

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**MEJORA DE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE  
UNA PLANTA CONCENTRADORA**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO**

**CARLOS ALEXANDER, IBAÑEZ AMBROSIO**

**PROMOCION 2 008-I**

**LIMA-PERU**

**2 014**

# INDICE

PRÓLOGO .....	1
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivo específico.....	4
1.3. Justificación .....	4
1.4. Alcance.....	5
1.5. Limitaciones.....	5
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>7</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1 Indicadores de gestión.....	7
2.1.1. Balanced Scorecard.....	8
2.1.2. Estructura del BSC .....	9
2.1.2.1. Perspectiva financiera.....	9
2.1.2.2. Perspectiva del cliente .....	9
2.1.2.3. Perspectiva interna .....	10
2.1.2.4. Perspectiva de aprendizaje y crecimiento .....	10
2.1.3. Cuadro de mando .....	10
2.2. Análisis de la criticidad.....	12
2.3. Costo de vida útil de los equipos (LCC) .....	20
2.4. Análisis de la confiabilidad.....	21
2.4.1. Confiabilidad.....	21
2.4.2. Medidas de tendencia central .....	23
2.4.3. Modelos de confiabilidad.....	24
2.5. Mantenimiento centrado en la confiabilidad .....	26
2.5.1. Definición del mantenimiento centrado en la confiabilidad .....	26
2.5.2. Las siete preguntas básicas.....	26
2.5.3. Funciones .....	27
2.5.3.1. Funciones primaria .....	27

2.5.3.2. Funciones secundarias .....	28
2.5.4. Falla funcional.....	29
2.5.5. Modo de falla .....	29
2.5.6. Efecto de falla .....	29
2.5.6. Consecuencia .....	31
2.5.7. Lógica de decisiones .....	33
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>37</b>
<b>DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....</b>	<b>37</b>
3.1. Descripción del proceso de producción .....	38
3.1.1. Chancado .....	38
3.1.1.1. Chancado primario.....	39
3.1.1.2. Chancado secundario.....	39
3.1.1.3. Chancado terciario.....	40
3.1.2. Molienda .....	40
3.1.3. Flotación .....	41
3.1.4. Espesado y filtrado .....	42
3.2. Proceso de mantenimiento actual.....	43
3.2.1. Identificación de trabajo .....	44
3.2.2. Planificación.....	44
3.2.3. Programación .....	45
3.2.4. Ejecución de trabajos.....	45
3.2.5. Completado y cierre del trabajo .....	45
3.2.6. Análisis de información .....	45
3.3. Confiabilidad de la planta concentradora .....	46
3.4. Diagnóstico de la situación actual.....	73
3.5. Análisis de la situación actual .....	76
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>79</b>
<b>SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL .....</b>	<b>79</b>
4.1. Etapa de indicadores técnicos/ financieros (Balanced Scorecard (BSC)).....	82
4.1.1. Procesos de la etapa de indicadores técnicos/ financieros.....	82
4.1.1.1. Análisis de datos .....	82
4.1.1.2. Impacto en el negocio.....	82

4.1.1.3. Evaluación de indicadores .....	83
4.1.2. Balanced scorecard (BSC).....	83
4.2. Etapa estrategia de confiabilidad .....	92
4.2.1. Mantenimiento centrado en la confiabilidad .....	92
4.2.1.1. Formación de grupo de optimización de la confiabilidad .....	92
4.2.1.2. Análisis de la criticidad .....	94
4.2.1.3. Definición de las funciones .....	105
4.2.1.4. Determinación de fallas funcionales.....	105
4.2.1.5. Identificación de los modos de falla.....	106
4.2.1.6. Análisis de los efectos de la fallas .....	106
4.2.1.7. Análisis de las consecuencias de las fallas .....	106
4.2.1.8. Selección de las estrategias y procedimientos de mantenimiento .....	108
4.2.2. Análisis del costo de vida útil.....	150
4.2.3. Estrategias.....	151
 <b>CAPÍTULO V .....</b>	 <b>156</b>
<b>RESULTADO DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD</b>	
<b>OPERACIONAL .....</b>	<b>156</b>
5.1. Rentabilidad en la implementación .....	156
5.2. Costo de ciclo de vida.....	159
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>163</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>165</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>166</b>

## PRÓLOGO

El trabajo de emergencia es una cultura que guía hacia un espiral de equipos pobremente mantenidos que llevan a más emergencias, las cuales influyen en el tiempo de mantenimiento y la confiabilidad. El presente informe propone un modelo de sistema de gestión de mantenimiento sobre la base de una reorganización de los procesos actuales de este modelo con el fin de incrementar la confiabilidad. Este se desarrollará en cinco capítulos.

El **capítulo 1** muestra la introducción del informe. Se describen los antecedentes, los objetivos, la justificación y los alcances del presente trabajo.

El **capítulo 2** muestra los conceptos, las definiciones y los modelos que utilizaremos para implementar los procesos de optimización de la confiabilidad.

El **capítulo 3** presenta el diagnóstico y el análisis de la situación actual de la empresa Castrovirreyna Compañía Minera S.A., a través de la descripción del proceso de producción, el proceso de mantenimiento actual y la confiabilidad de los equipos de la planta concentradora.

El **capítulo 4** detalla el desarrollo de la implementación de los procesos complementarios para optimizar la confiabilidad a través del BALANCED SCORECARD (BSC) y el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

El **capítulo 5** presenta los resultados de la implementación de los procesos complementarios por medio del costo del ciclo de vida y la factibilidad de la evaluación.

# CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes

Durante el año 2013, la meta de la operación de planta concentradora de la empresa Castrovirreyna Compañía Minera S.A. fue procesar 1800 TM/Día de mineral que contienen Au/Ag/Pb; sin embargo, la producción promedio fue 1634 TM/Día debido a las continuas paradas de los equipos de la planta concentradora.

Para que sea rentable la empresa, los ejecutivos se trazan como meta procesar el mineral a la capacidad que fue diseñado (1800 TM/Día). Por ello, para cumplir con dicha meta, se debe cambiar el paradigma de gestión de mantenimiento de un enfoque correctivo a un enfoque proactivo. Esto se logra mediante la implementación de procesos de mantenimiento complementarios, los cuales están orientados a fallos inesperados que interrumpen las operaciones. Este hecho provoca pérdidas de seguridad de las personas, del medio ambiente y procesos a través de la mitigación por medio de la detección de fallas inminentes en sus fases más prematuras. De esa manera, se intenta aminorar las consecuencias de posibles eventos; además, se pretende eliminar dichas fallas por medio de la detección de la falla potencial

mediante el monitoreo de signos como el calor, la vibración, los sonidos, los ultrasonidos, etc.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Implementar procesos de mantenimiento complementarios que aseguren que la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos de la planta concentradora se encuentren dentro de los parámetros adecuados y sostenibles en el tiempo, a través de la interrelación con los procesos de mantenimiento actual.

### **1.2.2.Objetivo específico**

- Reducir los riesgos medioambientales y de seguridad a un nivel aceptable
- Mejorar la calidad del concentrado como producto final
- Alcanzar una mayor eficiencia del mantenimiento por medio de la reducción de trabajos rutinarios, mayor planificación en la compra de repuestos y de materiales
- Incrementar la vida útil de los equipos

## **1.3. Justificación**

Los equipos que conforman cada proceso de producción de la planta concentradora (chancado, molienda, flotación, espesado y filtrado) se encuentran instalados en serie y no cuentan, excepto las bombas de pulpa, con un equipo de resguardo (STANDBY). Esto se debe al alto costo de adquisición. Si un equipo está inoperativo, se paraliza el proceso que

realizaba este, lo cual influye negativamente en la facturación, ya que no solo la producción se ve reducida, sino también la baja calidad del concentrado.

Por esta razón, el área de mantenimiento debe proponer y realizar mejoras en el proceso. Algunas de estas son las siguientes: implantar estrategias eficaces, contratación de personal idóneo y capacitar a los colaboradores con el objetivo de asegurar que, durante la operación, los equipos realicen la función para la cual fueron diseñados.+

#### **1.4. Alcance**

El presente informe tiene como base la adición de procesos de confiabilidad en el sistema de gestión de mantenimiento actual. Este sistema actual presenta los procesos de identificación de trabajo, planificación, programación, ejecución y análisis de datos. Este informe tiene alcance a los sistemas de gestión de mantenimiento que presenten los procesos del sistema de gestión de mantenimiento actual de empresa Castrovirreyna Compañía Minera SA.

#### **1.5. Limitaciones**

- Los datos obtenidos para la simulación del modelamiento de a confiabilidad de los equipos de la planta concentradora es de un año, debido a que no se cuenta con la información de años anteriores.
- No se cuenta con la información económica para realizar un análisis de costo-beneficio más real, puesto que se carece de confidencialidad. Los costos que se mencionarán serán referénciales.

-La implementación servirá para sistemas de gestión que tienen como procesos la identificación de trabajo, planeamiento, programación, ejecución, cierre de orden y análisis de información.

## **CAPITULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Indicadores de gestión**

Actualmente, dentro del contexto de la búsqueda del aumento de la calidad, la productividad y la competitividad de las organizaciones, el área de mantenimiento se ve involucrada también en menor o mayor grado – dependiendo del liderazgo visionario– en tratar de identificar y aplicar herramientas o estrategias de gestión que ayuden a mejorar los resultados del proceso de mantenimiento, con el fin de contribuir con el logro de los objetivos financieros de la empresa. Sin embargo, en nuestra trayectoria profesional, en cual hemos tenido la oportunidad de conocer organizaciones de diferentes rubros, hemos evidenciado que en la mayoría de estas, los esfuerzos de mantenimiento se diluyen entre varias aplicaciones (RCM, IBR, ISO, OHSAS, etc.) u estrategias desalineadas y no enfocadas con los objetivos y estrategias globales de la empresa. Esto genera un gran desorden en el proceso de mantenimiento, ya que no existe una visión y estrategia adecuadas para la empresa.

En estos casos, existen también dificultades para poner en práctica, de manera adecuada, las estrategias formuladas anteriormente. Esto se debe a

que no se emplean las herramientas precisas para medirla o porque no existe un seguimiento adecuado de los avances de la aplicación del plan, si es que este existe.

En resumen, se trata de emplear un sistema de medición con el fin de poder medir correctamente la performance del mantenimiento. En el universo empresarial, existen diversos sistemas que sirven a ese propósito. No obstante, dentro de esta gran variedad de sistemas probados, se desea presentar al Balanced Scorecard. Este sistema de medición es el que más éxito ha tenido en los últimos doce años; por eso, ha sido ampliamente difundido a nivel mundial con el fin de medir la estrategia empleada para gestionarla.

### **2.1.1. Balanced Scorecard**

Es un sistema originalmente desarrollado para la medición de los procesos financieros, el cual se ha convertido en un reconocido sistema integral de gestión del desempeño. La aportación de los creadores del BSC, Robert Kaplan y David Norton, se centra sobre la estructuración de los criterios que deben seguirse en la elaboración del cuadro de mando empresarial.

Para Howard Rohm, del Balanced Scorecard Institute de EE.UU, el BSC es un sistema de administración de desempeño que pueda utilizarse en cualquier organización, grande o pequeña, para alinear la visión y misión con los requerimiento del cliente, las tareas diarias, la administración de las estrategias del negocio y el monitoreo.

### **2.1.2. Estructura del BSC**

La estructura del BSC se caracteriza por proporcionar un marco para considerar la estrategia utilizada desde cuatro perspectivas diferentes: financiera, de cliente, proceso interno, aprendizaje y crecimiento, tal como muestra la figura 2.1.

Estas perspectivas son las más comunes, porque son aplicables en un gran número de empresas con el fin de organizar el modelo de negocio y estructurar los indicadores y la información.

#### **2.1.2.1. Perspectiva financiera**

Incorpora la visión de los accionistas y mide la creación de valor de la empresa. Responde a la siguiente pregunta: ¿qué indicadores deben considerarse para que los esfuerzos de la empresa realmente se transformen en valor? Esta perspectiva se relaciona con la estrategia del crecimiento, la rentabilidad y el riesgo, vista desde la perspectiva de los accionistas.

#### **2.1.2.2. Perspectiva del cliente**

Refleja el posicionamiento de la empresa en el mercado o mercados donde se quiere competir. Está relacionada con la estrategia para crear valor y diferencia desde la perspectiva del cliente. Por ejemplo, si una empresa sigue una estrategia de costos, es muy posible que su éxito dependa de una cuota de mercado alta y unos precios más bajos. Por eso, dos indicadores que reflejan este posicionamiento son la cuota de mercado y un índice que compare los precios de la empresa con los precios de la competencia.

### **2.1.2.3. Perspectiva interna**

Recoge indicadores de proceso interno que son críticos para el posicionamiento en el mercado con el objetivo de realizar de manera adecuada la estrategia. Se relaciona con las prioridades estratégicas de los distintos procesos internos que crean satisfacción de los clientes y accionistas. En caso de la empresa que compite en costos, posiblemente, los indicadores de productividad, calidad e innovación de procesos sean importantes.

### **2.1.2.4. Perspectiva de aprendizaje y crecimiento**

Es la perspectiva que presenta la mayor importancia. Para cualquier estrategia, los recursos materiales y, sobretodo, los recursos humanos son la clave del éxito. Sin embargo, sin un modelo de negocio apropiado, muchas veces es difícil apreciar la importancia de invertir; por ello, en épocas de crisis, lo primero que se reduce es, precisamente, la fuente primaria de creación de valor. Esta perspectiva es la más relevante para crear un clima de apoyo al cambio, la innovación y el crecimiento de la organización.

### **2.1.3. Cuadro de mando**

El cuadro de mando del BSC señala un conjunto de indicadores para cada perspectiva analizada como se observa en la figura 2.2.

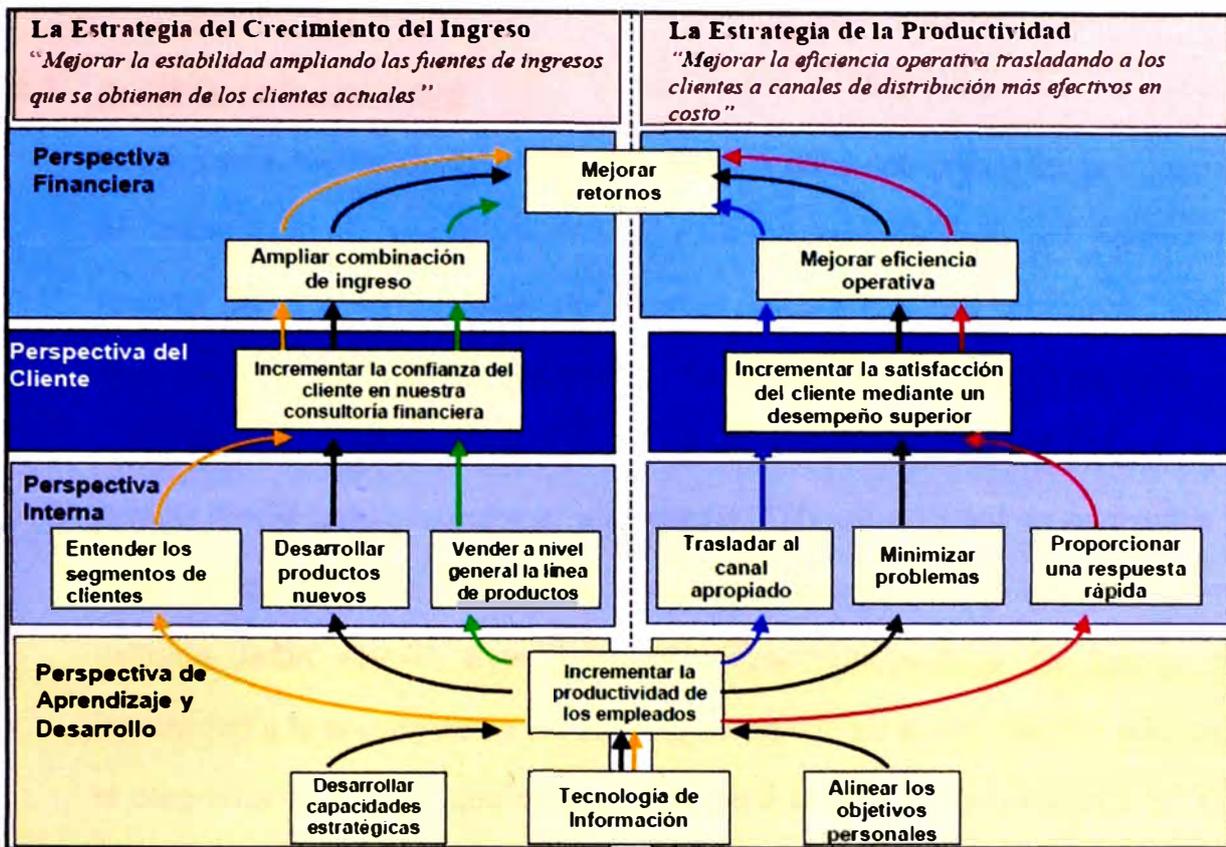


Figura 2.1. Estructura del BSC

Mapa Estratégico	Objetivos	Mediciones/ Indicadores	Línea de Base N	Metas (Año N+1)	Iniciativas/ Estrategias
	Aumentar la Rentabilidad	RSI	10%	14% anual	Implantar costos ABC
	Mejorar la satisfacción del cliente	Compras repetidas	30%	60%	Programa de calidad De fidelización
	Modernizar el proceso de producción	% del proyecto avanzado	n.d.	60% el primer año	Programa de instalación
	Desarrollar competencias del personal en TI	Prueba de habilidad estructurada	25%	50% Año 1 75% Año 2	Plan capacitación para todos

Figura 2.2. Cuadro de mando

## **2.2. Análisis de la criticidad**

El diagrama de Pareto se utiliza comúnmente para determinar las prioridades de mantenimiento por la clasificación de códigos de falla del equipo en función de su contribución de relativa inactividad. No obstante, estos diagramas no se identifican fácilmente. Las variables dominantes que influyen en el tiempo inoperativo del equipo; es decir, la frecuencia de fracaso y el tiempo medio para restaurar el servicio (MTTR), se encuentran asociadas a cada código de error. Con dicha necesidad, avanza un método alternativo llamado JACK KNIFE. Este presenta como fin el análisis del tiempo de inactividad y la preservación del *ranking* contenido de la información adicional al diagrama de Pareto, que ofrece respecto a la falta la frecuencias y MTTR. Mediante la aplicación de los valores límite, los diagramas de dispersión de registro se pueden dividir en cuatro cuadrantes, los cuales permiten fallos que se clasifican de acuerdo con características agudas o crónicas y que facilitan el análisis de causa raíz. Además, los gráficos identifican, fácilmente, los problemas que afectan a la fiabilidad del sistema, disponibilidad y facilidad de mantenimiento.

En la tabla 2.1, se muestra una lista de DOWNTIME no planificados de un equipo cualquiera.

Code	Description	Quantity	Duration (min)	% Time	% Cum.
1	Electrical inspections	30	1015	13.0	13.0
2	Damaged feeder cable	15	785	10.1	23.1
11	Motor over temperature	36	745	9.6	32.6
3	Change of substation or shovel move	27	690	8.8	41.5
10	Overload relay	23	685	8.8	50.3
7	Auxiliary motors	13	600	7.7	58.0
12	Earth faults	7	575	7.4	65.3
8	Main motors	12	555	7.1	72.5
5	Power cuts to substations	21	395	5.1	77.5
15	Air compressor	8	355	4.6	82.1
6	Rope limit protection	10	277	3.6	85.6
9	Lighting system	26	240	3.1	88.7
4	Coupling repairs or checks	15	225	2.9	91.6
17	Over current faults	6	220	2.8	94.4
14	Control system	7	165	2.1	96.5
16	Operator controls	5	155	2.0	98.5
13	Miscellaneous	9	115	1.5	100
	<b>TOTAL</b>	<b>270</b>	<b>7797</b>	<b>100</b>	

Tabla 2.1. DOWNTIME No planificados

En la figura 2.2., se muestra el histograma de Pareto con las fallas no planificadas y ordenadas descendientemente sobre la base de su contribución de DOWNTIME.

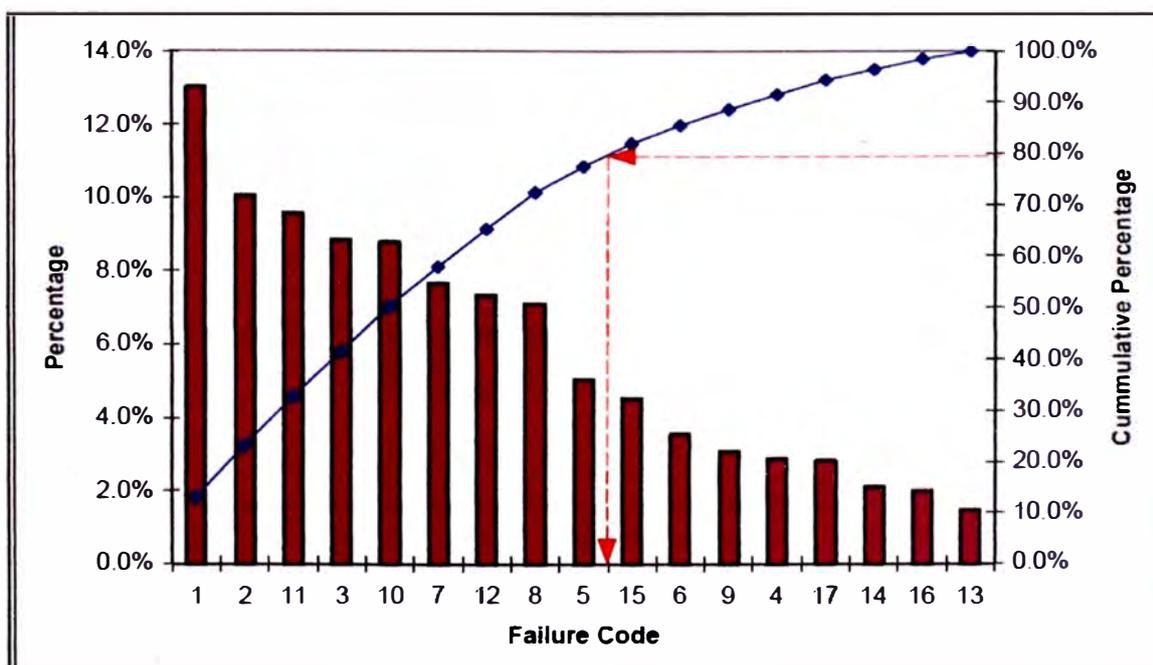


Figura 2.3. Histograma de Pareto

De la regla 80:20, es evidente que las fallas prioritarias tienen códigos 1, 2, 11, 3, 10, 7, 12, 8, 5 y 15. Sin embargo, el DOWNTIME de mantenimiento puede ser obtenido de la ecuación siguiente:

$$\text{Downtime}_i = n_i \times \text{MTTR}_i \quad (1)$$

En la figura 2.4, se representa de forma alternativa los datos de la falla de la tabla 2.2, para lo cual se ha considerado la frecuencia de fallas versus el MTTR mediante el trazo de líneas de DOWNTIME (DT) constantes, las cuales se visualizan como hipérbolas.

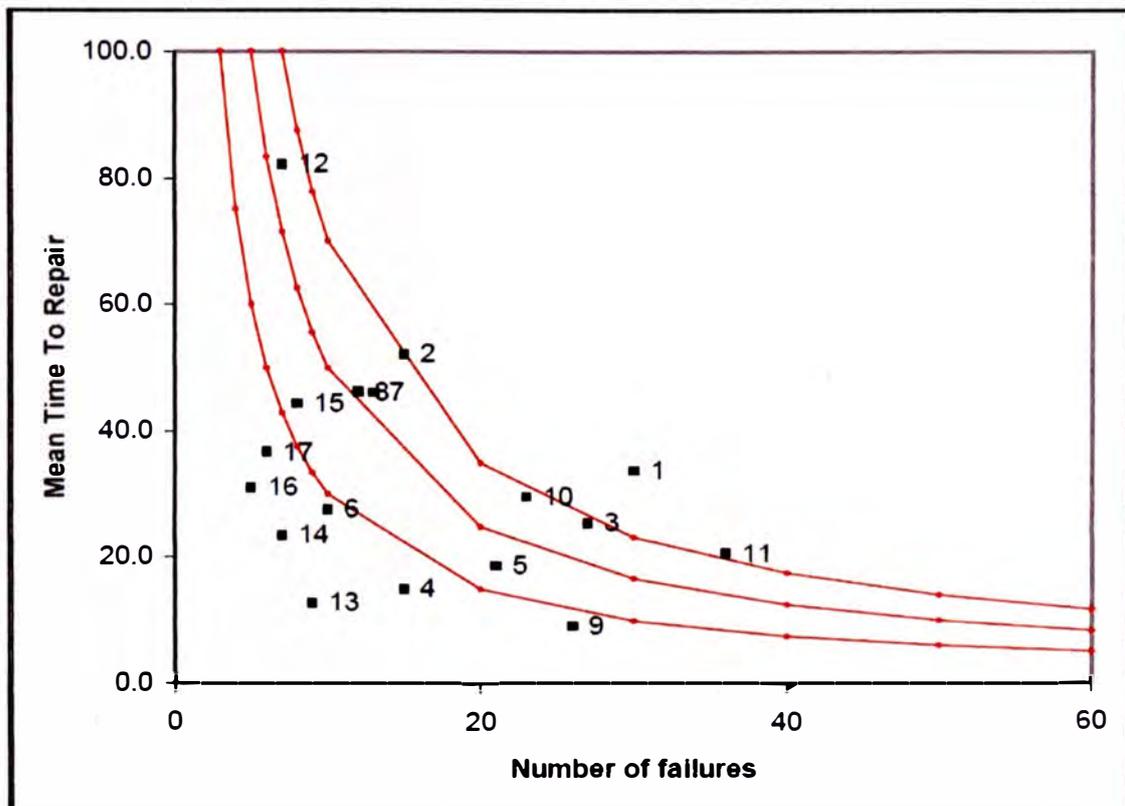


Figura 2.4. Curva de dispersión de n vs MTTR

Una desventaja de las curvas de DOWNTIME, constante de forma hiperbólica, es que puede ser un tanto complicada su elaboración. Una forma más conveniente es graficarlas en una hoja con ambos ejes en escala logarítmica.

$$\log(\text{Downtime}) = \log(n) + \log(\text{MTTR}) \quad (2)$$

Las curvas hiperbólicas de DOWNTIME contante ahora aparecerán como líneas rectas de pendiente negativa como lo muestra la figura 2.5.

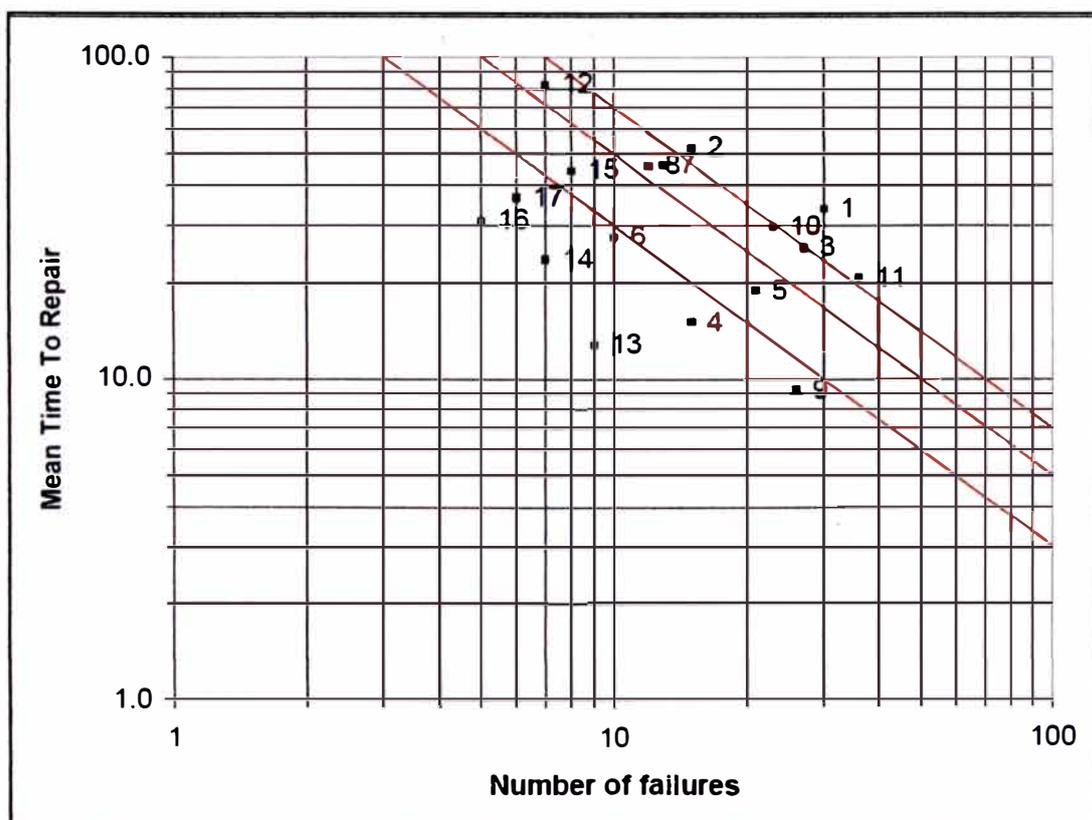


Figura 2.5. Dispersión logarítmica de n vs MTTR

Las reparaciones que requieren DOWNTIME grandes pueden ser consideradas como problemas agudos. Aquellas que ocurren,

frecuentemente, y tiene un "n" alto pueden ser consideradas problemas crónicos. Para una mejor clasificación, este mapa puede ser dividido en cuatro cuadrantes, tal como se muestra en la figura 2.6.

Para la división del grafico en cuadrantes, se requiere de valores límites o de fronteras que, de acuerdo a las políticas de la empresa, permitan definir las regiones (agudas, crónicas, agudas y crónicas) e indicar la ubicación de las fallas en las mismas. Claro está que estos valores límites pueden variar de una organización a otra; sin embargo, en este ejemplo, se utiliza el MTTR promedio (línea horizontal) y la frecuencia de la falla promedio (línea vertical).

