



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **“ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA DE ALUMINIOS CEDAL.”**

**DIEGO FABIÁN TANDALLA GUANOQUIZA**

**Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo,  
presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH,  
como requisito parcial para la obtención del grado de MAGISTER EN GESTIÓN  
DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

Riobamba - Ecuador

Abril 2017



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado “ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA DE ALUMINIOS CEDAL”, de responsabilidad del Sr. Diego Fabián Tandalla Guanoquiza ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Ing. Fredy Proaño Ortiz; PhD.

**PRESIDENTE**

\_\_\_\_\_

Ing. Jorge Medina Pàrraga; MSc.

**DIRECTOR**

\_\_\_\_\_

Ing. Juan Pérez Pupo; PhD.

**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_

Ing. Jorge Freire Miranda; MSc.

**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_

Riobamba, Abril 2017

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Diego Fabián Tandalla Guanoquiza, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Diego Fabián Tandalla Guanoquiza

0503064206

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Diego Fabián Tandalla Guanoquiza, declaro que el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor/a, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, Abril de 2017

---

Diego Fabián Tandalla Guanoquiza

0503064206

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a DIOS por haberme dado la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida, y haberme dado la fuerza para enfrentar los retos de cada día.

A Tatiana y Christopher por su apoyo incondicional.

A mi padre Ángel, a mi madre Estela, y a mis hermanos, Bolívar, Marcela, Klever y Jefferson por estar siempre a mi lado y apoyarme en los momentos difíciles.

A Instituto de Postgrado y Educación Continua, por haberme acogido en sus aulas y llenarme de conocimiento y sabiduría.

A la Empresa CEDAL y al Ing. Jorge Medina por brindarme todas las facilidades necesarias para la realización del trabajo de investigación.

Al Ing. Rafael Pérez y Ing. Jorge Freire distinguidos profesionales forjadores de ciencia y cultura, que siempre estuvieron dispuestos a compartir su tiempo y conocimiento.

*Diego*

## **DEDICATORIA**

Al culminar esta etapa profesional, dedico todo el esfuerzo realizado a mi Madre Estelita que con su dedicación, paciencia y apoyo constante e incondicional, supo mantenerme en el camino del bien, es a ella a quien le debo la vida y lo que soy.

*Diego*

## CONTENIDO

	Pág.
CERTIFICACIÓN.....	ii
DERECHOS INTELECTUALES.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
CAPÍTULO I	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problema de investigación.....	2
1.1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.1.2. Formulación del problema.....	4
1.1.3. Sistematización del problema.....	4
1.1.4. Justificación de la investigación.....	4
1.1.5. Objetivos.....	5
1.1.5.1. Objetivo general.....	5
1.1.5.2. Objetivos específicos.....	5
1.1.6. Hipótesis.....	6
CAPÍTULO II	
2. MARCO REFERENCIAL.....	7
2.1. Concepto de mantenimiento.....	7
2.1.1. Tipos de mantenimiento.....	7
2.2. Sistema de gestión del mantenimiento.....	8
2.2.1. Estrategias del mantenimiento.....	9
2.2.2. Contexto operacional.....	11
2.2.3. Modelo de gestión de Mantenimiento.....	13
2.3. Análisis de criticidad.....	17

2.3.1.	Definición de criticidad o riesgo.....	17
2.4.	Métodos de análisis de criticidad.....	21
2.4.1.	Método del flujograma.....	21
2.4.2.	Método proceso de análisis jerárquico (AHP).....	25
2.4.3.	Método criticidad total por riesgo (CTR).....	28
2.4.4.	Método cuantitativo del riesgo (RC).....	32
2.4.5.	Modelo de probabilidad de falla y confiabilidad.....	34
2.4.6.	Valoración cuantitativa del riesgo.....	37
2.5.	Herramientas para la gestión del mantenimiento.....	40
2.5.1.	Análisis de puntos críticos en mantenimiento.....	40
2.5.2.	Análisis de Pareto.....	41
2.5.3.	Análisis causa raíz (ACR).....	43
2.5.4.	Análisis de modo de fallos, efectos y criticidad FMECA.....	44
<b>CAPÍTULO III</b>		
3.	<b>METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.....</b>	<b>46</b>
3.1.	Fundamentos de la solución.....	46
3.1.1.	Técnicas de recolección de datos.....	47
3.1.2.	Población y muestra.....	48
3.2.	Metodología para el análisis de criticidad de equipos.....	50
3.3.	Fases de la metodología análisis de criticidad.....	51
3.3.1.	Objetivo y alcance.....	51
3.3.2.	Diagnóstico del contexto operacional.....	51
3.3.3.	Selección de criterios.....	52
3.3.4.	Análisis de criticidad.....	52
3.3.5.	Evaluación de resultados.....	52
3.3.6.	Tratamiento del nivel de criticidad.....	53
<b>CAPÍTULO IV</b>		
4.	<b>IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN EMPRESA DE ALUMINIOS CEDAL.....</b>	<b>55</b>
4.1.	Determinación del objetivo y alcance.....	55
4.2.	Diagnóstico del contexto operacional.....	58



4.2.1.	Descripción del proceso productivo de extrusión.....	58
4.2.2.	Diagnóstico del sistema de gestión de mantenimiento.....	60
4.3.	Determinación de criterios para el análisis de criticidad.....	62
4.4.	Análisis y cálculo de parámetros de criticidad.....	64
4.4.1.	Cálculo de MTBF, MTTR, tasa de falla ( $\lambda$ ) y tasa de reparación ( $\mu$ ).....	65
4.4.2.	Cálculo de la fiabilidad (R), probabilidad de falla (F), mantenibilidad (M), disponibilidad (D) e indisponibilidad (ID).....	65
4.4.3.	Análisis costos de mantenimiento y costos de indisponibilidad por ocurrencia de falla.....	67
4.4.4.	Cálculo de nivel de criticidad.....	71
4.5.	Evaluación y resultados del análisis de criticidad.....	73
4.5.1.	Jerarquización de equipos según nivel de criticidad.....	74
4.5.2.	Matriz de criticidad proceso de extrusión.....	76
4.6.	Determinación de estrategias de mantenimiento.....	77
4.7.	Comprobación estadística del análisis.....	81
4.7.1	Comparación puntual de la fiabilidad.....	81
4.7.2	Comprobación de hipótesis de investigación.....	83
	CONCLUSIONES.....	87
	RECOMENDACIONES.....	89
	GLOSARIO DE TÉRMINOS	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2. Valoración de juicios en AHP.....	27
Tabla 2-2. Valores de RI para matrices de diferentes órdenes.....	28
Tabla 3-2. Revisión de los métodos de análisis de criticidad y sus características.....	38
Tabla 4-2. Aspectos del análisis de puntos críticos de mantenimiento.....	40
Tabla 5-2. Características del análisis de Pareto.....	41
Tabla 6-2. Fases de del análisis causa raíz.....	43
Tabla 1-3. Población del proceso productivo de perfilera de aluminio.....	48
Tabla 2-3. Procedimiento metodológico para el análisis de criticidad.....	53
Tabla 2-4. Análisis de aspectos del entorno operacional.....	59
Tabla 3-4. Resumen del análisis de puntos críticos de mantenimiento.....	61
Tabla 4-4. Tabulación de datos periodo Enero 2015 a Diciembre 2015.....	64
Tabla 5-4. Tabulación de datos periodo Enero 2015 a Diciembre 2015.....	65
Tabla 6-4. Cálculo de fiabilidad, probabilidad de falla, mantenibilidad, disponibilidad, e indisponibilidad.....	66
Tabla 7-4. Costos de mantenimiento año 2015.....	68
Tabla 8-4. Costos de producción año 2015.....	70
Tabla 9-4. Costos por pérdidas de producción año 2015.....	71
Tabla 10-4. Calculo del nivel de criticidad año 2015.....	72
Tabla 11-4. Jerarquización de equipos por categorías.....	74
Tabla 12-4. Estrategias de mantenimiento.....	77
Tabla 13-4. Estrategias de mantenimiento para los equipos del proceso de extrusión.....	79
Tabla 14-4. Datos de la variable confiabilidad antes y después de la intervención.....	84
Tabla 15-4. Tabla 14-4: Prueba de t para variables relacionadas.....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2.	Tipos de mantenimiento.....	8
Figura 2-2.	Estrategias de mantenimiento.....	10
Figura 3-2.	Estructura de los requisitos ISO-55001:2014.....	11
Figura 4-2.	Sistema de proceso de mantenimiento norma EN-16646.....	14
Figura 5-2.	Modelo de gestión de mantenimiento.....	15
Figura 6-2.	Proceso de la gestión de riesgo.....	18
Figura 7-2.	Proceso de análisis de criticidad norma NORSOK-Z008.....	19
Figura 8-2.	Proceso para determinar programas de mantenimiento.....	20
Figura 9-2.	Modelo del flujograma para el análisis de criticidad.....	21
Figura 10-2.	Modelo proceso de análisis jerárquico.....	25
Figura 11-2.	Matriz de criticidad propuesta por CTR.....	29
Figura 12-2.	Determinación del riesgo método cuantitativo. ....	33
Figura 13-2.	Detenciones de un equipo vs tiempos de operación.....	35
Figura 14-2.	Detenciones de un equipo vs tiempos de reparación.....	36
Figura 15-2.	Diagrama de Pareto aplicado averías.....	42
Figura 16-2.	Aplicabilidad para el análisis FMECA.....	45
Figura 1-3.	Modelo para el análisis de criticidad.....	50
Figura 1-4.	Taxonomía de equipos corporación Cedal.....	55
Figura 2-4.	Producción de perfilería.....	57
Figura 3-4.	Diagrama de flujo proceso de extrusión.....	58
Figura 4-4.	Diagrama de bloque funcional proceso de extrusión.....	60
Figura 5-4.	Diagrama del diagnóstico del sistema de gestión de mantenimiento.....	61
Figura 6-4.	Diagrama de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.....	67
Figura 7-4.	Costos de mantenimiento año 2015.....	69
Figura 8-4.	Costos de producción año 2015.....	70
Figura 9-4.	Diagrama de Pareto para la jerarquización de equipos año 2015....	75
Figura 10-4.	Matriz de criticidad proceso de extrusión.....	76
Figura 11-4.	Comparación puntual de la fiabilidad.....	81
Figura 12-4.	Matriz de criticidad 2015.....	82
Figura 13-4.	Matriz de criticidad 2016.....	82

## **LISTA DE ANEXOS**

- ANEXO A. Fórmulas para el cálculo de disponibilidad, fiabilidad y confiabilidad
- ANEXO B. Taxonomía de equipos norma ISO 14224 -2006
- ANEXO C. Formato de catastro de equipos , proceso de extrusión
- ANEXO D. Identificación y Caracterización de la empresa Cedal
- ANEXO E. Cuestionario y análisis de puntos críticos de mantenimiento
- ANEXO F. Registro diario de actividades de mantenimiento semana 1 mes Enero 2015
- ANEXO G. Registro de control de paradas mes Enero 2015
- ANEXO H. Tabulación de datos de numero de fallas periodo Enero 2015 a Diciembre 2015
- ANEXO I. Tabulación de datos tiempos de operación periodo Enero 2015 a Diciembre 2015
- ANEXO J. Tabulación de datos tiempos de reparación periodo Enero 2015 a Diciembre 2015
- ANEXO K. Costos de producción 2015- proceso de extrusión
- ANEXO L. Producción de perfilera de aluminio año 2015
- ANEXO M. Análisis de Pareto, parametrización de tasa de fallas
- ANEXO N. Análisis de Pareto, parametrización de consecuencias
- ANEXO O. Etapas, objetivos y herramientas utilizadas en el modelo de análisis e criticidad
- ANEXO P. Organigrama general de la empresa Cedal
- ANEXO Q. Prueba de Hipótesis en programa estadístico R
- ANEXO R. Registro diario de actividades de mantenimiento 2016
- ANEXO S. Indicadores de gestión de planta
- ANEXO T. Registro de control de paradas Enero 2016

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo, realizar el análisis de criticidad de equipos para mejorar el sistema de gestión del mantenimiento en la empresa de aluminios CEDAL. La metodología está fundamentada en: la teoría del riesgo de tipo cuantitativo, Norsok.-Z008, ISO-14224, EN-16646 y ISO-31000; conformada por seis fases: iniciando con la selección del activo físico, diagnóstico del contexto operacional, posteriormente se realizó la selección de criterios a aplicar, el cálculo de criticidad mediante el estudio de tasas de falla y sus consecuencias monetarias, para luego jerarquizar los equipos según el grado criticidad por el método de Pareto, finalmente se estableció las estrategias de mantenimiento para cada zona de la matriz. Con la aplicación del modelo en los veintisiete equipos del proceso de extrusión se diagnosticó principalmente; una muy alta criticidad en la mesa de salida de enfriamiento de 1130,97 USD/h, con una probabilidad de falla del 92,88 % y un MTBF de 63,59 h; por lo tanto, para esta zona se determina como estrategia el Análisis Causa Raíz, que tiene como fin definir acciones correctivas inmediatas que disminuya la ocurrencia de falla. Se concluye que mediante el análisis de criticidad de equipos se logra incrementar la confiabilidad del proceso en un 23,16 % y por consiguiente permite orientar los recursos del mantenimiento. Se recomienda la implementación del modelo en todos sus procesos productivos.

**Palabras claves:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO>, <GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO>, <INGENIERÍA DE FIABILIDAD>, <INGENIERÍA DEL RIESGO>, <ANÁLISIS DE CRITICIDAD>, <ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO>, <EMPRESA DE ALUMINIOS CEDAL>.

## **ABSTRACT**

This research, conducted at the CEDAL aluminum enterprise, aimed at analyzing the equipment criticality to improve its maintenance management system. The methodology was based on risk analysis quantitative and the Norsok Z-008, ISO-14224, EN-16646 and ISO-31000 standards. It consisted of six phases: physical asset selection, operational context diagnosis, criteria selection to be applied, criticality calculation using failure rate and economic consequences, equipment classification according to the Pareto analysis and maintenance strategies for each zone of the matrix. Having applied this methodology to 27 items of the extrusion process, a very high criticality level in the extrusion cooling table of 1130.97 USD/h, with a failure rate probability of 92.88 % and MTBF (Mean time between failures) of 63.59 h, therefore, the root cause analysis, method of problem solving used to diminish the occurrence of failure- was determined for this zone. We conclude that analyzing the equipment criticality increases the process reliability in 23.16% and guides the maintenances resources. We recommend to implement this methodology in all the production processes.

**Keywords:** <ENGINEERING SCIENCE AND TECHNOLOGY>, < MAINTENANCE ENGINEERING>, <MAINTENANCE MANAGEMENT>, <RELIABILITY ENGINEERING>, <RISK ENGINEERING>, <CRITICALITY ANALYSIS>, <MAINTENANCE STRATEGIES>, <CEDAL ALUMINUM ENTERPRISE>.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN.

En la actualidad el sector metalúrgico de la industria ecuatoriana sobre todo el de aluminio viene experimentando cambios en la optimización de sus recursos, debidos a la economía que ha impactado en estos últimos años al país. Es por ello que la empresa de aluminios Cedal con la finalidad de mejorar la rentabilidad de los procesos productivos, cada día dedica enormes esfuerzos a identificar, analizar, implantar y ejecutar estrategias para la solución de problemas y toma de decisiones efectivas y acertadas.

Tales esfuerzos por la mejora continua se evidencian en la implementación y acreditación de normas internacionales como ISO 9001-2008, ISO 14001, OSHAS 18001, que en conjunto forman el sistema de gestión integral de la organización. En donde el sistema de gestión de mantenimiento es un punto clave a mejorar, ya que debe cumplir con requisitos mínimos de calidad de sus procesos, como también de salud, seguridad e higiene en las actividades de manutención y normas vigentes ambientales; por tanto el mantenimiento en la empresa Cedal es un proceso global que involucra a todos los departamentos con la finalidad de garantizar la confiabilidad operacional de los sistemas productivos y la optimización de sus recursos.

Por tanto, para lograr la optimización de recursos en mantenimiento es necesario establecer estrategias de mantenimiento en los activos objetos de estudio, siendo estas estrategias las que mejoren la eficacia y eficiencia de los planes de mantenimiento. Para establecer las nuevas estrategias de mantenimiento es necesario priorizar o jerarquizar los equipos mantenibles en base a su contexto operacional. Es así que la metodología para realizar la jerarquización de los equipos es el análisis de criticidad basado en la teoría del riesgo.

El análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar los ítems mantenibles dependiendo del nivel de taxonomía según norma ISO 14224, y bajo los criterios que se establezcan en la organización en función de su contexto operacional.

El presente proyecto busca conocer y aplicar el modelo de análisis de criticidad a nivel de equipos del proceso productivo de extrusión, bajo el análisis cuantitativo de sus dos parámetros; probabilidad de falla y consecuencias.

## **1.1 Problema de investigación**

### **1.1.1. *Planteamiento del problema.***

La Corporación Ecuatoriana de Aluminio, CEDAL S.A. brinda productos y servicios mediante el proceso de fundición y a partir de material de reproceso y aluminio primario, y lingotes de aluminio para utilizarlos como materia prima en el proceso de extrusión de perfiles, barras, varillas y tubos de aluminio, lo que permite mantenerse y liderar el mercado nacional. Está ubicada en la Provincia de Cotopaxi, Ciudad de Latacunga, fundada en el año 1974.

CEDAL S.A cuenta con certificaciones internacionales como: ISO 9001-2008 Sistema de Gestión de Calidad (SGC), ISO 14001 Sistema de Gestión Ambiental (SGA), OSHAS 18001 Sistema de Gestión Salud Seguridad e Higiene (SGSSH) que en conjunto forman el Sistema de Gestión Integral (SGI). Así también cumple con leyes y reglamentos nacionales, como la Licencia Ambiental para su operación en sectores urbanos y la norma INEN 2250 - 2013. Por tanto su proceso productivo está basado en generar rentabilidad económica con un alto nivel de calidad y satisfacción al cliente comprometido con el medio ambiente, salud, seguridad e higiene laboral.

El Sistema de Gestión de Mantenimiento SGM de CEDAL está obligado a cumplir con la mayor parte de requisitos, normas y estándares establecidos por la organización, es así que la preparación y planificación del mantenimiento está en función de los objetivos y estrategias de la organización, que permita mantener la confiabilidad operacional, eficiencia en la gestión de sus recursos, racionalización de costos, alta



disponibilidad de equipos, y minimización de las consecuencias sobre el negocio (Mora Gutiérrez. 2006, p.130).

Actualmente los planes de mantenimiento se elaboraran en base a técnicas modernas de ingeniería de mantenimiento como: el Mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM), Mantenimiento basado en la condición (MBC), Mantenimiento preventivo Planificado (MPP), Diagramas de Pareto, Análisis Causa Raíz (ACR), Diagrama Causa-Efecto.

Sin embargo se evidencia, que al no reconocer en los planes de mantenimiento la importancia de la jerarquización de equipos por grado de criticidad se crean inexactitudes en el desarrollo de estrategias o políticas de mantenimiento que gobiernen sobre el activo en relación al grado del comportamiento del fallo e impacto, así también presenta ausencias en la gestión de fallas, actividades y esfuerzos de manutención, como también catastros de equipos incompletos, y falta de adquisición de algunos repuestos críticos; por tanto estas inconformidades al sistema de gestión de mantenimiento direccionan a errar en la toma de decisiones, afectando así la confiabilidad operacional del proceso de perfilería por extrusión.

Actualmente en el sistema de gestión de mantenimiento de la empresa no utiliza una estructura o criterios para la jerarquización de equipos, lo que implica que las estrategias y planes de mantenimiento se encuentran limitadas a los requerimientos reales del contexto operacional de la planta, siendo un limitante para la confiabilidad operacional, calidad del producto, seguridad, medio ambiente y rentabilidad del negocio (Parra Márquez C. & Crespo Márquez A. 2012, p.2)

Por lo cual surge la necesidad de realizar el estudio de las ocurrencias de falla y el impacto total o consecuencia de las fallas para determinar su nivel de criticidad o riesgo y poder realizar su jerarquización que mejore la eficiencia del SGM.

### ***1.1.2. Formulación del problema***

¿Permite el análisis de criticidad de equipos, desarrollar en la empresa de Aluminios CEDAL la jerarquización de equipos por prioridad y proponer mejoras en el sistema de Gestión de Mantenimiento Actual?

### ***1.1.3. Sistematización del problema***

- ¿Cuáles son los métodos a utilizar para el análisis y cálculo de criticidad de equipos?
- La falta de implementación del análisis de criticidad, ¿de qué manera afecta el sistema de gestión de mantenimiento actual y proceso productivo?
- ¿La jerarquización de equipos por análisis de criticidad, permite optimizar y mejorar la gestión del mantenimiento sobre los equipos industriales?
- ¿Cuáles son los equipos que requieren mayor atención y dedicación de esfuerzos al realizar la manutención?

### ***1.1.4. Justificación de la investigación.***

Actualmente el sistema de gestión de mantenimiento no aplica una estructura o criterios para la jerarquización de equipos, lo que implica que las estrategias y planes de mantenimiento se encuentran limitadas a los requerimientos reales del contexto operacional de la planta, lo cual disminuye la confiabilidad operacional, calidad del producto y rentabilidad del negocio.

Así surge la necesidad de realizar el estudio de las frecuencias de falla y el impacto total o consecuencia de las fallas para determinar su nivel de criticidad o riesgo y poder realizar su jerarquización.

Mediante el análisis de criticidad, se propone establecer la jerarquización de los equipos objetos de mantenimiento y así lograr la optimización de los recursos de mantenimiento, reducir el riesgo operacional, ambientales así como los costos de mantenimiento, mejorando el sistema actual de gestión de mantenimiento, y los planes de mantenimiento.

El análisis aporta a la confiabilidad operacional del proceso productivo, con su aplicación se podrán establecer nuevas estrategias de mantenimiento que predominen sobre el activo en función del nivel de criticidad, así también facilita la toma de decisiones, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante mejorar la confiabilidad operacional del proceso productivo (Parra Márquez C. & Crespo Márquez A. 2012, p.3).

### ***1.1.5. Objetivos.***

#### ***1.1.5.1. Objetivo general.***

Realizar el análisis de criticidad de equipos para mejorar el sistema de gestión del mantenimiento en la empresa de aluminios CEDAL.

#### ***1.1.5.2. Objetivos específicos.***

- Diseñar la metodología para el análisis de criticidad.
- Determinar el alcance del objeto de mantenimiento.
- Realizar el diagnóstico del contexto operacional.
- Determinar los criterios a utilizar para el cálculo del índice de criticidad.
- Determinar la jerarquización de equipos por nivel de criticidad.
- Establecer estrategias de mantenimiento.

### ***1.1.6. Hipótesis.***

¿El desarrollo del análisis de criticidad en los equipos de la empresa Cedal, permite incrementar la confiabilidad de los equipos y por consiguiente mejorar la gestión del mantenimiento?

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO REFERENCIAL

#### 2.1. Concepto de mantenimiento

Es la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinada a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida, (Sexto L.2013, p.7).

Por tanto el mantenimiento comprende todas aquellas actividades para mantener los ítems en una condición particular o devolverlas a dicha condición, durante su ciclo de vida.

##### 2.1.1. Tipos de mantenimiento

Según la Norma Europea EN-13306:2011, como se muestra en la figura 1-2 al mantenimiento se clasifica en:

- Mantenimiento preventivo. Mantenimiento ejecutado a intervalos predeterminados o de acuerdo con unos criterios prescritos, y destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación de funcionamiento de un elemento, siendo de 2 tipos:
  - Mantenimiento sistemático. Mantenimiento preventivo ejecutado de acuerdo a unos intervalos de tiempo establecidos, o a un número de unidades de uso, pero sin investigación previa de la condición del elemento
  - Mantenimiento basado en la condición. Mantenimiento preventivo basado en la monitorización del funcionamiento y/o de los parámetros del elemento, y las acciones subsiguientes.

- Mantenimiento correctivo. Mantenimiento ejecutado después del reconocimiento de una avería, y destinado a llevar un elemento a un estado en el que pueda desarrollar una función requerida, este puede ser de dos tipos :
- Diferido programable. Mantenimiento Correctivo que no es ejecutado inmediatamente después de la detección de una avería, sino que es retrasado de acuerdo con las reglas de mantenimiento dadas.
- Inmediato o urgente. Mantenimiento Correctivo que es ejecutado sin dilación después de que la avería se ha detectado, con el fin de evitar consecuencias inaceptables. Ver figura 1-2.



**Figura 1-2:** Tipos de mantenimiento.

**Fuente:** Norma Europea EN-13306:2002

## 2.2. Sistema de gestión del mantenimiento

La gestión del mantenimiento son todas las actividades que determinan los objetivos del mantenimiento, las estrategias y las responsabilidades, y las realizan por medio de planificación del mantenimiento, control y supervisión del mantenimiento, mejora de los métodos en la organización incluyendo los aspectos económicos. (Placencia S.2013, p.8).

El sistema de gestión de mantenimiento se basa en actuar sobre todos los aspectos de importancia para el óptimo funcionamiento de la empresa. En tanto no gestionar un sistema conlleva al fracaso y el mantenimiento no es la excepción a tal situación. Es por ello que la empresa debe adoptar y aplicar prácticas gerenciales sistemáticas e integrales que busquen el mejoramiento constante de los resultados, utilizando todos los recursos disponibles al menor costo. (Mora Gutiérrez. 2006, p.178).

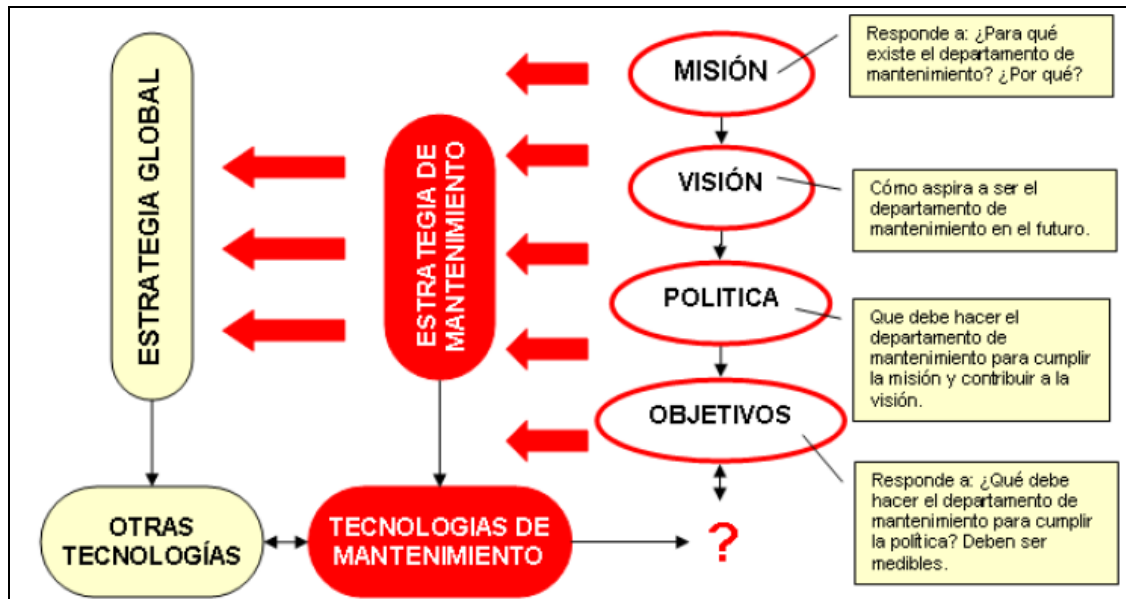
Se considera imprescindible también que el buen funcionamiento de cualquier sistema de gestión debe contar con el apoyo incondicional de la alta gerencia. Indudablemente el mantenimiento es el medio que tiene toda empresa para conservar en funcionamiento con eficiencia y eficacia sus activos.

Esta idea debe ser completada con el contexto actual de la empresa, en donde las amenazas por los competidores en mundo global son cada vez más, es por ello se debe alcanzar altos valores de producción, calidad y requerimiento de entrega a tiempo. Es justamente aquí donde radica la importancia del mantenimiento siendo una variable más que compete en el mercado.

### ***2.2.1. Estrategias del mantenimiento***

Método de gestión utilizado con el fin de lograr los objetivos del mantenimiento. (Placencia S. 2013, p.12), (EN 13306:2011). Son consideradas como conjunto de acciones planificadas anticipadamente, cuyo objetivo es alinear los recursos y potencialidades para el logro de metas que pueden ser medibles en indicadores. (Sánchez Marín F. Pérez Gonzáles A. Sancho Bru J. & Rodríguez Cervantes P. 2007, p.202).

Es decir la estrategia de mantenimiento es la reunión de herramientas, metodologías, métodos, técnicas de la gestión destinada a cumplir con metas establecidas. Como se muestra en la figura 2-2



**Figura 2-2:** Estrategias de mantenimiento.

**Fuente:** Radical Management, 2014.

El desarrollo de las actividades de mantenimiento, se encuentran en relación directa con las estrategias que hayan sido definidas y establecidas por los directivos de la empresa, entre las diferentes formas de enfrentar el mantenimiento se destacan las siguientes. (Arbós, L. 2000, p.98).

- *Operar hasta la falla (OHF)*. Consiste en dejar que el equipo continúe funcionando hasta que se produzca una falla, que inhabilite al equipo, para luego proceder a su sustitución. Durante el tiempo de permanencia en servicio el equipo es sometido a mantenimiento preventivo programado básico (limpieza, lubricación, ajustes, etc.)
- *Mantenimiento a plazo fijo (Mantenimiento preventivo planificado MPP)*. Programa de interrupción en fechas pre establecidas, para realizar trabajos de mantenimiento en equipos importantes, incluye reparación o sustitución de piezas o elementos a los cuales se las pueda estimar su tiempo vida útil. Respecto a la estrategia anterior resultaría menos costosa y los tiempos de parada breves.
- *Mantenimiento basado en la condición (MCB)*. Se somete a monitoreo la condición o el estado del equipo, hasta detectar una señal, que haga presumir la existencia de un deterioro, que podrá en algún momento provocar la falla del mismo. En este momento se programa la parada para el mantenimiento correspondiente.



- *Mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM)*. Es un proceso específico utilizado para identificar los requerimientos de mantenimiento que deben implementarse para gestionar los modos de fallo que pueden causar el fallo funcional de cualquier activo físico en un contexto de operación dado, (Sexto L. 2013, p.12). Esta estrategia se adopta para influir sobre la confiabilidad inherente del ítem e incrementar la confiabilidad en el contexto operacional

No existe formulas preconcebidas, para establecer qué estrategia se debe elegir, cualquiera de las anteriores, por si sola, no satisface completamente los objetivos fundamentales de mantenimiento, lo más aconsejable es combinarlas, de forma tal que se ajusten principalmente a las características de los equipos que se quiere mantener, de su importancia, nivel de riesgo o criticidad dentro del proceso productivo, de su complejidad, de los costos y organización del mantenimiento. (Prando R. 2006, p.67)

### **2.2.2. Contexto operacional**

El contexto operacional es el entorno donde funciona el equipo. Equipos iguales pueden tener distintas estrategias de mantenimiento si su contexto operacional es diferente. Las estrategias de mantenimiento deberían ser distintas en el caso de que equipos (iguales en diseño) estén instalados en ambientes diferentes. (Sexto L. 2013, p.20).

La descripción del contexto operacional deberá incluir una completa descripción del proceso, y su relevancia o impacto sobre el negocio. Para definir el contexto operacional es necesario establecer:

Procesos en serie. El fallo en un equipo puede parar toda una planta o reducir significativamente la, a menos que se aumente la capacidad o disponga de una reserva.

Redundancia. Un equipo está compuesto en general por varios sub-sistemas, los cuales pueden ser inter-dependientes tanto en serie como en paralelo. Las diferentes combinaciones posibles pueden resultar en diferentes costos, confiabilidades, requerimientos de espacio, niveles de seguridad, etc.

Estándares de calidad. El establecimiento de estándares de calidad puede conducir a diferencias en la descripción de las funciones de máquinas idénticas, por ejemplo: profundidad de corte, tiempo de ciclo, tolerancias, acabado superficial; esto generará requerimientos de mantenimiento diferentes.

Estándares ambientales. Un aspecto de creciente importancia en el contexto operacional de un activo es el impacto de este en el medio ambiente. Estos estándares deben satisfacer las exigencias de los usuarios del activo, la sociedad en su conjunto (Internacional, regional, nacional, local).

Riesgos para la seguridad. Son todas las acciones orientadas a reconocer, corregir y evitar factores de riesgos producto de un evento de fallo, que puedan conducir a un accidente.

Turnos de trabajo. Se debe conocer el personal que interviene exactamente para cubrir las necesidades de producción y las consecuencias de un paro imprevisto.

Tiempo de reparación. Es la velocidad de respuesta al fallo, que depende de la disponibilidad de repuestos, herramientas, y capacidad del personal que ejecuta las reparaciones. Estos factores tienen gran influencia en los efectos y las consecuencias del fallo.

Repuestos. Desde la óptica del RCM, la única razón válida para mantener stocks de piezas de repuesto es por su nivel de criticidad en el proceso. Es necesario desarrollar una estrategia basada en la política existente de piezas de repuestos, además asociar modos de fallo con repuestos para identificar el impacto de su adquisición.

Funcionabilidad. Es la razón principal para lo que fue adquirido el activo, lo que el activo es capaz de hacer en función de lo que el usuario desea que haga.

Documentación. El departamento de mantenimiento necesita y genera abundante información, por lo cual es necesario prestar atención al sistema que se empleará para recopilar datos que se conviertan en información.

### 2.2.3. Modelo de gestión de Mantenimiento

Los modelos de gestión de mantenimiento son procesos sistémicos que comprenden varios pasos a seguir constituidas por una serie de herramientas con el fin de lograr una mejora en la gestión de mantenimiento con eficacia y eficiencia. (Parra Márquez C. & Crespo Márquez A. 2012, p.6) y (Sexto L. 2013, p.16).

Según la norma ISO 55000 Gestión de Activos, establece 7 requisitos, (ver figura 3-2) transversales para la organización (finanzas, recursos humanos, sistemas de información, logística, producción, ingeniería, mantenimiento y operaciones) para que puedan gestionar sus activos dentro del ciclo de vida basándose en el valor que genera el activo en el negocio.



**Figura 3-2:** Estructura de los requisitos ISO-55001:2014

**Fuente:** Radical Management, 2014.

Sin embargo la gestión del mantenimiento no es sinónimo de gestión de activos, si no el sistema de gestión de mantenimiento es parte de un sistema de gestión de activos físicos.

En particular la norma europea EN 16646: 2014 se ocupa en establecer y atribuir el rol de mantenimiento dentro de la empresa en relación a la gestión de activos físicos,, consiste en una guía y recomendaciones acerca del establecimiento y el desempeño del mantenimiento en la gestión de activos, basándose en 13 normas europeas relacionadas a la confiabilidad, la obsolescencia, la mantenibilidad, el costo del ciclo de vida, los indicadores claves de desempeño, mantenimiento centrado en la confiabilidad, el soporte logístico, la mantenibilidad durante el diseño y desarrollo, las pruebas y el diagnóstico técnico.

En ese sentido, la EN 16646 concurre en la faena de buscar aterrizar la gestión de activos físicos, especialmente, como marco para las actividades y procesos de mantenimiento en particular los representados en la figura 4-2, para las diferentes fases del ciclo de vida de los activos.



