modelo de gestión de mantenimiento propuesto. Fuente: elaboración propia</i>	73
<i>Figura 26: Formato de cálculo de Criticidad Total por Riesgo. Fuente: Elaboración propia</i>	76
<i>Figura 27: Hoja de Análisis de RCM para los equipos de Paradise Ingredients. Fuente: elaboración propia con base en (Pistarelli, 2010).</i>	77
<i>Figura 28: Diagrama de flujo para la selección de indicadores en mantenimiento. Fuente: (Verein Deutscher Ingenieure, 2006)</i>	80
<i>Figura 29: Lazos de control para el mantenimiento. Fuente: (Verein Deutscher Ingenieure, 2006)</i>	81
<i>Figura 30: Indicadores clave de Rendimiento en Mantenimiento y los factores que los influyen. Fuente: (UNE-EN 15341, 2008)</i>	85
<i>Figura 31: Ejemplo de estructura desglosada de costos en un análisis de costo de ciclo de vida (LCCA). Fuente: Fabrycky and Blanchard (1991) en (Parra &amp; Crespo, 2012).</i>	96

## **1 Datos personales**

### **1.1 Estudiante**

Nombre completo: Josué Castillo Villalobos

Número de cédula: 1-1476-0300

Número de carné: 200938083

Edad: 26 años

Número de teléfono: 7110-6513

Correo electrónico: josueccc@gmail.com

### **1.2 Profesor guía**

Ing. Juan Pablo Arias Cartín. M. Eng.

Escuela de Ingeniería Electromecánica

### **1.3 Coordinador de Práctica Profesional**

Ing. Greivin Barahona Guzmán. M. Eng.

Coordinador de Práctica de Especialidad

Coordinador de la Bolsa de Empleo

Escuela de Ingeniería Electromecánica

### **1.4 Datos de la empresa**

Nombre: Paradise Ingredients

Actividad principal: producción, empaque y exportación de puré, concentrado congelado, no pasteurizado y esencia de banano

Dirección: Parque Industrial, Calle 80, Cartago, Costa Rica

Contacto: Carlos Koying, Gerente de Ingeniería y Mantenimiento

Teléfono: 2590 2862

## 2 Introducción y antecedentes

La administración de los recursos es una actividad de vital importancia en cualquier emprendimiento humano. Por esta razón, me llamó mucho la atención cuando el Ing. Carlos Koying me comentó que requerían un Modelo de Gestión de Mantenimiento que agrupara las diferentes herramientas de mantenimiento con las que cuenta la empresa Paradise Ingredients, pues tienen cierto desconocimiento de si están realizando el mantenimiento adecuado a sus equipos de acuerdo con el histórico de reparaciones o no.

Sin embargo, para no solo justificar la implementación de un Modelo de Gestión, sino para evitar la realización de una investigación y proyecto en un área que no lo requiere, se plantea primero una etapa de evaluación del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, la cual refleje la necesidad o no de implementar un Modelo de Gestión de Mantenimiento. Para esta etapa, se pretende realizar una auditoría de Mantenimiento utilizando herramientas como la norma ISO 19011 “Guidelines for auditing management systems”, así como el procedimiento de auditoría planteado en el libro “Organización y Gestión Integral del Mantenimiento” de (García Garrido, 2003). Además, para la evaluación de la idoneidad de los indicadores ya existentes en el Departamento, se toma en consideración el documento “Selection and formation of indicators for maintenance VDI2893”, perteneciente al Verein Deutscher Ingenieure, que es la Asociación Alemana de Ingenieros, así como las normas españolas “Mantenimiento: Indicadores principales de mantenimiento UNE-EN 15341” y “Sistemas de gestión de la calidad: Guía para la implantación de un sistema de indicadores UNE 66175”.

Con el fin de realizar un Modelo de Gestión para una empresa de tal magnitud, en la que se manejan cientos de equipos con multitud de órdenes de trabajo generadas cada día en diferentes áreas, es importante considerar los activos de mayor importancia en el proceso productivo de la empresa, pues no tendría sentido velar por el cumplimiento de las rutinas de mantenimiento de equipos que no son críticos, por tanto, dicho concepto se manejará también en este proyecto mediante la consideración de las normas ISO 55000, ISO 55001 e ISO 55002, las cuales son presentadas por ISO en conjunto como un “Sistema de Gestión para la Gestión de Activos” (ISO 55001, 2014).

### 3 Reseña de la empresa

La empresa, anteriormente conocida como Gerber Ingredients, fue adquirida por el fondo privado de capital Caseif III LP (Fallas, 2016), cuyo objetivo es la inversión en pequeñas y medianas empresas de la Región, incluyendo Centro América, Panamá, República Dominicana y Colombia, para así promover el crecimiento del sector privado, con miras a apoyar el crecimiento económico y combatir la pobreza. (LAFISE Investment Management, 2009). Hasta hace aproximadamente dos años formó parte del grupo Nestlé, por lo que algunas herramientas administrativas aún utilizan las pautas que en su momento requería Nestlé en cuanto a gestión del mantenimiento. Paradise Ingredients es una empresa ubicada al oeste de la provincia de Cartago, en el Parque Industrial, a unos 6 km al oeste del casco urbano. En cuanto a las certificaciones y normas internacionales, Paradise Ingredients se rige por las siguientes (Paradise Ingredients, 2017):

- Food Safety (FSSC22000-GFSI Recognized)
- Quality (ISO 9001:2008)
- Environment (ISO 14001:2004)
- Kosher
- Halal
- Sure Global Fair (SGF)
- Organic Process Certified by Ecologica (CEE 834-2007, 889-2008)
- Organic Process Certified by OTCO (US NOP)
- Rainforest Alliance

A partir de las certificaciones con las que cuenta la empresa, no es difícil concluir que poseen estándares de calidad elevados, así como una alta responsabilidad con el medio ambiente y el comercio justo.

Es importante resaltar que la empresa actualmente no presenta una Misión y Visión establecidas; sin embargo, si trabajan con un propósito empresarial, a saber: “Somos parte fundamental de la alimentación de las personas, lo que hacemos, producimos y compartimos con calidad, compromiso, confiabilidad y honestidad llegará a los hogares de miles de personas en el mundo” (Paradise Ingredients, 2017). En este mismo orden de ideas, los valores establecidos por la compañía corresponden a calidad, compromiso, confiabilidad y honestidad, intrínsecos ya en su propósito.



En su planta productiva, realizan todo el proceso que requiere el banano para llegar a la presentación final de su gama de productos, desde la maduración hasta el producto terminado. Un diagrama simplificado del proceso productivo se muestra en la figura 1:

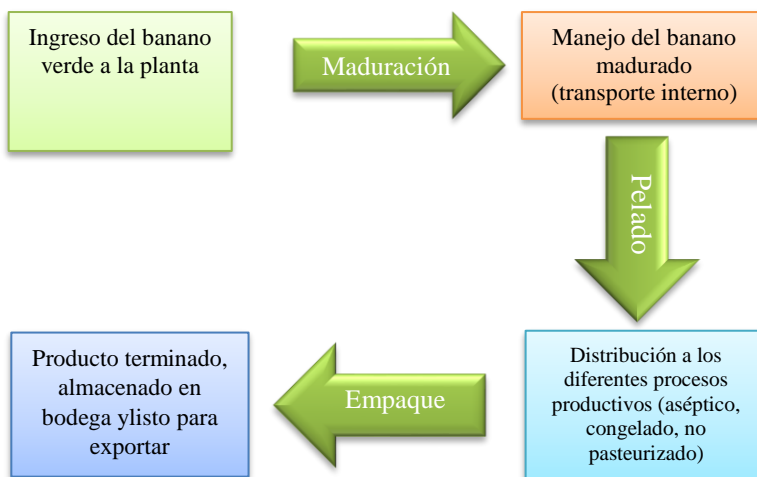


Figura 1: Proceso productivo del banano en Paradise Ingredients. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2, se muestran las categorías de producto terminado que maneja Paradise Ingredients. Cabe resaltar que la mayoría de este producto está destinado a mercados internacionales:



**ASEPTIC**

Paradise ingredients aseptic Banana puree is creamy yellow with no off aromas or flavors. The taste is sweet of full ripe bananas.



**FROZEN**

Paradise ingredients is the only bananas puree producer worldwide to concentrate frozen banana quality, in particular color and texture, while maintaining a natural banana flavor.



**ESSENCE**

Paradise, ingredients Banana Essence is a clear colorless liquid with no off aromas or flavors.



**UNPASTEURIZED**

Unpasteurized frozen banana puree produced by paradise ingredients is never thermally treated so that we can offer a wholesome product while maintaining the delicate banana flavor and aroma an innovative production line has been added to the cartago, Costa Rica facility, designed and installed to offer the cold press juice industry the ability to add freshly ripened banana fruit extensions to their premium juice and smoothie lines.

Figura 2: Diferentes categorías de producto y presentaciones que comercializa Paradise Ingredients. Fuente: (Paradise Ingredients, 2017)

La empresa cuenta con una política “cero” en búsqueda de la excelencia en manufactura (ver figura 3). Dicha política se centra en 5 áreas fundamentales, a saber:

- Impacto ambiental
- Seguridad laboral
- Control de calidad
- Control de desperdicio: eliminación del desperdicio
- Entrega de producto terminado



Figura 3: Política “cero” aplicada en diferentes áreas de la empresa. Fuente: (Paradise Ingredients, 2016)

En cuanto a los principios corporativos, estos se condensan gráficamente en el siguiente esquema:



Figura 4: Principios corporativos de Paradise Ingredients. Fuente: (Paradise Ingredients, 2017)

En cuanto al trato interpersonal, manejan 4 áreas fundamentales para fomentar el crecimiento de su personal. A continuación, se muestra un esquema que ejemplifica dichas áreas y sus principios:



Figura 5: Áreas de crecimiento personal de Paradise Ingredients. Fuente: (Paradise Ingredients, 2017)

## 4 Planteamiento del problema

### 4.1 Problema por resolver

Actualmente, Paradise Ingredients cuenta con herramientas de gestión del mantenimiento como base de datos de reparaciones en SAP, un cuadro de mando con indicadores, inventario de repuestos, entre otros. Sin embargo, es difícil determinar si todos los equipos considerados como críticos realmente tienen esta cualidad, y si se está proporcionando un sobremantenimiento a equipos no considerados como críticos. Por otro lado, las herramientas de administración de mantenimiento con las que cuentan no poseen un vínculo directo con los intereses de alta gerencia, precisamente, en este punto, entra en juego un adecuado Modelo de Gestión de Mantenimiento que involucre todas estas herramientas para la búsqueda de un objetivo común.

## 4.2 Objetivo general

Diseñar un Modelo de Gestión de Mantenimiento que haga uso de las herramientas administrativas con las que ya cuenta la empresa y se acople a las necesidades de producción de Paradise Ingredients.

## 4.3 Objetivos específicos

- Evaluar la necesidad de un Modelo de Gestión de Mantenimiento en la empresa Paradise Ingredients, mediante una auditoría al Departamento de Ingeniería y Mantenimiento basada en herramientas como ISO 19011 “Guidelines for auditing management systems” y el procedimiento de auditoría del libro “Organización y Gestión Integral de Mantenimiento”.
- Recomendar acciones en el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento orientadas hacia el cumplimiento de las metas establecidas en el tablero de indicadores con el que cuenta el Departamento
- Recomendar nuevos indicadores para el Cuadro de Mando Integral del Departamento, basados en los procedimientos de las normas UNE-EN 15341, UNE 66175 y VDI2893
- Determinar mediante un análisis financiero la viabilidad de implementación del modelo de gestión de mantenimiento propuesto, haciendo uso de indicadores financieros como Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno, PR e Índice de Deseabilidad

#### 4.4 Justificación

La empresa Paradise Ingredients actualmente desea conocer si existe una correcta utilización de los recursos de mantenimiento, ya que de no ser así esta situación puede ocasionar sobre o submantenimiento. Además, al no existir un Modelo de Gestión de Mantenimiento como tal, las herramientas como el Cuadro de Indicadores, la Base de Datos en el *software* SAP, así como la Tabla de Criticidad no pueden vincularse de la manera más eficiente posible a las metas de producción y visión gerencial de la empresa.

Todo lo anterior, a la larga, podría generar desperdicio de recursos de mantenimiento y pérdidas económicas para la empresa, lo cual estaría en contra de la “política cero desperdicios” que busca la organización en todos los niveles de la empresa (ver figura 3).

Dado el tamaño de la empresa (cerca de 500 empleados) (Fallas, 2016) y el volumen de sus operaciones, la reducción del desperdicio mediante el uso de herramientas es vital para que el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento logre cumplir sus metas, un ejemplo de ello es la eliminación de las 6 grandes pérdidas del *Total Productive Maintenance (TPM)*.

Otras industrias grandes, como por ejemplo Toyota (Jones, 2007), han aplicado TPM reduciendo el costo de sus operaciones y el uso de recursos considerablemente, por lo tanto, los resultados de la aplicación de esta filosofía son más que deseables para Paradise Ingredients, pues se alinean con la política cero desperdicios con los que ya cuenta en otras áreas.

De estos procesos anteriormente descritos, surge la necesidad de implementar un Modelo de Gestión de Mantenimiento que unifique todas las herramientas administrativas de mantenimiento, para que trabajen alineadas con el Propósito establecido de la compañía.

#### 4.5 Viabilidad

La empresa tiene una estructura definida en el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, y cuenta también con herramientas de gestión, entre las que se encuentran (pero no limitadas a) las siguientes:

- Software SAP PM, para la gestión adecuada de la base de datos de reparaciones
- Programas de mantenimiento preventivo
- Tabla de criticidad

- Balanced Scorecard, con indicadores exclusivos para el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento

Por otro lado, el practicante cuenta con el apoyo didáctico adecuado para la realización del proyecto, se puede destacar el material bibliográfico y el acceso a Bases de Datos Digitales disponibles en la Biblioteca José Figueres Ferrer del Tecnológico de Costa Rica (TEC), además del respaldo de los docentes de la Escuela de Ingeniería Electromecánica de la misma institución. Por último, el practicante tiene a disposición, además, las herramientas computacionales requeridas para investigar y generar un trabajo escrito de calidad, así como una presentación de diapositivas que servirán para exponer los resultados tanto en la empresa como en el TEC una vez concluida la etapa de práctica.

## 5 Marco teórico

A continuación, se muestra un fundamento teórico que respalda la ejecución del proyecto, con base en el planteamiento del problema de investigación. En esta sección, se hace una breve revisión de la literatura existente respecto a Modelos de Gestión de Mantenimiento, así como las herramientas de gestión que se utilizan normalmente en dichos modelos, tales como Cuadro de Mando Integral, *Software* de gestión de activos (en este caso específico SAP, pues la empresa ya cuenta con este *software* implementado hace más de 5 años, recopilando información de mantenimiento).

### 5.1 Mantenimiento: Indicadores principales de mantenimiento UNE-EN 15341

La norma UNE-EN 15341:2008 “proporciona los Indicadores Clave de Rendimiento en materia de mantenimiento para apoyar a la gestión en el logro de la excelencia de mantenimiento y en el empleo de los activos técnicos de una manera competitiva”. Además, se destaca que estos indicadores se pueden usar al “medir el estado, realizar comparaciones (referencias internas y externas), realizar diagnósticos (análisis de fuerzas y debilidades), identificar objetivos y definir metas a alcanzar, planificar acciones de mejoras y medir los cambios de manera continua en el tiempo” (UNE-EN 15341, 2008).

### 5.2 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

La definición formal de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, según John Moubray, es la siguiente:

“Mantenimiento centrado en confiabilidad: aquel proceso destinado a determinar qué se debe realizar para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios desean que haga en su contexto operativo actual” (Moubray, 1997).

De acuerdo con Purjavad, Shirouyehzad y Shahin (2011), existen dos tipos de mantenimiento, a saber, uno basado en condición, así como otro basado en el tiempo, cabe destacar que se tiene una dificultad intrínseca a la hora de elegir alguno de los dos. Además, los mismos autores destacan que “los costos de mantenimiento dependen principalmente de



la necesidad de recursos e instalaciones de mantenimiento (...) para alcanzar una gestión racional del ciclo de vida total, es altamente deseable entender un método sistemático de planificación de las operaciones de mantenimiento” (Pourjavad, Shirouyehzad, & Shahin, 2011) y el RCM es uno de dichos métodos sistemáticos, con gran reconocimiento en la industria.

En este orden de ideas, para la correcta aplicación de un programa RCM, es necesario conformar un grupo de análisis, que típicamente tiene la estructura mostrada en la figura 6, presentada a continuación:



Figura 6: Estructura típica de un grupo de análisis RCM. Fuente: (Pistarelli, 2010)

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad implica la realización de 7 importantes preguntas acerca del equipo o sistema objeto de revisión. Dichas preguntas son las siguientes:

1. ¿Cuáles son las funciones y los estándares de rendimiento asociados del activo en su contexto operativo actual?
2. ¿De qué manera incumple sus funciones?
3. ¿Qué ocasiona cada fallo funcional?
4. ¿Qué ocurre cuando cada fallo ocurre?
5. ¿De qué manera cada fallo importa?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada fallo?
7. ¿Qué se debería hacer si no es posible encontrar una tarea proactiva apropiada?

Fuente: (Moubray, 1997)

En el marco de estas preguntas y en la filosofía subyacente del RCM, existen ciertos términos clave, los cuales es conveniente clarificar para obtener una adecuada visión del mantenimiento:

### **Funciones y estándares de rendimiento**

De acuerdo con Moubray, “el primer paso en el proceso RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, asociadas con el estándar de rendimiento deseado.” (Moubray, 1997) El rendimiento esperado por los usuarios de los equipos, según este mismo autor, se puede dividir en dos categorías: funciones primarias y funciones secundarias. Las primarias resumen por qué el activo fue adquirido en primera instancia, mientras que las secundarias abarcan todo aquello que se espera del activo además de simplemente satisfacer su función primaria.

### **Fallos funcionales**

De acuerdo con (Moubray, 1997) la causa que hace que un activo deje de funcionar al nivel requerido por sus usuarios es algún tipo de fallo. Es posible entonces decir que mantenimiento alcanza sus objetivos en la medida que gestione los fallos. Un estado de fallo, o fallo funcional, ocurre “cuando un activo es incapaz de cumplir una función en un nivel de rendimiento aceptable por el usuario” (Moubray, 1997).

### **Modos de fallo**

De acuerdo con (Pistarelli, 2010), el análisis de los modos de fallo es la parte más importante de un análisis RCM. El mismo autor lo define como “un evento (causa raíz) que puede ocurrir en el componente y provocar la falla funcional del equipo al que pertenece. La causa raíz puede ser de índole física, humana o administrativa.” (Pistarelli, 2010).

Un error común es solamente listar las causas físicas de la falla, pues deben incluirse todas las posibles causas raíz que podrían provocar la falla funcional, incluyendo los errores humanos, de diseño o problemas administrativos. (Pistarelli, 2010) Además, el mismo autor aclara que para sistemas sencillos es suficiente con que el grupo de análisis enumere las causas más comunes de fallo, con base en historiales de reparación o aquellas que tengan una razonable probabilidad de ocasionar un fallo. Por último, deben considerarse también aquellos modos de fallo que actualmente se están previniendo mediante cualquier otra tarea de mantenimiento.

## **Efectos de fallo**

Corresponden a la secuencia de eventos que ocurre si se presenta un modo de fallo. Los efectos de fallo deben ser descritos con suficiente detalle como para que las consecuencias del fallo, a determinarse en la etapa siguiente, puedan obtenerse con relativa facilidad. Se debe diferenciar efecto de consecuencia de fallo en que el primero describe la secuencia de eventos ocurridos luego del fallo, en tanto la consecuencia cuantifica el impacto del fallo. (Pistarelli, 2010)

Algunas preguntas que ayudan a definir los efectos de fallo son las siguientes:

- ¿Cuál es la evidencia que ha habido un fallo?
- ¿Cómo impacta el fallo la seguridad de las personas o el medio ambiente?
- ¿Cómo impacta el fallo las ventas, calidad, producción o servicio al cliente?
- ¿Cómo impacta el fallo la integridad de los activos fijos?
- ¿Cuál es el costo, así como el tiempo requeridos para revertir el daño? En esta pregunta también puede incluirse ¿Qué acciones deben tomarse? Y si fuera posible, ¿Cuál es el tiempo medio entre fallos para ese modo de fallo en particular?

Fuente: (Pistarelli, 2010)

## **Consecuencias de los fallos**

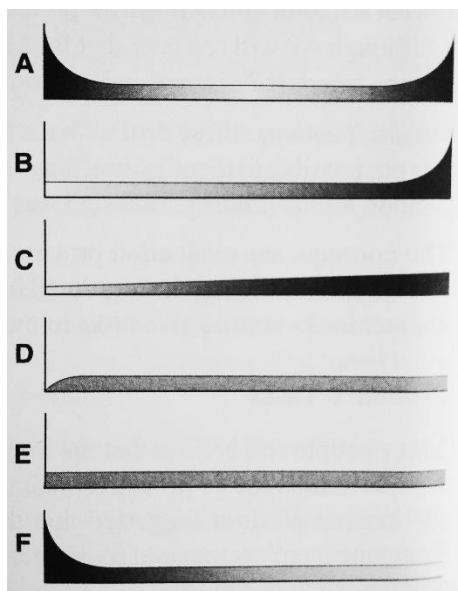
Las consecuencias de los fallos implican la “importancia que tiene cada modo de falla; es decir, cuánto impacta en el proceso productivo completo” (Pistarelli, 2010). Según este mismo autor, lo primero que debe realizarse es establecer si el modo de falla es oculto o evidente, según sea la función que esté afectando. Acto seguido, se debe determinar si la falla afecta la seguridad, medio ambiente, producción o bien activos fijos, o si únicamente produce gastos relativos a la reparación. En esta etapa es recomendado utilizar un diagrama de decisión, mostrado más adelante en la figura 8.

## **Labores proactivas**

De acuerdo con (Moubray, 1997), la metodología RCM divide las tareas proactivas en 3 categorías, a saber:

- Tareas de restauración programadas
- Tareas de descarte programado
- Tareas programadas según condición

Estas tareas estarán en función de alguno de los siguientes 6 patrones de falla, dependiendo de la complejidad de la máquina, así como el tipo de proceso productivo en que se encuentren:



*Figura 7: Patrones de falla típicos en los equipos de la industria. Fuente: (Moubray, 1997)*

### **Acciones por defecto**

Según (Moubray, 1997) la metodología RCM reconoce 3 diferentes clases de acciones por defecto, a saber:

- **Búsqueda de fallos:** este tipo de acciones intentan revisar las funciones ocultas periódicamente, a fin de determinar si han fallado o no
- **Rediseños:** engloban la realización de cualquier cambio de única vez a la capacidad intrínseca de un sistema.
- **Mantenimiento no programado:** este tipo de acciones implica no realizar esfuerzo alguno para anticipar o prevenir los modos de falla a los que correspondan. Este tipo de acciones permite operar un equipo hasta su fallo y luego repararlo, por lo que se llaman comúnmente operar hasta el fallo.

### **Procedimiento de selección de tareas RCM**

Para la selección de tareas con base en la metodología de RCM, se plantea la utilización del diagrama de decisión propuesto en el libro “Manual de Mantenimiento Ingeniería Gestión y Organización” de (Pistarelli, 2010), mostrado a continuación.

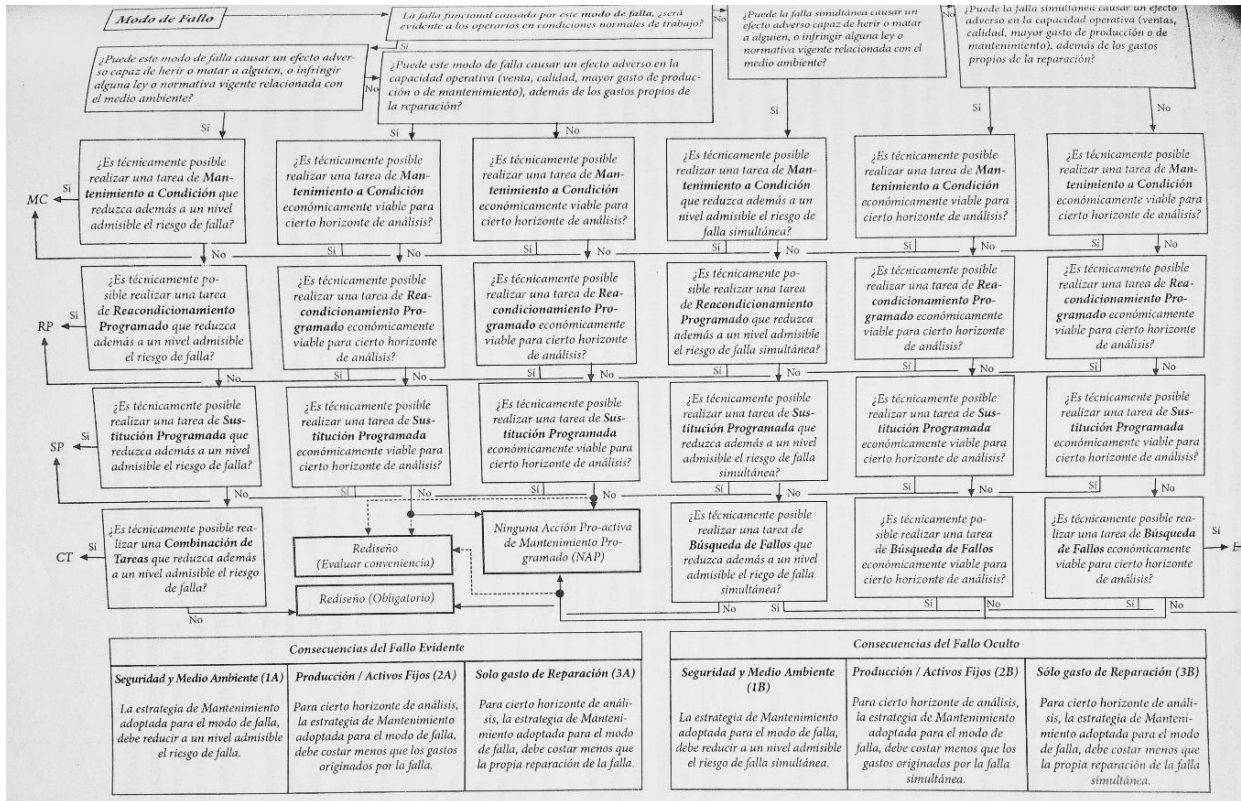


Figura 8: Diagrama de decisión abreviado de RCM. Fuente: (Pistarelli, 2010)

En la sección 12.4 del presente documento se incluye una plantilla modelo para la ejecución ordenada del RCM, se elaboró a partir del libro Manual de Mantenimiento Ingeniería Gestión y Organización de (Pistarelli, 2010). Dado que gran parte de la metodología aquí planteada se confeccionó con base en dicho libro, se recomienda el uso de esta plantilla pues posee los campos necesarios para el análisis.