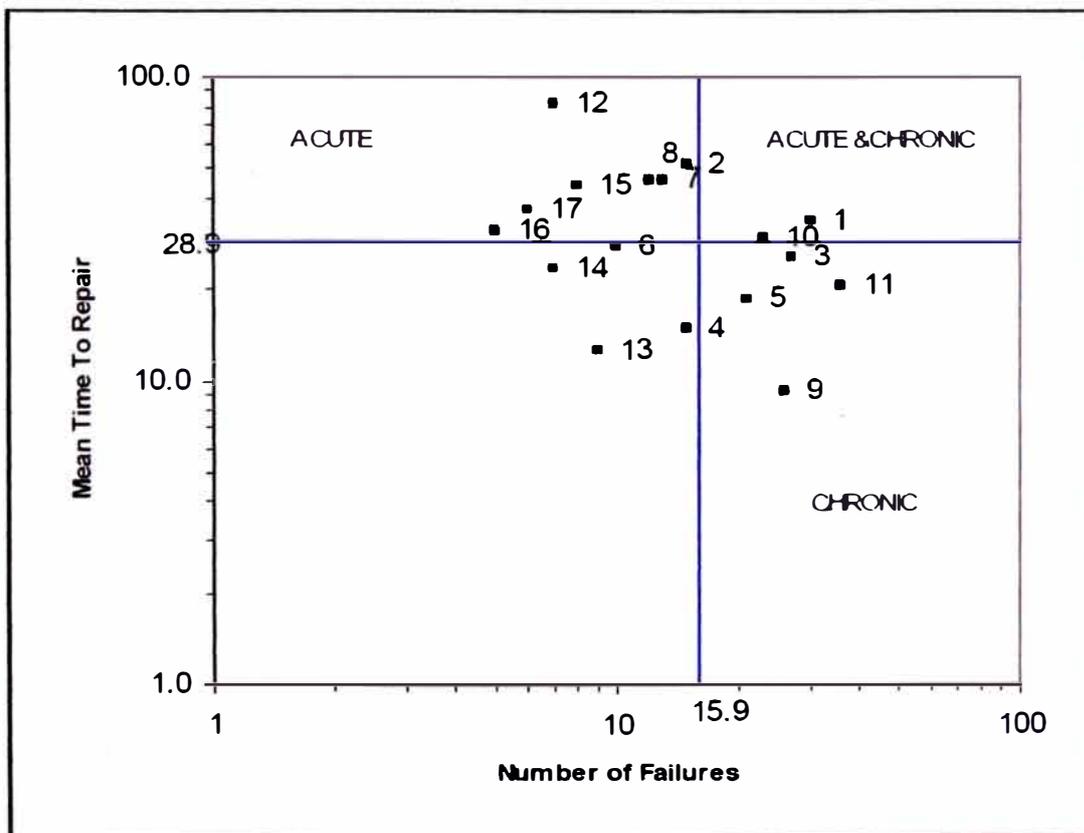


Figura 2.6. Dispersión logarítmico con límites

El DOWNTIME total se puede obtener de la siguiente expresión:

$$D = \sum \text{DOWNTIME}_i \quad (3)$$

El número total de fallas se determina de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$N = \sum n_i \quad (4)$$

Los límites en el MTTR promedio se utilizan como fronteras horizontales y se estima como se muestra a continuación:

$$\text{Limit TTR} = \frac{D}{N} \quad (5)$$

Las fallas son la frecuencia de fallas promedio, la cual es utilizada como la frontera vertical, se estimó como se presenta a continuación:

$$\text{Limitn} = \frac{N}{Q} \quad (6)$$

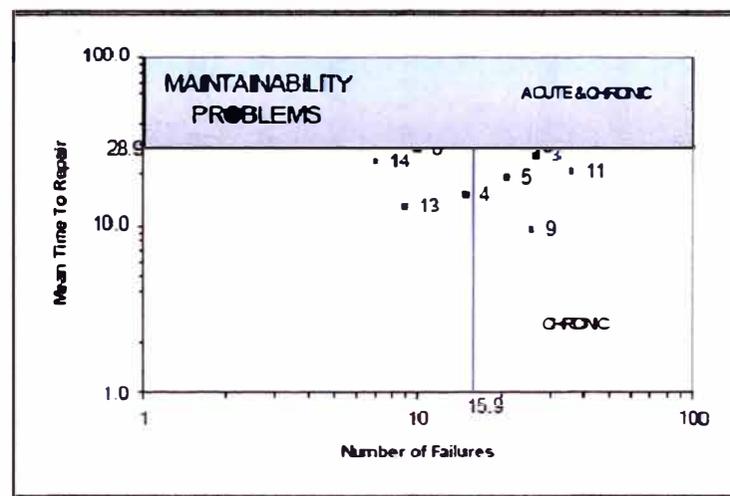
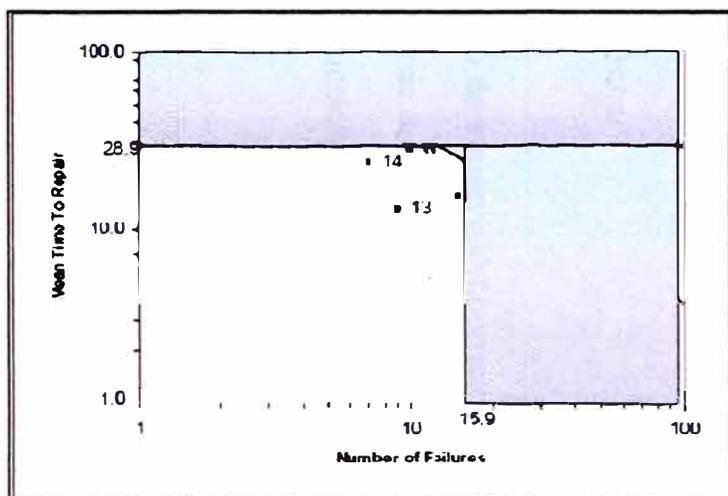
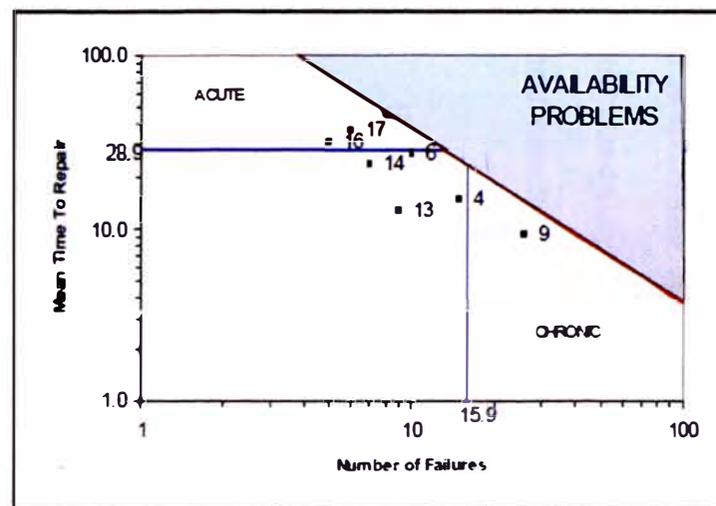
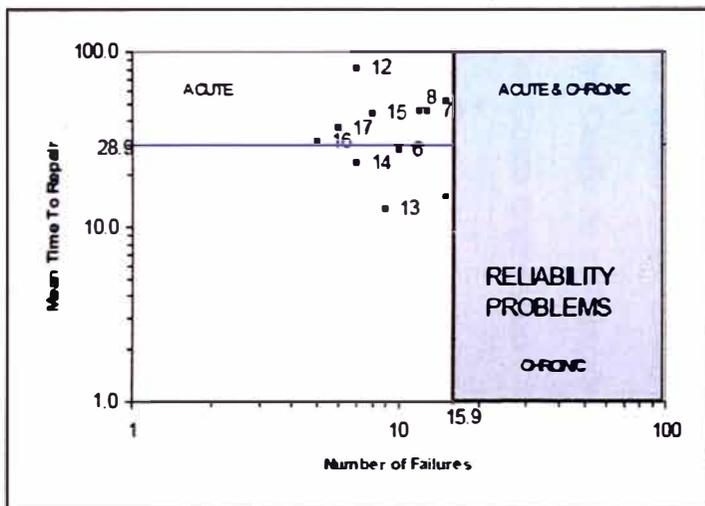
En esta fórmula, Q es la cantidad de modos de falla. Según la tabla 2.1, obtenemos  $D=7797$  minutos,  $N=270$  y  $Q=17$ . Por lo tanto, el valor límite para las fallas agudas es  $7797/270=28,9$  minutos y el valor límite para las fallas crónicas es  $270/17=15.9$  reparaciones.

Por último, se determina las fronteras para la disponibilidad. Aquí se ha toma como frontera el DOWNTIME correspondiente a la falla del compresor de aire de la tabla 2.1, ya que, según Pareto, es el modo de falla con el cual

se alcanza el 80% del DOWNTIEM (DT=277). Encontrando soluciones a las fallas, esta región logrará incrementar la disponibilidad del sistema.

El efecto de las fallas críticas y crónicas en la disponibilidad, la mantenibilidad y la confiabilidad se muestran en la figura 2.7.

Figura 2.7. Gráfica de influencia de las fallas agudas y fallas crónicas



### **2.3. Costo de vida útil de los equipos (LCC)**

El análisis del costo del ciclo de vida (LCC) es una herramienta de gestión que pueda ayudar a las empresas a minimizar las pérdidas y maximizar el rendimiento energético de muchos tipos de sistemas, equipos y componentes.

El costo de vida de cualquier equipo es el costo total de toda su vida, la cual incluye la compra, la instalación, el funcionamiento, el mantenimiento y la retirada de dicho equipo. Determinar este costo implica seguir una metodología que identifica y cuantifica todos los componentes que forman la ecuación de este.

Dicha ecuación puede enunciarse de la siguiente manera:

$$\text{LCC} = \text{Cic} + \text{Cin} + \text{Ce} + \text{Co} + \text{Cm} + \text{Cs} + \text{Camb} + \text{Cd} \quad (6)$$

Cic: Costo inicial, costo de compra

Cin: Costo de instalación y puesta en marcha

Ce: Costo energético

Co: Costo de operación (Costo de trabajo de supervisión normal del sistema)

Cm: Costo de mantenimiento (piezas, horas de mano de obra, servicio)

Cs: Costo de averías o pérdidas de producción

Camb: Costos medioambientales

Cd: Costo de cierre

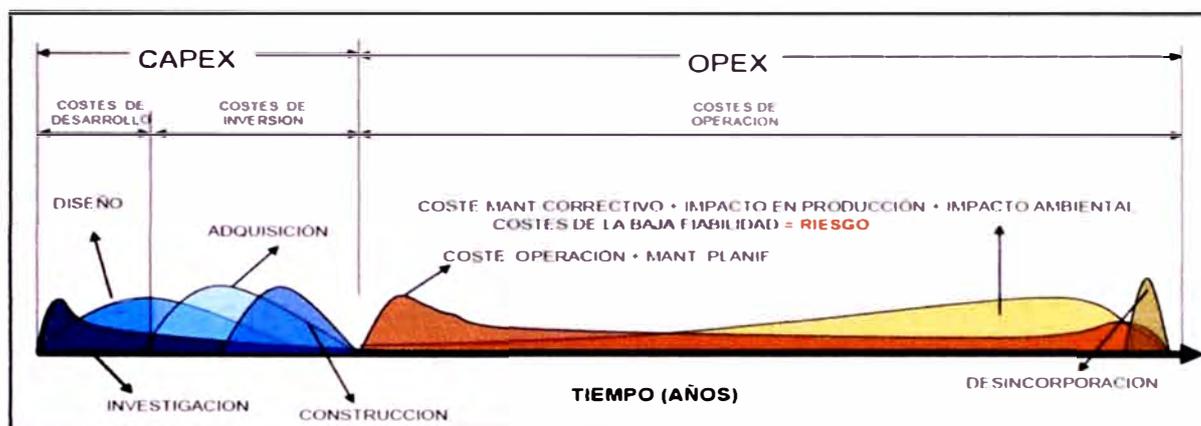


Figura 2.8. Costo del ciclo de vida

## 2.4. Análisis de la confiabilidad

La confiabilidad y la mantenibilidad son términos relativamente nuevos en el mundo de la manufactura y de las máquinas herramientas. Mientras que muchas compañías han trabajado en definir características y mejorar la confiabilidad de sus productos, esta intención no alcanzó a los equipos productivos. A finales de la década de los ochenta, muchos de los fabricantes, como la Ford Motor Company identificaron el análisis RAM de sus equipos como importante para sus estrategias de negocio y fuente de significativos ahorros. El resultado fue la imposición de requerimientos y prácticas de R&M.

### 2.4.1. Confiabilidad

La confiabilidad de un producto es la medición de su capacidad para ejecutar su función cuando es requerido para un tiempo específico y en un medio en particular. Esta se define como la probabilidad de que un componente o sistema ejecutará una función requerida durante un periodo de tiempo de acuerdo a condiciones de operación específicas. Para expresar esta relación matemáticamente, se definió el tiempo para fallar del sistema o

componente "T" como una variable aleatoria continua;  $T \geq 0$ . La confiabilidad o  $R(t)$  puede ser expresada de la manera siguiente:

$$R(t) = \Pr \{T \geq t\} \quad (7)$$

$$\text{Donde } R(t) \geq 0, R(0) = 1 \text{ y } \lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$$

Para un valor dado de  $t$ ,  $R(t)$  es la probabilidad que el tiempo para fallar sea igual o más grande que  $t$ . Se puede definir como se muestra a continuación:

$$F(t) = 1 - R(t) = \Pr \{T < t\} \quad (8)$$

$$\text{Donde } F(t) \geq 0, F(0) = 0 \text{ y } \lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$$

Luego  $F(t)$  es la probabilidad que la falla ocurra antes de tiempo  $t$ .

Nos referimos a  $R(t)$  como la función de confiabilidad o la función de supervivencia y a  $F(t)$  como la función de distribución acumulada (CDF) de la distribución de falla. Una tercera función es la llamada función de densidad de la probabilidad (PDF) que describe la forma de la distribución de la falla la cual es definida como se muestra a continuación:

$$F(t) = P(0 \leq t \leq t_1) = \int_0^{t_1} f(t) dt$$

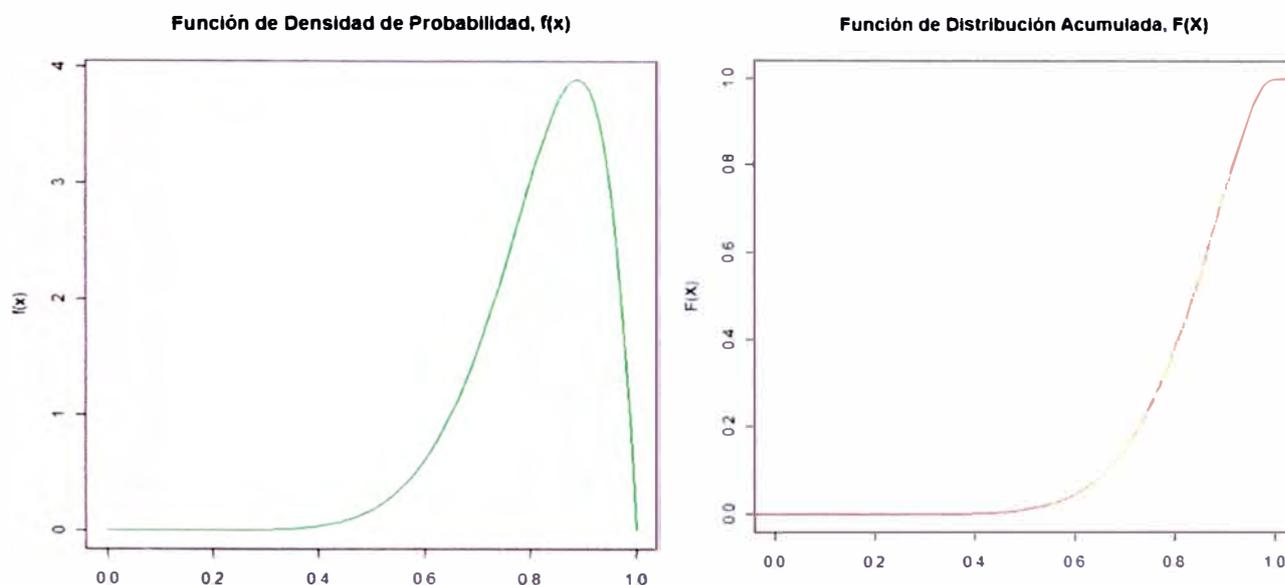


Figura 2.9. Función densidad de probabilidad y distribución acumulada

#### 2.4.2. Medidas de tendencia central

El tiempo medio para fallar (MTTF) puede ser encontrado por la siguiente ecuación:

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt$$

En la ecuación anterior, se ha presentado la media o el valor esperado de la función densidad de la probabilidad  $f(t)$ . El tiempo mediano divide la distribución en dos mitades. Un 50% de las fallas ocurrieron antes del tiempo mediano y otro 50% ocurrieron después de dicho tiempo. La mediana puede preferirse sobre la media cuando la distribución es altamente sesgada.

Otra medida es la moda o tiempo modal, que es el tiempo observado para fallar más frecuente. Se determina de la siguiente manera:

$$F(t \text{ modal}) = \max f(t); \quad \text{para } 0 \leq t \leq \infty$$

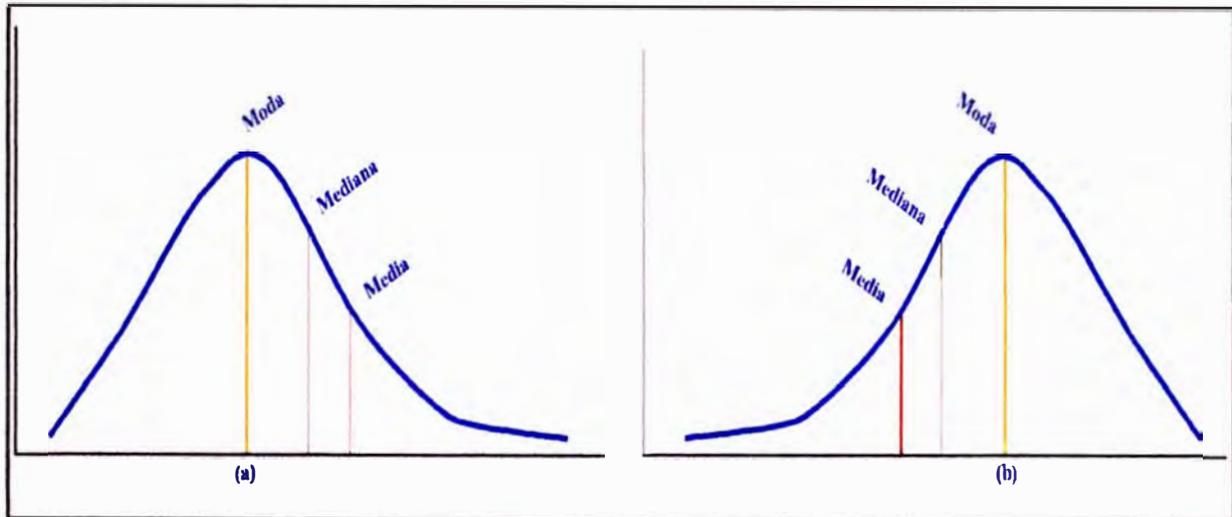


Figura 2.10. Medidas de tendencia central

### 2.4.3. Modelos de confiabilidad

Los parámetros definen lo que se encuentra detrás de cada distribución y, al conocer dichos parámetros, podemos inferir el comportamiento de la confiabilidad, tales como la forma de la distribución, la escala de la distribución y la localización de la distribución.

Algunas distribuciones de probabilidad se pueden expresar como una función matemática de la variable aleatoria que le da comportamientos específicos a las distribuciones. Estas pueden ser las siguientes:

- Distribución normal o Distribución Gaussiana: Es la distribución más conocida, donde la media, la mediana y la moda son iguales. La media es también su parámetro de localización. La PDF normal tiene forma de una campana con simetría sobre su media (la normal no tiene parámetro de forma). Esto significa que la PDF normal solo tiene una forma: la

campana. Esta forma no cambia y la desviación estándar  $s$ , es el parámetro de escala de la PDF normal.

- El modelo exponencial, con un solo parámetro, es el más simple de todos los modelos de distribución del tiempo de vida. Las ecuaciones clave para la exponencial se muestran a continuación:

$$\text{CDF : } F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$\text{CONFIABILIDAD : } R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$\text{PDF : } f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$\text{MEDIA : } m = \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{MEDIANA : } \frac{\ln 2}{\lambda} \cong \frac{0.693}{\lambda}$$

$$\text{VARIANZA : } \frac{1}{\lambda^2}$$

$$\text{TASA DE FALLA : } h(t) = \lambda$$

- La distribución de Weibull es un modelo de distribución de vida útil muy flexible para el caso de 2 parámetros:

$$\text{CDF : } F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$\text{CONFIABILIDAD : } R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$\text{PDF : } f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$\text{MEDIA : } = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$$\text{MEDIANA : } \eta (\ln 2)^{\frac{1}{\beta}}$$

$$\text{VARIANZA : } \eta^2 \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[\eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right]^2$$

$$\text{TASA DE FALLA : } \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

## **2.5. Mantenimiento centrado en la confiabilidad**

En la actualidad, las organizaciones industriales están implementando nuevas técnicas con el objetivo principal de optimizar sus procesos de gestión de mantenimiento. Dentro de estas nuevas técnicas, la metodología de gestión del mantenimiento denominado mantenimiento centrado en la confiabilidad constituye, actualmente, una de las principales y más efectivas herramientas para mejorar y optimizar el mantenimiento de las organizaciones.

### **2.5.1. Definición del mantenimiento centrado en la confiabilidad**

RCM es un proceso específico usado para identificar las políticas que deben aplicarse para gestionar los modos de falla que podría causar el fracaso funcional de todos los elementos físicos en un contexto operacional dado (SAE JA1011, sección 1.1).

### **2.5.2. Las siete preguntas básicas**

El proceso de RCM incita a responder las siguientes siete preguntas sobre el bien o sistema bajo revisión:

- ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
- ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
- ¿Qué ocasiona cada falla funcional?
- ¿Qué ocurre cuando se produce cada falla en particular?
- ¿De qué modo afecta cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

### 2.5.3. Funciones

La función se define como el propósito o la misión de un activo en un contexto operacional específico, en donde cada activo puede tener más de una función en el contexto operacional. Además, la descripción deberá contener un verbo, un objeto y un estándar de desempeño. Dicha descripción puede estar cuantificada en cada caso en el que esto se pueda realizar.

**Las funciones se deben describir en forma clara, única y concreta, de tal forma que se entienda siempre igual**

Consta de varios elementos

Verbo	Objeto o acción	Estándar	Condiciones
Reducir	La velocidad de giro	a 70 - 90 RPM	Con un motor reductor de 5 HP, con un voltaje entre 110 y 125 voltios, con un ruido inferior a 90 decibeles

La función debe ser alcanzable, medible y sostenible en el tiempo.

Los condicionantes responden a preguntas como: ¿cuando? ¿Dónde? ¿Por qué? ¿Para que? ¿Cómo?, etc.

Figura 2.11. Determinación de una función

Las funciones se pueden dividir en dos categorías, las cuales se presentan a continuación.

#### 2.5.3.1. Funciones primaria

La función primaria es la razón por la cual cualquier organización adquiere un activo o un sistema para cumplir una función o funciones específicas. Por ejemplo, la razón principal por la que una persona adquiere

un automóvil puede ser para el transporte de un máximo de cinco personas a velocidades de hasta 90 kilómetros por hora.

### **2.5.3.2. Funciones secundarias**

Se espera que la mayoría de los activos permita llevar a cabo otras funciones, además de la función primaria. Estas son conocidas como funciones secundarias. Las funciones secundarias suelen ser menos evidentes que las funciones primarias. Sin embargo, la pérdida de una función secundaria todavía puede tener consecuencias graves; algunas veces más grave que la pérdida de una función primaria. Como resultado, frecuentemente, necesitan funciones secundarias como tanto o más atención que las funciones principales, por lo que también deben estar claramente identificadas.

En la identificación de las funciones secundarias, se debe tener cuidado de no pasar por alto las siguientes consideraciones:

- a. La integridad ambiental
- b. Seguridad/integridad estructural
- c. Control/contención /comodidad
- d. Apariencia
- e. Dispositivos y sistemas de protección
- f. Economía /eficiencia
- g. Superfluo

#### **2.5.4. Falla funcional**

Una falla funcional se define como la incapacidad de todo bien de cumplir una función a un nivel de desempeño aceptable por el usuario. Las fallas funcionales pueden ser parciales o totales, y fuera de los límites superiores e inferiores

#### **2.5.5. Modo de falla**

Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que causa que un bien (sistema o proceso) pueda fallar. Sin embargo, se observa que es muy impreciso y simplista aplicar el término "falla" a un bien como un todo. Es mucho más preciso distinguir entre "falla funcional" (estado fallido) y "modo de falla" (evento que podría causar un estado de falla). Esto lleva a definir este término de manera más precisa: un modo de falla es cualquier suceso que cause una falla funcional.

#### **2.5.6. Efecto de falla**

Los efectos de las fallas describen que estas se producen cuando se presenta un modo de falla. Se debe tomar en cuenta que los efectos de las fallas no son los mismos que las consecuencias de las fallas, puesto que un efecto de falla responde a la pregunta ¿qué sucede?, mientras que la consecuencia responde a ¿cómo afecta? Una descripción de los efectos de la falla debe incluir toda la información necesaria para respaldar la evaluación de las consecuencias de esta. Específicamente, cuando se describen los efectos de una falla, se debe registrar las siguientes interrogantes:

- **¿Qué evidencias habría de que la falla sucedió?** Una declaración de un efecto del fallo debe describir si existe alguna evidencia, de que el modo de fallo en cuestión se ha producido. Si sucede de esa manera, de debe describir la forma, detectar la evidencia, Por ejemplo, se debe mencionar si el comportamiento de los equipos cambia notablemente como resultado del modo de fallo (luces de advertencia, alarmas, cambio en los niveles de velocidad o de ruido, etc). También, debe describir si el modo de fallo es acompañado o precedido por los efectos físicos evidentes, tales como ruidos fuertes, fuego, humo, vapor que se escapa, olores inusuales o charcos de líquido en el suelo.
- **¿En qué medida representaría una amenaza para la seguridad o el medioambiente?** Las plantas industriales modernas han evolucionado al punto de que solo una pequeña proporción de modos de falla presentan una amenaza directa a la seguridad del medioambiente. No obstante, de existir la posibilidad de que alguien se vea afectado o pierda la vida como resultado directo de la falla o se viole una norma o regulación medioambiental, los efectos de la falla deberían describir cómo sucede esto.
- **¿De qué manera afectaría la producción u operaciones?** La descripción de los efectos de falla también debería ayudar a la toma de decisiones sobre las consecuencias operacionales y no operacionales. Para lograr esto, debería indicar cómo se vería afectada la producción (si es así) y por cuánto tiempo. Esto se calcula, generalmente, por la cantidad de tiempo de inactividad asociada a cada falla.

- **¿Qué debe hacerse para repararla?** Los efectos de las fallas deberían también establecer qué debe hacerse para repararla. Esto puede ser incluido en los enunciados sobre tiempo de inactividad, y deben ser mostrados en cursivas.

### **2.5.6. Consecuencia**

Cada vez que se presenta una falla, la organización que utiliza el bien se ve afectada en algún grado. Algunas de estas afectan el rendimiento, la calidad del producto o el servicio al cliente. Otras amenazan la seguridad del medioambiente. Algunas incrementan los costos operativos; por ejemplo, mediante un aumento en el consumo de energía, mientras que unas pocas generan un impacto en cuatro, cinco o hasta seis de estas áreas. Inclusive, existen fallas que aparentan no perjudicar en sí mismas, pero exponen a la organización al riesgo de fallas mucho más serias.

Se puede afirmar, con respecto del párrafo anterior, que los modos de falla se deben jerarquizar en función al riesgo por medio de la estructura que se muestra en la figura 2.12.

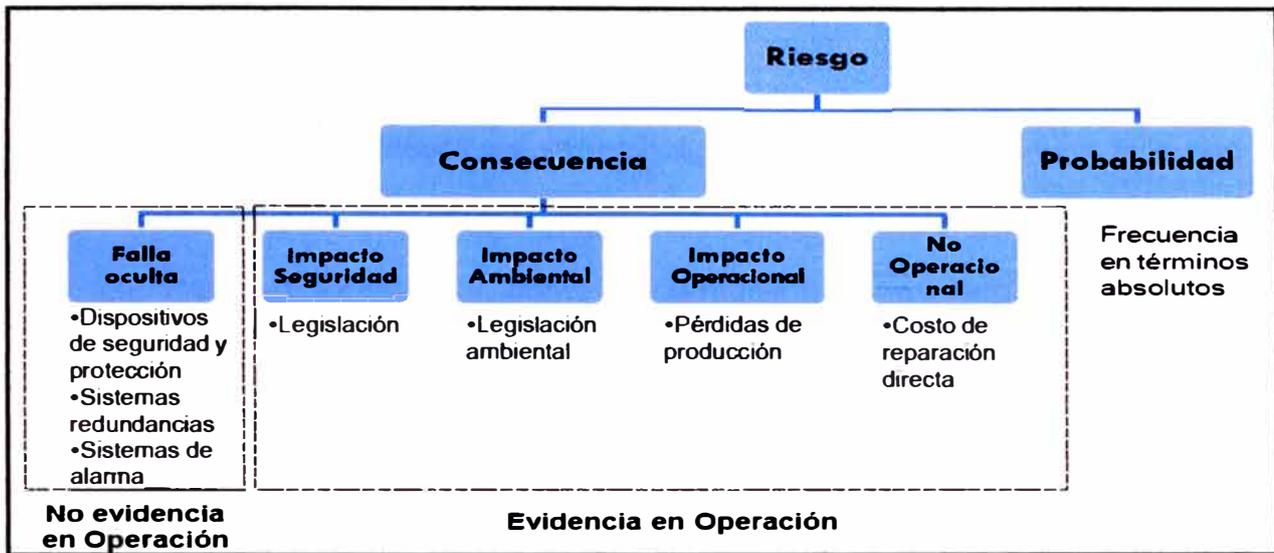


Figura 2.12. Riesgo

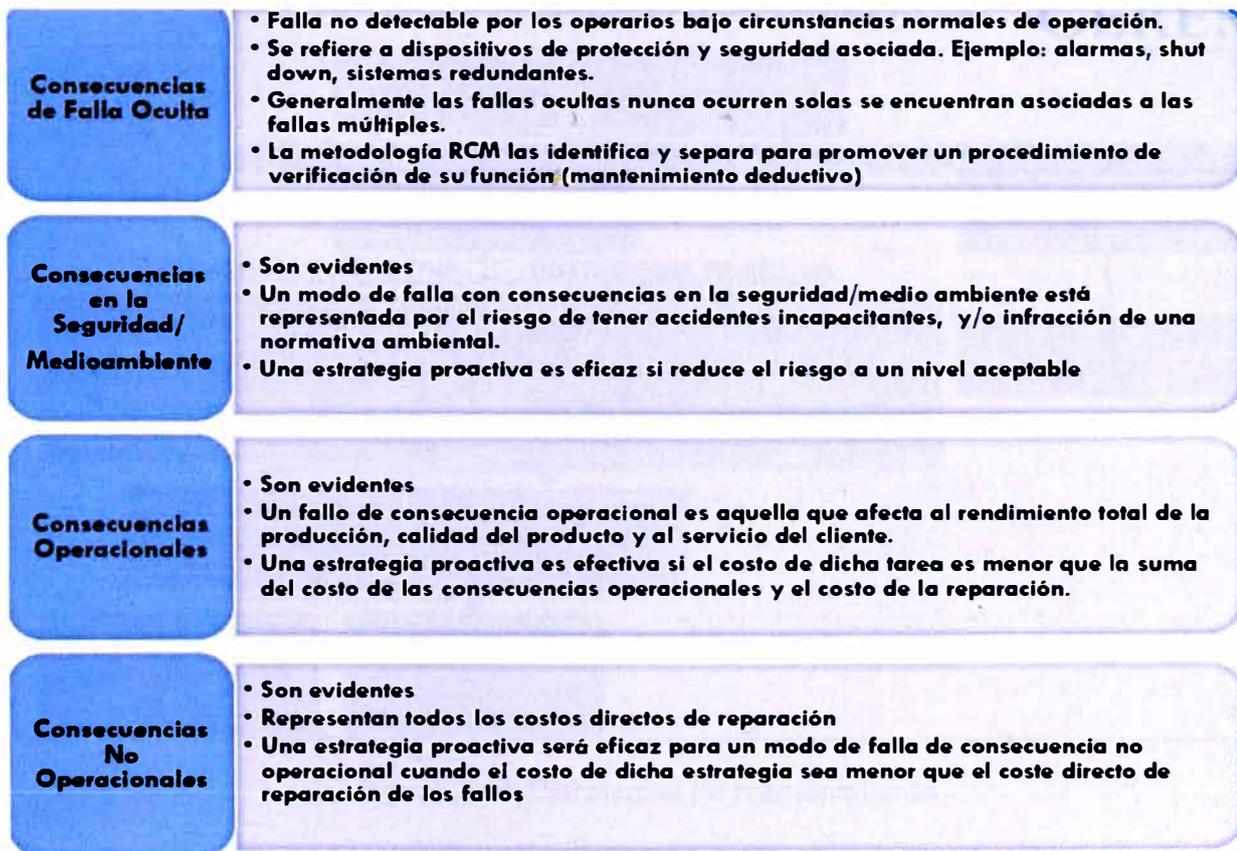


Figura 2.13. Consecuencias

### 2.5.7. Lógica de decisiones

Las tareas proactivas se realizan antes de que ocurra una falla con el fin de prevenir que el ítem ingrese en estado fallido. Abarcan lo que se conoce, tradicionalmente, como mantenimiento "preventivo" y "predictivo", a pesar de que RCM utiliza los términos "restauración programada", "descarte programado" y "mantenimiento en condición". Para la selección una de este mantenimiento, se toma de referencia el árbol lógico de decisiones y las estrategias que se presentan en la figura 2.14 y la figura 2.17.