**Figura 4-2:** Sistema de proceso de mantenimiento norma EN-16646

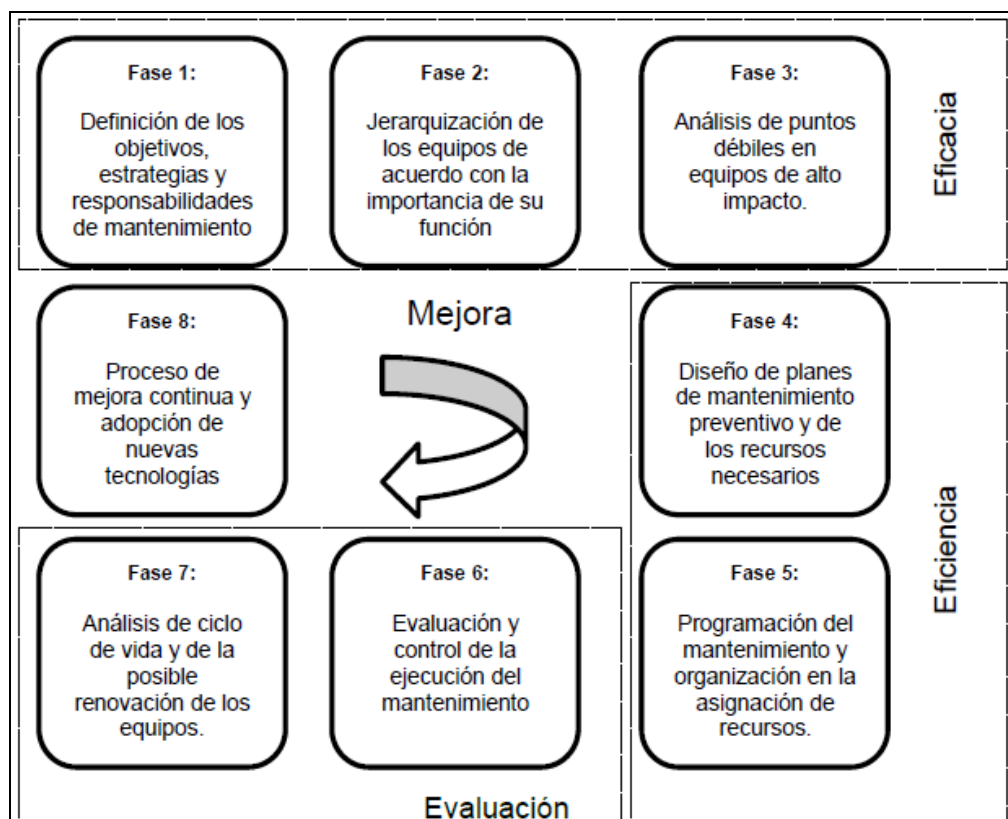
Fuente: Radical Management, 2014.

La EN 16646:2014 aborda cómo el mantenimiento se desarrolla desde sus procesos de creación de estrategia y objetivos, planificación, gestión de recursos, implementación de

planes y seguimiento y mejora. Todo esto en relación con diferentes fases del ciclo de vida del activo físico, contenidas en dicha norma Europea.

La EN 16646:2014 refuerza la idea que la gestión de activos presenta diferentes dimensiones que requieren competencias y un enfoque sistémico único. Estas dimensiones incluyen los procesos para transformar el contexto de la organización. Procesos de gestión de activos físicos para producir la estrategia y los planes de mantenimiento. Procesos para optimizar las diferentes actividades durante el ciclo de vida. Procesos para gestionar la incertidumbre asociada (risk management ISO 31000) a la influencia de los factores internos y externos a la organización que influyen en los resultados de la gestión de activos físico. (Sexto L. 2013, p.26)

En este sentido, el modelo de referencia de la empresa CEDAL para la gestión del mantenimiento está compuesto por 8 fases ver figura 5-2. (Amendola L. 2002, p.45)



**Figura 5-2:** Modelo de gestión de mantenimiento.

Fuente: Jonh Woodhouse,, 2015.

Fase 1: Definición de los objetivos, estrategias y responsabilidades de mantenimiento. En esta fase se pretende que se definan los objetivos a corto, medio y largo plazo del departamento de mantenimiento, así como los indicadores que medirán la consecución de los mismos. Un aspecto importante de esta fase es que permite no sólo conocer los objetivos del departamento dentro del mismo, sino que también presentar los objetivos a los gestores de la empresa, facilitando las negociaciones de presupuestos, paradas programadas etc.

Fase 2: Jerarquización de los equipos de acuerdo con la importancia de su función. Una vez definidos los objetivos del mantenimiento, el siguiente paso es conocer las áreas críticas para la consecución de dichos objetivos. La ejecución de la Fase 1 permitirá establecer los criterios que permitan realizar la jerarquización de activos y áreas en la empresa. El resultado de esta fase será un ranking de equipos o áreas que permita establecer la mejor estrategia para alcanzar los objetivos anteriormente definidos.

Fase 3: Análisis de los puntos débiles en equipos de alto impacto. Una vez listados los equipos, la primera tarea será la de atacar a los equipos cuyos fallos pueden traer peores consecuencias para el proceso. Para ello, se analizarán los fallos más importantes de estos equipos y se establecerá una estrategia para atajarlos.

Fase 4: Diseño de planes de mantenimiento y de los recursos necesarios. Una vez atacados los fallos más urgentes, se procederá a establecer la política de mantenimiento atendiendo a la criticidad de los equipos, así como se definirán los recursos que esa política necesita.

Fase 5: Programación del mantenimiento y optimización de la asignación de los recursos. Una vez redactados los planes de mantenimiento, el siguiente paso es programarlos en el tiempo y minimizar los costes de mantenimiento.

Fase 6: Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento. En este punto, una vez definida la política de mantenimiento es responsabilidad evaluar la efectividad de la misma y establecer las posibles mejoras a implementar dentro de la misma.

Fase 7: Análisis de ciclo de vida y de la posible renovación de los equipos. Una vez establecida la estrategia y la política de mantenimiento, hay que analizar el impacto de ésta en sus equipos, así como la posible renovación de los mismos, atendiendo a criterios económicos y de impacto en la fiabilidad.

Fase 8: Implementación del proceso de mejora continua y adopción de nuevas tecnologías. Esta fase se alcanza en organizaciones maduras, en las que la aplicación de las 7 fases anteriores ha permitido un salto de calidad en la organización del mantenimiento.

Como se observa en la figura 5-2, para la fase 2, existen herramientas, métodos que permiten desarrollar la jerarquización de activo en función de su nivel de criticidad y así adoptar la mejor estrategia de mantenimiento que rijan sobre el activo poniendo fin a los problemas actuales del sistema de gestión de mantenimiento.

### **2.3. Análisis de criticidad**

Es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones y el direccionamiento del esfuerzo y los recursos hacia las áreas, de acuerdo con su impacto en el negocio. En el Análisis de Criticidad (AC) se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias. El análisis de criticidad está basado en la teoría del riesgo. (Parra Márquez C. & Crespo Márquez A. 2012, p.18).

#### **2.3.1. Definición de criticidad o riesgo**

El riesgo es un término de naturaleza probabilística, que se define como “egresos o pérdidas probables de la consecuencia de la probable ocurrencia de un evento no deseado o falla”. En este simple pero poderoso concepto coexiste la posibilidad de que un evento o aseveración se haga realidad o se satisfaga, con las consecuencias de que ello ocurra. (Parra Márquez C. & Crespo Márquez A. 2012, p.19).

Matemáticamente el riesgo asociado a una decisión o evento viene dado por la expresión universal:

$$R(t) = P(t) \times C(t) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

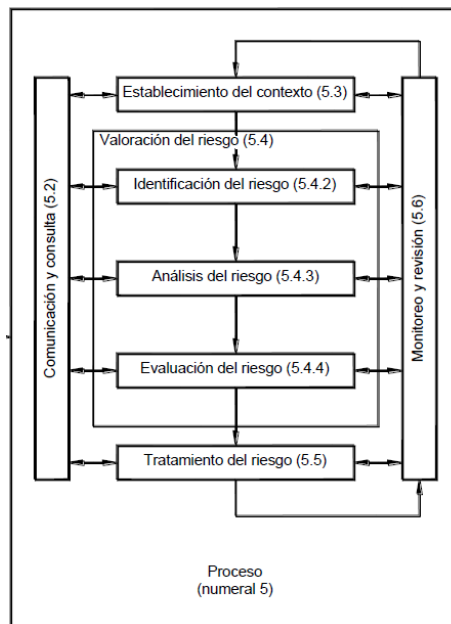
R(t): Riesgo

P(t): Probabilidad

C(t): Consecuencias

Al momento de evaluar un evento o aseveración en particular, es necesario cuantificar las probabilidades de ocurrencia y consecuencias de cada uno de los escenarios que conllevan al evento bajo estudio.

El riesgo se comporta como una balanza que permite ponderar la influencia de varias alternativas en términos de su impacto y probabilidad, orientando al analista en el proceso de toma de decisión. En ese proceso de toma de decisiones se emplea el riesgo como una herramienta para la optimización de los planes de cuidado de activos, dirigiendo mayores recursos y esfuerzos para aquellos equipos que presenten un riesgo elevado y una reducción de esfuerzo y recursos para los equipos de bajo riesgo, lo cual permite en forma general un gasto justificado en los recursos dirigidos a las partidas de mantenimiento. (Sexto L. 2013, p.25).



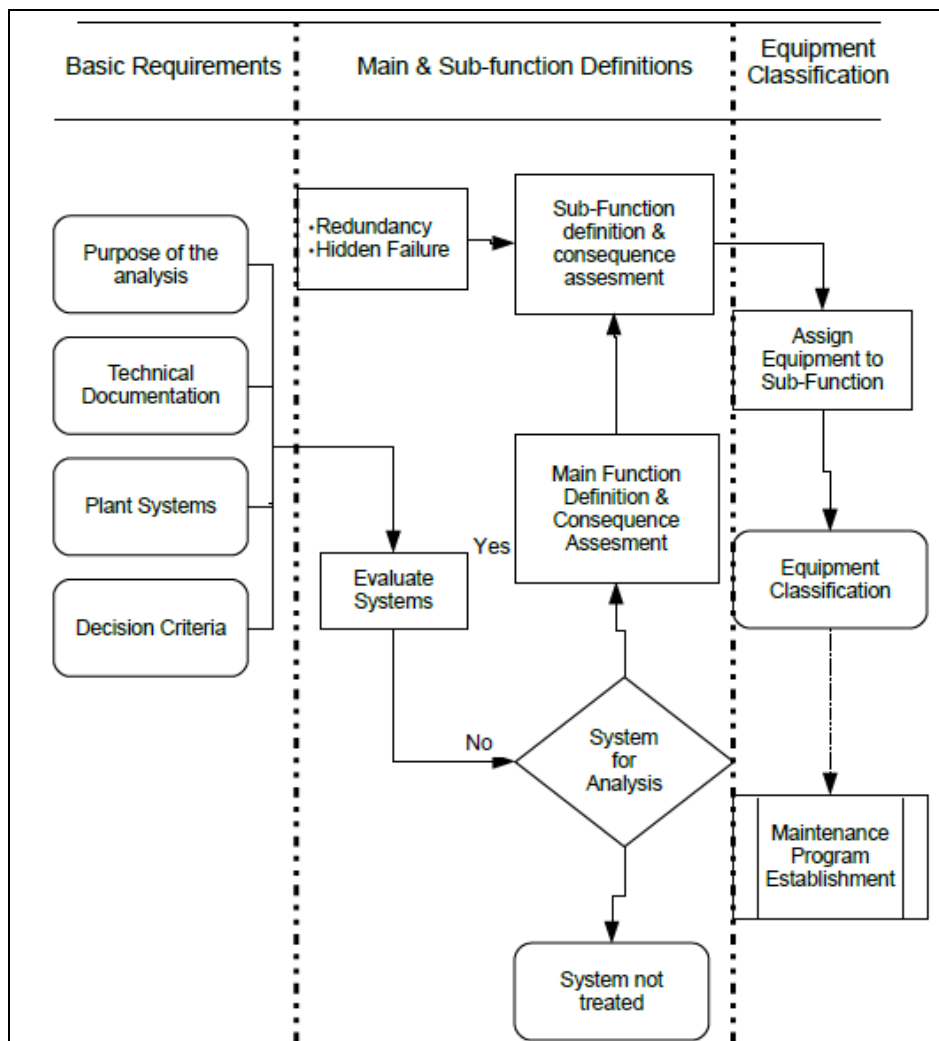
**Figura 6-2:** Proceso de la gestión de riesgo.

Fuente: Norma ISO-31000



Según la norma ISO 31000 Sistema de Gestión de Riesgo (SGR), el proceso de gestión del riesgo debería ser una parte integrante de la gestión de activos físicos, por lo que deberá cumplir con los siguientes requisitos según lo establecido en el estándar, para su identificación, análisis, evaluación, y tratamiento del riesgo dentro de su contexto operacional. Ver figura 6-2.

Sin embargo en forma particular para el análisis de criticidad en procesos de mantenimiento, la norma NORSOK Z-008, describe una metodología aplicable para cualquier tipo de análisis sea de tipo cualitativo, semi cuantitativo o cuantitativo. Esta normativa persigue como objetivo describir un proceso de trabajo eficiente y racional que tenga como resultado un programa de mantenimiento optimizado basado en un análisis de riesgo así como en análisis coste-riesgo-beneficio. Ver figura 7-2.



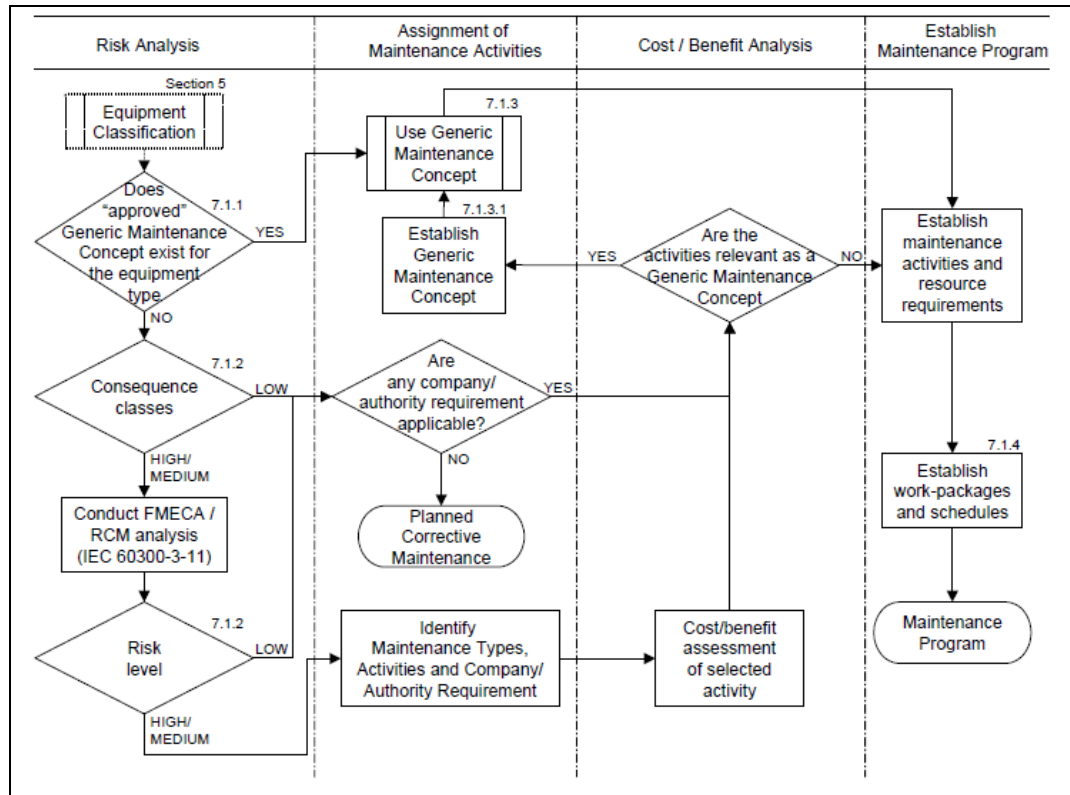
**Figura 7-2:** Proceso de análisis de criticidad norma NORSOK-Z008

Fuente: Norma NORSOK-Z008

El propósito del estándar NORSOK Z-008 es amplio, ya que no solo permite establecer las criticidades de los componentes de un sistema de producción, sino que dentro de la misma norma incluye un procedimiento para la optimización de programas de mantenimiento para facilidades nuevas y en servicio, ubicadas en tierra y costa afuera, considerando los riesgos relacionados con personal, ambiente, pérdida de producción y costos económicos directos (todos los costos aparte de los costos de la pérdida de producción).

El estándar NORSOK Z-008 aplica para equipos mecánicos (estáticos y rotativos), instrumentos y equipos eléctricos. Su aplicabilidad es para propósitos diferentes como:

- Fase de Diseño. Determinar los requerimientos iniciales de mantenimiento, identificación de fallas ocultas de equipos críticos y selección de partes y repuestos. Desarrollo de programas de mantenimiento iniciales para la puesta en funcionamiento de sistemas y selección de piezas de repuesto corrientes.
- Fase Operacional. Optimización de programas de mantenimiento existentes y como guía para priorizar ordenes de trabajo. Ver figura 8-2.



**Figura 8-2:** Proceso para determinar programas de mantenimiento

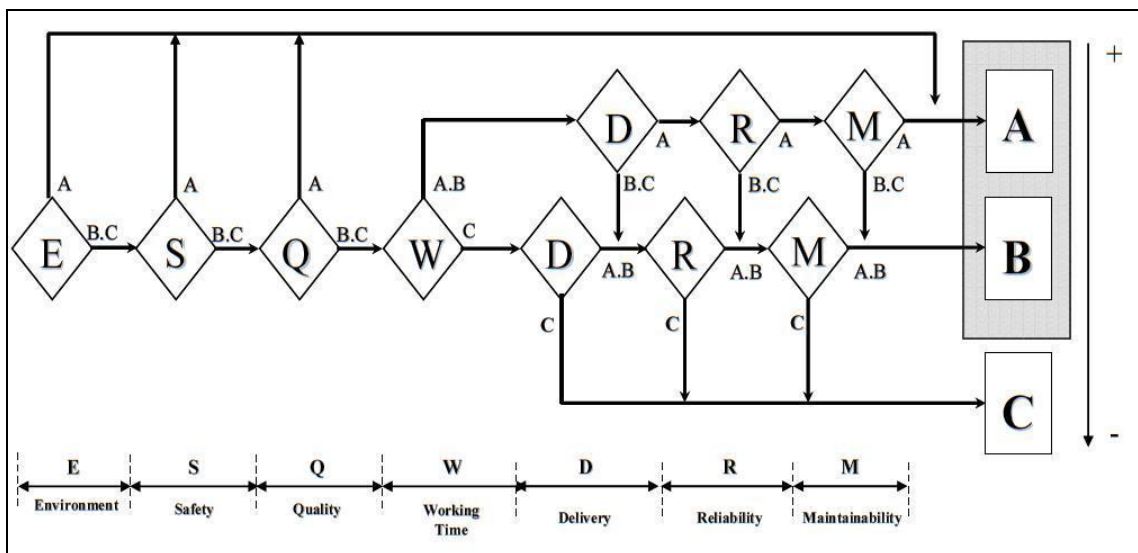
Fuente: Norma NORSOK-Z008

## 2.4. Métodos de análisis de criticidad.

Los métodos existentes para el análisis de criticidad son agrupadas por muchos autores de distintas maneras, y según su tipo se puede encontrar como, cualitativos, semicuantitativo y cuantitativos, dichos métodos están basados en la evaluación del riesgo y orientados a identificar los equipos críticos de un sistema de producción. (Parra Márquez C. & Crespo Márquez A. 2012, p.20). A continuación se presentan los métodos más destacados.

### 2.4.1. Método del flujograma

Este método es sencillo y rápido en su aplicabilidad, es un modelo puramente cualitativo sobre la jerarquización de equipos de producción, permite realizar una primera clasificación de equipos dentro de la planta o línea de producción que puede irse refinando con el transcurso del tiempo y aplicando técnicas más avanzadas. Como se puede observar en la figura 9-2, el resultado del proceso es una clasificación en tres categorías A, B, C.



**Figura 9-2:** Modelo del flujograma para el análisis de criticidad.

**Fuente:** Crespo Márquez 2012.

Para llegar a esa clasificación final se procede de forma secuencial a realizar una serie de preguntas al equipo natural de trabajo conformado por la empresa para tal fin. La

secuencia marca la importancia que da el equipo de trabajo a cada atributo que se analiza a la hora de establecer la prioridad del mismo. De cada pregunta existen tres repuestas posibles A, B o C que nos servirá para caracterizar el equipo.

Categoría A, se asigna a los equipos de máximo riesgo en caso de fallos. Con ella quedarán identificados aquellos activos cuyo buen funcionamiento es fundamental, ya sea por criterios ambientales, de seguridad, o criterios relacionados con la producción.

Categoría B, se encuadran los equipos con una criticidad media. Estos activos se encuentran en una situación intermedia entre aquellos que tienen una gran importancia dentro del funcionamiento de la planta.

Categoría C, serán aquellos en los que una pérdida de las prestaciones de los mismos no genere consecuencias graves para el normal funcionamiento de la planta.

La secuencia de preguntas que hace referencia al diagrama de flujo es:

Impacto ambiental (E): En este punto se evalúan los posibles riesgos que pudieran aparecer en la planta en el caso de que se produzca alguna pérdida funcional del equipo. Esto afecta a posibles vertidos, contaminación de aguas, suelos o aire, exposición a sustancias nocivas para la salud e incumplimiento de la normativa medioambiental vigente. En este punto el especialista evaluará la peligrosidad del fallo en cuestión teniendo en cuenta tanto la naturaleza de la sustancia que maneje el equipo como la existencia de salvaguardas que permitan mitigar o eliminar las consecuencias dolosas para el medioambiente. En este punto deberá tenerse en cuenta con especial interés la normativa ambiental que rija la actividad de la empresa. Serán catalogados con la categoría A, aquellos equipos cuyo fallo pueda generar algún tipo de riesgo para la salud pública. También se les dará a aquellos activos cuyos fallos puedan causar algún tipo de incidente ambiental. La calificación B se dará a activos que generen vertidos que puedan ser resueltos mediante gestión interna de la empresa, sin necesidad de notificación a las autoridades. En el caso de que no se den ninguna de las circunstancias anteriores, el equipo será dotado con la categoría C.

Seguridad (S): En este apartado se miden las consecuencias que pueden tener para la seguridad de las personas, alguno de los posibles fallos que pueden aparecer en el equipo. Hay que tener en cuenta tanto el peligro que pueda generar el fallo como la existencia de salvaguardas en los equipos. Estos mecanismos de seguridad pueden consistir en dispositivos de seguridad, áreas de aislamiento de los activos o procedimientos de actuación que eviten o mitiguen las consecuencias de los fallos. La clasificación de los equipos se basará en los siguientes criterios: En el caso de que el fallo del equipo provoque un accidente laboral con resultado de baja del trabajador, el equipo será catalogado como A. Si el incidente genera daños menores en el personal será de tipo B. Por último, si no tiene consecuencias para las personas será etiquetado como C.

Calidad (Q): En este punto se comienzan a evaluar aspectos directamente ligados a la producción. En esta primera etapa se evaluará el efecto de la fiabilidad de los activos en la calidad en la producción. El aspecto fundamental a evaluar es conocer si el fallo o el mal mantenimiento de los equipos pueden generar fallos en la producción que acarreen algún tipo de fallo vinculado a la calidad del producto final. Este tipo de fallos puede dañar gravemente la imagen de la empresa así como afectar al futuro de la compañía. En lo que respecta a los equipos, se incluirán en la categoría A aquellos activos cuya pérdida de fiabilidad pudiera generar daños en la imagen de la compañía en lo que respecta a calidad. Se definirán como B o C a los equipos cuyos fallos, aun afectando al normal funcionamiento de la producción, no comprometan la imagen de la empresa.

Tiempo de trabajo (W): En este punto se evalúa el tiempo de uso del activo dentro del proceso de producción. En industrias intensivas en activos, en las que existen uno o varios turnos de trabajo, este puede ser un aspecto importante de cara a evaluar el peso de la ausencia del equipo dentro del funcionamiento de la empresa. Los equipos que trabajen a 3 turnos dentro de la empresa serán catalogados como A, los que funcionen durante 2 como B y el resto como C. También podría incluirse los tiempos de reparaciones que pudieran generar los posibles fallos. Es por ello que en este punto se recomienda también el considerar los tiempos de mantenimiento correctivo. Así, los equipos catalogados como A serían aquellos cuyas reparaciones generan un gran número de horas de trabajo, como B aquellos que generan menos del tiempo correspondiente a un turno y C aquellos con tiempos de reparación de índole menor.

Tiempo de entrega (D): Una vez conocido el peso dentro del proceso del activo, en lo que respecta a la utilización del mismo, el siguiente paso es evaluar la importancia del equipo para el cumplimiento de los planes de producción. En este caso, los activos que paralicen totalmente la fábrica serán considerados como A, los que paralicen una línea completa se etiquetarán como B. Por último, los marcados como C serán aquellos que no afecten de forma significativa al ritmo de producción de la empresa.

Fiabilidad (R): Al tratarse de un análisis de riesgo focalizado en la optimización de los recursos de mantenimiento, aspectos como la fiabilidad y la mantenibilidad no podían ser excluidos del mismo. Este aspecto se puede evaluar desde diversas ópticas. En el caso de que el análisis se realice para una planta ya en funcionamiento, se establecerán tres intervalos de tiempo con el fin de catalogar la frecuencia de fallos de los equipos, siendo A los equipos con mayor tasa de fallo y C los de menor. Si el análisis se realiza para instalaciones de nueva construcción o que aún no han sido probadas, existen diversas opciones para la evaluación de la fiabilidad. Entre las más utilizadas se encuentran la clasificación que la API (American Petroleum Institute) realiza sobre la fiabilidad de los equipos. Otra fuente de información puede ser el estándar OREDA (Offshore Reliability Data), proporcionado por el consorcio petrolífero del Mar del Norte y que ofrece datos reales de fiabilidad de equipos empleados en esta industria. En el caso de que este sector no fuera lo suficientemente cercano, se recomienda hacer un benchmarking con empresas del sector que ayude a conocer mejor el futuro desempeño de los equipos. En este punto siempre es interesante conocer la opinión de los operadores más expertos, pues ese conocimiento trasladado al análisis puede ser de mucha utilidad.

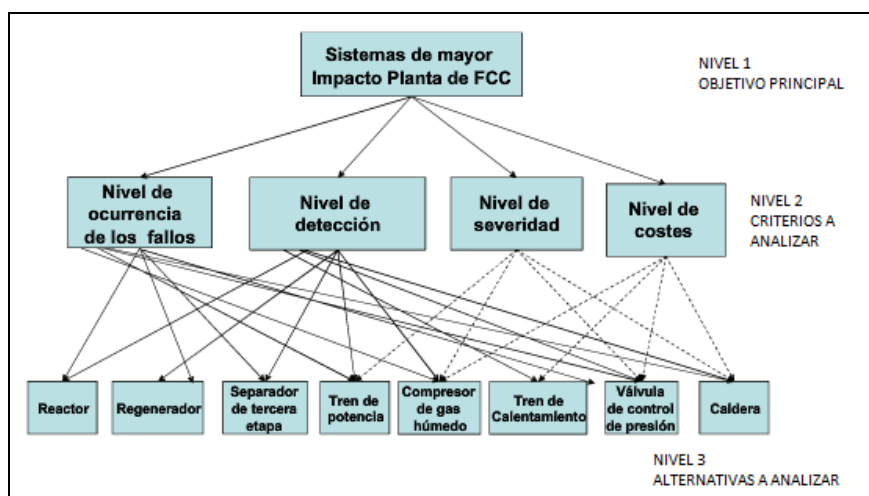
Mantenibilidad (M): Es el último concepto a evaluar de los equipos. Con la evaluación de la mantenibilidad se busca medir las dificultades que presenta el equipo a la hora de realizarle el mantenimiento. En un primer análisis podría medirse como el tiempo medio esperado de reparación. No obstante, a pesar de que el tiempo de reparación es un parámetro importante, no conviene olvidar además que el mantenimiento involucra otra serie de agentes. Es por ello que a la hora de evaluar la mantenibilidad es recomendable tener en cuenta aspectos como la posible necesidad de emplear medios externos tales como grúa, andamios o cualquier otro equipo auxiliar, así como la accesibilidad de los

equipos, la disponibilidad de los repuestos, la peligrosidad que puedan tener los diferentes trabajos de mantenimiento etc.

**2.4.2. Método proceso de análisis jerárquico (AHP).**

La metodología de AHP (Analytic hierarchy process) es una poderosa y flexible herramienta de toma de decisiones multi criterio, utilizada en problemas en los cuales necesitan evaluarse aspectos tanto cualitativos como cuantitativos.

El AHP , es un método basado en la evaluación de diferentes criterios que permiten organizar una estructura concreta y cuyo objetivo final consiste en optimizar la toma de decisiones gerenciales (Saaty, Tomas L. 1980, p.34). Esta técnica ayuda a los analistas a organizar los aspectos críticos de un problema en una estructura jerárquica similar a la estructura de un árbol familiar, reduciendo las decisiones complejas a una serie de comparaciones que permiten la jerarquización de diferentes aspectos (criterios) evaluados. El uso de la técnica AHP priorizar sistemas y optimiza el proceso de toma de decisiones relacionadas con el mantenimiento de estos sistemas, en otras palabras, dentro del proceso de gestión de mantenimiento, se tienen que tomar daciones que permita orientar los recursos financieros, humanos y tecnológicos, con el fin de poder desarrollar planes eficientes de mantenimiento, para lo cual es necesario tomar en cuenta el nivel de criticidad de los distintos sistemas/ equipos que participan en el proceso de producción.



**Figura 10-2:** Modelo proceso de análisis jerárquico.

Fuente: Crespo Márquez 2012.

Esta situación no es sencilla de resolver, ya que existe un gran variedad de factores involucrados que generan una gran incertidumbre en el proceso de jerarquización de los sistemas, para tal motivo, la aplicación de la técnica AHP, puede ayudar a identificar específicamente el nivel de criticidad, permitiendo de esta forma, optimizar la distribución efectiva de los recursos de mantenimiento en función del nivel de importancia que tiene cada sistema dentro del proceso productivo. (Crespo Márquez A. 2012, p.39).

El fundamento del método consiste en la evaluación por parejas, tanto de criterios como de alternativas. Es un hecho que en los problemas multicriterio los problemas del decisor a la hora de establecer la jerarquía aumentan a medida que se incrementan el número de criterios.

Una vez evaluados los criterios, el método propone una técnica mediante la cual se evalúa la consistencia de los juicios del decisor. Con esto se consigue conocer si la evaluación de los criterios ha sido coherente y se dota al método de un mayor rigor matemático.

El proceso de análisis jerárquico propone ejecutar los siguientes pasos:

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

Segundo: Evaluar (pesar) los diferentes criterios, sub-criterios y alternativas en función de su importancia correspondiente en cada nivel. Criterios cualitativos y cuantitativos pueden ser comparados usando juicios informales para obtener los pesos y las prioridades. Para criterios cualitativos, la técnica AHP utiliza simples comparaciones (apareadas - pairwise) para determinar los pesos y evaluarlos. De esta forma el analista puede concentrarse en sólo dos criterios al mismo tiempo. De hecho, la técnica AHP está basada en la suposición de que el analista (decisor) puede de forma más fácil elegir



un valor de comparación que un valor absoluto. Los juicios verbales son trasladados a una escala de puntuación. Ver tabla 1-2.

**Tabla 1-2: Valoración de juicios en AHP.**

Juicios	Puntuación
Igual	1
	2
Moderado	3
	4
Fuerte	5
	6
Muy Fuerte	7
	8
Extremo	9

**Fuente:** Métodos de análisis de criticidad y jerarquización.

**Realizado por:** Crespo Márquez 2012.

Una vez valorados los criterios se elaborará la matriz de juicios, Una vez elaborada la matriz de juicios, un vector de prioridad es calculado y usado para pesar (comparar) los elementos de la matriz, demuestra matemáticamente que el autovector normalizado calculado a partir de la matriz es la mejor aproximación de evaluación de los criterios analizados. En el caso de criterios cuantitativos, es necesario diseñar un método de priorización que permita cuantificar de forma consistente el peso de cada criterio a ser analizado (Wind y Saaty, 1980).

Tercero: La técnica AHP permite al analista evaluar la congruencia de los juicios con el radio de inconsistencia (IR). Antes de determinar una inconsistencia, es necesario estimar el índice de consistencia (CI) de una n x n matriz de juicios, donde CI viene definido por:

$$CI = (V_{\max} - n) / (n - 1) \quad \text{Ecuación (2)}$$

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

$$IR = CI / RI \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde RI es el valor aleatorio promedio de CI para una n x n matriz. Los valores de RI son:

**Tabla 2-2:** Valores de RI para matrices de diferentes órdenes.

N	1	2	3	4	5	6	7
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35

**Fuente:** Métodos de análisis de criticidad y jerarquización.

**Realizado por:** Crespo Márquez 2012.

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

Cuarto: Jerarquizar las alternativas y tomar las decisiones correspondientes. Para cada alternativa (opciones a jerarquizar), se calcula el nivel de preferencia (jerarquización) sobre una escala entre 0.0000 – 1.000, obteniéndose como resultado alternativas jerarquizadas en función de los criterios de decisión evaluados.

#### **2.4.3. Método criticidad total por riesgo (CTR)**

El modelo de criticidad total por riesgo (CTR) presentado a continuación, es un proceso de análisis semicuantitativo, bastante sencillo y práctico, soportado en el concepto de riesgo, entendiendo como la consecuencia de multiplicar la frecuencia de fallo por la severidad del mismo. (Parra Márquez C. & Crespo Márquez A. 2012, p.23). En este método se separan los dos aspectos que determinan el riesgo, permitiendo conocer si el equipo es crítico por su frecuencia de fallos, severidad o ambos factores. La expresión matemática es dada por la siguiente manera:

$$CTR=FF*C \qquad \text{Ecuación (4)}$$

*CTR*= Criticidad Total por Riesgo.

*FF*= Frecuencia de fallos (rango de fallos en un tiempo determinado, #fallos/tiempo).

*C*= Consecuencia de los eventos de falla.

En la evaluación de las consecuencias se pueden tener en cuenta diversos factores como la seguridad, el medio ambiente o las consecuencias del fallo en la producción.

Las consecuencias se obtienen mediante la siguiente expresión:

$$C = (IO * FO) + CM + SHA \quad \text{Ecuación (5)}$$

Siendo:

*IO*= Factor de impacto en la producción.

*FO*= Factor de flexibilidad operacional.

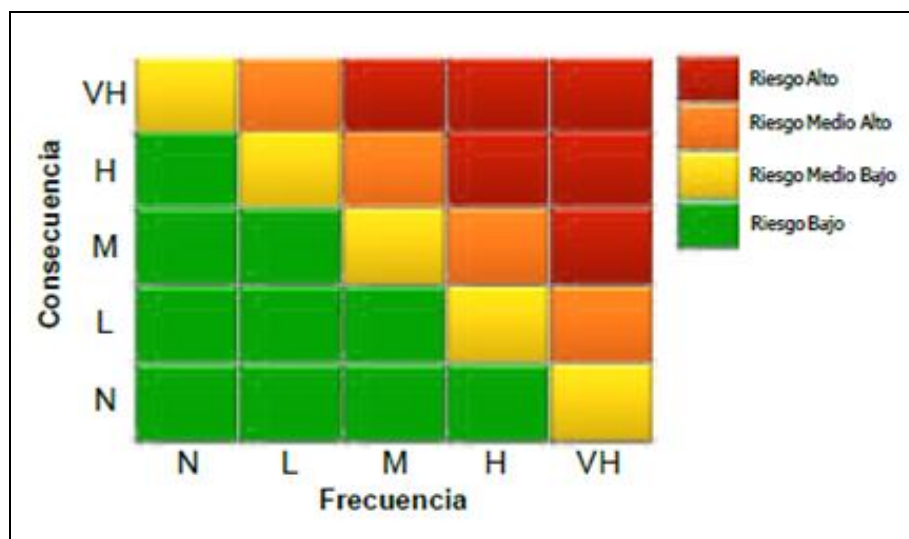
*CM*= Factor de costos de mantenimiento.

*SHA*= Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente.

La expresión final del modelo CTR es:

$$CTR = FF * [(IO * FO) + CM + SHA] \quad \text{Ecuación (6)}$$

Los resultados serán representados en una matriz de criticidad. Figura 11-2.