### 5.3 Sistema Computarizado de Mantenimiento

Muchas compañías grandes poseen grandes cantidades de información, almacenada de diferentes formas: impresa (órdenes de trabajo, registros de mantenimiento), computarizada (hojas de cálculo, bases de datos pequeñas) e, incluso, en la memoria de su muy experimentado personal. Sin embargo, para compilar toda esta información de una forma ordenada, es cuando entra en juego un Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimiento, o CMMS por sus siglas en inglés. Estos sistemas “establecen una plataforma para alcanzar la mejor práctica de mantenimiento... provee, una estructura para establecer y documentar la gestión del mantenimiento, materiales, activos, así como información de inventario” (WEF, 2016).

#### 5.4 6 grandes pérdidas de la filosofía TPM

Respecto del origen del TPM, este “fue introducido en Japón como un concepto innovador y fue definido originalmente por el Japan Institute o Plant Maintenance (JIPM).” (Rubio, 2005) Sin embargo, dado que el TPM involucra múltiples acciones en diferentes áreas de la empresa, coordinadas y con seguimiento de cerca en sus etapas iniciales para asegurar su éxito, así como la complejidad metodológica de la filosofía no se recomienda a Paradise Ingredients, al menos en el estado de la compañía al momento de redactar este proyecto, implementarlo en su totalidad. A pesar de lo anterior, se considera que una de las herramientas utilizadas en esta filosofía, específicamente la eliminación de las 6 grandes pérdidas puede resultar beneficiosa desde el punto de vista productivo y económico, y posee una relativa facilidad de implementación, sin incurrir en una gran inversión de recursos. Dado que el equipo es el punto focal del TPM, los esfuerzos deben comenzar por la reducción o eliminación de las 6 grandes pérdidas que plantea la filosofía, las cuales se resumen como sigue:

- Fallas del equipo
- Tiempo muerto por preparación y ajuste al arranque
- Marcha en vacío, esperas y paros menores
- Reducciones en velocidad de operación
- Defectos en el proceso (retrabajos, reprocesos)
- Reducción de rendimiento

Fuente: (Duffuaa, Raouf, & Dixon, 2000)

Al respecto, Luis Cuatrecasas (2003) plantea en su obra el cuadro resumen mostrado en la figura 9, donde clasifica las 6 grandes pérdidas por tipo, características y objetivo por cumplir en cada una de ellas.

Tipo	Pérdidas	Tipo y características	Objetivo
<b>Tiempos muertos y de vacío</b>	1. <i>Averías</i>	Tiempos de paro del proceso por fallos, errores o averías, ocasionales o crónicas, de los equipos	Eliminar
	2. <i>Tiempos de preparación y ajuste de los equipos</i>	Tiempos de paro del proceso por preparación de máquinas o útiles necesarios para su puesta en marcha	Reducir al máximo
<b>Pérdidas de velocidad del proceso</b>	3. <i>Funcionamiento a velocidad reducida</i>	Diferencia entre la velocidad actual y la de diseño del equipo según su capacidad. Se pueden contemplar además otras mejoras en el equipo para superar su velocidad de diseño	Anular o hacer negativa la diferencia con el diseño
	4. <i>Tiempo en vacío y paradas cortas</i>	Intervalos de tiempo en que el equipo está en espera para poder continuar. Paradas cortas por desajustes varios	Eliminar
<b>Productos o procesos defectuosos</b>	5. <i>Defectos de calidad y repetición de trabajos</i>	Producción con defectos crónicos u ocasionales en el producto resultante y, consecuentemente, en el modo de desarrollo de sus procesos	Eliminar productos y procesos fuera tolerancias
	6. <i>Puesta en marcha</i>	Pérdidas de rendimiento durante la fase de arranque del proceso, que pueden derivar de exigencias técnicas	Eliminar o minimizar según exigencias técnicas

Figura 9: Cuadro comparativo de las 6 principales pérdidas de la filosofía TPM. Fuente: (Cuatrecasas, 2003)

A continuación, se procede a explicar individualmente cada una de estas pérdidas en la compañía.

### Fallas del equipo

Las averías o fallos en los equipos ocasionan “tiempos muertos del proceso por paro total del mismo debido a problemas que impiden su buen funcionamiento... pueden ser de tipo esporádico o crónico” (Cuatrecasas, 2003). Además, el mismo autor clasifica las averías en los equipos en dos tipos, a saber, de tipo esporádico o crónico, además hace énfasis en que las averías ocasionan pérdidas de tiempo, así como volumen de producción. En cuanto a las consecuencias de las averías, Cuatrecasas (2003) las categoriza como:

- Averías con pérdida de función
- Averías con reducción de función

En cuanto a las etapas para la eliminación de las pérdidas por averías, Cuatrecasas (2003) establece las siguientes etapas:

- Establecer las condiciones básicas de operación
- Mantener las condiciones operativas básicas
- Restaurar las funciones deterioradas, a su nivel organizacional
- Mejorar los aspectos débiles de diseño de las máquinas y equipos

- Mejorar las capacidades de mantenimiento y operación

### **Tiempo muerto por preparación y ajuste al arranque**

Estas pérdidas son ocasionadas por el tiempo en que la máquina no está produciendo a causa de “la preparación o cambio de útiles y herramientas y los ajustes necesarios en las máquinas para atender los requerimientos de la producción de un nuevo producto o variante del mismo.” (Cuatrecasas, 2003)

### **Marcha en vacío, esperas y paros menores**

Estas pérdidas se refieren a “períodos de funcionamiento en vacío (sin producción) y a paradas breves (...) en los tiempos de vacío la máquina opera, pero lo hace sin efectuar la producción de pieza alguna, debido a un problema temporal” (Cuatrecasas, 2003). Además, este mismo autor destaca que este tipo de fallas es común principalmente en plantas con un elevado nivel de automatización.

### **Reducciones en velocidad de operación**

Se consideran dentro de esta clasificación aquellas pérdidas ocasionadas por la diferencia que hay entre la velocidad prevista (de diseño) para el equipo en cuestión y la velocidad de operación real, y que tienen como consecuencia que la capacidad de producción también sea diferente. (Cuatrecasas, 2003)

### **Defectos en el proceso**

Dentro de este tipo de pérdidas puede mencionarse “el tiempo perdido en producción de productos defectuosos, de calidad inferior a la exigida, las pérdidas de productos irrecuperables y las pérdidas provocadas por el reprocesado de productos defectuosos.” (Cuatrecasas, 2003)

### **Reducción de rendimiento**

Se refiere a las reducciones en la velocidad de funcionamiento de algunos equipos en la etapa de arranque, justo antes de obtener la velocidad o tasa de funcionamiento nominal. Su impacto dependerá de las condiciones de operación, habilidad de los operarios, características del equipo, entre otros factores. (Cuatrecasas, 2003)

## **5.5 Cuadro de Mando Integral**

El Cuadro de Mando Integral, o Balanced Scorecard (BSC) tal como se conoce en inglés, consiste en un tablero de indicadores que permite visualizar rápidamente el desempeño de una empresa en diferentes áreas o perspectivas. Al respecto, (Lesáková & Dubková, 2016)



mencionan en su artículo que un BSC “funciona como un catalizador para atraer el elemento de ‘cambio’ dentro de un negocio”.

Respecto de la forma en la que el Balanced Scorecard permite comunicar diferentes áreas clave dentro de la empresa, (Balanced Scorecard Institute, 2017) menciona lo siguiente:

*The system connects the dots between big picture strategy elements such as mission (our purpose), vision (what we aspire for), core values (what we believe in), strategic focus areas (themes, results and/or goals) and the more operational elements such as objectives (continuous improvement activities), measures (or key performance indicators, or KPIs, which track strategic performance), targets (our desired level of performance), and initiatives (projects that help you reach your targets).*

Tal como puede verse de la cita anterior, un Cuadro de Mando Integral involucra misión y visión, valores, iniciativas, objetivos e indicadores, todo esto para lograr un objetivo común en la empresa. En la figura 10 puede observarse esto de una forma más gráfica.

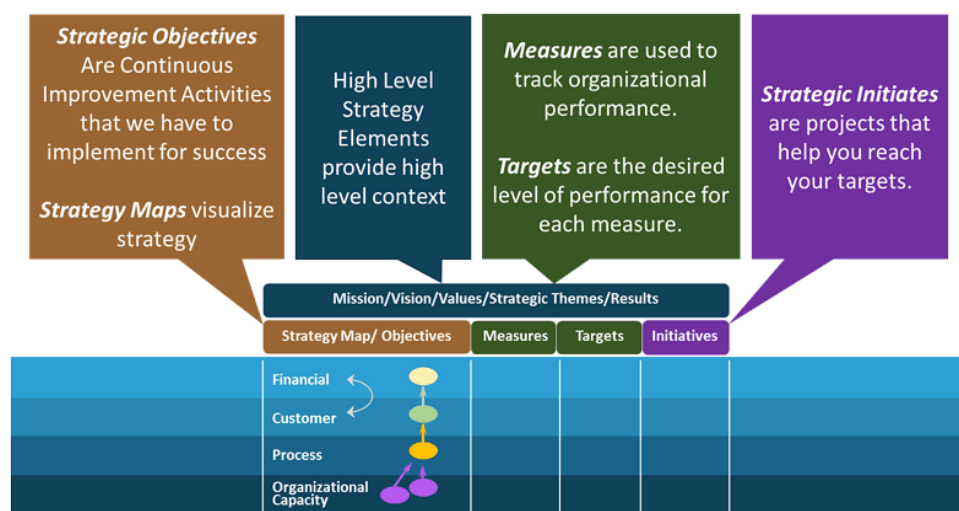


Figura 10: Elementos clave que forman el Balanced Scorecard. Fuente: (Balanced Scorecard Institute, 2017)

El BSC sugiere ser visto desde cuatro perspectivas fundamentales, a saber: Financiera, Consumidor, Procesos Internos y Capacidad Organizacional (también llamada Aprendizaje y Crecimiento). Dichas perspectivas se resumen en la figura 11.

<b>Financial or Stewardship</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Financial Performance</li> <li>• Effective Resource Use</li> </ul>	
<b>Customer &amp; Stakeholder</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Customer Value</li> <li>• Satisfaction and/or Retention</li> </ul>	
<b>Internal Process</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efficiency</li> <li>• Quality</li> </ul>	
<b>Organizational Capacity or Learning &amp; Growth</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Human Capital</li> <li>• Infrastructure &amp; Technology</li> <li>• Culture</li> </ul>	

*Figura 11: Las cuatro perspectivas básicas de un Balanced Scorecard. . Fuente: (Balanced Scorecard Institute, 2017)*

En la filosofía del BSC, se habla de Key Performance Indicators, o KPIs. Éstos pueden definirse como “indicadores críticos del progreso hacia un resultado deseado” (KPI.org, 2017). Estos indicadores son importantes porque “proveen un enfoque hacia la mejora estratégica y operacional, crean bases analíticas para la toma de decisiones y ayudan a centrar la atención en lo que más interesa” (KPI.org, 2017).

## 6 Metodología

A continuación, se explican detalladamente todas las etapas en la realización del presente proyecto. Dichas etapas son las mismas que se muestran en el Diagrama de Gantt, en la figura 12 del presente documento. Para una visualización más eficiente de los objetivos y actividades, se muestran en forma tabular a continuación:

*Tabla 1: Objetivos, actividades y herramientas para la ejecución del proyecto*

<b>Objetivos específicos del Proyecto</b>	<b>Actividad</b>	<b>Herramienta o Método</b>
<b>Evaluar la necesidad de un Modelo de Gestión de Mantenimiento en la empresa Paradise Ingredients, mediante una auditoría al Departamento de Ingeniería y Mantenimiento basada en herramientas como ISO 19011 “Guidelines for auditing management systems” y el procedimiento de auditoría del libro Organización y Gestión Integral de Mantenimiento.</b>	Conocer el ambiente empresarial	Participación en charlas y capacitaciones sobre normativas internas y protocolos de seguridad
	Recopilación de información	Entrevistas a los funcionarios, revisión de historiales de Mantenimiento, visitas de campo para observar procedimientos
	Estudio, adaptación y aplicación del procedimiento planteado en ISO 19011 “Guidelines for auditing management systems” a las necesidades de la empresa, para así dictaminar la factibilidad y enfoque que deberá tener el Modelo de Gestión de Mantenimiento a diseñar	ISO 19011 “Guidelines for auditing management systems” y procedimiento de auditoría propuesto por el libro Organización y Gestión Integral de Mantenimiento
<b>Recomendar acciones en el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento orientadas hacia el cumplimiento de las metas establecidas en el tablero de indicadores con el que cuenta el Departamento</b>	Revisión de la tabla de criticidad global de la empresa	Tabla de criticidad existente y lista de equipos por departamento
	Indagar sobre los tipos de mantenimiento existentes y organización actual del Departamento	Entrevista con Jefe de Mantenimiento
	Analizar datos obtenidos en la auditoría y plantear recomendaciones acordes	Análisis de ingeniería practicante-empresa

<b>Recomendar nuevos indicadores para el Cuadro de Mando Integral del Departamento, basados en los procedimientos de las normas UNE-EN 15341, UNE 66175 y VDI2893</b>	Verificar los indicadores existentes actualmente en el Departamento	Consulta a encargado de actualizar tablero de indicadores
	Recomendar nuevos indicadores con base en criterio de ingeniería	Normas UNE-EN 15341, UNE 66175 y VDI2893
	Clasificar los indicadores nuevos según sea su tipo	Normas UNE-EN 15341, UNE 66175 y VDI2893
<b>Determinar mediante un análisis financiero la viabilidad de implementación del modelo de gestión de mantenimiento propuesto, haciendo uso de indicadores financieros como Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno, PR e Índice de Deseabilidad</b>	Determinar los costos de implementar el modelo de gestión	Salarios mínimos del MTSS Cantidad de horas hombre dedicadas por área del Modelo de Gestión Propuesto
	Determinar los beneficios proyectados	Reducción del desperdicio con 6 grandes pérdidas del TPM Reducción de inventarios con base en criticidad de los activos Datos de producción de la planta Mejora de confiabilidad, RCM
	Analizar la factibilidad financiera de implementación del Modelo de Gestión de Mantenimiento	Valor Actual Neto Tasa Interna de Retorno Período de Recuperación Índice de Deseabilidad

Fuente: elaboración propia

Una vez alcanzados estos objetivos, se diseñará un Modelo de Gestión adecuado para la empresa, de acuerdo con la información ya recabada hasta este punto, y se procederá a desarrollar las etapas finales de la ejecución del proyecto.

Finalmente, se presentará un resumen del trabajo realizado al Coordinador de Prácticas profesionales, y se realizará la defensa del proyecto ante el jurado que asigne la Escuela de Ingeniería Electromecánica del Tecnológico de Costa Rica en las fechas establecidas para tal fin.

Cabe destacar que, durante la ejecución de la práctica profesional, la información se recabará mediante visitas regulares a la empresa, en las que se entrevistará a los empleados y se

revisará la literatura que facilite la empresa, así como un sustento teórico fundamentado en búsquedas de información en Internet y en la Biblioteca del Tecnológico de Costa Rica, además mediante consultas con los expertos en el área de la Escuela de Ingeniería Electromecánica.

## **7 Alcances**

Por un lado, de ser implementado adecuadamente, el Modelo de Gestión de Mantenimiento debería ser capaz de vincular los indicadores de Mantenimiento con los objetivos globales de la empresa desde las diferentes perspectivas del BSC, así como lograr una reducción de los costos asociados a mantenimiento, consecuencia directa de una reducción en el sobre y sub-mantenimiento a equipos de baja criticidad, una mejora en la confiabilidad y en la disponibilidad de estos.

Por otro lado, de implementarse el Modelo podría servir de guía o ejemplo para que otros departamentos de Paradise Ingredients realicen cambios positivos en la gestión de los activos que tienen a cargo, convirtiéndose así un agente generador de cambio a nivel global en la planta. Dado que el Modelo tomará en cuenta elementos del TPM que competen a otras áreas, como por ejemplo las 6 grandes pérdidas, así como metodologías multidisciplinarias como la del RCM, esta sinergia entre departamentos (producción, compras, calidad) puede potenciar aún más los resultados del Modelo de Gestión propuesto.

Contabilizar los beneficios de esta cadena de eventos es complejo, dado que interfieren múltiples factores, ajenos al control del presente proyecto; sin embargo, no cabe duda de que el Modelo planteado traería resultados positivos para las finanzas, procedimientos y cultura organizacional de Paradise Ingredients.

## 8 Limitaciones

Dentro de las limitaciones en la implementación en campo de lo planteado en el presente proyecto, debe considerarse la posibilidad de una resistencia al cambio en la cultura organizacional del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, la cual se puede subsanar mediante una capacitación apropiada al personal del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento acerca del Modelo de Gestión a implementar. Dicha capacitación puede consistir en charlas informativas, así como foros participativos; de esta forma se obtendría una retroalimentación acerca de la actitud hacia el cambio que presente el personal.

Resulta importante aclarar que debido a las pocas semanas con las que se cuenta para el desarrollo de la práctica profesional, es muy probable que la implementación completa del Modelo de Gestión propuesto no se lleve a cabo. Sin embargo, sí podría evaluarse la implementación en pequeños módulos, para analizar los resultados obtenidos y realizar proyecciones basado en estos, lo cual permitiría una mejora continua del modelo desde su implementación incipiente.

Una posible limitación también podría ser la importancia que se le brinde de parte de la empresa al Modelo de Gestión de Mantenimiento frente a otros proyectos de inversión. Si bien es cierto el Modelo busca generar beneficios económicos, es posible que existan otras prioridades dentro del Departamento de Mantenimiento que hagan que la implementación del Modelo se dé a futuro o incluso no se llegue a dar del todo.

Otra limitación puede ser que el Departamento no cuente con la cantidad suficiente de recurso humano para realizar las labores planteadas en el Modelo, en cuyo caso se recomienda incluir personal nuevo o redistribuir las labores para que así se puedan llevar a cabo las nuevas actividades, que se consideran de suma importancia para la mejora de la gestión del Departamento.

## **9 Cronograma proyectado para el desarrollo del proyecto**

A continuación, se muestra un cronograma proyectado para el desarrollo de la práctica profesional en Paradise Ingredients. El mismo se presenta como diagrama de Gantt, dada su facilidad de interpretación. Se muestran las actividades mínimas requeridas para el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo junto con el tiempo establecido para las mismas, sin embargo, esto no limita que se puedan realizar otras labores adicionales para cumplir dicha meta, dentro del período programado.

En la figura 12 se puede observar un diagrama de Gantt donde se resume la ejecución del proyecto. Se muestran las actividades mínimas a desarrollar para cubrir los objetivos planteados, así como los plazos previstos para completar dichas actividades.

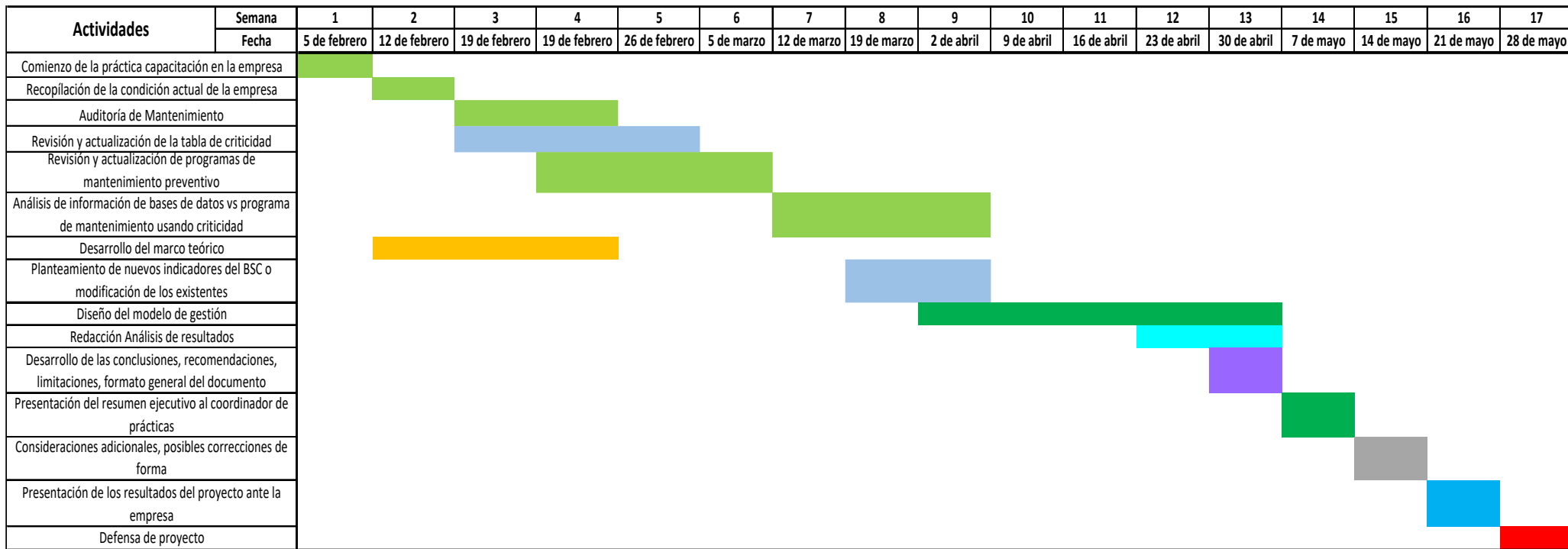


Figura 12: Diagrama de Gantt para la ejecución de la práctica profesional en Paradise Ingredients. Fuente.: Elaboración propia



## 10 Situación actual

### 10.1 Estructura del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento

El Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients cuenta ya con una Misión y Visión definidas, como se muestra a continuación:

**Misión:** Implementar un sistema de mantenimiento planificado, sólido y rentable que nos garantice la disponibilidad y confiabilidad de los activos de nuestra planta, con cero accidentes, cero defectos y cero paros.

**Visión:** Ser el departamento modelo de la región, manteniendo los mejores indicadores en seguridad, sostenibilidad, disponibilidad y confiabilidad de nuestros activos, a través del liderazgo en el análisis y solución de problemas, de la mano del desarrollo de nuestra gente en un ambiente de respeto y honestidad.

Fuente: (Koying, 2018)

El Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients cuenta con 24 colaboradores fijos, así como con 5 personas contratadas por *outsourcing* (siempre con la misma empresa). Su estructura a nivel empresarial es centralizada, en la que Mantenimiento se encuentra al mismo nivel organizacional que otras áreas como producción o calidad.

En la figura 13, se muestra un organigrama de la estructuración actual del Departamento:

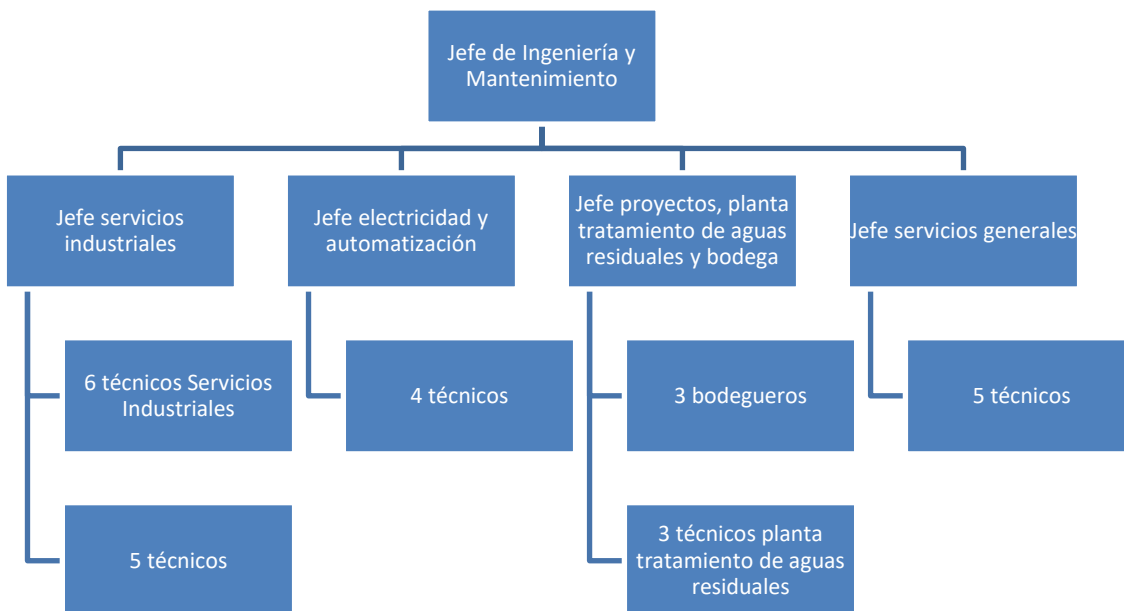


Figura 13: Organigrama del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las responsabilidades de cada uno de los puestos, se tiene lo siguiente:

**Jefe servicios generales:** responsable del área mecánica y la de servicios industriales (calderas, vapor, agua potable, aire comprimido, sistemas de enfriamiento).

**Jefe E&A (electricidad y automatización):** responsable del área eléctrica, electrónica, automatización y metrología de la planta.

**Jefe de proyectos, planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y bodega:** responsable del área de ingeniería de proyectos, bodega de repuestos, y la planta de tratamiento de aguas.

**Jefe de servicios generales:** responsable del área de servicios generales de la planta.

Fuente: (Koying, 2018)

## 10.2 Tipos de Mantenimiento

En Paradise Ingredients actualmente se realizan 3 tipos de mantenimientos: Emergencia, Correctivo y Preventivo. A nivel de base de datos, se manejan con “Códigos de Clase de Orden”, a saber:

- PM01: Mantenimiento de emergencia
- PM02: Mantenimiento correctivo
- PM03: Mantenimiento preventivo

**Mantenimiento de emergencia y correctivo:** por un lado, estos tipos de mantenimiento difieren entre sí en que en el mantenimiento de emergencia ya existe un paro en una línea de proceso por un fallo de un equipo, o bien un equipo compromete la seguridad de los trabajadores, por lo que hay que detenerlo para intervenirlo inmediatamente. Por otro lado, en el mantenimiento correctivo no se trata con paros de producción, pero sí amerita una intervención rápida del equipo, la cual se realiza en el cambio de turno (horas de aseo y reacomodo de los operarios antes de salir del turno) o bien al finalizar la semana, según sea el estado actual de la máquina.