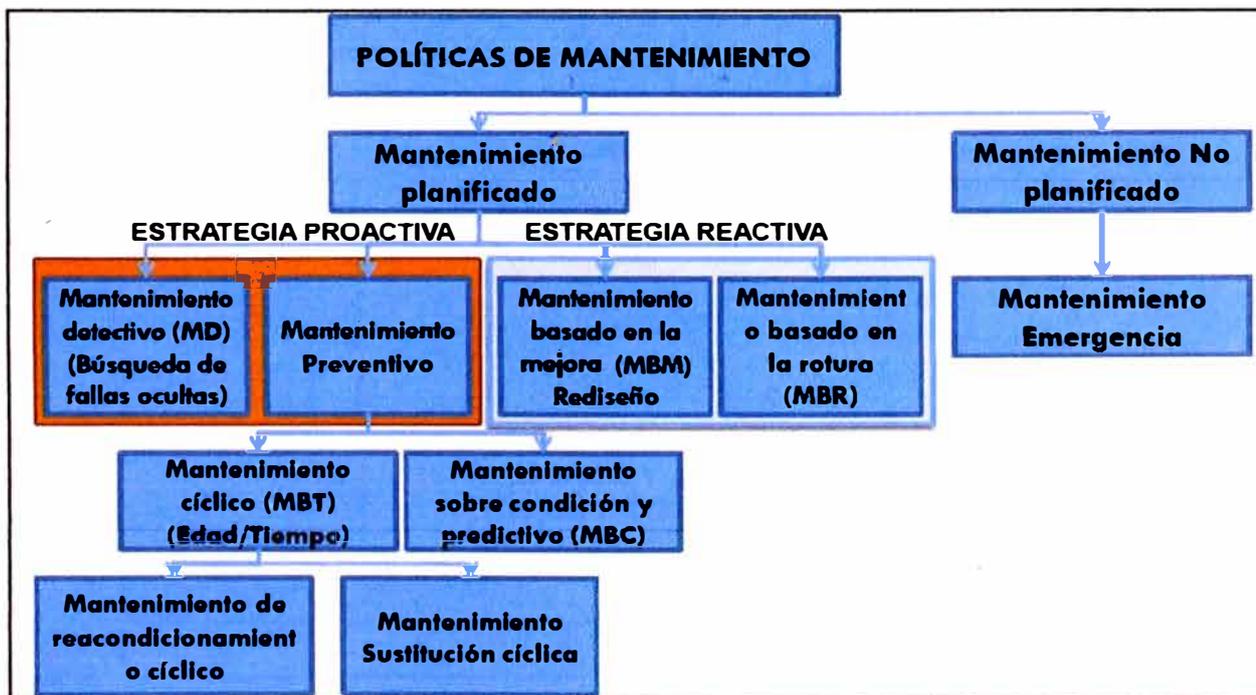


Figura 2.14. Estrategias de mantenimiento

- **Mantenimiento basado en condiciones (MBC).** Es el mantenimiento preventivo subordinado a la medición del deterioro del bien. La medición es de forma directa sobre una variable de control que estará sujeta a un nivel de alerta, un nivel de alarma y un nivel de mantenimiento.

- **Mantenimiento de reacondicionamiento cíclico.** Es el mantenimiento que está asociado a eliminar varios modos de falla, lo cual se conoce, técnicamente, como OVERHAUL y son establecidos en periodos largos.
- **Mantenimiento de sustitución cíclica.** Es el mantenimiento que está asociado con la eliminación de un modo de falla específico y son establecidos a periodos cortos. Para proyectar una intervención de mantenimiento preventivo cíclico, se requiere definir el intervalo, el catálogo de los repuestos involucrados y las técnicas detalladas.

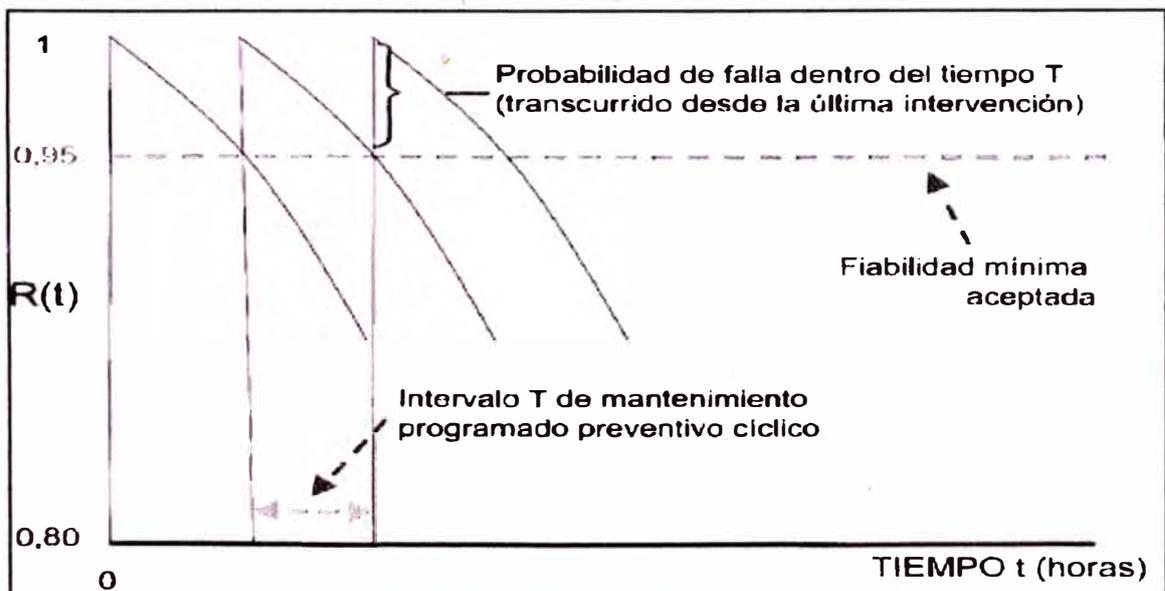


Figura 2.15. Intervalo de un mantenimiento preventivo cíclico

- **Mantenimiento detectivo (MD).** Significa probar una función oculta en intervalos regulares con el fin de identificar un modo de falla oculta.

- **Mantenimiento basado en la mejora (MBM).** Método que tiende a mejorar la disponibilidad de un equipo, con modificaciones y soluciones técnicas simples y de bajo costo.

<b>Las modalidades a las cuales se implementa un modelo mejorativo consisten en:</b>			
<b>INSPECCIONABILIDAD</b>	<b>CONFIABILIDAD</b>	<b>MANTENIBILIDAD</b>	
<b>Aportan modificaciones para posibilitar u optimizar inspecciones visuales mejorando la accesibilidad al elemento y/o la mensurabilidad a la variable.</b>	<b>Mejorar un subsistema o parte del mismo habiendo individualizado la causa de la falla para eliminarla de raíz o por lo menos atenuar sus efectos.</b>	<b>Mejorar el diseño de los elementos caracterizados por la escasa mantenibilidad.</b>	<b>Modificar y mejorar el equipo o las instalaciones donde se evidencia un efecto fundamental para las condiciones del proyecto.</b>

*Figura 2.16.* Modalidades de un modelo mejorativo

- **Mantenimiento basado en la rotura (MBR).** Es un método pasivo basado en la espera de la falla con el objetivo de intervenir luego de que se haya producido la misma. Los criterios consideran si el costo de mantenimiento preventivo es mayor al costo de operación, si la frecuencia es rara, si es un elemento electrónico y si presenta fallas accidentales.

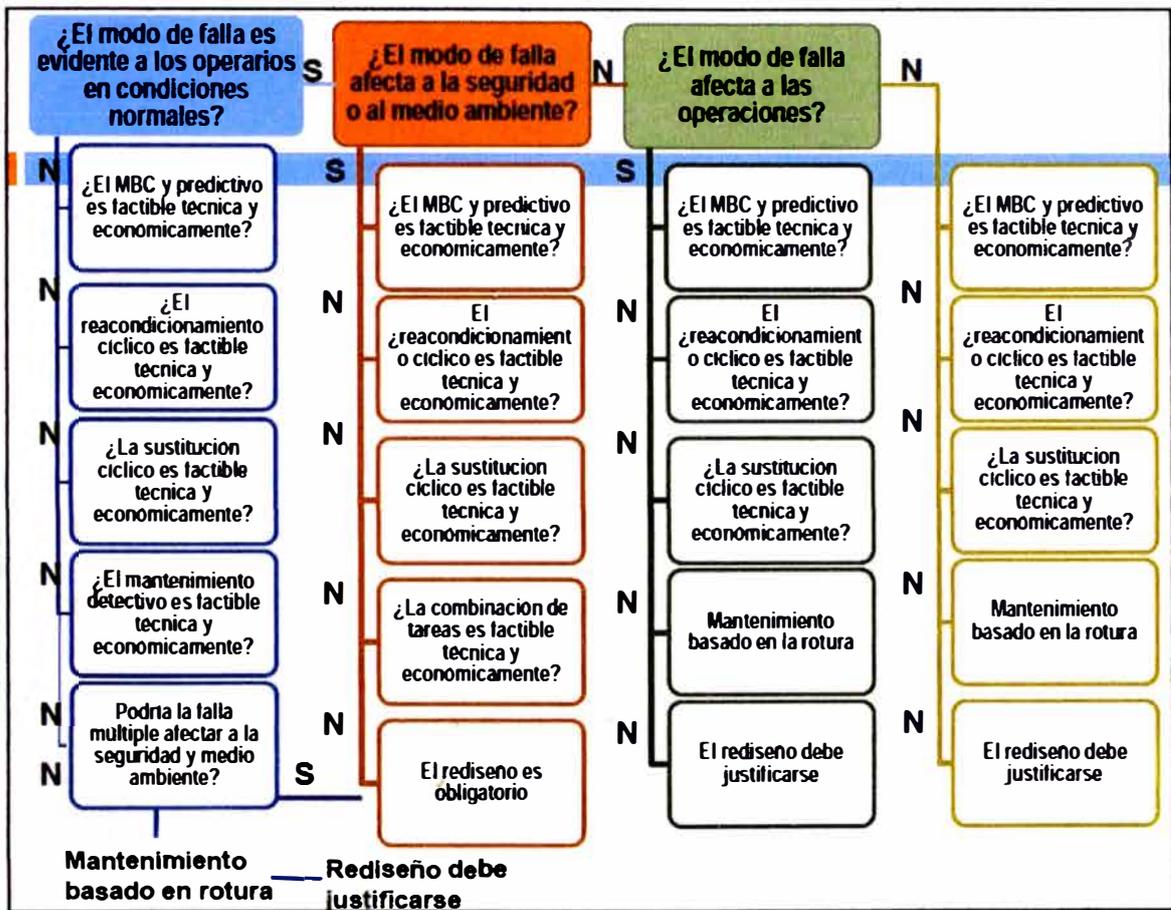


Figura 2.17. Árbol lógico de decisiones

## **CAPÍTULO III DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

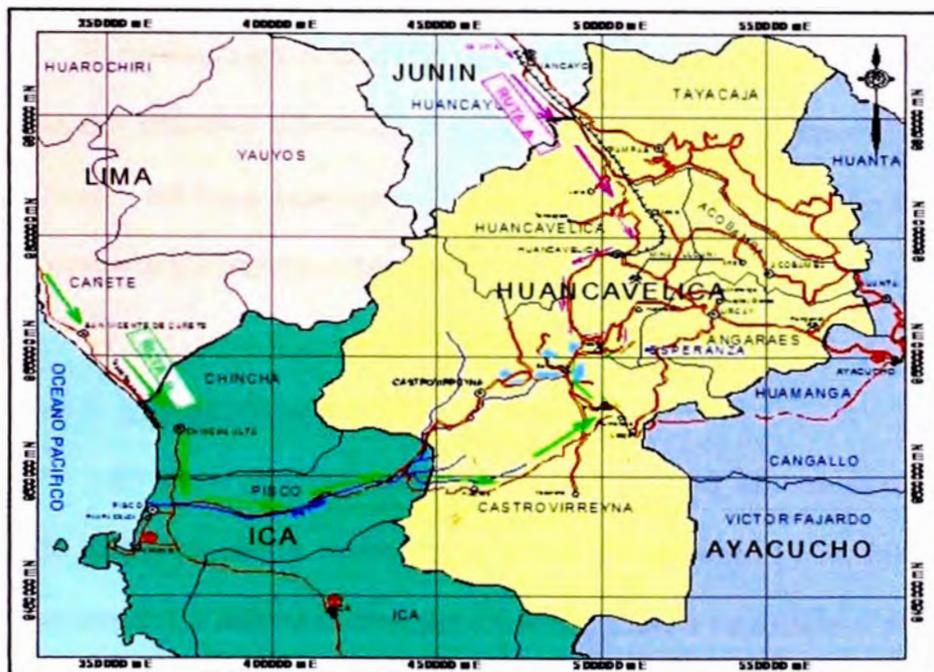
El diagnóstico es la valoración del proceso actual de gestión de activos por parte del área de mantenimiento con el fin de orientarla a lograr una gestión de activos sostenibles y capitalizables con acciones a corto, mediano y largo plazo. Este se presenta de manera alineada al plan estratégico y acorde con los objetivos de la empresa.

Este diagnóstico no solo está asociado a los procesos y tecnología con los que cuenta la organización, sino que abarca el análisis del nivel de madurez que esta presenta en sus procesos, competencias técnicas y habilidades directivas necesarias para desarrollar e implementar procesos de gestión de mantenimiento.

Para poder evaluar, se debe conocer el proceso de producción donde los activos se interrelacionan, el proceso de la gestión de mantenimiento actual y la confiabilidad.

### 3.1. Descripción del proceso de producción

La planta concentradora y la operación de mina de la Compañía Minera Castrovirreyña S.A. están ubicadas en distrito de Santa Ana, provincia de Castrovirreyña, departamento de Huancavelica a 581 km de la ciudad de Lima.



*Figura 3.1. Mapa de ubicación*

La planta concentradora consta de los siguientes procesos que se presentan a continuación:

#### 3.1.1. Chancado

Es el primer proceso de la planta concentradora. Este consiste en la aplicación de fuerzas mecánicas con el fin de romper los trozos grandes de mineral hasta reducirlos a un tamaño menor por medio de fuerzas de compresión y, en menor proporción, fuerzas de fricción, flexión, cizallamiento u otras. Se realiza en máquinas que se mueven a velocidades medias o bajas en una trayectoria fija y que ejercen presiones inmensas a bajas velocidades,

las cuales se caracterizan porque sus elementos trituradores no se tocan. Además, una de las condiciones principales de esta operación es la oscilación. El factor que influye en esta condición de operación son las características del mineral, tales como la humedad, el tamaño y la dureza.

El proceso de chancado de la planta concentradora del presente informe tiene por objetivo disminuir el mineral bruto de mina de 16" a 1/8" de espesor a través de tres subprocesos de chancado: chancado primario, chancado secundario y chancado terciario.

#### **3.1.1.1. Chancado primario**

El chancado primario comienza con el almacenamiento del mineral bruto extraído de la mina en la tolva de grueso 1TOL-0001 de 250 m<sup>3</sup> de capacidad. La alimentación del mineral grueso regulado y medido es a través del alimentador de placas 1ALP-0001 de la tolva de gruesos 1TOL-0002 a la zaranda Grizzly 1ZAR-0001, donde clasifica el mineral de mayor y menores de 3". El mineral menor a 3" es enviado a la tolva de finos 1TOL-0005 por intermedio de la faja transportadora 1FAJ-0004 y 1FAJ-0005 y 1FAJ-0006; y el mineral mayor a 3" es enviado a la chancadora de quijadas 1CHA-0001, la cual reduce el mineral de 16" a 3" y luego lo envía al chancado secundario.

#### **3.1.1.2. Chancado secundario**

El chancado secundario comienza con el traslado del mineral de 3" mediante la faja transportadora 1FAJ-0003 al cedazo vibratorio 1ZAR-0003 que clasifica el mineral de mayor y menor de 1/2". El mineral menor a 1/2" es enviado a la tolva de finos 1TOL-0005 mediante las fajas transportadora 1FAJ-0009 y 1FAJ-0006; y los mayores a 1/2" son enviados a la chancadora

cónica 1CHA-0003 con el fin de reducir el mineral de 3" a 1/2" de tamaño. El mineral de 1/2" de tamaño es trasladado por intermedio de la 1FAJ-0008 y 1FAJ-0010 al chancado secundario.

### **3.1.1.3. Chancado terciario**

El chancado terciario comienza con la clasificación del mineral mayor y menor a 1/8" mediante el cedazo vibratorio 1ZAR-0004. El mineral menor a 1/8" se envía por gravedad a la tolva de finos y el mineral mayor a 1/8" es enviado a la chancadora de cono 1CHA-0004 para reducir de 1/2" a 1/8", y es enviado mediante las fajas transportadoras 1FAJ-0007, 1FAJ-0005 y 1FAJ-0006 a la tolva de finos 1TOL-0005. +

### **3.1.2. Molienda**

La molienda es una operación que permite la reducción del tamaño del mineral hasta tener una granulometría final deseada. Esto se logra mediante los diversos aparatos que trabajan por choques, aplastamiento o desgaste. En esta operación, es donde se realiza la liberación de los minerales valiosos concentrándose al final del proceso en condiciones de ser separados de las impurezas.

El proceso de molienda de planta concentradora del presente informe cuenta con 02 circuitos independientes de molienda. Este proceso comienza con la alimentación del mineral de la tolva de finos 1TOL-0005 por intermedio de las fajas transportadoras 1FAJ-0014, 1FAJ-0015 y 1FAJ-0016, 1FAJ-0017 a los molinos principales 1MOL-0006 y 1MOL-0007 respectivamente de ambos circuitos para la reducción del tamaño del mineral de 4mm a 0.1mm.

Por intermedio de la bomba de pulpa 1BOM-0001 y 1BOM-0003 se bombea la pulpa descargada por los molinos principales 1MOL-0006 y 1MOL-0007 al nido de hidrociclones 1HID-0002 y 1HID-0001, respectivamente, para clasificar a la pulpa de mayores y menores a 10  $\mu\text{m}$ . La pulpa mayor a 10 $\mu\text{m}$  se traslada a los molinos de remolienda 1MOL-0005, 1MOL-0001 y 1MOL-0004, 1MOL-0003 del primer y segundo circuito respectivamente, y la pulpa menor a 10 $\mu\text{m}$  se dirige a la celda de flotación 1CEL-0001.

### **3.1.3. Flotación**

La flotación es un proceso físico-químico de tres fases (sólido-líquido-gaseoso), el cual permite la separación de los minerales sulfurados de plata y otros elementos, como el oro, del resto de los minerales que componen la mayor parte de la roca original. La pulpa proveniente de la molienda, que tiene ya incorporados los reactivos necesarios para la flotación, se introduce en unos receptáculos, como piscinas, llamados celdas de flotación. Desde el fondo de las celdas, se hace burbujear aire y se mantiene la mezcla en constante agitación con el fin de que el proceso sea intensivo. Los reactivos que se incorporan en la molienda tienen diferentes naturalezas y cumplen diferentes funciones. Algunas de estas se presentan a continuación:

- Los reactivos espumantes tienen como objetivo producir burbujas resistentes.
- Los reactivos colectores tienen la misión de impregnar las partículas de sulfuros de plata y de oro para que se separen del agua (efecto hidrófobo) y se peguen en las burbujas.

- Los reactivos depresantes son aquellos destinados a provocar el efecto inverso al de los reactivos colectores para evitar la recolección de otros minerales como la pirita, que es un sulfuro que no posee plata.
- Otros aditivos como la cal sirven para estabilizar la acidez de la mezcla en un valor de pH determinado, lo cual proporciona un ambiente adecuado para que se efectúe todo el proceso de flotación.

Las burbujas arrastran consigo los minerales sulfurados hacia la superficie, donde rebasan por el borde de la celda hacia canaletas que las conducen hacia estanques especiales, desde donde esta pulpa es enviada a la siguiente etapa.

El proceso de flotación comienza con la alimentación del mineral molido, que lo llamaremos pulpa; luego, pasa a la celda de flotación unitaria 1CEL-0001; finalmente, transita por las diferentes celtas para separar el concentrado del mineral y las impurezas.

#### **3.1.4. Espesado y filtrado**

En el proceso de flotación, se obtuvo un concentrado constituido por espumas y mezclas de sulfuro valioso que contienen mucha agua. Es necesario retirar toda el agua que sea posible, puesto que es negativo para su manipulación y transporte. Esto se realiza mediante las siguientes operaciones:

- En el espesamiento, se comienza la eliminación de la mayor cantidad de agua contenida en las espumas. De esa forma, se incrementa la densidad de la pulpa.

- Con la filtración, se retira el agua del concentrado, que permanece en el espesado hasta que se obtenga un producto con un 8 a 10% de agua.

El proceso de espesado y filtrado comienza con la alimentación del concentrado de la celda unitaria RCS 30 1CEL-0015 al espesador 1ESP-0001. El rebalse de dicho espesador alimenta al espesador 1ESP-0002, donde se elimina del concentrado la mayor cantidad de agua (concentrado espeso). Ambos espesadores se dirigen al Holding Tang 1HOL-0001 para homogenizar la humedad y alimentar al filtro prensa 1FIL-0001. Con la filtración, se obtiene un concentrado con 10% de humedad en el patio de concentrado.

### **3.2. Proceso de mantenimiento actual**

La organización del área de mantenimiento de la planta está formada la superintendente de mantenimiento planta, quien lidera y administra la gestión del mantenimiento. También la conforma el jefe de mantenimiento mecánico, quien asegura los niveles más altos de confiabilidad y disponibilidad de los equipos mecánicos de planta concentradora. Además, el jefe de mantenimiento eléctrico es quien asegura los niveles más altos de confiabilidad y disponibilidad del sistema eléctrico de planta concentradora. Por último, el jefe de planeamiento es quien lidera la gestión del planeamiento de los equipos de la planta concentradora, tal como lo muestra la figura 3.3.

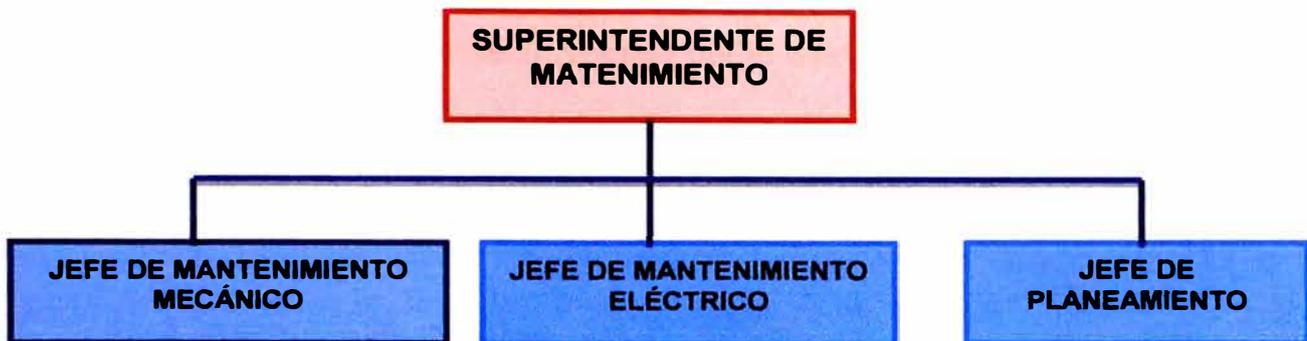


Figura 3.3. Organigrama del área de mantenimiento planta

La organización desarrolla sus actividades sobre la base del proceso de mantenimiento de la figura 3.4 de la siguiente manera:

### **3.2.1. Identificación de trabajo**

Es el registro de los trabajos que se debe realizar para mejorar la seguridad, incrementar la productividad, evitar alguna mala operación por parte de los operadores, mantenedores, ingenieros y planeadores. Este se realiza en un formato llamado BACK LOG.

### **3.2.2. Planificación**

La planificación consiste en determinar qué se debe hacer (nombre del trabajo, dibujos, inspección del equipo, riesgos asociados, etc.), con qué secuencia (alistamiento, ejecución de tareas, revisión posterior a la tarea, exigencia de seguridad), en qué momento (considerando tanto la duración de la tarea como la labor esperada), con qué recursos y habilidades (soporte, contratista, repuestos, herramientas, etc.) y con qué prioridad.

### **3.2.3. Programación**

La programación es el proceso por el cual las tareas son presentadas en una secuencia específica para utilizar recursos de la manera más eficiente. Esta depende de la disponibilidad de recursos.

### **3.2.4. Ejecución de trabajos**

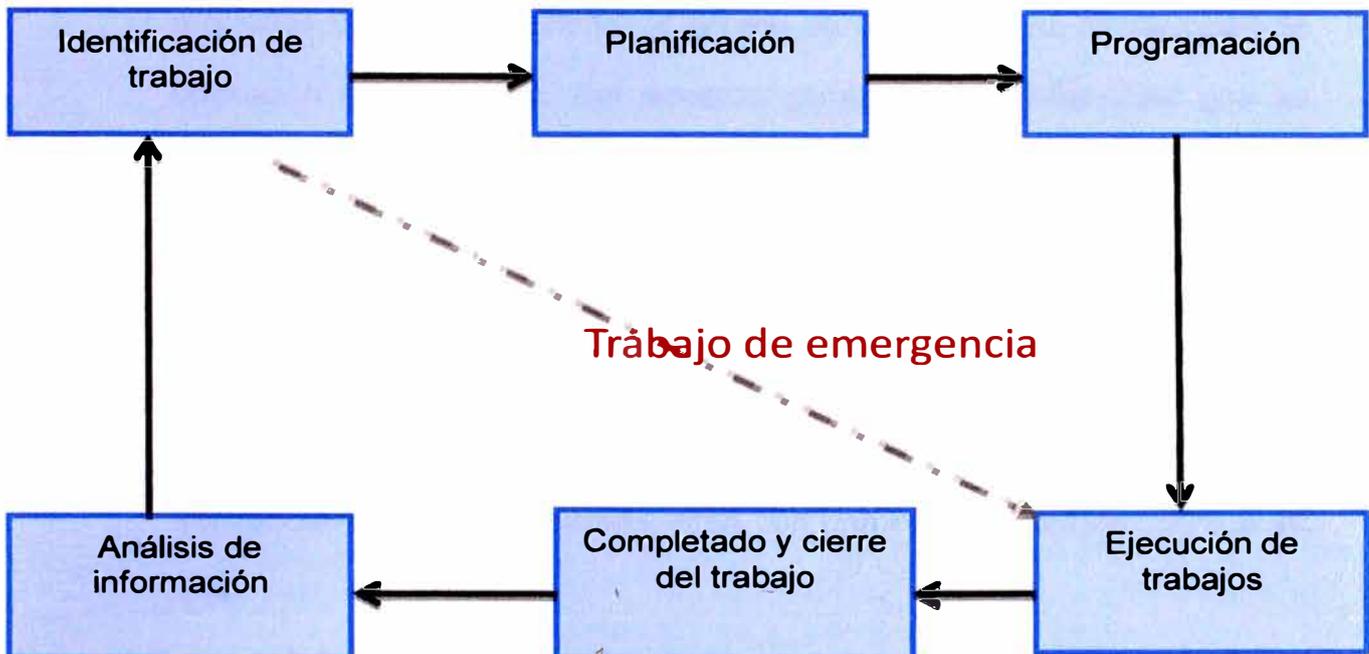
La ejecución del trabajo se define como el desarrollo de la planificación de acuerdo a la programación con el personal de mantenimiento y de operaciones.

### **3.2.5. Completado y cierre del trabajo**

Al finalizar el trabajo, se completa con pruebas y equipos de evolución, limpieza del sitio de trabajo, devolución de herramientas, repuestos reparables y materiales no utilizados y actualización de la información del equipo.

### **3.2.6. Análisis de información**

Consiste en la retroalimentación del análisis del trabajo y de cómo mejorarlo, ya que esto permite medir la eficacia del proceso de mantenimiento con el propósito de mejorarlo continuamente.



*Figura 3.4. Proceso de mantenimiento actual*

### **3.3. Confiabilidad de la planta concentradora**

La confiabilidad no es solo parte importante del diseño ingenieril de procesos, sino también una función necesaria en el costo del ciclo de vida, el análisis costo beneficio, el estudio de la capacidad operacional, los recursos para facilitar y reparar, la determinación de inventarios, las decisiones de reemplazo y el establecimiento de programas de mantenimiento preventivo. En el presente informe, el cálculo de la confiabilidad servirá para tomar decisiones de reemplazo y del establecimiento de programas de mantenimiento preventivos y predictivos.

Para realizar el cálculo de la confiabilidad se deben considerar los siguientes aspectos:

- Como se mencionó en el punto 2.4, la confiabilidad de un equipo consiste en la probabilidad de que un componente o sistema ejecutará una función requerida durante un periodo de tiempo de acuerdo a las condiciones de operación especificadas. Por acuerdo gerencial, la confiabilidad que se calculará es a 90 días, debido a que este es el tiempo promedio que se tarda en el proceso de compra del componente.
- Como se mencionó en las limitaciones, existió una pérdida de información, puesto que no se contaba con un procedimiento de llenado al formato y almacenamiento de información. Por acuerdo, los equipos que pararon con frecuencias de 1 y 2 se consideraron con una confiabilidad de 100% a 90 días.
- Como la información es escasa y la mayor información correcta es hace un año se analizará datos del año anterior (2013). Con las consideraciones mencionadas, se realizó el modelamiento y ajuste de la confiabilidad mediante el procedimiento del punto 2.3 y se obtuvo las funciones de confiabilidad de las figuras 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11.  
Con la función confiabilidad, se calculó la confiabilidad del equipo a 90 días de operación y con las consideraciones mencionadas se obtuvo la confiabilidad de cada equipo como lo muestran las figuras 3.12, 3.13, 3.14 y 3.15.