**Figura 11-2:** Matriz de criticidad propuesta por CTR.

Fuente: Crespo Márquez 2012.

La categorización de la criticidad permite establecer estrategias diferentes de mantenimiento para el sistema / equipo en estudio, permitiendo minimizar el riesgo y optimizar los recursos.

Los factores ponderados de cada uno de los criterios a ser evaluados por la expresión del riesgo se presentan a continuación.

*Frecuencia de fallo (FF):* La Estimación de la frecuencia de la falla funcional, para cada equipo puede existir más de un modo de falla, la frecuencia de ocurrencia del evento se determina por el número de eventos por unidad de tiempo. Se utiliza el Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF) o la frecuencia de falla de carácter probabilístico en caso de no contar con esta información utilizar base de datos genéricos (PARLOC, OREDA, API etc.) y si esta no está disponible basarse en la opinión de expertos.

*Factor de impacto en las operaciones (IO):* Este factor mide el efecto que tiene el fallo en el proceso de producción. Para evaluarlo se tiene en cuenta las pérdidas económicas que puede generar el fallo. Puede asociarse tanto a costes directos de materias primas desperdiciadas a causa del fallo, como a costes de oportunidad por unidades no producidas, penalización por incumplimiento de pedidos, costes de imagen etc. La definición de este factor es muy importante, porque de la profundidad del concepto dependerá en gran medida la correcta evaluación del impacto del mantenimiento en el proceso productivo. Los valores de pérdida de producción son orientativos, pudiendo variarse en función de la importancia que se le dé al factor de producción.

*Factor de flexibilidad operacional (FO):* Este factor sirve como elemento corrector del factor de producción. Su inclusión viene motivada con el fin de recoger la redundancia operacional de los equipos, es decir, la existencia de equipos de respaldo que prevengan de la aparición del fallo, y que actúen dando soporte a los equipos principales. Cuanto mayor sea esta flexibilidad operacional, menor será el riesgo para la producción.

La inclusión de este factor se debe a que la redundancia operacional reduce los riesgos, pero no las consecuencias de los fallos. Es por ello que en la evaluación de las consecuencias no puede considerarse la redundancia operacional, pero sí hay que considerarla para minimizar el impacto del riesgo operacional.

*Impacto en los costes de mantenimiento (CM):* La inclusión de este valor tiene que ver con el objetivo del análisis, optimizar las políticas de mantenimiento. Es cierto, que desde un punto de vista económico, los costes operacionales suelen ser bastante mayores que los costes de mantenimiento. Además, el coste de mantenimiento podría

incluirse en los costes operacionales. No obstante, el impacto del coste de mantenimiento de los equipos es muy importante para el presupuesto de los departamentos de mantenimiento de las empresas.

*Impacto en seguridad, higiene y ambiente (SHA):* En este punto se mide la influencia del fallo en el medio ambiente y para la seguridad de los trabajadores. Este aspecto varía notablemente en función del tipo de empresa y del marco regulador en el que se ubique, pudiendo ser desde un aspecto residual al más importante en la planificación del mantenimiento. No obstante, este punto cada vez está adquiriendo mayor relevancia en pos de una mejora en la sostenibilidad de los procesos productivos.

El método de criticidad total por riesgo propone la localización de los equipos en una matriz. Esto permite desacoplar el riesgo de la frecuencia de fallos. Este desacoplamiento es interesante dado que riesgo y frecuencia son factores que, si bien influyen en la criticidad, son totalmente independientes entre sí. Es por ello que si se separan ambos conceptos a la hora de establecer la criticidad de los equipos se podrán diseñar mejores estrategias de mantenimiento según el caso.

Analógicamente el proceso de análisis de criticidad debe cumplir con la norma ISO 31000 Gestión de Riesgo, como muestra en la figura 6-2.

Los resultados obtenidos deberán ser analizados a fin de definir acciones para minimizar los impactos asociados a los modos de falla identificados que causan la falla funcional. Este análisis final permitirá validar los resultados obtenidos, a fin de detectar cualquier posible desviación que amerite la reevaluación de la criticidad.

La valoración del nivel de criticidad y la identificación de los activos más críticos permitirá orientar los recursos y esfuerzos a las áreas que más lo ameriten, así como gerencia las acciones de mitigación del riesgo en elementos subsistemas, considerando su impacto en el proceso.

Cuando en la evaluación de un activo se obtiene frecuencias de ocurrencias altas, las acciones recomendadas para llevar la criticidad de un valor más tolerable deben orientarse a reducir la frecuencia de ocurrencia del evento. Si el valor de criticidad se

debe a valores altos en alguna de las categorías de consecuencias, las acciones deben orientarse a mitigar los impactos que el evento (modo de falla o falla funcional) puede generar.

Después de la selección de las acciones de mejora en las frecuencias de ocurrencia de los eventos y mitigación de impactos se debe crear y establecer en Seguimiento y Control, para garantizar el monitoreo de la ejecución de las acciones seleccionadas y el cumplimiento de las recomendaciones consecuentes de AC.

Los objetivos de Seguimiento y Control son:

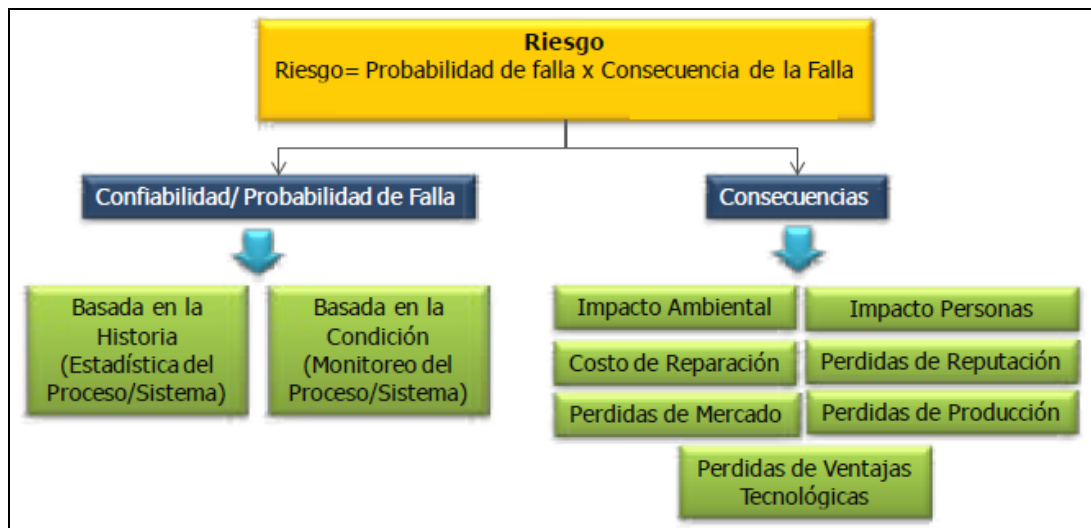
- Asegurar la continuidad en el tiempo de la aplicación de los planes de acción resultantes de la aplicación de la Metodología Análisis de Criticidad.
- Promover la cultura del dato en todos los niveles de la empresa.
- Monitorear los cambios o mejoras que pueden derivarse de la aplicación de las acciones generadas como resultados de los análisis para determinar si requiere un nuevo análisis.

#### ***2.4.4. Método cuantitativo del riesgo (RC)***

Para realizar un dimensionamiento más objetivo del riesgo, que permita juzgar sobre bases más sólidas su tolerabilidad, existen técnicas cuantitativas, mucho más complejas que las técnicas cualitativas y semicuantitativas y que por ende requieren mayor tiempo para su desarrollo. (Crespo Márquez A. 2012, p.39).

Las técnicas cuantitativas permiten determinar valores absolutos de riesgo, que pueden tratarse como egresos probables y por ende incluirse en evaluaciones financieras a ser tomados en consideración en cualquier proceso de toma de decisiones.

El objetivo principal es determinar el riesgo asociado a un evento, escenario o decisión en particular a través de la cuantificación explícita de la probabilidad y las consecuencias, como se muestra en la figura 12-2



**Figura 12-2:** Determinación del riesgo método cuantitativo.

**Fuente:** Crespo Márquez 2012.

Esta combinación también es utilizada por la técnica de Inspección Basada en Riesgo (IBR), en donde el análisis de criticidad se basa en la aplicación de la fase inicial (fase de análisis cualitativo) fundamentada en las normativas API RP-580 y API PUB-581, permite establecer frecuencias y alcance de las inspecciones con base en la combinación del comportamiento histórico, modos de degradación o deterioro, características de diseño, condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas gerenciales tomando en cuenta al mismo tiempo la calidad y efectividad de la inspección, así como las consecuencias asociadas a las potenciales fallas. Este AC es para equipos estáticos se basa en la matriz de riesgo de la norma API 581, y solo aplica aquellos equipos sometidos a los mecanismos de deterioros como corrosión.

Para emplear una metodología puramente cuantitativa se necesitan tener caracterizados de manera fiable los dos pilares básicos de la criticidad, la frecuencia de fallos y la consecuencia. Matemáticamente el riesgo asociado a una decisión o evento viene dado por la expresión universal:

$$RC(t) = P(t) \times \sum C(t) \quad \text{Ecuación (7)}$$

Dónde:

RC(t): Riesgo

P(t): Probabilidad de fallo

C(t): Consecuencias

El cálculo de la probabilidad de falla es uno de los puntos más importantes del desarrollo de este método, por lo que existen varios métodos para su evaluación.

#### 2.4.5. *Modelo de probabilidad de falla y confiabilidad*

La distribución de probabilidad se considera como el principal parámetro con el fin de evaluar la confiabilidad de los equipos y componentes, está determinada por el tiempo para fallar considerando aspectos como condiciones de operación, fabricantes, condiciones ambientales, entre otras. El tiempo para fallar se obtiene a partir de datos históricos o de pruebas periódicas a los equipos, con esta información se calcula una probabilidad de que el equipo falle en un tiempo  $t$ , denominada función de distribución de falla  $F(t)$ . (Moubray, J. 1997), (OREDA. 2002).

*Confiabilidad.* Es la probabilidad que un elemento puede cumplir con su función en un intervalo especificado y en las condiciones establecidas. La confiabilidad es el inverso probabilístico de la función  $F(t)$ :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \text{Ecuación (7)}$$

De lo anterior se define la función de densidad de falla  $f(t)$ :

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad \text{Ecuación (8)}$$

*La probabilidad de Falla.* Se define como al probabilidad de que ocurra el modo de falla en un intervalo de tiempo  $t$  definido, fijo para el cálculo.

La confiabilidad se describe con la siguiente ecuación:

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-\frac{1}{MTBF} \cdot t} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde,

$R(t)$ : Probabilidad de funcionamiento libre de fallos.

$e$ : Número de Euler (2,718).

$t$ : Período especificado en funcionamiento libre de fallos.



$\lambda$ : Tasa de fallo.

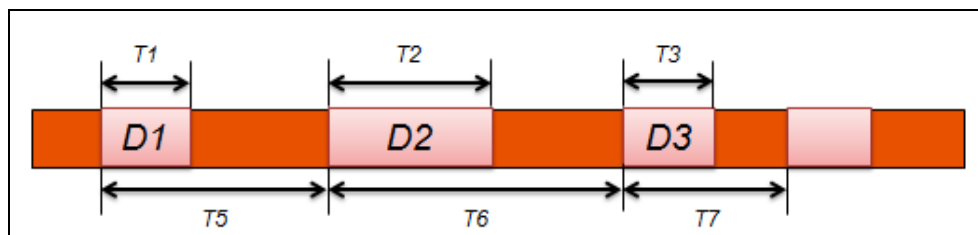
MTBF =  $1/\lambda$ : tiempo promedio para fallar o tiempo promedio entre fallas.

Esta ecuación es válida para fallas que sigan la distribución exponencial, es decir su tasa de falla es constante, en el ANEXO A se puede identificar algunos cálculos.

Tiempo Medio de Funcionamiento entre Fallos MTBF o TMEF (Mean operating Time Between Failures). *El Tiempo Medio de Funcionamiento entre Fallos es la media aritmética de los tiempos de funcionamiento entre Fallos*” (UNE-EN 13306, 2011; UNE-EN 15341, 2008, p.19).

Ecuación (10)

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número de fallos}} = \frac{(T5 + T6 + T7)}{\text{Número de paradas}}$$



**Figura 13-2:** Detenciones de un equipo vs tiempos de operación.

**Fuente:** Placencia Sebastián. Índices de clase mundial. Ecuador: 2014.

En donde D1/D2/D3, son las detenciones o paradas a través del tiempo.

*Tasa de Fallos.* Es una función que describe el número de fallos de un sistema, componente que pueden ocurrir en un cierto tiempo (Sexto L. 2014, p.21).

Ecuación (11)

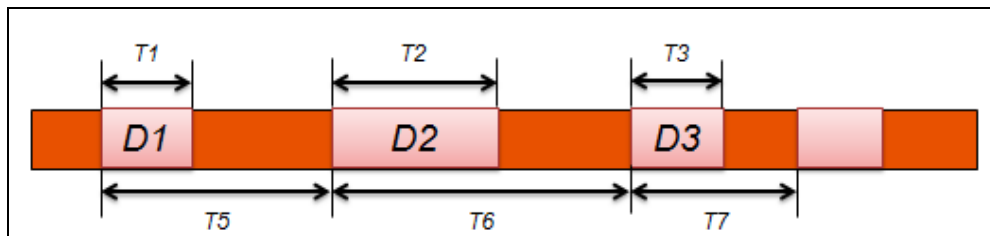
$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de operación}} = \frac{1}{MTBF}$$

Tiempo Medio hasta la Recuperación, TMPR o MTTR (Mean Time To Restoration).

El Tiempo Medio hasta la Recuperación, es la media aritmética de los tiempos hasta la recuperación. (UNE-EN 13306, 2011, p.21).

Ecuación (12)

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de recuperación}}{\text{Número de fallos}} = \frac{T1 + T2 + T3}{\text{Número de paradas}}$$



**Figura 14-2:** Detenciones de un equipo vs tiempos de reparación.

**Fuente:** Placencia Sebastián. Índices de clase mundial. Ecuador: 2014.

En donde D1/D2/D3, son las detenciones o paradas a través del tiempo.

*Tasa de Reparación.* La tasa de reparación es el índice con el cual una acción de reparación se realiza y se expresa en términos del número de acciones de reparación exitosas realizadas por hora.

Ecuación (13)

$$\mu = \frac{\text{Número de reparaciones}}{\text{Tiempo}} = \frac{1}{MTTR}$$

*Disponibilidad.* Es Aptitud de un elemento para encontrarse en un estado en que puede realizar su función, cuándo y cómo se requiera, bajo condiciones dadas, asumiendo que se dispone de los recursos externos necesarios” (UNE-EN 13306, 2011, p.22).

“La disponibilidad es la probabilidad de que un activo realice la función asignada cuando se requiere de ella. La disponibilidad depende de cuán frecuente se producen los fallos en determinado tiempo y condiciones (confiabilidad) y de la capacidad y el tiempo requeridos para mantener la funcionalidad (mantenibilidad)” (Sexto L. 2005, p.36).

La disponibilidad se describe con la siguiente ecuación. (Sexto L. 2014, p.38)

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde:

D = Disponibilidad

MTBF = Tiempo medio entre fallos.

MTTR = Tiempo medio de reparación.

#### **2.4.6. Valoración cuantitativa del riesgo**

La valoración cuantitativa del riesgo consiste, en esencia, en convertir todos los elementos de riesgo en cantidades económicas objetivamente calculadas con el fin de elaborar un listado de los fallos que supongan un coste mayor para la empresa. Para ello se deben de tener en cuenta los mismos criterios que se han empleado con anterioridad.

En concreto, deberán conocerse los siguientes aspectos: (Gómez J, y Márquez A. 2012, p.97)

**Costos por indisponibilidad:** En estos costes deberán tenerse en cuenta factores como lucro cesante, materiales desperdiciados o penalizaciones por pedidos no satisfecho. La rigurosidad a la hora de determinar los costes directos e indirectos de los fallos es fundamental para obtener la medición objetiva. En este punto se puede incorporar el análisis RAM (confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad), en el que se puede asignar valores económicos a los fallos ocurridos.

**Costes medioambientales:** Estos costes hay que tener en cuenta todas las penalizaciones provenientes de multas por parte de la administración. Así mismo, los costes de imagen para la empresa generados por la mala imagen que crean los incidentes ambientales.

**Costos de seguridad y salud de las personas:** La valoración económica de los costes directos e indirectos derivados de un accidente laboral es un tema delicado. Determinar el coste generado por hechos tan terribles como la pérdida de una vida humana es una tarea tremendamente complicada.

La valoración de las consecuencias tiene como objetivo principal evaluar el impacto de los modos de falla. Si la ocurrencia de fallo tiene consecuencias importantes, se realizar esfuerzos muy considerables para eliminar o minimizar dicha consecuencia.

Por otro lado, si el fallo únicamente tiene unas consecuencias menores puede ser que no se realice ninguna acción proactiva y simplemente se asume el fallo cada vez que ocurre. Al igual que para las probabilidades de fallo, el análisis de las consecuencias de fallo se puede basar en modelos físicos, estadísticos, valoración de expertos o una combinación de todos ellos.

De todas formas, si el objetivo de mantenimiento es realizar una optimización de los costos de mantenimiento resulta imprescindible evaluar las consecuencias económicas que provoca por un fallo en el equipo. El método a utilizar para calcular las consecuencias de fallo depende de las herramientas disponibles en la organización. Ver tabla 3-2.

**Tabla 3-2:** Revisión de los métodos de análisis de criticidad y sus características

MÉTODOS	APLICACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Flujograma (Cualitativo)	En instalaciones nuevas, rediseñadas o en donde la obtención de la información es limitada.	Permite realizar una primera clasificación de equipos dentro de la planta o línea de producción.  Es sencilla y rápida la asimilación de la metodología por parte de todos los agentes involucrados en el análisis.	Este método es poco riguroso, con lo que se requiere un gran esfuerzo por parte del facilitador y del personal involucrado en el estudio para mantener un criterio firme a lo largo del mismo que dote de coherencia al análisis realizado.  Los resultados son menos confiables debido a que su estudio es superficial y muy subjetivo.
AHP (Semicuantitativo)	Para resolver problemas en los cuales existe la necesidad de priorizar distintas opciones y posteriormente decidir cuál es la opción más	Permite establecer jerarquías a problemas complejos en el área de mantenimiento  Este método es sencillo y versátil, ya que permite definir jerarquías mediante el análisis comparativo de diferentes criterios y alternativas.	La dificultad a la hora de jerarquizar el mantenimiento dentro de una fábrica es ponderar la importancia de los criterios con los que se mide la misma.  Requiere de personal experto para el desarrollo y evaluación e interpretación de resultados que

	conveniente		además pueda relacionar el comportamiento de falla con los diferentes criterios.
CTR (Semicuantitativo)	Para establecer jerarquías y estrategia de mantenimiento que permitan reducir, y controlar el nivel de riesgo de instalaciones operativas que impacten a la continuidad del negocio.	<p>Los resultados son representados en dos aspectos importantes frecuencia de falla y la consecuencia</p> <p>El análisis permite establecer estrategias y planes de mejora con el fin de dar un tratamiento a cada nivel de criticidad del sistema/ equipó.</p> <p>Su implementación ofrece una precepción del nivel de riesgo e información relevante para los gestores de mantenimiento, encargados de la operación y salud, seguridad y ambiente.</p> <p>El modelo es flexible a la hora de definir los criterios y valores ya que permite escoger todos los posibles aspectos del contexto operacional de los proceso productivos</p>	<p>La valoración de los diferentes factores de consecuencia de riesgo es relativa al contexto operacional de la empresa. Por lo que se requiere la participación de todos los departamentos de la empresa.</p> <p>Respecto al modelo AHP, es que no permite el conocer la consistencia matemática de las valoraciones. Esto se compensa con su sencillez de aplicación y el gran potencial de la metodología.</p>
Riesgo (cuantitativo)	En procesos que requieran establecer la probabilidad de pérdida de un evento en valor monetario.	<p>El resultado de una evaluación cuantitativa del riesgo será típicamente un número, como el impacto de los costos por unidad de tiempo, resultando ser una de las técnicas más exactas.</p> <p>Permite cuantificar objetivamente la probabilidad de falla y consecuencia del evento.</p>	<p>Este método requiere de una gran cantidad de datos fiables tanto para la evaluación de probabilidades y evaluación de las consecuencias.</p> <p>Su implementación requiere de un gran costo de preparación, no solo económicamente sino más bien de tiempo invertido en la preparación de la información.</p>

Realizado por: Diego Tandalla. 2016

Como se observa en la tabla 3-2, la elección del método depende del; contexto operación de los activos, objetivo y alcance del análisis, aplicabilidad del método, recursos disponibles, así también el tiempo y personal disponible, pero sobre todo la información disponible ya que de ella dependerá la incertidumbre de los resultados.

## 2.5. Herramientas para la gestión del mantenimiento

### 2.5.1. Análisis de puntos críticos en mantenimiento

Mediante el análisis de puntos críticos de mantenimiento se busca evaluar el desempeño del departamento de mantenimiento dentro de la empresa y efectuar un diagnóstico de su situación que permita, a futuro implementar un plan de trabajo a la medida que apunte a su mejoramiento significativo en el mínimo tiempo posible (Prando R. 2006, p.75).

Este tipo de diagnóstico se convierte en el punto de partida para aplicar cualquier tipo de estrategia de mantenimiento, modelos de mantenimiento, metodologías o técnicas de mantenimiento.

Este análisis es un proceso sistemático de evaluación documentado e independiente para obtener evidencias, evaluarlas de manera objetiva y determinar el grado en que se cumplen los criterios acordados mediante un cuestionario estructurado y fundamentado principalmente en normativas como las ISO 19011:2012 Directrices para auditoria de sistemas de gestión.

Este análisis está basado en los siguientes aspectos: criticidad de equipos, manejo de la información, mantenimiento actual, manejo de costos, efectividad del mantenimiento.

**Tabla 4-2:** Aspectos del análisis de puntos críticos de mantenimiento.

ASPECTOS GENERALES	ASPECTOS INDIVIDUALES
<b>A. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA</b>	1. Caracterización
<b>B. CRITICIDAD DE RUTAS DE INSPECCION</b>	2. Sectorización de la planta
	3. Criticidad de los equipos
	4. Dimensionamiento de los tiempos de mantenimiento
<b>C. MANEJO DE LA INFORMACION SOBRE EQUIPOS</b>	5. Aspectos individuales considerados
	6. Información sobre los equipos
	7. Información sobre el mantenimiento
	8. Información sobre manejo de recursos
	9. Información sobre indicadores
	10. Información sobre manejo de personal
<b>D. AUDITORIA SOBRE EL MANTENIMIENTO ACTUAL</b>	11. Aspectos individuales considerados
	12. Integración de la gente de operaciones

	13. Programación de las tareas de mantenimiento
	14. Antecedentes para programar el mantenimiento
	15. Generación de índices de control y retroalimentación
<b>E. ANTECEDENTES DE COSTOS DE MANTENIMIENTO</b>	16. Aspectos individuales considerados
	17. Análisis de reemplazo de equipos
	18. Análisis de reemplazo a la falla o grupal de partes
	19. Análisis para mantenimiento propio o tercerización
	20. Análisis evolución de los costos
<b>F. EFECTIVIDAD DEL MANTENIMIENTO ACTUAL</b>	21. Aspectos individuales considerados
	22. Capacidad de programación de actividades
	23. Administración de trabajos
	24. Procedimientos para el mantenimiento
	25. Manejo de relaciones humanas
	26. Manejo de repuestos y herramientas

Realizado por: Diego Tandalla. 2016

### 2.5.2. Análisis de Pareto

Como una forma de priorizar y solventar la común escasez de recursos del staff de mantención, se utiliza el análisis de Pareto o análisis ABC. (García, O., Rojas, D., & Torrealba, D. 2008, p.59). Ver figura 15-2.

Es una representación gráfica de los datos obtenidos sobre un problema, que ayuda a identificar cuáles son los aspectos prioritarios que hay que tratar.

Su fundamento parte de considerar que un pequeño porcentaje de las causas, el 20%, producen la mayoría de los efectos, el 80%. Se trataría pues de identificar ese pequeño porcentaje de causas “vitales” para actuar prioritariamente sobre él. Sus principales características son: Ver tabla 5-2.

**Tabla 5-2:** Características del análisis de Pareto.

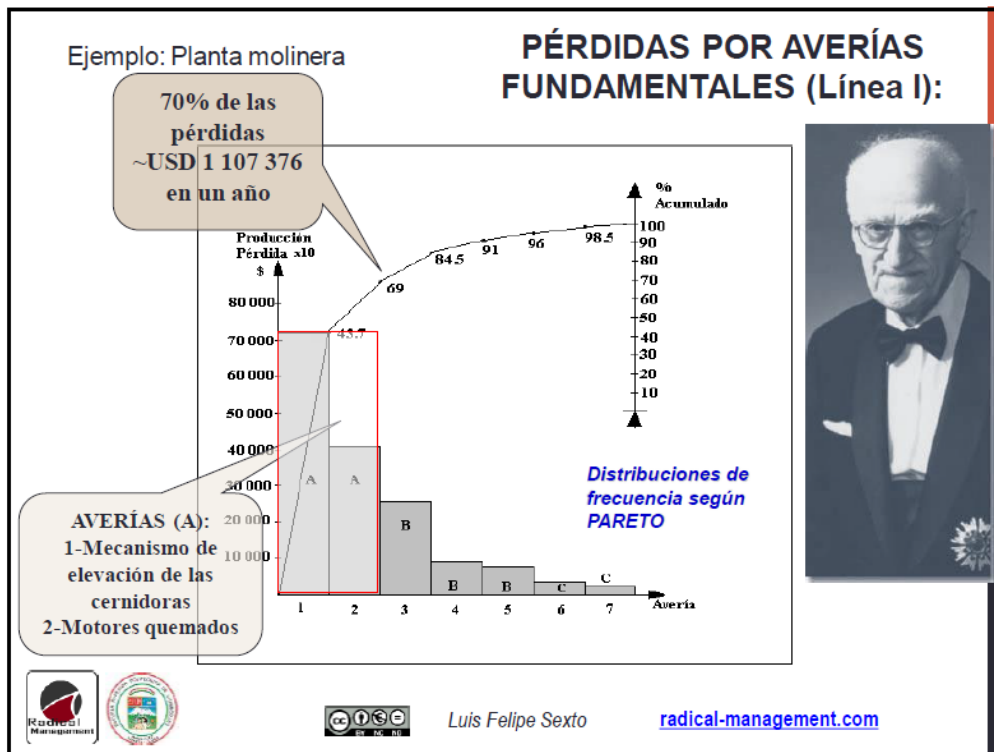
<b>PRIORIZACIÓN</b>	Identifica los elementos que más peso o importancia tienen dentro de un grupo.
<b>UNIFICACIÓN DE CRITERIOS</b>	Enfoca y dirige el esfuerzo de los componentes del grupo de trabajo hacia un objetivo prioritario común.
<b>CARÁCTER OBJETIVO</b>	Su utilización fuerza al grupo de trabajo a tomar decisiones basadas en datos y hechos objetivos y no en ideas subjetivas.

<b>CATEGORÍAS</b>	<p>Clase A usualmente contiene el 20% del factor (causa) que están causando el 75% al 80% de los problemas.</p> <p>Clase B contiene alrededor del 20% del factor que causa entre el 15% al 20% de los problemas.</p> <p>Clase C contiene el resto de los factores los cuales son muchos.</p>
-------------------	--

Realizado por: Diego Tandalla. 2016

Las decisiones de mantenimiento deben ser tomadas en función a:

- Los componentes que componen la zona A deben recibir los mayores esfuerzos de mantenimiento: un programa de mantención preventiva, monitorio de su condición, nivel adecuado de stock de repuestos.
- Un esfuerzo menor será concentrado en las maquinas pertenecientes al grupo B.
- Los elementos del grupo C no requieren mantención preventiva hasta una nueva evaluación.



**Figura 15-2:** Diagrama de Pareto aplicado averías.

Fuente: Radical Management, 2014.



### 2.5.3. Análisis causa raíz (ACR)

El análisis causa raíz (ACR) es una herramienta de la gestión , que se utiliza tanto de manera reactiva, para investigar un evento adverso que ha ocurrido, como de manera proactiva, para analizar y mejorar los procesos y sistemas antes de que fallen,( Preuss, 2003, p.34). Con lo que se aborda los problemas y se plantean soluciones inmediatas tendientes a que no vuelvan a suceder o que no sucedan (Por lo menos de manera controlada). Para la realización del ACR, se requiere ciertas actividades: Ver tabla 6-2.

**Tabla 6-2:** Fases de del análisis causa raíz.

<b>1-RECOPIACIÓN DE DATOS</b>	-Las condiciones existentes antes, durante y después de la ocurrencia. -El personal involucrado, incluyendo las acciones tomadas de emergencia. -Los factores ambientales. -Cualquier dato que se considere relevante y que pueda estar relacionado con la ocurrencia
<b>2-EVALUACIÓN</b>	-Identificar el problema. -Determinar la importancia del problema -Identificar las causas (condiciones o acciones) que preceden y rodean al problema -Identificar las razones por las que existen las causas identificadas y trabajar en la búsqueda de la causa raíz
<b>3-ACCIONES CORRECTIVAS</b>	-Implementar acciones correctivas para cada causa (Eficaz y eficiente).
<b>4-INFORME</b>	-El sistema de reporte y procesamiento de ocurrencias que la organización -Los reportes sobre la discusión y resultados del análisis -Acciones de reparación (correcciones) -Acciones correctivas
<b>5-SEGUIMIENTO</b>	Verificación de la efectividad de las acciones correctivas

**Realizado por:** Diego Tandalla. 2016

Los beneficios de la aplicación del ACR son:

- Reducción del número de ocurrencias.
- Reducción de costos y de la producción diferida asociada a fallos.
- Incremento de la confiabilidad, la seguridad y la protección al medio ambiente.
- Mejora la eficiencia, la rentabilidad y la productividad.

#### **2.5.4. Análisis de modo de fallos, efectos y criticidad FMECA**

El termino modo de falla es usado para referirse a las posibles maneras en que un componente puede fallar. Un componente puede tener uno o más modos de falla. El análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA por sus siglas en inglés) es probablemente el método más usado y más efectivo de análisis de confiabilidad. (SAE JA 1012, 2002, p.26)

El FMECA considera cada modo de falla de cada componente de un sistema y comprueba sus causas y efectos.

El análisis responde las siguientes preguntas para cada componente del sistema en estudio:

- ¿Cómo puede fallar el componente?
- ¿Cuáles son las consecuencias de tal falla?
- ¿Cuál es la criticidad de las consecuencias?
- ¿Cómo puede detectarse la falla?
- ¿Cuáles son las salvaguardias contra la falla?

El estudio logra:

- Asegurar que todos los modos de falla concebibles y sus efectos sean comprendidos.
- Identificar debilidades en el diseño.
- Proveer alternativas en la etapa de diseño.
- Proveer criterios para prioridades en acciones correctivas.
- Proveer criterios para prioridades en acciones preventivas.
- Asistir en la identificación de fallas en sistemas con anomalías.

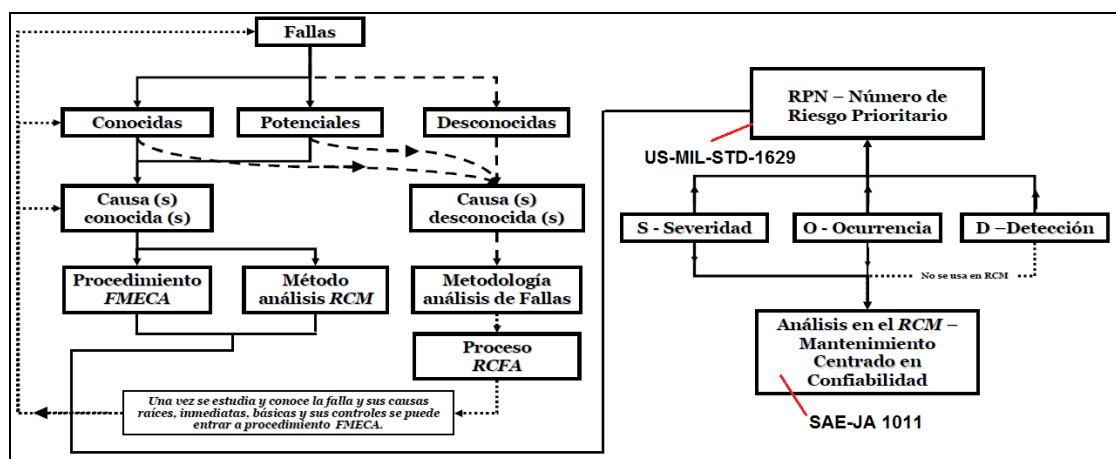
El procedimiento para FMECA tiene como función principal organizar todas las tareas modificativas o proactivas a realizar por parte de mantenimiento, después de haber realizado exhaustivamente el análisis de fallas o ACR, el método procedimental FMECA parte del concepto de que ya se conocen todas las fallas reales y potenciales,

se sabe los modos de falla en que se pueden presentar y se tienen un perfecto dominio de todas las funciones principales y auxiliares de los elementos o maquinaria a evaluar con el procedimiento. Por su parte el número de prioridad por riesgo RPN lo que hace es jerarquizar cada una de las tareas a realizar en los diferentes equipos o sistemas, con el fin de priorizar los esfuerzos en los equipos que más lo requieran según su grado el grado de criticidad. (Mora Gutiérrez A. 2006, p.286). La ecuación está definida por:

$$\text{NPR} = \text{Severidad} * \text{Ocurrencia} * \text{Detección}. \quad \text{Ecuación (15)}$$

Las etapas del desarrollo del FMECA son:

- Describir las funciones primarias y secundarias de los equipos.
- Establecer todas las fallas funcionales reales y potenciales conocidas.
- Los modos de falla.
- Evaluar las consecuencias y los efectos de cada modo de fallo.
- Medir el RPN mediante la evaluación de la severidad, probabilidad de ocurrencia, y la posibilidad de detección.
- Establecer las acciones correctivas o planeadas.
- Realizar tareas. medir nuevamente el RPN y planear acciones.



**Figura 16-2:** Aplicabilidad para el análisis FMECA.

Fuente: Luis Mora, 2006.

## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO**

El desarrollo de análisis de criticidad se basa en la metodología propuesta por la norma NORSOK Z-008, en donde establece los requerimientos iniciales para realizar el análisis de criticidad, consecuentemente se establecerá el método o técnica para evaluar su criticidad, se expondrán los pasos durante la realización del trabajo de investigación; todo esto enmarca en el modelo de gestión de mantenimiento actual.

Este trabajo propone determinar una solución viable a la problemática planteada, para su análisis requiere la recopilación y selección de información que se presenta en la realidad, describiendo hechos a partir de un criterio o modelo teórico, identificado las características propias de los equipos en su contexto operacional.

#### **3.1 Fundamentos de la solución**

Mediante la utilización de alternativas dentro del marco teórico y metodológico aplicable al análisis de criticidad de equipos para la mejora del sistema de gestión de mantenimiento de Cedal, se establece que el tipo de investigación en estudio es descriptiva, ya que comprendió la descripción de registros, recolección de datos, diseño de la investigación, población de estudio, entrevistas informales al personal experimentado y metodología empleadas en el análisis, que en conjunto dan cumplimiento a los objetivos establecidos en el estudio. La estructura propuesta para dar solución a la problemática está fundamentada en los siguientes conocimientos teóricos y metodológicos:

- Análisis del contexto operacional y descripción del proceso productivo de la organización, fundamentada en datos propios de la organización.

- Estudio de probabilidades de falla, fiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y sus consecuencias.
- Análisis de criticidad, dada la teoría del riesgo, que se fundamenta en las normas ISO 31000 Sistema de Gestión del Riesgo y los requerimientos básicos de la norma NORSOK Z-008.
- Jerarquización de equipos según el nivel de criticidad y establecimientos de estrategias de mantenimiento, basadas en técnica de Pareto y matriz de criticidad.