**Mantenimiento preventivo:** se realiza de acuerdo con la planificación programada en SAP, misma que está basada en los manuales de mantenimiento de los equipos. En la hoja de mantenimiento que se imprime para cada orden de trabajo, se detalla específicamente las herramientas, implementos de seguridad, materiales y repuestos requeridos para llevar a cabo la intervención, normativa ambiental y de seguridad, así como instrucciones detalladas paso a paso para que el técnico realice la intervención.

Sin embargo, existe en este apartado del mantenimiento preventivo una gran oportunidad de mejora, pues se puede personalizar el mantenimiento para cada equipo crítico mediante un análisis de ingeniería del entorno real de operación del equipo en el proceso de

Paradise Ingredients, con objeto de determinar si existe sobre o sub-mantenimiento al seguir solamente la recomendación expresa en el manual del fabricante del equipo. Una vez realizado lo anterior, se puede lograr una disminución de los tiempos de parada y a la larga un ahorro económico para la empresa.

En cuanto a las áreas objeto de mantenimiento, se destacan 4 principales: Mecánica, Eléctrica, Edificio y Servicios. En estas áreas es que se planifican y ejecutan las órdenes de trabajo según el programa existente de mantenimiento. Adicionalmente, existe otra área denominada Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR); sin embargo, la mayoría de las labores de mantenimiento de PTAR las realizan los mismos técnicos del lugar.

#### 10.2.1 Actualización de programas de mantenimiento preventivo

A continuación, se muestra el listado de equipos recomendados por el encargado de Mantenimiento, de acuerdo con los problemas presentados e importancia para la empresa (todos clasificados como Criticidad A en la lista de criticidad actual):

1. PLC (4714-BAN-CON-CCM-PLC CONCENTRADORES)
2. Homogenizador (4714-BAN-ASE-LLE-HOMOGENIZADOR GEA)
3. Llenadora Scholle (4714-BAN-ASE-LLE-LLENADORA SCHOLLE)
4. Sistema de Nitrógeno (tanques, etc) (4714-BAN-PRE-1NV-TK NITROGENO)
5. Chiller sistema tubular aséptico (4714-BAN-SER-REF-CHILLER TUBULAR)
6. Compresor 76A (Sistemas de enfriamiento con Nitrógeno) (4714-BAN-SER-REF-COM 76A)
7. Finisher cónico (4714-BAN-PRE-1NV-FINISHER CONICO 3)

Si bien es cierto estos equipos son vitales para la planta, es importante considerar los que arroje un nuevo estudio de la tabla de criticidad utilizando el Análisis de Criticidad Total por Riesgo que se planteará más adelante en este documento, pues esto daría un panorama más amplio al Departamento acerca de cuáles equipos evaluar prioritariamente, para luego llevar a cabo una migración de las políticas y cambios realizados a otros equipos similares en la planta.

### 10.3 Análisis de la base de datos de mantenimiento actual

El Departamento cuenta actualmente con una base de datos simple, que consiste en libros de Excel (uno por año, comenzando en 2017 hasta la fecha), en los que se hace un recuento detallado de los paros de las distintas áreas productivas de la planta.

A partir de la información mostrada, la base de datos, se observa que para las áreas que forman parte del Departamento (Electricidad y Automatización, Mecánica-Eléctrica, Servicios Industriales), el fallo más recurrente es la Pérdida de Esterilidad en la línea de Banano Aséptico, que precisamente es la que presenta mayor volumen de producción de toda la planta, rondando usualmente el 80 % de la producción.

Las pérdidas en esterilidad son particularmente delicadas, pues si no se garantiza esterilidad en el sistema en el producto terminado, se pueden presentar crecimientos bacterianos que lo dejarán inservible después de un corto tiempo de ser envasado (cabe recordar que el banano aséptico es un tipo de presentación en la que el banano se puede almacenar a temperatura ambiente), trayendo consecuencias nefastas a la imagen de marca, a las ventas de la compañía e, incluso, a la salud del consumidor final. De esta manera, cada vez que se pierde esterilidad se debe detener por completo la línea de aséptico por aproximadamente 4 horas, mientras se reestablecen las condiciones de esterilidad en el sistema.

A modo de ejemplo, como la disponibilidad de la línea de Banano Aséptico depende directamente de la disponibilidad del esterilizador, se calcula a continuación la disponibilidad de la línea de Banano Aséptico para el año 2017.

La fórmula para calcular la disponibilidad de un equipo (o línea de producción dependiente de un equipo) es la siguiente:

$$Disponibilidad = \frac{Equipos\ programados - Equipos\ con\ paro}{Equipos\ programados} * 100$$

Fuente: (Dounce, 2014)

Horas totales de paro por mantenimiento relacionadas con pérdida de esterilidad durante 2017: 95.58 horas

Horas Netas Programadas (HNP) Mensuales: 430.2 horas

Horas Netas Programadas Anuales: 5162.4 horas

$$Disponibilidad_{Aséptico,2017} = \frac{5162.4 - 95.58}{5162.4} * 100$$

$$Disponibilidad_{Aséptico,2017} = 98.15 \%$$

Es importante rescatar que para este cálculo se incluyen tanto los paros programados como los no programados que afectan el equipo de esterilización durante el período dado.

### 10.4 Revisión general de la tabla de criticidad

Se parte del hecho que la empresa cuenta actualmente con una tabla de criticidad, que incluye 419 equipos (cuya clasificación de criticidad ya se encuentra ingresada en la base de datos SAP) en la cual asigna un valor de criticidad de A, B o C, siendo A el más crítico, B una criticidad media y C una baja criticidad. Dicha tabla de criticidad data de la administración Nestlé, por lo que cuenta con requerimientos legales propios de las políticas internas de dicha casa matriz en algunos de sus criterios de selección.

El diagrama de flujo (o árbol de decisión) de cómo se asigna la criticidad a los equipos en la empresa se denomina *FLOC's*, y se muestra en la figura 14, a continuación:

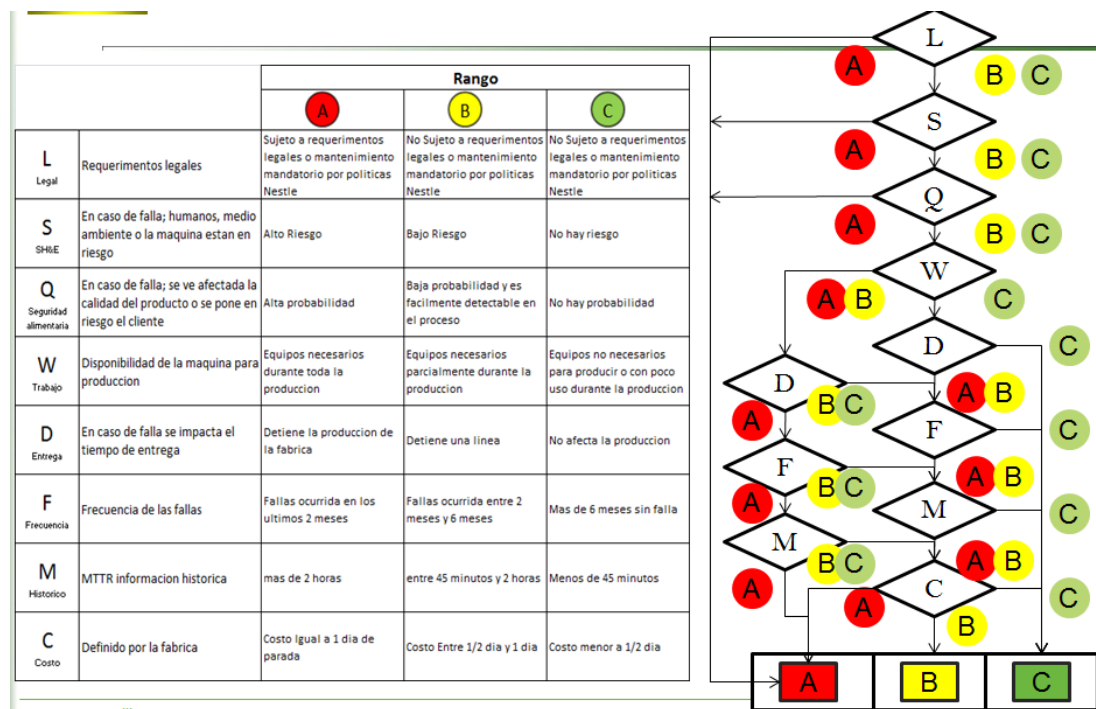


Figura 14: árbol de decisión de criticidad *FLOC's* de los equipos. Fuente: Paradise Ingredients, 2018

Sin embargo, a partir de una revisión rápida de criticidad asignada a los equipos, se observa que existen algunos de ellos cuya clasificación actual no corresponde al resultado entregado por el árbol de decisión. Un ejemplo de lo anterior es el “Manifold principal de vapor”, código SAP 4714-BAN-SER-CAL-MANIFOLD PRINCIPAL VAP, clasificado como C o de baja criticidad. Dicho equipo proporciona vapor de alta presión a gran parte de los equipos productivos, y sirve para esterilizar en muchas áreas que tienen contacto con el banano. Al analizar el ítem S (SH&E, Safety, Health and Environment) se le

debería asignar una clasificación A, pues en caso de falla existe un alto riesgo de quemaduras para el personal presente en el cuarto de calderas, con lo cual automáticamente se le asigna una clasificación de máxima criticidad. Similarmente, con el ítem Q (calidad) se le debe asignar una clasificación A pues en caso de falla se compromete la calidad del esterilizado.

De manera análoga, se encuentran equipos cuya criticidad de acuerdo con el árbol de decisión debería ser C, es decir, baja. Como ejemplo, el aire acondicionado de finanzas (código SAP 4714-BAN-SER-AUX-AC FINANZAS), considerado actualmente de criticidad alta, no cumple con los criterios para ninguno de los puntos que se estudian en el árbol de decisión de criticidad (L, S, Q, W, D, F, M o C) para ser catalogado de esa manera.

Por las razones anteriores, se procede a revisar, analizar y corregir la tabla de criticidad completa. Para esto, se estudian a continuación los diferentes modelos de cálculo de criticidad existentes en la industria.

#### 10.4.1 Modelos de criticidad

Entre los modelos comúnmente aceptados para establecer la criticidad de los equipos en un proceso productivo, se encuentran los siguientes (Parra & Crespo, 2012):

- Método de flujograma de análisis de criticidad
- Método de Criticidad Total por Riesgo (CTR)
- Modelo de Criticidad Cuantitativo (AHP, *Analytic Hierarchy Process*)

A continuación, se procede a explicar brevemente en qué consiste cada uno de ellos.

##### 10.4.1.1 Método de flujograma de análisis de criticidad

El método de flujograma o árbol de decisión para análisis de criticidad consiste en “un análisis puramente cualitativo sobre la jerarquía de equipos de producción”. (Parra & Crespo, 2012). Generalmente, el resultado de la jerarquización se da en 3 niveles de criticidad, denominados A para la mayor criticidad, B criticidad leve o media y C para equipos con poca o nula criticidad. Para lograr dicha clasificación, se realizan preguntas estratégicas en un determinado orden a diferentes sectores de la compañía involucrados con el equipo y, dependiendo de las respuestas y la lógica del árbol, así será la clasificación resultante. En la figura 15 se muestra un ejemplo de flujograma para determinación de criticidad de los equipos:

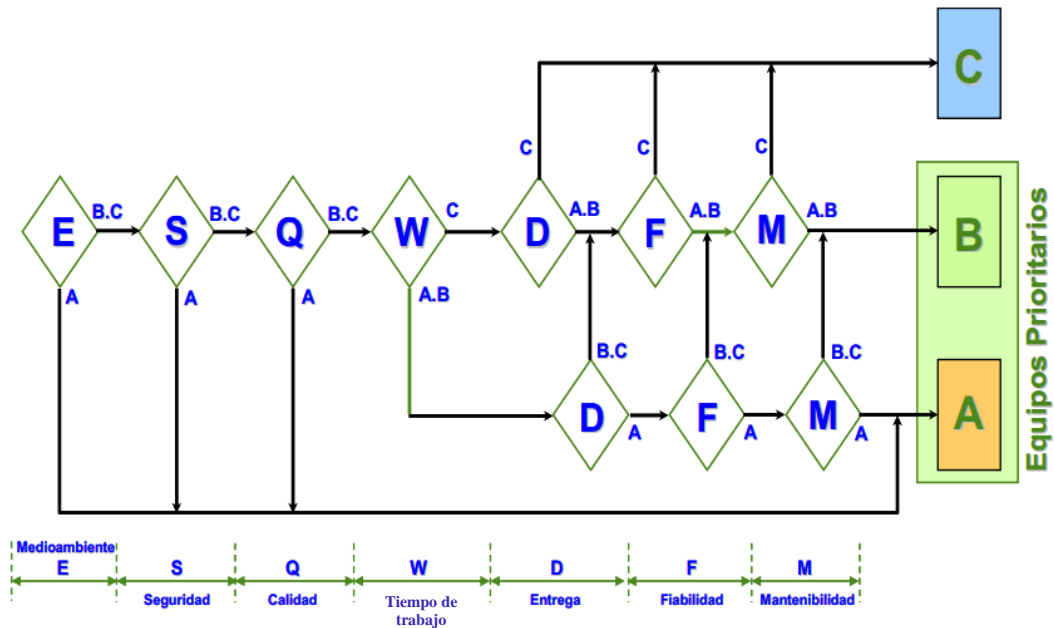


Figura 15: Ejemplo de flujograma para la determinación de la criticidad de los equipos. Fuente: (Parra & Crespo, 2012)

#### 10.4.1.2 Método de Criticidad Total por Riesgo (CTR)

Este método es un “un proceso de análisis semicuantitativo (...) soportado en el concepto del riesgo, entendido como la consecuencia de multiplicar la frecuencia de un fallo por la severidad de este” (Parra & Crespo, 2012). La criticidad total por riesgo se calcula mediante la multiplicación de dos factores, como bien lo apuntan los autores. La fórmula para calcular la CTR (Criticidad Total por Riesgo) es la siguiente (Parra & Crespo, 2012):

$$CTR = FF * [(IO * FO) + CM + SHA]$$

Donde:

- FF: frecuencia de fallos, cantidad de fallas por unidad de tiempo dada
- IO: factor de impacto en la producción
- FO: factor de flexibilidad operacional
- CM: factor de costes de mantenimiento
- SHA: factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente

Con los resultados de este modelo, se puede generar una matriz de criticidad basada en las consecuencias de un fallo y la frecuencia. En la figura 16, se muestra un ejemplo de matriz generada. Se muestran zonas en rojo de sistemas Críticos (C), sistemas de Media Criticidad (MC) y sistemas de No Criticidad (NC).

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Figura 16: Ejemplo de Matriz de riesgo generada usando el método Criticidad Total por Riesgo. Fuente: (Parra & Crespo, 2012)

#### 10.4.1.3 Modelo de Criticidad Cuantitativo (AHP, Analytic Hierarchy Process)

Esta metodología es “una poderosa y flexible herramienta de toma de decisiones multicriterio, utilizada en problemas en los cuales necesitan evaluarse aspectos tanto cualitativos como cuantitativos” (Parra & Crespo, 2012). Los aspectos críticos de un problema se estructuran jerárquicamente de una forma similar a las estructuras de árbol del método de flujogramas.

Después de analizar los modelos presentados, los recomendados para la empresa son el árbol de decisión de criticidad con el que ya cuentan (FLOC), o bien el método CTR, por el enfoque que tiene este último en el impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente de los equipos, que se alinea con la política interna “SHE” (*Safety, Health and Environment*) con que ya cuenta la empresa. Además, los otros métodos mencionados requieren de más información para hacer el cálculo, misma que actualmente no se está recopilando ni se tienen registros previos.

De los modelos presentados previamente, el que se utiliza actualmente en Paradise Ingredients es el flujograma para análisis de criticidad, heredado de la administración Nestlé. Sin embargo, para una clasificación más rápida y precisa de la criticidad de un gran número de equipos, se propone utilizar el método de criticidad total por riesgo (CTR) que genera una matriz en la que se clasifican los equipos de acuerdo con 3 niveles de criticidad (A, B y C), del mismo modo que se realiza actualmente.

Este modelo presenta la ventaja que, con la lista existente de los equipos, se puede automatizar el cálculo de criticidad utilizando una hoja de cálculo, con lo cual el análisis de criticidad de nuevos equipos, así como de los cientos de equipos ya existentes, se realiza mucho más rápidamente, sin tener que recorrer el árbol de decisión una vez por cada equipo. Si bien es cierto el método CTR es semicualitativo, permite una mejor



cuantificación de la criticidad que un árbol de decisión, así como un cálculo y catalogación más fácil de la criticidad.

### **10.5 Revisión del Cuadro de Mando Integral**

Paradise Ingredients cuenta actualmente con un Cuadro de Mando Integral de toda la compañía, en el cual se manejan indicadores propios de la empresa. Por otro lado, el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento cuenta algunos indicadores propios del Departamento como el porcentaje de ejecución de órdenes de trabajo, clasificadas por tipo de mantenimiento (PM01, PM02 y PM03) y por áreas (Mecánica, Eléctrica, Edificio y Servicios), así como el Tiempo Medio para Reparar (MTTR) y Tiempo Medio entre Fallas (MTTF). Sin embargo, según (Verein Deutscher Ingenieure, 2006) “los indicadores por sí solos -y menos los individuales- no son suficientes para satisfacer satisfactoriamente las preguntas sobre los resultados y efectos en el mantenimiento”.

Entonces, ¿por qué implementar un cuadro de Mando Integral o *Balanced Scorecard* exclusivo para Mantenimiento, si ya se cuenta con indicadores individuales? Al respecto, (Verein Deutscher Ingenieure, 2006) destaca lo siguiente:

“los factores típicamente usados para evaluar el mantenimiento son intensidad o frecuencia de los mantenimientos, examinar la eficiencia y viabilidad económica del mantenimiento sólo desde el punto de vista de costos. Los sistemas de indicadores, por ejemplo, en la forma de un *balanced scorecard* extienden este punto de vista y por tanto consideran aspectos a evaluar relacionados con el rendimiento”.

Adicionalmente, una de las problemáticas actuales en el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento consiste en que no se tiene un historial digital de los indicadores mencionados, sino que se anotan en una bitácora manualmente a modo de registro, razón por la cual no se cuenta tampoco con gráficas de tendencia que reflejen el comportamiento de los indicadores por área durante el tiempo. Por ejemplo, sería de gran utilidad poder analizar los indicadores gráficamente de forma mensual o anual, para así observar patrones mes a mes en un mismo año, así como entre distintos años, y utilizar esta información para planificar de mejor manera el mantenimiento de los equipos por temporada productiva o de manera adaptable a ciertas variaciones cíclicas en las características del banano a lo largo del año.

### **10.6 Software de gestión de mantenimiento SAP**

Una de las problemáticas actuales con la gestión del mantenimiento realizada en el *software* SAP, es que algunos operarios de mantenimiento realizan las órdenes de trabajo,

pero no las “cierran” en la base de datos, por lo que al final del período de la apertura algunas quedan sin concluir. Esto a su vez impacta negativamente los resultados mostrados en los indicadores de rendimiento semanales (el porcentaje de órdenes de trabajo concluidas por área disminuye). Todos estos procesos repercuten negativamente en la gestión del mantenimiento, pues no se conoce con certeza si una orden de trabajo a punto de vencer o ya vencida realmente fue llevada a cabo.

Una posible solución a este inconveniente es incentivar a los operarios que tienen el hábito de no cerrar órdenes de trabajo a que lo hagan, demostrándoles que esto tiene un impacto negativo en los indicadores del departamento y, por tanto, en la imagen de mantenimiento frente a otros departamentos.

Otra problemática observada en la operación con las órdenes de trabajo, que provoca malestar en los mismos funcionarios, es que se estas se generan impresos y se distribuyen al personal a cargo de realizar la intervención en el equipo. Esto conlleva un gasto excesivo de papel. A modo de ejemplo, en el 2015 se generaron 12085 órdenes de trabajo totales para todos los tipos de mantenimiento y todas las áreas involucradas.

$$12085 \text{ OTs} * \frac{4 \text{ pág}}{\text{OT}} * \frac{1 \text{ resma}}{500 \text{ pág}} * \frac{2500 \text{ colones}}{\text{resma}} = 241700 \text{ colones}$$

Estos resultados se ofrecen sin considerar costos de impresión y medioambientales, así como rezagos en la entrega de órdenes físicas (incremento del Tiempo Medio de Reparación, MTTR) y pérdida de estas completa o parcialmente. Una alternativa a este gasto podría ser entregar una tableta electrónica a cada operario o cuadrilla, vinculada a la base de datos en SAP, en la que lleguen las OTs digitalmente una vez que el Gerente ha dado un visto bueno o firma electrónica. Esto agilizaría considerablemente este proceso, lo que redundaría en beneficio para la planta.

## 10.7 Presupuesto de mantenimiento

Existe en el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento una gran posibilidad de mejora en cuanto a la gestión de los presupuestos destinados al mismo. A modo de ejemplo, se muestra la siguiente tabla, en la que se puede observar que en 5 de las 6 áreas objeto de mantenimiento se excedieron los presupuestos en el año 2016.

Tabla 2: Costos vs presupuesto de las diferentes áreas objeto de mantenimiento durante el 2016

Costos Edificio	163,77 %
Costos E&A	172,77 %
Costos MECAELEC	107,70 %
Costos SERVICIOS	102,23 %
Costos UNBW	90,67 %
Costos M&i	120,29 %

Fuente: (Koying, 2018)

Existe, por tanto, una necesidad imperante de cumplir las metas propuestas a lo interno del Departamento en gestión del gasto.

## 11 Auditoría del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento

Para efectos de la auditoría a realizar en el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients, en relación con el sistema de gestión actual, se toman como referencia los lineamientos planeados en la Norma Internacional ISO 19011:2011(E) “Directrices para la Auditoría de Sistemas de Gestión” así como lo mencionado por (García Garrido, 2003) en su libro Organización y Gestión Integral de Mantenimiento, específicamente en la subsección denominada “Auditorías de Calidad de Mantenimiento”.

Se considera la norma ISO 19011, porque la planta ya cuenta con certificaciones ISO 9001 e ISO 14001, por tanto, sería un buen complemento al marco normativo actualmente establecido en la empresa, además que constituye una guía de alta calidad para la planificación y ejecución de una auditoría al Departamento.

Se plantea la realización de una auditoría interna, también llamada ‘de primera parte’, las cuales según ISO en su norma “Directrices para la Auditoría de Sistemas de Gestión” “se realizan por, o en nombre de, la propia organización, para la revisión por la dirección y con otros fines internos (ej. para confirmar la efectividad del sistema de gestión o para obtener información para la mejora del sistema de gestión). Las auditorías internas pueden constituir la base para la autodeclaración de conformidad de una organización.” (ISO 19011, 2011)

En cuanto al alcance de la auditoría, se realizó únicamente al Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients, en todas sus áreas de influencia, durante las primeras semanas de la ejecución de la práctica profesional (semanas 2 y 3). Lo anterior se realizó con la finalidad de obtener información concluyente respecto al funcionamiento del Departamento, para así recomendar acciones correctivas sobre la gestión durante el resto de la estadía en la empresa orientadas a las necesidades reales y actuales de esta.

Dentro de los métodos para realizar la auditoría, se puede mencionar que se realizaron entrevistas con el personal del departamento involucrado (Gerencia, Ingenieros, Técnicos, personal de Bodega) así como visitas de campo para contrastar y verificar la información obtenida en dichas entrevistas. Dado que se trabaja con información sensible para la empresa, hay que destacar que los resultados de auditoría tendrán el manejo confidencial requerido para estos casos, garantizando la integridad de la compañía en todo momento.

Con el fin de efectuar la gestión de la auditoría, se siguió el diagrama de flujo recomendado en la norma ISO 19011 que se muestra en la figura 17. A continuación, se define cada paso para la auditoría en cuestión:

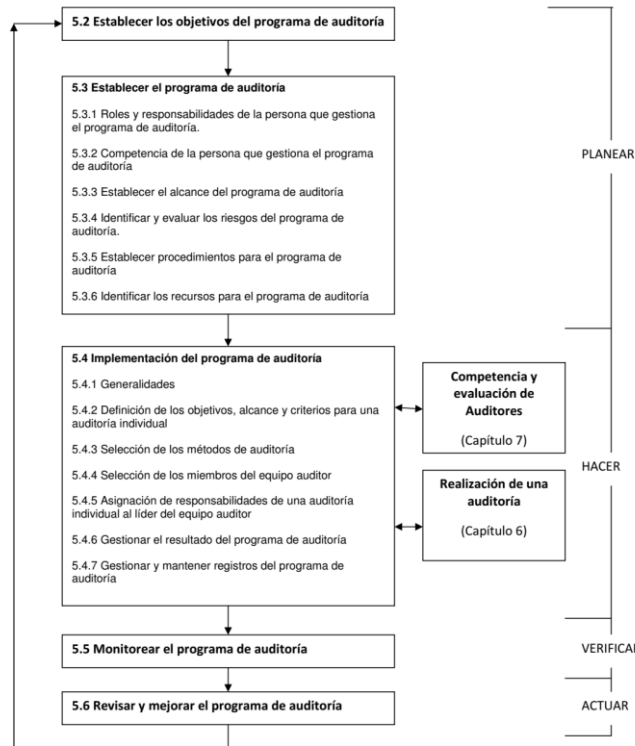


Figura 17: Flujo de proceso para la gestión de la auditoría. Fuente: (ISO 19011, 2011)

## 11.1 Establecimiento de los objetivos del Programa de Auditoría

A continuación, se plantean los objetivos de la presente auditoría:

- Contribuir con el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento en la mejora de su desempeño
- Evaluar la efectividad de las herramientas de gestión del mantenimiento que se usan actualmente en el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento
- Identificar las áreas clave del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento en las que existe necesidad de mejora
- Fundamentar las bases para la posible aplicación futura de otras normas (i.e. ISO 55000) en las que se requiera haber realizado auditorías al Departamento de Ingeniería y Mantenimiento

## 11.2 Establecimiento del programa de auditoría

### 11.2.1 Roles y responsabilidades de la persona que gestiona el programa de auditoría

Dentro de los deberes del encargado de la auditoría, se pueden mencionar los siguientes:

- Establecer el alcance de la auditoría (ISO 19011, 2011)
- Informar a la alta gerencia el contenido de la auditoría y hacer énfasis en algún aspecto que pudiera comprometer al Departamento de Ingeniería y Mantenimiento en temas de seguridad o higiene
- Determinar los recursos requeridos para realizar la auditoría (ISO 19011, 2011)
- Asegurar un buen manejo y mantenimiento adecuados de los registros generados en el programa de auditoría (ISO 19011, 2011)
- Identificar y evaluar los riesgos del programa de auditoría (ISO 19011, 2011)
- Implementar el programa de auditoría (incluyendo la determinación de los objetivos, alcance y métodos de auditoría) (ISO 19011, 2011)

### 11.2.2 Competencia de la persona que gestiona el programa de auditoría

La persona encargada del programa de auditoría debe ser competente en principios, procedimientos y métodos de auditoría, así como en las actividades, productos y procesos del auditado (ISO 19011, 2011) y del mismo modo debe ser capaz de llevar el programa de auditoría a buen término.