						MODELOS DE CONFIABILIDAD								AJUSTE - KOLMOGOROV SMIRNOV				
						EXPONENCIAL			WEIBULL				NORMAL		EXPONENCIAL	WEIBULL	NORMAL	
Total de datos = 7						X	Y			X	Y					$d\alpha = 0.483 >$	$d\alpha = 0.483 >$	$d\alpha = 0.483 >$
Orden	t	f	k	MON=i	F(t)	t	$\ln[1/(1-F)]$	F(t)	t	$\ln t$	$\ln \ln[1/(1-F)]$	F(t)	t	F(t)	No acepta	Acepta	No acepta	
1	46	1	7	1	0.0946	46	0.0994	0.9957	46	3.8286	-2.3089	0.1487	46	0.0395	0.9011	0.0541	0.0551	
2	47	1	6	2	0.2297	47	0.2610	0.9962	47	3.8501	-1.3432	0.1812	47	0.0483	0.9016	0.0866	0.1814	
3	49	2	5	3	0.3649	49	0.4539	0.9970	49	3.8918	-0.7898	0.2622	49	0.0648	0.7673	0.1027	0.3000	
4	56	1	3	4.25	0.5338	56	0.7631	0.9987	56	4.0254	-0.2704	0.6882	56	0.0570	0.6338	0.3233	0.4768	
6	57	1	2	5.5	0.7027	57	1.2130	0.9988	57	4.0431	0.1931	0.7516	57	0.0483	0.4651	0.2178	0.6544	
7	57	1	1	6.75	0.8716	57	2.0528	0.9988	57	4.0431	0.7192	0.7516	57	0.0483	0.2961	0.1200	0.8233	

$\lambda = 0.1185$

$\beta = m = 10.062$

$\mu = 52.0$

0.9016

0.3233

0.8233

$b = -40.35$

$\sigma = 5.22$

$\eta = 55.2$

Gamma = 0

MTTF = 52.48

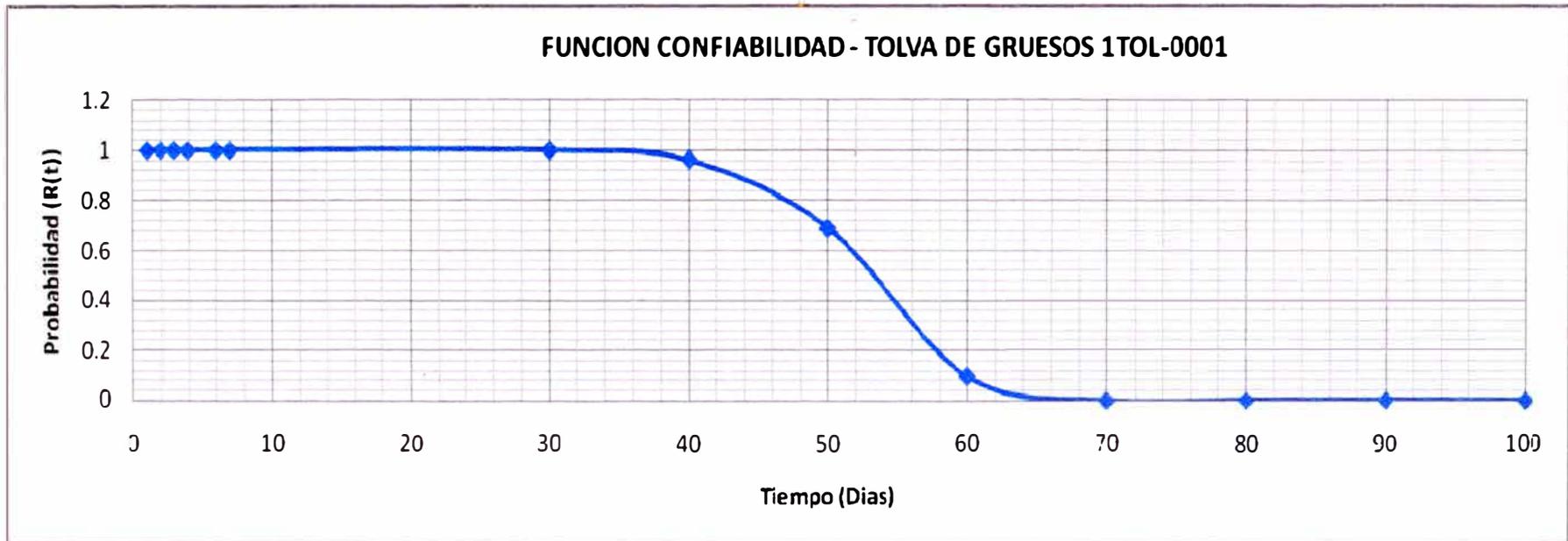
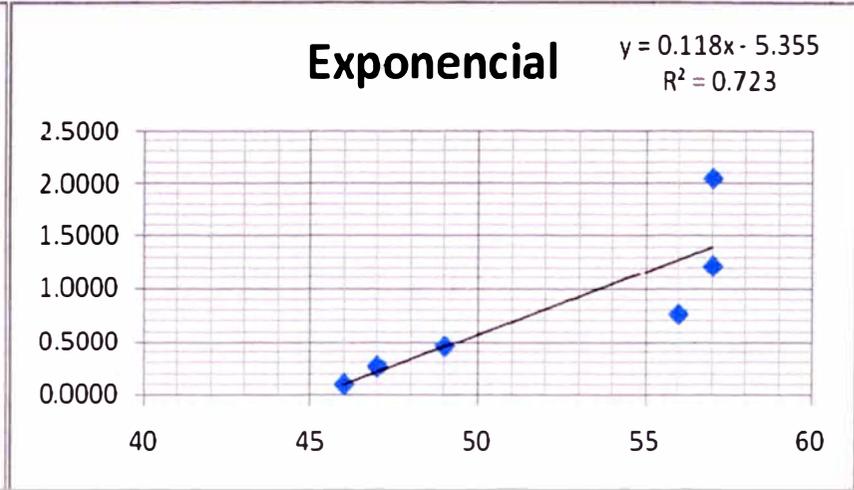
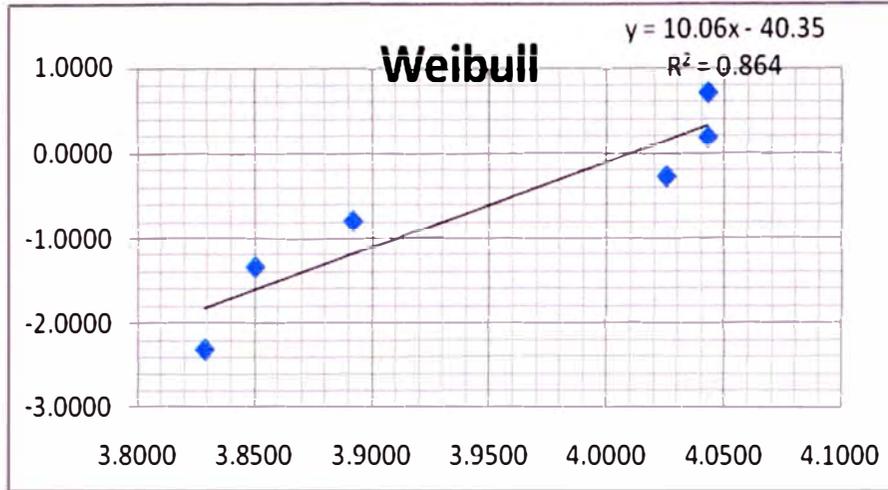


Tabla 3.1. Modelo de la confiabilidad de la tolva de gruesos 1TOL-0001

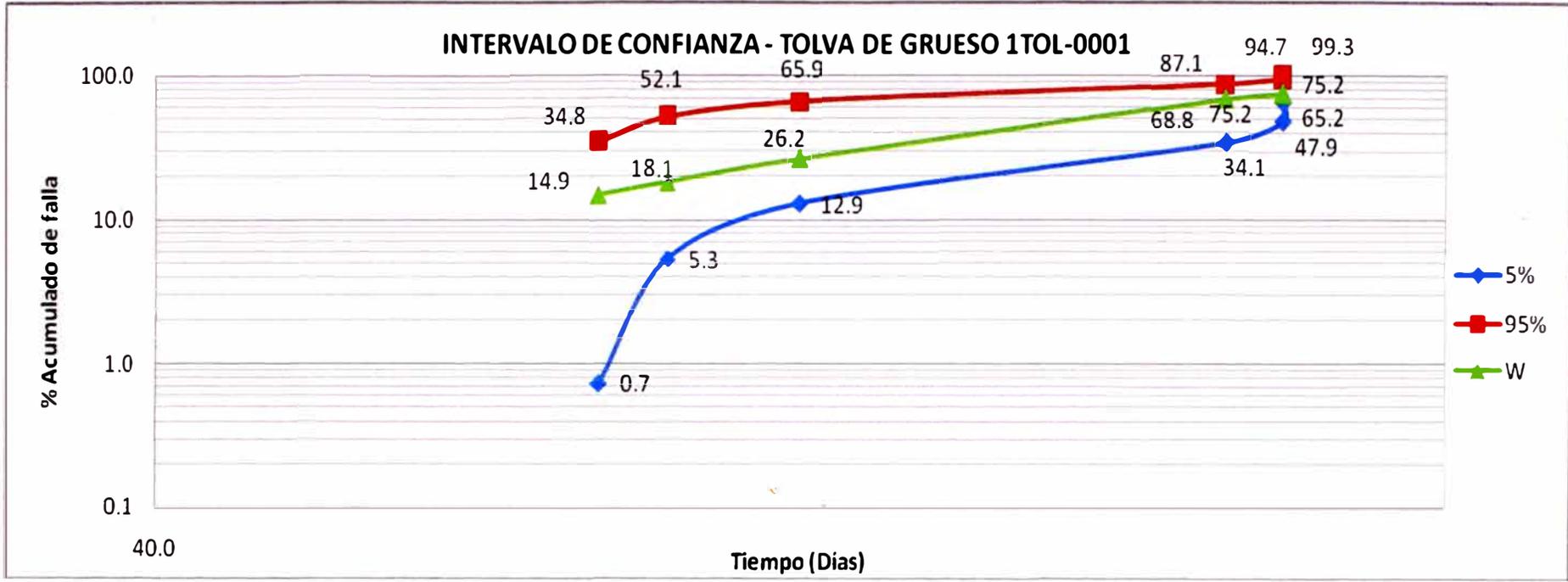


Figura 3.5. Curva de confiabilidad e intervalo de confianza de la tolva de gruesos 1TOL-0001

						MODELOS DE CONFIABILIDAD								AJUSTE - KOLMOGOROV SMIRNOV						
						EXPONENCIAL			WEIBULL				NORMAL		EXPONENCIAL	WEIBULL	NORMAL			
Total de datos 12						X	Y			X	Y				$d\alpha = 0.375 >$	$d\alpha = 0.375 >$	$d\alpha = 0.375 >$			
Orden	t	f	k	MON=i	F(t)	t	$\ln[1/(1-F)]$	F(t)	t	$\ln t$	$\ln \ln[1/(1-F)]$	F(t)	t	F(t)	No acepta	Acepta	No acepta			
1	54	2	12	1	0.0565	54	0.0581	0.9549	54	3.9890	-2.8455	0.1104	54	0.0158	0.8985	0.0539	0.0406			
2	55	1	10	2.09091	0.1444	55	0.1560	0.9574	55	4.0073	-1.8580	0.1223	55	0.0174	0.9010	0.0659	0.1270			
3	56	1	9	3.18182	0.2324	56	0.2645	0.9598	56	4.0254	-1.3299	0.1352	55	0.0174	0.8154	0.0972	0.1150			
4	63	1	8	4.27273	0.3204	63	0.3862	0.9731	63	4.1431	-0.9513	0.2542	56	0.0190	0.7407	0.0662	0.3014			
5	73	1	7	5.36364	0.4084	73	0.5249	0.9849	73	4.2905	-0.6446	0.5066	63	0.0291	0.6645	0.1862	0.3792			
6	75	1	6	6.45455	0.4963	75	0.6858	0.9865	75	4.3175	-0.3771	0.5640	73	0.0306	0.5781	0.1556	0.4658			
7	78	1	5	7.54545	0.5843	78	0.8778	0.9886	78	4.3567	-0.1303	0.6497	75	0.0285	0.4923	0.1533	0.5558			
8	80	1	4	8.63636	0.6723	80	1.1156	0.9899	80	4.3820	0.1094	0.7047	78	0.0244	0.4056	0.1204	0.6479			
9	81	1	3	9.72727	0.7603	81	1.4282	0.9904	81	4.3944	0.3564	0.7312	80	0.0213	0.3181	0.0589	0.7389			
10	86	1	2	10.8182	0.8482	86	1.8855	0.9928	86	4.4543	0.6342	0.8471	81	0.0197	0.2326	0.0868	0.8285			
11	87	1	1	11.9091	0.9362	87	2.7523	0.9932	87	4.4659	1.0124	0.8663	86	0.0121	0.1450	0.0699	0.9241			
						$\lambda =$	0.0574							$\beta = m =$	5.9659	$\mu =$	68.7	0.9010	0.1862	0.9241
												$b =$	-25.944	$\sigma =$	12.28					
												$\eta =$	77.4							
												Gamma=	0							
												MTTF=	71.8							

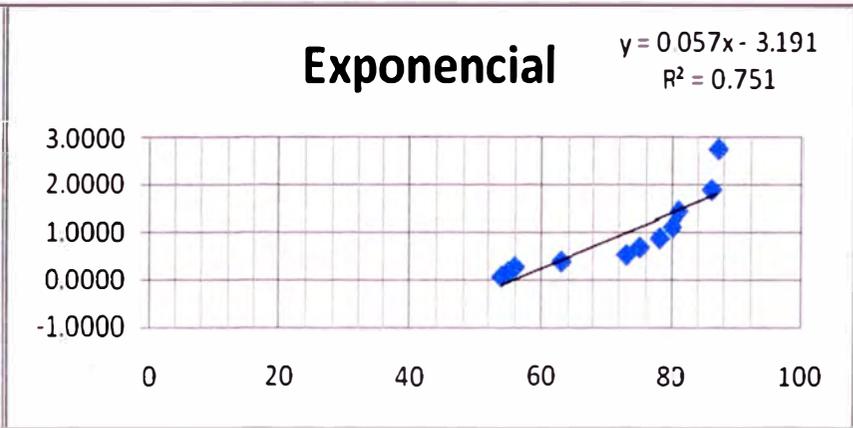
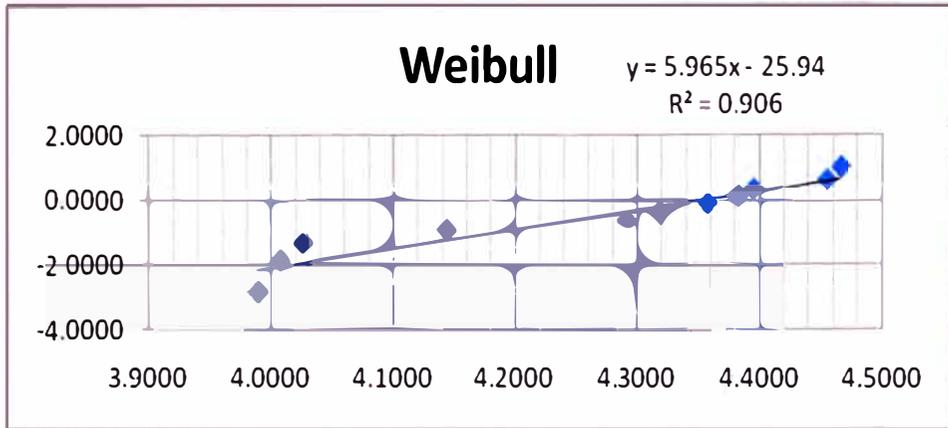
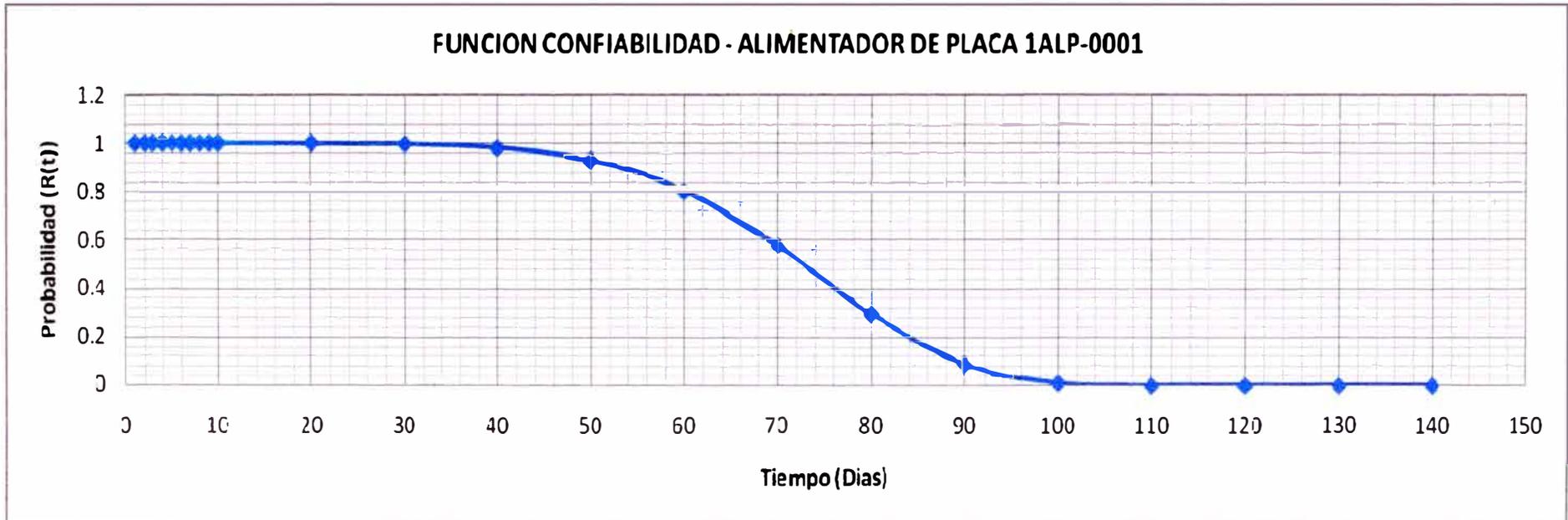


Tabla 3.2. Modelo de la confiabilidad del alimentador de placa 1ALP-0001



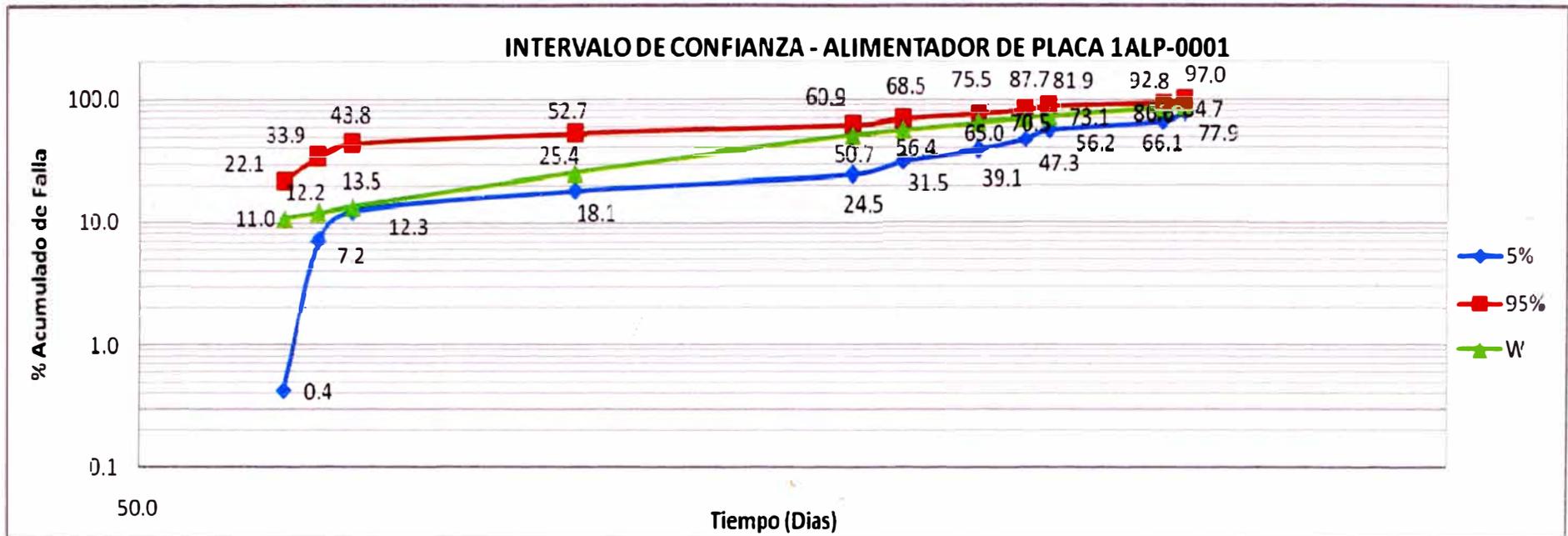


Figura 3.6. Curva de confiabilidad e intervalo de confianza del alimentador de placas 1ALP-0001



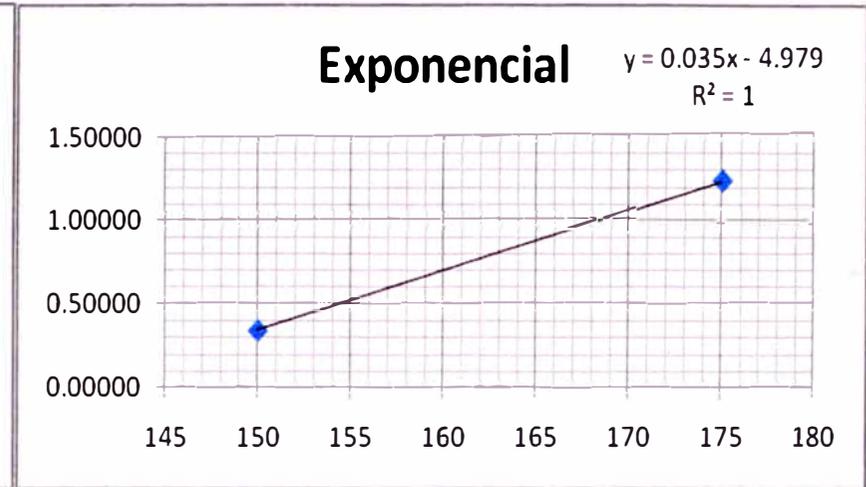
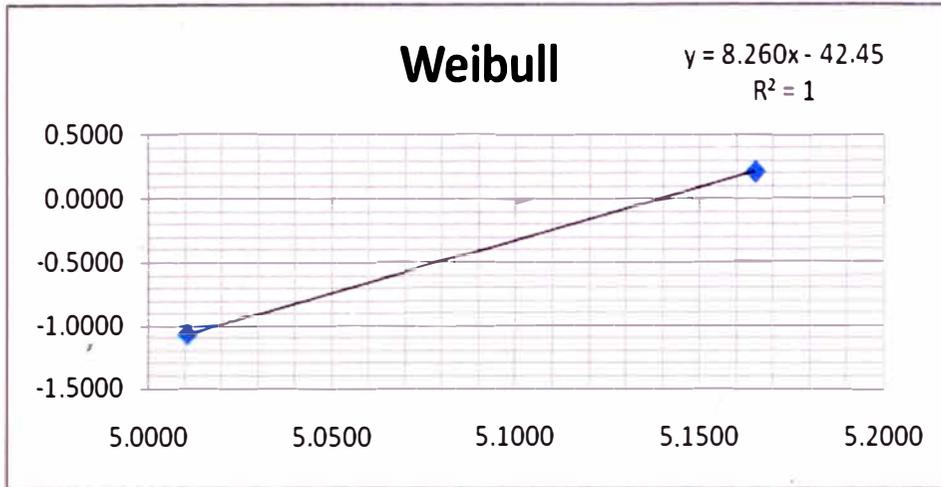
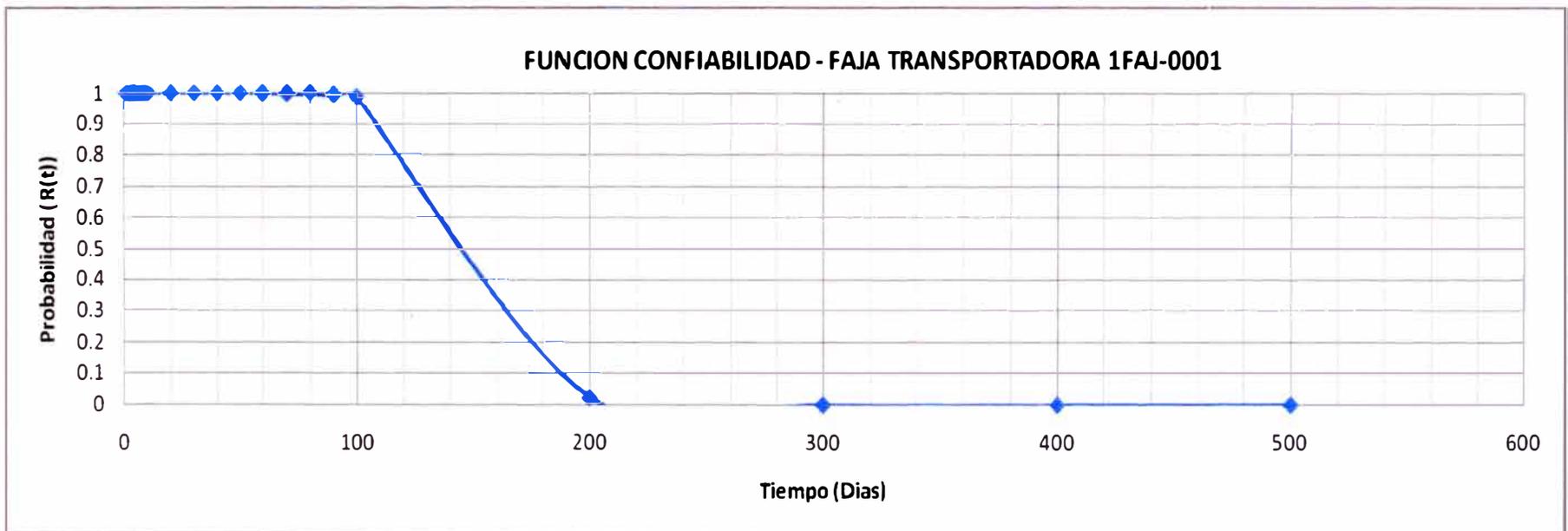


Tabla 3.3. Modelo de la faja transportadora 1FAJ-0001



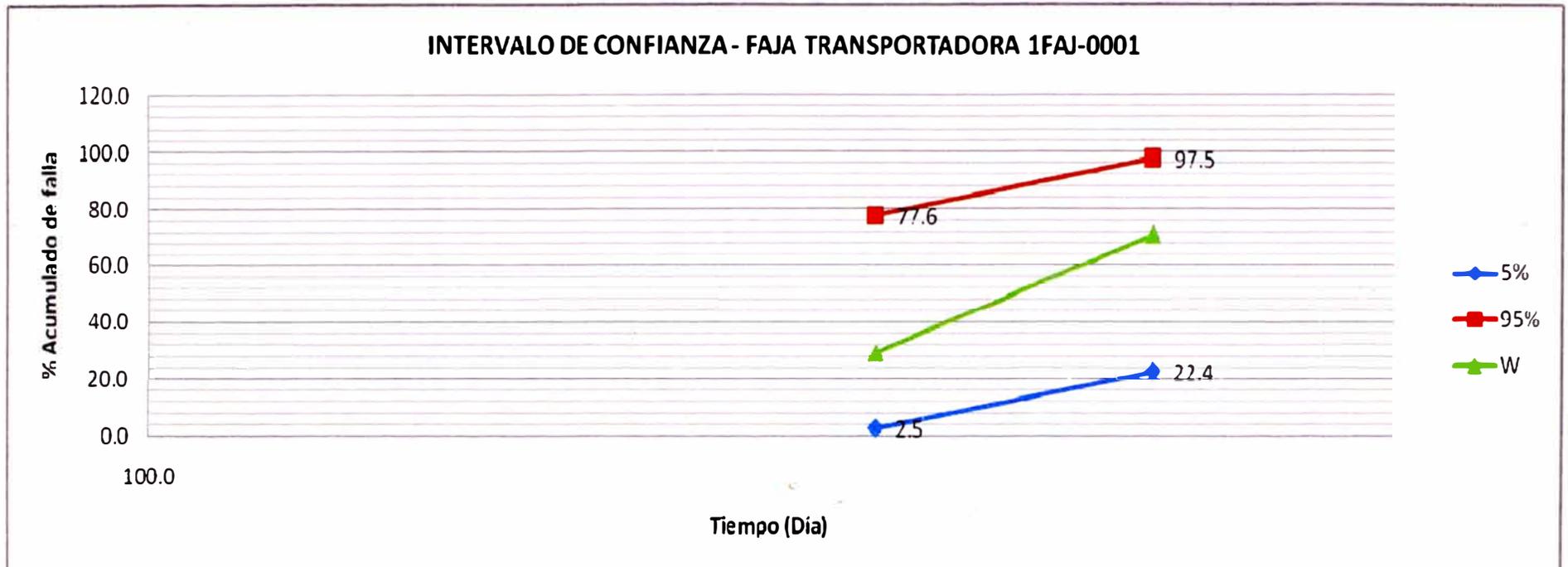


Figura 3.7. Curva de confiabilidad e intervalo de confianza de la faja transportadora 1FAJ-0001

Datos 28						MODELOS DE CONFIABILIDAD									AJUSTE - KOLMOGOROV SMIRNOV		
						EXPONENCIAL			NORMAL			WEIBULL			EXPONENCIAL	WEIBULL	NORMAL
						X	Y		X	Y		X	Y		$d\alpha = 0.250 >$	$d\alpha = 0.250 >$	$d\alpha = 0.150 >$
Orden	t	f	k	MON=i	F(t)	t	$\ln[1/(1-F)]$	F(t)	t	$\ln t$	$\ln[1/(1-F)]$	F(t)	t	F(t)	No acepta	Acepta	No acepta
1	4	2	28	1	0.0246	4	0.0250	0.2463	4	1.3863	-3.6906	0.0335	4	0.0125	0.2217	0.0089	0.0122
2	5	1	26	2.0370	0.0612	5	0.0631	0.2978	5	1.6094	-2.7628	0.0503	5	0.0146	0.2731	0.0256	0.0465
3	6	1	25	3.0740	0.0977	6	0.1028	0.3457	6	1.7918	-2.2751	0.0698	6	0.0170	0.2845	0.0279	0.0807
4	8	4	24	4.1111	0.1342	8	0.1441	0.4320	8	2.0794	-1.9373	0.1160	8	0.0221	0.3343	0.0183	0.1121
5	9	1	20	5.2963	0.1759	9	0.1935	0.4708	9	2.1972	-1.6425	0.1422	9	0.0248	0.3366	0.0337	0.1511
6	12	1	19	6.4814	0.2177	12	0.2455	0.5719	12	2.4849	-1.4046	0.2301	12	0.0328	0.3960	0.0542	0.1849
7	15	3	18	7.6667	0.2594	15	0.3003	0.6537	15	2.7081	-1.2030	0.3268	15	0.0391	0.4361	0.1091	0.2203
8	16	1	15	9	0.3063	16	0.3658	0.6774	16	2.7726	-1.0057	0.3598	16	0.0405	0.4180	0.1004	0.2658
9	18	2	14	10.3333	0.3533	18	0.4359	0.7199	18	2.8904	-0.8305	0.4258	18	0.0422	0.4136	0.1195	0.3111
10	19	1	12	11.7692	0.4038	19	0.5173	0.7390	19	2.9444	-0.6592	0.4585	19	0.0423	0.3857	0.1052	0.3616
11	21	2	11	13.2051	0.4544	21	0.6059	0.7734	21	3.0445	-0.5011	0.5222	21	0.0411	0.3696	0.1183	0.4133
12	22	1	9	14.7846	0.5100	22	0.7134	0.7889	22	3.0910	-0.3377	0.5529	22	0.0398	0.3345	0.0985	0.4702
13	24	1	8	16.3641	0.5656	24	0.8339	0.8167	24	3.1781	-0.1817	0.6117	24	0.0362	0.3067	0.1017	0.5294
14	27	1	7	17.9436	0.6213	27	0.9709	0.8518	27	3.2958	-0.0295	0.6918	27	0.0288	0.2861	0.1262	0.5924
15	28	2	6	19.5231	0.6769	28	1.1297	0.8619	28	3.3322	0.1219	0.7161	28	0.0261	0.2406	0.0949	0.6508

16	29	1	4	21.4185	0.7436	29	1.3610	0.8713	29	3.3673	0.3083	0.7392	29	0.0234	0.1944	0.0623	0.7202
17	30	1	3	23.3138	0.8103	30	1.6626	0.8801	30	3.4012	0.5084	0.7610	30	0.0207	0.1365	0.0494	0.7896
18	31	1	2	25.2092	0.8771	31	2.0963	0.8883	31	3.4340	0.7402	0.7815	31	0.0182	0.0779	0.0956	0.8589
19	32	1	1	27.1046	0.9438	32	2.8793	0.8959	32	3.4657	1.0575	0.8007	32	0.0157	0.0479	0.1431	0.9281