Por tanto este estudio se orienta a la búsqueda de conocimientos específicos de la realidad, tal como el proceso de análisis de criticidad, que se obtuvo de manera directa a través de la aplicabilidad de diferentes metodologías y experiencias.

También es importante destacar debido al tratamiento de la información se considera una investigación de campo, ya que varios de los aspectos tratados proviene de experiencias y comentarios intercambiados con el personal de mantenimiento, producción, de calidad, seguridad y administración. Además de visitas en sitio para la búsqueda de información proveniente de datos, registros y archivos existentes en el campo, de tal manera que dicha información, será organizada, estructurada, discutida, validada para el análisis de criticidad,

### ***3.1.1 Técnicas de recolección de datos.***

Se puede mencionar al análisis documental orientado a la revisión y fuentes representadas por los diferentes textos, informes, tesis, artículos, bitácoras y documentos de internet relacionados con el análisis de criticidad de equipos y sistema de gestión de mantenimiento.

Se recogerán los datos de manera directa para identificar, describir y caracterizar la realidad del sistema de gestión de mantenimiento a través del diagnóstico del contexto operacional.

Para clasificar y priorizar los equipos por su criticidad se propone utilizar de manera conjunta la metodología de análisis de criticidad, teoría del riesgo, y la norma NORSOK

Z-008, para ello se requiere recolectar los datos del contexto operacional de cada equipo, que por lo general se encuentran descritos en algunos documentos que genera el personal técnico y administrativo del departamento en estudio, tales como; los registros de falla, registro de funcionamiento, catálogos, inventarios, registro de observaciones, entre otros.

Como técnica eficaz para entender el proceso productivo, el contexto operacional de los equipos, el sistema de gestión de mantenimiento, se utiliza la técnica de entrevista se aplicara un cuestionario formal en el cual existe un rango para formular las preguntas y las respuestas. Los aspectos en que se basaran en las entrevistas serán: criticidad de los equipos, manejo de la información, mantenimiento actual, manejo de costos y efectividad del mantenimiento.

Una vez recopilada toda la información, se procedió a organizarla y presentarla bajo la estructura de la metodología planteada

### 3.1.2 Población y muestra

Para la presente investigación la población está compuesta por 215 equipos que conforman el proceso productivo de la elaboración de perfiles de aluminio, el cual se distribuyen en 5 procesos; extrusión, fundición, acabado, tratamiento de agua y equipos auxiliares ver la tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Población del proceso productivo de perfilera de aluminio

PROCESO PRODUCTIVO DE PERFLERIA DE ALUMINIO	EQUIPOS
<b>PROCESO DE ESTRUSION</b>	
1.1 PRENSA1LOEWY	27
1.2 PRENSA2FARREY	26
1.3 HORNO DE ENVEJECIMIENTO	4
1.4 MATRICERIA	7
<b>PROCESO DE FUNDICION</b>	
2.1 HORNO DE FUNDICION	11
2.2 PLANTA DE FUNDICION	10
2.3 HORNO DE HOMOGENIZADO	5

2.4 SIERRA LOMA Y BRIQUETADORA	4
<b>PROCESO DE ACABADO</b>	
3.1 ANODIZADO	32
3.2 PLANTA DE ANODIZADO	17
3.3 PINTURA	16
3.4 EMPAQUE	10
<b>PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA</b>	
4.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA	13
<b>PROCESOS AUXILIARES</b>	
5.1 VEHICULOS	10
6.1 CAMARA DE TRANSFORMACION	3
6.2 GENERACION ELECTRICA	2
6.3 GENERACION DE AIRE COMPRIMIDO	4
6.4 EQUIPOS TALLER	9
6.5 ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES	5
<b>TOTAL DE EQUIPOS</b>	215

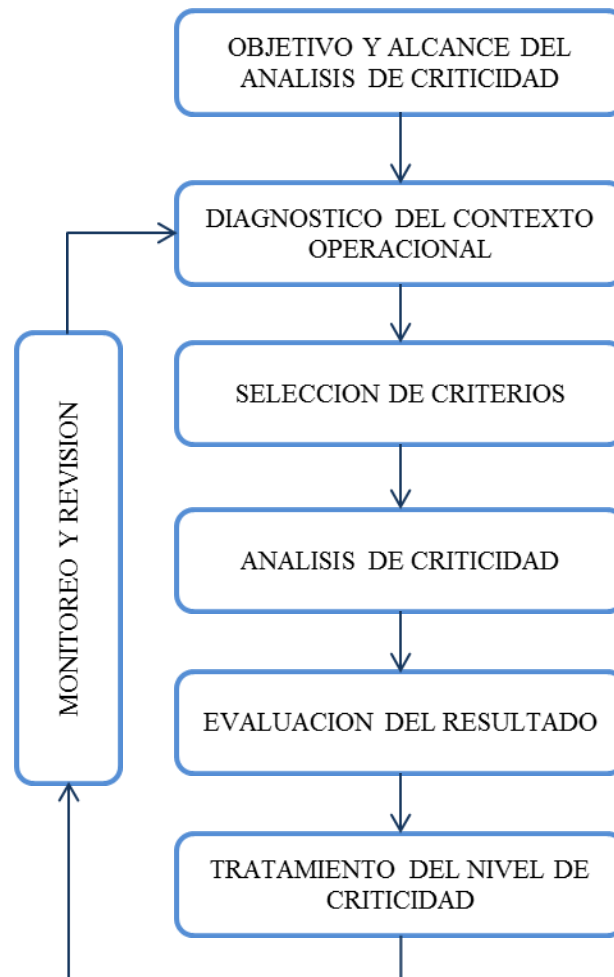
**Realizado por:** Diego Tandalla. 2016

Por tanto, la muestra escogida por convención de la organización y bajo el diagnóstico inicial de los indicadores de gestión de la planta es el proceso de extrusión- prensa1 loewy, sistema conformado por 27 equipos, donde se evidencia que la eficiencia global de la maquina está por debajo de la meta anual del 90%, esto debido a que el total de paradas imprevistas en el año 2015 están en el orden de 398 fallas , con un total de 400h de tiempo de intervención para mantenimiento correctivo; además dicho conjunto de equipos es la razón de ser de la empresa pionera en la extrusión de perfiles de aluminio, que satisface la demanda nacional en un 60%, con una producción aproximada de 11000 Toneladas / año, obteniendo un ingreso promedio de 4000,000 USD / año, es así que la ocurrencia de una falla desencadena un gran impacto económico. Entonces es evidente optimizar los recursos mediante la implementación de estrategias de mantenimiento en función del nivel de riesgo o criticidad, mejorando así las intervenciones de manutención, presupuestos, disponibilidad y confiabilidad operacional del sistema productivo.

### 3.2 Metodología para el análisis de criticidad de equipos

El siguiente modelo está enmarcado en la teoría del riesgo, confiabilidad operacional, estrategias de mantenimiento, y basado en normativas vigentes como: NORSOK STANDARD Z-008 Proceso de análisis de criticidad, ISO 31000 Procesos de gestión de riesgos, ISO 14224 Taxonomía para la jerarquización de equipos y EN 16646:2014 sistema de gestión de mantenimiento, que se ha desarrollado dentro del contexto operacional del proceso productivo de la empresa Cedal.

Como se puede observar en la gráfica el modelo propuesto para el análisis de criticidad posee algunas particularidades descritas en 6 fases, cuya estructura permita establecer una secuencia lógica, que permitirá alcanzar el propósito planteado.



**Figura 1-3:** Modelo para el análisis de criticidad.

Fuente: Diego Tandalla, 2016.



Durante cada una de las fases de aplicación de la metodología se involucra al personal pertinente según la especialidad de la actividad a desarrollar, con el fin de retroalimentar de información.

La metodología persigue la mejora continua por lo que es necesaria la revisión periódica del objeto de estudio con el fin de retroalimentar y actualizar la información, de tal manera que sea un modelo eficaz y eficiente que garantice la optimización de los recursos de mantenimiento de forma sistémica.

### **3.3 Fases de la metodología análisis de criticidad**

A continuación se describe las fases del modelo propuesto para el análisis de criticidad, que a su vez consta de pasos a seguir con la aplicación de herramientas, métodos, normas y buenas prácticas de la ingeniería de mantenimiento. Cada fase comprende la recolección de la información, tabulación de datos obtenidos, análisis e interpretación de resultados.

#### ***3.3.1 Objetivo y alcance***

Es el punto de partida donde se define el objeto de mantenimiento que tiene mayor influencia dentro del proceso productivo de la organización, para clarificar el alcance se utilizara la norma ISO-14224 que hace una división de los niveles de análisis que podemos encontrar dentro de una planta, dependiendo en el nivel de jerarquización que se situé el estudio, determinara la utilización de diferentes documentación, herramientas y métodos en cada una de las fases del modelo.

#### ***3.3.2 Diagnóstico del contexto operacional***

Para determinar y conocer el entorno donde se desempeña las funciones los activos objetos de mantenimiento se divide el estudio en:

Descripción del proceso productivo. En este punto se realiza una revisión del proceso, funcionabilidad de los activos físicos objetos de mantenimiento, documentación existente, ubicación y disposición de los activos físicos, revisión de diagramas P&D,

catástrofes de activos físicos, estado técnico, etc. en fin todo lo que con lleve al conocimiento de las instalaciones.

Diagnóstico de la situación actual del mantenimiento. Es de suma importancia conocer aspectos que determinan la gestión de mantenimiento del activo objeto de estudio, para ello se debe establecer un cuestionario que considere aspectos como: manejo de la información, criticidad de equipos, mantenimiento actual, manejo de costos y efectividad del mantenimiento, de dicha información obtenida será un factor para determinar el criterio a desarrollar en el análisis de criticidad.

### ***3.3.3 Selección de criterios***

La selección de los criterios a utilizar en el análisis de criticidad depende del grado de madurez de la organización, objeto de estudio y de la información disponible en cuanto a su contexto operacional. El estudio y las técnicas propuestas en el marco referencial está basado en la teoría del riesgo que permite establecer los niveles de criticidad y por ende su jerarquización, por tanto dependerá de los diferentes criterios de cada técnica sea cualitativa, semi-cuantitativa o cuantitativa de las fases anteriores mencionadas.

### ***3.3.4 Análisis de criticidad***

Una vez establecido los criterios, es necesario el análisis y recolección de la base de datos obtenidos de los registros de mantenimiento, (bitácoras de mantenimiento, registros de fallas), con el fin de tabular y estudiar el comportamiento de las ocurrencias de fallas mediante la utilización de la ingeniería de la fiabilidad, de la misma manera se procederá con el parámetro de consecuencia que genera la aparición de una falla, por tanto la interacción de estos dos factores determinara el valor estimado de criticidad del objeto de estudio.

### ***3.3.5 Evaluación de resultados***

Obtenido el valor estimado de criticidad, se procede a la jerarquización según el grado de criticidad. Con el fin de determinar la parametrización de los diferentes niveles de criticidad se utilizara el principio de Pareto, método con el cual se determina el 20% de

los activos físicos objeto de mantenimiento que posee el 80% del riesgo o criticidad total en el proceso productivo. Dada su complejidad y para entendimiento del comportamiento de las fallas vs los consecuencias, se debe proceder a identificar las diferentes zonas de criticidad en una matriz de criticidad mediante un diagrama de dispersión, que permitirá establecer las diferentes zonas en el que se concentraran las estrategias de mantenimiento.

### 3.3.6 *Tratamiento del nivel de criticidad.*

Para mitigar o reducir el nivel de criticidad se establecen estrategias de mantenimiento más adecuado que rijan en los activos físicos que presentan los diferentes niveles de criticidad.

Estas estrategias propuestas combina varios enfoques como: operar hasta la falla, mantenimiento preventivo planificado, mantenimiento basado en la condición, mantenimiento basado en la confiabilidad y análisis causa raíz. Siendo estas estrategias el punto de partida para la implementación de las diferentes metodologías, que permitan mejorar el modelo actual de sistema de gestión de mantenimiento.

Así se puede observar en a la tabla 2-3 el procedimiento metodológico a seguir para el análisis de criticidad en la empresa de aluminios Cedal.

**Tabla 2-3:** Procedimiento metodológico para el análisis de criticidad.

PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD			
VARIABLE	FASE	DIMENSIÓN	HERRAMIENTA
Análisis de criticidad de equipos.	1. Objetivo y alcance	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinación del nivel de taxonomía.</li> <li>- Selección del objeto de estudio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ISO-14224 definición de la taxonomía de equipos, EN-16646 sistemas de gestión de mantenimiento.</li> <li>- Convención de la organización.</li> <li>- Observación directa del objeto de estudio.</li> <li>- Revisión de registros corporativos.</li> </ul>

	2. Diagnóstico del contexto operacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descripción del proceso productivo.</li> <li>- Diagnóstico del sistema de gestión de mantenimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagramas P&amp;D, diagramas de planta, diagramas de flujo del proceso, procedimientos, manuales, registros de mantenimiento y producción.</li> <li>- Formulación de cuestionario y entrevistas estructuradas.</li> <li>- Observación directa.</li> </ul>
	3. Selección de criterios	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinación del tipo de análisis de criticidad.</li> <li>- Selección de criterios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Según marco del contexto operacional y marco teórico referencial.</li> <li>- Teoría del riesgo, norma NORSOK-Z008, norma ISO-31000, ingeniería de la fiabilidad.</li> </ul>
	4. Análisis de criticidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calculo de parámetros seleccionados.</li> <li>- Determinación del nivel de criticidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recolección y tabulación de datos del historial de fallas, reportes diarios de mantenimiento, reportes de producción, calidad, seguridad industrial, medio ambiente y registros financieros.</li> <li>- Ingeniería de la fiabilidad.</li> </ul>
	5. Evaluación de resultados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jerarquización según el nivel de criticidad.</li> <li>- Matriz de criticidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagramas de flujo, Análisis de Pareto.</li> <li>- Diagrama de dispersión frecuencia de falla vs consecuencia</li> </ul>
	6. Tratamiento del nivel de criticidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinación de estrategias de mantenimiento para el mejoramiento del sistema de gestión de mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estrategias de mantenimiento según su grado de criticidad, norma EN-13306 terminología del mantenimiento, norma EN-16646 sistemas de gestión de mantenimiento.</li> </ul>

**Realizado por:** Diego Tandalla. 2016

## CAPÍTULO IV

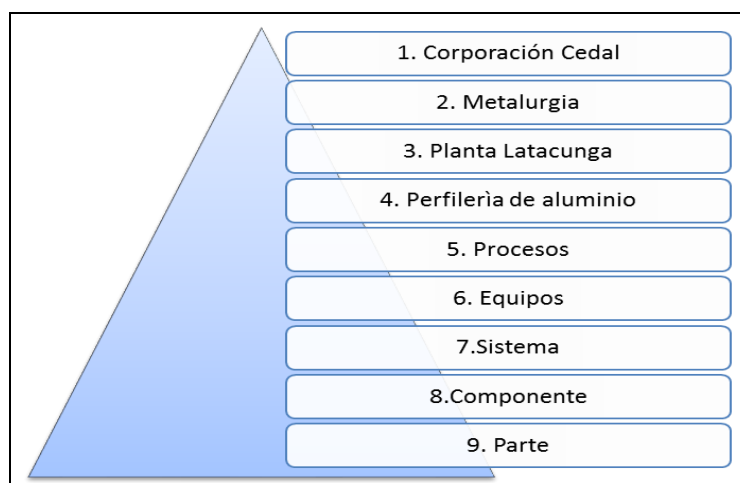
### 4. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN LA EMPRESA DE ALUMINIOS CEDAL

En el siguiente capítulo se aplicará de manera secuencial y lógica el modelo establecido para el análisis de criticidad de equipos con el propósito de mejorar el sistema de gestión de mantenimiento, mediante la jerarquización de equipos y establecimiento de estrategias que permita optimizar los recursos del mantenimiento en su planificación y presupuestos.

Los datos e información extraída de la organización Cedal para el análisis de criticidad, comprende desde el periodo, de Enero del 2015 a Diciembre del 2015.

#### 4.1. Determinación del objetivo y alcance

Es un aspecto fundamental determinar el nivel en que se establecen los ítems mantenibles a estudiar, para tal clasificación se utiliza la norma ISO-14224, donde por la baja eficiencia del proceso y por convención de la organización se decide realizar el estudio en el nivel 6 es decir a nivel de equipo ver figura 1-4.



**Figura 1-4:** Taxonomía de equipos corporación Cedal.

Fuente: Diego Tandalla, 2016.

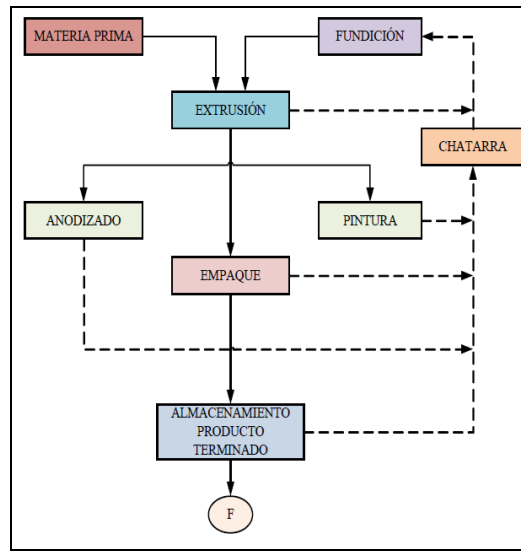
En función del nivel seis se podrán determinar las herramientas, metodologías y técnicas apropiadas para realizar el análisis de criticidad.

El proceso productivo de la elaboración de perfiles de aluminio está constituido por 215 equipos, distribuidos en 5 procesos; extrusión, fundición, acabado, tratamiento de agua y equipos auxiliares, como se describe a continuación: Ver figura 2-4.

- Proceso de extrusión.- Es el conjunto de operaciones de conformación por deformación plástica y tratamientos térmicos que cambian el estado geométrico y metalúrgico del aluminio, desde su condición de lingote hasta su forma final como perfil.
  
- Proceso de fundición.- Es el proceso de recuperación metalúrgica de chatarras de aluminio para la obtención de lingotes de aluminio. En este proceso se adicionan elementos aleantes para corregir la aleación.
  
- Proceso de Acabados.- Comprende de 3 subprocesos:
  - Anodizado.- Es un proceso superficial mediante el cual se confiere a los perfiles de aluminio de una capa de óxido de aluminio que le protege contra la corrosión y le otorga cualidades estéticas, para ello utiliza métodos químicos y electrolíticos.
  - Pintado.- En este proceso los perfiles son pintados mediante la aplicación de pintura en polvo, por métodos electrostáticos que luego se someten a un proceso de polimerizado en hornos de túnel.
  - Empaque.- Los perfiles de aluminio, una vez que poseen acabado superficial ya sea por anodización o pintado, se emban con papel de empaque de polietileno, formando paquetes de 35 kilos debidamente identificados, que luego son ubicados en la bodega de producto terminado para su despacho.
  
- Proceso de tratamiento de agua.- Las aguas provenientes de los procesos de lavado y otros vertidos de baja contaminación son sometidos a un proceso continuo, constituidos por tanques de mezcla, tanques para ajuste diferenciado de pH, tanque de neutralizado, tanque de floculación., tanque de sedimentación, tanque para la acumulación del agua tratada, unidades de filtración a través de arena y carbón

activado, tanques de acumulación de agua tratada para fines de recirculación parcial y una unidad para medida final del caudal y finalmente descarga en el cuerpo del receptor.

- Equipos auxiliares.- Son todos los equipos utilizados para generar aire comprimido, cámaras de transformación, generación eléctrica de emergencia, equipos taller, vehículos, etc.



**Figura 2-4:** Producción de perfilera.

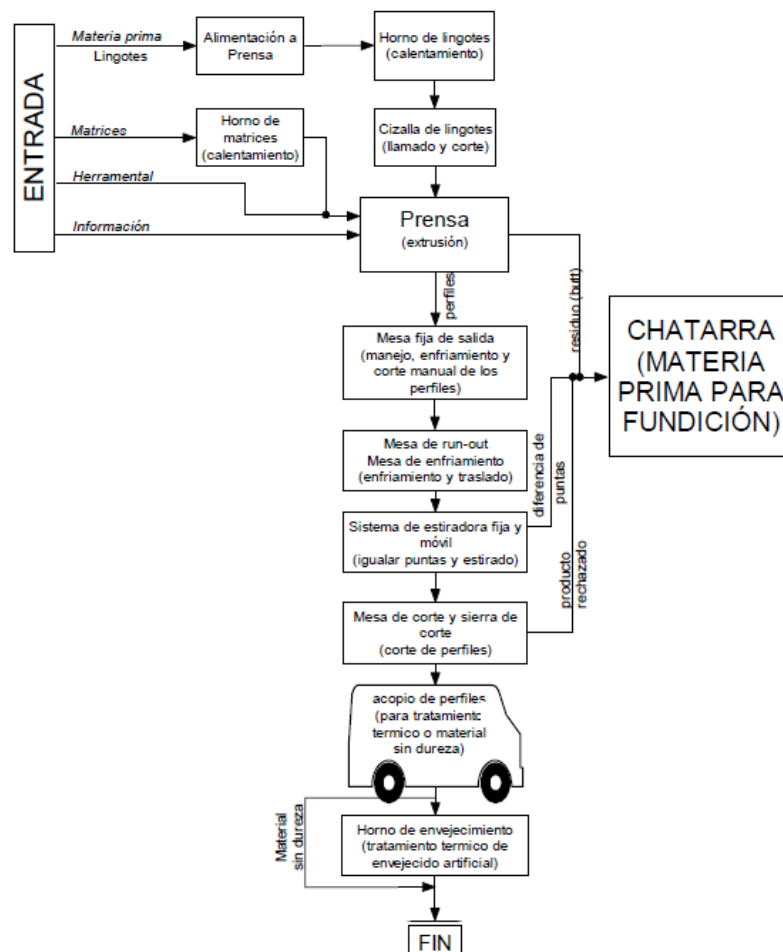
Fuente: Diego Tandalla, 2016.

Dada la complejidad del proceso productivo de perfilera, se decide delimitar el análisis de criticidad a los equipos del proceso de extrusión; en función del diagnóstico inicial de los indicadores de gestión de la planta, donde se evidencia que la eficiencia global de la maquina está por debajo de la meta anual del 90%, esto debido a que el total de paradas imprevistas en el año 2015 están en el orden de 398 fallas , con un total de 400h de tiempo de intervención para mantenimiento correctivo; además dicho conjunto de equipos es la razón de ser de la empresa, que satisface la demanda nacional en un 60%, con una producción aproximada de 11000 Toneladas / año, obteniendo un ingreso promedio de 4000,000 USD / año, es así que la ocurrencia de una falla desencadena un gran impacto económico. Entonces es evidente optimizar los recursos mediante la implementación de estrategias de mantenimiento en función del nivel de riesgo o criticidad, mejorando así las intervenciones de manutención, presupuestos, disponibilidad y confiabilidad operacional del sistema productivo.

## 4.2. Diagnóstico del contexto operacional

### 4.2.1. Descripción del proceso productivo de extrusión

Como indica el diagrama de flujo figura 3-4. El proceso inicia con el ingreso de la materia prima o lingotes de aluminio serie 6000 al horno de lingotes, donde es calentado a 450°C aproximadamente, de igual manera las matrices a ser utilizadas son precalentadas y colocadas en la prensa. Posteriormente el lingote es cortado a medida e ingresa al container herramental de la prensa, en donde se comprime a una presión contante y velocidad sobre el cuerpo matriz de la prensa; el perfil extruido sale a una mesa de enfriamiento donde es cortado y trasladado a la estiradora, para luego ser cortado a la medida de acuerdo a los requerimientos de manufactura para finalmente ser enviado al proceso de acabado.



**Figura 3-4:** Diagrama de flujo proceso de extrusión.

Fuente: Cedal, 2016



Una vez determinado el objeto de estudio es necesario conocer el entorno o ambiente en el que se desarrolla las funciones de los diferentes equipos que conforman el proceso de extrusión. En tal virtud se analizan los aspectos descritos en la tabla 2-4.

**Tabla 2-4:** Análisis de aspectos del entorno operacional.

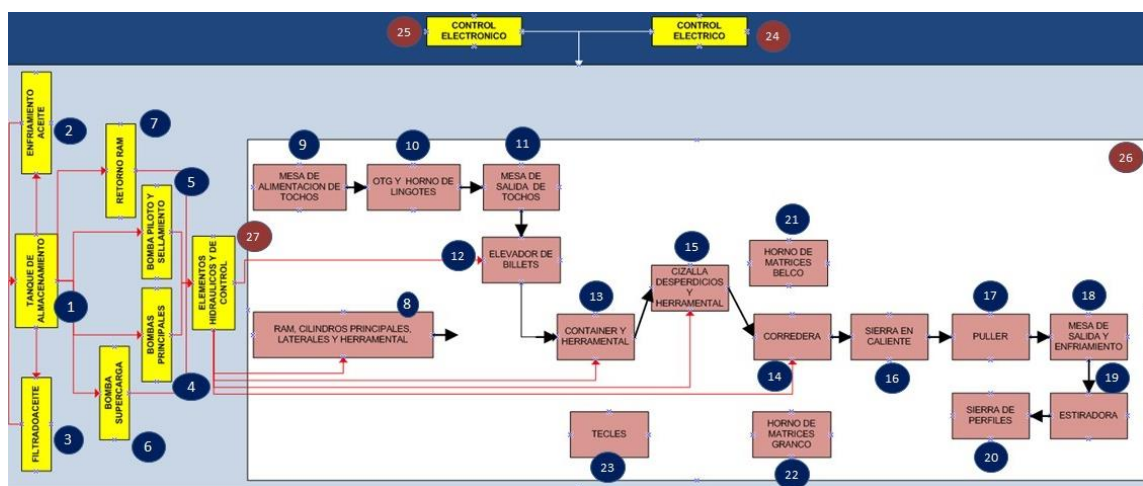
Equipos del proceso de extrusion	Tipo de proceso		Estandares			Tiempos		
	Serie	Redundante	Calidad	Ambiental	Seguridad	Operación	Restauración	Turnos (h)
1.1.1-Tanque de almacenamiento	X			X	X	Continua	Alta	24
1.1.2-Enfriamiento de aceite	X			X	X	Continua	Alta	24
1.1.3-Filtrado de aceite	X				X	Continua	Baja	24
1.1.4-Bombas principales	X		X			Continua	Alta	24
1.1.5-Bombas piloto y sellamiento	X				X	Continua	Alta	24
1.1.6-Bomba de supercarga	X				X	Continua	Alta	24
1.1.7-Retorno del Ram	X		X			Intermitente	Alta	24
1.1.8-Ram cilindros principales laterales y herramental	X		X			Continua	Alta	24
1.1.9-Mesa de alimentación de tochos	X				X	Intermitente	Media	24
1.1.10-OTG y hornos de lingotes	X		X			Continua	Media	24
1.1.11-Mesa de salida de tochos	X				X	Continua	Media	24
1.1.12-Elevador de Billets	X				X	Intermitente	Baja	24
1.1.13-Container y herramental	X		X		X	Continua	Media	24
1.1.14-Corredera	X		X			Continua	Media	24
1.1.15-Cizalla de desperdicios y herramental	X		X		X	Intermitente	Media	24
1.1.16-Sierra en caliente	X		X			Intermitente	Media	24
1.1.17-Puller	X		X			Intermitente	Media	24
1.1.18-Mesa de salida y enfriamiento	X		X			Continua	Media	24
1.1.19-Estradora	X		X			Intermitente	Alta	24
1.1.20-Sierra de perfiles	X		X			Intermitente	Alta	24
1.1.21-Horno de matrices Beko		X	X			Stand by	Baja	24
1.1.22-Horno de matrices Granco		X	X			Stand by	Baja	24
1.1.23-Teclas		X			X	Intermitente	Baja	24
1.1.24-Control eléctrico general	X		X			Continua	Media	24
1.1.25-Control electrónico general	X		X			Continua	Media	24
1.1.26-Bastidor y estructura de prensa	X		X		X	Continua	Media	24
1.1.27-Elementos hidraulicos y de control	X		X		X	Continua	Baja	24
<b>Porcentaje (%)</b>	<b>89</b>	<b>11</b>	<b>67</b>	<b>7</b>	<b>48</b>	<b>Continua</b>	<b>Media</b>	<b>100</b>

**Realizado por:** Diego Tandalla. 2016

Se evidencia que el 89% de los equipos conforman un proceso en serie lo cual de ante mano existe una alta criticidad debida a que la presencia de una falla provocaría la parada del proceso, frente al 11% de los equipos que son sistemas redundantes En lo concerniente a los estándares, la calidad en la producción predomina en un 67% frente a los aspectos de seguridad y medio ambiente; por tanto se define que la perdida de función de los equipos afecta directamente a la producción. En cuanto al estatus de operación de los equipos, por funcionabilidad y naturaleza del proceso es de forma continua e intermitente, no así los hornos de matrices que trabajan en stand by. En cuanto al tiempo de restauración, se considera una respuesta entre alto y medio del tiempo requerido como respuesta a la aparición de un fallo, provocando la mayor perdida en la disponibilidad del proceso lo cual es un punto a mejorar con la optimización de recursos de mantenimiento. Por último los equipos trabajan las 24

horas a tres turnos de 8 horas, siendo esto un factor determinante en la confiabilidad humana que interacciona con los equipos críticos.

Para describir el proceso se realiza un diagrama de bloque funcional, donde se puede apreciar la distribución y mostrar cómo los diferentes equipos del proceso interactúan entre sí y de este modo verificar la ruta crítica, en la figura 4-4 el proceso de extrusión está distribuido de tal manera que al presentarse una falla provocaría un paro total de la producción de perfiles, a excepción de 3 equipos que trabajan en forma paralela al sistema (21-22-23) para lo cual se podría deducir que el grado de atención de mantenimiento sea menor a los demás equipos, por lo tanto los criterios a establecer estarán enmarcados al comportamiento de las fallas y consecuencias de cada equipo.



**Figura 4-4:** Diagrama de bloque funcional proceso de extrusión.

Fuente: Cedal, 2016.

#### 4.2.2. Diagnóstico del sistema de gestión de mantenimiento

Parte del conocimiento del contexto operacional de los equipos en estudio es conocer la situación actual del sistema de gestión de mantenimiento de Cedal, así también cómo se gestiona cada uno de los aspectos planteados según el test de análisis de puntos críticos de mantenimiento (Espinosa F. 2002, p.49), con lo que se podrán identificar los puntos de mejora y determinar qué acciones son necesarias para mejorar los resultados. Con tal argumento se podrán establecer los criterios más acertados para el análisis de criticidad.

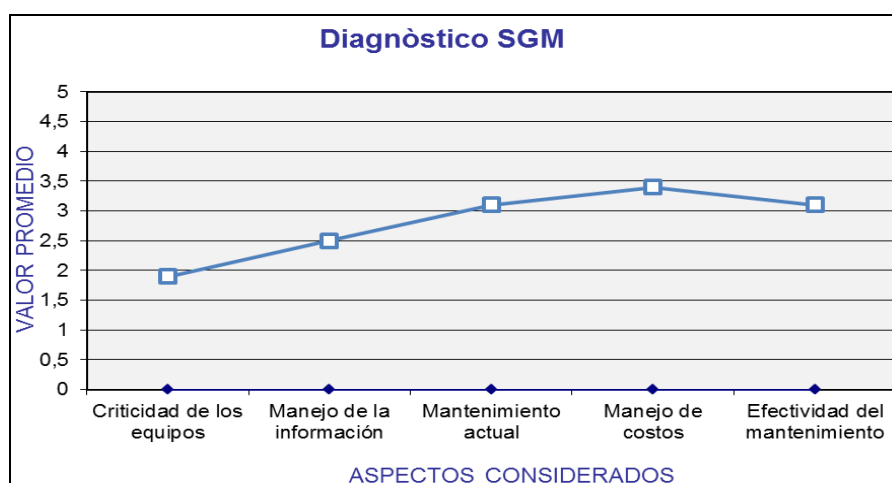
El cuestionario que se propone (ver Anexo E) está compuesto por cinco aspectos generales y veintiséis aspectos individuales para el análisis de puntos críticos de mantenimiento como se muestra en la tabla 4-2, para los cuales se establece un peso entre 1 y 5, y clasificados en aspecto bien implementado, aspecto regular y aspecto con deficiencias.

Se elabora el cuestionario para cada aspecto individual se procede a realizar la entrevista a los especialistas de mantenimiento (Jefatura, coordinador y supervisores) ver Anexo P, obteniendo los resultados siguientes:

**Tabla 3-4:** Resumen del análisis de puntos críticos de mantenimiento

Aspectos Considerados	Valor	Calificación
Criticidad de los equipos	1,9	Aspecto regular
Manejo de la información	2,5	Aspecto regular
Mantenimiento actual	3,1	Aspecto regular
Manejo de costos	3,4	Aspecto bien implementado
Efectividad del mantenimiento	3,1	Aspecto regular

**Realizado por:** Diego Tandalla. 2016



**Figura 5-4:** Diagrama del diagnóstico del SGM.

**Fuente:** Diego Tandalla, 2016.

Como se evidencia en la tabla 3-4 el aspecto de criticidad de los equipos, tiene una implementación muy baja, siendo nuestro punto de enfoque a establecer el modelo propuesto para el análisis de criticidad que permita mejora del sistema de gestión de mantenimiento.

Por tanto de acuerdo a los resultados descritos en el Anexo E, se establece que: para el análisis de criticidad es necesario establecer la cuantificación de falla para establecer un valor monetario por falla que nos indique el riesgo que implica el no tratamiento del mismo. Según los resultados de manejo de la información, se tiene datos de los equipos y del mantenimiento realizado lo cual facilita la tabulación y tratamiento de datos para el análisis de fallas. Así también el manejo de costos tiene una implementación satisfactoria en la organización por lo que ayudara en la estimación de las consecuencias en valores monetarios. Ver figura 5-4.

### ***4.3. Determinación de criterios para el análisis de criticidad***

Como se menciona en el marco referencial, existen varios métodos para el análisis de criticidad basados en la teoría del riesgo, siendo de tres tipos, cualitativa, semi-cuantitativa y cuantitativa, la selección del método dependerá principalmente del objeto de estudio y contexto operacional.

Luego de haber determinado el objeto de estudio y conocer su contexto operacional, en el que se ha evidenciado que; la información disponible del sistema de gestión de mantenimiento en cuanto a frecuencias de fallas y costos de manutención son altamente confiables, minimizando así la incertidumbre de la información obtenida y compensando también la necesidad del departamento de mantenimiento de contar con un índice de criticidad cuantitativo que sea expresado en valor monetario por falla presente en el proceso, que permita jerarquizar los equipos para establecer nuevas estrategias de mantenimiento que gobiernen en el activo seleccionado.

Para analizar el comportamiento de criticidad del activo objeto de mantenimiento, se considera que el proceso está en la etapa de vida útil donde su tasa de falla es constante por tanto la ecuación de riesgo queda definida por el siguiente criterio:

$$CT(t) = F(t) \times \sum C (CM+CP+CA+CS) \quad \text{Ecuación (16)}$$

Dónde:

CT(t): Criticidad (USD/año)

F(t): Probabilidad de fallo (1/año)

$\sum C(t)$ : Sumatoria de consecuencias (USD)

CM: Costos de mantenimiento (USD)

CP: Costos por perdida de producción (USD)

CA: Costos ambientales (USD)

CS: Costos por seguridad (USD)

Como se aprecia en la ecuación 16, el índice de criticidad está en función de los costos por perdidas que implica la ocurrencia de una falla o perdida de función del activo, dado su contexto actual para el periodo 2015 y 2016, en donde no se han generado datos de perdidas ambientales y por seguridad, estos valores se estiman que son cero debido a que la empresa cuenta con políticas muy eficientes en cuanto a seguridad industrial y ambiental lo cual ha permitido eliminar y mitigar las perdidas producto de fallas, por tanto la ecuación queda reducida :

$$CT(t) = F(t) \times \sum C(CM+CP) \quad \text{Ecuación (17)}$$

Entonces:

La probabilidad de falla, queda definida por la ecuación de la inconfiabilidad:

$$F(t) = 1 - R(t) \quad \text{Ecuación (18)}$$

Donde la confiabilidad es:

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-\frac{1}{MTBF} \cdot t} \quad \text{Ecuación (19)}$$

Dónde:

R(t): Probabilidad de funcionamiento libre de fallos.

e: Número de Euler (2,718).

t: Período especificado en funcionamiento libre de fallos.