#### **Establecimiento del alcance del programa de auditoría**

El alcance de la auditoría debe permitir, al menos, discernir las áreas del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento en las que existen problemas en la gestión del mantenimiento. Adicionalmente, con base en la información recabada en el proceso de auditoría y las áreas críticas ya definidas, se deben plantear recomendaciones a la gerencia del departamento que permitan mitigar esos problemas paulatinamente. Por último, el programa de auditoría debe ser repetible, para que en un determinado período de tiempo se pueda volver a llevar a cabo la auditoría y verificar si se lograron disminuir los problemas de gestión de mantenimiento.

### 11.2.3 Identificación y evaluación de los riesgos del programa de auditoría

Dentro de la identificación y evaluación de riesgos del programa de mantenimiento, el riesgo más importante en la presente auditoría es no cumplir con el cronograma de 2 semanas. En caso de ocurrir esto, se podría negociar una extensión de una o incluso dos semanas al cronograma de la auditoría para poder completarla correctamente. Otro riesgo por considerar en el programa de auditoría es el monitoreo y seguimiento de los resultados

obtenidos en la auditoría, para lo cual se recomienda una reunión con la gerencia del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento al finalizar la práctica para observar si existió mejora en la gestión.

#### 11.2.4 Establecimiento de los procedimientos para el programa de auditoría

Si, al llevar a cabo la auditoría, el resultado obtenido no refleja realmente la condición del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento (a criterio de gerencia o expertos de la empresa), se deberá realizar una inspección detallada de la información recopilada durante la auditoría, tanto su veracidad como pertinencia, de manera tal que si existe información falsa, inexacta o contradictoria se pueda corregir únicamente un módulo o sección de la auditoría para obtener los resultados globales nuevamente.

Por otro lado, en cuanto al manejo de la información sensible obtenida y generada en la auditoría, se propone consultar con la Gerencia del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento qué información se puede presentar en la exposición del proyecto al jurado del Tecnológico de Costa Rica, para así evitar fugas indeseadas de información. Se recomienda, además, que el Departamento guarde en los servidores de la compañía y algún otro servidor externo con altos protocolos de seguridad cibernética los registros de la auditoría, para tener redundancia en la información.

#### **Identificación de los recursos del programa de auditoría**

Se debe contar con registros de información del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento que sean accesibles para el auditor, del mismo modo que un presupuesto financiero para llevar a cabo la auditoría inicial (y subsecuentes). Además, debe existir disponibilidad de tiempo del personal involucrado en el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento para realizar las entrevistas pertinentes, así como las visitas de campo que requiera el auditor para cerciorarse de la veracidad y calidad de la información brindada.

### **11.3 Implementación del programa de auditoría**

#### 11.3.1 Definición de objetivos, alcance y criterios de auditoría

En este caso, al consistir en una única auditoría individual, los objetivos, alcance y criterios de la auditoría individual son los mismos que el programa de auditoría. Dentro de los criterios de auditoría, se hace una adaptación del modelo planteado por (García Garrido, 2003) en su libro “Organización y Gestión Integral de Mantenimiento”, mediante una revisión de las preguntas pertinentes al tipo de industria en cuestión. Dicho cuestionario de auditoría puede encontrarse en la sección de anexos del presente documento. Además, se plantea la siguiente división por áreas clave del mantenimiento

para la generación del Índice de Conformidad por área y global (el autor plantea solamente el cálculo del global):

- Mano de obra
- Medios técnicos
- Métodos de trabajo
- Materiales
- Resultados obtenidos
- Seguridad
- Medio ambiente

### 11.3.2 Selección de los métodos de auditoría

En la figura 18 se muestra la clasificación de los métodos de auditoría que establece ISO 19011:

Grado de interacción entre el auditor y el auditado	Ubicación del auditor	
	En sitio	Remota
<b>Interacción humana</b>	Conducir entrevistas. Completar listas de verificación y cuestionarios con la participación del auditado. Revisión documental con participación del auditado. Muestreo.	A través de medios de comunicación interactiva: — entrevistas; — completar listas de chequeo y cuestionarios; — revisión documental con participación del auditado.
<b>Sin interacción humana</b>	Revisión documental (ej. registros, análisis de datos). Observación del trabajo realizado. Visita a sitio. Completar listas de verificación. Muestreo (ej. productos).	Revisión documental (ej. registros, análisis de datos). Observación de trabajo a través de medios de vigilancia, teniendo en cuenta requisitos legales y sociales. Análisis de datos.
Las actividades de auditoría en sitio son llevadas a cabo en las instalaciones del auditado. Las actividades de auditoría remota son desarrolladas en otro sitio diferente a las instalaciones del auditado, independientemente de la distancia.		
Las actividades interactivas de auditoría involucran interacción entre el personal del auditado y el equipo auditor. Las actividades no interactivas de auditoría no involucran interacción humana con personas que representan al auditado pero sí con equipo, instalaciones y documentación.		

Figura 18: Métodos de auditoría planteados por la ISO 19011. Fuente: (ISO 19011, 2011)

Para la presente auditoría, se selecciona el método en sitio y una mezcla de interacción y no interacción entre auditor y auditado. Esto porque si bien es cierto se plantea realizar entrevistas con el personal de mantenimiento, también la recolección de información mediante la observación del trabajo realizado y las visitas al sitio se consideran de relevancia para la labor de auditoría que se pretende realizar.

### 11.3.3 Selección de los miembros del equipo auditor

Los miembros del equipo auditor son:

- Josué Castillo, líder auditor
- Juan Pablo Arias, experto técnico
- Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients, auditado (representado por Carlos Koying)



#### 11.3.4 Asignación de responsabilidad de auditoría individual

El responsable del programa de auditoría actual es el propio líder auditor. Debe hacerse responsable de utilizar el equipo de protección personal (EPP) y no comprometer la seguridad alimentaria de la planta mientras realiza sus labores de auditoría. Además, debe tener buena voluntad de apoyar futuras revisiones sobre la implementación de las recomendaciones generadas por el análisis que entregue de los resultados de la auditoría, así como cualquier otra acción de seguimiento. Por último, es responsable de salvaguardar la integridad y seguridad digital de los registros generados en la auditoría.

#### 11.3.5 Gestión del resultado del programa de auditoría

Es labor del encargado del programa de auditoría generar (en este caso al tratarse del mismo auditor) los reportes de auditoría, que incluyan una “evaluación de idoneidad y conveniencia de los hallazgos de auditoría” (ISO 19011, 2011). En cuanto a la profundidad y detalle de los reportes, ISO 19011 afirma que “la forma y nivel de detalle de los registros debería demostrar que los objetivos del programa de auditoría han sido alcanzados” (ISO 19011, 2011). Una vez estructurado esto, presentar el problema, la causa y la solución propuesta a la alta gerencia y otras partes relevantes. Finalmente, se debe valorar si es requerido una auditoría de seguimiento. (ISO 19011, 2011)

#### 11.3.6 Monitoreo del programa de auditoría

El encargado del programa de auditoría debe ser capaz de modificar el curso de la auditoría, sus objetivos o metodología de acuerdo con la información que se vaya encontrando al ejecutar el estudio. Entre los factores que pueden modificar el programa de auditoría, se encuentran:

- “Hallazgos de auditoría
- Nivel demostrado de efectividad del sistema de gestión
- Cambios en el sistema de gestión del cliente o del auditado
- Cambios en las normas, requisitos legales y contractuales y otros requisitos a los que la organización se suscriba
- Cambio de proveedor” (ISO 19011, 2011)

#### 11.3.7 Revisión y mejora del programa de auditoría

El encargado del programa de auditoría debe realizar una revisión del programa para así determinar si se están alcanzando los objetivos pactados del programa. Lo anterior tiene como finalidad implementar un proceso de mejora continua en el programa de auditorías. Por tanto, es importante utilizar la información recabada luego de la primera auditoría y

subsecuentes para ingresar dichos datos como entradas del proceso de mejora continua. (ISO 19011, 2011)

Entre los aspectos clave a considerar en la revisión del programa de auditorías, se debe considerar lo siguiente:

- “Resultados y tendencias del monitoreo del programa de auditoría
- Conformidad con los procedimientos del programa de auditoría
- Necesidades y expectativas cambiantes de las partes interesadas
- Registros del programa de auditoría
- Métodos nuevos o alternativos de auditoría
- Efectividad de las medidas tomadas para tratar los riesgos asociados con el programa de auditoría
- Temas de confidencialidad y seguridad de la información relacionados con el programa de auditoría” (ISO 19011, 2011)

Además, se recomienda que el encargado del programa revise la implementación general del programa para así poder encontrar puntos débiles a mejorar, emitir acciones correctivas para el programa y también, del mismo modo que con los resultados obtenidos en la auditoría, informar de cualquier problemática encontrada y sus medidas correctivas a la alta gerencia.

#### **11.4 Ejecución de la auditoría**

Para la etapa de ejecución de la auditoría, se toma como referencia lo planteado por ISO 19011 al respecto. El diagrama de flujo de las actividades y etapas de ejecución de la auditoría planteado por dicha norma se muestra en la figura 19.

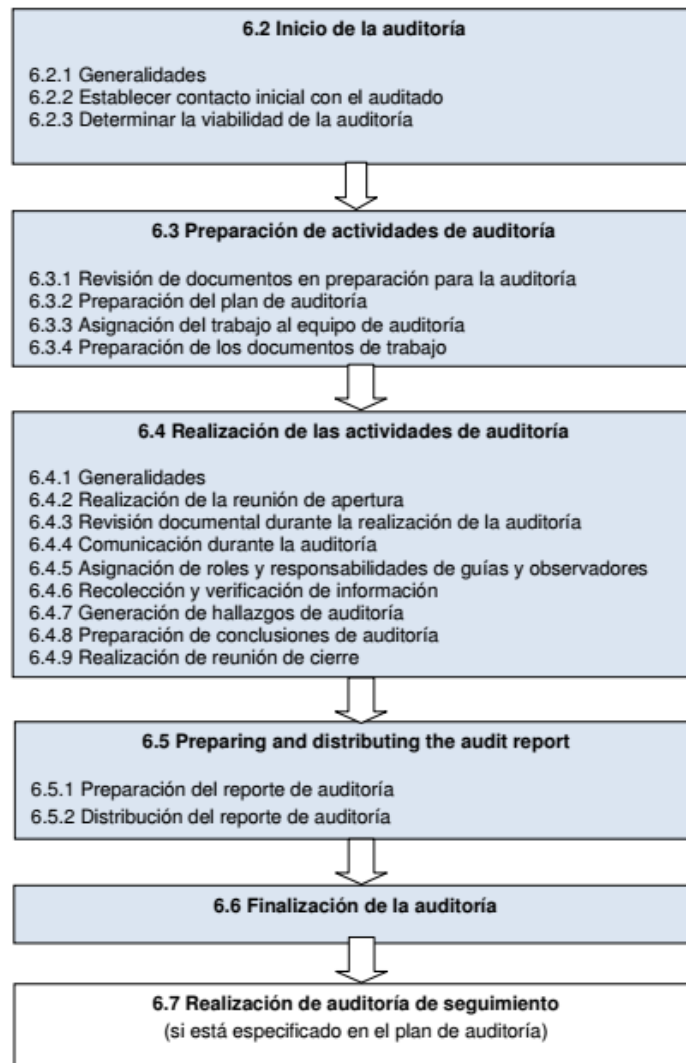


Figura 19: Diagrama de flujo para la ejecución de la auditoría y sus etapas. Fuente: (ISO 19011, 2011)

### 11.5 Preparación y distribución del informe de auditoría

Entre los hallazgos generados por la auditoría aplicada, se encontró que el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento en términos generales posee una muy buena gestión de mantenimiento, de acuerdo con la clasificación planteada por (García Garrido, 2003), al alcanzarse un índice de conformidad global del departamento de 77 %. En la figura 20 puede verse un gráfico radial con los resultados de la auditoría realizada, en el que cada vértice corresponde a un área objeto de auditoría en el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento.

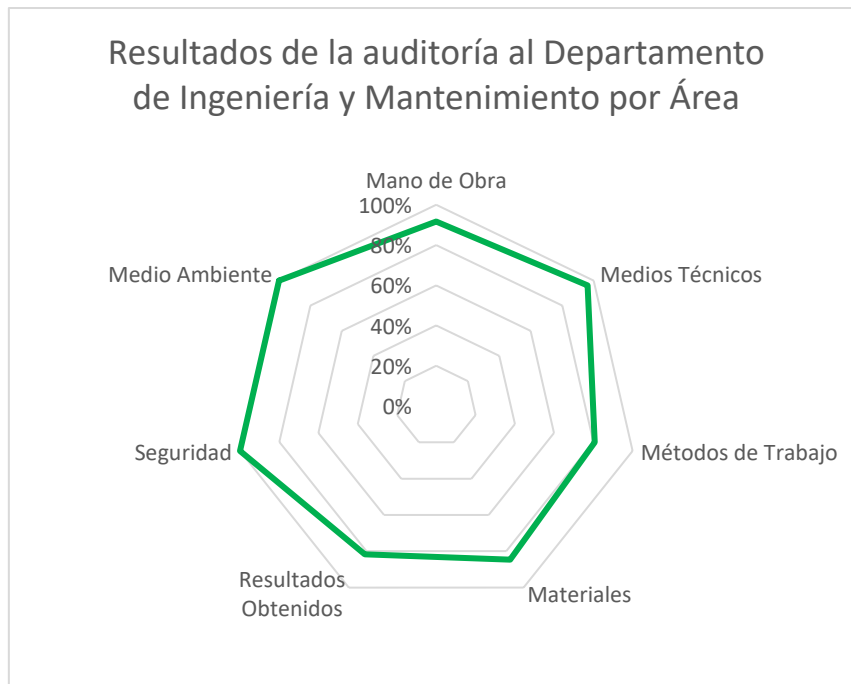


Figura 20: Gráfico radial que muestra los resultados de la auditoría ejecutada en el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients. Fuente: elaboración propia.

Los índices de conformidad por área son los mostrados en la tabla 3:

Tabla 3: Índices de conformidad por área del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients

Índices de conformidad por área	
Mano de Obra	<b>92 %</b>
Medios Técnicos	<b>96 %</b>
Métodos de Trabajo	<b>81 %</b>
Materiales	<b>85 %</b>
Resultados Obtenidos	<b>82 %</b>
Seguridad	<b>100 %</b>
Medio Ambiente	<b>100 %</b>
<b>Global</b>	<b>77 %</b>

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con (García Garrido, 2003), dichos resultados deben interpretarse utilizando la siguiente escala:

Valores de referencia para los índices de conformidad	
<40 %	Área muy deficiente
40-60%	Aceptable pero con posibilidad de mejora
60-75%	Buena gestión
75-85%	Muy buena gestión
>85%	El área tiene una gestión de mantenimiento excelente

Figura 21: Valores de referencia para los índices de conformidad del cuestionario de auditoría. Fuente: (García Garrido, 2003)

Dado que las áreas de Mano de Obra, Medios Técnicos, Seguridad y Medio Ambiente exceden el 90 % de cumplimiento de los criterios establecidos en la auditoría realizada, no se considera relevante enfocar los esfuerzos de mejora ni plantear componentes específicos en el modelo de gestión para la mejora de estas áreas, ya que actualmente tienen una gestión excelente de acuerdo con (García Garrido, 2003).

Sin embargo, áreas como Métodos de Trabajo, Materiales y Resultados Obtenidos son las que obtuvieron la clasificación más baja de acuerdo con la metodología de auditoría aplicada, que si bien es cierto de acuerdo con la clasificación de García tienen una muy buena gestión, son las áreas donde existe una mayor posibilidad de mejora para equiparar a las demás áreas. Por tanto, en esto es que se va a centrar más adelante el desarrollo del modelo de gestión.

En la sección “Recomendaciones” del presente informe, se presentan los hallazgos más importantes descubiertos durante el desarrollo de esta breve auditoría. Se recomienda su revisión.

## 12 Modelo de Gestión de Mantenimiento

Según la norma ISO 55000 “Gestión de activos — Aspectos generales, principios y terminología”, existen varios factores que intervienen en el tipo de activos que una organización requiere para alcanzar sus objetivos. A continuación, se mencionan los siguientes algunos (ISO 55001, 2014):

- Naturaleza y propósito de la organización
- El contexto operacional
- Restricciones financieras y requisitos regulatorios
- Las necesidades y expectativas de la organización y las partes interesadas

Por tanto, en estos factores es que se debe centrar un modelo de gestión de activos incipiente.

Un modelo de mantenimiento debe responder a las necesidades no sólo del departamento de mantenimiento, sino también a las necesidades globales de la empresa. Esto queda ejemplificado con la siguiente cita:

“Un modelo de gestión de mantenimiento debe ser eficaz, eficiente y oportuno, es decir, debe estar alineado con los objetivos impuestos en base a las necesidades de la empresa, minimizando los costos de mantenimiento (asociados con las pérdidas de producción). A su vez, debe ser capaz de operar, producir y lograr objetivos con el mínimo costo (minimizando los costes directos de mantenimiento), generando a su vez actividades que permitan mejorar los indicadores clave del proceso de mantenimiento, asociados a mantenibilidad y confiabilidad”.

(Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, & Crespo, 2013)

De acuerdo con estos autores, se pueden definir claramente dos ciclos de trabajo en un buen modelo de gestión de mantenimiento. El primer ciclo, que por cierto es el más básico, es “el Ciclo Habitual de Mantenimiento, o bien ciclo de trabajo estándar, explica la secuencia lógica del proceso táctico-operativo de las actividades de mantenimiento, las cuales son: planificación, programación, asignación de tareas/trabajo y la ejecución correspondiente” (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, & Crespo, 2013).

El ciclo anteriormente mencionado es el que tiene actualmente bien definido y en uso el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients. Sin embargo, no se cuenta con una estructura bien definida, por ejemplo, para recibir aportes o sugerencias provenientes de los técnicos respecto de la ejecución de las órdenes de trabajo; ni se analizan a profundidad las órdenes de trabajo ya ejecutadas, por la dificultad intrínseca de analizar tal volumen de información.



**Etapa 3:** análisis de puntos débiles en equipos de alto impacto

**Etapa 4:** diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios

**Etapa 5:** programación del mantenimiento y optimización en la asignación de los recursos

**Etapa 6:** evaluación y control de la ejecución del mantenimiento

**Etapa 7:** análisis del ciclo de vida y de la posible renovación de equipos

Fuente: (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, & Crespo, 2013)

En la figura 23 se muestra el Modelo de Gestión de Mantenimiento planteado por Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera y Crespo (2013) en su artículo “Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo.

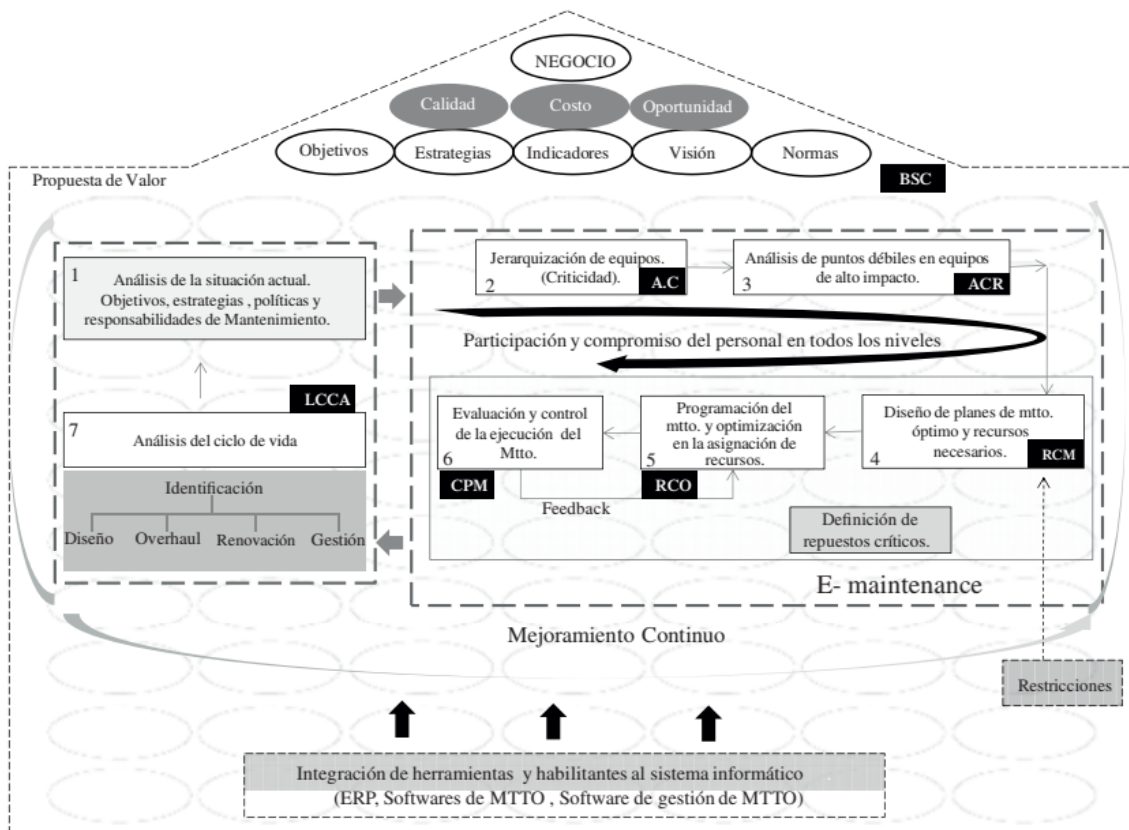


Figura 23: Modelo de Gestión de mantenimiento planteado por (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, & Crespo, 2013). Fuente: (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, & Crespo, 2013)



## 12.1 Diseño del Modelo de Gestión de Mantenimiento para el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients

Se plantean a continuación una serie de elementos clave que deben ser parte del modelo propuesto. Es importante notar que todos estos elementos deben formar parte de un proceso de mejora continua que permita la modificación y adaptabilidad del modelo para las nuevas exigencias que pueda tener el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento. Es decir, el modelo propuesto debe satisfacer los requerimientos actuales y futuros en materia de organización, planificación, ejecución y análisis del mantenimiento.

### 12.1.1 Modelo de gestión planteado para el Departamento

En la figura 24, se muestra el Modelo de Gestión de Mantenimiento propuesto para el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients. Este modelo toma en consideración herramientas de gestión ya existentes en la empresa, como las siguientes:

- Tabla de criticidad
- Tablero de indicadores
- Registro de reparaciones (hoja de datos en Excel)
- Software SAP
- Inventario de bodega de repuestos
- Ejecución de labores de mantenimiento
- Procesos de soporte

Adicionalmente, se incluyen nuevos elementos a las herramientas ya existentes en el Departamento, como lo son:

- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Centered Maintenance, RCM) para los equipos de criticidad A
- Análisis del Ciclo de Vida (Life Cycle Cost Analysis, LCCA)
- Nuevos indicadores para el tablero actual
- Sistema de sugerencias de mantenimiento

Cabe destacar que se siguió la simbología recomendada por la Organización de Estándares Internacionales (ISO), en su norma “Information processing -- Documentation symbols and conventions for data, program and system flowcharts, program network charts and system resources charts” (ISO 5807, 2005) así como el documento

denominado “Guía para la elaboración de diagramas de flujo” publicado por el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica MIDEPLAN (Calderón & Ortega, 2009).

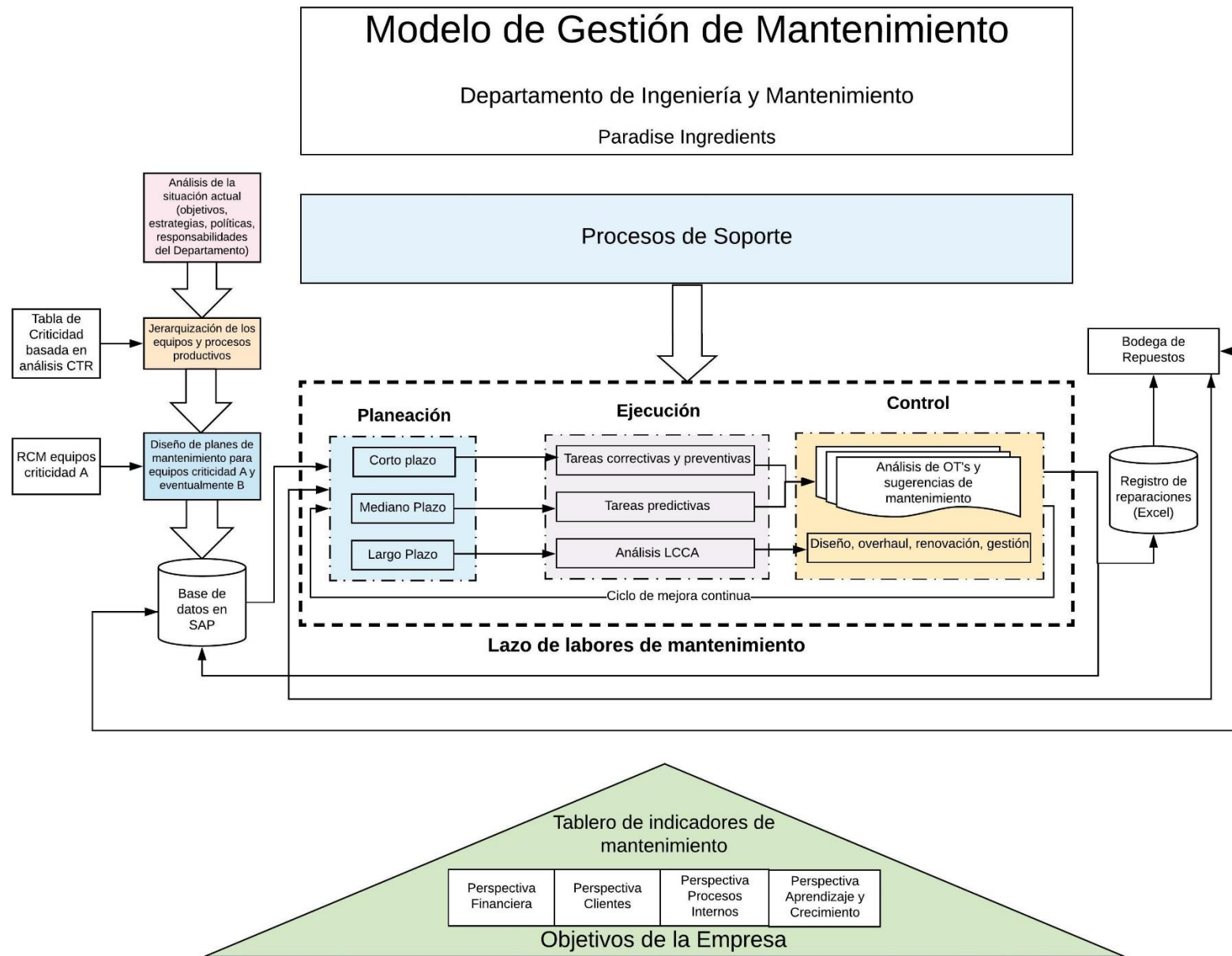


Figura 24: Modelo de gestión propuesto para el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients. Fuente: elaboración propia.