$\lambda$

= 0.0707

$\beta = m = 1.8548$

$\mu = 18.7$       0.4361      0.1431      0.9281

$b = -5.9501$

$\sigma = 9.43$

$\eta = 24.7$

Gamma= 0

MTTF 21.96

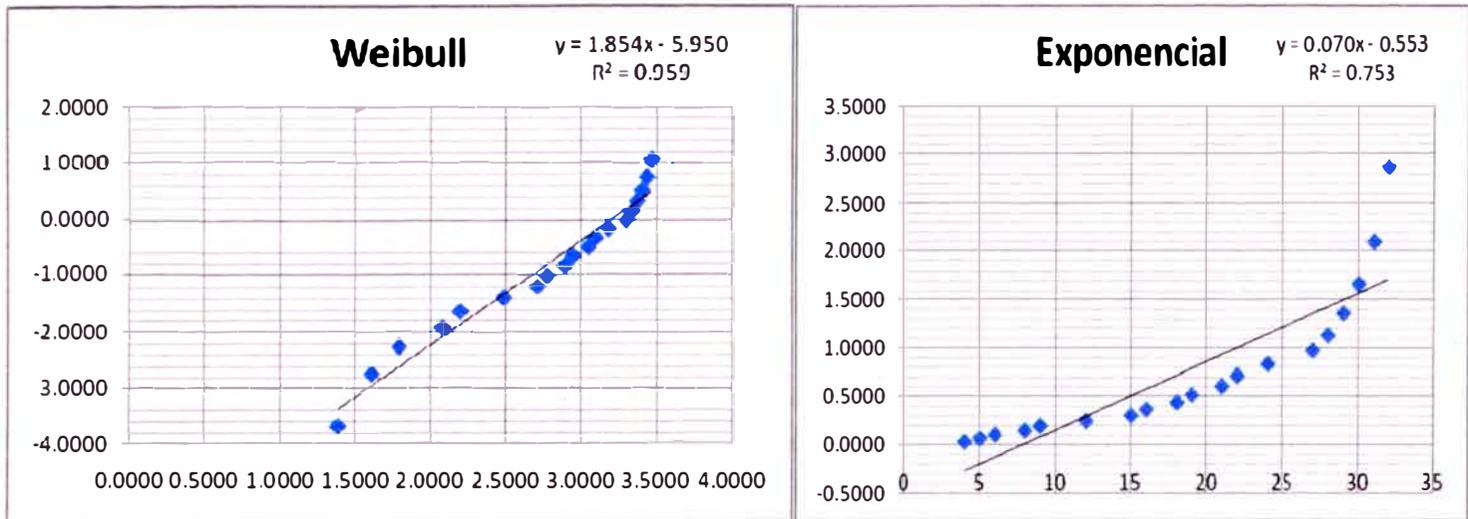


Tabla 3.4. Modelo de la zaranda grizzly 1ZAR-0001



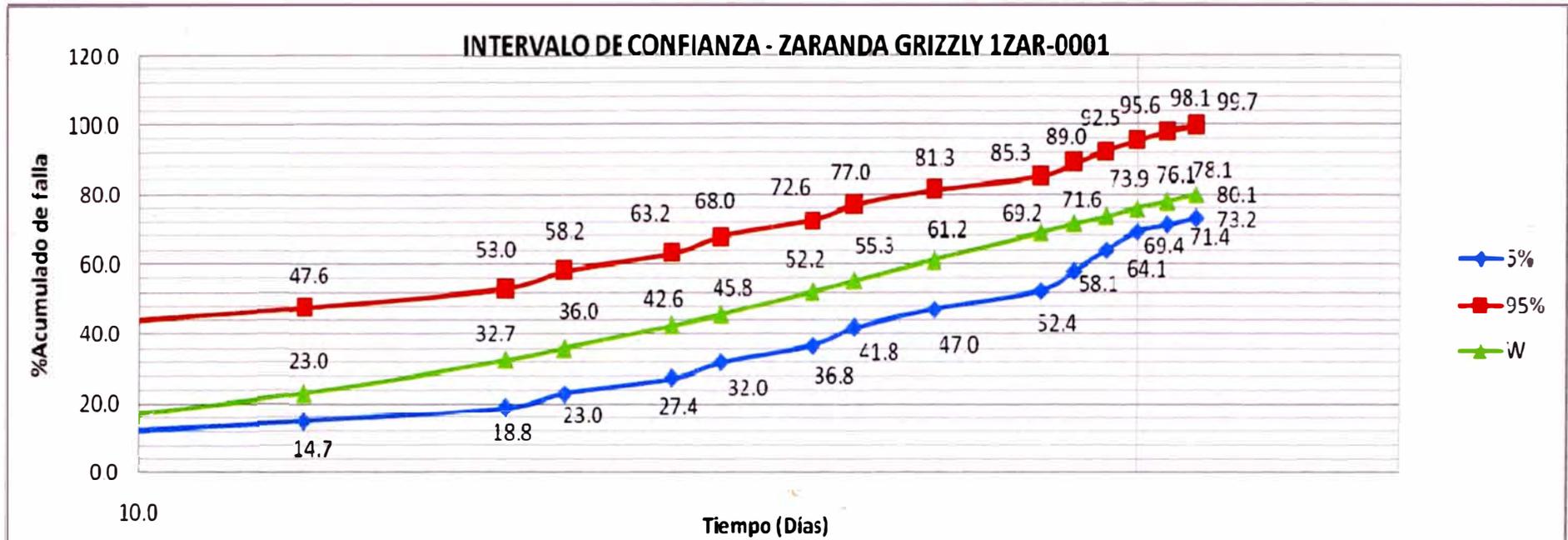


Figura 3.8. Curva de confiabilidad e intervalo de confianza de la zaranda grizzly 1ZAR-0001

Total de datos  
17

MODELOS DE CONFIABILIDAD															AJUSTE - KOLMOGOROV SMIRNOV		
EXPONENCIAL						WEIBULL						NORMAL			EXPONENCIAL	WEIBULL	NORIAL
Orden	t	f	k	MON=i	F(t)	X t	Y ln[1/(1-F)]	F(t)	t	X ln t	Y lnln[1/(1-F)]	F(t)	t	F(t)	d <sub>0</sub> = 0.318 >	d <sub>0</sub> = 0.318 >	d <sub>0</sub> = 0.318 >
1	1	2	17	1	0.0402	1	0.0411	0.0509	1	0.0000	-3.1927	0.0256	1	0.0069	0.0106	0.0147	0.1333
2	10	5	15	2.0625	0.1013	10	0.1068	0.4067	10	2.3026	-2.2368	0.2061	10	0.0162	0.3664	0.1659	0.1851
3	19	1	10	3.51136	0.1846	19	0.2040	0.6291	19	2.9444	-1.5895	0.3461	19	0.0256	0.5278	0.2448	0.1590
4	21	3	9	4.96023	0.2678	21	0.3117	0.6659	21	3.0445	-1.1656	0.3732	21	0.0268	0.4813	0.1887	0.2410
5	22	1	6	6.82305	0.3749	22	0.4698	0.6829	22	3.0910	-0.7554	0.3863	22	0.0273	0.4150	0.1185	0.3476
6	32	2	5	8.68588	0.4819	32	0.6577	0.8118	32	3.4657	-0.4190	0.5019	32	0.0246	0.4369	0.1270	0.4573
7	43	1	3	11.0144	0.6158	43	0.9565	0.8940	43	3.7612	-0.0445	0.6026	43	0.0125	0.4121	0.1207	0.3032
8	44	1	2	13.3429	0.7496	44	1.3847	0.8994	44	3.7842	0.3255	0.6106	44	0.0114	0.2836	0.1390	0.7381
9	52	1	1	15.6715	0.8834	32	2.1492	0.8118	32	3.4657	0.7651	0.5019	32	0.0246	0.0716	0.3815	0.3588

$\lambda = 0.0349$        $\beta = m = 0.95$        $\sigma = 24.9$       0.52780      0.3815      0.3588

$b = -3.7231$        $\sigma = 14.34$

$\eta = 46.8$

Gamma = 0

MTTF = 47.9

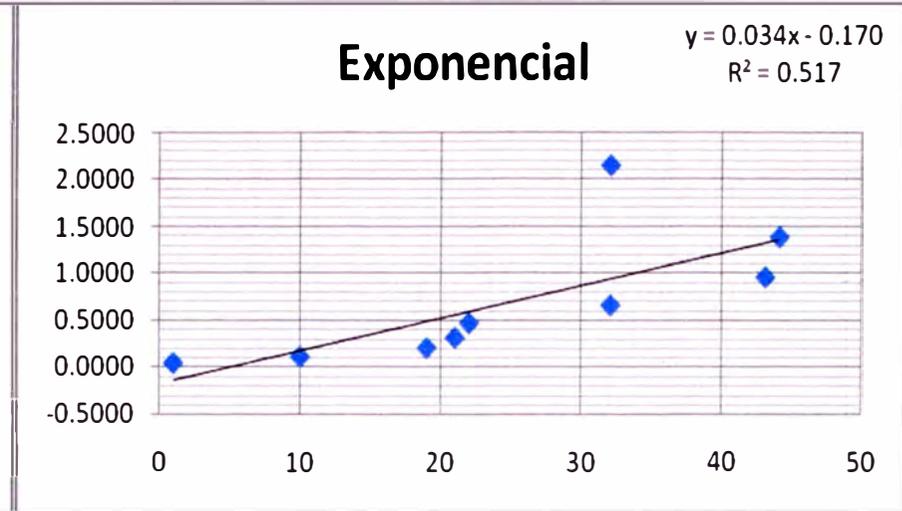
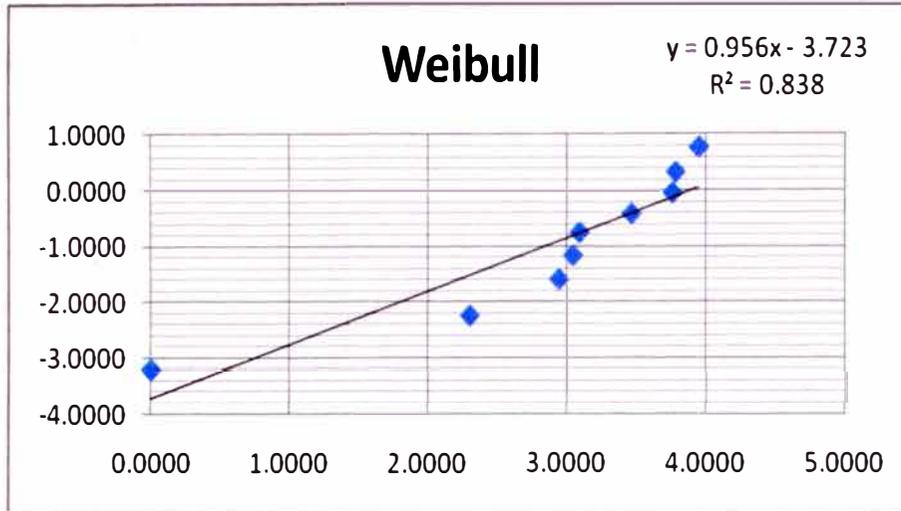
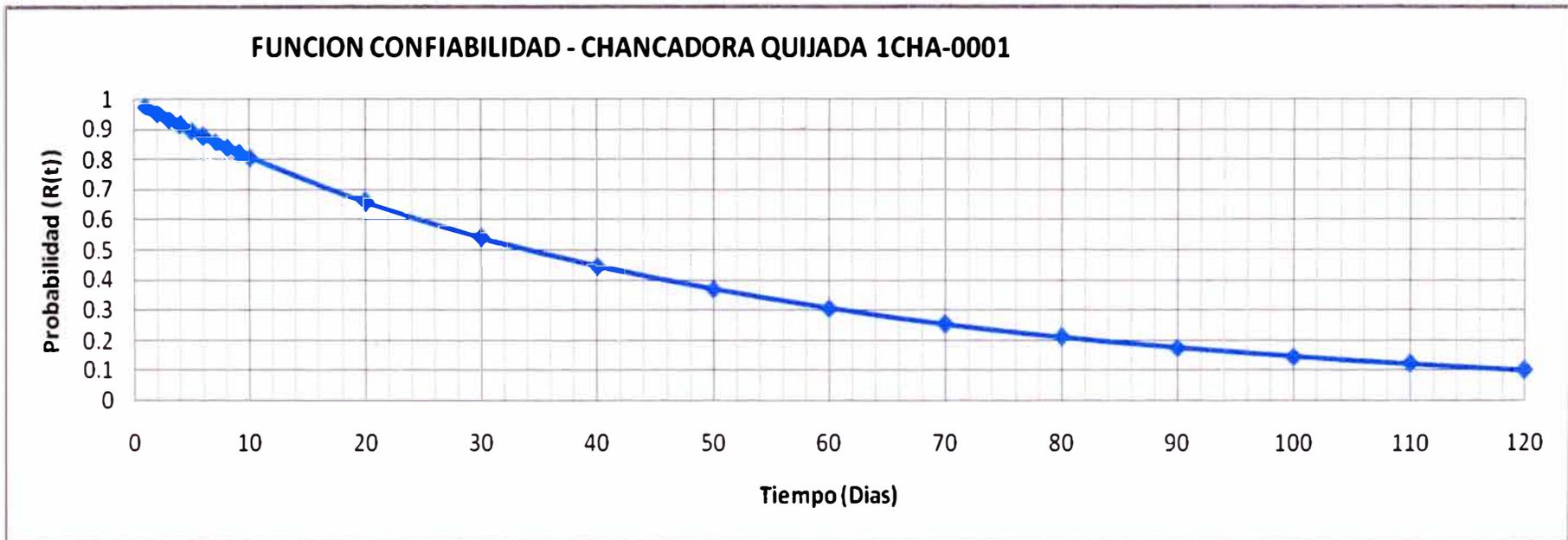


Tabla 3.5. Modelo de la chancadora de quijada 1CHA-0001



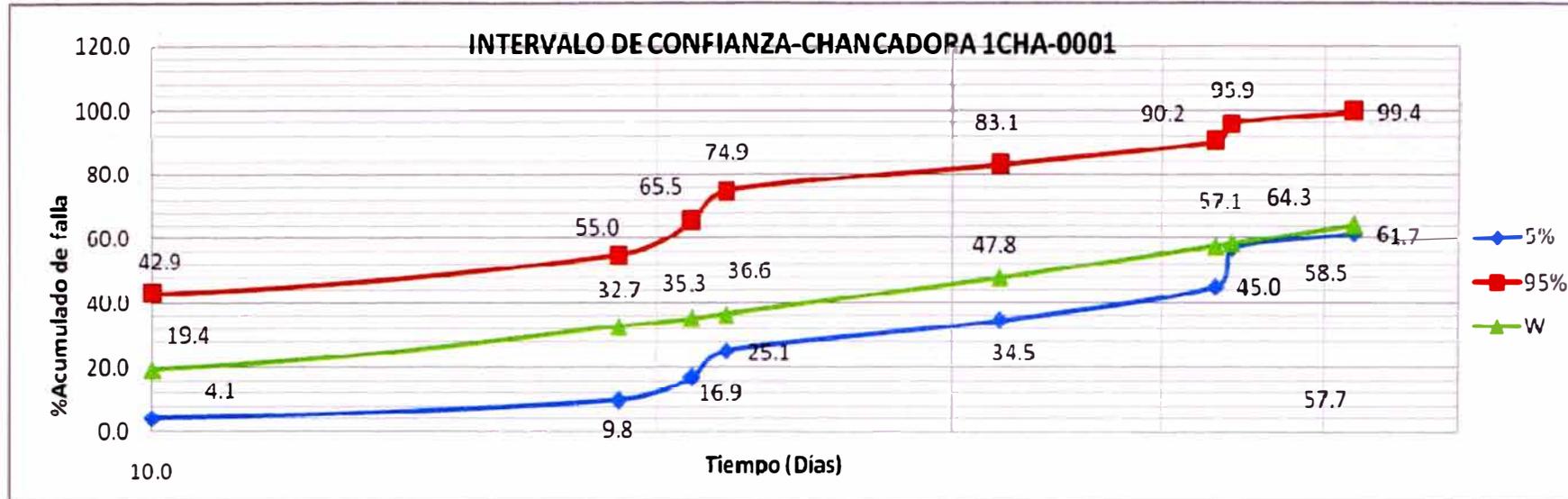


Figura 3.9. Curva de confiabilidad e intervalo de confianza de la chancadora 1ZAR-0001

						MODELOS DE CONFIABILIDAD							AJUSTE - KOLMOGOROV SMIRNDV				
						EXPONENCIAL			WEIBULL				NORMAL		EXPONENCIAL	WEIBULL	NORMAL
Datos 22						X	Y			X	Y			$d\alpha =$	$d\alpha =$	$d\alpha =$	
Orden	t	f	k	MON=i	F(t)	t	$\ln[1/(1-F)]$	F(t)	T	$\ln t$	$\ln \ln[1/(1-F)]$	F(t)	t	F(t)	No acepta	Acepta	accepta
1	12	2	22	1	0.0313	12	0.03175	0.3270	12	2.4849	-3.4499	0.0567	12	0.0156	0.2957	0.0255	0.0156
2	15	3	20	2.04762	0.0780	15	0.08123	0.3904	15	2.7081	-2.5105	0.0918	15	0.0194	0.3592	0.0606	0.0586



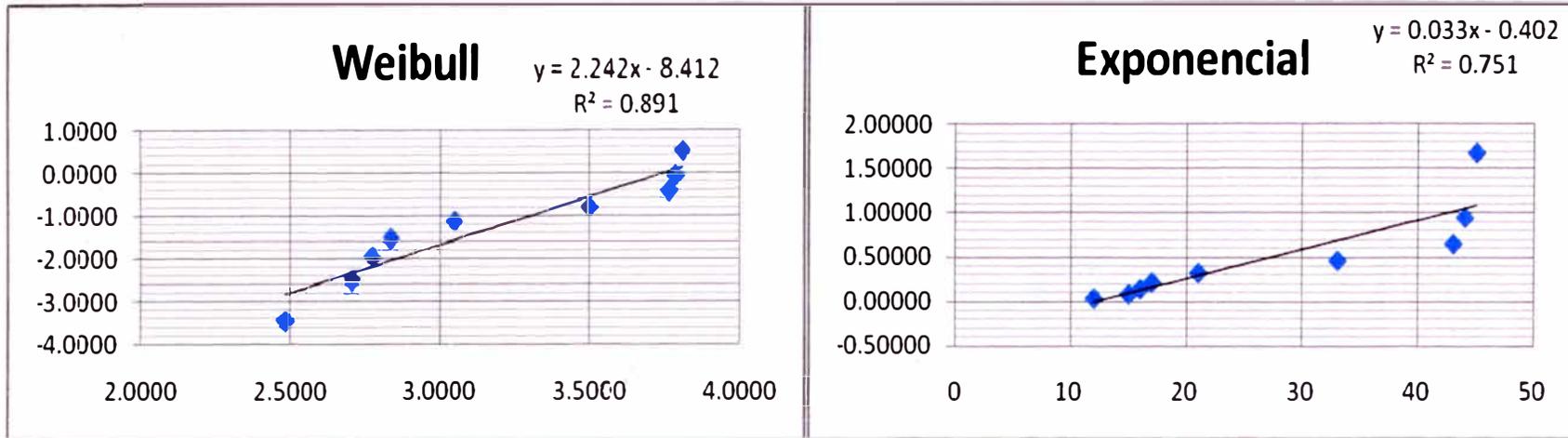


Tabla 3.6. Modelo de la faja transportadora 1FAJ-0003



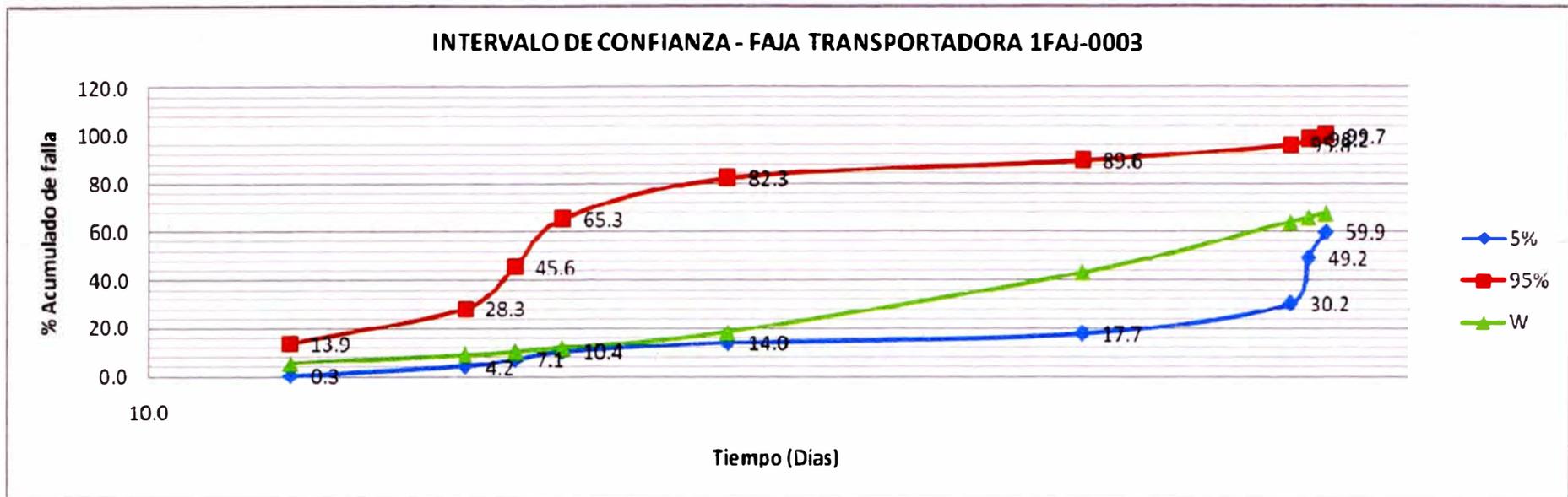


Figura 3.10. Curva de confiabilidad e intervalo de la faja transportadora 1FAJ-0003

						MODELOS DE CONFIABILIDAD							AJUSTE - KOLMOGOROV SMIRNOV					
						EXPONENCIAL			WEIBULL				NORMAL		EXPONENCIAL	WEIBULL	NORMAL	
Total de datos 16						X	Y			X	Y					$d\alpha =$	$d\alpha =$	$d\alpha =$
Orden	t	f	k	MON=i	F(t)	t	$\ln[1/(1-F)]$	F(t)	t	$\ln t$	$\ln\ln[1/(1-F)]$	F(t)	t	F(t)	No acepta	Acepta	No acepta	Acepta
1	1	2	16	1	0.04268	1	0.04362	0.0508	1	0.0000	-3.1322	0.0274	1	0.0069	0.00818	0.01532199	0.0357	



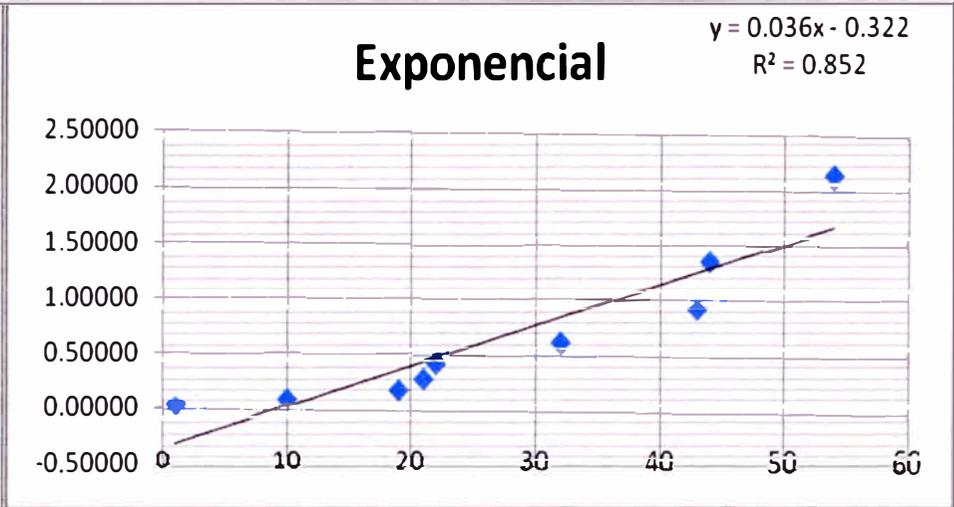
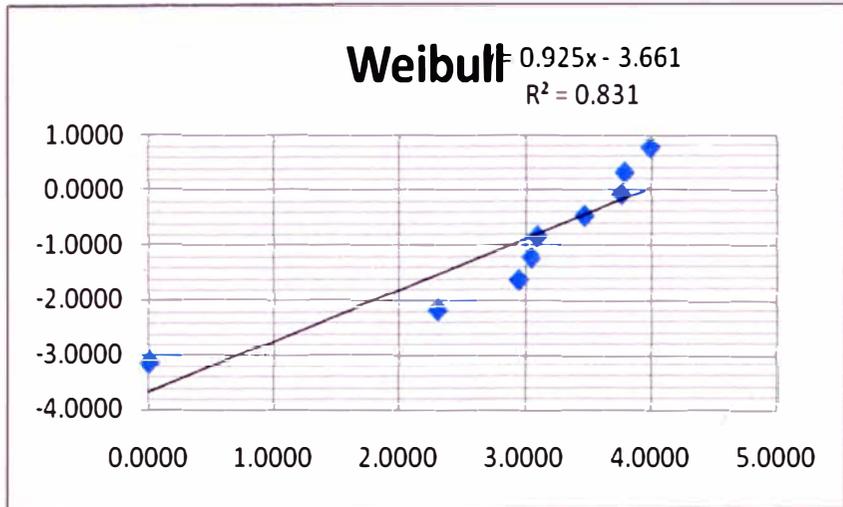
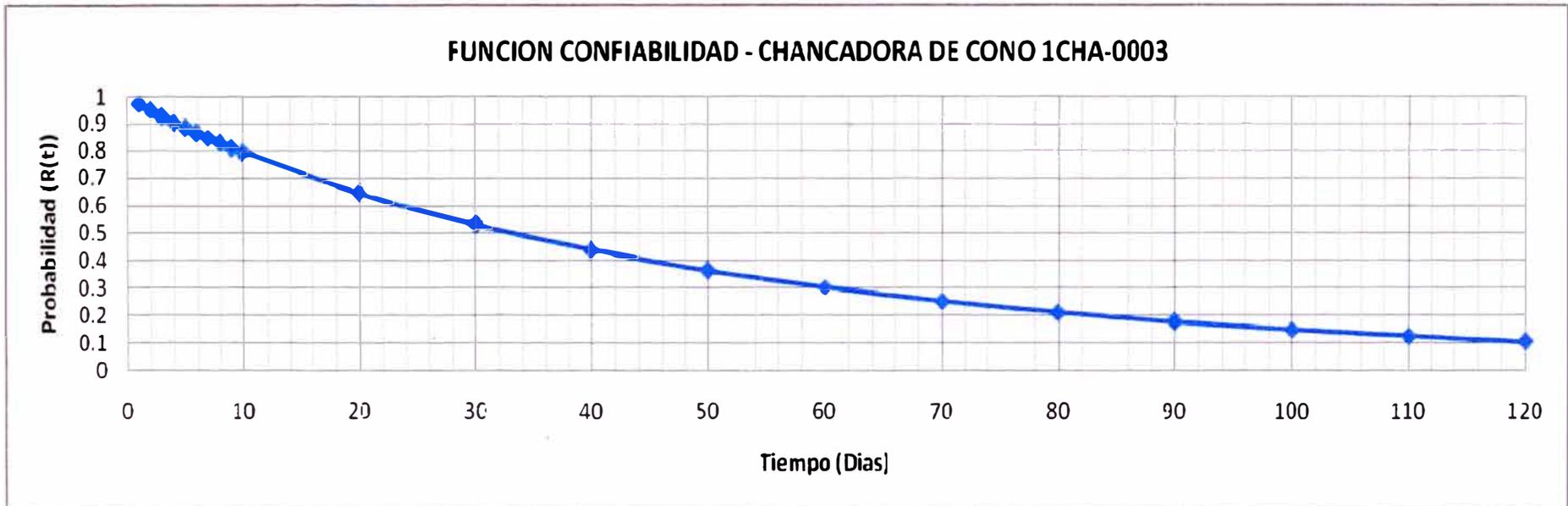


Tabla 3.7. Modelo de la chancadora de cono 1CHA-0003



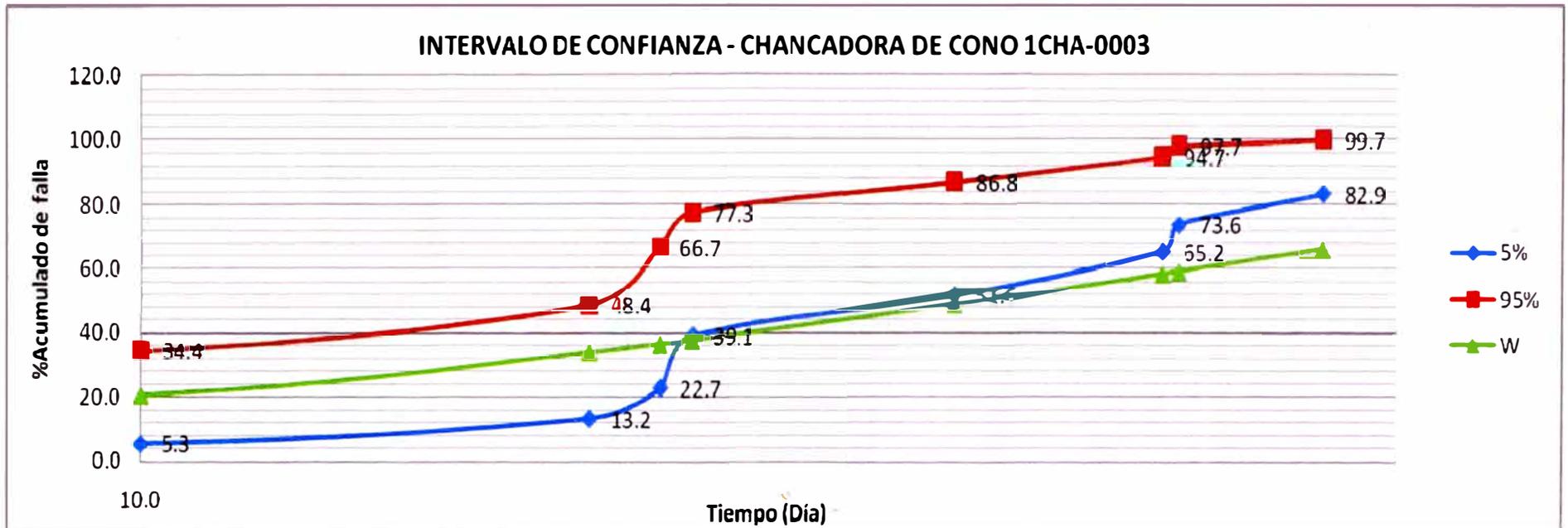


Figura 3.11. Curva de confiabilidad e intervalo de la chancadora de cono 1CHA-0003