$\lambda$ : Tasa de fallo. (Periodo de vida útil, contante)

MTBF =  $1/\lambda$ : tiempo promedio para fallar o tiempo promedio entre fallas.

Para definir los intervalos de tolerancia al riesgo se utilizara el método del 80/20 o principio de Pareto que nos permitirá clasificar los diferentes niveles de prioridad, así mismo se expondrá en un diagrama de dispersión la frecuencia de falla y consecuencias

propias de la matriz de criticidad. En definitiva los criterios en que se mide el comportamiento de criticidad han sido discutidos y consensuados por los departamentos involucrados en la productividad del proceso.

#### 4.4. Análisis y cálculo de parámetros de criticidad

Una vez determinado el método y criterios a aplicar, se inicia revisando exhaustivamente el registro diario de actividades de mantenimiento del proceso de extrusión y el registro de control de paradas del periodo de enero 2015 a diciembre 2015. Ver Anexo H, I y J. Los datos acumulados que se tabulan para cada equipo en el periodo mencionado son: número de fallas (NF), tiempo de operación (TOP) y tiempo de reparación (TRP) Ver tabla 4-4.

**Tabla 4-4:** Tabulación de datos periodo Enero 2015 a Diciembre 2015

ITEM	EXTRUSION-PRENSA1LOEWY	NF	TOP (h)	TRP (h)
1	1.1.1-Tanque de almacenamiento	1	5024	0,48
2	1.1.2-Enfriamiento de aceite	4	5024	3,00
3	1.1.3-Filtrado de aceite	1	5024	0,25
4	1.1.4-Bombas principales	18	5024	17,58
5	1.1.5-Bombas piloto y sellamiento	14	5024	10,12
6	1.1.6-Bomba de supercarga	1	5024	0,25
7	1.1.7-Retorno del Ram	11	5024	8,85
8	1.1.8-Ram cilindros principales laterales y herramental	7	5024	7,88
9	1.1.9-Mesa de alimentación de tochos	3	5024	2,12
10	1.1.10-OTG y hornos de lingotes	45	5024	60,33
11	1.1.11-Mesa de salida de tochos	5	5024	5,45
12	1.1.12-Elevador de Billets	25	5024	24,03
13	1.1.13-Container y herramental	17	5024	22,73
14	1.1.14-Corredera	14	5024	11,23
15	1.1.15-Cizalla de desperdicios y herramental	7	5024	5,27
16	1.1.16-Sierra en caliente	38	5024	35,32
17	1.1.17-Puller	20	5024	22,58
18	1.1.18-Mesa de salida y enfriamiento	79	5024	67,24
19	1.1.19-Estiradora	25	5024	20,15
20	1.1.20-Sierra de perfiles	52	5024	63,30
21	1.1.21-Horno de matrices Belco	1	5024	0,50
22	1.1.22-Horno de matrices Granco	1	5024	0,25
23	1.1.23-Tecles	1	5024	3,00
24	1.1.24-Control eléctrico general	1	5024	0,75
25	1.1.25-Control electrónico general	3	5024	5,78
26	1.1.26-Bastidor y estructura de prensa	1	5024	0,75
27	1.1.27-Elementos hidraulicos y de control	3	5024	1,67

Realizado por: Diego Tandalla. 2016

#### 4.4.1. Cálculo de MTBF, MTTR, tasa de falla ( $\lambda$ ) y tasa de reparación ( $\mu$ )

Para cálculo de MTBF, MTTR, tasa de falla ( $\lambda$ ) y tasa de reparación ( $\mu$ ); se utiliza las ecuaciones 10, 11, 12 y 13 respectivamente del apartado del marco referencial. Ver tabla 5-4.

**Tabla 5-4:** Tabulación de datos periodo Enero 2015 a Diciembre 2015

ITEM	EXTRUSION-PRENSA LOEWY	MTBF (h)	MTTR (h)	$\lambda$ (1/h)	$\mu$ (1/h)
1	1.1.1-Tanque de almacenamiento	5024,00	0,48	0,00019904	2,06896552
2	1.1.2-Enfriamiento de aceite	1256,00	0,75	0,00079618	1,33333333
3	1.1.3-Filtrado de aceite	5024,00	0,25	0,00019904	4
4	1.1.4-Bombas principales	279,11	0,98	0,0035828	1,02369668
5	1.1.5-Bombas piloto y sellamiento	358,86	0,72	0,00278662	1,38385502
6	1.1.6-Bomba de supercarga	5024,00	0,25	0,00019904	4
7	1.1.7-Retorno del Ram	456,73	0,80	0,00218949	1,24293785
8	1.1.8-Ram cilindros principales laterales y herramental	717,71	1,13	0,00139331	0,88794926
9	1.1.9-Mesa de alimentación de tochos	1674,67	0,71	0,00059713	1,41732283
10	1.1.10-OTG y hornos de lingotes	111,64	1,34	0,00895701	0,74585635
11	1.1.11-Mesa de salida de tochos	1004,80	1,09	0,00099522	0,91743119
12	1.1.12-Elevador de Billets	200,96	0,96	0,00497611	1,04022191
13	1.1.13-Container y herramental	295,53	1,34	0,00338376	0,74780059
14	1.1.14-Corredera	358,86	0,80	0,00278662	1,2462908
15	1.1.15-Cizalla de desperdicios y herramental	717,71	0,75	0,00139331	1,32911392
16	1.1.16-Sierra en caliente	132,21	0,93	0,00756369	1,07597924
17	1.1.17-Puller	251,20	1,13	0,00398089	0,88560886
18	1.1.18-Mesa de salida y enfriamiento	63,59	0,85	0,01572452	1,17495414
19	1.1.19-Estiradora	200,96	0,81	0,00497611	1,24069479
20	1.1.20-Sierra de perfiles	96,62	1,22	0,01035032	0,82144174
21	1.1.21-Horno de matrices Belco	5024,00	0,50	0,00019904	2
22	1.1.22-Horno de matrices Granco	5024,00	0,25	0,00019904	4
23	1.1.23-Tecles	5024,00	3,00	0,00019904	0,33333333
24	1.1.24-Control eléctrico general	5024,00	0,75	0,00019904	1,33333333
25	1.1.25-Control electrónico general	1674,67	1,93	0,00059713	0,51873199
26	1.1.26-Bastidor y estructura de prensa	5024,00	0,75	0,00019904	1,33333333
27	1.1.27-Elementos hidráulicos y de control	1674,67	0,56	0,00059713	1,8

Realizado por: Diego Tandalla. 2016

#### 4.4.2. Cálculo de la fiabilidad (R), probabilidad de falla (F), mantenibilidad (M), disponibilidad (D) e indisponibilidad (ID)

El cálculo de los siguientes indicadores está basado en las ecuaciones 9, 7,13, 14 respectivamente.

Donde para el cálculo de la probabilidad de falla y fiabilidad se determinara para un tiempo esperado de funcionamiento de  $t=168$  horas, dado a que este valor es la

frecuencia máxima para el mantenimiento preventivo en donde queda fuera de servicio el proceso de extrusión para la intervención.

En tanto para la mantenibilidad el tiempo de análisis es de  $t=2$  horas debido a que es la meta establecida por el departamento para las actividades de manutención correctivas.

Para el cálculo de disponibilidad D se emplearon los valores de MTBF y MTTR para un análisis en base a tiempos promedios de buen funcionamiento y tiempos promedios de reparación del año en estudio.

**Tabla 6-4:** Cálculo de fiabilidad, probabilidad de falla, mantenibilidad, disponibilidad.

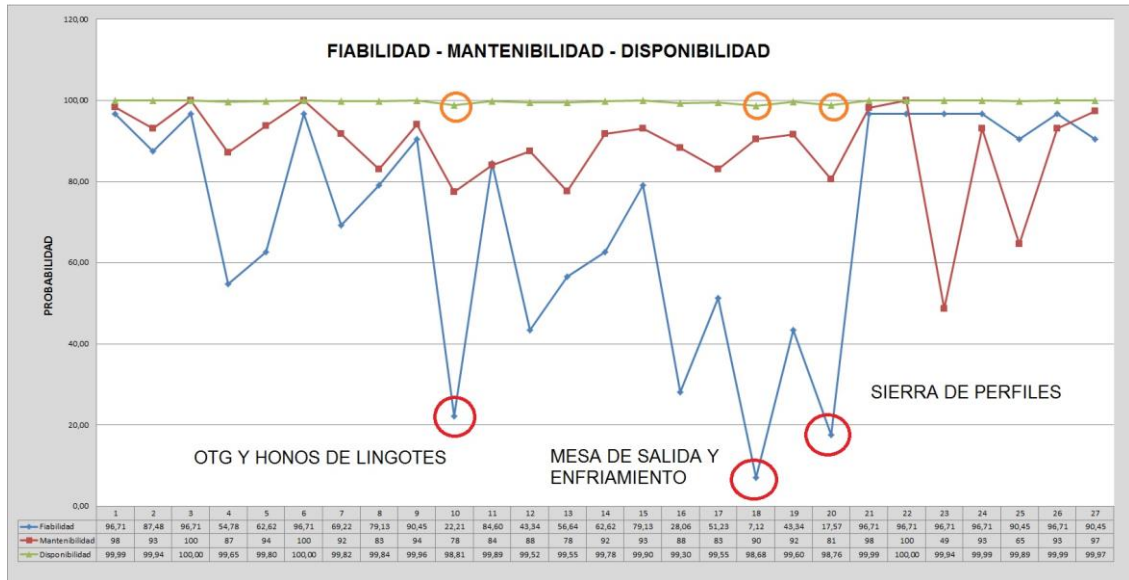
ITEM	EXTRUSION-PRENSA ILOEWY	R (%)	F (%)	M (%)	D (%)
1	1.1.1-Tanque de almacenamiento	96,71	3,29	98	99,99
2	1.1.2-Enfriamiento de aceite	87,48	12,52	93	99,94
3	1.1.3-Filtrado de aceite	96,71	3,29	100	100,00
4	1.1.4-Bombas principales	54,78	45,22	87	99,65
5	1.1.5-Bombas piloto y sellamiento	62,62	37,38	94	99,80
6	1.1.6-Bomba de supercarga	96,71	3,29	100	100,00
7	1.1.7-Retorno del Ram	69,22	30,78	92	99,82
8	1.1.8-Ram cilindros principales laterales y herramental	79,13	20,87	83	99,84
9	1.1.9-Mesa de alimentación de tochos	90,45	9,55	94	99,96
10	1.1.10-OTG y hornos de lingotes	22,21	77,79	78	98,81
11	1.1.11-Mesa de salida de tochos	84,60	15,40	84	99,89
12	1.1.12-Elevador de Billets	43,34	56,66	88	99,52
13	1.1.13-Container y herramental	56,64	43,36	78	99,55
14	1.1.14-Corredera	62,62	37,38	92	99,78
15	1.1.15-Cizalla de desperdicios y herramental	79,13	20,87	93	99,90
16	1.1.16-Sierra en caliente	28,06	71,94	88	99,30
17	1.1.17-Puller	51,23	48,77	83	99,55
18	1.1.18-Mesa de salida y enfriamiento	7,12	92,88	90	98,68
19	1.1.19-Estiradora	43,34	56,66	92	99,60
20	1.1.20-Sierra de perfiles	17,57	82,43	81	98,76
21	1.1.21-Horno de matrices Belco	96,71	3,29	98	99,99
22	1.1.22-Horno de matrices Granco	96,71	3,29	100	100,00
23	1.1.23-Tecles	96,71	3,29	49	99,94
24	1.1.24-Control eléctrico general	96,71	3,29	93	99,99
25	1.1.25-Control electrónico general	90,45	9,55	65	99,89
26	1.1.26-Bastidor y estructura de prensa	96,71	3,29	93	99,99
27	1.1.27-Elementos hidráulicos y de control	90,45	9,55	97	99,97

Realizado por: Diego Tandalla. 2016

Como se evidencia en la tabla 6-4, la fiabilidad en los equipos OTG hornos de lingotes, sierra en caliente, mesa de salida de enfriamiento y sierra de perfiles tiene una alta probabilidad al fallo en un tiempo  $t= 168$  h. En cuanto a la mantenibilidad los porcentajes más bajos están en el tecele y control electrónico en un tiempo de  $t= 2$  h, dicha probabilidad no tiene incidencia en la disponibilidad del proceso, pero es un punto



a mejorar en las intervenciones de mantenimiento. El resultado del cálculo de la indisponibilidad afirma la pérdida de producción debido a los equipos con baja disponibilidad como OTG hornos de lingotes, mesa de salida de enfriamiento y sierra de perfiles, para los cuales representa rubros económicos importantes. Ver figura 6-4.



**Figura 6-4:** Diagrama de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad

Fuente: Diego Tandalla, 2016.

#### 4.4.3. Análisis costos de mantenimiento y costos de indisponibilidad por ocurrencia de falla

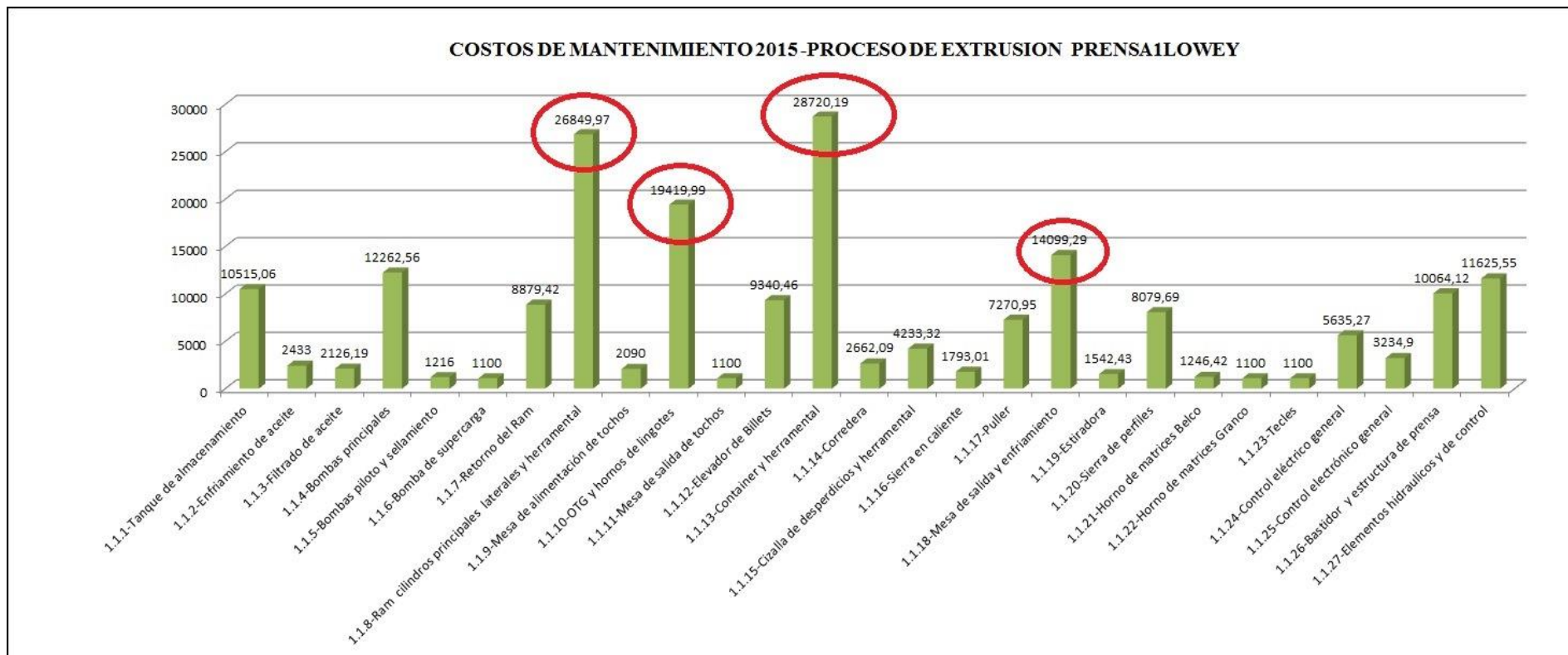
Para el análisis de costos de mantenimiento, se filtra del centro de costos del área financiera, los valores globales de cada equipo, donde está incluidos los costos de mano de obra, repuestos, materiales, y los costos indirectos que han sido valorizados por las fallas presentes en el año 2015, la tabulación de costos de mantenimiento se observa en la tabla 7-4.

Se identifica que los rubros más representativos están en los equipos Ram cilindros principales laterales y herramental, OTG y hornos de lingotes, container y herramental, y la mesa de salida de enfriamiento. Como muestra en la figura 7-4.

**Tabla 7-4: Costos de mantenimiento año 2015**

COSTOS DE MANTENIMIENTO 2015-PROCESO DE EXTRUSION PRENSA1LOWEY														
ITEM	EXTRUSION-PRENSA1LOWEY	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGT	SEP	NOV	OCT	DIC	TOTAL
1	1.1.1-Tanque de almacenamiento	6208,71	100	100	100	902,38	100	100	1803,01	100		900,96	100	10515,06
2	1.1.2-Enfriamiento de aceite	100	100	100	100	100	100	1433	100	100		100	100	2433
3	1.1.3-Filtrado de aceite	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	1126,19	2126,19
4	1.1.4-Bombas principales	100	100	1580	437	1179,92	1158,83	100	100	100		1895,37	5511,44	12262,56
5	1.1.5-Bombas piloto y sellamiento	100	100	100	100	100	100	100	100	216		100	100	1216
6	1.1.6-Bomba de supercarga	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	1100
7	1.1.7-Retorno del Ram	981,47	1990	100	100	1190,09	2353,64	1066,32	297,52	100		100	600,38	8879,42
8	1.1.8-Ram cilindros principales laterales y herramental	3218,38	6514,36	7176,84	100	4512,4	100	4381,33	100	100		100	546,66	26849,97
9	1.1.9-Mesa de alimentación de tochos	100	100	100	1090	100	100	100	100	100		100	100	2090
10	1.1.10-OTG y hornos de lingotes	2303,94	630,57	5946,91	2738,74	100	100	1845	540	1485,07		1577,71	2152,05	19419,99
11	1.1.11-Mesa de salida de tochos	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	1100
12	1.1.12-Elevador de Billets	2455,86	1210,5	1461,26	100	944,91	100	100	235,44	1658,05		358,14	716,3	9340,46
13	1.1.13-Container y herramental	2370	100	1045	3410	4946,21	1548,61	7984,23	412,18	1055,66		5748,3	100	28720,19
14	1.1.14-Corredera	100	100	210,64	325	1204,29	100	100	100	222,16		100	100	2662,09
15	1.1.15-Cizalla de desperdicios y herramental	2143,17	100	203,46	100	100	100	100	100	100		1086,69	100	4233,32
16	1.1.16-Sierra en caliente	100	435	100	100	100	100	458,01	100	100		100	100	1793,01
17	1.1.17-Puller	1228	100	2891,96	217,5	217,5	435	435	100	1445,99		100	100	7270,95
18	1.1.18-Mesa de salida y enfriamiento	100	515	6002,87	488,29	1668,73	1769,6	1980	100	100		1139,36	235,44	14099,29
19	1.1.19-Estiradora	100	100	100	100	100	100	100	100	542,43		100	100	1542,43
20	1.1.20-Sierra de perfiles	586,75	100	100	5087,75	100	100	1605,19	100	100		100	100	8079,69
21	1.1.21-Horno de matrices Belco	100	100	100	100	246,42	100	100	100	100		100	100	1246,42
22	1.1.22-Horno de matrices Granco	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	1100
23	1.1.23-Tecles	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	1100
24	1.1.24-Control eléctrico general	1274,31	904,89	891,8	100	385	210	660	357,6	100		330	421,67	5635,27
25	1.1.25-Control electrónico general	1892,58	100	308,81	100	100	100	100	100	100		100	233,51	3234,9
26	1.1.26-Bastidor y estructura de prensa	493	2940	2950	591,85	100	730,25	100	100	100		834,32	1124,7	10064,12
27	1.1.27-Elementos hidráulicos y de control	6139,91	930,71	1000,79	100	100	2073,08	222,5	100	100		570,7	287,86	11625,55
	<b>TOTAL</b>	<b>32696,08</b>	<b>17871,03</b>	<b>33070,34</b>	<b>16186,13</b>	<b>18997,85</b>	<b>12179,01</b>	<b>23670,58</b>	<b>5745,75</b>	<b>8625,36</b>	<b>0</b>	<b>16141,55</b>	<b>14556,2</b>	<b>199739,88</b>

Realizado por: Diego Tandalla. 2016



**Figura 7-4:** Costos de mantenimiento año 2015

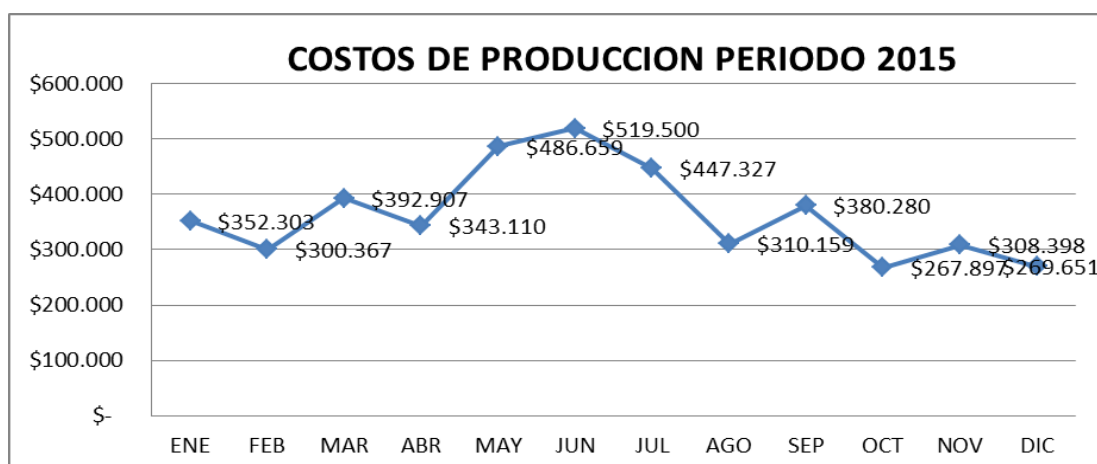
Fuente: Diego Tandalla, 2016.

En cuanto a los costos de producción en la tabla 8-4, contiene valores mensuales que se han generado en el proceso de extrusión, lo que incide en los costos es el índice de indisponibilidad del proceso en serie de los equipos, dando así pérdidas económica por la ocurrencia de fallas, del análisis se excluyeron los equipos; horno de matrices Belco, horno de matrices Granco, y tecles ya que trabajan en un régimen paralelo al proceso por tanto no generan pérdidas de producción a la aparición de una falla.

**Tabla 8-4:** Costos de producción año 2015

COSTOS DE PRODUCCION 2015			
MES	KG NETOS	KG BRUTOS	COSTO PRODUCCION
ENE	477629	619880	\$ 352.303
FEB	478803	607689	\$ 300.367
MAR	421312	547399	\$ 392.907
ABR	457735	587097	\$ 343.110
MAY	277383	351978	\$ 486.659
JUN	189420	239058	\$ 519.500
JUL	281358	357727	\$ 447.327
AGO	355181	454804	\$ 310.159
SEP	438804	565204	\$ 380.280
OCT	467154	591343	\$ 267.897
NOV	456688	572615	\$ 308.398
DIC	462255	578909	\$ 269.651
TOTAL	4.763.722	6.073.703	\$ 4.378.558
PROMEDIO	396976,8333	506141,9167	364879,8333

Realizado por: Diego Tandalla. 2016



**Figura 8-4:** Costos de producción año 2015

Fuente: Diego Tandalla, 2016.

Para el año 2015 se tiene un costo anual de producción de \$ 4.378.558 USD, se estima que el costo por pérdida de producción va a ser proporcional al producto de la indisponibilidad de cada equipo por su costo de producción establecido como meta por la corporación, ver tabla 9-4

**Tabla 9-4:** Costos por pérdidas de producción año 2015

EXTRUSION-PRENSA ILOEWY	COSTOS DE INDISPONIBILIDAD (USD)
1.1.1-Tanque de almacenamiento	421,20
1.1.2-Enfriamiento de aceite	2613,02
1.1.3-Filtrado de aceite	217,87
1.1.4-Bombas principales	15270,93
1.1.5-Bombas piloto y sellamiento	8799,24
1.1.6-Bomba de supercarga	217,87
1.1.7-Retorno del Ram	7699,46
1.1.8-Ram cilindros principales laterales y herramental	6859,78
1.1.9-Mesa de alimentación de tochos	1843,96
1.1.10-OTG y hornos de lingotes	51958,24
1.1.11-Mesa de salida de tochos	4744,68
1.1.12-Elevador de Billets	20846,01
1.1.13-Container y herramental	19723,49
1.1.14-Corredera	9768,33
1.1.15-Cizalla de desperdicios y herramental	4585,24
1.1.16-Sierra en caliente	30564,62
1.1.17-Puller	19593,94
1.1.18-Mesa de salida y enfriamiento	57824,78
1.1.19-Estiradora	17491,14
1.1.20-Sierra de perfiles	54484,13
1.1.21-Horno de matrices Belco	0,00
1.1.22-Horno de matrices Granco	0,00
1.1.23-Tecles	0,00
1.1.24-Control eléctrico general	653,55
1.1.25-Control electrónico general	5034,54
1.1.26-Bastidor y estructura de prensa	653,55
1.1.27-Elementos hidráulicos y de control	1452,07

**Realizado por:** Diego Tandalla. 2016

#### 4.4.4. *Calculo de nivel de criticidad*

Ya determinado el cálculo de los parámetros para la cuantificación de la criticidad, se procede a la aplicación de la ecuación 17, como se representa en la tabla 10-4.

**Tabla 10-4:** Calculo del nivel de criticidad año 2015

EXTRUSION-PRENSA ILOEWY	PROBABILIDAD DE FALLA	TASA DE FALLA (1/h)	COSTOS DE MANTENIMIENTO	COSTOS DE INDISPONIBILIDAD	COSTO DE LA CONSECUENCIA (USD)	RIESGO (USD/h)
1.1.1-Tanque de almacenamiento	3,29	0,000199045	10515,06	421,20	10936,26	2,18
1.1.2-Enfriamiento de aceite	12,52	0,000796178	2433	2613,02	5046,02	4,02
1.1.3-Filtrado de aceite	3,29	0,000199045	2126,19	217,87	2344,06	0,47
1.1.4-Bombas principales	45,22	0,003582803	12262,56	15270,93	27533,49	98,65
1.1.5-Bombas piloto y sellamiento	37,38	0,002786624	1216	8799,24	10015,24	27,91
1.1.6-Bomba de supercarga	3,29	0,000199045	1100	217,87	1317,87	0,26
1.1.7-Retorno del Ram	30,78	0,00218949	8879,42	7699,46	16578,88	36,30
1.1.8-Ram cilindros principales laterales y herramental	20,87	0,001393312	26849,97	6859,78	33709,75	46,97
1.1.9-Mesa de alimentación de tochos	9,55	0,000597134	2090	1843,96	3933,96	2,35
1.1.10-OTG y hornos de lingotes	77,79	0,008957006	19419,99	51958,24	71378,23	639,34
1.1.11-Mesa de salida de tochos	15,40	0,000995223	1100	4744,68	5844,68	5,82
1.1.12-Elevador de Billets	56,66	0,004976115	9340,46	20846,01	30186,47	150,21
1.1.13-Container y herramental	43,36	0,003383758	28720,19	19723,49	48443,68	163,92
1.1.14-Corredera	37,38	0,002786624	2662,09	9768,33	12430,42	34,64
1.1.15-Cizalla de desperdicios y herramental	20,87	0,001393312	4233,32	4585,24	8818,56	12,29
1.1.16-Sierra en caliente	71,94	0,007563694	1793,01	30564,62	32357,63	244,74
1.1.17-Puller	48,77	0,003980892	7270,95	19593,94	26864,89	106,95
1.1.18-Mesa de salida y enfriamiento	92,88	0,015724522	14099,29	57824,78	71924,07	1130,97
1.1.19-Estiradora	56,66	0,004976115	1542,43	17491,14	19033,57	94,71
1.1.20-Sierra de perfiles	82,43	0,010350318	8079,69	54484,13	62563,82	647,56
1.1.21-Horno de matrices Belco	3,29	0,000199045	1246,42	0,00	1246,42	0,25
1.1.22-Horno de matrices Granco	3,29	0,000199045	1100	0,00	1100,00	0,22
1.1.23-Tecles	3,29	0,000199045	1100	0,00	1100,00	0,22
1.1.24-Control eléctrico general	3,29	0,000199045	5635,27	653,55	6288,82	1,25
1.1.25-Control electrónico general	9,55	0,000597134	3234,9	5034,54	8269,44	4,94
1.1.26-Bastidor y estructura de prensa	3,29	0,000199045	10064,12	653,55	10717,67	2,13
1.1.27-Elementos hidraulicos y de control	9,55	0,000597134	11625,55	1452,07	13077,62	7,81

Realizado por: Diego Tandalla. 2016

## **4.5. Evaluación y resultados del análisis de criticidad**

Dado la tabla 10-4, se identifican valores del nivel de criticidad elevados, por tanto para priorizar y clasificar los diferentes niveles, se procede a aplicar el teorema de Pareto en donde se establece el rango o intervalo de tolerancia al riesgo para el proceso productivo de extrusión, estableciendo así que el 20% de los equipos representa el 80% del riesgo acumulado para la producción y por tal se puede ordenar los equipos de mayor riesgo hasta los de menor; finalmente se aplicará la matriz de criticidad para identificar el comportamiento de las fallas frente a las consecuencias y así determinar acciones de mitigación, reducción o eliminación del nivel de criticidad a través de las estrategias de mantenimiento.

### ***4.5.1. Jerarquización de equipos según nivel de criticidad***

En la jerarquización según la técnica de Pareto, se inicia con el orden de los datos de mayor a menor, para poder terminar el porcentaje relativo y acumulado, ver tabla 11-4, que posteriormente se grafica en el diagrama de distribución de Pareto, ver figura 9-4, en el cual se traza una línea paralela representada por el 80% del acumulado del riesgo que intercepte la curva, pudiendo así determinar la primera zona A que representa el 20% de los equipos más críticos, consecutivamente se establece la zona B de alta criticidad, zona C de media criticidad y zona D de baja criticidad como se muestra en la figura 8-4.

Ahora bien con el nivel de criticidad y su categorización en la zona roja se tiene el orden de prioridad que merecen tratamiento, los equipos; mesa de salida y enfriamiento, sierra de perfiles, OTG horno de lingotes y sierra en caliente representan el 20 % de los equipos del proceso de extrusión que provocan el 80% del riesgo de una parada no programada que afecte económicamente al normal desempeño del proceso productivo.

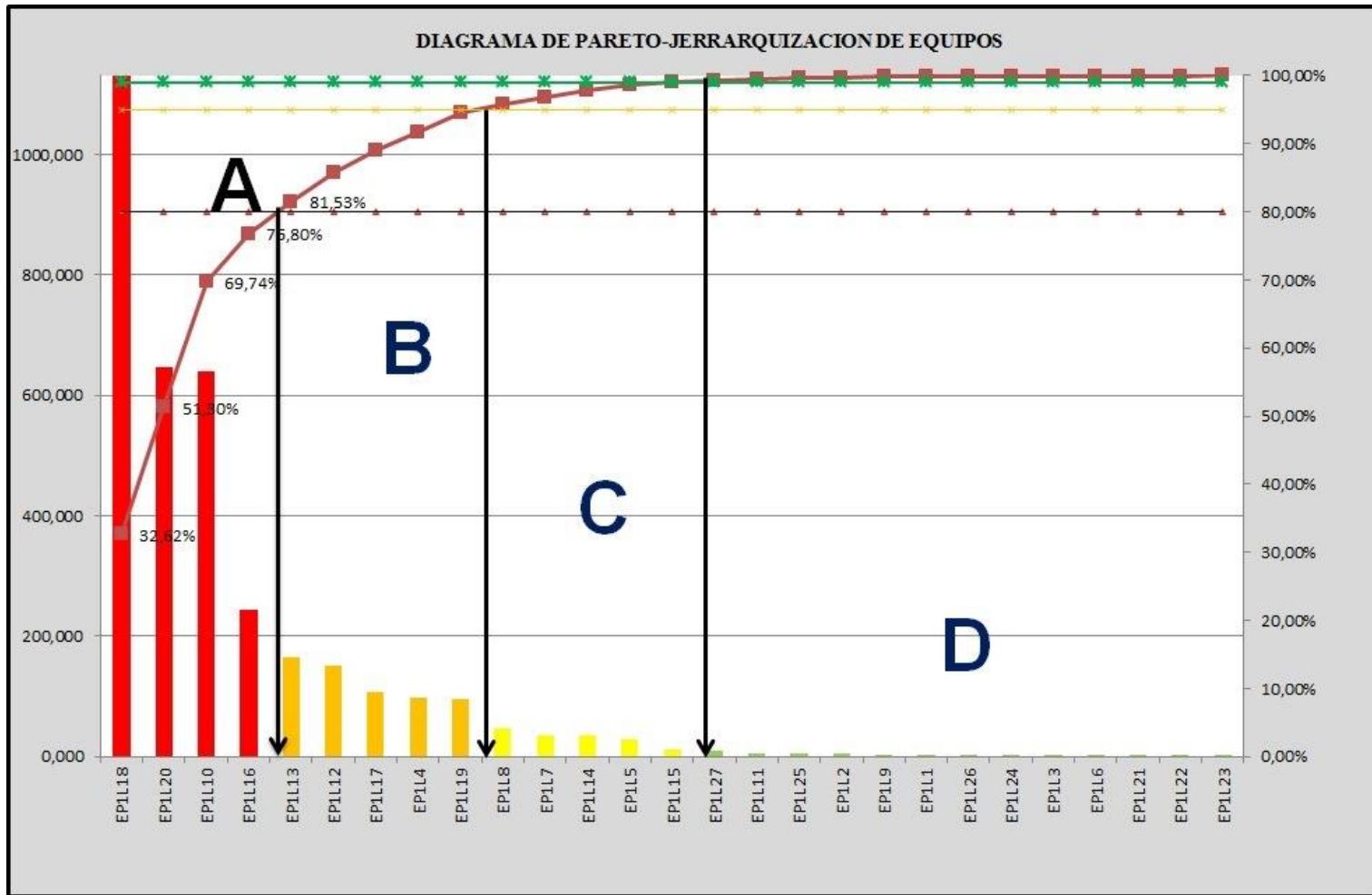
Por ejemplo vemos que la mesa de salida y enfriamiento tiene un riesgo de 1130 USD/h, recordando también que este valor relativo afecta al proceso en serie, lo cual replantaría pérdidas mayores por hora.