### 12.1.2 Relaciones entre las diferentes áreas del modelo

El modelo de gestión de mantenimiento planteado tiene un punto de entrada, así como una secuencia de pasos que se debe realizar muy pocas veces en un funcionamiento normal del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, cuyo fin es sentar las bases para el funcionamiento continuo del modelo. Esta región se encuentra a la derecha de la figura 23. Esta sección contiene las siguientes etapas:

- Análisis de la situación actual
- Jerarquización de los equipos y procesos productivos
- Diseño de planes de mantenimiento para equipos de criticidad A, B y C

Cada una de estas etapas se explica a continuación.

#### **Análisis de la situación actual**

En esta etapa se realiza un estudio de los objetivos del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, las estrategias de mantenimiento y de gestión que se aplican actualmente, las políticas internas del Departamento, así como sus responsabilidades dentro de la estructura de la empresa en relación con otros departamentos. Es importante en esta etapa tener en consideración la visión gerencial de la empresa, representada en la misión y visión de esta (o en su defecto el propósito de la compañía) para que las acciones a tomar en el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, vaya siempre enfocadas a la obtención de resultados alineados con la razón de ser de la compañía.

#### **Jerarquización de los equipos y procesos productivos**

En esta etapa se busca priorizar los equipos y líneas de proceso, con la intención de canalizar los recursos de mantenimiento a las actividades más críticas para la empresa. Para realizar la jerarquización de los equipos, se genera una tabla de criticidad basada en un análisis de Criticidad Total por Riesgo (CTR). Este análisis considera la frecuencia de los fallos, así como las consecuencias de los eventos de los fallos, y finalmente los ubica en una posición específica dentro de una matriz de riesgo en 3 categorías o áreas posibles, a saber, equipos de alta criticidad (A), equipos de media criticidad (B) y, finalmente, equipos de baja o nula criticidad (C). Esta jerarquización será un insumo para la siguiente etapa del Modelo.

#### **Diseño de planes de mantenimiento para equipos de criticidad A, B y C**

Una vez llevada a cabo la jerarquización de los equipos y procesos en la etapa anterior, se procede a actualizar los planes de mantenimiento ya existentes mediante la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM por sus siglas en inglés

(*Reliability Centered Maintenance*). Esta actualización se realizaría primeramente a los equipos clasificados con criticidad A en la matriz de criticidad obtenida, pues dichos equipos son los que representan más riesgo para la seguridad de los operarios o del ambiente, o bien una frecuencia de fallas más elevada que el resto. Posteriormente, se puede extender esta metodología a los equipos de criticidad media (B).

No se recomienda sin embargo realizar RCM a equipos de baja o nula criticidad (A), pues la cantidad de equipos en esta clasificación se espera que sea alta, y representan poco o nulo riesgo para los operarios y el ambiente o bien no tienen altas frecuencias de falla, por lo que de aplicar la metodología RCM se estarían desperdiciando recursos del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento en algo que no traería mayor beneficio.

Resulta muy relevante que los planes de mantenimiento se confeccionen con base en una metodología más que en los manuales de mantenimiento porque cada necesidad y condición de operación del equipo es específica del proceso productivo en el que dicho equipo se encuentre involucrado, por lo que seguir solamente las recomendaciones de los fabricantes puede generar sobremantenimiento o submantenimiento.

La metodología RCM ha probado ser de gran utilidad en este aspecto, ya que analiza la función, la falla funcional, el modo de falla, sus efectos y consecuencias y plantea acciones proactivas para la supresión de las fallas, todo esto de la mano del entorno de operación real del equipo.

Una vez que se han diseñado los planes de mantenimiento nuevos y actualizado los existentes, se procede a introducirlos a la base de datos en SAP para su posterior ejecución en el ciclo de labores de mantenimiento, mediante la generación de órdenes de trabajo, como se explicará más adelante.

### **Procesos de soporte**

Este proceso se refiere a toda aquella información proveniente de otros departamentos que tienen relación con el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, como por ejemplo datos de producción, fechas estimadas de arribo de piezas, equipo y materias primas brindadas por el Departamento de Compras, datos del Departamento de Calidad y cualquier. Engloba, además, cualquier otro proceso interno de la compañía que ayude a mantenimiento a la realización de sus labores, como pueden ser auditorías internas y consultorías..

### **Ciclo de Labores de Mantenimiento**

En este ciclo, existen 3 componentes explícitos principales, a saber: Planeación, Ejecución y Control, involucrados es un ciclo de mejora continua. Esto tiene su

fundamento en el ciclo PHVA que consiste en “Planificar, Hacer, Verificar y Actuar” (el nombre del ciclo proviene de las iniciales), también conocido como ciclo Deming (ISOTools, 2017). En la norma ISO 9001: 2015, se menciona y explica en los apartados 02 y 03. Dado que la planta cuenta actualmente con esta certificación, no debería representar una dificultad migrar este procedimiento al Modelo de Gestión propuesto. Es muy importante que las tareas de mantenimiento se ejecuten en forma consecutiva siguiendo este ciclo, pues de otra manera generaría confusión en la operación del Departamento y sería fuente de errores y posibles fallos de mantenimiento. A continuación, se explica brevemente el funcionamiento de cada una de estas etapas.

### **Planificación**

La planificación puede realizarse en 3 distintas unidades de tiempo, a saber: corto, mediano y largo plazo, que luego se verán reflejadas en la etapa de ejecución de las labores. La planificación de corto plazo corresponde a las labores de mantenimiento correctivas y preventivas, es decir, PM02 y PM03 en la clasificación interna de la planta. Se sobreentiende que las labores de emergencia (las PM01) no requieren una planificación, sino que deben seguir un protocolo previamente establecido, en especial si son emergencias que ponen en riesgo la vida o salud de los operarios o bien la integridad de los equipos. Esta planificación se verá reflejada en la etapa de ejecución como tareas de índole correctivo y preventivo.

### **Ejecución**

En la etapa de ejecución, se realizan los trabajos de campo correspondientes a mantenimiento. Normalmente se ejecutan siguiendo órdenes de trabajo, generadas por la base de datos en el *software* SAP, de acuerdo con la planificación establecida en la etapa anterior. La ejecución consiste en actividades catalogadas como PM02 y PM03 en el corto plazo, así como actividades de mantenimiento predictivo (que no están catalogadas actualmente en el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, cuya codificación podría ser PM04) en el mediano plazo, que permitan detectar problemas incipientes en los equipos antes de que suceda el fallo. Finalmente, en el largo plazo, se debe realizar un Análisis del Costo del Ciclo de Vida de los Activos (LCCA, por sus siglas en inglés) para verificar que se opere con la mayor rentabilidad posible para cada equipo.

### **Control**

En la etapa de control, es de gran importancia fiscalizar que la ejecución de las órdenes de trabajo se realice de acuerdo con la planificación establecida, así como los aspectos

técnicos que competen a cada tipo de intervención, velando siempre porque se haga uso de las buenas prácticas de ingeniería. Adicionalmente, es importante fiscalizar que las órdenes de trabajo se ejecuten cumpliendo la tabla de tiempos de intervención para cada tipo de trabajo, para así asegurar que no se están desperdiciando horas laborales de los operarios.

Lo anterior tiene una consecuencia importante, porque si no se controla integralmente el cumplimiento de las intervenciones, cabe la posibilidad que no se ejecuten en el plazo preestablecido (a pesar de estar completada la orden de trabajo en SAP), o bien no se realicen correctamente de acuerdo con el procedimiento presente en la orden de trabajo, volviendo así inútil la labor de mantenimiento.

Actualmente, el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento no cuenta con un sistema estructurado para la recepción y análisis de sugerencias que puedan tener los técnicos respecto de la planificación y ejecución del mantenimiento, por tanto, se plantea también en la parte de control recopilar esta información y analizarla, con el fin de incluir aquella retroalimentación que pueda ayudar efectivamente en la gestión del mantenimiento.

Los resultados del análisis de las órdenes de trabajo y las sugerencias de mantenimiento que ameriten se deben incluir en la base de datos de SAP, para tener un respaldo digital de las órdenes ejecutadas y que las sugerencias se implementen en la siguiente planificación de mantenimiento en el plazo que corresponda. Del mismo modo, esta información se le debe alimentar al registro de reparaciones que se lleva actualmente en un libro de Excel.

### **Bodega de repuestos**

La información proveniente del Registro de reparaciones (que a su vez es proveniente del análisis de las órdenes de trabajo y las sugerencias de mantenimiento) se incluye en la bodega de repuestos, como una reducción del inventario. Esto se hace a modo de confirmación de la información, pues la base de datos de SAP está disponible también en la bodega, actualizándose automáticamente la cantidad de repuestos disponibles en el inventario cada vez que se genera una orden de trabajo. Sin embargo, si en una orden de trabajo no se utilizó algún repuesto por una razón particular, la bodega de repuestos se entera de forma más expedita de esta manera y debe actualizarlo en la base de datos de SAP.

Por otro lado, la bodega de repuestos debe poseer un inventario acorde a lo establecido en los programas de mantenimiento ya realizados mediante la metodología RCM en las primeras etapas del modelo, pues esto garantizará que los repuestos mínimos requeridos

para los modos de falla más comunes de los equipos siempre estén en bodega para las reparaciones, tanto planeadas como no planeadas, sin llegar a tener un exceso de inventario. Del mismo modo, los repuestos de los equipos con criticidad A deben tener prioridad en el inventario por las consecuencias que puede traer en la producción no tenerlos disponibles.

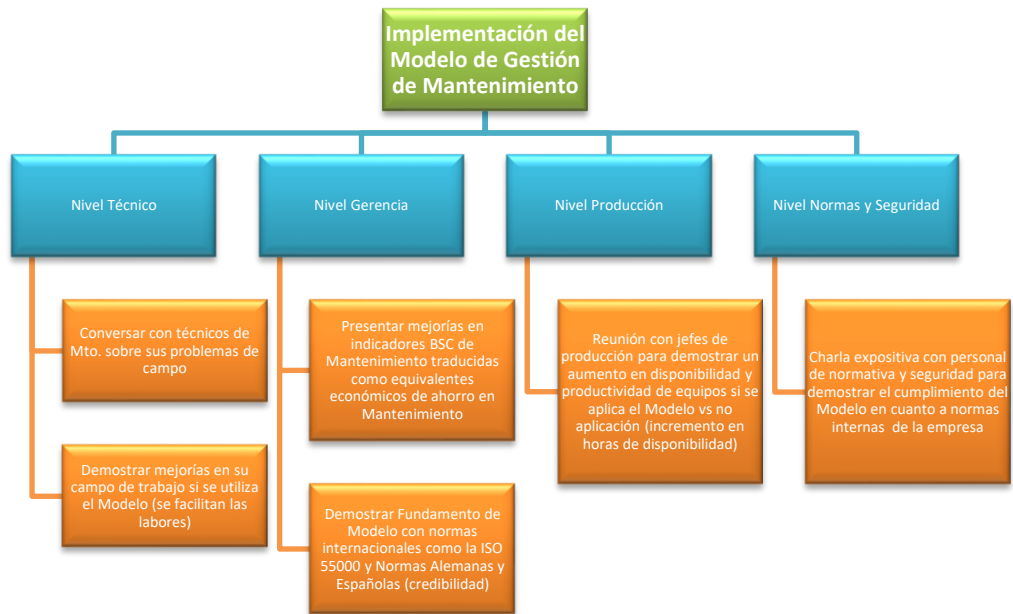
### **Tablero de indicadores de mantenimiento**

En la base del modelo, se encuentra un tablero de indicadores de mantenimiento. Estos se clasifican mediante las perspectivas planteadas por la filosofía del *Balanced Scorecard* en 4 áreas específicas, a saber: Perspectiva financiera, Perspectiva clientes, Perspectiva procesos internos, y, finalmente, Perspectiva aprendizaje y crecimiento. Es importante mencionar que todos los indicadores de los cuales lleve control el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento deben estar alineados con los objetivos globales de la empresa, por eso se dice que la base del Modelo de Gestión de Mantenimiento la constituyen dichos objetivos.

Los indicadores de mantenimiento se deben seleccionar, cuando sea necesario incluir uno nuevo, de acuerdo con una metodología predeterminada, como por ejemplo la establecida por la norma VDI-2893 o bien la presentada en la norma AENOR EN 15341:2007. Una selección de indicadores aptos para la condición actual del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento se encuentra disponible en la siguiente sección 13 del presente documento.

Para una eventual implementación del modelo, se plantea el siguiente diagrama de actividades por área:





*Figura 25: Actividades a realizar según el nivel empresarial para la implementación del modelo de gestión de mantenimiento propuesto. Fuente: elaboración propia*

## **13 Evidencias de implementación temprana del Modelo de Gestión de Mantenimiento propuesto**

A continuación, se muestra una serie de actividades y documentos que se desarrollaron para la implementación temprana del Modelo de Gestión propuesto en la sección anterior. Cabe resaltar que estas actividades y documentos se consideran parte esencial para arrancar con la implementación del Modelo y, si, bien es cierto, pueden ser necesarios documentos adicionales, los presentados pueden ayudar en la motivación del personal del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento para que se implementen módulos o secciones adicionales del Modelo.

### **13.1 Revisión de planes de mantenimiento preventivo**

Entre las actividades de implementación temprana del modelo, se revisaron en búsqueda de inconsistencias y posibles mejoras las rutinas de mantenimiento de algunos equipos considerados de alta criticidad por el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, así como órdenes de trabajo comunes para varios equipos.

Se encontraron, entre las más importantes, la orden de trabajo para cambio de motores para mantenimiento (orden 51), la orden de análisis de aceite del compresor (orden 90), la orden de trabajo de análisis de aceite para los compresores de amoníaco (orden 38), la orden de trabajo para la termografía de paneles eléctricos (257). A dichas órdenes de trabajo (y otras más) se les realizaron sugerencias en la formulación de sus instrucciones, las cuales posteriormente fueron revisadas en conjunto con el gerente del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento. Por ejemplo, en la orden 90, el procedimiento de toma de muestra era:

“Con el compresor apagado bajarle presión a 20 psi máximo  
Abrir la válvula de purga de la parte inferior del compresor  
Tomar una muestra  
Tomar el analizador de aceite y limpiar hasta a la posición high (alto), la pantalla hara un barrido total y regresara hasta cero  
En el este momento el símbolo “cal” parpadeara  
Presione el botón de test una vez, el parpadeo debe desaparecer  
En el este equipo esta calibrado  
Si manipular los botones limpie la celda del aceite nuevo, con unisol, limpiar con una gaza quirúrgica sellar con una muestra del aceite usado  
Presione el botón de test durante 10 seg hasta que la lectura se estabilice  
Interpretación de la lectura  
Si la lectura queda en el área verde el estado del aceite es aceptable  
Si la lectura queda en el área roja nos indica que el aceite se debe cambiar” y no se indica cómo se debe tomar la muestra.”

Puede observarse que se indica simplemente “tomar una muestra” pero el procedimiento queda incompleto y deja abierta a interpretación la forma correcta de tomar dicha muestra. Se sugiere entonces seguir las buenas prácticas en la toma del aceite, para ello se debe incluir limpieza del orificio de purga para evitar presencia de materiales ajenos a la muestra antes de tomarla. Seguidamente, se debe extraer una cantidad de aceite previo a la muestra final, para de esta manera permitir que cualquier contaminante restante en el orificio de purga luego de la limpieza vaya a dar a la muestra final. Además, no se deben reutilizar o mezclar contenedores de aceite, así como utilizar guantes de látex desechables para evitar contaminar la muestra de aceite.

De la misma manera, se modificaron otros planes de mantenimiento durante la estadía en Paradise Ingredients; sin embargo, se debe proseguir con este proceso de revisión como parte de la implementación del Modelo luego que el practicante termine su período de visitas.

### **13.2 Análisis de la Tabla de Criticidad Actual**

De manera similar que, en el caso de la revisión de Programas de Mantenimiento, se realizó una revisión breve de la Tabla de Criticidad actual de la empresa, y se detectaron inconsistencias en la criticidad de algunos equipos, por ejemplo, se consideran actualmente 5 aires acondicionados como equipos de alta criticidad, sin que se logre demostrar dicha clasificación al recorrer el flujograma de criticidad utilizado por la empresa. Por esta razón es que se plantea el Análisis de Criticidad Total por Riesgo CTR. Para la migración de la Tabla de Criticidad actual a una compatible con el Análisis CTR, se plantea una modificación del archivo de Excel en el que tienen actualmente clasificados los equipos, de manera tal que, con sólo indicar cada factor para el equipo, el valor de criticidad total por riesgo se calcule y actualice automáticamente. Este nuevo formato se muestra en la figura 26.

Figura 26: Formato de cálculo de Criticidad Total por Riesgo. Fuente: Elaboración propia

### 13.3 Formato de sugerencias de mantenimiento

Durante la estada en Paradise Ingredients, se desarrolló una plantilla que se considera apropiada para las necesidades actuales del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, con el fin de recopilar las sugerencias que puedan tener los colaboradores con respecto a las rutinas de mantenimiento en campo de los equipos. Dicha plantilla se muestra en la sección siguiente.

#### 13.3.1 Boleta de sugerencias para el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento

## Paradise Ingredients



### Boleta de sugerencias para el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento

Nombre de la persona que ejecuta la Orden de Trabajo

---

Código de Orden de Trabajo

---

Área

- Mecánica
  Eléctrica
  Edificio
  Servicios Industriales

Fecha de ejecución

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Comentario o sugerencia

---



---



---



---

Firma del ejecutante

---

### 13.4 Formato de RCM

Dado no solo que el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es parte vital del Modelo de Gestión propuesto, sino que se debe llevar la información y evidencias encontradas de una forma estandarizada y ordenada para obtener resultados satisfactorios, se desarrolló una plantilla destinada a la recopilación de las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de los fallos de cada equipo a analizar en la etapa de ejecución del RCM. Dicha plantilla se muestra en la figura 27:

Hoja de Análisis de RCM							
Paradise Ingredients							
Proceso:			Facilitador:				
Equipo:			Fecha:				
Sistema:			Código SAP del equipo:				
Funciones	Fallas Funcionales	Modos de falla		Efecto del fallo	Consecuencias del fallo	Acciones proactivas	
1	A	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
	B	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
	C	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
2	A	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
	B	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
	C	1					
		2					
		3					
		4					
		5					

Figura 27: Hoja de Análisis de RCM para los equipos de Paradise Ingredients. Fuente: elaboración propia con base en (Pistarelli, 2010).

## 14 Indicadores del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento

En cualquier sistema, departamento o instancia es de suma importancia contar con información fiable, para ser usada en la toma de decisiones, y la Ingeniería en Mantenimiento no es la excepción. La información en la industria normalmente se maneja mediante *KPI's*, o *Key Performance Indicators*, que son de suma importancia en la gestión del mantenimiento pues “Un conjunto de indicadores efectivo y eficiente, proporcionará a los directivos una fuente de información que les permitirá navegar con un menor grado de incertidumbre y de esta forma lograr exitosamente las metas planteadas” (Parra & Crespo, 2012).

La norma europea EN 15341:2007 “proporciona los Indicadores Clave de Rendimiento en materia de mantenimiento, para apoyar a la gestión en el logro de la excelencia en el mantenimiento y en el empleo de activos técnicos de una manera competitiva” (UNE-EN 15341, 2008). En cuanto al tipo de indicadores para mantenimiento, (Verein Deutscher Ingenieure (2006) menciona en su guía llamada *Selección y formación de indicadores de mantenimiento* que “dependiendo del contenido, los indicadores se pueden clasificar como sigue: indicadores técnicos, indicadores de costos e indicadores administrativos... son usualmente cocientes de dos números básicos o tienen una referencia de tiempo”. Actualmente, el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento cuenta con los siguientes indicadores:

- Número de órdenes de trabajo realizadas por área (Mecánica, Eléctrica, Servicios, Edificio)
- Costos de mantenimiento por área (incluye presupuesto como referencia)
- Porcentaje de ejecución de OT (órdenes de trabajo)
- Tiempo medio entre fallos, MTBF
- Tiempo perdido (incluye paros simultáneos), es un porcentaje del tiempo planeado de producción

Sin embargo, para una gestión más detallada del mantenimiento, alineada con los principios empresariales así como con la misión y visión del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, se procede a recomendar algunos indicadores clave específicos para mantenimiento, mediante la metodología planteada por (Verein Deutscher Ingenieure (2006) en su norma “Selection and formation of indicators for maintenance” así como lo planteado por el Comité Europeo de Normalización con su norma española “Mantenimiento: Indicadores principales de desempeño” (UNE-EN 15341, 2008).

Para una etapa de implementación de los nuevos indicadores en la matriz ya existente en el Departamento, se pueden seguir las recomendaciones expresas en la norma española “Sistemas de gestión de calidad: Guía para la implantación de sistemas de indicadores” (UNE 66175, 2003).

### 14.1 Norma VDI-2893

De acuerdo con la norma VDI-2893, los indicadores pueden clasificarse según sea su contenido en:

- Indicadores técnicos
- Indicadores de costos
- Indicadores administrativos u organizacionales

Fuente: (Verein Deutscher Ingenieure, 2006)

La norma define varios términos clave, como son los números básicos, indicadores, fuentes de información y requerimientos de calidad. A continuación, se procederá a definir brevemente cada uno de ellos.

**Números básicos:** son números absolutos que pueden tomarse de fuentes de información corporativa en diferentes niveles.

**Indicadores:** son usualmente cocientes de dos números básicos o tienen una referencia temporal. Por tanto, cada indicador es una razón.

**Fuentes de información:** luego de la selección de los indicadores apropiados, debe examinarse si los números básicos están presentes. Si no estuvieran presentes, estos números básicos se debe procurar su obtención.

**Requerimientos de calidad:** no es la cantidad de indicadores la que lleva a la calidad, sino su cuidadosa y sistemática selección son lo que puede influenciar el proceso de gestión. Los indicadores deberán:

- Expresar la estrategia seleccionada
- Estar vinculados a un objetivo específico
- Ser comparables
- Estar actualizados
- Estar completos
- Consistir en datos mensurables
- Comunicar claridad y transparencia
- Ser comprensibles y amigables con el usuario en su procesamiento

- Estar disponibles

Fuente: (Verein Deutscher Ingenieure, 2006)

La forma recomendada por VDI para la selección de los indicadores de mantenimiento se muestra a continuación, a modo de diagrama de flujo, en la figura 28:

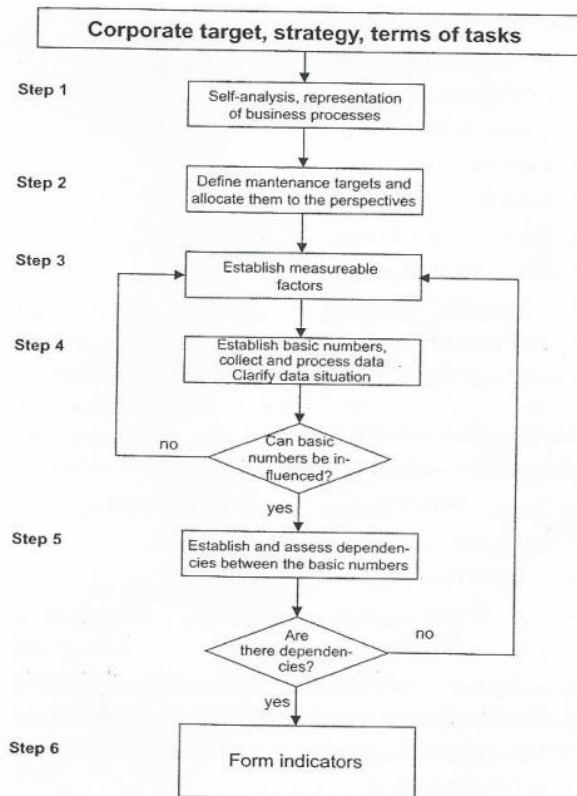


Figura 28: Diagrama de flujo para la selección de indicadores en mantenimiento. Fuente: (Verein Deutscher Ingenieure, 2006)

A continuación, se procederá a explicar detalladamente la metodología correspondiente a cada una de las etapas planteadas por la norma para la obtención de los indicadores apropiados.