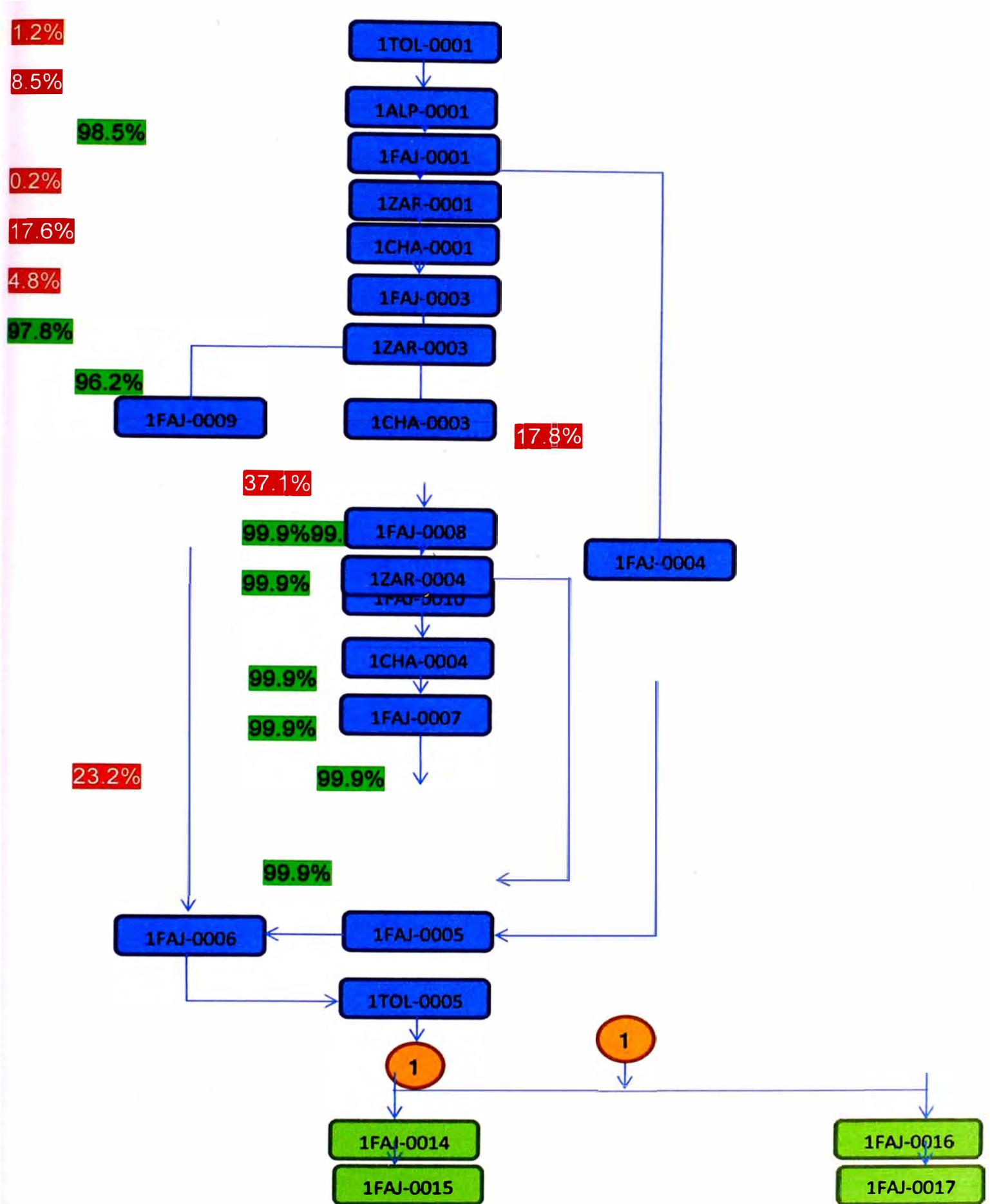


Figura 3.12. Confiabilidad a 90 días de los equipos del proceso de chancado

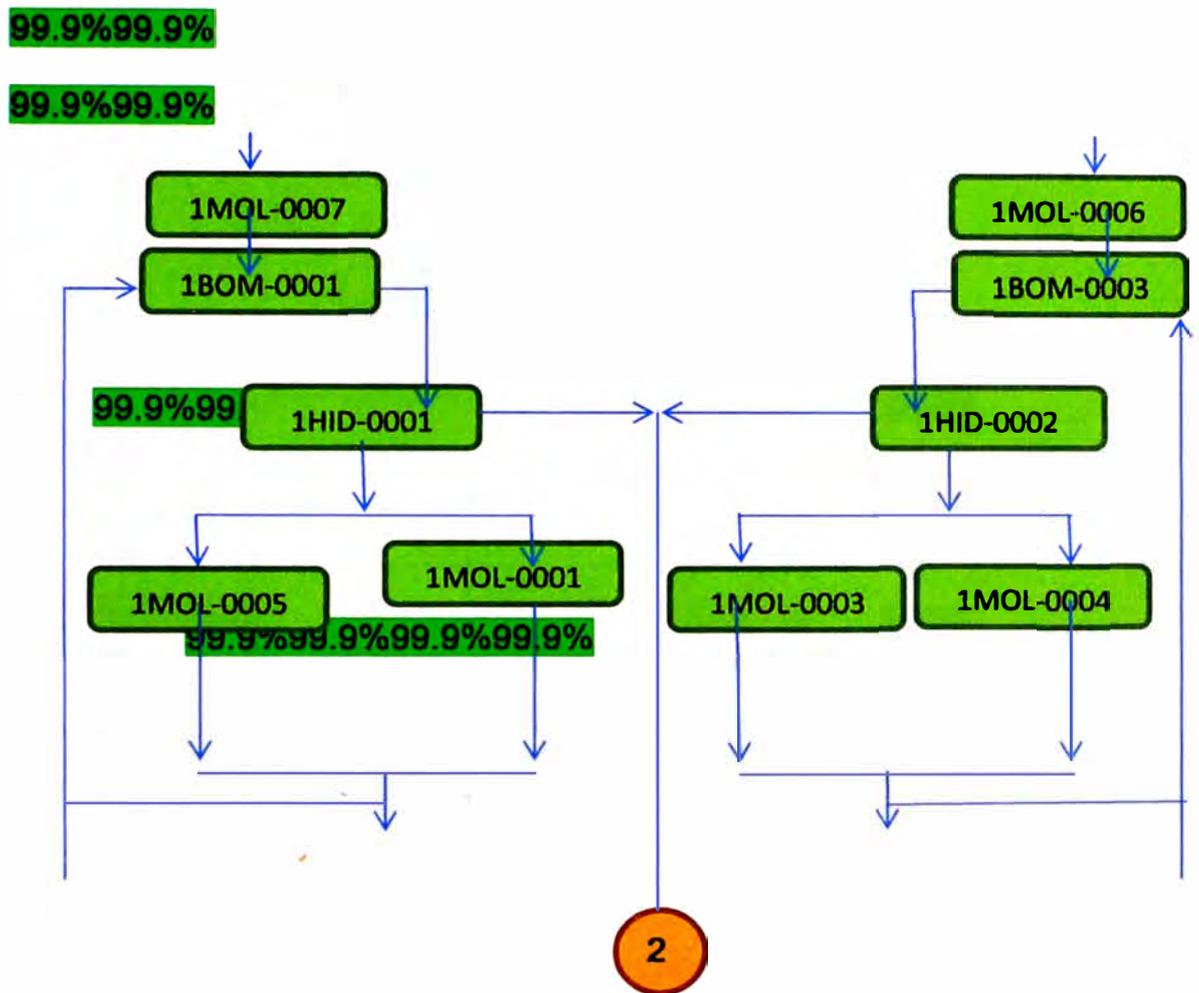


Figura 3.13. Confiabilidad a 90 días de los equipos del proceso de molienda

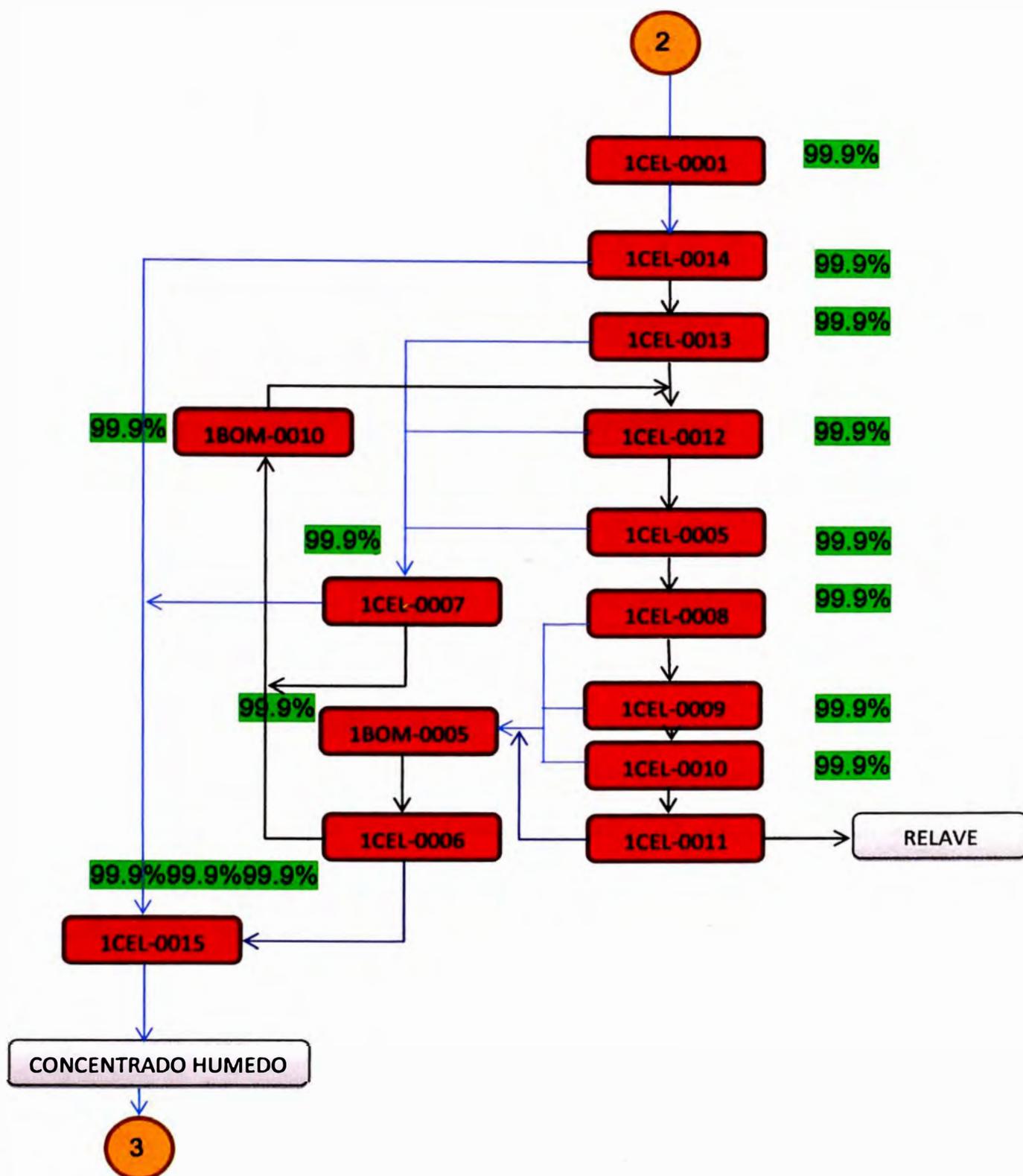


Figura 3.14. Confiabilidad a 90 días de los equipos del proceso de flotación

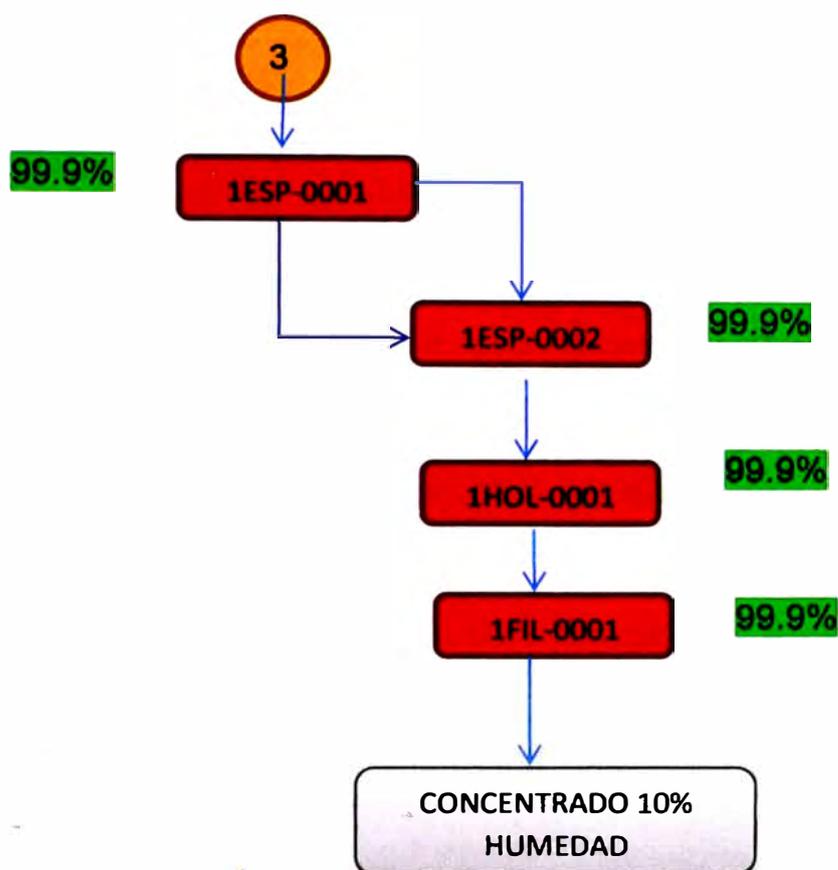


Figura 3.15. Confiabilidad a 90 días de los equipos del proceso de filtrado

### 3.4. Diagnóstico de la situación actual

En la metodología de diagnóstico, se aplican técnicas estadísticas a través de las cuales se permite el cruce de los datos y se emplean herramientas estadísticas así como un análisis de la estructura de la organización. Esto se realiza con el fin de comprobar si existen políticas, si las responsabilidades están asignadas, si los procesos de trabajo se encuentran definidos, etc.

Este diagnóstico es la base a través de la cual se podrá definir un plan de acción. En él, a través de las tablas 3.8 y 3.9, se evaluarán las siguientes categorías:

- **Madurez.** La madurez de la gestión de mantenimiento es la categorización del nivel de la organización (reactivo, planeado, precisión mejorada y clase mundial)

- **Proceso.** En este, se analiza la situación actual de los procesos de gestión de mantenimiento (correctivo, preventivo, predictivo y proactivo).
- **Recursos.** Son aquellos que identifican las competencias críticas que deben fortalecerse a través del diagnóstico de competencias técnicas, directivas y por medio de la administración de recursos.
- **Confiabilidad.** Consiste en la identificación y el análisis de los problemas más frecuentes que se presentan en la gestión de mantenimiento.
- **Mejora continua.** Ayuda a identificar las competencias proactivas del personal.

Madurez	1	Política
	2	Estrategias
	3	Gestión de los objetivos
Proceso	4	Plan o planes
	5	Gestión del uso de información
	6	Gestión y seguimiento de las actividades durante el ciclo de vida
	7	Contingencias
Recursos	8	Relación con Logística
	9	Relación Outsourcing
	10	Competencias, formación y recompensa
	11	Mecanismos eficientes en la comunicación
	12	Aseguramiento de contar con herramientas y materiales
	13	Equipos e instalaciones adecuadas
Confiabilidad	14	Metodología de gestión de riesgo
	15	Monitoreo de condiciones

	16	Gestión de fallos y no conformidades
	17	Acciones correctivas y preventivas
Mejora continua	18	Autoevaluación
	19	Mejora continua

*Tabla 3.8. Tabla base*

VALORACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	No tienen /realizan
2	A veces tienen/realizan
3	Pocas veces tienen /realizan
4	varias veces tienen/realizan
5	Siempre tienen/realizan

*Tabla 3.9. Valoración*

El resultado del diagnóstico se grafica de la siguiente manera:

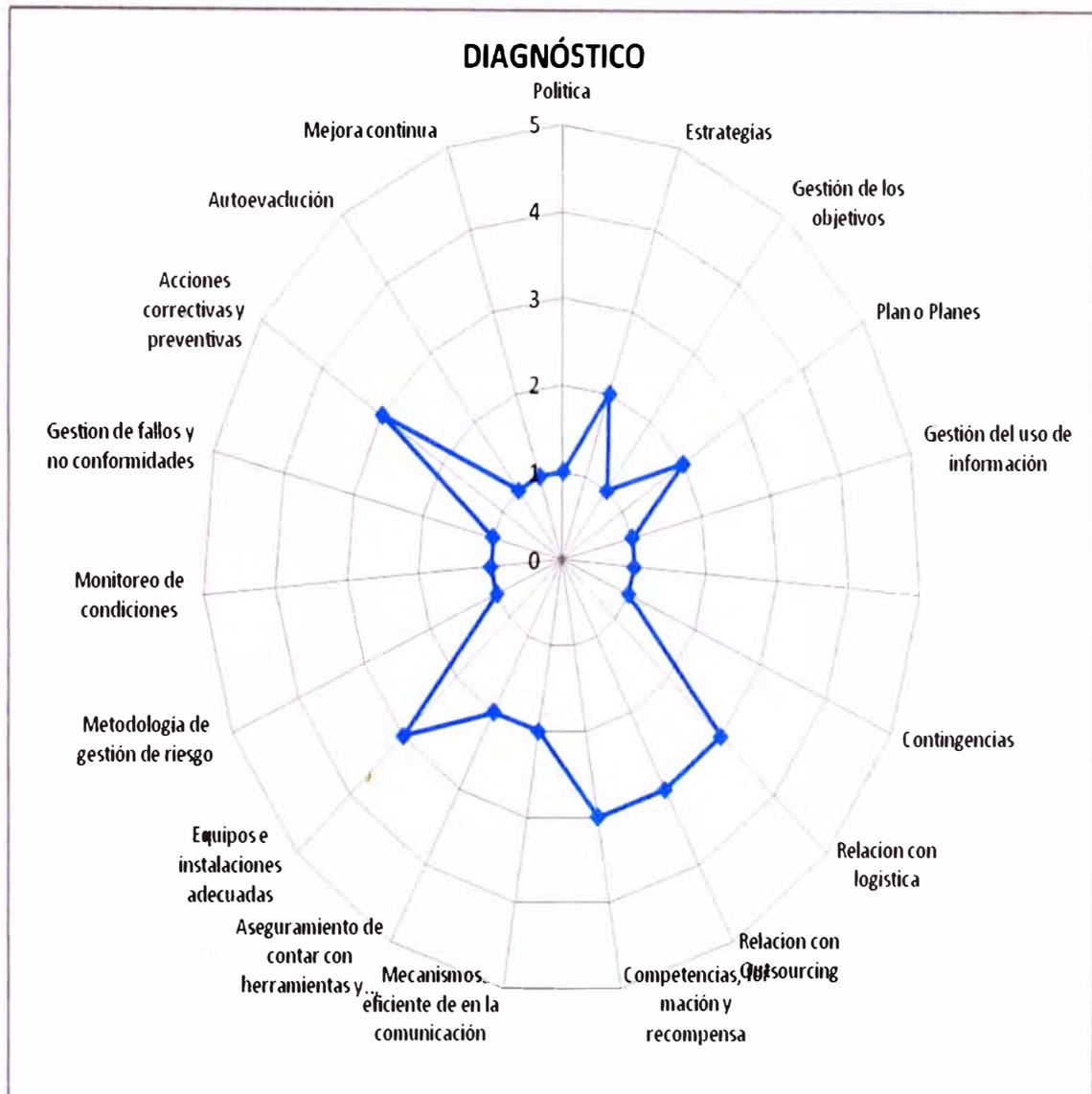


Figura 3.16. Diagnóstico realizado al área de mantenimiento

### 3.5. Análisis de la situación actual

En esta sección, se orientará a una gestión de mantenimiento sostenible y capitalizable con acciones a corto, medio y largo plazo. Esta se presenta alineada al plan estratégico y acorde con los objetivos de la empresa a través del análisis del diagnóstico de la gestión de mantenimiento. Previamente al análisis, se deben tomar en cuenta las siguientes observaciones del diagnóstico:

- El proceso de mantenimiento se organiza correctamente, ya que identifica trabajos, planifica, programa, ejecuta, cierra órdenes y analiza la información. A pesar de la correcta ejecución del proceso y contar con recursos adecuados, aún existen paradas continuas de los equipos, las cuales perjudican las operaciones del procesado de mineral.
- Revisando los documentos, se hallaron planes de mantenimiento preventivo, proporcionados por el proveedor, además de escasas estrategias de mantenimiento que no son suficientes para lograr un incremento de la confiabilidad de los equipos.
- La estrategia escasa de mantenimiento no tiene una dirección para el cumplimiento de la meta de la operación de planta.
- No existe monitoreo de condiciones para verificar el estado de las fallas para equipos críticos.
- En los planes de mantenimiento, no se encuentra planes de acción de riego que permitan determinar la prioridad de cada evento o de cada equipo.
- Si se necesita reemplazar o adquirir un determinado equipo no existe documentos físicos o digitales del seguimiento del costo del ciclo de vida de los equipos.
- La información que se necesita para futuras evaluaciones de modos de falla es escasa.

- Se cuenta con el personal técnico calificado; sin embargo, no proporcionan soluciones a los problemas para el mejoramiento continuo de los indicadores de gestión.
- Los modos de falla tienen frecuencias elevadas, esto quiere decir que se realizan reparaciones con el fin de dar solución a dichos problemas, mas no existe una proyección de solución para el futuro, debido a que no se cuenta con procedimientos y capacitación adecuados del análisis de causa raíz.

Analizando las observaciones, se encontró la debilidad del proceso identificación de trabajo, debido a que dichos trabajos identificados, como se menciona en las observaciones, son de mantenimiento y preventivos, según el fabricante, y algunos trabajos por parte del mecánico. Esto causa escasos planes de mantenimiento, falta de monitoreo de condiciones y no analizar la causa raíz. También, se encontró que las estrategias de mantenimiento no tienen dirección para que las operaciones de planta lleguen a sus objetivos y esto genera un indicador que no ayuda en su totalidad a medir el desempeño del área; además, causa una carencia de un procedimiento de criticidad.

En conclusión, se necesita dos procesos importantes. El primero debe interactuar con el proceso de identificación de trabajo y el segundo, con el proceso de análisis de información.

## **CAPÍTULO IV**

# **SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD**

## **OPERACIONAL**

En el diagnóstico, se encontraron observaciones significativas en el proceso de planeamiento y análisis de la información. En el proceso de planeamiento, se observó que existen solo planes de mantenimiento preventivos, dados por el fabricante, y, en pocas cantidades, planes por monitoreo. En el proceso de análisis de información, se analiza la disponibilidad mecánica (DM), el MTTR (tiempo promedio de reparación) y, en pocas oportunidades, MTBS (tiempo promedio entre fallas), pero no se analiza la relación entre ellos y con las metas de la empresa.

En el análisis, se menciona que la causa raíz de las altas frecuencias de modos de falla y modos de falla que tienen una paralización prolongada es la deficiencia de los procesos de identificación de trabajo, la cual genera la escases de planes de mantenimiento preveniditos o predictivos y análisis de información que no brinda los indicadores necesario para realizar planes con el fin de mejorar las operaciones. Se llegó a la conclusión de que se debe implementar un proceso de confiabilidad y ampliar los procesos de análisis de la información.

Para implementar procesos, se debe asociarlos con una realidad del sistema actual. Esto hace posible estudiar las interacciones de sus elementos componentes. En la figura 4.1, se muestra el sistema de gestión planteado de mantenimiento, que interpreta el proceso; además, se observan etapas que deben operar en el sistema, tales como la etapa de mantenimiento y operación, etapa de los indicadores técnicos/financieros y, por último, la etapa de estrategias de confiabilidad. Todo esto se encuentra inmerso en un ambiente de desarrollo de competencia reforzado con formación esencial y con especialización. Además, se observa que los elementos del sistema interactúan entre sí con el fin de recibir, procesar y producir información o bien realimentarse.

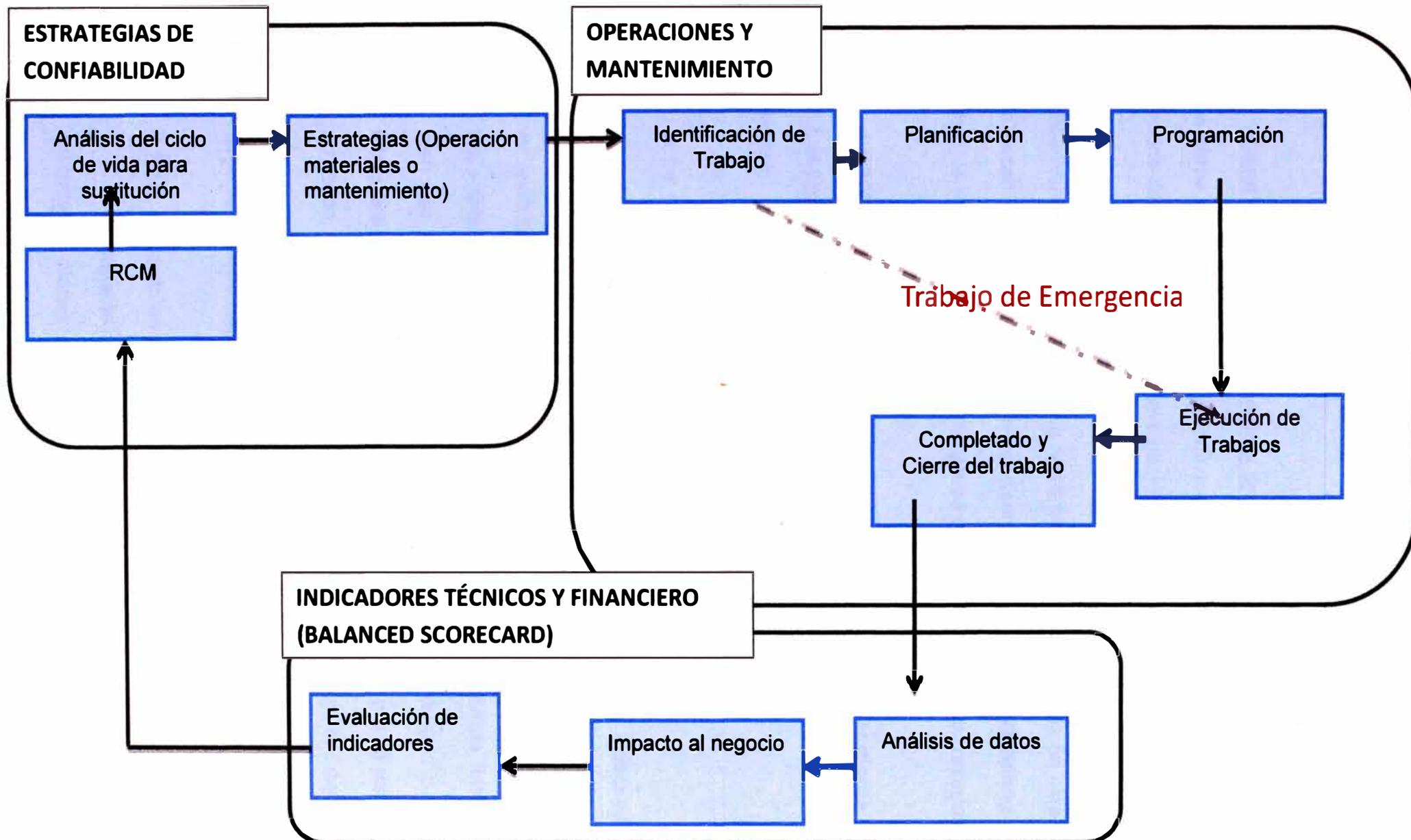


Figura 4.1. Sistema de gestión de mantenimiento planteado

#### **4.1. Etapa de indicadores técnicos/ financieros (Balanced Scorecard (BSC))**

La etapa de indicadores técnicos/financieros tiene como objetivo la localización de modos de falla a través de la evaluación de indicadores, los cuales influyen en el proceso productivo de la planta concentradora. Estos fueron el resultado del procesamiento de la información. La herramienta que utilizaremos en esta etapa es el Balanced Scorecard (BSC), que precisará la estrategia e indicadores que son necesarios analizar con el fin de la empresa cumpla con las metas trazadas.

##### **4.1.1. Procesos de la etapa de indicadores técnicos/ financieros**

Los procesos de la etapa de indicadores técnicos/financiero son los siguientes:

###### **4.1.1.1. Análisis de datos**

El análisis de datos consiste en el ingreso adecuado de la información al software de mantenimiento de la empresa. Dicha información es recibida por las órdenes de trabajo, backlog, vales de almacén y tareo de los colaboradores. Si el ingreso de los datos se produce de forma errónea, bien sea por error de tipeo, error en el registro del formato o error en la interpretación de datos, los resultados proporcionados por el sistema serán erróneos. Estos pueden causar la reducción de la confiabilidad al aplicar estrategias sobre la base de los resultados; por ello, el ingreso de datos al sistema se debe realizar de manera analítica.

###### **4.1.1.2. Impacto en el negocio**

El impacto al negocio es localizar los indicadores, procedimientos, estándares, planes y estrategias que influyeron en el proceso de producción de la planta concentradora.

#### **4.1.1.3. Evaluación de indicadores**

La evaluación de los indicadores es la localización de los modos de falla que afectan la desviación de los indicadores que influyen en el proceso de producción de la planta concentradora.

#### **4.1.2. Balanced scorecard (BSC)**

El Balanced Scorecard ofrece una visión integrada y balanceada de la empresa, la cual permite desarrollar la estrategia en forma clara. Esto se logra a través de objetivos estratégicos identificados en 5 perspectivas financiera, clientes, procesos internos aprendizaje e innovación, (mapa estratégico de productividad). Cada una de las perspectivas, se vincula con las demás mediante relaciones de causa y efecto. BSC promueve, además, el alineamiento de los objetivos estratégicos con indicadores de desempeño (tabla de control), metas y planes de acción para hacer posible la generación de estrategias en forma integrada con el fin de garantizar que los esfuerzos de la organización se encuentren en línea con las mismas. El mapa estratégico y la tabla de control propuestos se muestran en figura 4.2 y en la tabla 4.1, respectivamente.