**Tabla 11-4:** Jerarquización de equipos por categorías

CODIGO	EXTRUSION-PRESA ILOEWY	RIESGO (USD/h)	% RELATIVO	% ACUMULADO	CATEGORIA
EP1L18	1.1.18-Mesa de salida y enfriamiento	1130,972	32,62%	32,62%	A
EP1L20	1.1.20-Sierra de perfiles	647,556	18,68%	51,30%	A
EP1L10	1.1.10-OTG y hornos de lingotes	639,335	18,44%	69,74%	A
EP1L16	1.1.16-Sierra en caliente	244,743	7,06%	76,80%	A
EP1L13	1.1.13-Container y herramental	163,922	4,73%	81,53%	B
EP1L12	1.1.12-Elevador de Billets	150,211	4,33%	85,86%	B
EP1L17	1.1.17-Puller	106,946	3,08%	88,94%	B
EP1L4	1.1.4-Bombas principales	98,647	2,85%	91,79%	B
EP1L19	1.1.19-Estiradora	94,713	2,73%	94,52%	B
EP1L8	1.1.8-Ram cilindros principales laterales y herramental	46,968	1,35%	95,87%	C
EP1L7	1.1.7-Retorno del Ram	36,299	1,05%	96,92%	C
EP1L14	1.1.14-Corredera	34,639	1,00%	97,92%	C
EP1L5	1.1.5-Bombas piloto y sellamiento	27,909	0,80%	98,73%	C
EP1L15	1.1.15-Cizalla de desperdicios y herramental	12,287	0,35%	99,08%	C
EP1L27	1.1.27-Elementos hidráulicos y de control	7,809	0,23%	99,30%	D
EP1L11	1.1.11-Mesa de salida de tochos	5,817	0,17%	99,47%	D
EP1L25	1.1.25-Control electrónico general	4,938	0,14%	99,62%	D
EP1L2	1.1.2-Enfriamiento de aceite	4,018	0,12%	99,73%	D
EP1L9	1.1.9-Mesa de alimentación de tochos	2,349	0,07%	99,80%	D
EP1L1	1.1.1-Tanque de almacenamiento	2,177	0,06%	99,86%	D
EP1L26	1.1.26-Bastidor y estructura de prensa	2,133	0,06%	99,92%	D
EP1L24	1.1.24-Control eléctrico general	1,252	0,04%	99,96%	D
EP1L3	1.1.3-Filtrado de aceite	0,467	0,01%	99,97%	D
EP1L6	1.1.6-Bomba de supercarga	0,262	0,01%	99,98%	D
EP1L21	1.1.21-Horno de matrices Belco	0,248	0,01%	99,99%	D
EP1L22	1.1.22-Horno de matrices Granco	0,219	0,01%	99,99%	D
EP1L23	1.1.23-Tecles	0,219	0,01%	100,00%	D

Realizado por: Diego Tandalla. 2016





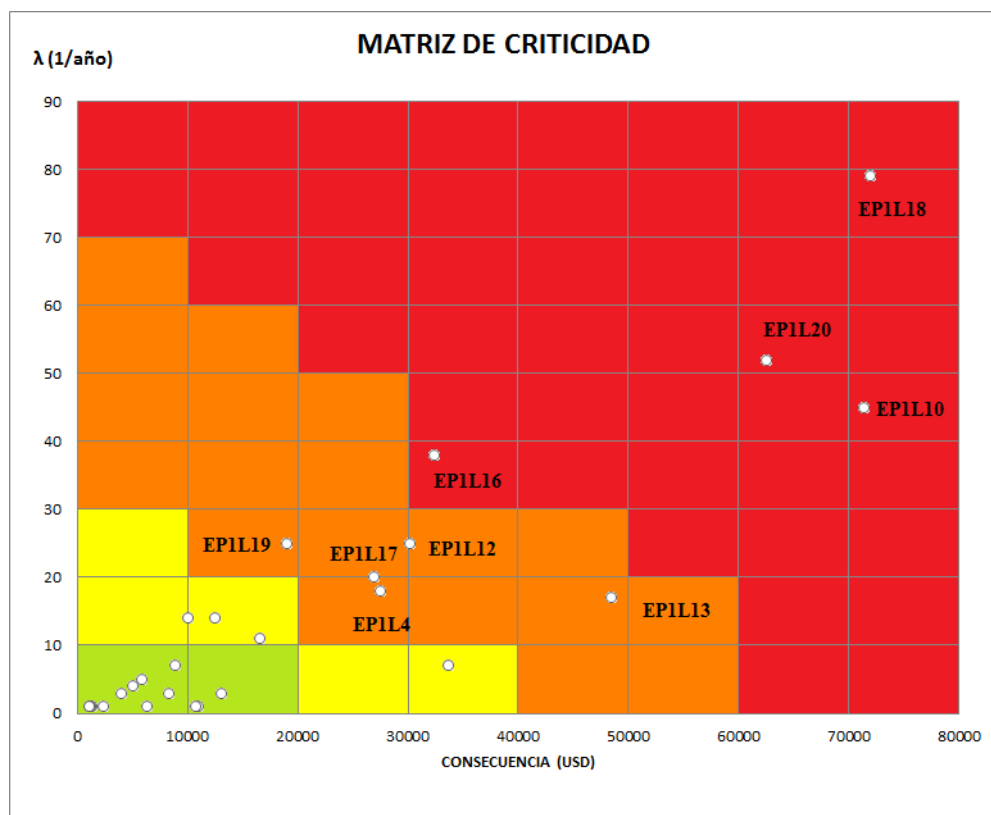
**Figura 9-4:** Diagrama de Pareto para la jerarquización de equipos año 2015

Fuente: Diego Tandalla, 2016.

#### 4.5.2. Matriz de criticidad proceso de extrusión

A continuación se observa en la figura 10-4 la localización de los equipos en una matriz de criticidad, esto nos permite confrontar ambos aspectos, la probabilidad de falla y las consecuencias monetarias, si bien influyen en el índice de criticidad para establecer prioridades, es necesario trabajar la toma de decisiones por separado. Cabe indicar que la matriz desarrollada se convierte en el punto de referencia para posteriores análisis de seguimiento, control y retroalimentación de las estrategias de mantenimiento, como se especifica en el modelo propuesto. En la matriz de criticidad se observa 4 zonas de criticidad al que le corresponde estrategias de manutención.

ZONAS DE CRITICIDAD		
	MUY ALTA CRITICIDAD	A
	ALTA CRITICIDAD	B
	MEDIANA CRITICIDAD	C
	BAJA CRITICIDAD	D



**Figura 10-4:** Matriz de criticidad proceso de extrusión.

Fuente: Diego Tandalla, 2016.

#### 4.6. Determinación de estrategias de mantenimiento

Los cambios en las prácticas de manutención de los equipos del proceso de extrusión son muy importante con el fin de reducir los costos, optimizar la mano de obra, aumentar la disponibilidad de los equipos, para ello se propone establecer estrategias combinadas de mantenimiento de acuerdo al nivel de importancia y contexto operacional especificado en la metodología, mejorando así el sistema de gestión de mantenimiento.

Como se muestra en la figura 12-4 se establece las estrategias de mantenimiento más adecuada en cada zona que gobierne sobre el activo, que permita dar un tratamiento a la criticidad mediante la reducción de la probabilidad de falla y/o mitigación de las consecuencias expresadas en la planificación de mantenimiento.

**Tabla 12-4:** Estrategias de mantenimiento

ZONAS DE CRITICIDAD		ESTRATEGIA		OBJETIVO
	MUY ALTA CRITICIDAD	A	Análisis causa raíz / Mantenimiento basado en la confiabilidad	RCA / RCM Analizar las acciones correctivas o preventivas, que mitiguen la ocurrencia de falla. Realizar el análisis de modos y efectos de fallos (AMEF) para obtener las tareas óptimas de mantenimiento que permitan reducir, eliminar o mitigar las consecuencias del fallo
	ALTA CRITICIDAD	B	Mantenimiento basado en la confiabilidad	RCM Determinar los modos y efectos de falla AMEF, que permita obtener actividades de mantenimiento preventivas, sustitución, búsqueda de fallo ocultos etc.
	MEDIANA CRITICIDAD	C	Mantenimiento basado en la condición / Mantenimiento a plazo fijo	MCB / MPF Monitorear las condiciones del estado de los parámetros físicos del proceso para anteponerse al fallo, acompañada con la programación de las actividades preventivas basado en el tiempo.
	BAJA CRITICIDAD	D	Mantenimiento a plazo fijo / Operar hasta la falla	MPF / OHF Realizar el mantenimiento preventivo a frecuencia preestablecida. Operar hasta la falla para realizar la actividad correctiva en equipos redundantes que no afecten al proceso

**Realizado por:** Diego Tandalla. 2016

Para la zona de muy alta criticidad se establecen estrategias de análisis causa raíz, técnica que lograra planificar inmediatamente las acciones correctivas y preventivas que permita reducir la probabilidad de fallo y por ende el costo de la consecuencia, para luego ser sometido al análisis de tareas óptimas de mantenimiento basado en la teoría de RCM.

En la zona de alta criticidad, se propone la estrategia de mantenimiento basado en la confiabilidad, dicha técnica permitirá determinar las tareas de mantenimiento en función del análisis de modos, efectos de falla y criticidad FMECA

Para la zona de mediana criticidad, se establece el mantenimiento basado en la condición, es decir las intervenciones se lo realizara por condición mediante el monitoreo de los parámetros físicos y de operación, así mismo se tomara en cuenta los criterios del fabricante al realizar las intervenciones a plazo fijo.

La zona de baja criticidad, si bien la frecuencia de falla y las consecuencias son bajas no queda por demás realizar actividades basados en las estrategias de mantenimiento a plazo fijo y operar hasta la falla, esto siempre y cuando no afecte al proceso en serie.

Por tanto se presenta en la tabla 13-4, las estrategias seleccionadas por nivel de criticidad y contexto operacional del proceso de extrusión, es necesario periódicamente revisar los datos para ir actualizando cada fase del modelo.

**Tabla 13-4:** Estrategias de mantenimiento para los equipos del proceso de extrusión

<b>EXTRUSION-PRENSA1LOEWY</b>	<b>R(%)</b>	<b>M (%)</b>	<b>RIESGO (USD/h)</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>ESTRATEGIA DE MANTENIMEINTO</b>
1.1.1-Tanque de almacenamiento	97	98	2,18	D	MPF
1.1.2-Enfriamiento de aceite	87	93	4,02	D	MPF
1.1.3-Filtrado de aceite	97	100	0,47	D	MPF
1.1.4-Bombas principales	55	87	98,65	B	RCM
1.1.5-Bombas piloto y sellamiento	63	94	27,91	C	MBC / MPF
1.1.6-Bomba de supercarga	97	100	0,26	D	MPF
1.1.7-Retorno del Ram	69	92	36,30	C	MBC / MPF
1.1.8-Ram cilindros principales laterales y herramental	79	83	46,97	C	MBC / MPF
1.1.9-Mesa de alimentación de tochos	90	94	2,35	D	MPF
1.1.10-OTG y hornos de lingotes	22	78	639,34	A	RCA / RCM
1.1.11-Mesa de salida de tochos	85	84	5,82	D	MPF
1.1.12-Elevador de Billets	43	88	150,21	B	RCM
1.1.13-Container y herramental	57	78	163,92	B	RCM
1.1.14-Corredera	63	92	34,64	C	MPF
1.1.15-Cizalla de desperdicios y herramental	79	93	12,29	D	MPF
1.1.16-Sierra en caliente	28	88	244,74	A	RCA / RCM
1.1.17-Puller	51	83	106,95	B	RCM
1.1.18-Mesa de salida y enfriamiento	7	90	1130,97	A	RCA / RCM

1.1.19-Estiradora	43	92	94,71	B	RCM
1.1.20-Sierra de perfiles	18	81	647,56	A	RCA / RCM
1.1.21-Horno de matrices Belco	97	98	0,25	D	OHF
1.1.22-Horno de matrices Granco	97	100	0,22	D	OHF
1.1.23-Tecles	97	49	0,22	D	OHF
1.1.24-Control eléctrico general	97	93	1,25	D	MPF
1.1.25-Control electrónico general	90	65	4,94	D	MPF
1.1.26-Bastidor y estructura de prensa	97	93	2,13	D	MPF
1.1.27-Elementos hidráulicos y de control	90	97	7,81	D	MPF

**Realizado por:** Diego Tandalla. 2016

Leyenda para codificación de equipos:

Área= Extrusión (E)

Proceso = Extrusión prensa Loewy1 (P1)

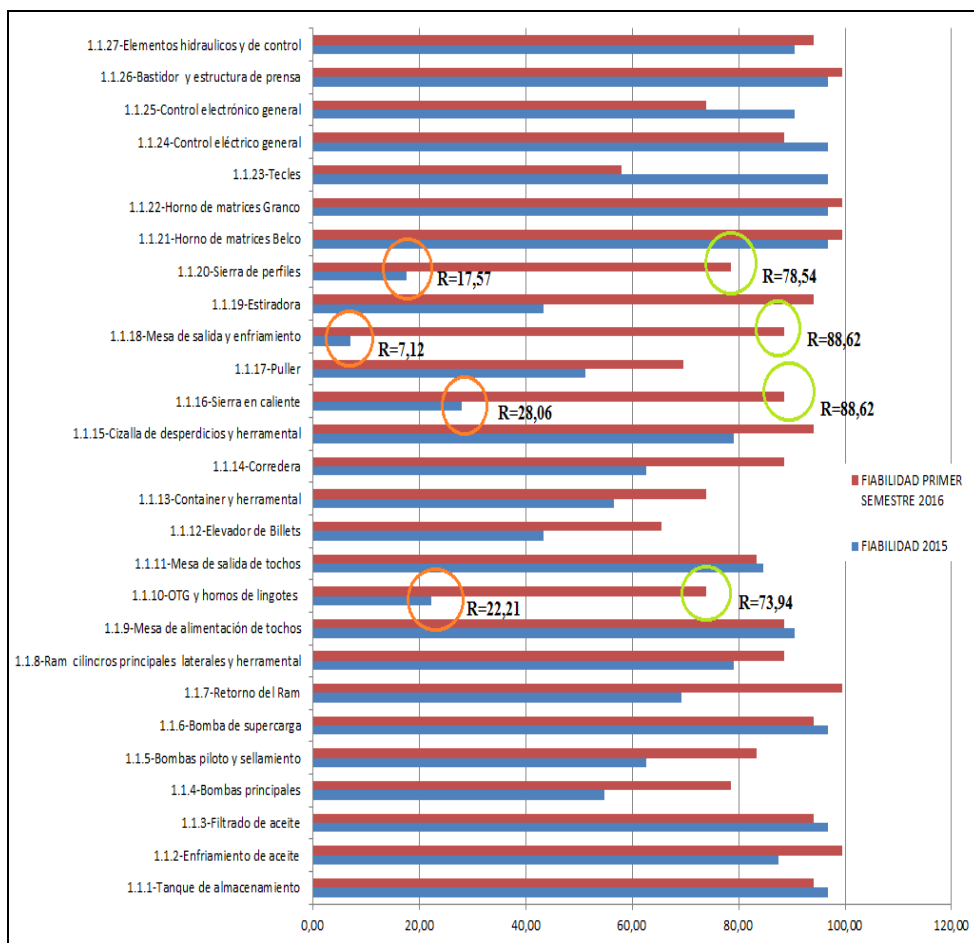
Equipo = Número de equipo

#### 4.7. Comprobación estadística del análisis

El trabajo de investigación de análisis de criticidad de equipos para el mejoramiento del sistema de gestión de mantenimiento comprende un estudio descriptivo donde la intención analítica está basada en la comparación de la fiabilidad del proceso de extrusión en los periodos 2015 y 2016.

##### 4.7.1. Comparación puntual de la fiabilidad.

Se realiza la retroalimentación de la base de datos del proceso de extrusión, donde se decide comparar el efecto de la estrategia en la fiabilidad del proceso en los periodos 2015 y 2016. Teniendo en cuenta que el aumento de fiabilidad reduce la probabilidad de fallo y por tanto incide directamente a la disminución del riesgo potencial. Ver figura 11-4.

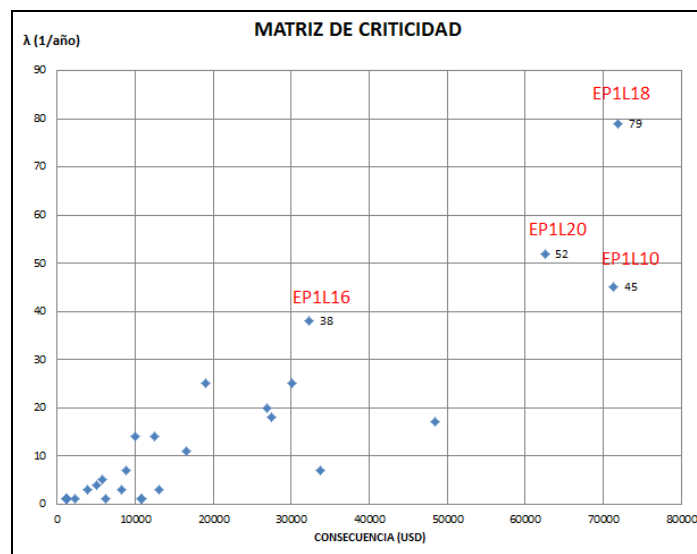


**Figura 11-4:** Comparación puntual de la fiabilidad

Fuente: Diego Tandalla, 2016.

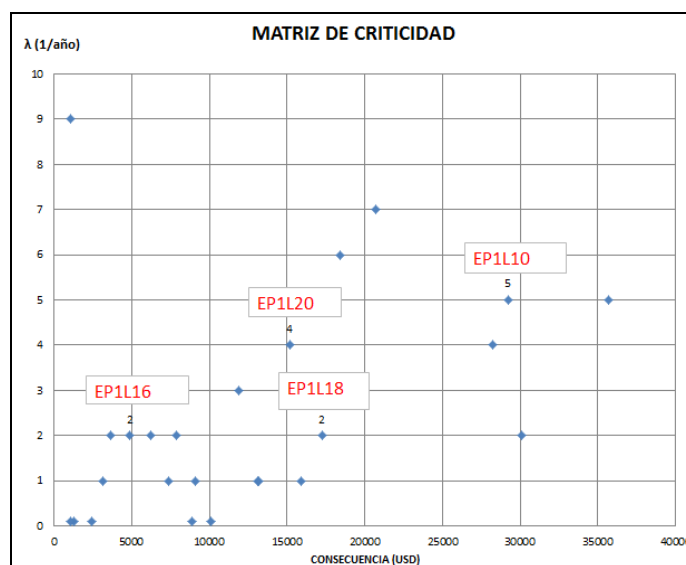
Para los equipos: OTG y Hornos de lingotes la fiabilidad inicial R1 es de 22,21 luego de la intervención incrementa R2 a 73,94; así mismo para la sierra caliente de R1= 28,06 a R2=88,67; mesa de salida de enfriamiento de R1=7,12 a R2=88,62 y para la sierra de perfiles de R1=17,57 a R2=78,54; existiendo así un incremento notable en la confiabilidad del sistema luego de establecer las estrategias de mantenimiento.

Como se observa en la figura 12-4 y 13-4, la probabilidad de falla o frecuencia de falla del 2015 disminuye de 79 a 9 fallas/año en comparación al primer semestre del 2016.



**Figura 12-4:** Matriz de criticidad 2015

Fuente: Diego Tandalla, 2016.



**Figura 13-4:** Matriz de criticidad 2016

Fuente: Diego Tandalla, 2016.



#### ***4.7.2. Comprobación de hipótesis de investigación***

Para realizar la comprobación de la hipótesis desde el punto de vista del análisis de datos se procede a someter la variable confiabilidad del antes y después de la intervención del análisis de criticidad, donde además se somete a comparación si la relación entre el mismo grupo de datos tienen una distribución normal, para luego adoptar la prueba de hipótesis adecuada para su desarrollo. Se utiliza el programa estadístico R para el análisis de datos.

A continuación se indica el desarrollo de la verificación de la hipótesis:

##### *Hipótesis de investigación H1*

El desarrollo del análisis de criticidad en los equipos de la empresa Cedal, permite aumentar la confiabilidad de los equipos y por consiguiente mejora la gestión de los recursos de mantenimiento.

##### *Hipótesis nula H0*

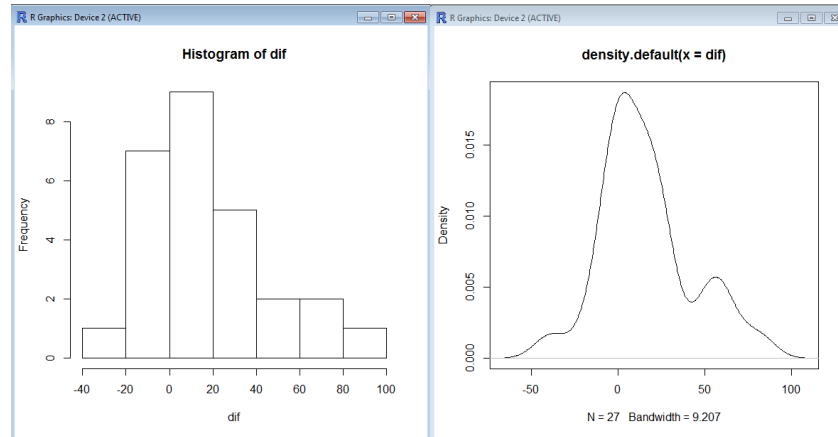
El desarrollo del análisis de criticidad en los equipos de la empresa Cedal, no permite aumentar la confiabilidad de los equipos y por consiguiente mejorar la gestión de los recursos de mantenimiento.

#### **Prueba de normalidad de datos.**

Se realiza en el programa estadístico R la prueba de normalidad a través de la significancia estadística, con el fin de verificar si los datos paramétricos corresponden a una distribución normal, para este efecto donde la muestra de la población es menor a 50 observaciones se utilizara el test de Shapiro Wilk que mide la fuerza del ajuste con una recta.

Regla de decisión para el ritual de test de normalidad es: Cuando  $p$  calculado (valor de significancia) es mayor al valor de 0,05 entonces no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula.

Se analiza los datos de la variable confiabilidad del antes, después, y la diferencia de ambos para verificar su normalidad ver anexo Q. Dichos datos son programados al software R, donde se evidencia un diagrama de frecuencia semejante a la distribución normal ver figura 14-4.



**Figura 14-4:** Histograma y densidad de la normalidad de datos

**Fuente:** Diego Tandalla, 2016.

Se plantea la hipótesis de normalidad, con un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

H1 = La distribución no es normal

H0 = la distribución es normal

Se observa en la figura 15-4 el P-valor calculado es mayor que  $\alpha = 0,05$ , entonces se acepta la hipótesis nula y se concluye que los datos corresponden a una distribución normal, y por tanto se puede aplicar la prueba estadística paramétricas de t-student para muestras relacionadas, con numero de observaciones menores de 30.

```

R Console
> ##PRUEA DE NORMALIDAD##
> shapiro.test(dif)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  dif
W = 0.9416, p-value = 0.1335

```

**Figura 15-4:** Histograma y densidad de la normalidad de datos

**Fuente:** Diego Tandalla, 2016.

## Prueba de t-student para muestras relacionadas.

Se procede con la prueba la hipótesis de investigación a través de del test de t tstudent para muestras relacionadas, entre los valores de antes y después como se ve en la tabla 14-4.

**Tabla 14-4:** Datos de la variable confiabilidad antes y después.

Equipos	EXTRUSION-PRENSA LOEWY	2015	2016	Diferencia
		R1 (antes)	R2 (después)	
1	1.1.1-Tanque de almacenamiento	96,71134291	94,13990022	-2,571442686
2	1.1.2-Enfriamiento de aceite	87,48017744	99,45798037	11,97780292
3	1.1.3-Filtrado de aceite	96,71134291	94,13990022	-2,571442686
4	1.1.4-Bombas principales	54,77639527	78,5407302	23,76433493
5	1.1.5-Bombas piloto y sellamiento	62,6157798	83,42979971	20,81401992
6	1.1.6-Bomba de supercarga	96,71134291	94,13990022	-2,571442686
7	1.1.7-Retorno del Ram	69,22318093	99,45798037	30,23479944
8	1.1.8-Ram cilindros principales laterales y herramental	79,1301332	88,62320814	9,49307494
9	1.1.9-Mesa de alimentación de tochos	90,45492991	88,62320814	-1,831721778
10	1.1.10-OTG y hornos de lingotes	22,20667937	73,93816504	51,73148568
11	1.1.11-Mesa de salida de tochos	84,60325438	83,42979971	-1,173454672
12	1.1.12-Elevador de Billets	43,34463454	65,5263739	22,18173936
13	1.1.13-Container y herramental	56,63905973	73,93816504	17,29910532
14	1.1.14-Corredera	62,6157798	88,62320814	26,00742834
15	1.1.15-Cizalla de desperdicios y herramental	79,1301332	94,13990022	15,00976703
16	1.1.16-Sierra en caliente	28,06349297	88,62320814	60,55971517
17	1.1.17-Puller	51,23282178	69,6053148	18,37249302
18	1.1.18-Mesa de salida y enfriamiento	7,123865182	88,62320814	81,49934295
19	1.1.19-Estiradora	43,34463454	94,13990022	50,79526568
20	1.1.20-Sierra de perfiles	17,57217496	78,5407302	60,96855524
21	1.1.21-Horno de matrices Belco	96,71134291	99,45798037	2,74663746
22	1.1.22-Horno de matrices Granco	96,71134291	99,45798037	2,74663746
23	1.1.23-Teclas	96,71134291	58,07157472	-38,63976818
24	1.1.24-Control eléctrico general	96,71134291	88,62320814	-8,088134771
25	1.1.25-Control electrónico general	90,45492991	73,93816504	-16,51676487
26	1.1.26-Bastidor y estructura de prensa	96,71134291	99,45798037	2,74663746
27	1.1.27-Elementos hidráulicos y de control	90,45492991	94,13990022	3,684970307

Realizado por: Diego Tandalla. 2016

Con el nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ ; se obtiene en la tabla los valores de t estadístico de 3,188 y el valor crítico de t (a dos colas) es 2,0055, ver tabla 15-4.

**Tabla 15-4:** Prueba de t para variables relacionadas.

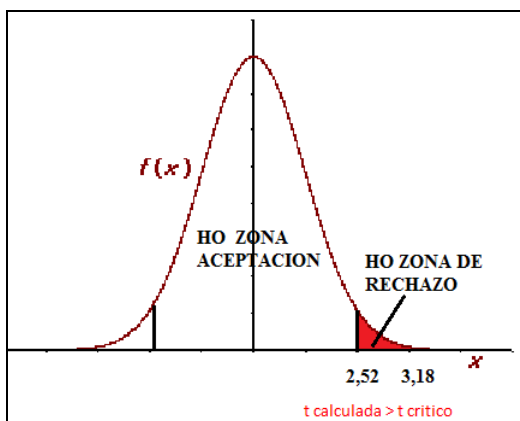
Prueba t para medias de dos muestras relacionadas

	Variable 1	Variable 2
Media	86,40101372	70,15399

Varianza	129,576473	795,6223177
Observaciones	27	27
Coefficiente de correlación de Pearson	0,349233696	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	26	
Estadístico t	<b>3,188727363</b>	
P(T<=t) una cola	0,00185239	
Valor crítico de t (una cola)	1,70561792	
P(T<=t) dos colas	<b>0,00370478</b>	
Valor crítico de t (dos colas)	<b>2,055529439</b>	

**Realizado por:** Diego Tandalla. 2016

Por tanto al ser  $t$  calculada  $>$   $t$  crítico, se decide rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna de investigación. Ver figura 16-4.



**Figura 16-4:** Diagrama de Gauss para decisión.

**Fuente:** Diego Tandalla, 2016.

Se concluye que al desarrollar el análisis de criticidad en los equipos de la empresa Cedal se logra incrementar la confiabilidad en un 23,16 % y por consiguiente mejorar la gestión de recursos del mantenimiento. Además al aumentar la confiabilidad, disminuye la probabilidad de fallo en los equipos disminuyendo así el riesgo potencial por pérdidas por falla en el proceso de extrusión de perfiles de aluminio.

## CONCLUSIONES

- Se realizó el estudio bibliográfico de las variables del sistema de gestión de mantenimiento y el análisis de criticidad, donde se determina que el análisis de criticidad permite establecer prioridades de acuerdo a su índice y mediante el tratamiento de los resultados establecer estrategias de mantenimiento que gobiernen sobre los ítems mantenibles, bajo la concepción de la teoría del riesgo, norma Norsok.-Z008, ISO-14224, EN-16646 y ISO-31000, el cual constituye un soporte conceptual en el estudio.
- Se definió la metodología para el análisis de criticidad en la empresa Cedal, en la que se establece una sistematización y un orden lógico en el desarrollo de la aplicación del modelo, se definen 6 etapas; en la primera se determina el objeto de estudio y su alcance mediante la decisión de la organización por convención del nivel de clasificación de los ítems según ISO-14224. La segunda etapa se refiere al diagnóstico de su contexto operacional, en donde se realiza el estudio para; el conocimiento del entorno de los activos físicos y la manera de cómo se gestiona y ejecuta la manutención. En la tercera etapa se definen los criterios argumentados en la información y recursos disponibles de su contexto operacional, siendo criterios base la frecuencia de falla y las consecuencias. En la cuarta etapa se realiza el cálculo de los parámetros seleccionados. En la quinta se jerarquiza y parametriza en la matriz de criticidad los equipos. La sexta etapa da tratamiento al nivel de criticidad mediante la determinación de estrategias de mantenimiento.
- Se realizó la aplicación del modelo de criticidad, llegando a definir como objeto de estudio al proceso de extrusión, debido a que, en el diagnóstico inicial de los indicadores de gestión de la planta, la eficiencia global de la maquina se situaba por debajo de la meta anual de 90% y de acuerdo al histórico de mantenimiento se evidencia 398 fallas funcionales con un total de horas intervenidas para mantenimiento correctivo de 400h, por lo cual es de interés para las autoridades de la empresa disminuir las paradas imprevistas, así mismo el nivel de estudio determinado según ISO 14224, es en equipos del proceso.

- Se realizó el análisis cualitativo de los puntos críticos en la gestión de mantenimiento, siendo el aspecto con oportunidad de mejoraras: la constitución y establecimiento de criterios para la jerarquización de equipos, así mismo se evidencia que se cuenta con una fuente madura de información tanto de costos como de los equipos; pero con inexactitudes en los planes de mantenimiento por falta de aplicación criterios estratégicos de mantenimiento.
- Se definió realizar el análisis de manera cuantitativa dado a que la información y recursos disponibles facilitan el desarrollo de los indicadores del riesgo, como; probabilidad de fallas y consecuencias en valor monetario. La ecuación queda reducida a los costos de mantenimiento y costos por indisponibilidad.
- Se calculó los índices de MTBF, MTTR, tasa de fallas, tasas de reparación, confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, y análisis de costos por las consecuencias establecidas. Se evidencia que para un  $t= 168$  los equipos que tienen mayor probabilidad de falla son: OTG hornos de lingotes 77,79 %, mesa de salida de enfriamiento 92,88 % y sierra de perfiles 82,43 %.
- Se jerarquizo los equipos mediante el análisis de Pareto de acuerdo a su índice de criticidad, siendo el 20% los equipos; mesa de salida y enfriamiento, sierra de perfiles, OTG horno de lingotes y sierra en caliente que ocasionan el 80% del riesgo en la producción de perfilería de aluminio.
- Se determinó las nuevas estrategias de mantenimiento, que rijan en el diseño de los planes de mantenimiento dado su grado de importancia de riesgo en la producción, siendo así que para el 20% de equipos que son muy críticos se establece como estrategia el análisis causa raíz, con el fin definir las acciones correctivas inmediatas que permitan reducir y mitigar el riesgo; para luego establecer tareas de mantenimiento óptimas para lo cual se combina la estrategia anterior con la implementación RCM.

## RECOMENDACIONES

- Es necesario continuar con la retroalimentación de la información dado a que el modelo de criticidad es dinámico, y requiere por lo menos una vez al año para actualizar los indicadores y por ende las estrategias de manutención. Así mismo al modificarse o alterarse el contexto operacional de objeto de estudio es necesario revisar y actualizar el análisis de criticidad, la no intervención provocaría desviaciones en la optimización de los recursos del departamento de mantenimiento
- Dar continuidad al modelo del sistema de gestión de mantenimiento, por parte de las autoridades de la empresa y sobre todo al departamento de mantenimiento, en el cual se han ordenado las ideas y criterios para establecer las estrategias de mantenimiento, siendo el punto de partida para la implementación de las demás metodologías, técnicas, tecnologías, y diseños de planes de mantenimiento.
- De las estrategias definidas para cada equipo, es fundamental realizar la implementación de cada una en esencial al análisis de modos de falla, dado a que, en este nivel se podrán obtener tareas de mantenimiento más eficientes y optimización dentro de la planificación del mantenimiento.

## **GLOSARIO DE TERMINOS**

<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>OSHAS</b>	Occupational Safety and Health Administration
<b>SGC</b>	Sistema de gestión de la calidad
<b>EN</b>	Norma Europea
<b>SGA</b>	Sistema de Gestión Ambiental
<b>SGSSH</b>	Sistema de Gestión Salud Seguridad e Higiene
<b>SGI</b>	Sistema de Gestión Integral
<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<b>SGM</b>	Sistema de Gestión de Mantenimiento
<b>RCM</b>	Mantenimiento basados en la confiabilidad
<b>MBC</b>	Mantenimiento basado en la condición
<b>ACR</b>	Análisis Causa Raíz
<b>OHF</b>	Operar hasta la falla
<b>MPP</b>	Mantenimiento a plazo fijo
<b>MCB</b>	Mantenimiento basado en la condición
<b>AC</b>	Análisis de Criticidad
<b>API</b>	American Petroleum Insitute
<b>SGR</b>	Sistema de Gestión de Riesgo
<b>OREDA</b>	Offshore Reliability Data
<b>AHP</b>	Método proceso de análisis jerárquico
<b>CTR</b>	Método criticidad total por riesgo
<b>FF</b>	Frecuencia de fallos
<b>FMECA</b>	Análisis de modo de fallos, efectos y criticidad
<b>RC</b>	Método cuantitativo del riesgo
<b>IBR</b>	Inspección Basada en Riesgo
<b>MTBF</b>	Tiempo medio entre fallos.
<b>MTTR</b>	Tiempo medio de reparación.
<b>NPR</b>	Número de prioridad por riesgo
<b>TOP</b>	Tiempo de operación
<b>TRP</b>	Tiempo de reparación
<b>NF</b>	Numero de falla



## **BIBLIOGRAFÍA**

- ARBÓS, L.** (2000). TPM Hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción. Primera edición. Barcelona, España.
- AMENDOLA, L.** (2002). Modelos Mixtos de Confiabilidad. España: PMM Institute for Learning.
- AENOR EN-13306.** (2011). Norma UNE-EN 13306. Terminología de Mantenimiento, Madrid, España: AENOR.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE.** (September, 2008). API 581 Risk Based Inspection. Second Edition. Technology. Washington: API.
- ESPINOSA, F.** (2002). Auditoría para la efectividad del mantenimiento. Primera edición. Talca, Chile: Universidad de Talca.
- EN-16646.** (2014). Maintenance within physical asset management. Norma Europea.
- GÓMEZ, J. & MÁRQUEZ, A.** (2012). Maintenance Management in Network Utilities: Framework and Practical Implementation. Sevilla, España.
- GARCIA, O., ROJAS, D., & TORREALBA, D.** (2008). Análisis de Pareto. Sucre: Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre.
- GARCÍA, S.** (2014) Ingeniería de mantenimiento – Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento. Tomo 1. España.
- ISO -31000.** (2009). Gestión del riesgo. Principios y directrices. Suiza: International Organization for Standardization.

**ISO-14224.** (2006). Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries - Collection and Exchange of Reliability and Maintenance data for Equipment. Suiza: International Organization for Standardization.

**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN INEN - EN 13306.** (2010). Terminología del mantenimiento. Quito, Ecuador: INEN.

**MORA, A. (2005).** Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicio. Primera edición. Medellín, Colombia.

**MOUBRAY, J. (1997).** RCM II, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Segunda edición. North Carolina, Estados Unidos.

**NORMA SAE-JA-1012;** (2002). Society of Automotive Engineers Inc. Guía para el mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC).USA, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001.

**NORSOK STANDARD Z-008.** (2001, Rev 2). Criticality Analysis for Maintenance Purposes. Norway: Norwegian Technology Centre.

**OREDA.** (2002). Offshore Reliability Data. Norway: OREDA, 4th Edition, Distributed.

**PARRA MÁRQUEZ, C. & CRESPO MÁRQUEZ, A. (2012).** Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos. Primera edición. Sevilla, España: Escuela de ingeniería, Universidad de Sevilla.

**PLACENCIA, S. (2014)** Gestión organizacional del mantenimiento. Primera edición. Maestría en gestión del mantenimiento industrial. Riobamba, Ecuador: Escuela superior politécnica de Chimborazo.