#### 14.1.1 Etapa 1: Auto análisis, representación del proceso de negocio

Para crear un sistema de indicadores efectivo e informativo, se debe analizar las secuencias, procesos de negocio y costos. Utilizar una representación en lazo cerrado de control para el negocio de mantenimiento ha probado ser de utilidad al mostrar las interrelaciones causa-efecto presentes en el mantenimiento. En la figura 29 se pueden observar los lazos de control mencionados para el mantenimiento (Verein Deutscher Ingenieure, 2006):



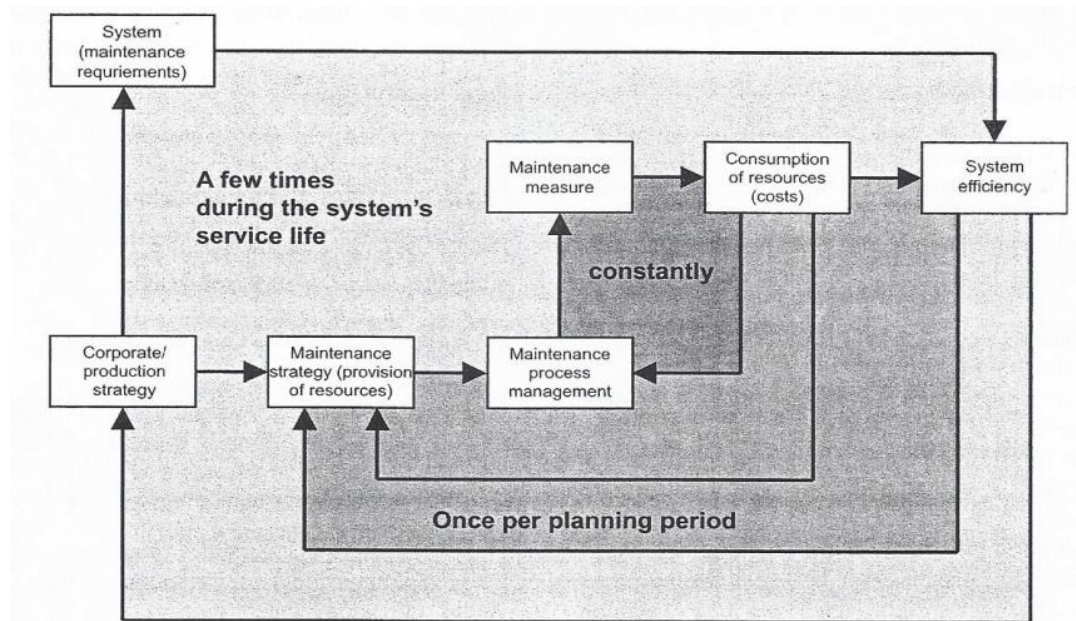


Figura 29: Lazos de control para el mantenimiento. Fuente: (Verein Deutscher Ingenieure, 2006)

#### 14.1.2 Etapa 2: Definición de los objetivos de mantenimiento y su ubicación en las diferentes perspectivas

Las metas principales de mantenimiento se definen para ciertas áreas específicas y estas metas deben distribuirse en un cuadro de mando integral sobre las perspectivas apropiadas utilizando la metodología del *Balanced Scorecard*. Por ejemplo, para mantenimiento además de las 4 perspectivas fundamentales del *Balanced Scorecard* (financiera, clientes, desarrollo personal y procesos del negocio), puede ser necesario incluir la perspectiva de un contratista o la perspectiva medioambiental (Verein Deutscher Ingenieure, 2006).

En el caso del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, las perspectivas sobre las cuales se debe trabajar son las 4 básicas de la metodología *Balanced Scorecard*, más la perspectiva SHE (*Safety, Health and Environment*), ya que esta tiene gran peso sobre todas las actividades que realiza la empresa, no sólo desde el punto de vista de mantenimiento, sino globalmente. En la tabla 4 se muestra un resumen de las diferentes perspectivas y las metas que el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento desea alcanzar en cada una de estas áreas.

Tabla 4: Resumen de las perspectivas del BSC y las metas de mantenimiento en cada una de ellas

<b>Perspectiva</b>	<b>Meta</b>
<i>Financiera</i>	Utilizar de la manera más eficiente los recursos económicos destinados para el departamento, usando los indicadores adecuados para tal fin
<i>Clientes</i>	Brindar a los clientes productos con la más alta calidad posible, en el tiempo pactado y con precios competitivos
<i>Desarrollo personal</i>	Fomentar el crecimiento del personal de mantenimiento mediante capacitaciones en diferentes áreas, potenciando las capacidades individuales de cada colaborador
<i>Procesos del negocio</i>	Preservar la eficiencia de las líneas de proceso, así como la calidad del producto terminado
<i>Seguridad, Salud y Ambiente (SHE)</i>	Garantizar un funcionamiento tal de los equipos de la compañía que preserve la integridad física de sus operarios, al mismo tiempo que se protege el medio ambiente.

Fuente: elaboración propia

#### 14.1.3 Etapa 3: Establecimiento de los factores medibles

En esta etapa, se examinan los factores que tienen una influencia directa en el logro de las metas propuestas. Estos factores se pueden identificar individualmente para una compañía, y pueden ser costos, calificación del personal, entre otros. (Verein Deutscher Ingenieure, 2006)

Para el caso que nos compete en Paradise Ingredients, los principales factores que tienen influencia en el logro de las metas propuestas son:

- Capacitación del personal
- Costos de mantenimiento
- Normativas ambientales, de seguridad y salud, tanto nacionales como internacionales
- Preservación de Certificaciones (ISO 9001 Y 14001, Kosher, entre otras)
- Tiempo de entrega de los proveedores
- Calidad de la materia prima

#### 14.1.4 Etapa 4: Establecimiento de los números básicos, recolección y procesamiento de los datos, clarificación de la situación de los datos

Los números básicos se deben establecer para los factores identificados, con la finalidad de poder describir los factores y sus efectos. Primeramente, se debe recolectar y procesar la información que constituye los números básicos. En esta etapa hay que tener la precaución que los datos obtenidos son influenciados, medibles y transparentes, y si su obtención es económicamente viable. Si no existieran datos o no son suficientes, se debe repetir la etapa 3 y proseguir con la 4 (Verein Deutscher Ingenieure, 2006).

#### 14.1.5 Etapa 5: Identificación y evaluación de las dependencias entre números básicos

Se debe buscar cualquier dependencia existente entre los números básicos. Esto se puede lograr superponiendo los números básicos en una misma gráfica y analizando sus tendencias en busca de similitudes. Si se encuentra la dependencia entre dos números básicos, su razón puede considerarse como un indicador. En caso de no encontrar dependencias entre los números básicos, se debe retornar a la etapa 3 en búsqueda de nuevos valores medibles. (Verein Deutscher Ingenieure, 2006)

#### 14.1.6 Etapa 6: Formación de los indicadores

Con la información y los números básicos obtenidos, los indicadores se pueden formar mediante la formación de razones. Los indicadores deben responder a la tarea de poner piezas individuales de información en contexto y brindar aspectos importantes de un solo vistazo. Por último, todos los indicadores deben ser evaluados en cuanto a si proveen información confiable en el cumplimiento de las metas planteadas (Verein Deutscher Ingenieure, 2006).

### **14.2 Norma AENOR EN 15341:2007**

Por su parte, la norma AENOR EN 15341:2007 denominada “Metodología para la selección y uso de los indicadores clave de rendimiento para el mantenimiento” se describe como “un sistema para gestionar los Indicadores Clave de Rendimiento destinados a medir el rendimiento del mantenimiento en el marco de los factores que influyen en el mismo, tales como los aspectos económicos, técnicos y organizativos” (UNE-EN 15341, 2008).

Según esta norma, los objetivos que persigue mantenimiento pueden ser enfocados a ciertas áreas, entre las más importantes para el presente proyecto destacan:

- Mejora de disponibilidad

- Mejora del coste efectivo de mantenimiento
- Preservación de salud y seguridad, y medio ambiente

Fuente: (UNE-EN 15341, 2008)

De acuerdo con esta norma, “cuando se han definido los objetivos y se han identificado los parámetros de rendimiento, el paso siguiente consiste en encontrar los indicadores que permitan medir estos parámetros.” (UNE-EN 15341, 2008) Es importante también conocer la pertinencia de un indicador. La misma norma destaca que:

Un indicador es pertinente cuando su valor o evaluación, está en correlación con la evaluación del parámetro de rendimiento a medir. Un indicador pertinente debe ser un elemento para la toma de decisiones. Para la búsqueda de indicadores pertinentes se pueden aplicar dos procedimientos: el primero consiste en elegir entre las listas de indicadores existentes, aquellos que después del análisis cumplen los requisitos; el segundo consiste en (...) la evaluación de los diversos procesos de mantenimiento que se pueden obtener mediante análisis funcionales.

(UNE-EN 15341, 2008).

La gestión del mantenimiento se puede beneficiar de la medición y análisis de los indicadores ya que esto ayuda a “establecer objetivos, planificar estrategias y acciones, divulgar resultados con objeto de informar y motivar a las personas” (UNE-EN 15341, 2008).

Para efectos del presente trabajo, se implementará la metodología de selección de una lista de indicadores y posterior verificación de cumplimiento con requisitos de estos indicadores. Lo anterior porque la obtención de datos, superposición de gráficas y obtención de los indicadores requeriría un tiempo considerable, que no está disponible en la ejecución del proyecto actual.

La norma presenta 3 grupos de indicadores de mantenimiento (económicos, técnicos y organizacionales), que se muestran en la figura 30.

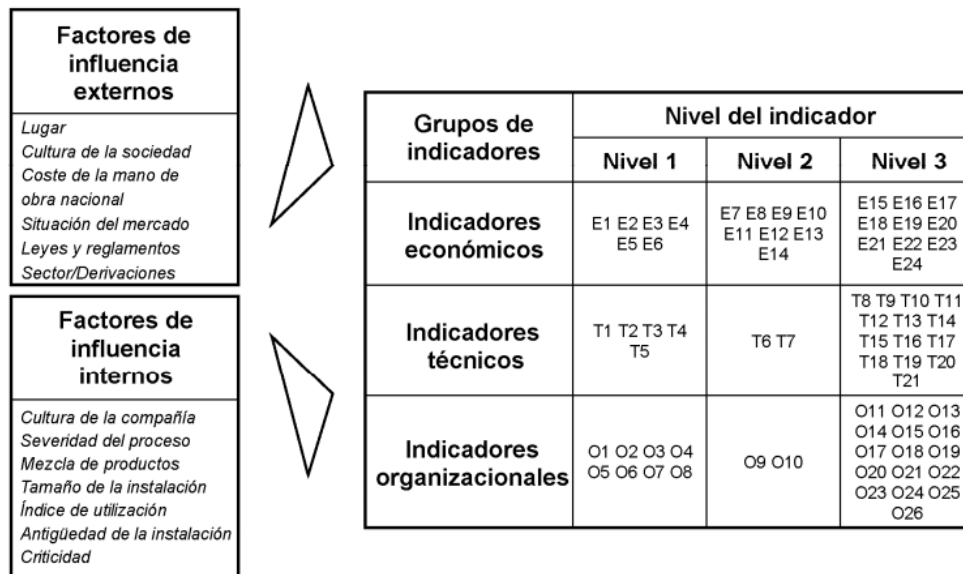


Figura 30: Indicadores clave de Rendimiento en Mantenimiento y los factores que los influyen. Fuente: (UNE-EN 15341, 2008)

Para el caso que compete a Paradise Ingredients, los factores de influencia internos y externos identificados son los siguientes:

#### 14.2.1 Factores de influencia externos

- Altas cargas sociales presentes en Costa Rica que influyen en el costo de la mano de obra
- Normativa de emisiones atmosféricas. Reglamento sobre Emisión de Contaminantes Atmosféricos Provenientes de Calderas y Hornos de Tipo Indirecto N° 36551-S-MINAET-MTSS
- Certificaciones y normativas internacionales, entre las que destacan:
  - ISO 9001 y 14001
  - Food Safety FSSC22000-GFSI
  - Kosher
  - Halal
  - Sure Global Fair SGF
  - Organic Process CEE 834-2007, CEE 889-2008
  - OTCO Organic Process Certified
- Leyes nacionales:
  - Ley N° 5395. Ley General de Salud
  - Decreto N° 31595-S. Reglamento de notificación de materias primas, registro sanitario, importación, desalmacenaje y vigilancia de alimentos

- Decreto N° 33724. Alimentos procesados Proced. Licencia sanitaria, Proced. Otorgar Registro Sanitario y Inscripción Sanitaria, Requisitos Importación Alimentos Procesados, Industria Alimentos Bebidas procesados
- Canon de aprovechamiento de agua según Decreto n°. 34431-MINAE
- Canon ambiental por vertidos según Decreto N° 34431-MINAE-S
- Ubicación geográfica (en un Parque Industrial)
- Reglamentos internacionales sobre procesado de alimentos, tales como el *Codex Alimentarius* o las regulaciones propias del país de cada cliente destino
- Procesos productivos en las plantaciones de banano que proveen la materia prima

#### 14.2.2 Factores de influencia internos

- Esterilidad de los procesos de producción y empaque, al tratarse de industria alimenticia
- Controles de calidad en diversas etapas del proceso
- Horario de producción (24 horas al día, 7 días a la semana) ocasiona elevado uso de los equipos
- Calidad de la fruta (pH, Brix, etapa de maduración)
- Calidad, uso y disposición final de químicos utilizados en refrigeración (amoníaco), combustibles y aceites, vitaminas y aditivos de la fruta, agentes de limpieza, entre otros
- Resistencia al cambio de los empleados

Habiendo determinado los factores de influencia para los indicadores de gestión de mantenimiento, queda solamente por determinar los indicadores adicionales a los indicadores con que cuenta el Departamento de Mantenimiento actualmente, y se seleccionan considerando el anexo A de la norma UNE-EN 15341. Es importante destacar que no todos los indicadores se deben monitorear con la misma frecuencia, pues su comportamiento varía dependiendo del marco temporal seleccionado.

#### 14.2.3 Indicadores económicos claves

**Coste de mantenimiento por unidad producida:** este indicador da una idea del rendimiento obtenido por un equipo o proceso desde el punto de vista económico del mantenimiento. Su cálculo es el siguiente cociente:

$$\frac{\text{Coste total de mantenimiento}}{\text{unidad producida}}$$

Permite a su vez determinar cuáles procesos o equipos son más intensivos en el uso de los recursos de mantenimiento, a la vez que permite generar una clasificación coste/beneficio para equipos o procesos, ayudando así a la toma de decisiones de mantenimiento.

**Coste del mantenimiento correctivo respecto del total de costos de mantenimiento:** este indicador es un porcentaje entre el “costo del mantenimiento realizado después de un fallo, destinado a poner un bien en un estado que le permita realizar una función requerida” respecto del coste total de mantenimiento. Se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Coste del mto. correctivo}}{\text{Coste total mto.}} * 100$$

**Coste del mantenimiento preventivo respecto del total de costos de mantenimiento:** de manera similar al anterior, este indicador consiste en porcentaje del “coste de mantenimiento realizado a intervalos predefinidos o de acuerdo con criterios establecidos, destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación del funcionamiento de un bien” respecto del coste total de mantenimiento. Se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Coste del mto. preventivo}}{\text{Coste total mto.}} * 100$$

#### 14.2.4 Indicadores técnicos claves

**Disponibilidad relacionada con mantenimiento:** se selecciona este indicador pues forma parte integral de la misión del Departamento de Mantenimiento, y a pesar de esto, no se lleva registro de este. Si bien es cierto, el comportamiento de la disponibilidad se puede inferir a partir de otra información que se recolecta actualmente en el Departamento, no se despliega su cálculo formalmente en el tablero de indicadores. Además, para efectos de una reacreditación de la norma ISO 9001 es importante que las actividades del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento estén alineadas con la misión y visión que se ha establecido para sí mismo, pues, en caso contrario, se incurre en el riesgo de obtener un hallazgo menor durante el proceso de certificación.

La norma UNE-EN 15341 define la disponibilidad ligada al mantenimiento como “el tiempo que un bien ha estado en condiciones de realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante de tiempo dado o durante un intervalo de tiempo dado, asumiéndose que se disponía de los recursos externos requeridos” (UNE-EN 15341, 2008). Además, esta norma hace referencia a que este indicador depende también de otros aspectos de los equipos, tales como la fiabilidad, la mantenibilidad y sustentabilidad del mantenimiento.

La forma de calcular la disponibilidad relacionada con mantenimiento es la siguiente:

$$Disp_{Mto} = \frac{TTF}{TTF + TIM} \times 100$$

Donde:

TTF es el Tiempo Total de Funcionamiento, es el “intervalo de tiempo durante el cual un bien está realizando su función requerida” (UNE-EN 15341, 2008)

TIM es el Tiempo de Indisponibilidad por Mantenimiento, es el “intervalo de tiempo durante el cual un bien está en estado de indisponibilidad por razones de mantenimiento” (UNE-EN 15341, 2008)

**Confiabilidad:** de manera similar al caso expuesto en el párrafo anterior, la confiabilidad se encuentra inmersa en la misión del Departamento, por lo que es necesario su cálculo y control para efectos de una correcta gestión de mantenimiento y cumplir con los objetivos planteados. La confiabilidad se define como “la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña, durante un período de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno” (Mora, 2009). De acuerdo con este autor, la definición matemática de la confiabilidad es la siguiente:

$$R(t) = \frac{n}{N} [t < T]$$

Donde:

n es el o los eventos de falla por estudiar

N es el número total de eventos posibles

t es el tiempo de operación de la máquina desde su puesta en marcha

T es el tiempo total de la medición

Fuente: Mora (2009)

**Número de fallos debidos a mantenimiento que crean daño ambiental:** este indicador es parte de los planteados por la norma UNE 15341, y se define como “número de fallos debidos a mantenimiento o por falta de mantenimiento que han causado daños en el medio ambiente”. (UNE-EN 15341, 2008) La medición de este indicador responde a la responsabilidad que debe tener mantenimiento con el medio ambiente.

**Volumen anual de residuos o efectos nocivos relacionados con el mantenimiento:** la norma UNE 15341 establece este indicador, y lo define como “volumen anual de residuos o de efectos nocivos relacionados con el mantenimiento. Estos indicadores se deberían medir para cada producto químico (por ejemplo, CO<sub>2</sub>...) o efecto nocivo.” (UNE-EN



15341, 2008). La medición y análisis de este indicador responde a una necesidad de vinculación con el medio ambiente de las actividades del Departamento.

**Porcentaje de sistemas cubiertos por un análisis de criticidad:** con la implementación del análisis de criticidad total por riesgo (CTR) en el presente modelo de gestión, es necesario este indicador para, en una eventual implementación del modelo, llevar un control más exacto del progreso en la nueva clasificación de los equipos utilizando el análisis CTR. La forma de calcularlo es la siguiente:

$$\frac{\text{número sistemas cubiertos por un análisis de criticidad}}{\text{número total sistemas}} \times 100$$

**Tiempo medio para reparar (MTTR):** este indicador da una idea del tiempo requerido para devolver un activo a su nivel de operación esperado. En el modelo de gestión de mantenimiento propuesto se requiere en el análisis de Criticidad Total por Riesgo para el cálculo del Factor de Flexibilidad Operacional, por lo que es requisito su medición para calcular la criticidad de los equipos usando dicha metodología. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de recuperación}}{\text{número de fallos}}$$

#### 14.2.5 Indicadores organizacionales claves

**Porcentaje de horas hombre empleadas en mejoramiento continuo:** este indicador es una relación de las horas hombre que se utilizan en procesos de mejora continua respecto del total de horas hombre disponibles para mantenimiento. Se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{\text{H. H. empleadas en mejora continua}}{\text{H. H. totales del personal de mantenimiento}} \times 100$$

**Porcentaje de horas hombre de mantenimiento de urgencia:** es un porcentaje de horas hombre destinadas a mantenimiento de urgencia respecto del total de horas hombre trabajadas, tanto por personal interno como externo de mantenimiento. Se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{\text{H. H. mantenimiento de urgencia}}{\text{H. H. totales de mantenimiento}} \times 100$$

**Porcentaje de horas hombre de mantenimiento correctivo:** es un porcentaje de horas hombre destinadas a mantenimiento correctivo respecto del total de horas hombre trabajadas, tanto por personal interno como externo de mantenimiento. Se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{H.H. \text{ mantenimiento correctivo}}{H.H. \text{ totales de mantenimiento}} \times 100$$

**Porcentaje de horas hombre de mantenimiento preventivo:** es un porcentaje de horas hombre destinadas a mantenimiento preventivo respecto del total de horas hombre trabajadas, tanto por personal interno como externo de mantenimiento. Se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{H.H. \text{ mantenimiento preventivo}}{H.H. \text{ totales de mantenimiento}} \times 100$$

De esta forma, el cuadro de indicadores de mantenimiento clasificados de acuerdo con la norma UNE 15341 para el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento, en el que se incluyen tanto los nuevos indicadores como los existentes, sería el mostrado en el Tabla 5.

Tabla 5: Indicadores de mantenimiento para el Departamento de acuerdo con la norma UNE 15341

Grupo de indicadores	Nivel del indicador	
	Nivel 1	Nivel 2
<b>Indicadores económicos</b>	Coste del mantenimiento correctivo respecto del total de costos de mantenimiento Coste del mantenimiento preventivo respecto del total de costos de mantenimiento	Coste de mantenimiento por unidad producida
<b>Indicadores técnicos</b>	Confiabilidad Disponibilidad ligada al mantenimiento	Número de fallos que causan daño al medio ambiente Porcentaje de sistema cubierto por análisis CTR MTBF MTTR
<b>Indicadores organizacionales</b>	Porcentaje de horas hombre empleadas en mejoramiento continuo	Porcentaje de Órdenes de Trabajo programadas y realizadas Porcentaje de horas hombre empleadas en mantenimiento de emergencia, correctivo y preventivo

Fuente: elaboración propia usando la norma UNE 15341

## **15 Análisis económico del Modelo de Gestión de Mantenimiento propuesto**

A continuación, se procede a realizar un análisis económico que permita evaluar la viabilidad de implementación del Modelo de Gestión de Mantenimiento propuesto en la empresa Paradise Ingredients. Para ello, se calcularán indicadores económicos como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), Período de Recuperación (PR) así como el Índice de Deseabilidad (ID).

Con el fin de realizar este balance económico, inicialmente se procede a realizar un estimado de los costos de implementación del Modelo, para posteriormente hacer una proyección de los ahorros económicos que permitiría la implementación.

Una vez realizadas ambas estimaciones, se pueden utilizar los indicadores mencionados en el párrafo anterior para analizar la factibilidad de implementación. Conviene rescatar que en esta etapa, a pesar de que se realizarán las estimaciones de la forma más exacta posible, cabe la posibilidad que los costos y, especialmente, los beneficios proyectados pueden diferir de la realidad una vez que se implemente el proyecto, pues en el momento de su redacción no se cuenta con datos reales del funcionamiento del modelo en la empresa (aún no se ha implementado).

### **15.1 Estimación de los costos de implementación del modelo**

Dentro de la estructura de costos de la implementación del modelo, se consideran los siguientes elementos clave:

- Horas hombre (H.H.) para la actualización de la lista de equipos críticos
- H.H. para el análisis RCM de equipos críticos
- H.H. para clasificación de los repuestos en bodega como A, B o C
- H.H. para actualización de los programas de mantenimiento y su inserción en SAP
- H.H. para supervisión del ciclo de actividades de mantenimiento
- H.H. para análisis de Costo de Ciclo de Vida (*Life Cycle Cost Analysis, LCCA*)
- H.H. para análisis de órdenes de trabajo completadas
- H.H. para análisis de sugerencias de mantenimiento de los colaboradores

Tal como puede observarse, los insumos requeridos para ejecutar el modelo constan básicamente de labores de funcionarios ya existentes, pues los insumos materiales (computadoras, instalaciones, servicios) ya están presentes en el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento. A continuación, se explica brevemente los costos de cada

una de estas actividades. Nótese además que los salarios son tomados a partir de la información proporcionada por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de Costa Rica (2018).

#### 15.1.1 Horas hombre para actualización de lista de equipos críticos

Se debe actualizar una lista con alrededor de 400 equipos, con 5 factores por equipo (frecuencia de fallos, impacto operacional, flexibilidad operacional, costes de mantenimiento, seguridad higiene y ambiente) con el objetivo de poder realizar la clasificación de Criticidad Total por Riesgo planteada en el modelo. Si bien es cierto la asignación de factores a algunos equipos es inmediata, por el tipo de equipo o la condición en la que se encuentra operando, en otros casos es importante realizar un análisis exhaustivo de cada factor. Por tanto, se plantea un tiempo promedio para el estudio de cada uno de los factores para cada equipo, y luego se hace el cálculo para la totalidad de equipos y factores.

##### **Factor Frecuencia de fallos**

Se debe obtener la información del registro de fallos de mantenimiento (documento en Excel) mediante consultas por equipo. Una vez obtenido el dato de frecuencia de fallos, se clasifica de acuerdo con la siguiente tabla:

4: Frecuente, mayor a 2 veces al año

3: Promedio, 1 ó 2 eventos al año

2: Bueno, entre 0,5 y 1 evento al año

1: Excelente, menos de 0,5 evento al año

Tiempo aproximado: 3 minutos por equipo

##### **Factor impacto operacional**

Se debe buscar el impacto que tiene cada equipo en la producción si se presenta un fallo. El registro de fallos existente cuenta con un costo total por paro ya asignado, por lo que se puede programar fácilmente la comparación del costo del paro respecto del total de producción. Obtenido este porcentaje, se obtiene el factor de impacto operacional de acuerdo con la siguiente clasificación:

10: Pérdidas de producción superiores al 75 %

7: Pérdidas de producción entre el 50 % y el 74 %

5: Pérdidas de producción entre el 25 % y el 49 %

3: Pérdidas de producción entre el 10 % y el 24 %

1: Pérdidas de producción inferiores al 10 %

Tiempo aproximado: 2 minutos por equipo

### **Factor flexibilidad operacional**

Este factor determina si existe equipo de reserva para cubrir la producción. Con un conocimiento de la planta, es casi inmediata la asignación de este factor.

4: No hay unidades de reserva para cubrir producción, tiempo de reparación y logística muy grande

2: Hay unidades de reserva que cubren de forma parcial el impacto en la producción, tiempo de reparación y logística intermedio

1: Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempo de reparación y logística bajo

Tiempo aproximado: 2 minutos por equipo

### **Factor costes de mantenimiento**

Este factor mide el costo de reparar un equipo. En el registro de reparaciones existente, de manera similar al costo por paro en producción, existe un costo por intervención de equipo asignado a cada evento de paro. Simplemente se programa una comparación de este costo con la siguiente tabla:

2: Costo de reparación, material y mano de obra superior a \$ 20 000

1: Costo de reparación, material y mano de obra inferior a \$ 20 000

Sin embargo, no se cuenta con un código de equipo en específico en dicho registro de paros, por lo que se debe revisar uno por uno de los paros y asignarle su código, que después se comparará con los equipos presentes en la tabla de criticidad. Sin duda, esto requiere mucho más tiempo de lo habitual. Se recomienda, por tanto, incluir en adelante en el registro de fallos el código SAP del equipo que se está interviniendo.

Por lo expuesto anteriormente, se opta por una aproximación con base en criterio experto, para acortar el tiempo dedicado a este factor.