# MAPA ESTRATÉGICO DE PRODUCTIVIDAD DE MANTENIMIENTO

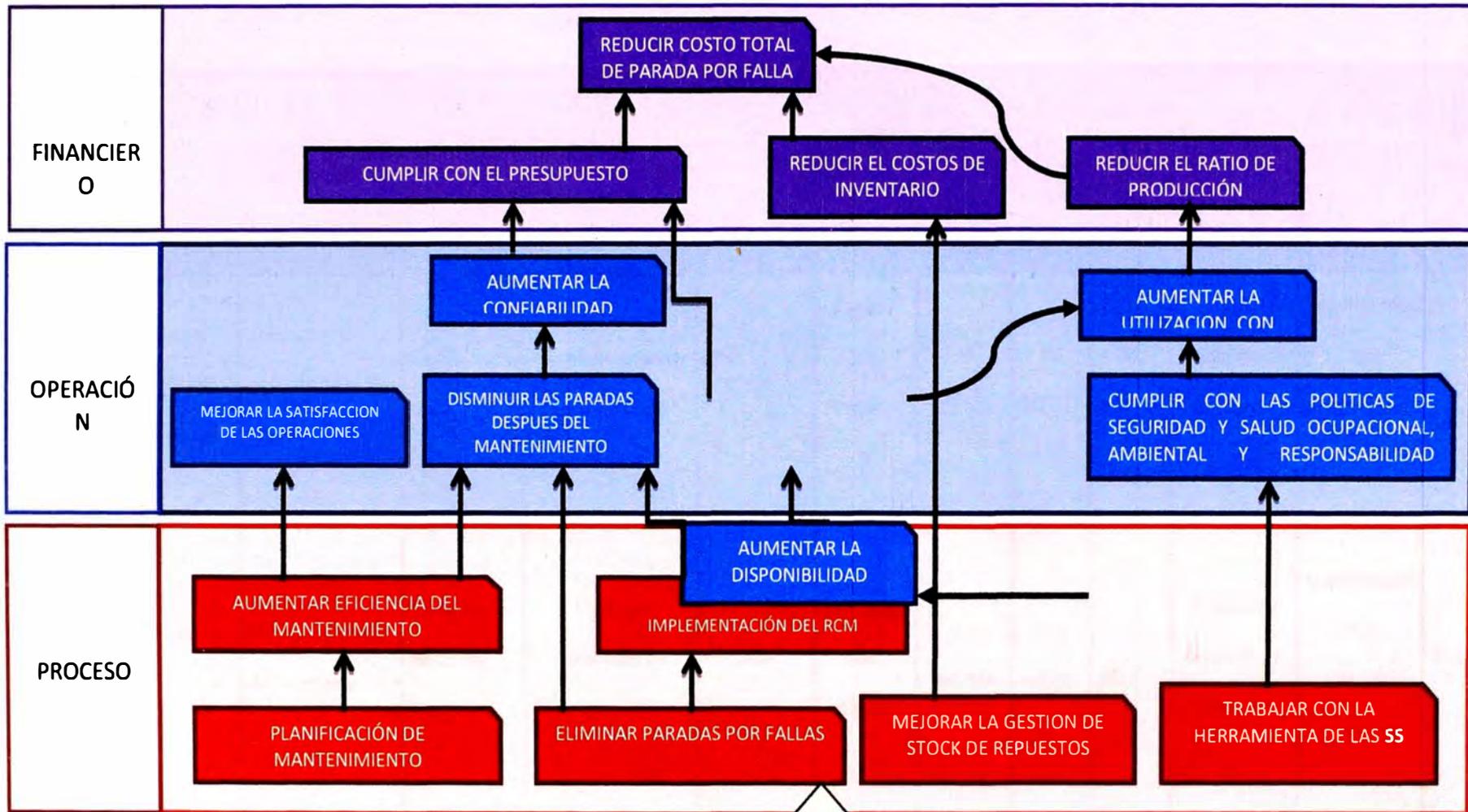


Figura 4.2. Mapa estratégico de productividad de mantenimiento

DIRECCION-OBJETIVO													
ESTRATEGICO			MEDIDAS					METAS		MEDIOS			
PER SP.	PROPUESTA DE VALOR	OBJETIVOS	INDICADORES	DEFINICION OPERACIONAL	FRECUENCIA	FUENTE	NIVELES	Jul-15	Dic-15	PROYECTOS	LIDERES	INICIO	FIN
FINANZAS Y CRECIMIENTO	Disminuir todos los costos que involucra por la falla del equipo	Disminuir el costo de todas las fallas	Costo cesante	Costo de paradas debido a fallas	Mes	Reporte de Producción	35 KUSD	10 KUSD	01 KUSD	Disminuir el costo cesante	Superintendente mantenimiento	Ene-15	Dic-15
	Manejar consignaciones de repuestos y/o materiales	Reducir el costo de inventario	Valor de Stock de Repuestos	Costo de inventario de repuestos	Mes	Inventario de almacén	2.5 MUSD	1.5 MUSD	1 MUSD	Reducción del stock de repuestos	Superintendente mantenimiento	Ene-15	Dic-15

	Usar con efectividad los repuestos en el momento adecuado	Cumplir el presupuesto de mantenimiento planeado	% Cumplimiento del presupuesto	Costo de Mantenimiento / Costo Mantenimiento Planeado	Mes	Vales de salida de almacén y el presupuesto	136%	90%	100%	Cumplimiento del presupuesto de mantenimiento	Superintendente mantenimiento	Ene-15	Dic-15
	Aumentar la producción de los equipos por el aumento de la utilización.	Disminuir el ratio de producción	Ratio de Producción	Costo Mantenimiento/ Volumen de Producción	Mes	Vales de salida de almacén y reporte de producción	152 USD/TN	100 USD/TN	88 USD / TN	Disminución del costo de mantenimiento	Superintendente mantenimiento	Ene-15	Dic-15
OPERACIONES	Cumplir con las Políticas de la empresa	Cumplir con las políticas de Seguridad y Salud Ocupacional, Medioambiente y	Observaciones	Nro. de Observaciones Levantadas / Todas las Observaciones	Mes	Reporte de Seguridad	56%	90%	100%	Cumplir con las Políticas de la empresa	Superintendente Mantenimiento	Ene-15	Dic-15

	Responsabilidad Social											
Aumentar la utilización de los equipos	Aumentar utilización con calidad	Utilización	H Operación / H programadas	Mes	Reporte de Indicadores	86%	90%	100%	Mejora de la utilización	Jefe de Planeamiento	Ene-15	Dic-15
Mejorar la confiabilidad de los equipos	Aumentar confiabilidad	Confiabilidad	MTTF(MEAN TIME BETWEEN FAILURES )	Mes	Reporte de Indicadores	120	360	720	Mejora de la Confiabilidad	Jefe de Planeamiento	Ene-15	Dic-15
Mejorar la disponibilidad de los equipos	Aumentar la disponibilidad	Disponibilidad Física	(H programadas-H paradas)/H programadas	Mes	Reporte de Indicadores	75%	90%	98%	Mejora de la Disponibilidad	Jefe de Planeamiento	Ene-15	Dic-15
Eficiencia del mantenimiento	Disminuir las Paradas después del Mantenimiento	Eficiencia del Mantenimiento	Nro. de paradas después del mantenimiento	Mes	Reporte de Indicadores	6	2	1	Eficiencia del Mantenimiento Ejecutado	Jefe de Planeamiento	Ene-15	Dic-15

	Garantizar que las observaciones de las operaciones se cumplan con eficiencia y eficacia	Mejorar la satisfacción de las operaciones	Satisfacción eficiente de las operaciones	Nro. OT atendida a Plazo/ Nro. OT Solicitada de reclamos.	Mes	Orden de Trabajo	32%	60%	90%	Eficiencia y eficacia de la comunicación entre el mantenedor y el operador	Jefe de Mantenimiento	Ene-15	Dic-15
			Rapidez de atención	Tiempo de respuesta a los pedidos de los operaciones	Mes	Orden de Trabajo	102 horas	24 horas	12 horas		Jefe de Mantenimiento	Ene-15	Dic-15
PROCESOS	Implementación del RCM	Trabajar con la metodología del RCM	% Implementación del RCM	% de avance	Mes	Registro de implementación del RCM	0%	60%	100%	Implementación de RCM	Jefe de Planeamiento	Ene-15	Dic-15
	Planificación del mantenimiento	Reducir las paradas imprevistas	% Tareas planificadas	Tareas planificadas /tareas totales	Mes	Reporte de operación	2/9	1/5	3/7	Eficiencia de la planificación	Jefe de Planeamiento	Ene-15	Dic-15

					y programa de mantenimiento							
Garantizar que no exista ninguna parada después de la ejecución del mantenimiento	Mejorar la eficiencia del mantenimiento con parada de planta	Eficiencia del mantenimiento	Nro. de fallas después de paradas de plantas	Mes	Reporte de operación	4	2	1	Eficiencia de la ejecución del mantenimiento	Jefe de Planeamiento	Ene-15	Dic-15
Empleo de causa – Raíz	Eliminar las paradas por fallas	Empleo del Análisis Causa-Raíz	Nro. Análisis Causa – Raíz / Nro. Fallas	Mes	Cuadro de Causa-Raíz de las fallas	0%	60%	09%	Eliminación de fallas ocurrida	Jefe de Planeamiento	Ene-15	Dic-15
Alianza con proveedores estratégicos.	Mejorar la gestión del stock de repuestos	% Proveedores con contrato estratégicos	Proveedores con contrato estratégico / Total de proveedores	Mes	Contratos	0%	2	5	Gestión de stock de repuestos	Jefe de Planeamiento	Ene-15	Dic-15

	Implementación del sistema 5S	Trabajar con la herramienta de 5S para un mejor desarrollo del mantenimiento	% Implementación de 5S	% de avance	Mes	Registro de Implementación del Sistema 5S	0%	60%	100%	Implementación del Sistema 5S	Jefe de Mantenimiento	Ene-15	Dic-15
RECURSOS	Formación permanente en especialidades y mejora del nivel académico, participación, activa en el proceso de mantenimiento	Mejorar las competencias del personal para optimizar el tiempo, calidad y servicio	Entrenamiento por especialización	Número de horas hombre de entrenamiento por especialidad	Mes	Capacitaciones	0%	20%	60%	Evaluación de desempeño en Tiempo y Calidad	Jefe de Planeamiento	Ene-15	Dic-15
			% de colaboradores con planes de desarrollo	Relación de empleados que cambiaron su nivel académico en relación al total	Mes	Puesto de trabajo	0%	10%	30%	Evaluación de desempeño en Tiempo y Calidad	Jefe de Planeamiento	Ene-15	Dic-15
	Integrar todos los procesos mediante sistemas información	Desarrollar software especializado	Implementación de software	% Implementación	Mes	Módulos del Software	10%	30%	70%	Software de manejo de activos,	Jefe de Planeamiento	Ene-15	Dic-15

		para toma de decisiones								operación y mantenimiento			
Desarrollo de una cultura de trabajo en equipo desarrollando un sistema BSC orientada a logros	Desarrollar las capacidades para optimizar los procesos de mantenimiento.	Productividad	Relación de horas disponibles entre horas trabajadas	Mes	Tareo del personal	17%	30%	70%	Registro de información personal	Jefe de Mantenimiento	Ene-15	Dic-15	
		Efectividad	% Cumplimiento de metas	Mes	Ordenes de Trabajo	30%	40%	80%	Gestión de la calidad	Jefe de Mantenimiento	Ene-15	Dic-15	

Tabla 4.1. Cuadro de control de la estrategias

## **4.2. Etapa estrategia de confiabilidad**

La etapa de estrategia de confiabilidad tiene por objetivo entregar al proceso de identificación de trabajo estrategias de confiabilidad que generen planes de mantenimiento preventivo y predictivos a través del mantenimiento centrado en la confiabilidad y ciclo de vida para el análisis de sustitución. Esta etapa cuenta con los siguientes procesos:

### **4.2.1. Mantenimiento centrado en la confiabilidad**

El mantenimiento centrado en la confiabilidad, como se mencionó en el punto 2.3, es una estrategia proactiva que tiene el propósito de lograr la máxima fiabilidad de los equipos y una larga duración con el mínimo costo. Además, su implementación cuenta con los siguientes pasos:

#### **4.2.1.1. Formación de grupo de optimización de la confiabilidad**

La formación de grupos de optimización de la confiabilidad no solamente permite a los gerentes conocer y absorber la experiencia de cada miembro en una base sistemática, sino que aporta a cada uno un entendimiento mucho más completo del funcionamiento del bien en su contexto operativo. En nuestra propuesta el grupo será formado por el operador, ingeniero de procesos (Supervisor de la planta concentradora), el planeador, el especialista (Técnico de la empresa representante de la marca), mantenedor (mecánico responsable del equipo) y por último el facilitador que sería el jefe de planeamiento como muestra la Figura 4.3 y el facilitador tendrá los roles y actividades como muestra la Figura 4.4



Figura 4.3. Grupo de optimización de la confiabilidad

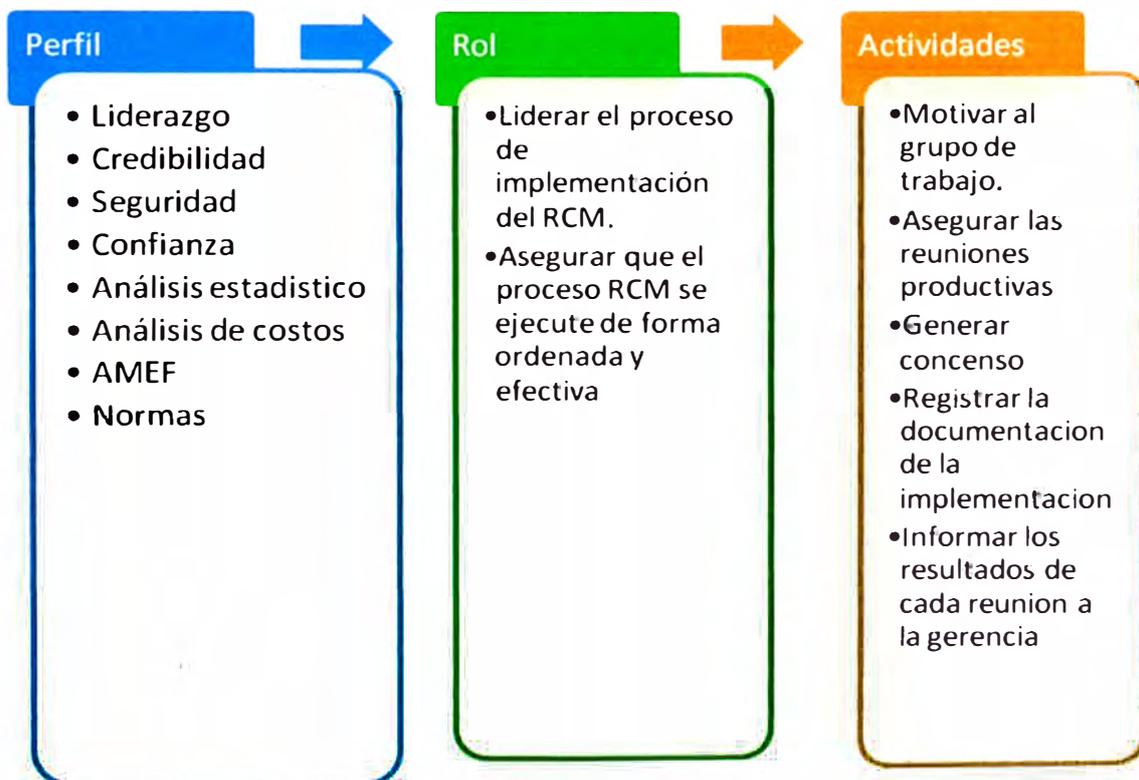


Figura 4.4. Facilitador

#### **4.2.1.2. Análisis de la criticidad**

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o las prioridades de los procesos, los sistemas y los equipos, lo cual crea una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas. Esto direcciona el esfuerzo y los recursos en áreas donde estos sean más importantes y/o necesarios para mejorar la confiabilidad operacional, basada en la realidad actual. Al establecer, en el presente informe, qué equipos son los más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los las inspecciones, programas y planes de mantenimiento de los siguientes tipos: preventivo, predictivo, correctivos, defectivos e, inclusive, posibles rediseños a nivel de procedimientos y modificaciones menores que permitirán establecer la prioridad para la inspección, programación y ejecución de órdenes de trabajo.

La determinación de la criticidad de un equipo se basa en tres aspectos fundamentales: las fallas de equipos (determinación de la criticidad por mantenimiento), las condiciones generadas por la falla, las cuales afectan la seguridad de las personas y del medio ambiente (determinación de la criticidad por SSOMA) y el costo generado por la paralización del equipo (determinación de la criticidad por costo).

##### **a. Determinación de la criticidad por mantenimiento**

La determinación de la criticidad por mantenimiento se realizó por el método JACK KFINE. El desarrollo de este método comprende en realizar la tabla de DOWNTIME, la determinación de los límites y el diagrama JACK KNIFE.

La **tabla DOWNTIME** por equipo muestra el tiempo de inactividad no planificada (DOWNTIME), la cantidad de fallas (frecuencia) y el tiempo promedio entre fallas (MTTR) por equipos registrado en los últimos 3 años. La tabla también contiene el porcentaje del tiempo de inactividad no planificada y es ordenada en función del DOWNTIME con el fin de determinar los límites, tal como se muestra en la tabla 4.2.

<b>Nick</b>	<b>Frecuencia (N° de falla)</b>	<b>MTTR (Hr/Falla)</b>	<b>Downtime (Hr)</b>	<b>Tiempo (%)</b>	<b>Acumulado (%)</b>
1ZAR-0001	28	5.3	148.4	0.11	0.11
1FAJ-0003	22	4.2	92.4	0.07	0.18
1CHA-0001	17	8.6	146.7	0.11	0.29
1CHA-0003	16	37.8	605.3	0.46	0.75
1FAJ-0005	13	2.6	33.8	0.03	0.78
1FAJ-0010	13	1.2	15.6	0.01	0.79
<b>1ALP-0001</b>	<b>12</b>	<b>2.7</b>	<b>32.4</b>	<b>0.02</b>	<b>0.81</b>
1TOL-0001	8	7.5	60.0	0.05	0.86
1FAJ-0013	6	3.5	21.1	0.02	0.87
1FAJ-0014	3	2.0	6.0	0.00	0.88
1FAJ-0007	3	2.1	6.3	0.00	0.88
1FAJ-0006	3	2.3	6.9	0.01	0.89
1FAJ-0011	2	2.3	4.6	0.00	0.89
1FAJ-0012	2	2.3	4.6	0.00	0.90
1FAJ-0001	2	3.5	7.0	0.01	0.90
1FAJ-0002	2	3.5	7.0	0.01	0.91

1FAJ-0002	2	3.3	6.6	0.00	0.91
1FAJ-0004	2	3.5	7.0	0.01	0.92
1FAJ-0009	2	3.5	7.0	0.01	0.92
1FAJ-0015	2	3.5	7.0	0.01	0.93
1FAJ-0016	2	3.5	7.0	0.01	0.93
1FAJ-0017	2	3.5	7.0	0.01	0.94
1FAJ-0008	1	3.5	3.5	0.00	0.94
1CHA-0004	1	2.0	2.0	0.00	0.94
1MOL-0001	1	3.5	3.5	0.00	0.95
1MOL-0005	1	3.6	3.6	0.00	0.95
<b>Nick</b>	<b>Frecuencia (N° de falla)</b>	<b>MTTR (Hr/Falla)</b>	<b>Downtime (Hr)</b>	<b>Tiempo (%)</b>	<b>Acumulado (%)</b>
1ZAR-0001	1	3.0	3.0	0.00	0.95
1CHA-0002	1	3.1	3.1	0.00	0.95
1ZAR-0001	1	2.6	2.6	0.00	0.95
1TOL-0002	1	5.1	5.1	0.00	0.96
1TOL-0003	1	1.2	1.2	0.00	0.96
1MOL-0006	1	3.0	3.0	0.00	0.96
1BOM-0006	1	2.2	2.2	0.00	0.96
1MOL-0002	1	2.2	2.2	0.00	0.96
1MOL-0007	1	2.5	2.5	0.00	0.97
1TOL-0004	1	4.9	4.9	0.00	0.97
1ZAR-0001	1	1.9	1.9	0.00	0.97

1MOL-0003	1	4.0	4.0	0.00	0.97
1MOL-0004	1	3.0	3.0	0.00	0.98
1TOL-0005	1	4.2	4.2	0.00	0.98
1BOM-0007	1	1.0	1.0	0.00	0.98
1CEL-0009	1	0.8	0.8	0.00	0.98
1CEL-0014	1	4.0	4.0	0.00	0.98
1CEL-0003	1	0.8	0.8	0.00	0.99
1CEL-0005	1	1.5	1.5	0.00	0.99
1BOM-0005	1	3.0	3.0	0.00	0.99
1CEL-0006	1	1.0	1.0	0.00	0.99
1CEL-0007	1	1.5	1.5	0.00	0.99
1BOM-0008	1	0.6	0.6	0.00	0.99
1BOM-0010	1	0.8	0.8	0.00	0.99
1CEL-0008	1	1.0	1.0	0.00	0.99
1CEL-0010	1	1.5	1.5	0.00	0.99
1CEL-0013	1	1.0	1.0	0.00	0.99
1HOL-0001	1	0.8	0.8	0.00	0.99
1BOM-0011	1	1.0	1.0	0.00	1.00
1BOM-0021	1	2.6	2.6	0.00	1.00
1HID-0003	1	0.8	0.8	0.00	1.00
1BOM-0022	1	2.3	2.3	0.00	1.00
<b>TOTAL</b>	<b>200</b>		<b>1321.2</b>	<b>1.00</b>	

Tabla 4.2. Tabla DOWNTIME

La **Determinación de los límites** tiene la función de dividir el gráfico en cuadrantes. Para ello, se requiere de valores límites o de frontera que, de acuerdo a las políticas de la empresa, permitan definir las regiones e indicar la ubicación de las mismas. Se asume que estos valores límites puedan variar de una organización a otra; sin embargo, en el presente informe, se utilizará el MTTR promedio (línea horizontal), la frecuencia de fallas promedio (línea vertical) y el DOWNTIME del equipo que alcance en el acumulado el 80% del total (línea diagonal).

El total de datos (D) es 58, la cantidad de fallas (N) es 200, la suma de DOWNTIME es 1321.2 y el DOWNTIME al 80% es 32.4, según la tabla 4.2. Con los valores de D, N, Q y el 80% de DOWNTIME se calculan los valores del límite como muestra la tabla 4.3 y, con los puntos, se obtienen los puntos de línea límite que se muestran en la tabla 4.4.

<b>DATOS DE LOS LÍMITES– JACK KNIFE</b>			
Q	58	Límite n (N/Q)	3.45
N	200	Límite MTTR (D/N)	6.6
D	1321.2	Isolínea	32.4

Tabla 4.3. Valores de los límites

<b>Puntos para línea vertical (Límite n)</b>		<b>Puntos para línea horizontal (Límite MTTR)</b>		<b>Puntos para línea diagonal (Isolina)</b>	
3.45	100	1	6.6061048	1	32.40
3.45	0.01	100	6.6061048	100	0.32

Tabla 4.4. Puntos de los límites

El **diagrama JACK KNIFE** es una gráfica logarítmica que se desarrolla sobre la base del MTTR y la frecuencia (figura 4.5) con los puntos límites de la tabla 4.4. En la gráfica, se visualizan equipos crónicos que, por su alta cantidad de repeticiones, afectan en mayor medida la confiabilidad del proceso. Los equipos con fallas agudas, en mayor valor, afectan a la mantenibilidad del proceso. Por otro lado, los equipos con fallas mayores al 80% afectan la disponibilidad del proceso.

Según la gráfica, la criticidad de los equipos se determinará en función a la cantidad de indicadores, la cual afecta al proceso, tal como se muestra en la tabla 4.5 y la figura 4.6.

CRITICIDAD	DESCRIPCIÓN
CRITICIDAD IV	PROBLEMA CON LA CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD
CRITICIDAD III	PROBLEMA CON LA CONFIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD, PROBLEMA CON LA CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD, PROBLEMA CON LA DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD
CRITICIDAD II	PROBLEMA CON LA CONFIABILIDAD PROBLEMA CON LA DISPONIBILIDAD PROBLEMA CON LA MANTENIBILIDAD
CRITICIDAD I	EL RESTO DE EQUIPOS

*Tabla 4.5. Criticidad por mantenimiento*

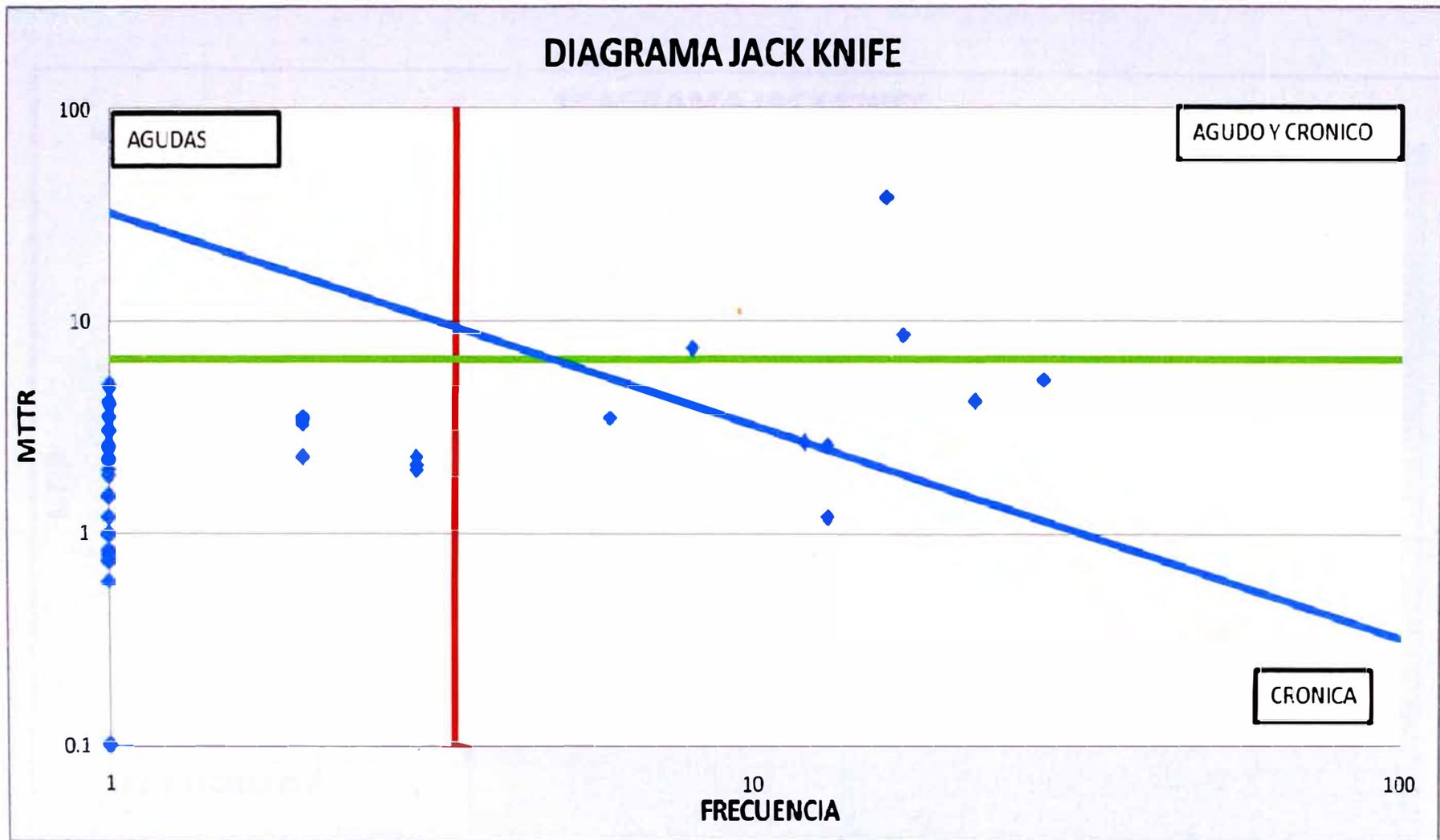


Figura 4.5. Diagrama de dispersión Jack Knife

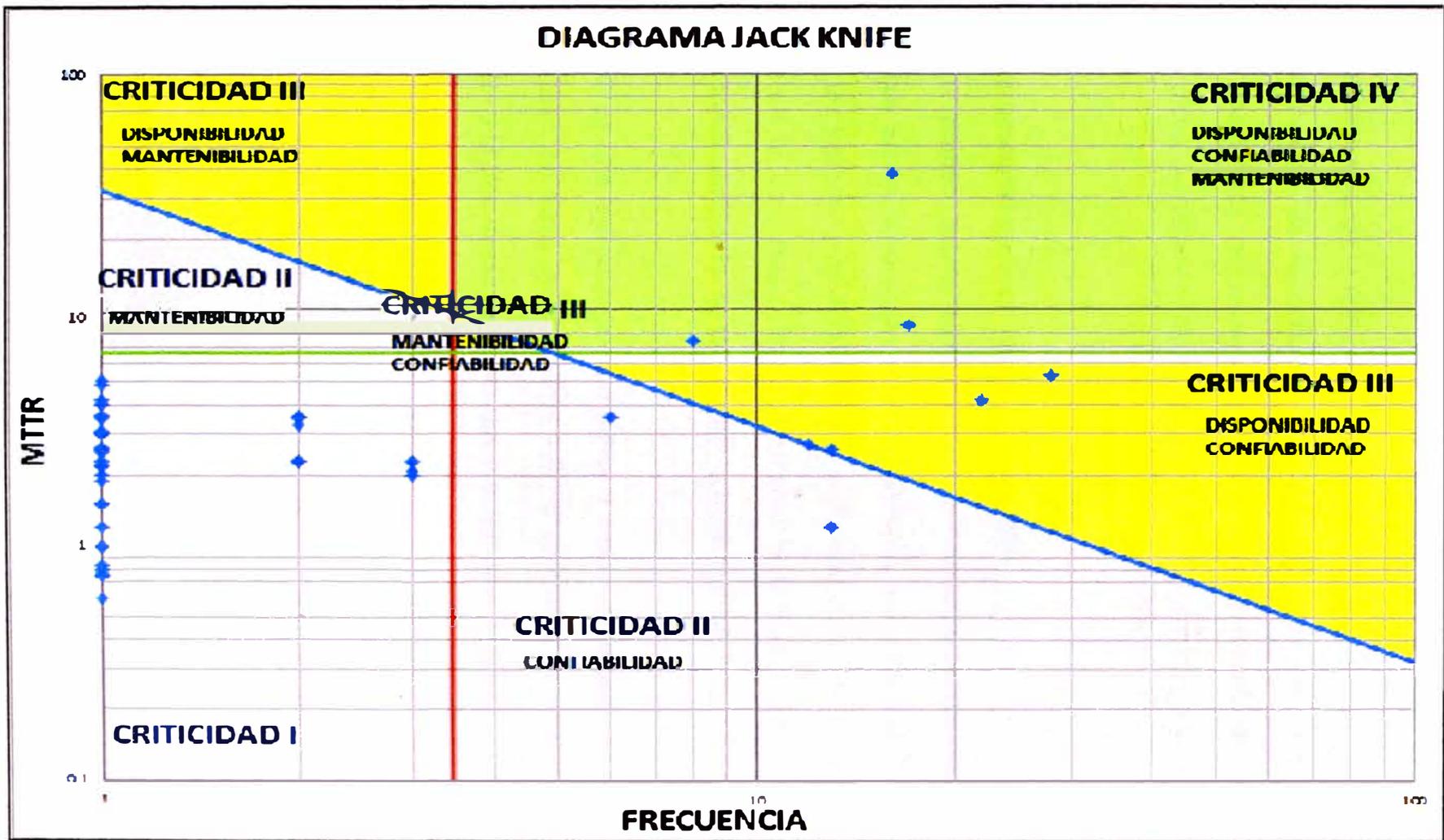


Figura 4.6. Diagrama de dispersión por criticidad

**b. Determinación de la criticidad por costos**

La determinación de la criticidad por el costo involucra la pérdida de la producción, ocasionada por la paralización del equipo y el costo de mantenimiento incurrido en dicha paralización. No se mostrará la clasificación de los costos por ser confidencial.

**c. Determinación de la criticidad por SSOMA**

Cuando un equipo permanece inoperativo por un largo tiempo debido a que no es importante en la producción o mantenimiento, se está solo analizando el perjuicio en los ingresos y no el riesgo en la seguridad de las personas, en el medio ambiente y en la comunidad. Para determinar la criticidad de los equipos por seguridad y medio ambiente, se tomará como base el IPERC.

El IPERC es una metodología que mitiga y evita los riesgos. La determinación de la criticidad se basa en la consecuencia (catastrófico, crítico, moderado e insignificante) y la frecuencia (una vez diaria o semanal, una vez al mes, etc.) de la tabla 4.6.

Frecuente 1 vez diaria o semanal	<b>A</b>	<b>CRITICIDAD IV</b>	<b>CRITICIDAD IV</b>	<b>CRITICIDAD IV</b>	<b>CRITICIDAD IV</b>
Moderado 1 vez entre 1 semanal y 1 mes	<b>B</b>	<b>CRITICIDAD IV</b>	<b>CRITICIDAD IV</b>	<b>CRITICIDAD IV</b>	<b>CRITICIDAD III</b>
Ocasional 1 vez entre 1 y 6 meses	<b>C</b>	<b>CRITICIDAD IV</b>	<b>CRITICIDAD IV</b>	<b>CRITICIDAD III</b>	<b>CRITICIDAD III</b>
Remoto 1 vez entre 6 meses y 1 año	<b>D</b>	<b>CRITICIDAD IV</b>	<b>CRITICIDAD III</b>	<b>CRITICIDAD III</b>	<b>CRITICIDAD II</b>
Improbable 1 vez entre 1 y 5 años	<b>E</b>	<b>CRITICIDAD III</b>	<b>CRITICIDAD III</b>	<b>CRITICIDAD II</b>	<b>CRITICIDAD II</b>
Imposible 1 vez en más de 5 años	<b>F</b>	<b>CRITICIDAD III</b>	<b>CRITICIDAD II</b>	<b>CRITICIDAD II</b>	<b>CRITICIDAD II</b>

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Gravedad / Consecuencia</b>	<b>Catastrófico</b>	<b>Crítico</b>	<b>Moderado</b>	<b>Insignificante</b>
<b>Seguridad</b>	Fatalidad y/o fatalidad	Accidente incapacitante temporal y permanente	Lesión leve	Primeros auxilios

M. Ambiente	Desastres ambientales con implicancias nacionales / regionales significativas	Gran incidente ambiental con implicancias ambientales locales significativos	Incidente ambientales leve que requiere algún tipo de acción para rehabilitarlo /Supera los LMP continuamente	Incidentes ambientales leve cuyos impactos pueden ser rectificadas prontamente / supera los LMP algunas veces
Autoridades y Comunidades	Interés de la autoridad competente /prensa nacional /multa muy elevado	Interés de la prensa local / inicio de procesos de multas	Reclamos pertinentes de comunidades y/o no conformidades legal	Se genera un factor con potencial de reclamo de no conformidad con los estándares

*Tabla 4.6. Criticidad por SSOMA*

Para conocer los equipos en los cuales nos enfocaremos para dar solución, se debe determinar la criticidad del resultado. Esta se refiere al máximo valor entre la criticidad por SSOMA, por costos y por mantenimiento, como muestra la tabla 4.7.