**PRANDO, R (2006).** Manual de gestión de mantenimiento a la medida. Primera edición. Piedra Santa, Guatemala.

**SEXTO, L. F.** (2014). Inspección basada en análisis de fallos y riesgos. Primera edición. Maestría en gestión del mantenimiento industrial. Riobamba, Ecuador: Escuela superior politécnica de Chimborazo.

**SEXTO, L.F.** (2014). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Primera edición. Maestría en gestión del mantenimiento industrial. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**SEXTO, L.F.** (2014). Ingeniería de la Fiabilidad.

[Consulta 14 enero 2016].

[http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Fiabilidad\\_sistemas\\_complejos.pdf](http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Fiabilidad_sistemas_complejos.pdf).

**SEXTO, L. F.** (2013). Auditoría de mantenimiento internas.

[Consulta 20 septiembre 2016].

[http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Fiabilidad\\_sistemas\\_complejos.pdf](http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Fiabilidad_sistemas_complejos.pdf).

**SÁNCHEZ MARÍN, F. PÉREZ GONZÁLES, A. SANCHO BRU, J. & RODRÍGUEZ CERVANTES, P.** (2007), Mantenimiento mecánico de máquinas.

[Consulta 12 noviembre 2016].

<http://books.google.com.ec>.

**SAATY, L** (1980). Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill. New York, Estados Unidos.

## ANEXOS


### ANEXO A. Fórmulas para el cálculo de disponibilidad, fiabilidad y confiabilidad


#### ALGUNOS CALCULOS DE DISPONIBILIDAD, FIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD

Medida	Fórmula
Ai, Disponibilidad intrínseca	$A_i = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$
Ao, Disponibilidad Operacional	$A_o = \text{MTBM} / (\text{MTBM} + \text{MDT})$
$\lambda$ , Tasa de Fallos (fallos/horas (h))	$\lambda = T_f / T_p$
$\lambda_y$ , Tasa de Fallos (fallos/año (y))	$\lambda_y = T_f / (T_p / 8760)$
MDT, Mean Down Time (h)	$\text{MDT} = (\text{Rdt} + \text{Rlt} + \text{Mdt}) / \text{Tde}$
MTBF, Mean Time Between Failures (h)	$\text{MTBF} = T_p / T_f$
MTBM, Mean Time Between Maintenance (h)	$\text{MTBM} = T_p / \text{Tde}$
MTTM, Mean Time To Maintain (h)	$\text{MTTM} = \text{Mdt} / \text{Tma}$
MTTR, Mean Time To Repair (h)	$\text{MTTR} = \text{Rdt} / T_f$
R(t), Fiabilidad (para un intervalo t) <small>-Válido para un modelo de distribución exponencial, <math>\lambda = \text{cte}</math>.</small>	$R(t) = e^{-\lambda t}$
Hrdt/Year, Horas de Downtime por Año	$\text{Hrdt/Year} = (1 - A_o) \times 8760$

**Donde:**

- Mdt (tiempo de downtime por mantenimiento, incluye logística)
- Rdt (tiempo de downtime por reparación, no incluye logística)
- Rlt (tiempo logístico para reparación)
- Tde (número de downtime)
- Tf (número de fallos totales)
- Tma (tiempo total de mantenimiento)
- Tp (período total)



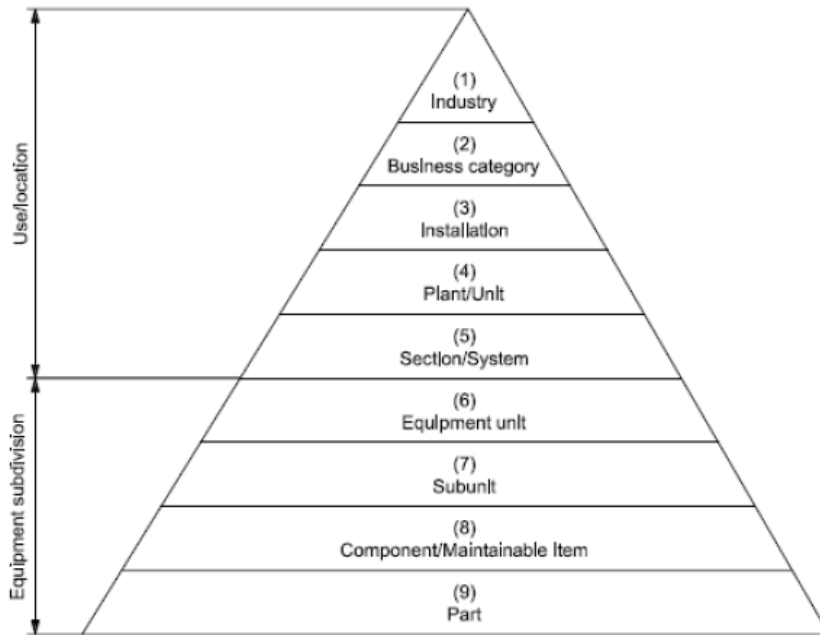


Luis Felipe Sexto

[radical-management.com](http://radical-management.com)

19

**ANEXO B.** Taxonomía de equipos norma ISO 14224 -2006



**FIG 15.** Pirámide de taxonomía para clasificación de sistemas, equipos, partes

**ANEXO C.** Formato de catastro de equipos , proceso de extrusion

<b>CENTRODECOSTO</b>	<b>PROCESO EQUIPO</b>	<b>SUBPROCESO / COMPONENTE</b>
_1_EXTRUSION	_1.1_PRENSA1LOEWY	1.1.4-Bombas principales
<b>DESCRIPCION AMPLIADA DE LA MAQUINA</b>		
NOMINADA GENERALMENTE POR OIL GEAR COMO BOMBA PVV-200, DIAMETRO DE PISTON 35,76 MM Y NUMERO DE PISTONES 7, TORQUE PARA GIRAR EL EJE 14 lb_ft, PRESION DE ENTRADA A 1800 RPM - 14,3 PSIA, MAXIMA PRESION INTERMITENTE 6500 PSI, CONTINUA 6000 PSI, MINIMA 50 PSI, MINIMO TAMAÑO DE TUBO DE DRENAJE 1", PRESION PILOTO MINIMA PARA CONTROL DE VOLUMEN 700 PSI, EL FLUIDO DEBE MANTENER UNA VISCOSIDAD MINIMA DE 80 Y 2000 SSU Y UNA TEMPERATURA DE OPERACION DE MAXIMO 160 F Y MINIMA -20 F		
<b>CODIGO</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>
	OIL GEAR	PVV - 200 - B1UV - LSFY - A - FRHSB/69
<b>UBICACIÓN</b>	<b>POTENCIA</b>	<b>No DE SERIE</b>
AREA BOMBAS PRENSA LOEWY	150 HP	
<b>REFERENCIA</b>	<b>PESO APROX. (Kg)</b>	<b>DIMENSIONES (L X W X H ) MM</b>
	161	527,7 X 414,3 X 300,2
<b>VARIABLE DE OPERACIÓN MAXIMA</b>	<b>VARIABLE DE OPERACIÓN MINIMA</b>	
	MAX PRESION OPERACIÓN 7250 PSI EN OPERACIÓN CONTINUA	BOMBA TIPO B1 - LEFT HAND
<b>OBSERVACIONES Y ESPECIFICACIONES ADICIONALES</b>		
MOTOR: MARCA: WEG W21 SEVERE DUTY, MODELO: Z15018EP3E1B080904 ,# DE FASES: 3, FRAME: 444/5TC 27AVG04 0A25271, PESO: 1780 LBS, POTENCIA: 150HP 110KW, RPM: 1780, VOLTAJE: 460V, AMPERAJE: 168 A, FRECUENCIA: 60HZ, ENCL TEFC / TYPE ET / FP 0,87 / IP55, NEMA NOM EFF 95,0 / ¾ LOAD EFF 95,0 / DES B / , TEMPERATURA AMBIENTE: MAX 40°C		
<b>DESCRIPCION DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO RELEVANTES</b>		
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>FECHA</b>

## ANEXO D. Identificación y Caracterización de la empresa Cedral

A. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA				
A1. Nombre de la empresa:	CEDAL			
A2. Fecha de la auditoria:	2016-04-1			
A3. Nombre del Auditor:	DIEGO TANDALLA			
A4. Nombre encargado del Mantenimiento	DIEGO BEDON			
A5. Clase de equipamiento y número de equipos involucrados en cada clase	Estándar	Diseño especial	Específico	Total
			0	0
A6. Posee Depto. de Mantenimiento	SI -----> A7			
	NO ----->A9			
A7. Número de turnos de la jornada	3			
A8. Número de personal de mantenimiento en cada turno	Primer turno	Segundo turno	Tercer turno	Total
	4	10	6	20
A9. Dependencia del departamento de mantenimiento	Jerarq. Propia	Depend. Produc.	Sin Organización	
	x			
A10. Realización del Mantenimiento	Contratista	Operarios Equipo	Especialistas	No hay mant.
			x	
A11. Cómo clasifica el mantenimiento	Correctiva	Preventiva	Sintomática	Otro tipo
		x		
A12. Tiene definida alguna concepción del mantenimiento	Si ¿Cuál?	MANTENIMIENTO CENTARDO EN LA CONFIABILIDAD		
	No ¿Por qué?			
A13. Posee bodega de repuestos	SI -----> A14			
	NO -----> A15			
A14. Dependencia de la bodega	Mantenimiento	Producción	Otra	
	X			
A15. Satisfacción del abastecimiento de repuestos, partes y piezas	Bueno	Regular	Malo	
		X		

## ANEXO E. Cuestionario y análisis de puntos críticos de mantenimiento

### B. CRITICIDAD

Ingrese el número que se le indica entre paréntesis para la alternativa que mejor describe su situación.

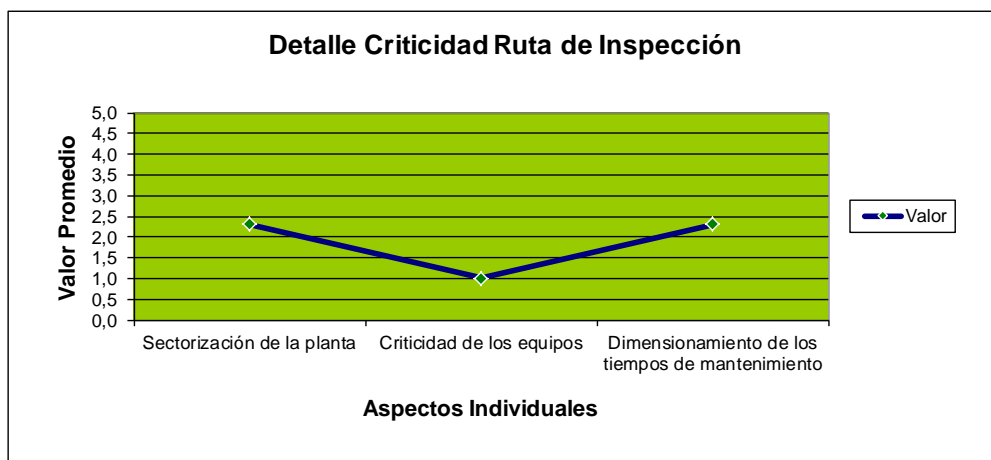
B1. ¿Tiene las áreas de producción separadas por algún criterio?	Ninguna (1)	Parcial (3)	Todas (5)
		<b>3</b>	
B2. ¿Tiene identificados por algún código sus equipos?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
	<b>1</b>		
B3. ¿Tiene clasificado sus equipos según su criticidad ante una falla?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
	<b>1</b>		
B4. ¿Puede cuantificar la incidencia de la falla de un equipo sobre otro(s)?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
	<b>1</b>		
B5. ¿Tiene un diseño de planta que describa e identifique todos los equipos?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
		<b>3</b>	
B6. ¿Tiene líneas en paralelo en su sistema de producción?	No (X)		Si (X)
			<b>x</b>
B7. ¿Tiene identificadas las líneas según su criticidad para el proceso?	No (X)	Es única (X)	Si (X)
	<b>x</b>		
B8. ¿Algún(os) equipo produce cuello de botella?	No (X)		Si (X)
			<b>x</b>
B9. ¿Tiene identificado para cada equipo los riesgos para el operario?	No (1)	Parcial (3)	Todos (5)
	<b>1</b>		
B10. ¿Sabe cuanto tiempo toma cada proceso en la línea de producción?	No (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		<b>3</b>	
B11. ¿Tiene estipulado tiempos estándares para el mantenimiento de equipos?	No (1)	Parcial (3)	Todos (5)
	<b>1</b>		
B12. ¿Tiene calculado el volumen de trabajos de mantenimiento que puede hacer al mes?	No (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		<b>3</b>	

### B. CRITICIDAD

Valor Promedio Global= 1,9

Aspecto regular

Preguntas	Aspectos individuales considerados	Valor	Calificación
B1,B2,B5,B6	Sectorización de la planta	<b>2,3</b>	Aspecto regular
B3,B4,B7,B8,B9	Criticidad de los equipos	<b>1,0</b>	Aspecto con deficiencias
B10,B11,B12	Dimensionamiento de los tiempos de mantenimiento	<b>2,3</b>	Aspecto regular





### C. MANEJO DE LA INFORMACIÓN SOBRE EQUIPOS

Ingrese el número que se le indica entre paréntesis para la alternativa que mejor describe su situación.

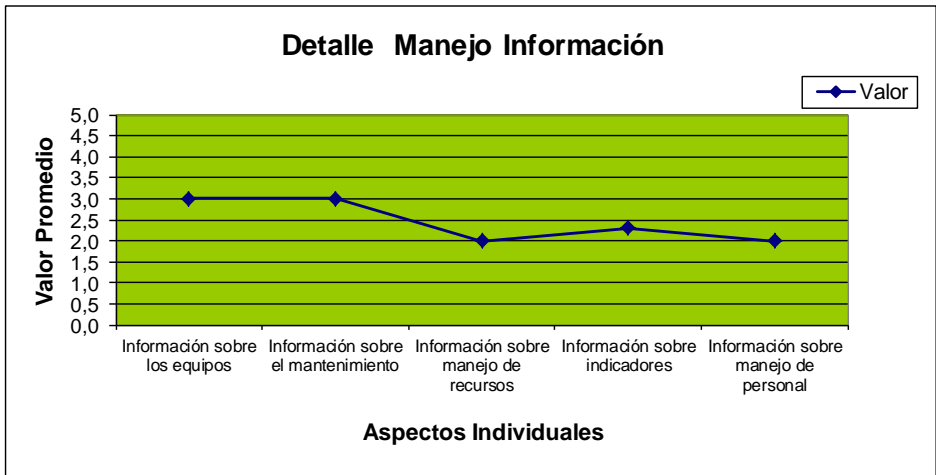
C1. ¿Posee los catálogos e información técnica de todos los equipos?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		<b>3</b>	
C2. ¿Posee fichas de inventario para cada equipo?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
	<b>1</b>		
C3. ¿Tiene procedimientos de trabajos de mantenimiento establecidos?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		<b>3</b>	
C4. ¿Posee cada equipo un programa de trabajos de mantenimiento?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
			<b>5</b>
C5. ¿Posee registros de los mantenimientos realizados para cada equipo?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		<b>3</b>	
C6. ¿Tiene registros de tiempo de cada mantenimiento realizado?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		<b>3</b>	
C7. ¿Tiene un registro de la disponibilidad de repuestos en bodega?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
	<b>1</b>		
C8. ¿Tiene clasificado su stock de repuestos por algún criterio?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
	<b>1</b>		
C9. ¿Tiene un registro de los implementos usados para el mantenimiento?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		<b>3</b>	
C10. ¿Sabe cuál es la tasa de fallas de cada equipo?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
	<b>1</b>		
C11. ¿Puede determinar la confiabilidad de cada equipo?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
	<b>1</b>		
C12. ¿Tiene clasificados a los proveedores de partes y piezas?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		<b>3</b>	
C13. ¿Tiene registros de los operarios que trabajan en los equipos?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
	<b>1</b>		
C14. ¿Tiene un programa de capacitación completo implementado?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Completo (5)
		<b>3</b>	
C15. ¿Tiene información precisa para llevar índices de control de eficiencia?	Ninguna (1)	Parcial (3)	Completa (5)
			<b>5</b>

### C. MANEJO DE LA INFORMACION SOBRE EQUIPOS

Valor Promedio Global= 2,5

Aspecto regular

Preguntas	Aspectos individuales considerados	Valor	Calificación
C1,C2,C4	Información sobre los equipos	3,0	Aspecto regular
C3,C5,C6	Información sobre el mantenimiento	3,0	Aspecto regular
C7,C8,C9,C12	Información sobre manejo de recursos	2,0	Aspecto regular
C10,C11,C15	Información sobre indicadores	2,3	Aspecto regular
C13,C14	Información sobre manejo de personal	2,0	Aspecto regular



## D. ESTADO DEL MANTENIMIENTO ACTUAL

Ingrese el número que se le indica entre paréntesis para la alternativa que mejor describe su situación.

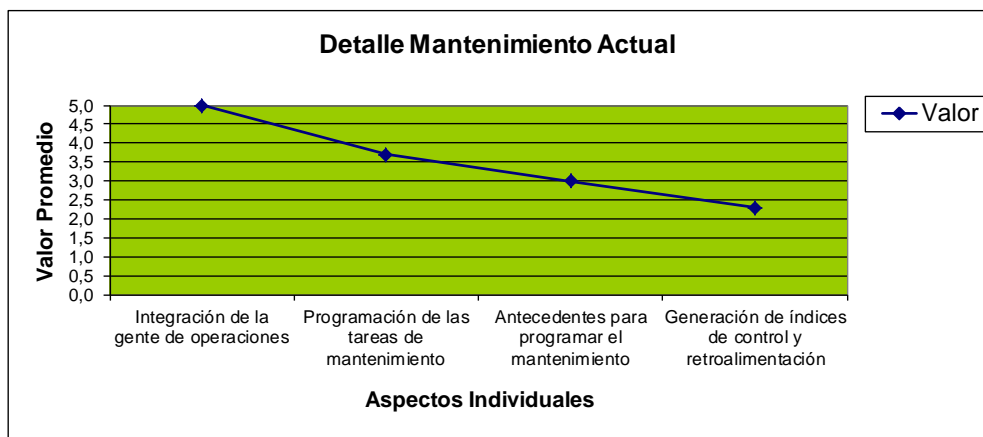
D1. ¿Se revisan todos los equipos cada vez que comienza un turno?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
			<b>5</b>
D2. ¿Los operadores de los equipos realizan tareas simples de mantenimiento?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
			<b>5</b>
D3. ¿Se tiene una rutina preestablecida de intervenciones diaria?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		<b>3</b>	
D4. ¿Se mantiene una bitácora de mantenimientos diarios?	Ninguna (1)	Parcial (3)	Completa (5)
			<b>5</b>
D5. ¿Se sabe cuanto tiempo se requiere para hacer el diagnóstico de una falla?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
	<b>1</b>		
D6. ¿Sabe cuanto es el tiempo de abastecimiento para cada grupo de repuestos?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
		<b>3</b>	
D7. ¿Sabe exactamente el número de trabajos pendientes por período?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
			<b>5</b>
D8. ¿Tiene control sobre las horas extras necesarias para terminar trabajos?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Completo (5)
		<b>3</b>	
D9. ¿Tiene algún criterio para dar prioridad en la ejecución de trabajos?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
		<b>3</b>	
D10. ¿La información capturada en terreno es legible, útil y oportuna?	Ninguna (1)	Parcial (3)	Toda (5)
		<b>3</b>	
D11. ¿Tiene un registro de trabajos de emergencia y programados?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Completo (5)
		<b>3</b>	
D12. ¿Tiene cuantificado el tiempo de producción perdido por fallas?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Completo (5)
	<b>1</b>		
D13. ¿Tiene cuantificado el tiempo que se demora en hacer efectiva el mantenimiento?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
	<b>1</b>		
D14. ¿Mantiene un control sobre el tiempo empleado en reparaciones?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Completo (5)
		<b>3</b>	
D15. ¿Compara el tiempo real con el tiempo estipulado en las órdenes de trabajo?	No (1)	A veces (3)	Si (5)
		<b>3</b>	

## D. AUDITORIA SOBRE EL MANTENIMIENTO ACTUAL

Valor Promedio Global= 3,1

Aspecto regular

Preguntas	Aspectos individuales considerados	Valor	Calificación
D1,D2	Integración de la gente de operaciones	5,0	Aspecto bien implementado
D3,D4,D10	Programación de las tareas de mantenimiento	3,7	Aspecto bien implementado
D5,D6,D7,D9	Antecedentes para programar el mantenimiento	3,0	Aspecto regular
D8,D11,D12,D13,D14,D15	Generación de índices de control y retroalimentación	2,3	Aspecto regular



## E. ANTECEDENTES DE COSTOS DE MANTENIMIENTO

Ingrese el número que se le indica entre paréntesis para la alternativa que mejor describe su situación.

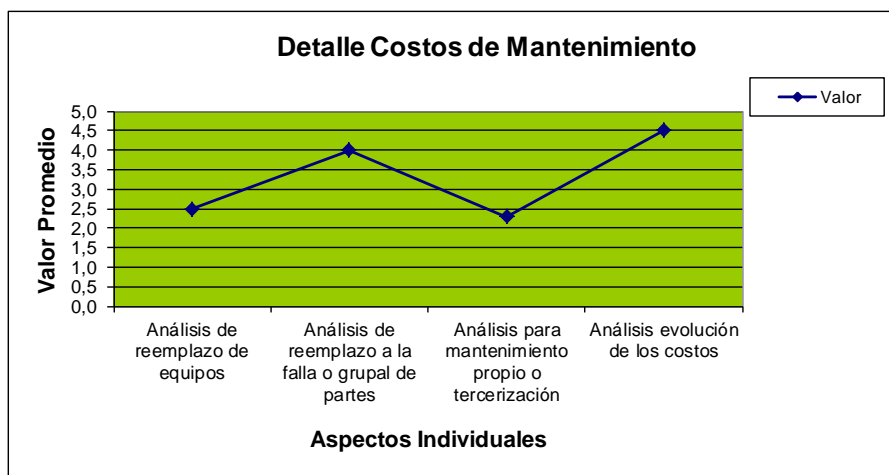
E1. ¿Sabe en que año adquirió cada uno de sus equipos?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		<b>3</b>	
E2. ¿Sabe el valor de adquisición de cada uno de sus equipos?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		<b>3</b>	
E3. ¿Tiene definida la tasa de depreciación de cada equipo?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
	<b>1</b>		
E4. ¿Sabe cuál es el costo de los repuestos para cada equipo?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
		<b>3</b>	
E5. ¿Sabe cuál es el costo de la mano de obra de mantenimiento por especialidad?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
			<b>5</b>
E6. ¿Sabe cual es el costo de pérdida de de producción por falla de cada equipo?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
			<b>5</b>
E7. ¿Evalúa anualmente el reemplazo de los equipos a su cargo?	Ninguno (1)	Parcial (3)	Todos (5)
		<b>3</b>	
E8. ¿Sabe la razón de costos entre mantenimiento y costo total del producto?	No (1)	Aproximado (3)	Si (5)
		<b>3</b>	
E9. ¿Tiene una relación de cantidad entre personal de mantenimiento y producción?	No (1)	Aproximada (3)	Si (5)
		<b>3</b>	
E10. ¿Puede medir la desviación entre el costo real y el costo presupuestado?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
		<b>3</b>	
E11. ¿Lleva un control de gastos de mantenimiento por equipo y por tipo?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
			<b>5</b>
E12. ¿Lleva un control estadístico de los gastos de mantenimiento por equipo?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
			<b>5</b>
E13. ¿Puede definir el tamaño del inventario para una disponibilidad dada del equipo?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
			<b>5</b>
E14. ¿Sabe donde es más rentable subcontratar que trabajar con recursos propios ?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
		<b>3</b>	
E15. ¿Puede definir las políticas de mantenimiento en base a los costos alternativos ?	No (1)	Parcial (3)	Si (5)
	<b>1</b>		

## E. ANTECEDENTES DE COSTOS DE MANTENIMIENTO

Valor Promedio Global= 3,4

Aspecto bien implementado

Preguntas	Aspectos individuales considerados	Valor	Calificación
E1,E2,E3,E7	Análisis de reemplazo de equipos	2,5	Aspecto regular
E4,E5,E6,E8	Análisis de reemplazo a la falla o grupal de partes	4,0	Aspecto bien implementado
E9,E14,E15	Análisis para mantenimiento propio o tercerización	2,3	Aspecto regular
E10,E11,E12,E13	Análisis evolución de los costos	4,5	Aspecto bien implementado



## F. EFECTIVIDAD DEL MANTENIMIENTO ACTUAL

Ingrese el número que se le indica entre paréntesis para la alternativa que mejor describe su situación.

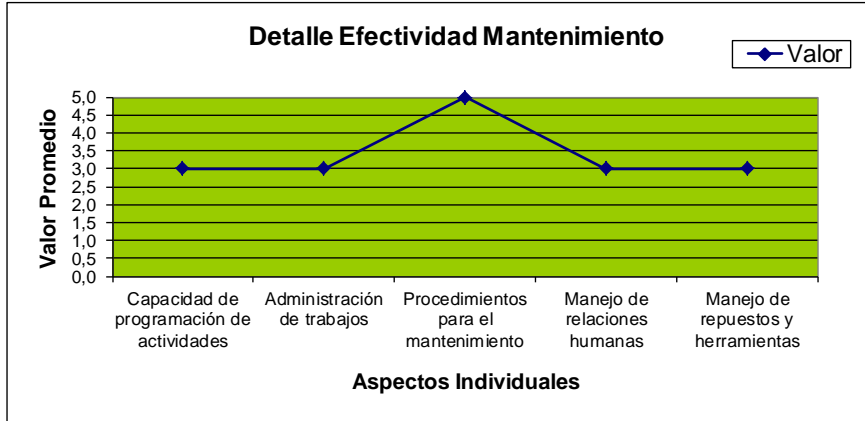
F1. ¿Sabe cuál es la relación de paros programados y paros imprevistos?	No (1) <b>1</b>	Parcial (3)	Si (5)
F2. ¿Se cumple el programa de trabajos programados de mantenimiento?	No (1)	Parcial (3)	Si (5) <b>5</b>
F3. ¿Se lleva un control del estado de avance de las ordenes de trabajo (O.T.) ?	No (1)	Parcial (3) <b>3</b>	Si (5)
F4. ¿Conoce el lapso de tiempo medio entre el aviso de la falla y la emisión de la O.T ?	No (1) <b>1</b>	Parcial (3)	Si (5)
F5. ¿Conoce el tiempo medio de aprobación de una orden de trabajo ?	No (1)	Parcial (3)	Si (5) <b>5</b>
F6. ¿Tiene definidos los procedimientos para realizar el mantenimiento preventivo ?	No (1)	Parcial (3)	Si (5) <b>5</b>
F7. ¿Tiene definidos los procedimientos para enfrentar el mantenimiento correctivo ?	No (1)	Parcial (3)	Si (5) <b>5</b>
F8. ¿Sabe cuál es la relación de trabajos pendientes y trabajos programados ?	No (1)	Parcial (3) <b>3</b>	Si (5)
F9. ¿Sabe cuál es la relación de tiempo extra y tiempo para trabajos programados ?	No (1) <b>1</b>	Parcial (3)	Si (5)
F10. ¿Cómo es la relación entre la gente de operación y la gente de mantenimiento?	Mala (1)	Regular (3) <b>3</b>	Buena (5)
F11. ¿Cómo es la actitud de la administración superior hacia mantenimiento ?	Mala (1)	Regular (3) <b>3</b>	Buena (5)
F12. ¿Cómo es la colaboración de los departamentos relacionados con mantenimiento?	Mala (1)	Regular (3) <b>3</b>	Buena (5)
F13. ¿Considera que el nivel de capacitación es acorde a la tecnología del equipamiento?	No (1)	Parcial (3) <b>3</b>	Si (5)
F14. ¿Cómo considera el nivel de rotación del personal de mantenimiento?	Bajo (1)	Normal (3) <b>3</b>	Alto (5)
F15. ¿Son suficientes las herramientas y equipos de trabajo para el mantenimiento?	No (1)	Parcial (3) <b>3</b>	Si (5)
F16. ¿Tiene definido el punto de equilibrio de los repuestos necesarios por equipo?	No (1)	Parcial (3) <b>3</b>	Si (5)

## F. EFECTIVIDAD DE LA MANTENIMIENTO ACTUAL

Valor Promedio Global= 3,1

Aspecto regular

Preguntas	Aspectos individuales considerados	Valor	Calificación
F1,F2,F8,F9	Capacidad de programación de actividades	3,0	Aspecto regular
F3,F4,F5	Administración de trabajos	3,0	Aspecto regular
F6,F7	Procedimientos para el mantenimiento	5,0	Aspecto bien implementado
F10,F11,F12,F13,F14	Manejo de relaciones humanas	3,0	Aspecto regular
F15,F16	Manejo de repuestos y herramientas	3,0	Aspecto regular



**ANEXO F: Registro diario de actividades de mantenimiento semana 1 mes Enero 2015**

MES	SEMANA	FECHA	CENTRODECOSTO	TURNO_PLANTA
ENERO	SEM 1	lun 05, ene	_1_EXTRUSION	T_EXTRUSION

**REGISTRO DIARIO DE ACTIVIDADES**

**REPORTE DE ACTIVIDADES**

										Desde		lunes, 05 de enero de 2015		HASTA		domingo, 11 de enero de 2015	
SEM	TURNO	FECHA	PROCESO_EQUIPOS_TRABAJOS	AREA_ESPECIFICA	FALLA_FUNCION	DAT	HORA	MIN	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	HORA	MIN	NOMBRE RESPONSABLE	OBSERVACIONES Y/O REPUESTOS				
SEM 1			_1.1_PRESA1LOEWY	_1.1.16_Sierraencaliente		P	3:00	0:40	SUELTO LA PLATINA DEL ALZADOR DE PERFIL	4:00	0:00						
SEM 1			_1.1_PRESA1LOEWY	_1.1.16_Sierraencaliente		P	0:00	0:00	ALZADOR DE PERFIL NO BAJA SE REvisa	0:00	0:30						
SEM 1			_1.1_PRESA1LOEWY	_1.1.18_Mesadesalidayenfriamiento		P	1:00	0:00	BANDAS NO GIRAN SE CAMBIA DE PERNO ROTO	1:00	0:30						
SEM 1			_1.1_PRESA1LOEWY	_1.1.20_Sierradepfiles		P	2:00	0:30	SIERRA KAUTEC NO GIRAN LOS RODILLOS SE REvisa	3:00	0:00						
SEM 1			_1.1_PRESA1LOEWY	_1.1.20_Sierradepfiles		P	16:00	0:30	TOPE DE LA SIERRA KAUTEC NO FUNCIONA SE REvisa.	17:00	0:00						
SEM 1			_1.1_PRESA1LOEWY	_1.1.18_Mesadesalidayenfriamiento		P	19:00	0:15	PIÑONES DE LAS BANDAS TRANSPORTADOR DE PERFILES NO GIRAN Y LAS BANDAS SE ENCUENTRAN ALTAS SE ALINEA	20:00	0:00						
SEM 1			_1.1_PRESA1LOEWY	_1.1.19_Estiradora		P	21:00	0:30	MORDAZAS DE LA ESTIRADORA FIJA NO SALEN RÁPIDO OJO LA VÁLVULA DIRECCIONAL NO FUNCIONA.	22:00	0:00						
SEM 1			_1.1_PRESA1LOEWY	_1.1.7_RetornodelRam		P	8:00	0:00	EXISTE FUGA DE ACEITE POR VÁLVULA PRINCIPAL	10:00	0:00						
SEM 1			_1.1_PRESA1LOEWY	_1.1.2_Enfriamientodeaceite		P	2:00	0:30	TEMPERATURA ALTA DEL ACEITE SE APAGA LAS BOMBAS SE REvisa ELECTROVÁLVULA PASO DE AGUA SE ENCUENTRA ROTO, DIAFRAGMA QUEDA TRABAJANDO NORMAL	3:00	0:20						
SEM 1			_1.1_PRESA1LOEWY	_1.1.20_Sierradepfiles		P	18:00	0:40	SIERRA KAUTEC HOJA DE LA SIERRA NO CORTA,SE REvisa LA LUBRICACIÓN Y SE ENCUENTRA EL ACEITE SUCIO SE PROCEDE LA LIMPIEZA DE LAS CAÑERÍAS Y LA VÁLVULA	21:00	0:25						

## ANEXO G: Registro de control de paradas mes Enero 2015

CONTROL DE PARAS - MANTENIMIENTO SEMANA 1 - 2015							
MAQUINA/ EQUIPO	TIEMPO/ horas	PARA DIA	PARAS TOTALES	PARAS TOTALES DIA	HORAS TRABAJADAS	% PARAS	COSTO DE PARADAS
FUNDICIÓN	0:00:00	0,00	0:00:00	0,00	160,00	0,0%	-
EXTRUSIÓN							
PRENSA # 1	8:45:00	8,75	18:47:00	18,78	144,00	6,1%	66.099
PRENSA # 2	12:02:00	12,03	7:19:00	31,32	144,00	8,4%	
ANODIZADO	0:18:00	0,30	0:40:00	0,67	144,00	0,2%	2.980
PINTURA	0:00:00	0,00	10:40:00	10,67	144,00	0,0%	-

Total de horas semanal / flash - Li **21:05:00**    **21,08**    **61:26:00**    **61,43**    **736,00**    **2,86%**    **\$ 69.079**

CONTROL DE PARAS - MANTENIMIENTO SEMANA 2 - 2015							
MAQUINA/ EQUIPO	TIEMPO/ horas				HORAS TRABAJADAS	% PARAS	COSTO DE PARADAS
FUNDICIÓN	0:00:00	0,00	0:00:00	0,00	112,00	0,0%	-
EXTRUSIÓN							
PRENSA # 1	7:32:00	7,53	21:01:00	21,02	112,00	6,5%	64.437
PRENSA # 2	13:56:30	13,94	4:30:00	52,50	112,00	12,3%	
ANODIZADO	1:42:00	1,70	9:20:00	9,33	112,00	0,9%	6.140
PINTURA	0:30:00	0,50	8:05:00	8,08	104,00	2,4%	402

Total de horas semanal / flash - Li **23:40:30**    **23,68**    **90:56:00**    **90,93**    **552,00**    **4,29%**    **\$ 70.979**

CONTROL DE PARAS - MANTENIMIENTO SEMANA 3 - 2015							
MAQUINA/ EQUIPO	TIEMPO/ horas				HORAS TRABAJADAS	% PARAS	COSTO DE PARADAS
FUNDICIÓN	0:00:00	0,00	0:00:00	0,00	150,00	0,0%	-
EXTRUSIÓN							
PRENSA # 1	9:22:00	9,37	23:22:00	23,37	144,00	6,5%	89.773
PRENSA # 2	17:43:00	17,72	17:28:00	41,47	144,00	12,3%	
ANODIZADO	1:30:00	1,50	18:18:00	18,30	160,00	0,9%	8.195
PINTURA	3:55:00	3,92	4:55:00	4,92	160,00	2,4%	5.593

Total de horas semanal / flash - Li **32:30:00**    **32,50**    **88:03:00**    **88,05**    **758,00**    **4,29%**    **\$ 103.561**

CONTROL DE PARAS - MANTENIMIENTO SEMANA 4 - 2015							
MAQUINA/ EQUIPO	TIEMPO/ horas				HORAS TRABAJADAS	% PARAS	COSTO DE PARADAS
FUNDICIÓN	0:00:00	0,00	0:00:00	0,00	141,00	0,0%	-
EXTRUSIÓN							
PRENSA # 1	7:14:00	7,23	14:59:00	14,98	144,50	5,0%	108.088
PRENSA # 2	1:19:00	25,32	12:09:00	36,15	144,50	17,5%	
ANODIZADO	5:30:00	5,50	4:46:00	4,77	160,00	3,4%	17.050
PINTURA	0:25:00	0,42	7:05:00	7,08	144,00	0,3%	335

Total de horas semanal / flash - Li **38:28:00**    **38,47**    **62:59:00**    **62,98**    **734,00**    **5,24%**    **\$ 125.473**