Tiempo aproximado: 1 minuto por equipo

### **Factor seguridad, higiene y ambiente**

Este factor mide el riesgo de afectación a la seguridad, higiene o ambiente de un fallo en un equipo. Basado en criterio de experto, se asigna a cada equipo un valor en la siguiente clasificación:

8: Alto riesgo de pérdida de vida, graves daños a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catástrofe) que excede los límites permitidos

6: Riesgo medio de pérdida de vida, importantes daños a la salud del personal y/o incidente ambiental de difícil restauración

3: Riesgo mínimo de pérdida de vida y afectación a la salud (recuperable en corto plazo) o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas

1: No hay riesgo para la vida ni afectación a la salud, ni daños ambientales de ningún tipo

Tiempo aproximado: 1 minuto por equipo

Total de horas hombre:

$$H.H_{.totales} = \frac{9 \text{ min}}{\text{equipo}} \times 400 \text{ equipos} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 60 \text{ h}$$

Si consideramos un costo de hora de un técnico electromecánico de ₡2447,62, el costo de la asignación de todos los factores a todos los equipos es de ₡146 857,2.

#### 15.1.2 Horas hombre para el análisis RCM de equipos críticos

De acuerdo con la tabla de criticidad actualizada, se procede a llenar una hoja de Excel que permita un análisis RCM simplificado, tal como la mostrada en la sección 12.4 de este documento. Se procede primero con las líneas de proceso que tengan equipos clasificados con criticidad A, y en una etapa futura se puede ampliar a la criticidad B, si los recursos lo permiten.

Para cada línea de proceso se estima un tiempo de aplicación de la herramienta de 100 horas. Si se consideran las áreas de banano aséptico y banano congelado, que son las de mayor producción (y que poseen la mayor cantidad de equipos críticos), así como zonas de alto riesgo como generación de vapor, refrigeración, planta de tratamiento de aguas residuales, y potabilizador de aguas, tendríamos un total de 6 áreas/equipos. Total estimado: 600 horas

Si consideramos un costo de hora de un ingeniero en mantenimiento de ₡6003,66, el costo de la aplicación del RCM a los equipos críticos en las áreas de mayor importancia es de ₡3 602 196.

#### 15.1.3 Horas hombre para clasificación de los repuestos en bodega como A, B o C

En esta sección cabe destacar que los repuestos en el inventario ya cuentan con una clasificación A, B y C. Por tanto, únicamente se requiere cambiar la clasificación de los repuestos que pertenezcan a equipos que cambien su criticidad con el nuevo análisis CTR. Partiendo de un estimado donde el 15 % de los 400 equipos cambien su clasificación en el nuevo análisis de criticidad, tenemos 60 equipos con un cambio en su clasificación. Actualmente se tienen 2908 tipos distintos de repuestos en inventario, para 400 equipos arroja un aproximado de 7.3 repuestos por equipo. Por tanto, para 60 equipos con cambio en su clasificación de criticidad, tenemos aproximadamente 436 cambios de categoría

ABC en el inventario. Suponiendo 5 minutos por cada cambio tenemos 2180 minutos, es decir, aproximadamente 36,3 horas de técnico de bodega. Si cada hora de técnico de bodega cuesta ₡2447,62, esto se traduce en ₡88 848,6 para cambiar la clasificación de los repuestos. Nótese que es un valor bajo ya que los 2908 repuestos ya poseen una clasificación existente y únicamente se requiere modificar los repuestos cuya clasificación haya cambiado.

#### 15.1.4 Horas hombre para actualización de los programas de mantenimiento y su inserción en SAP

Esta labor es de las más complejas dentro del modelo, pues se debe revisar uno por uno los programas de mantenimiento de acuerdo con los resultados arrojados por el RCM. Así, es de esperar que se deban cambiar las rutinas de mantenimiento de múltiples equipos, de acuerdo con las necesidades propias del entorno de funcionamiento del equipo (actualmente se hace de acuerdo con los manuales, pero esta práctica puede incurrir en sobre o sub-mantenimiento). La actualización de la rutina de mantenimiento, así como su inserción en SAP tomaría alrededor de 1 hora por equipo. Si se tienen 60 equipos críticos, serían 60 horas de ingeniería. Si consideramos un costo de hora de un ingeniero en mantenimiento de ₡6003,66, el costo de la actualización de las rutinas de todos los equipos críticos es de aproximadamente ₡360 219,6.

#### 15.1.5 Horas hombre para supervisión del ciclo de actividades de mantenimiento

Para supervisar el ciclo de actividades de mantenimiento, así como gestionar las actividades de mejora continua, se estiman 5 horas semanales de un ingeniero en mantenimiento industrial, con un costo de ₡6003,66 por hora, se tiene un costo de ₡120 073,2 mensuales para este rubro.

#### 15.1.6 Horas hombre para análisis de Costo de Ciclo de Vida (*Life Cycle Cost Analysis, LCCA*)

La ingeniería de ciclo de vida considera que, una vez detectada la necesidad de un activo, proceden el diseño, producción, utilización, soporte y desincorporación o sustitución de este (Parra & Crespo, 2012). Según estos autores, dentro de las decisiones en la etapa de operación-mantenimiento

“Son de interés particular, aquellas decisiones relacionadas con el proceso de mejora del factor ‘fiabilidad’ (calidad, del diseño, tecnología utilizada, complejidad técnica, frecuencia de fallos, costes de mantenimiento preventivo/correctivo, niveles de mantenibilidad y accesibilidad), ya que estos aspectos, tienen una gran influencia sobre el coste total del ciclo de vida del activo, e

influyen en gran medida sobre las posibles expectativas para extender la vida útil de los sistemas de producción a costes razonables” (Parra & Crespo, 2012).

En la figura 31 se puede observar una estructura de costos típica utilizando el análisis de costo de ciclo de vida o LCCA:

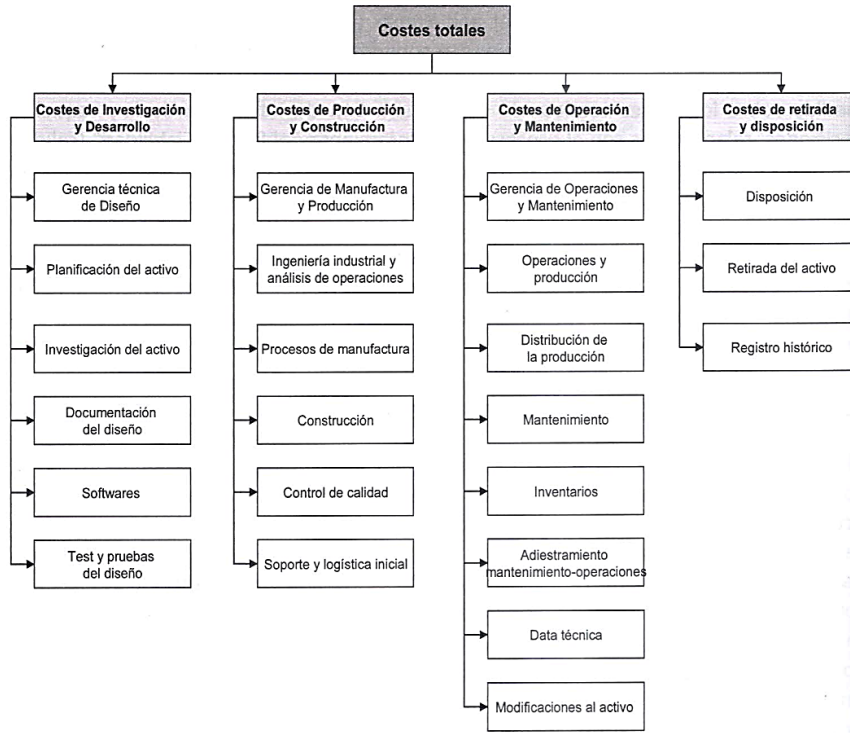


Figura 31: Ejemplo de estructura desglosada de costos en un análisis de costo de ciclo de vida (LCCA). Fuente: Fabrycky and Blanchard (1991) en (Parra & Crespo, 2012).

Sin embargo, en los proyectos nuevos, se deben considerar las 4 etapas completas, lo que requeriría tiempo adicional para su planificación. A pesar de lo anterior, este no es el caso del presente análisis, pues se considera que dichos costos estarán contemplados dentro de la estructura de costos del proyecto en particular, y no dentro de la estructura actual de mantenimiento.

Para el análisis de costos de ciclo de vida, se plantea utilizar 5 horas de ingeniería por semana, inmersas en el ciclo de ejecución de actividades de mantenimiento en el modelo planteado y destinadas únicamente al estudio de las dos etapas ya mencionadas y primeramente para los equipos criticidad A. Por tanto, el costo mensual considerando ₡6003,66 la hora de ingeniería es ₡120 073,2.

### 15.1.7 Horas hombre para análisis de órdenes de trabajo completadas

Las órdenes de trabajo en Paradise Ingredients son de diversa índole, por tanto, cabe esperar que no todas tengan la misma complejidad o incluso importancia. Así, desde el punto de la gestión de mantenimiento, es más importante analizar las órdenes



correspondientes a trabajos de emergencia (PM01, paro total de producción) y correctivos (PM02). Además, el promedio mensual de órdenes de trabajo generadas con código PM03 (mantenimientos preventivos) durante 2017 y las primeras 5 semanas del 2018 fue de 706 órdenes de trabajo, lo que haría el análisis de toda esta información una labor muy pesada para el departamento, y en todo caso esto no aportaría información valiosa para la gestión de mantenimiento. Tomando lo anterior en consideración, y los datos de OT generadas en promedio mensualmente durante el 2017 y las primeras 5 semanas del 2018, se genera la tabla 6, mostrada a continuación:

*Tabla 6: Resumen de órdenes de trabajo tipo PM01 y PM02 por año en Paradise Ingredients*

<b>Año</b>	<b>PM01 (anuales)</b>	<b>PM02 (anuales)</b>	<b>PM01 (mensuales)</b>	<b>PM02 (mensuales)</b>
2017	73	826	36.5	68.83
2018*	2	76	0.89	60.8
Promedio	--	--	18.7	64.81
Total	--	--	<b>83.5</b>	

\*Hasta semana 5

Fuente: elaboración propia

Considerando un promedio de 10 minutos para el análisis y verificación de cada orden de trabajo PM01 y PM02, se tienen 835 minutos al mes, o lo que es lo mismo, 13.9 horas mensuales. Si consideramos un costo de hora de un ingeniero en mantenimiento de ¢6003,66, el costo del análisis de las órdenes de trabajo PM01 y PM02 es de ¢83 450,87 mensuales.

Además del análisis de la orden, para los mantenimientos PM01 que representan paros de producción y ocasionan pérdidas económicas considerables para la empresa, es importante realizar una inspección de campo para verificar la calidad del trabajo realizado, evitando así retrabajos y la caída de indicadores de producción en un mismo equipo en un mismo período. Para dichas inspecciones de campo, dado que son pocas intervenciones al mes, se puede dedicar una hora adicional. Esto nos arroja 18.7 horas adicionales de ingeniería, al mismo costo de ¢6003,66 la hora, se tienen ¢112 268,44 mensuales. El costo total de esta sección es de aproximadamente ¢195 719,31 mensuales.

#### 15.1.8 Horas hombre para análisis de sugerencias de mantenimiento de los colaboradores

Dado que la recolección de sugerencias de los colaboradores para mantenimiento no existe, tampoco hay un registro adecuado de cuántas se pueden generar mensualmente. Sin

embargo, se puede hacer un estimado de 16 mensuales, basándose en la cantidad de colaboradores presentes en el departamento. Considerando 10 minutos por cada análisis de sugerencia, se tienen aproximadamente 3 horas mensuales. Si consideramos un costo de hora de un ingeniero en mantenimiento de ¢ 6003,66, el costo del análisis de sugerencias de mantenimiento es de ¢18 010,8 mensuales.

#### 15.1.9 Costos totales de implementación del modelo de gestión de mantenimiento propuesto

La totalidad de los costos de implementación considerados se muestra en la tabla 7. Nótese que se incluye un rubro adicional no considerado en las subsecciones anteriores, el de “otros gastos”, en el cual se agrupan gastos de papelería, artículos de oficina, entre otros insumos menores que pueden ser necesarios para el funcionamiento del modelo propuesto.

*Tabla 7: Resumen de los costos de implementación del modelo de gestión de mantenimiento propuesto*

<b>Rubro</b>	<b>Cantidad de horas</b>	<b>Costo por hora (¢)</b>	<b>Costo total (¢)</b>	<b>Mensual</b>
Actualización de la lista de equipos críticos	60	2447,623	146 857,2	No
Análisis RCM de equipos críticos	600	6003,657	3 602 196	No
Clasificación de los repuestos en bodega	36,3	2447,623	88 848,6	No
Actualización programas de mantenimiento y su inserción en SAP	60	6003,657	360 219,6	No
Supervisión del ciclo de actividades de mantenimiento	20	6003,657	120 073,2	Si
Análisis LCCA	20	6003,657	120 073,2	Si
Análisis de órdenes de trabajo completadas	32.6	6003,657	195 719,3	Si
Análisis de sugerencias de mantenimiento de los colaboradores	3	6003,657	18 010,8	Si
Otros gastos	--	--	35 000	Si
<b>Total inicial</b>	--	--	<b>4 198 121,4</b>	No
<b>Total mensual</b>	--	--	<b>488 876,5</b>	Si

Fuente: elaboración propia

## 15.2 Proyección de ahorros económicos producto de la implementación del modelo

Los ahorros económicos proyectados si se implementa el modelo propuesto, se presentarían en las siguientes áreas específicas:

- Reducción de volúmenes de inventario no circulante
- Reducción en tiempo en ejecución de órdenes de trabajo
- Reducción de horas de paro por mantenimientos no programados producto de la mejora en confiabilidad al implementar RCM
- Reducción del desperdicio considerando 6 grandes pérdidas de la filosofía Mantenimiento Productivo Total (*Total Productive Maintenance, TPM*)

A continuación, se procede a explicar detalladamente cada una de estas áreas de ahorro, con los beneficios económicos asociados.

### 15.2.1 Reducción de volúmenes de inventario no circulante

De acuerdo con Santiago García “podemos dividir las piezas en tres categorías:

- Repuesto A: piezas que es necesario mantener en *stock* en planta
- Repuesto B: piezas que es necesario tener localizadas, con proveedor, teléfono y plazo de entrega
- Repuesto C: piezas que no es necesario prever, pues un fallo en ellas no afecta la operatividad de la planta (como mucho supondrán ligeros inconvenientes)”

Fuente: (García Garrido, 2003)

Por tanto, en primera instancia se debe llevar a cabo una clasificación de los repuestos en el inventario como A, B o C, siendo los catalogados como A los que deben permanecer en el inventario siempre.

También se puede llevar a cabo una clasificación del repuesto desde el punto de vista de compras, y según (García Garrido, 2003) los materiales se pueden dividir en 3 tipos:

- Pieza estándar: aquellas que se pueden incorporar de un fabricante distinto al del equipo por cumplir un estándar de fabricación
- Pieza específica del fabricante de la máquina: aquellas piezas que por su diseño solamente se pueden obtener a través del fabricante del equipo
- Pieza específica a medida: aquellas piezas que se pueden construir mediante un plano en algún taller especializado

De acuerdo con los datos proporcionados por la empresa, y siguiendo la clasificación existente de repuestos como A, B y C (sin considerar los cambios que pueda sugerir el

análisis CTR, pues no se ha implementado el modelo a estas alturas) el valor del inventario se podría reducir en ¢282 348 543,8 si se conservan únicamente los repuestos catalogados en el inventario como A, lo que permitiría invertir este dinero en nuevos proyectos de empresa y generar más ganancias de las que generarían elementos guardados en bodega. Repuestos B y C no se consideran, según este autor, indispensables en la bodega de repuestos, pues es posible conseguirlos con relativa facilidad mediante un proveedor externo como una ferretería o distribuidor autorizado de piezas para el equipo. Se propone entonces que a término de 2 años el modelo logre analizar la clasificación actual de los repuestos y esto permita la reducción ya mencionada. Se tiene, entonces, un promedio de ahorro de ¢11 764 522,7 mensual durante los dos primeros años desde la implementación del modelo.

### 15.2.2 Reducción en tiempo en ejecución de órdenes de trabajo

Una reducción en el tiempo de ejecución de las órdenes de trabajo se podría ver como un beneficio desde varias perspectivas. En primera instancia, se podrían realizar más órdenes de trabajo, permitiendo abarcar más equipos con el mismo personal de mantenimiento, lo cual sería útil en un escenario de expansión de las actividades de la planta. Por otro lado, los equipos sometidos a mantenimiento (PM01, PM02 y PM03) estarían disponibles para operación en un menor tiempo, permitiendo un incremento en la producción; en otras palabras, esto corresponde a una mejora en el indicador tiempo medio para reparar, o MTTR por sus siglas en inglés. Se estima que se podría alcanzar una disminución de 5 % en el tiempo medio para reparar, lo que se traduce en los beneficios económicos mostrados en la tabla 8.

*Tabla 8: Beneficios económicos estimados por proceso productivo por reducción del Tiempo Medio entre Fallos en Paradise Ingredients*

<b>Línea de proceso</b>	<b>Tiempo reducido de MTTR mensual (h/mes)</b>	<b>Beneficio económico por producción (¢/mes)</b>
Aséptico	1.496	151 436,9
Congelado	0.192	15 200,3
<b>Total</b>	--	<b>166 637,2</b>

Fuente: elaboración propia con datos de la empresa.

### 15.2.3 Reducción de horas de paro por mantenimientos no programados producto de la mejora en confiabilidad al implementar RCM

Con la implementación del modelo de gestión propuesto, específicamente mediante la implementación del RCM en los procesos y equipos críticos, se estima una reducción de

la cantidad de horas de paro por mantenimientos no programados (PM01 y PM02) de al menos un 10 %. Estas ganancias proyectadas son basadas en los resultados de un estudio similar realizado en una industria alimenticia de Portugal, al migrar de un modelo correctivo de mantenimiento a uno con características del RCM y *KPI's* de clase mundial, en el cual se obtuvieron reducciones de hasta 70 % en los costos de mantenimiento (Inácio, Pereira, & de Oliveira, 2008), por lo que la estimación de 10 % es más bien conservadora.

Estas horas de paro representan ahorros tanto en mano de obra de mantenimiento, como en repuestos, pero especialmente en pérdidas de producción. La empresa contabiliza todas estas pérdidas para cada paro, tanto programado como no programado, así como para las líneas de banano aséptico, congelado y no pasteurizado. Con base en esta información, se obtiene que una reducción de 10 % en este rubro representa ₡ 330.332,48 durante las primeras 10 semanas del 2018 y ₡ 1 874 691,9 durante la totalidad del 2017, para un total de ₡ 2 205 024,38 y un promedio mensual de ahorro de aproximadamente ₡ 152 070,65.

#### 15.2.4 Reducción del desperdicio considerando 6 grandes pérdidas de la filosofía Mantenimiento Productivo Total (*Total Productive Maintenance*, TPM)

Mediante la implementación de la reducción del desperdicio que se enfoca en las 6 grandes pérdidas, una compañía con una línea de envasado obtuvo una mejora del 2.3 % en productividad, así como un 39 % en el MTBF (Rubio, 2005).

Si bien es cierto no en todas las empresas se pueden esperar los mismos resultados, siendo bastante conservadores y adaptando los resultados obtenidos por Rubio al modelo de gestión de mantenimiento propuesto para Paradise Ingredients, se podría esperar una mejora de productividad global de la planta de 1 % y un aumento en el MTBF de al menos 10 %. Se estima que el costo de producción global de la planta es como el mostrado en la tabla 9. Nótese, además, que no se incluye la línea de no pasteurizado, así como la producción de esencia, pues su producción es bajo demanda o en pequeños volúmenes, en comparación a las líneas de banano congelado y aséptico que conforman el eje central de producción de la compañía.

*Tabla 9: Valor estimado de la producción por proceso productivo en Paradise Ingredients*

<b>Proceso</b>	<b>Horas brutas producción mensuales</b>	<b>Precio unitario por hora bruta de producción (₡/h)</b>	<b>Precio total de la producción (₡)</b>
----------------	--	---	--

Aséptico	720	101 227,9	72 884 088
Congelado	240	79 168,15	19 000 356
Total	--	--	<b>91 884 444</b>

Fuente: elaboración propia usando datos de la empresa

Durante el año 2017 se estima que la producción total mensual fue de ¢91 884 444, por tanto, el 1 % esperado de ahorro al implementar el modelo representa ¢918 844 mensuales.

### 15.2.5 Resumen de la proyección de ahorros económicos producto de la implementación del modelo

A continuación, se muestra la tabla 10 que contiene un resumen de los ahorros económicos proyectados producto de una eventual implementación del modelo de gestión propuesto.

Tabla 10: Resumen de ahorros proyectados producto de la implementación del modelo de gestión propuesto

Rubro	Ahorro (¢)	Mensual (si/no)
Reducción inventario no circulante	11 764 522,6	SI (primeros 2 años)
Reducción en tiempo ejecución de OT	166 637,2	SI
Reducción paros no programados al usar RCM	152 070,7	SI
Reducción del desperdicio usando 6 grandes pérdidas del TPM	918 844,0	SI
<b>Total</b>	<b>13 002 074,5</b>	SI

Fuente: elaboración propia usando datos de la empresa

Con la información de ahorros y costos, se procederá en la siguiente sección a realizar un análisis de viabilidad financiera para la implementación del modelo.

## 15.3 Análisis de viabilidad financiera para la implementación del modelo de gestión de mantenimiento propuesto

Con la finalidad de tener un panorama más amplio respecto a la viabilidad financiera de implementación del modelo de gestión de mantenimiento planteado, se pretende realizar un análisis financiero básico que permita verificar la rentabilidad de implementación, haciendo uso de indicadores financieros comúnmente presentes en la mayoría de los proyectos de inversión, como por ejemplo el cálculo del período de recuperación (PR), el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el índice de deseabilidad (ID).

Cabe mencionar que el ahorro por reducción de inventario no se considerará en los cálculos de viabilidad financiera, pues es un proceso paulatino de reducción de activos ya existentes en la planta, dependiente del consumo de repuestos normal de la misma, es decir, no es posible simplemente comercializar las piezas sobrantes o innecesarias que se encuentren en bodega, sino hay que esperar a que sean consumidas por los equipos, proceso que puede tardar varios meses o incluso años de acuerdo a los datos de rotación de inventarios proporcionados por la empresa y, por tanto, es difícil de estimar con aceptable exactitud un ahorro promedio mensual en este rubro.

### 15.3.1 Período de recuperación (PR)

El período de recuperación es quizá el indicador financiero más simple de todos, “se puede definir como el tiempo en que se recuperará la inversión inicial de un proyecto” (Meoño & Jara, 2016, pág. 105). Si los flujos de efectivo son iguales, se puede calcular usando la siguiente fórmula:

$$PR = \frac{I}{R}$$

Donde:

I es la inversión inicial

R representa el flujo de efectivo anual

PR es el período de recuperación

Fuente: (Meoño & Jara, 2016, pág. 105)

### 15.3.2 Valor actual neto (VAN)

Consiste en “la suma de los flujos netos de efectivo descontados a la tasa de costo de capital, menos la inversión inicial, y representa la ganancia neta a valor actual del proyecto” (Meoño & Jara, 2016, pág. 108). La ecuación para calcular el VAN es la siguiente:

$$VAN = -I_0 + \frac{FNE_1}{(1+k)^1} + \frac{FNE_2}{(1+k)^2} + \frac{FNE_3}{(1+k)^3} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+k)^n}$$

Donde:

$I_0$  es la inversión inicial, realizada en el momento cero

$FNE_n$  representa el flujo neto de efectivo para el período n

k representa el costo del capital o tasa de interés

n es el número de años de duración del proyecto

Fuente: (Meoño & Jara, 2016, pág. 109)

### 15.3.3 Tasa interna de retorno (TIR)

Se define como “la tasa de descuento que hace posible que el VAN sea igual a cero, o también la tasa que iguala la suma de los flujos, o entradas descontadas con la inversión

inicial del proyecto, o con el valor presente de los desembolsos netos” (Meoño & Jara, 2016, pág. 110).

A la hora de tomar la decisión de aceptación o no de un proyecto, “la TIR debe compararse con la tasa de costo de capital o la tasa mínima de rentabilidad requerida”. (Meoño & Jara, 2016, pág. 110)

La forma de calcular la TIR es la mostrada a continuación:

$$0 = -I_0 + \frac{FNE_1}{(1+k)^1} + \frac{FNE_2}{(1+k)^2} + \frac{FNE_3}{(1+k)^3} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+k)^n}$$

Donde:

$I_0$  es la inversión inicial, realizada en el momento cero

$FNE_n$  representa el flujo neto de efectivo para el período n

k representa el costo del capital o tasa de interés

n es el número de años de duración del proyecto

Fuente: (Meoño & Jara, 2016, pág. 111)

Para el caso que compete al presente análisis, se considera como tasa de interés constante en el tiempo, la tasa básica pasiva, con un valor de 5.21 % según los datos proporcionados por el Banco Central de Costa Rica para el año 2018. (Banco Central de Costa Rica, 2018)

#### 15.3.4 Índice de deseabilidad (ID)

Este índice “representa en cuánto excede unitaria o porcentualmente el valor presente de los flujos de efectivo con respecto a la inversión inicial” (Meoño & Jara, 2016, pág. 113).

De acuerdo con este mismo autor, el ID es un índice es comúnmente utilizado cuando se requiere realizar una jerarquización de proyectos, así como un racionamiento del capital, y ambas situaciones se presentan actualmente en Paradise Ingredients, de ahí surge la importancia de su cálculo. Para su obtención, se utiliza la siguiente fórmula:

$$ID = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{FNE}{(1+k)^i}}{I_0}$$

Donde:

$I_0$  es la inversión inicial, realizada en el momento cero

FNE representa los flujos netos de efectivo

k representa el costo del capital

n es el número de años de duración del proyecto

Fuente: (Meoño & Jara, 2016, pág. 113)

#### 15.3.5 Resumen de indicadores financieros y viabilidad de implementación

A continuación, se muestra la tabla 11 que resume los indicadores financieros calculados para implementar el modelo de gestión propuesto en Paradise Ingredients.

*Tabla 11: Resumen de indicadores financieros calculados para la implementación del modelo de gestión propuesto*



<b>Indicador financiero</b>	<b>Valor</b>
Valor Actual Neto (VAN)	¢250.739,80
Tasa Interna de Retorno (TIR)	6,43 %
Período de Recuperación (PR) (meses)	8.21
Índice de Deseabilidad (ID)	1.059726
¿Es rentable el proyecto?	Sí

Fuente: elaboración propia

## 16 Recomendaciones

Con base en los descubrimientos realizados durante la auditoría, así como durante la estadía en las instalaciones del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients, se obtuvieron una serie de recomendaciones generales que se se deberían implementar si se desea mejorar la gestión del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento. Dichas recomendaciones se desglosan a continuación:

- Establecer tablas de tiempo normales para cada orden de trabajo. Se puede implementar en SAP un registro de los MTTR, realizar un promedio de las últimas reparaciones y de esta forma plantear alertas cuando una orden de trabajo tomó más tiempo del requerido, para así estudiar la situación en detalle. Además, esto permitiría calcular índices de proporción por tipo de mantenimiento a futuro como parte de los indicadores del Departamento. Todo esto permitiría tener una idea de la efectividad de cada reparación y la efectividad global del Departamento.
- Reducir el inventario de bodega, pues según recomienda (García Garrido, 2003), los repuestos que se deben tener son los de mayor renovación y que sean críticos para la planta. Para más detalles, ver la sección 13.2.1 Reducción de volúmenes de inventario no circulante del presente documento.
- Analizar las órdenes de trabajo completadas, especialmente las de equipos de alta incidencia de retrabajos y también de los equipos críticos, agregando la información relevante de cada reparación a la rutina de mantenimiento correspondiente a esa orden de trabajo, para así contar con un proceso de mejora continua.

- Medir y registrar los indicadores propuestos en este documento en el Departamento de Mantenimiento. En el caso particular del Tiempo Medio Para Reparar o MTTR, su medición permitiría realizar una distribución del tiempo total de un paro por áreas objeto de mantenimiento, así como el cálculo de la disponibilidad por equipo o proceso lo que ayudaría a obtener una visión global de la gestión del mantenimiento en el Departamento.
- Implementar criterios adicionales a lo indicado por la Tabla de Criticidad, para la asignación de prioridades de ejecución de las Órdenes de Trabajo (e.g. curva volumen ventas por tipo de producto vs costos de mantenimiento por equipo).
- Implementar un sistema formal de recepción de sugerencias para el mantenimiento de los equipos, con el fin de facilitar la comunicación entre técnicos y jefes de mantenimiento, y que de esta forma se genere un registro del aporte de los técnicos. Esto resulta de gran importancia porque a la larga permite encontrar inconsistencias en las rutinas de mantenimiento actuales, o bien generar nuevas rutinas de acuerdo con los problemas específicos de cada equipo, además que motiva a los técnicos a ser proactivos en su labor. En la sección 12.3 del presente trabajo, denominada “Formato de sugerencias de mantenimiento”, se puede encontrar una plantilla destinada a la recopilación de dichas sugerencias. En un futuro, esta información se podría recopilar digitalmente y formar parte de la base de datos en SAP con que cuenta actualmente el Departamento, para que esté disponible e indizada en cualquier momento, facilitando así su uso.

## 17 Conclusiones

- Las áreas más robustas del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de Paradise Ingredients son Mano de Obra, Medios Técnicos, Seguridad y Medio Ambiente. Las áreas que requieren más atención en cuanto a gestión del mantenimiento son Métodos de Trabajo, Materiales y Resultados Obtenidos.
- Las recomendaciones más importantes son la reducción de inventario en bodega, el análisis y verificación de las órdenes de trabajo ejecutadas y la creación de tablas de tiempo normalizadas para las intervenciones de los equipos.
- Se seleccionó una serie de indicadores de gestión de mantenimiento adicionales a los ya existentes en el Departamento de Ingeniería y Mantenimiento. Estos indicadores se clasificaron en 3 categorías: indicadores técnicos, indicadores organizacionales, e indicadores económicos; así como en 2 niveles de prioridad.
- Se calcularon los indicadores financieros Valor Actual Neto (C\$ 3 147 849,41), Período de Recuperación (4,85 meses), Tasa Interna de Retorno (9 %) e Índice de Deseabilidad (2,12). En general, la implementación del Modelo es viable financieramente.

## Bibliografía

- Balanced Scorecard Institute. (2017). *Balanced Scorecard Basics*. Obtenido de <http://www.balancedscorecard.org/BSC-Basics/About-the-Balanced-Scorecard>
- Banco Central de Costa Rica. (22 de Mayo de 2018). *Tasa de interés pasiva bruta promedio del Sistema Financiero para depósitos en moneda nacional*. Obtenido de Indicadores Económicos: <https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20615>
- Calderón, S., & Ortega, J. (2009). *Guía para la elaboración de diagramas de flujo*. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica.
- Cuatrecasas, L. (2003). *Total Productive Maintenance Hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción*. Barcelona, España: Ediciones Gestión 2000.
- Dounce, E. (2014). *La productividad en el Mantenimiento Industrial*. México D.F.: Grupo Editorial Patria.
- Duffuaa, S., Raouf, A., & Dixon, J. (2000). *Sistemas de mantenimiento Planeación y control*. México D.F.: Limusa.
- Fallas, C. (26 de Febrero de 2016). *El Financiero*. Obtenido de Grupo inversionista adquiere fábrica de Gerber Ingredients en Cartago: <https://www.elfinancierocr.com/negocios/grupo-inversionista-adquiere-fabrica-de-gerber-ingredients-en-cartago/C56U2ZACTJEHHBOSYLINZ7BFBA/story/>
- García Garrido, S. (2003). Calidad de Mantenimiento. Auditorías de Calidad de Mantenimiento. En S. García Garrido, *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial*. (págs. 202-222). Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- García, S. (2012). *TPM - TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE*. Obtenido de MantenimientoPetroquimica.com: <http://www.mantenimientopetroquimica.com/tpm.html>
- Inácio, C. M., Pereira, C. M., & de Oliveira, J. C. (2008). Proactive reliability maintenance: a case study concerning maintenance services costs. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 343-355.
- ISO 19011. (Noviembre de 2011). *ISO 19011:2011*. Obtenido de Guidelines for auditing management systems: <https://www.iso.org/standard/50675.html>
- ISO 55001. (2014). *ISO 55000:2014(es)*. Obtenido de Gestión de activos — Aspectos generales, principios y terminología: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:55000:ed-1:v2:es>
- ISO 5807. (2005). *ISO 5807:1985 Information processing -- Documentation symbols and conventions for data, program and system flowcharts, program network charts and system resources charts*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/11955.html>
- ISOTools. (20 de Octubre de 2017). *La norma ISO 9001 2015 ¿En que se basa el ciclo PHVA?* Obtenido de <https://www.isotools.com.co/la-norma-iso-9001-2015-se-basa-ciclo-phva/>

- Jones, D. (Septiembre de 2007). *Instituto Lean Management*. Obtenido de Artículo ¿Qué es Lean?: <http://www.institutolean.org/index.php/es/acerca-de/que-es-lean/69-articulo-que-es-lean>
- Koying, C. (6 de Marzo de 2018). Misión y Visión. (J. Castillo Villalobos, Entrevistador).
- KPI.org. (2017). *WHAT IS A KEY PERFORMANCE INDICATOR (KPI)?* Obtenido de <http://kpi.org/KPI-Basics>
- LAFISE Investment Management. (2009). *Managed Funds / CASEIF III*. Obtenido de [http://www.lafiseinvestment.com/lafise-lim/lim-caseifIII\\_e.aspx](http://www.lafiseinvestment.com/lafise-lim/lim-caseifIII_e.aspx)
- Lesáková, L., & Dubková, K. (2016). Knowledge and Use of the Balanced Scorecard Method in the Businesses in the Slovak Republic. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 39-48.
- López, M., & Crespo, A. (2008). Un modelo de referencia para la gestión del mantenimiento. Sevilla, España: Universidad de Sevilla. Recuperado el 27 de Febrero de 2018, de [https://www.researchgate.net/profile/Adolfo\\_Crespo\\_Marquez/publication/264854253\\_UN\\_MODELO\\_DE\\_REFERENCIA\\_PARA\\_LA\\_GESTION\\_DEL\\_MANTENIMIENTO/links/5559f9f208ae6fd2d8281a21/UN-MODELO-DE-REFERENCIA-PARA-LA-GESTION-DEL-MANTENIMIENTO.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Adolfo_Crespo_Marquez/publication/264854253_UN_MODELO_DE_REFERENCIA_PARA_LA_GESTION_DEL_MANTENIMIENTO/links/5559f9f208ae6fd2d8281a21/UN-MODELO-DE-REFERENCIA-PARA-LA-GESTION-DEL-MANTENIMIENTO.pdf)
- Meoño, M., & Jara, D. (2016). *Análisis financiero III: evaluación de los proyectos de inversión*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (Mayo de 2018). *Lista de Salarios*. Obtenido de <http://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/lista-salarios.html>
- Mora, L. A. (2009). *Mantenimiento Planeación Ejecución y Control*. México D.F.: Alfaomega Grupo Editor.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance* (Segunda ed.). New York: Industrial Press Inc.
- Paradise Ingredients. (1 de Diciembre de 2016). *Sial 2016 Completo FullHD*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=ldHqR9TI68>
- Paradise Ingredients. (20 de 11 de 2017). *Certifications*. Obtenido de <http://www.paradiseingredients.com/certifications>
- Paradise Ingredients. (21 de Noviembre de 2017). *Let's innovate together*. Obtenido de <http://www.paradiseingredients.com/lets-innovate-together>
- Parra, C., & Crespo, A. (Setiembre de 2012). *Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicadas en el proceso de Gestión de Activos*. Sevilla, España: Ingeman Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento. Recuperado el 27 de Febrero de 2018, de <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Metodos-basicos-de-criticidad-activos.pdf>
- Pistarelli, A. (2010). *Manual de Mantenimiento: ingeniería, gestión y organización*. Buenos Aires: Talleres Gráficos R y C.
- Pourjavad, E., Shirouyehzad, H., & Shahin, A. (Octubre de 2011). Analyzing RCM Indicators in Continuous Production Lines A Case Study. *International Business Research*, 4(4), 115-123. doi:10.5539/ibr.v4n4p115

- Rubio, M. (Setiembre de 2005). *Mejora de la productividad y la calidad en una línea de envasado de líquido*. Barcelona, España: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona - Enginyeria Industrial.
- UNE 66175. (Octubre de 2003). Asociación Española de Normalización y Certificación. *Norma española UNE 66175 Sistemas de Gestión de la calidad Guía para la implantación de sistemas de indicadores*. Madrid, España: AENOR.
- UNE-EN 15341. (2008). Asociación Española de Normalización y Certificación. *Mantenimiento Indicadores principales de desempeño*. Madrid, España: AENOR.
- Verein Deutscher Ingenieure. (Mayo de 2006). Selection and formation of indicators for maintenance. Düsseldorf.
- Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 21(1), 125-138.
- WEF. (2016). *Automation of Water Resource Recovery Facilities - WEF Manual of Practice No. 21*. Obtenido de [https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAWRRFWEE/viewerType:toc/root\\_slug:automation-of-water-resource-recovery-facilities---wef-manual-of-practice-no-21-4th-edition/url\\_slug:computerized-maintenance?b-q=maintenance %20management %20systems&b-subscription=tr](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAWRRFWEE/viewerType:toc/root_slug:automation-of-water-resource-recovery-facilities---wef-manual-of-practice-no-21-4th-edition/url_slug:computerized-maintenance?b-q=maintenance%20management%20systems&b-subscription=tr)

## Anexos

### Anexo 1: Cuestionario de auditoría

Nº	Criterio	Desfavorable			Favorable	Puntuación asignada
		0	1	2	3	
<b>Mano de Obra</b>						
1.	¿La plantilla tiene el personal que necesita?	En absoluto.	> 20 % exceso o defecto.	Entre 10-20 % de exceso o defecto.	Exactamente lo que se necesita.	
2.	¿El personal tiene la formación adecuada?	En absoluto.	Carencias importantes.	Casi todos.	Sí.	
3.	¿Hay una parte del personal polivalente?	0 % polivalente.	< 10 % polivalente.	10-40 % polivalente.	> 40 % polivalente.	
4.	¿Hay personal imprescindible?	> 25 %.	Entre 25-15 %.	< 15 %.	0 %.	
5.	¿Hay un Plan de Formación para el personal?	No hay ningún plan.	Hay un plan, pero escaso e incompleto.	Se observan deficiencias subsanables.	Sí.	
6.	¿El Plan de Formación resulta adecuado, y se lleva a cabo?	No a las dos preguntas.	No a una de las dos preguntas.	Se observan deficiencias subsanables.	Sí a las dos preguntas.	
7.	¿Se respeta el horario de entrada?	> 30 minutos de pérdida.	10-30 minutos de pérdida.	< 10 minutos de pérdida.	Sí.	
8.	¿Se respeta el horario de salida?	> 30 minutos de pérdida.	10-30 minutos de pérdida.	< 10 minutos de pérdida.	Sí.	
9.	¿Se respeta el horario en los descansos?	> 30 minutos de pérdida.	10-30 minutos de pérdida.	< 10 minutos de pérdida.	Sí.	

10.	¿El nivel de absentismo es bajo?	> 5 %.	3-5 %.	1-3 %.	< 1 %.	
11.	¿Los operarios están dispuestos a prolongar su jornada, acudir en fines, noches, fuera de su turno, etc., en caso de necesidad?	En absoluto.	Poblemático.	Habitualmente sí.	Siempre.	
12.	¿En general, las O.T. se resuelven cumpliendo el programa de mantenimiento?	No hay programación o no se cumple.	Más de un 50 % de diferencia.	Se cumple en más de un 80 %.	La programación se cumple exactamente.	
13.	¿El tiempo de intervención está de acuerdo con las tablas de tiempo normales?	> del doble de tiempo del normal.	30-100 % de diferencia.	10-30 % de diferencia.	< 10 % de diferencia.	
14.	¿La media de tiempos muertos no productivos es la adecuada?	> 40 %.	30-40 %.	20-30 %.	< 20 %.	
15.	¿El personal cumple correctamente las O.T.?	No, nunca.	Siempre incompletas.	Habitualmente, sí.	Sí, siempre	
16.	¿El organigrama resulta adecuado?	No se ajusta en absoluto a las necesidades.	Deficiencias en el organigrama.	Falta o sobra algún puesto.	Sí.	
17.	¿El personal indirecto está en número adecuado?	Exceso de personal.	Deficiencias importantes.	Optimizable.	Sí.	
18.	¿El personal indirecto tiene la formación adecuada?	No conocen mantenimiento.	Carencias importantes.	Tienen algunas carencias.	Sí.	



19.	¿Los mandos intermedios (encargados y jefes de equipo) intervienen en la resolución de ordenes de trabajo?	Solo organizan el trabajo.	Raramente intervienen.	Habitualmente lo hacen.	50 % de su tiempo intervienen.	
20.	¿El organigrama general del departamento es adecuado?	Le faltan o le sobran funciones clave	Le falta o le sobra alguna función importante	Mejorable.	Perfecto.	
Total obtenido						0
Total obtenible						60
Índice de Conformidad IC						0 %

Medios Técnicos						
21.	¿Los equipos de medida están calibrados?	Ninguno.	Muy pocos.	Casi todos.	Sí.	
22.	¿Las herramientas para el mantenimiento mecánico se corresponden con lo que se necesita?	En absoluto.	Carencias importantes.	Falta algo.	Sí.	
23.	¿Las herramientas para el mantenimiento eléctrico se corresponden con lo que se necesita?	En absoluto.	Carencias importantes.	Falta algo.	Sí.	
24.	¿Las herramientas para el mantenimiento de la instrumentación se corresponden con lo que se necesita?	En absoluto.	Carencias importantes.	Falta algo.	Sí.	
25.	¿Existe un inventario de las herramientas?	No.	Mucha diferencia	Sí, pero no	Sí	

	mientas que se usan en el departamento?		rencia con lo que hay.	es completo.		
26.	¿Los equipos están limpios y en buen estado?	No.	Preocupante.	Mejorable.	Sí.	
27.	¿Los equipos están colocados adecuadamente en el taller, y debidamente señalizados?	No.	Preocupante.	Mejorable.	Sí.	
28.	¿El <i>software</i> de gestión o el sistema de información de mantenimiento es el adecuado?	En absoluto.	Carencias importantes.	Mejorable.	Sí.	
29.	¿El sistema aporta información fiable?	No.	Preocupante.	Mejorable.	Sí.	
30.	¿Los operarios consultan alguna vez los datos contenidos en el sistema de información?	Nunca, no les es útil.	Rara vez.	A veces, pero no mucho.	Muy a menudo	
31.	¿El número de horas invertido en introducir datos al sistema es bajo?	Muy alto.	Alto.	Adecuado.	Muy bajo	
32.	¿El taller de mantenimiento parece limpio y ordenado?	No.	Preocupante.	Mejorable.	Sí.	
33.	¿Está bien señalizado e identificado su interior?	No.	Preocupante.	Mejorable.	Sí.	
34.	¿Está situado en el lugar adecuado?	No.	Preocupante.	Mejorable.	Sí.	
35.	¿El taller cuenta con los medios?	En absoluto.	Carencias	Falta algo.	Sí.	

	adecuados al tipo de trabajo que se realiza?		importantes.			
36.	¿Las oficinas parecen limpias y ordenadas?	No.	Preocupante.	Mejorable.	Sí.	
37.	¿Se cuenta con los medios adecuados en la oficina (ordenadores, impresoras, faxes, teléfonos, etc.)?	No.	Preocupante.	Mejorable.	Sí	
Total obtenido						0
Total obtenible						51
Índice de Conformidad IC						0 %

<b>Métodos de trabajo</b>						
38.	¿Se ha realizado un análisis de equipos?	Nunca se ha estudiado.			Sí.	
39.	¿Ese análisis establece el nivel de criticidad de cada equipo?	Nunca se ha estudiado.	Sí, pero con criterios incorrectos.	Sí, pero hay que reestudiarlo.	Sí, y está bien hecho	
40.	¿En ese análisis se determina el modelo de mantenimiento más adecuado para cada equipo?	Nunca se ha estudiado.	Sí, pero con criterios incorrectos.	Sí, pero hay que reestudiarlo.	Sí, y está bien hecho.	
41.	¿Se ha realizado un Plan de Mantenimiento Programado?	No.	Abarca pocos equipos.	Sí, pero no es completo.	Sí.	
42.	¿Este plan resulta adecuado?	No.	Preocupante.	Mejorable.	Sí.	
43.	¿Hay una planificación de mantenimiento?	No.	Sí.			

44.	¿Se emite un informe periódico que analiza la evolución del departamento de mantenimiento?	No.	Sí, pero es inadecuado.	Sí, pero es mejorable.	Sí.	
45.	¿El informe aporta información útil para la toma de decisiones?	No.	Muy poca utilidad.	Es mejorable.	Sí.	
46.	¿Existe un plan de Formación?	No.	Sí.			
47.	¿Ese plan resulta adecuado?	No.	Poco adecuado.	Es mejorable.	Sí.	
48.	¿El Plan de Formación se lleva a cabo?	No.	Muy poco.	Se intenta cumplir.	Rigurosamente.	
49.	¿La proporción entre mantenimiento programado y no programado es la adecuada?	< 20 %.	20-50 %.	50-70 %.	> 70 %.	
50.	¿Se trabaja con Ordenes de Trabajo o sistemas similares?	Nunca.	Raras ocasiones.	No siempre.	Sí.	
51.	¿Existe un sistema establecido para asignar prioridades a las O.T.?	No.	Existe pero sin criterio.	Sí, pero los criterios no están muy claros.	Sí.	
52.	¿Las Órdenes de Trabajo se recopilan y analizan?	Nunca.	Raras ocasiones.	No siempre.	Sí.	
53.	¿Existen procedimientos para las intervenciones más habituales?	No.	Muy pocos.	Muchos.	Casi toda sí.	
54.	¿Los operarios usan esos procedimientos?	Nunca.	Raras	No siempre.	Sí.	

	mientos?		ocasiones.			
55.	¿Se proponen mejoras desde el área de mantenimiento?	Nunca.	Raras ocasiones.	No siempre.	Sí.	
56.	¿Se recogen y analizan las mejoras que proponen los operarios?	Nunca.	Raras ocasiones.	No siempre.	Sí.	
Total obtenido						0
Total obtenible						57
Índice de Conformidad IC						0 %

<b>MATERIALES</b>						
57.	¿Existe una lista de repuesto mínimo a mantener en stock?	No.	Sí, pero no es válida.	Sí, pero es incompleta.	Sí.	
58.	¿Los criterios para seleccionar ese repuesto mínimo son coherentes?	No.	Existe pero sin criterio.	Sí, pero los criterios no están muy claros.	Sí.	
59.	¿Esa lista se actualiza y se mejora periódicamente?	No.	Sí.			
60.	¿Se comprueba que los repuestos contenidos en la lista están realmente en la planta?	Nunca.	Raras ocasiones.	No siempre.	Sí.	
61.	¿Existe un sistema de registro de entradas y salidas del almacén que permita conocer los movimientos	No.	Sí, pero es inadecuado.	Sí, pero es mejorable.	Sí.	

	del almacén en un periodo determinado?					
62.	¿Los materiales del almacén están colocados adecuadamente?	Es muy difícil encontrar algo.	Es preocupante.	Es mejorable.	Es muy fácil encontrar lo que se busca.	
63.	¿La ubicación del/de los almacén/es es la adecuada?	No.	Poco adecuada.	Es mejorable.	Sí.	
64.	¿Existe algún sistema para realizar inventarios periódicos?	No.	Poco adecuada.	Es mejorable.	Sí.	
65.	¿Lo que se cree que se tiene coincide con lo que se tiene realmente?	Más de 25 % de desviaciones.	15-25 % de desviaciones.	Menos de un 15 % de desviaciones.	Coincide perfectamente.	
66.	¿Hay indicadores para medir la eficacia del almacén?	No.	Son insuficientes.	Sí, pero es mejorable.	Sí, y resultan adecuados.	
67.	¿El sistema de compras es ágil?	Demasiado lento.	Lento.	Sí, pero es mejorable.	Sistema muy ágil.	
68.	¿Existen indicadores para evaluar la eficacia del sistema de compras?	No.	Son insuficientes.	Sí, pero es mejorable.	Sí, y resultan adecuados.	
69.	¿Los materiales siempre alcanzan la calidad que se necesita?	No.	Son insuficientes.	Sí, pero es mejorable.	Sí, y resultan adecuados.	
Total obtenido						0
Total obtenible						39

**RESULTADOS OBTENIDOS**

70.	La disponibilidad media de los equipos significativos es la adecuada.	Mala.	Se aleja del óptimo.	Pequeñas desviaciones.	Buena.	
71.	La evolución de la disponibilidad es buena.	Está disminuyendo.	Tendencia a disminuir.	Está estabilizada.	Está aumentando.	
72.	Tiempo medio entre fallos en equipos significativos.	Malo.	Se aleja del óptimo.	Pequeñas desviaciones.	Buena.	
73.	Evolución del tiempo medio entre fallos.	Está aumentando.	Tendencia a aumentar.	Está estabilizada.	Está disminuyendo.	
74.	Número de O.T de Emergencia o de prioridad máxima.	Muy alto.	Alto.	Bajo.	Muy bajo.	
75.	Evolución de las O.T de emergencia.	Está aumentando.	Tendencia a aumentar.	Está estabilizada.	Está disminuyendo.	
76.	Tiempo medio de reparación.	Muy alto.	Alto.	Bajo.	Muy bajo.	
77.	Evolución del tiempo medio de reparación.	Está aumentando.	Tendencia a aumentar.	Está estabilizada.	Está disminuyendo.	
78.	Número de averías repetitivas.	Muy alto.	Alto.	Bajo.	Muy bajo.	
79.	Evolución del número de averías repetitivas.	Está aumentando.	Tendencia a aumentar.	Está estabilizada.	Está disminuyendo.	
80.	Número de horas/hombre invertido en mantenimiento.	Muy alto.	Alto.	Bajo.	Muy bajo.	

81.	Evolución de las horas en los últimos 4 años.	Está aumentando.	Tendencia a aumentar.	Está estabilizada.	Está disminuyendo.	
82.	Coste del Mantenimiento contratado a fabricantes.	Muy alto.	Alto.	Bajo.	Muy bajo.	
83.	Evolución del coste de mantenimiento contratado a fabricantes.	Está aumentando.	Tendencia a aumentar.	Está estabilizada.	Está disminuyendo.	
84.	Gasto en repuestos.	Muy alto.	Alto.	Bajo.	Muy bajo.	
85.	Evolución del gasto en repuestos.	Está aumentando.	Tendencia a aumentar.	Está estabilizada.	Está disminuyendo.	
86.	Coste total de mantenimiento.	Muy alto.	Alto.	Bajo.	Muy bajo.	
87.	Evolución del coste.	Está aumentando.	Tendencia a aumentar.	Está estabilizada.	Está disminuyendo.	
88.	¿El resto de los indicadores que se usan son adecuados?	No.	Grandes dudas.	Algunos no.	Sí.	
89.	¿La evolución de todos ellos es positiva?	Todos van mal.	Algunos están empeorando.	Casi todos van bien.	Todos van bien.	
Total obtenido						0
Total obtenible						60
Índice de Conformidad IC						0 %

SEGURIDAD						
90.	¿Se ha efectuado la evaluación de riesgos?	No.	Sí, pero está mal hecha.	Sí, aunque es mejorable.	Sí.	
91.	¿Hay un Plan de Seguridad?	No.	Sí, pero está mal hecha.	Sí, aunque es mejorable.	Sí.	
92.	¿El plan resulta adecuado?	No.	Poco adecuado.	Es mejorable.	Sí.	
93.	¿La inspección visual de la planta	No.	Ofrece dudas.	Es mejorable.	Sí.	



	hace pensar que se trata de una instalación segura?		das.	ble.		
94.	¿Los trabajadores reciben de forma periódica formación en seguridad?	No, nunca.	Rara vez.	Hay que aumentar la frecuencia.	Muy a menudo.	
95.	¿Los trabajadores usan habitualmente los medios de protección individual?	No, nunca.	A veces.	No siempre.	Siempre.	
96.	¿El nivel de accidentalidad es bajo?	Muy alto.	Preocupante.	Mejorable.	Muy bajo.	
Total obtenido						0
Total obtenible						21
Índice de Conformidad IC						0 %

<b>MEDIO AMBIENTE</b>						
97.	¿Existe un Plan Medioambiental?	No.	Sí, pero está mal hecha.	Sí, aunque es mejorable.	Sí.	
98.	¿En este plan se analizan adecuadamente los aspectos medioambientales y su significación?	No.	Sí, pero está mal hecha.	Sí, aunque es mejorable.	Sí.	
99.	¿Este plan se lleva a cabo correctamente?	No, nunca.	A veces.	Casi siempre.	Siempre.	
100.	El personal está sensibilizado y actualizado de acuerdo con el Plan Medioambiental?	En absoluto.	Le dan poca importancia.	Sí, aunque a veces no.	Siempre.	
Total obtenido						0

Total obtenible	12
Índice de Conformidad IC	0 %