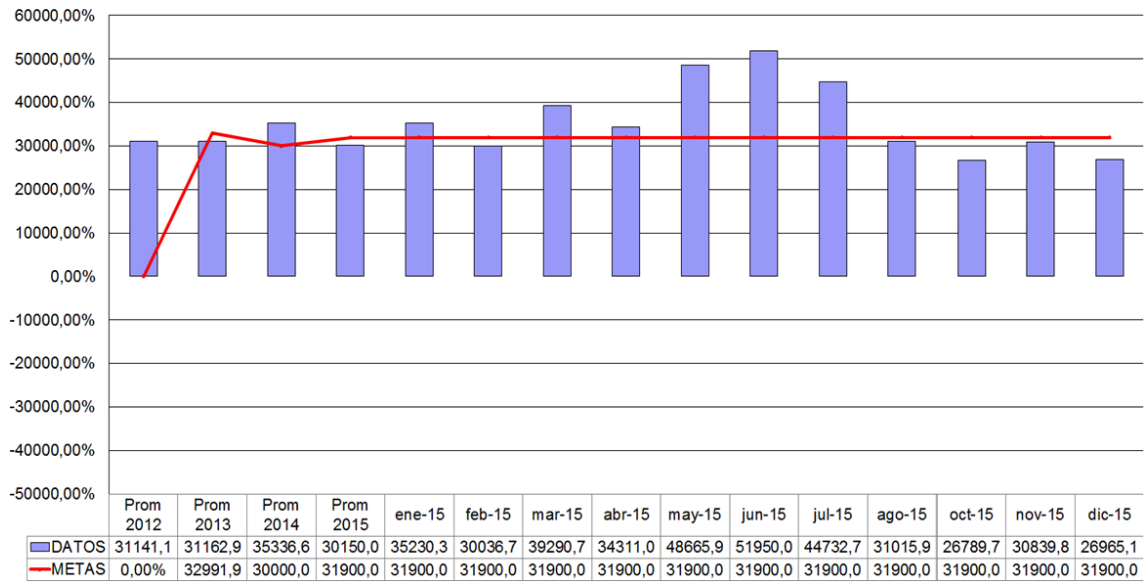








**ANEXO K: Costos de producción 2015- proceso de extrusión**

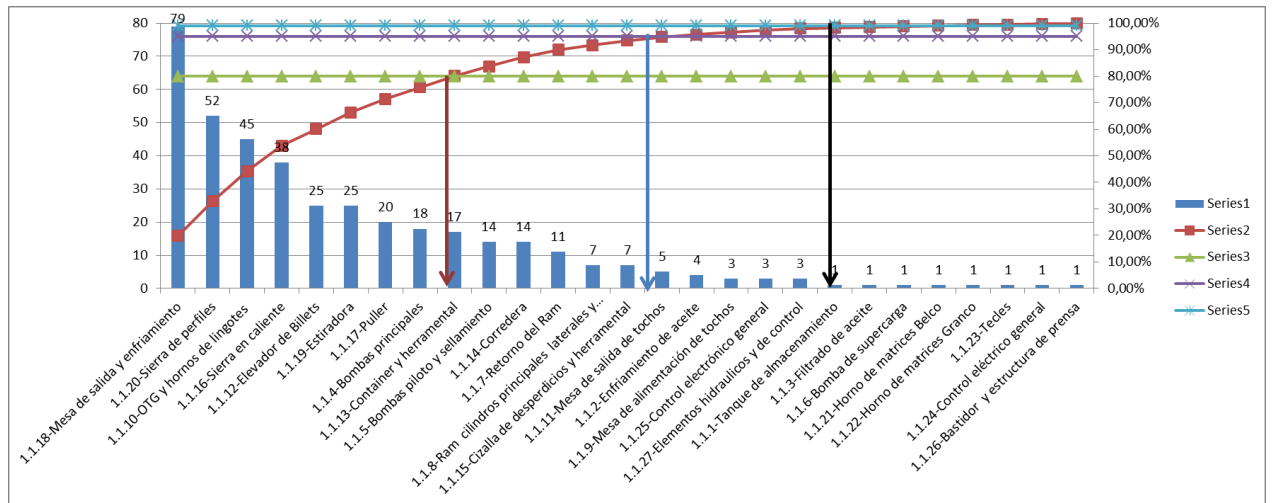


**ANEXO L: Producción de perfilera de aluminio año 2015**

año		2015			
mes	Valores		T\$MAQI		Suma de BRUTOS
	KG NETOS				
	EPRE01	EPRE02	EPRE01	EPRE02	
1	477,629	335,145	619,880	436,279	
2	478,803	353,795	607,689	450,390	
3	421,312	280,348	547,399	365,076	
4	457,735	308,706	587,097	395,802	
5	277,383	229,800	351,978	298,725	
6	189,420	332,104	239,058	426,820	
7	281,358	221,801	357,727	284,760	
8	355,182	264,899	454,804	340,753	
9	438,804	162,071	565,204	208,224	
10	467,154	152,378	591,343	183,782	
11	456,688	111,712	572,615	143,542	
12	462,255	169,522	578,909	218,641	
<b>Total</b>	<b>4,763,723</b>	<b>2,922,281</b>	<b>6,073,701</b>	<b>3,752,795</b>	

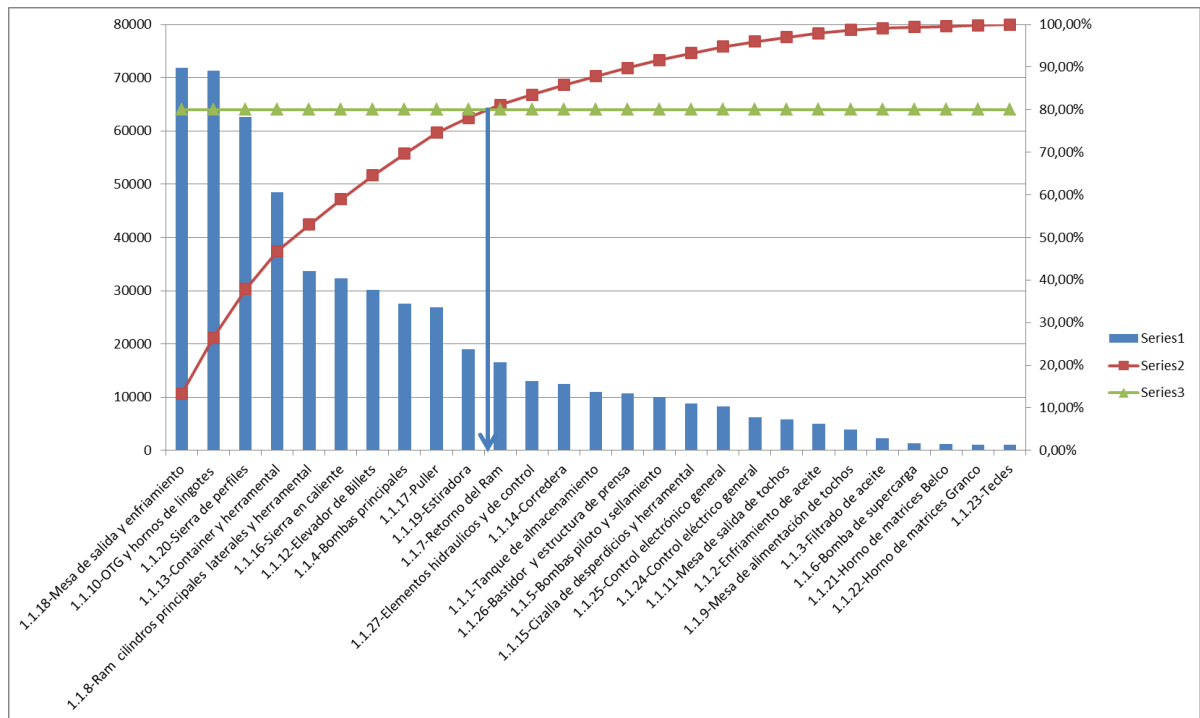
## ANEXO M: Análisis de Pareto, parametrización de tasa de fallas

ITEM	EXTRUSION-PRENSA1LOEWY	TASA DE FALLA	LANDA (1/AÑO)	% RELATIVO	% ACUMULADO
18	1.1.18-Mesa de salida y enfriamiento	0,015724522	79	19,85%	19,85%
20	1.1.20-Sierra de perfiles	0,010350318	52	13,07%	32,91%
10	1.1.10-OTG y hornos de lingotes	0,008957006	45	11,31%	44,22%
16	1.1.16-Sierra en caliente	0,007563694	38	9,55%	53,77%
12	1.1.12-Elevador de Billets	0,004976115	25	6,28%	60,05%
19	1.1.19-Estradora	0,004976115	25	6,28%	66,33%
17	1.1.17-Puller	0,003980892	20	5,03%	71,36%
4	1.1.4-Bombas principales	0,003582803	18	4,52%	75,88%
13	1.1.13-Container y herramental	0,003383758	17	4,27%	80,15%
5	1.1.5-Bombas piloto y sellamiento	0,002786624	14	3,52%	83,67%
14	1.1.14-Corredera	0,002786624	14	3,52%	87,19%
7	1.1.7-Retorno del Ram	0,00218949	11	2,76%	89,95%
8	1.1.8-Ram cilindros principales laterales y herramental	0,001393312	7	1,76%	91,71%
15	1.1.15-Cizalla de desperdicios y herramental	0,001393312	7	1,76%	93,47%
11	1.1.11-Mesa de salida de tochos	0,000995223	5	1,26%	94,72%
2	1.1.2-Enfriamiento de aceite	0,000796178	4	1,01%	95,73%
9	1.1.9-Mesa de alimentación de tochos	0,000597134	3	0,75%	96,48%
25	1.1.25-Control electrónico general	0,000597134	3	0,75%	97,24%
27	1.1.27-Elementos hidraulicos y de control	0,000597134	3	0,75%	97,99%
1	1.1.1-Tanque de almacenamiento	0,000199045	1	0,25%	98,24%
3	1.1.3-Filtrado de aceite	0,000199045	1	0,25%	98,49%
6	1.1.6-Bomba de supercarga	0,000199045	1	0,25%	98,74%
21	1.1.21-Horno de matrices Belco	0,000199045	1	0,25%	98,99%
22	1.1.22-Horno de matrices Granco	0,000199045	1	0,25%	99,25%
23	1.1.23-Teclas	0,000199045	1	0,25%	99,50%
24	1.1.24-Control eléctrico general	0,000199045	1	0,25%	99,75%
26	1.1.26-Bastidor y estructura de prensa	0,000199045	1	0,25%	100,00%

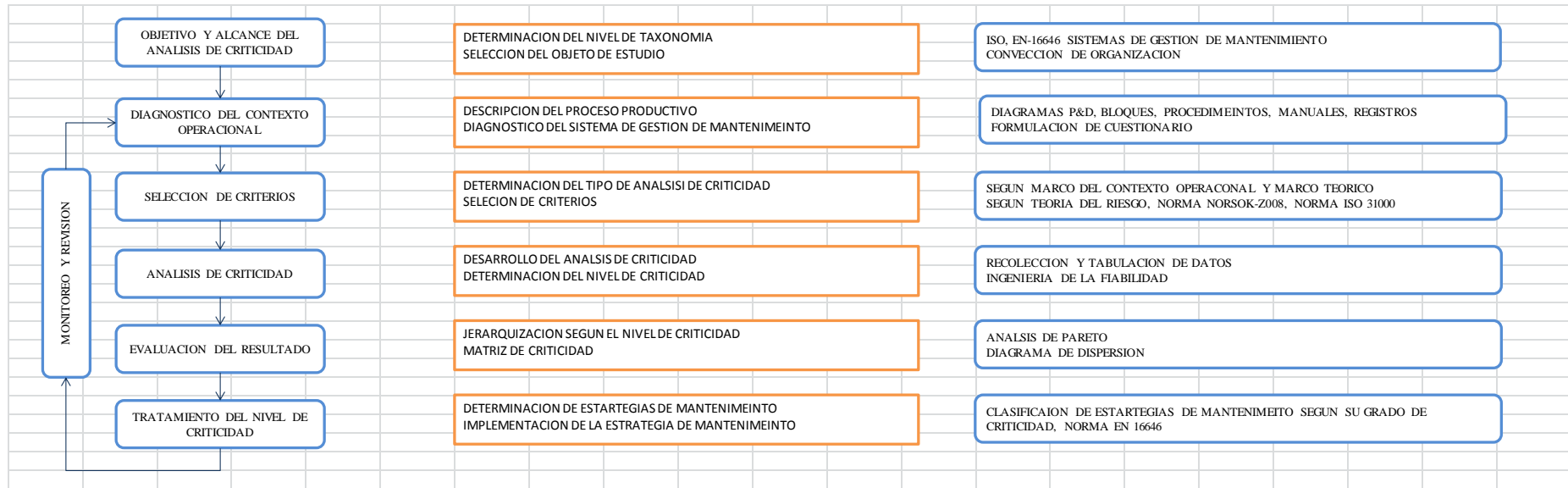


## ANEXO N: Análisis de Pareto, parametrización de consecuencias

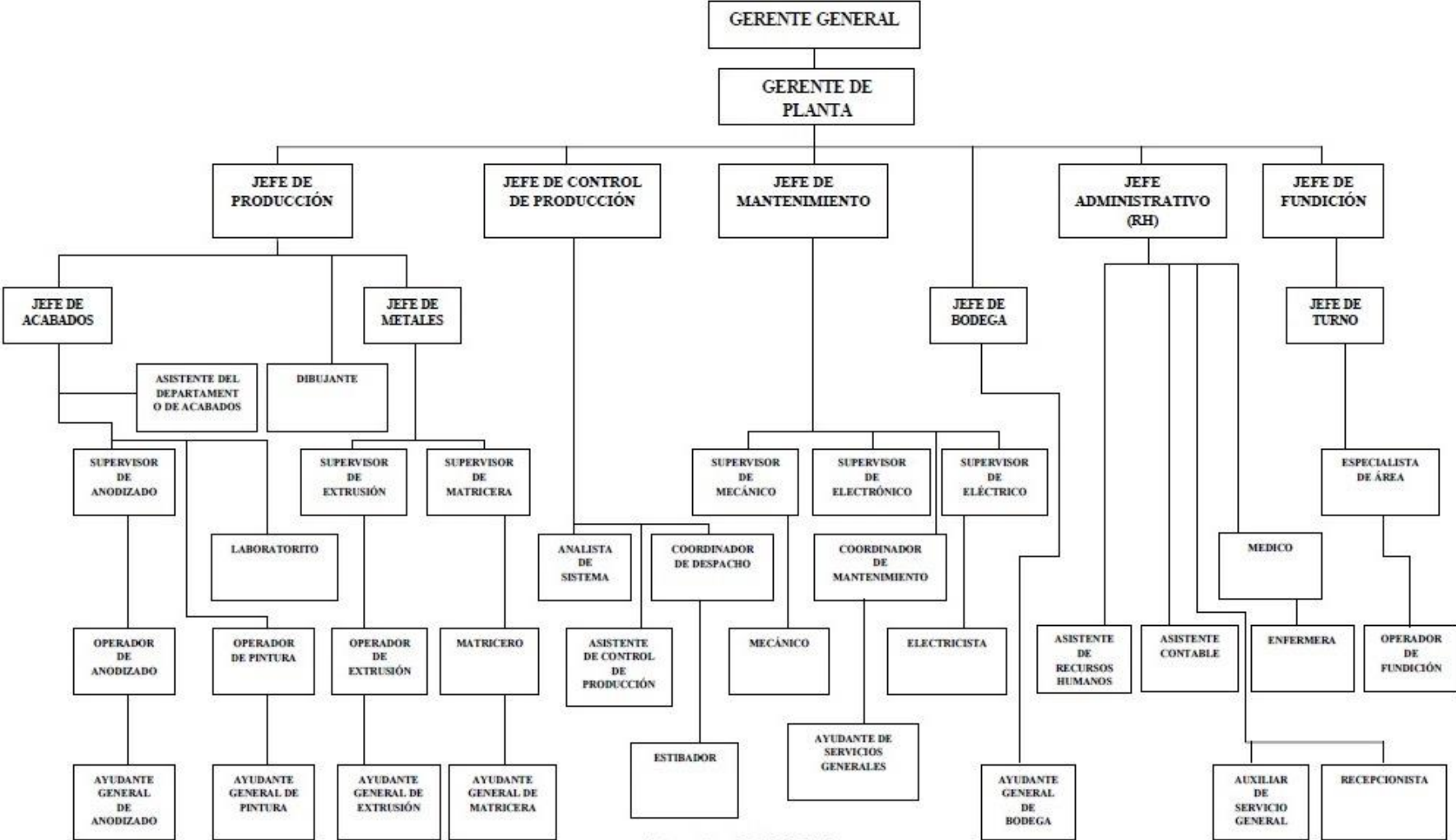
ITEM	EXTRUSION-PRENSA ILOEWY	COSTO DE LA CONSECUENCIA (USD)	% RELATIVO	% ACUMULADO
18	1.1.18-Mesa de salida y enfriamiento	71924,07089	13,24%	13,24%
10	1.1.10-OTG y hornos de lingotes	71378,22759	13,14%	26,39%
20	1.1.20-Sierra de perfiles	62563,82402	11,52%	37,91%
13	1.1.13-Container y herramental	48443,68478	8,92%	46,83%
8	1.1.8-Ram cilindros principales laterales y herramental	33709,75389	6,21%	53,04%
16	1.1.16-Sierra en caliente	32357,62644	5,96%	58,99%
12	1.1.12-Elevador de Billets	30186,46814	5,56%	64,55%
4	1.1.4-Bombas principales	27533,48577	5,07%	69,62%
17	1.1.17-Puller	26864,88679	4,95%	74,57%
19	1.1.19-Estiradora	19033,57196	3,50%	78,08%
7	1.1.7-Retorno del Ram	16578,88219	3,05%	81,13%
27	1.1.27-Elementos hidraulicos y de control	13077,6154	2,41%	83,54%
14	1.1.14-Corredera	12430,41617	2,29%	85,82%
1	1.1.1-Tanque de almacenamiento	10936,25814	2,01%	87,84%
26	1.1.26-Bastidor y estructura de prensa	10717,66863	1,97%	89,81%
5	1.1.5-Bombas piloto y sellamiento	10015,24219	1,84%	91,66%
15	1.1.15-Cizalla de desperdicios y herramental	8818,562143	1,62%	93,28%
25	1.1.25-Control electrónico general	8269,442992	1,52%	94,80%
24	1.1.24-Control eléctrico general	6288,818634	1,16%	95,96%
11	1.1.11-Mesa de salida de tochos	5844,682043	1,08%	97,04%
2	1.1.2-Enfriamiento de aceite	5046,024468	0,93%	97,97%
9	1.1.9-Mesa de alimentación de tochos	3933,957946	0,72%	98,69%
3	1.1.3-Filtrado de aceite	2344,061225	0,43%	99,12%
6	1.1.6-Bomba de supercarga	1317,871225	0,24%	99,37%
21	1.1.21-Horno de matrices Belco	1246,42	0,23%	99,59%
22	1.1.22-Horno de matrices Granco	1100	0,20%	99,80%
23	1.1.23-Tecles	1100	0,20%	100,00%



## ANEXO O: Etapas, objetivos y herramientas utilizadas en el modelo de análisis e criticidad



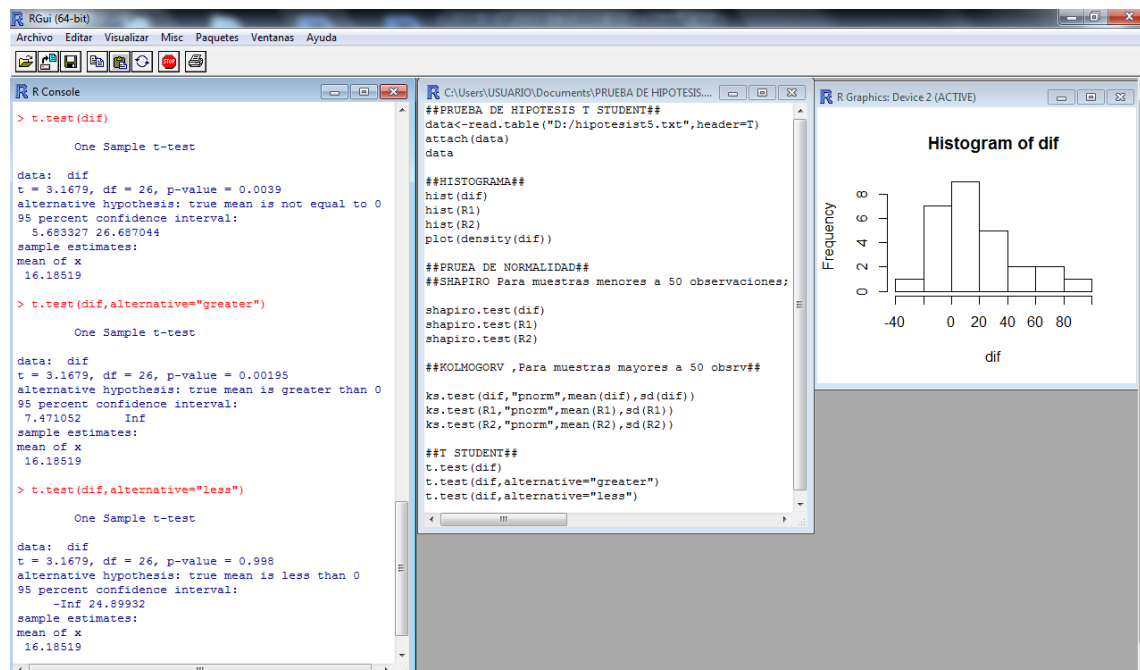
ANEXO P: Organigrama general de la planta.



Fuente: Cedal S.A



## ANEXO Q: Prueba de Hipótesis con programa estadístico R.



```
C:\Users\USUARIO\Documents\PRUEBA DE HIPOTESIS.R...  
##PRUEBA DE HIPOTESIS T STUDENT##  
data<-read.table("D:/hipotesist5.txt",header=T)  
attach(data)  
data  
  
##HISTOGRAMA##  
hist(dif)  
hist(R1)  
hist(R2)  
  
plot(density(dif))  
  
##PRUEA DE NORMALIDAD##  
##SHAPIRO Para muestras menores a 50 observaciones; ha  
  
shapiro.test(dif)  
shapiro.test(R1)  
shapiro.test(R2)  
  
##KOLMOGORV ,Para muestras mayores a 50 obsrv##  
  
ks.test(dif,"pnorm",mean(dif),sd(dif))  
ks.test(R1,"pnorm",mean(R1),sd(R1))  
ks.test(R2,"pnorm",mean(R2),sd(R2))  
  
##T STUDENT##  
t.test(dif)  
  
t.test(dif,alternative="greater")  
  
t.test(dif,alternative="less")
```

```
> ##PRUEBA DE HIPOTESIS T STUDENT##
```

```
> data<-read.table("D:/hipotesis5.txt",header=T)
```

```
> attach(data)
```

The following object(s) are masked from 'data (position 3)':

dif, Eq, R1, R2

The following object(s) are masked from 'data (position 4)':

dif, Eq, R1, R2

```
> data
```

```
Eq R1 R2 dif
```

```
1 1 97 94 -3
2 2 87 99 12
3 3 97 94 -3
4 4 55 79 24
5 5 63 83 21
6 6 97 94 -3
7 7 69 99 30
8 8 79 89 9
9 9 90 89 -2
10 10 22 74 52
11 11 85 83 -1
12 12 43 66 22
13 13 57 74 17
14 14 63 89 26
15 15 79 94 15
16 16 28 89 61
17 17 51 70 18
18 18 7 89 81
19 19 43 94 51
20 20 18 79 61
21 21 97 99 3
22 22 97 99 3
23 23 97 58 -39
24 24 97 89 -8
25 25 90 74 -17
26 26 97 99 3
```

27 27 90 94 4

>

> ##HISTOGRAMA##

> hist(dif)

> hist(R1)

> hist(R2)

> plot(density(dif))

>

> ##PRUEA DE NORMALIDAD##

> ##SHAPIRO Para muestras menores a 50 observaciones; hace relacion con la distribucion normal utilizando el metodo de minimos cuadrados##

>

> shapiro.test(dif)

Shapiro-Wilk normality test

data: dif

W = 0.9416, p-value = 0.1335

> shapiro.test(R1)

Shapiro-Wilk normality test

data: R1

W = 0.8619, p-value = 0.001997

> shapiro.test(R2)

Shapiro-Wilk normality test

data: R2

W = 0.8987, p-value = 0.01249

>

> ##KOLMOGORV ,Para muestras mayores a 50 obsrv##

>

> ks.test(dif,"pnorm",mean(dif),sd(dif))

### One-sample Kolmogorov-Smirnov test

```
data: dif
D = 0.1336, p-value = 0.721
alternative hypothesis: two-sided
```

Mensajes de aviso perdidos

```
In ks.test(dif, "pnorm", mean(dif), sd(dif)) :
ties should not be present for the Kolmogorov-Smirnov test
> ks.test(R1,"pnorm",mean(R1),sd(R1))
```

### One-sample Kolmogorov-Smirnov test

```
data: R1
D = 0.1814, p-value = 0.3364
alternative hypothesis: two-sided
```

Mensajes de aviso perdidos

```
In ks.test(R1, "pnorm", mean(R1), sd(R1)) :
ties should not be present for the Kolmogorov-Smirnov test
> ks.test(R2,"pnorm",mean(R2),sd(R2))
```

### One-sample Kolmogorov-Smirnov test

```
data: R2
D = 0.2211, p-value = 0.1427
alternative hypothesis: two-sided
```

Mensajes de aviso perdidos

```
In ks.test(R2, "pnorm", mean(R2), sd(R2)) :
ties should not be present for the Kolmogorov-Smirnov test
>
> ##T STUDENT##
> t.test(dif)
```

### One Sample t-test

```
data: dif
t = 3.1679, df = 26, p-value = 0.0039
alternative hypothesis: true mean is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 5.683327 26.687044
sample estimates:
mean of x
16.18519

> t.test(dif,alternative="greater")
```

#### One Sample t-test

```
data: dif
t = 3.1679, df = 26, p-value = 0.00195
alternative hypothesis: true mean is greater than 0
95 percent confidence interval:
 7.471052   Inf
sample estimates:
mean of x
16.18519

> t.test(dif,alternative="less")
```

#### One Sample t-test

```
data: dif
t = 3.1679, df = 26, p-value = 0.998
alternative hypothesis: true mean is less than 0
95 percent confidence interval:
 -Inf 24.89932
sample estimates:
mean of x
16.18519
```

ANEXO R: Registro diario de actividades de mantenimiento 2016

Reporte Diario de Mantenimiento Extrusión										
Tipo de Evento:	<input type="text"/>			Departamento:	<input type="text"/>			Fecha		
Personal:	<input type="text"/>			Solicitado por:	<input type="text"/>			Día	Mes	Año
Trabajador:	<input type="text"/>							<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Turno:	<input type="text"/>							<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Hora de Inicio:	Hrs.	Min.	Hora de finalización:			Hrs.	Min.	Tiempo de Parada / Tarea:		
	<input type="text"/>	<input type="text"/>				<input type="text"/>	<input type="text"/>	0:00:00		
Proceso:	<input type="text"/>			Acción Realizada:	<input type="text"/>					
Condiciones de Máquina / Equipo:	<input style="background-color: yellow;" type="text"/>									
Descripción de Falla / Reporte:				Solución / Observaciones de Tarea / No. Solicitud de Rep:						
	Fecha			Hora de Inicio		Hora de fin				
	Mes	Año	Turno	Horas	Minutos	Horas	Minutos	Tiempo de Parada / Tarea	Departamento	Descripción de Falla / Tarea
	1	2016	1m.	5:00:00	0:00:00	5:00:00	0:25:00	0:40:00	Extrusión	NO GIRAN BANDAS DE AVANCE
	1	2016	1m.	3:00:00	0:00:00	3:00:00	0:22:00	1:00:00	Extrusión	NO SE ABRE CONTAINER MICRO ROTO
	1	2016	3m.	15:00:00	0:00:00	21:00:00	0:00:00	0:50:00	Extrusión	PULLER NO TRABAJAN LAS MORDAZAS Y LOS DEDOS, CORREDERA Y ELEVADORES NO TRABAJAN
	1	2016	1m.	6:00:00	0:00:00	7:00:00	0:00:00	1:00:00	Extrusión	SISTEMA HIDRÁULICO
	1	2016	3m.	16:00:00	0:00:00	16:00:00	0:10:00	1:00:00	Extrusión	CIZALLA DE LINGOTES
	2	2016	3m.	17:00:00	0:58:00	18:00:00	0:20:00	0:40:00	Extrusión	FUGA DE ACEITE POR TUBERÍA DEL CILINDRO LATERAL DEL CONTAINER
	2	2016	3m.	17:00:00	0:40:00	18:00:00	0:10:00	2:00:00	Extrusión	ELEVADOR DE TOCHOS
	2	2016	3m.	16:00:00	0:30:00	16:00:00	0:40:00	0:30:00	Extrusión	HORNO TOCHOS
	2	2016	3m.	15:00:00	0:40:00	15:00:00	0:50:00	2:00:00	Extrusión	ELEVADOR DE TOCHOS
	2	2016	1m.	6:00:00	0:00:00	7:00:00	0:00:00	2:00:00	Extrusión	TOCHO QUEDA DENTRO DE CONTAINER
	2	2016	2do.	11:00:00	0:30:00	11:00:00	0:40:00	2:00:00	Extrusión	CORREDERA
	2	2016	1m.	4:00:00	0:00:00	4:00:00	0:10:00	1:00:00	Extrusión	BOMBAS PRINCIPALES
	3	2016	2do.	8:00:00	0:20:00	8:00:00	0:35:00	1:00:00	Extrusión	VÁLVULA DE AIRE NO FUNCIONA

**ANEXO S: Indicadores de gestión de planta**

<b>REVISIÓN SEMANAL INDICADORES DE GESTIÓN PLANTA</b>											
<b>(JUNIO) Semana 26 DE 52 DEL 2016</b>											
<b>PRODUCCIÓN</b>		Fundición	Extrusión	Anodizado	Pintura	<b>TOTAL</b>					
2	EFICIENCIA GLOBAL DE MAQUINAS SEMANAL (t real útil/t plan útil)	Totales	88,0	96,0	64,0	96,0	344,0				
		Meta	98,0%	95,0%	85,0%	90,0%	92,0%				
		H. Para	0,00	0,33	0,13	0,30	0,76				
	%	100,0%	99,7%	99,8%	99,7%	99,8%					
2	EFICIENCIA GLOBAL DE MAQUINAS MENSUAL (t real útil/t plan útil)	Totales	600,0	569,0	488,0	560,0	2217,0				
		H. Para	0,3	1,7	0,6	1,0	3,5				
		%	100,0%	99,7%	99,9%	99,8%	99,8%				
<b>MANTENIMIENTO</b>		Fundición	Extrusión	Anodizado	Pintura	<b>TOTAL</b>					
1	CUMPLIMIENTO DE PLAN SEMANAL (Tareas)	Plan	5	5	4	3	17				
		Real	5	5	4	3	17				
		Cump.	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%				
1	CUMPLIMIENTO DE PLAN MENSUAL (Tareas)	Plan	296	348	318	167	1129				
		Real	278	326	290	153	1047				
		Cump.	93,9%	93,7%	91,2%	91,6%	92,7%				
2	PARA POR MANTENIMIENTO SEMANAL	Totales	88,0	96,0	64,0	96,0	344,0				
		H. Para	0,00	2,20	1,57	1,00	4,77				
		%	0,00%	2,29%	2,45%	1,04%	1,39%				
2	PARA POR MANTENIMIENTO MENSUAL	Totales	600,0	569,0	488,0	560,0	2217,0				
		H. Para	3,00	17,68	9,61	5,00	35,29				
		%	0,50%	3,11%	1,97%	0,89%	1,59%				
		Fundición (mecánico)	Extrusión (mecánico)	Anodizado (mecánico)	Pintura (mecánico)	Empaque (mecánico)	Planta general (Eléctrico)	Planta general (Electrónico)	Servicios Generales	<b>TOTAL</b>	
2	CUMPLIMIENTO DE PLAN PREVENTIVO (Actividades)	Plan	116	149	120	14	6	64	42	16	527
		Acum	111	137	111	13	5	60	42	15	494
		Cump.	95,7%	91,9%	92,5%	92,9%	83,3%	93,8%	100,0%	93,8%	93,7%

<b>DATOS SIP</b>					
<b>HORAS DE PARADA PRENSAS</b>					
pruebas	matric	varios	oper.	acum	
p1			0,0	0,0	
p2			0,0	0,0	
p1 + p2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
acum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>PARAS - SIP</b>					acum
P1	0,0%	0,0%	0,0%		0,0
P2	0,0%	0,0%	0,0%		0,0
Fundición	0,0%	0,0%	0,0%		0,0
Anodizado	0,0%	0,0%	0,0%		0,0
Pintura	0,0%	0,0%	0,0%		0,0
			0,0	0,00%	
SIP prod	0,0		flash	log r.	
Mtto	2,2		P1		
TOTAL	2,2		P2		
SIP PARAS	0,3		P1 , P2	0,00	0,00
dif = SIP-Mtto	-1,9				

## ANEXO T: Registro de control de paradas Enero 2016

### CONTROL DE PARAS - MANTENIMIENTO MES DE ENERO - 2016

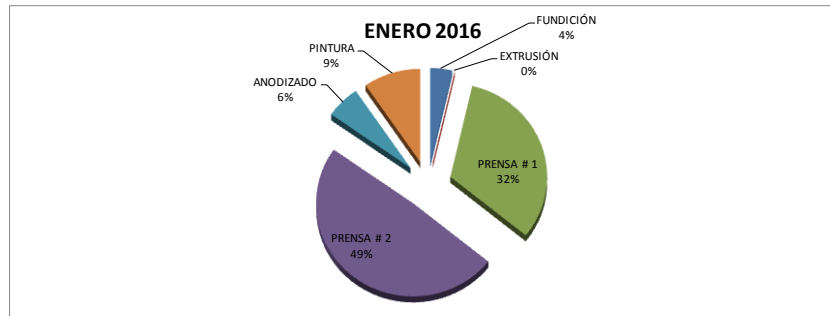
MAQUINA/ EQUIPO	PARAS MTTO	PARAS MTTO	PARAS PROD.	PARAS PROD.	HORAS PARADA TOTAL	HORAS TRABAJADAS	% PARAS	COSTO DE PARADAS
FUNDICIÓN	4:15:00	4,25	0:00:00	0,00	4,25	616,00	2,7%	34.999
EXTRUSIÓN								
PRENSA # 1	1:20:00	25,33	19:42:00	19,70	45,03	357,50	23,6%	110.701
PRENSA # 2	8:55:00	8,92	4:08:00	28,13	37,05	357,50	35,9%	
ANODIZADO	12:08:00	12,13	18:59:10	18,99	31,12	472,00	4,2%	87.199
PINTURA	13:00:00	13,00	6:35:00	6,58	19,58	602,00	7,0%	10.453

Total de horas semanal / flash - Ling **63:38:00** **63,63** **73:24:10** **73,40** **137,04** **2.405** **2,65%** **\$ 243.352**

PARAS MTTO	PARAS OPERATIVAS	PARAS TOTALES
0,69%	0,00%	0,69%
7,09%	5,51%	5,51%
2,49%	7,87%	7,87%
2,57%	4,02%	4,02%
2,16%	1,09%	1,09%
2,65%	3,05%	5,70%

\$ 91.974.17  
VALOR DE 1% DE PARADA

DISPONIBILIDAD 94,30%



DISPONIBILIDAD MTTO	DISPONIBILIDAD OPERATIVAS	DISPONIBILIDAD TOTALES
99,31%	100,00%	99,31%
95,21%	93,31%	88,52%
92,91%	94,49%	94,49%
97,51%	92,13%	92,13%
97,43%	95,98%	95,98%
97,841%	98,91%	98,906%
97,35%	96,95%	94,30%