Itm	Equipo	Criticidad	Criticidad	Criticidad	Resultado
		Seguridad	Mantenimiento	Costo	
1	1ZAR-0001		CRITICIDAD III	CRITICIDAD I	CRITICIDAD III
2	1FAJ-0003	CRITICIDAD IV	CRITICIDAD III	CRITICIDAD I	CRITICIDAD IV
3	1CHA-0001		CRITICIDAD IV	CRITICIDAD II	CRITICIDAD IV
4	1CHA-0003		CRITICIDAD IV	CRITICIDAD I	CRITICIDAD IV
5	1FAJ-0005	CRITICIDAD III	CRITICIDAD III	CRITICIDAD IV	CRITICIDAD IV
6	1FAJ-0010		CRITICIDAD II	CRITICIDAD III	CRITICIDAD III
7	1ALP-0001		CRITICIDAD III	CRITICIDAD III	CRITICIDAD III
8	1TOL-0001		CRITICIDAD IV	CRITICIDAD IV	CRITICIDAD IV
9	1FAJ-0013		CRITICIDAD II	CRITICIDAD IV	CRITICIDAD IV

Tabla 4.7. Criticidad resultado

#### **4.2.1.3. Definición de las funciones**

Las funciones se deben describir en forma clara, única y concreta, de tal forma que se entienda con facilidad. Además, consta de un verbo, objeto o acción, estándar y condiciones. Según el concepto anterior, las funciones de los equipos de la planta concentradora se describen en la segunda columna de la tabla 4.10.

#### **4.2.1.4. Determinación de fallas funcionales**

La falla funcional se define como un estado del activo en un intervalo de tiempo en el cual no puede alcanzar su estándar de ejecución. Se

concluye, en consecuencia, que no cumple su función y se manifiesta en forma parcial o total.

Según lo mencionado, las fallas funcionales de los equipos de la planta concentradora se describen en la cuarta columna de la tabla 4.10.

#### **4.2.1.5. Identificación de los modos de falla.**

El modo de falla se define como cualquier evento que pueda generar una falla funcional. Siguiendo esta definición, se ha realizado una descripción de esta en la sexta columna de la tabla 4.10.

#### **4.2.1.6. Análisis de los efectos de la fallas**

Los efectos de las fallas describen lo que sucede cuando se presenta un modo de falla. Cuando se describen los efectos de una falla, se debe registrar si existe evidencia de , riesgo en el medio ambiente y en la seguridad; efectos en la producción y en las acciones correctivas. La descripción de los efectos de la falla se presenta en la séptima columna de la tabla 4.10.

#### **4.2.1.7. Análisis de las consecuencias de las fallas**

El análisis de las consecuencias es la jerarquización de forma cuantitativa/cualitativa en riesgo de cada uno de los modos de fallas. Este se genera en función del impacto que generan los mismos dentro del contexto operacional. La medición del riesgo se realizó mediante el RPN (Risk Priority Number), el cual se calcula de la siguiente manera:

$$\text{RPN} = \text{CONSECUENCIA} \times \text{FRECUENCIA} \times \text{DETECCIÓN}$$

En donde:

- **CONSECUENCIA (CON)** es la suma de las consecuencias de seguridad (IS), medio ambiente (IA), operaciones (IO) y mantenimiento (IM). La determinación de la consecuencia se muestra en la tabla 4.8.
- **FRECUENCIA (FRE)** es la cantidad de ocurrencias del modo de falla.
- **DETECCIÓN (DET)** es la probabilidad de que la falla se pueda detectar antes de que esta ocurra. La determinación de la detección se muestra en la tabla 4.9.

La consecuencia se presenta en las columnas 8, 9, 10, 11, 12, 13,14 y 15 de la tabla 4.8.

CONSECUENCIA	SEGURIDAD	MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO
5	Con fatalidades múltiples	Severo y de largo plazo	> 100 %	> 500KUSD
4	Con una fatalidad	Largo plazo	67 – 100%	>100KUSD y <500KUSD
3	Con discapacidad permanente	Corto plazo	33 – 67 %	>50KUSD y <100KUSD
2	Con tiempo perdido	Menor	1 – 33 %	>10KUSD y <50KUSD
1	Sin riesgo para las personas	Ninguno	0%	< 10KUSD

Tabla 4.8. Tabla para evaluación de consecuencia

FRECUENCIA DE FALLA	DE OCURRENCIA	PROBABILIDAD DE DETECCIÓN	DE INDICADOR DE DETECCIÓN
Muy alta probabilidad de que la falla sea detectada antes de que ocurra. Casi siempre es precedida por un aviso.		80 – 100 %	1
Alta probabilidad de que la falla sea detectada antes de que ocurra. La mayoría de las veces es precedida por un aviso.		60 – 80 %	2
Probabilidad moderada de detectar la falla antes de que ocurra.		40 – 60 %	3
Baja probabilidad de detectar la falla antes de que ocurra. Casi nunca existe un aviso previo de que pueda ocurrir la falla.		20 – 40 %	4
Posibilidad remota de detectar la falla antes de que ocurra. Nunca existe aviso previo de la posible ocurrencia de la falla		0 – 20 %	5

*Tabla 4.9.* Tabla para evaluación de la detección

#### **4.2.1.8. Selección de las estrategias y procedimientos de mantenimiento**

Una vez realizado el AMEF, el equipo de trabajo deberá seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento que ayude a prevenir la aparición de cada modo de falla previamente identificado, a partir del árbol lógico de decisión de la figura 4.8, la cual muestra una herramienta que permite seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento más adecuada con el fin de evitar la ocurrencia de cada modo de falla o disminuir sus posibles efectos. Luego de seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento a ejecutar, se realizará la determinación de la acción de mantenimiento que se debe efectuar. Por último, se determinará la frecuencia de ejecución de la acción del mantenimiento sobre la base del tiempo mínimo de ocurrencia de cada modo de falla. El desarrollo se encuentra en las columnas 16, 17, 18 del cuadro 4.10.

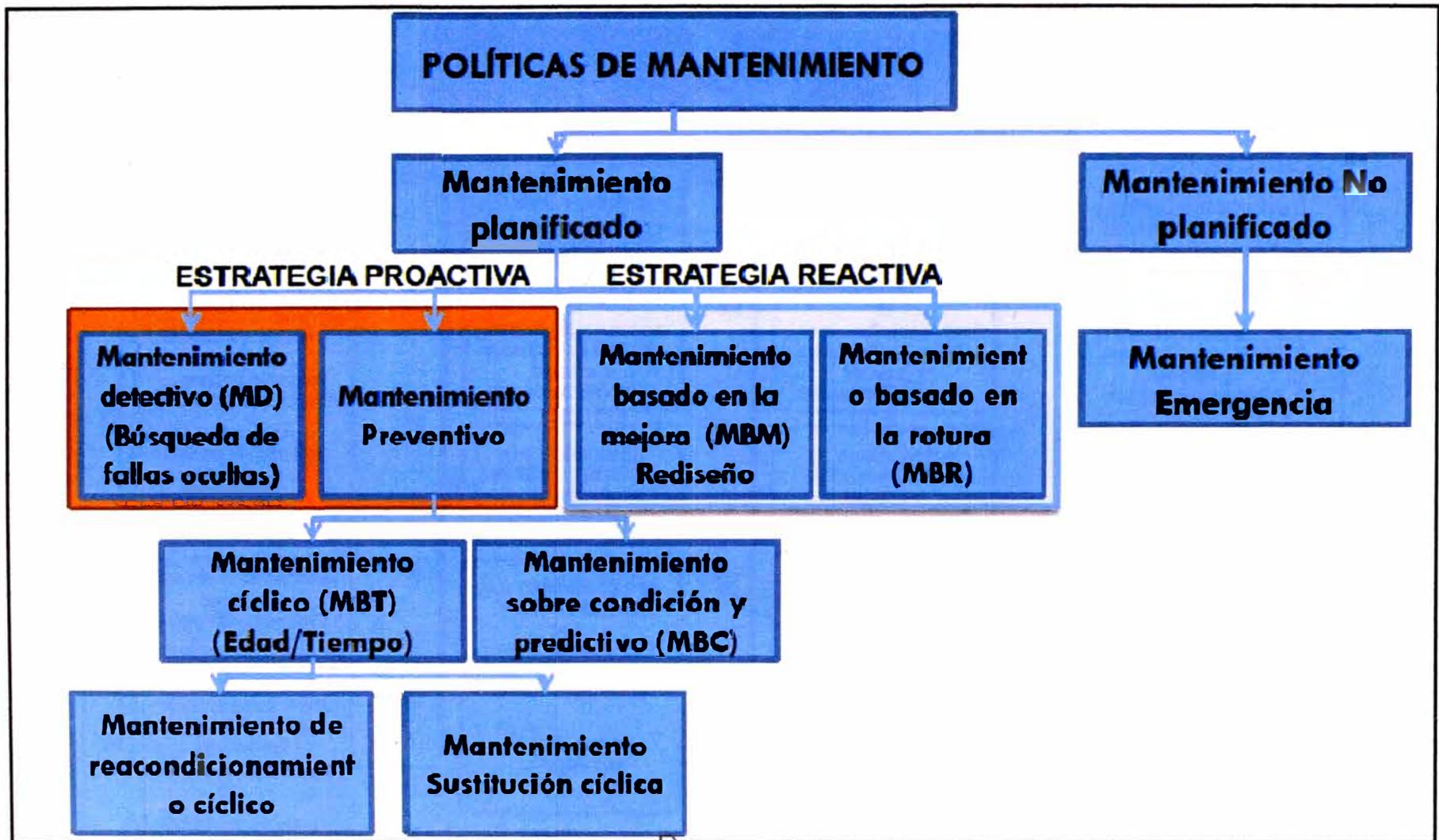


Figura 4.7. Diagrama de selección de la actividad de mantenimiento

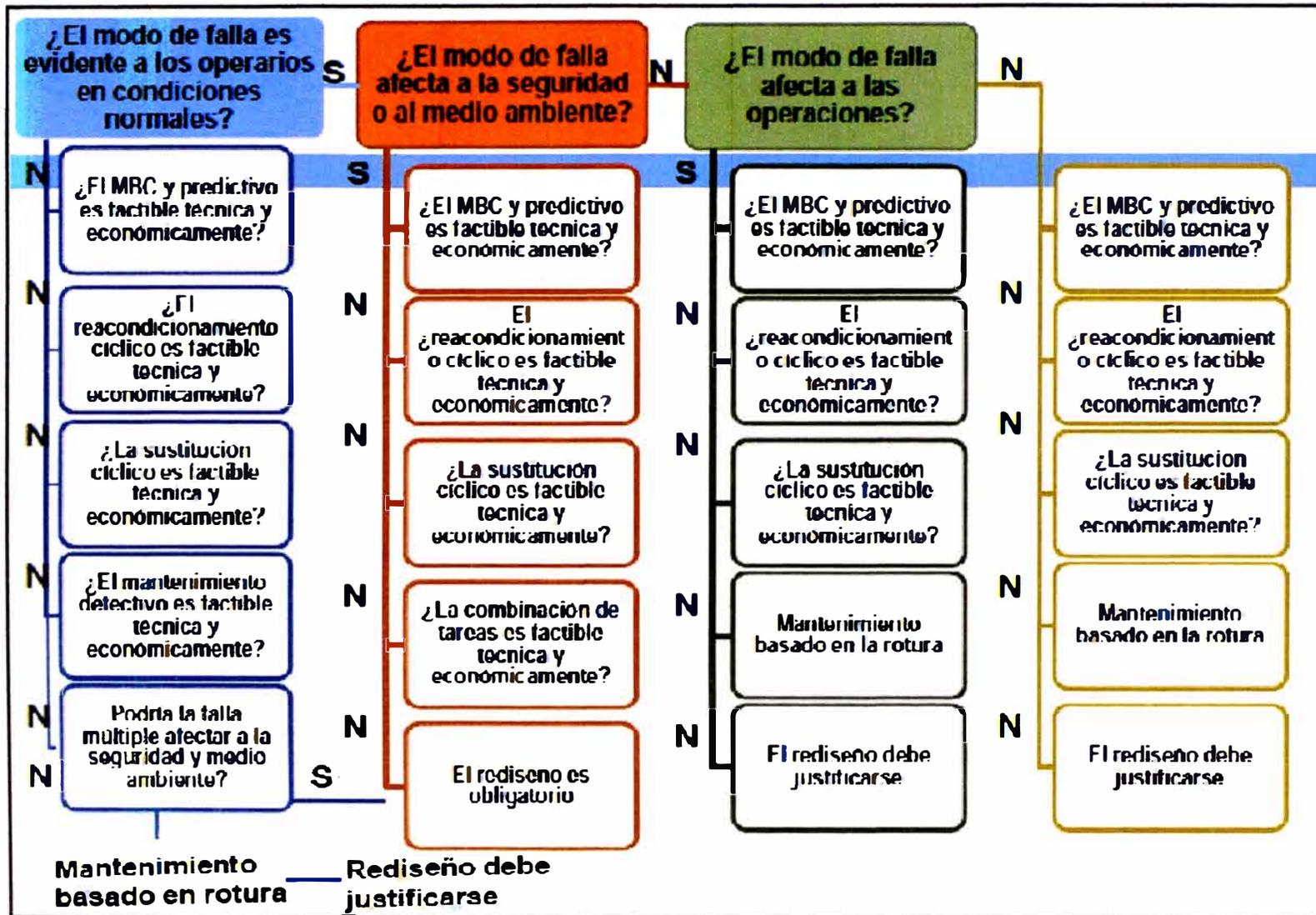


Figura 4.8. Diagrama del árbol lógico de decisiones

Tabla 4.10. Desarrollo del RCM

														PLAN DE MANTENIMIENTO GENERAL			
														SISTEMA: Circuito Chancado			
														SUBSISTEMA: Chancado primario			
N°	Función	N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto de falla	IS	IA	IO	IM	CON	FREQ	DET	RPN	Actividad de mantenimiento	Acción del Mantenimiento	Frecuencia de aplicación
1	Tolva de gruesos Almacenar 250 m3 de mineral bruto menores a 16"	1A	No almacena	1A1	Rotura de la riel	<p><u>Evidente:</u> Si</p> <p><u>Afecta SMA:</u> No</p> <p><u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario por 6 horas</p> <p><u>Acción correctiva:</u> Realizar el cambio de</p>	2	1	3	1	7	7	1	49	<p>Ningún tipo de mantenimiento</p>	<p><b>Sobrecarga a las rieles.</b> Realizar un procedimiento operativo de alimentación a la tolva de gruesos</p> <p><b>Golpe de la cuchara del cargador frontal a las rieles.</b> Realizar un procedimiento de alimentación a la tolva de gruesos</p>	<p>Capacitar mensualmente a los encargados y operarios de la alimentación de la tolva de gruesos</p>
															<p>Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones</p>	<p><b>Fatiga de las rieles.</b> Realizar seguimiento por monitoreo del estado de la riel para la programación</p>	<p>Diario</p>



2	Alimentador de placas Alimentar al GRIZZLY vibratorio de mineral bruto a 75-100 Ton /Hr.	2A	No alimenta	2A1	Motor eléctrico con bobinas cortocircuitadas o rotas	Evidente: Sí	Afecta SMA: No	Efecto operacional: Paro el circuito de chancado primario A por 4.2 horas	2	1	5	2	10	1	2	20	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	Baja y sobre tensión. Realizar la verificación de la tensión alimentación con carga y s/carga (440V- 460V). Aislamiento deteriorado. Realice la verificación del aislamiento de las bobinas del rotor y estator (Mayor a 2MΩ) y el índice de polaridad (Mayor a 2) según la norma ANSI/IEEE 43- 2000 Fallas con el rodamiento del motor. Seguimiento por monitoreo de temperatura (menor a 55°C), de vibraciones (Según la norma ISO 2372).	Diario
																		Falso contacto de las conexiones. Inspección de las conexiones.	Semanal
																		Contaminación de material conductivo. Realizar limpieza interna y revisión interna del motor.	Mensual

				2A2	Rodamientos del motor eléctrico trabado	<u>Evidente:</u> Si <u>Afecta SMA:</u> No <u>Efecto operacional:</u> Paro elcircuito de chancado primario A por 4.3 horas <u>Acción correctiva:</u> Cambio del motor eléctrico	1	1	4	2	8	1	2	16	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Baja y sobre tensión.</b> Realizar la verificación de la tensión alimentación con carga y s/carga (440V-460V) <b>Aislamiento deteriorado.</b> Realizar la verificación del aislamiento de las bobinas del rotor y estator (Mayor a 2MΩ) y el índice de polaridad (Mayor a 2) según la norma ANSI/IEEE 43-2000 <b>Fallas con el rodamiento del motor.</b> Seguimiento por monitoreo de temperatura (menor a 55°C), de vibraciones (Según la norma ISO 2372)	Diario
				2A3	Rodamientos del motor eléctrico trabado	<u>Evidente:</u> Si <u>Afecta SMA:</u> No	1	1	4	2	8	3	3	72	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en	<b>Falso contacto de las conexiones.</b> Inspección de las conexiones	Semanal

					<u>Efecto operacional:</u> Paro elcircuito de chancado primario A por 4.3 horas  <u>Acción correctiva:</u> Cambio del motor eléctrico									condiciones	<b>Contaminación de material conductivo.</b> Realizar limpieza interna y revisión interna del motor	Mensual
				2A4	Rodamiento de la caja de reducción trabada  <u>Evidente:</u> Si  <u>Afecta SMA:</u> No  <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario A por 7 horas  <u>Acción correctiva:</u> Realizar el requerimiento, la compra y la instalación de la biela.	1	1	2	2	6	4	1	24	Mantenimiento proactivo – Tarea preventivas – Sustitución cíclico	<b>Falta de lubricación.</b> Cambio de aceite y evaluación interna.	Trimestral
				2A5	Rotura del acoplamiento  <u>Evidente:</u> Si  <u>Afecta SMA:</u> No  <u>Efecto operacional:</u> Paro	1	1	2	2	6	4	1	24	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Fatiga del acoplamiento.</b> Realizar seguimiento por monitoreo de vibraciones	Diario



		2B	Alimenta menos de 80 Ton/Hr	2B1	Rotura de la cadena	<u>Evidente:Si</u> <u>Afecta SMA: No</u> <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario A por 3.2 horas <u>Acción correctiva:</u> Cambio de la cadena	1	1	4	2	8	1	1	8	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Fatiga del pin de unión.</b> Realizar inspecciones mediante el uso de una cartilla	Trimestral
				2B2	Rodillos superiores están gastados	<u>Evidente:Si</u> <u>Afecta SMA: No</u> <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario A por 2.5 horas <u>Acción correctiva:</u> Cambio de la cadena	1	1	4	2	8	3	3	72	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Fatiga de los rodillos.</b> Realizar inspecciones mediante el uso de una cartilla	Trimestral

3	<b>GRIZZLY VIBRATORIO COMESA 4' x 8'</b>  Separar el mineral bruto de menor de 2" y mayor de 2"	3A	No separa el mineral bruto	3A1	Rotura de la faja de transmisión	<u>Evidente:</u> Sí  <u>Afecta SMA:</u> No  <u>Efecto</u> <u>operacional:</u> Paro elcircuito de chancado primario A por 3.5 horas  <u>Acción correctiva:</u> Retiro de almacén y cambio de la faja de transmisión	2	1	2	2	7	4	2	56	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Faja de transmisión fatigada.</b> Realizar una inspección del estado de las fajas de trasmisión (Cambiar en su totalidad cuando la luz de 2 fajas sea mayor a 1") <b>Poleas en mal estado.</b> Realizar una inspección del estado de las poleas y la guarda. <b>Desalineamiento de las poleas.</b> Realizar la verificación del alineadito de las poleas.	Semanal
				3A2	Motor eléctrico con bobinas cortocircuitadas o rotas	<u>Evidente:</u> Sí  <u>Afecta SMA:</u> No  <u>Efecto</u> <u>operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario A por 28 horas  <u>Acción correctiva:</u> Cambio del motor eléctrico	2	1	4	2	9	2	2	36	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Baja y sobre tensión.</b> Realizar la verificación de la tensión alimentación con carga y s/carga (440V- 460V). <b>Aislamiento deteriorado.</b> Realice la verificación del aislamiento de las bobinas del rotor y estator (Mayor a 2MΩ) y el índice de polaridad (Mayor a 2) según la norma ANSI/IEEE 43- 2000 <b>Fallas con el</b>	Diario







																		chavetas.	
																		<b>Recalentamiento del aceite.</b> Verifique el nivel de aceite	Diario
																		<b>El eje tiene fisuras internas.</b> Realizar el monitoreo de porosidades del eje por ultrasonido	Anual
				3A7	Mecanismo de vibración recalienta	<u>Evidente:</u> Sí												<b>Fallas con el rodamiento del motor.</b> Realice seguimiento por monitoreo de temperatura (menor a 55°C), de vibraciones (Según la norma ISO 2372).	Diario
						<u>Afecta SMA:</u> No	2	1	3	1	7	3	2	42	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones				<b>Recalentamiento del aceite.</b> Verifique el nivel de aceite
				3A8	Aumento de la vibración	<u>Evidente:</u> Sí												<b>Rotura del resorte de suspensión.</b> Realice inspecciones con el equipo corriendo	Diario
						<u>Afecta SMA:</u> No	2	1	3	1	7	3	2	42	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en				

					<u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario A por 1.2 horas  <u>Acción correctiva:</u> Paralización para verificar el rodamiento, resorte y fajas.									condiciones	<b>Rotura del resorte de suspensión.</b> Realice inspecciones del estado del resorte con el equipo detenido  <b>Acumulación de mineral en los chutes.</b> Realizar la inspección y limpieza de los chutes  <b>Frecuencia natural se encuentra demasiado cercana a la frecuencia de la estructura.</b> Aumento de peso de la estructura	Semanal  Diario  Cuando existiera la falla	
		3B	Separa mineral bruto de mayor de 2" y menores de 2" con deficiencia	3B1	Rotura del resorte	<u>Evidente:</u> Si  <u>Afecta SMA:</u> No  <u>Efecto operacional:</u> Paro el chancado primario A por 1.5 horas.  <u>Acción correctiva:</u> Cambio de resorte	1	1	2	1	5	4	2	40	Ningún tipo de mantenimiento	<b>Falta de inspección.</b> Realice inspecciones del estado del resorte con equipo detenido.	Semanal

				3B2	Carga apelmazada en chute y/o criba	<u>Evidente:</u> Sí Aumenta la vibración  <u>Afecta SMA:</u> No  <u>Efecto operacional:</u> Paro el chancado primario A Por 1 hora  <u>Acción correctiva:</u> Limpieza de los chutes	2	1	2	1	6	7	2	84	Ningún tipo de mantenimiento	<b>Mineral bruto extraído arcilloso.</b> Instalar un sistema de lavado para permitir el desplazamiento y la separación del mineral bruto húmedo	Realizar el diseño de la alimentación de agua.
				3B3	Rotura la viga	<u>Evidente:</u> Sí Aumenta la vibración  <u>Afecta SMA:</u> No  <u>Efecto operacional:</u> Paro el chancado primario 1.3 horas  <u>Acción correctiva:</u> Reparación de la viga	2	1	2	1	6	7	2	84	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Falta de inspección de las uniones de la viga.</b> Inspeccionar la uniones de las vigas y soporte de la estructura	Semanal

				3B4	Exceso de humedad del mineral bruto	<u>Evidente:</u> Sí Aumenta la vibración  <u>Afecta SMA:</u> No  <u>Efecto operacional:</u> Paro el chancado primario A por 2.3 horas  <u>Acción correctiva:</u> Limpieza con agua.	1	1	4	2	8	1	1	8	Mantenimiento basado en la mejora – Rediseño	<b>Mineral bruto extraído arcilloso.</b> Instalar un sistema de lavado para permitir el desplazamiento y la separación del mineral bruto húmedo.	Realizar el diseño de la alimentación de agua.
4	<b>Chancadora de quijada METSOC80</b>  Reducir el mineral grueso a:  2" - 3" de tamaño 75 -100 Ton/Hr.	4A	No reduce el mineral grueso	4A1	Rotura de quijada móvil	<u>Evidente:</u> Sí  <u>Afecta SMA:</u> No  <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario por 87.5 horas  <u>Acción correctiva:</u> Realizar el requerimiento, la compra y la instalación de la biela.	2	1	4	4	11	1	5	55	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones  Ningún tipo de mantenimiento	<b>Fatiga de la quijada móvil.</b> Realizar inspecciones del sistema de transmisión  <b>Fracturas de la quijada móvil.</b> Realizar monitoreo por tintes penetrables  <b>La chancadora opera en vacío por un tiempo prolongado.</b> Realizar el procedimiento de operación de la chancadora	Mensual  Capacitar mensualmente a los encargados y operarios de la alimentación de la tolva de gruesos y del

																			Alimentador de placas
			4A2	Rotura de la Faja de transmisión	<u>Evidente:</u> Si <u>Afecta SMA:</u> No <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario por 2.5 horas <u>Acción correctiva:</u> Cambio de faja.	3	1	2	1	7	3	2	42	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Faja de transmisión fatigada.</b> Realizar una inspección del estado de las fajas de transmisión (Cambiar en su totalidad cuando la luz de 2 fajas sea mayor a 1") <b>Poleas en mal estado.</b> Realizar una inspección del estado de las poleas y la guarda. <b>Desalineamiento de las poleas.</b> Realizar la verificación del alineamiento de las poleas	Semanal			
			4A3	Rodamiento del eje excéntrico trabado	<u>Evidente:</u> Si <u>Afecta SMA:</u> No <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario por 6.7 horas <u>Acción correctiva:</u> Cambio de	1	1	3	1	6	2	2	24	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Fallas con el rodamiento del motor.</b> Seguimiento por monitoreo de temperatura (menor a 55°C), de vibraciones (Según la norma ISO 2372). <b>Desalineamiento de las poleas.</b> Realizar la verificación del alineamiento de las poleas,	Diario	Semanal		



																		(Según la norma ISO 2372).	
																		<b>Falso contacto de las conexiones.</b> Inspección de las conexiones.	Semanal
																		<b>Contaminación de material conductivo.</b> Realizar limpieza interna y revisión interna del motor	Mensual
		3B	La capacidad de reducción del mineral grueso es menor a 75 Ton/Hr	3B1	Rotura de la varilla de tensión	<u>Evidente:</u> Si													
						<u>Afecta SMA:</u> No													
						<u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario por 3.6 horas	2	1	2	2	7	3	2	42		Mantenimiento proactivo : Tarea preventivo – Sustitución cíclica		<b>Fatiga de la varilla de tensión.</b> Reemplazar la varilla de tensión	
						<u>Acción correctiva:</u>												<b>Rotura del resorte.</b> Reemplazar el resorte de la varilla de tensión.	Trimestral





					Reparación momentánea del toggle para un próximo cambio.												
4	<b>Faja transportadora 30"</b> Transportar mineral chancado de 75 a 100 ton/h a 0.8 m/s	4A	No transporta mineral	4A1	Ruptura de la banda de la faja por un elemento metálico puntiagudo	<u>Evidente:</u> Si <u>Afecta SMA:</u> No <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario A por 3 horas <u>Acción correctiva:</u> Reparación de la banda.	2	3	2	1	8	3	2	48	Ningún tipo de mantenimiento	<b>Elemento metálico puntiagudo</b> Elaborar estándar operativo que especifique la importancia de comunicar al operador de chancado y al jefe de guardia de planta sobre la caída de un objeto metálico puntiagudo en las tolvas mineras que podrían llegar a cortar la faja N° 1.	Comunicado general a toda las seccionesle mina en las charlas diaria: de forma mensual
														Mantenimiento preventivo: Tarea de sustitución - reemplazo programado	<b>Camada de impacto desgastado</b> Realizar inspección de la cama de impacto	trimestral	

					<u>Evidente:</u> Sí <u>Afecta SMA:</u> No <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario A por 3 horas <u>Acción correctiva:</u> Cambio de rodamiento	2	2	4	2	10	1	2	20	Mantenimiento proactivo – Tarea preventivas – Sustitución cíclico	<b>Falta de lubricación.</b> Cambio de aceite y evaluación interna.	Trimestral
			4A3	Rodamiento del reductor trabados	<u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario A por 3 horas <u>Acción correctiva:</u> Cambio de rodamiento									Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Fatiga del rodamiento.</b> Seguimiento por monitoreo de temperatura (menor a 55°C), de vibraciones (Según la norma ISO 2372).monitoreo de vibraciones	Diario
					<u>Evidente:</u> Sí <u>Afecta SMA:</u> No <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario A por 12 horas <u>Acción correctiva:</u> Cambio de reductor.	1	3	4	3	11	2	2	44	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Fatiga del engranaje.</b> Seguimiento por monitoreo de temperatura (menor a 55°C), de vibraciones (Según la norma ISO 2372).monitoreo de vibraciones	
			4A4	Engranaje del reductor con dientes rotos	<u>Acción correctiva:</u> Cambio de reductor.										<b>Fatiga del engranaje.</b> Realizar la inspección visual de los componentes internos	Trimestral

				4A5	Ruptura del acoplamiento entre el motor y reductor	<u>Evidente:</u> Sí <u>Afecta SMA:</u> No <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario A por 3.7 horas <u>Acción correctiva:</u> Cambio de acoplamiento	2	3	4	3	12	2	3	72	Mantenimiento preventivo: Tarea de sustitución - reemplazo programado	<b>Fatiga del acoplamiento.</b> Inspección visual por el operador y mantenedor	Mensual
				4A6	Rodamiento de polea de cabeza, cola o tensora,	<u>Evidente:</u> Sí <u>Afecta SMA:</u> No <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario A por 5 horas <u>Acción correctiva:</u> Cambio del rodamiento	2	3	3	3	11	2	2	44	Mantenimiento proactivo – Tarea preventivas – Sustitución cíclico	<b>Exceso de polución.</b> Abrir las chumaceras para realizar cambio de grasa y limpieza general aprovechando las paradas de planta	Mensual
															Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Fatiga del rodamiento.</b> Seguimiento por monitoreo de temperatura (menor a 55°C), de vibraciones (Según la norma ISO 2372).monitoreo de vibraciones	Diario

				4A8	Fuga de aceite del reductor por reten dañado	<u>Evidente:</u> Si <u>Afecta SMA:</u> No <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario A por 2.3 horas <u>Acción correctiva:</u> Cambio de retenes	2	3	3	3	11	1	1	11	Mantenimiento preventivo: Tarea de reacondicionamiento	<b>Fatiga del retén del reductor.</b> Cambiar de reductor de STAND BY	Trimestral
				4A9	Bobinas del motor eléctrico están cortocircuitadas	<u>Evidente:</u> Si <u>Afecta SMA:</u> No <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario por A 10.5 horas <u>Acción correctiva:</u> Cambio de rodamiento.	2	3	5	3	13	2	3	78	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Baja y sobre tensión.</b> Realizar la verificación de la tensión alimentación con carga y s/carga (440V-460V). <b>Aislamiento deteriorado.</b> Realice la verificación del aislamiento de las bobinas del rotor y estator (Mayor a 2MΩ) y el índice de polaridad (Mayor a 2) según la norma ANSI/IEEE 43-2000 <b>Fallas con el rodamiento del motor.</b> Seguimiento por monitoreo de temperatura (menor a	Diario

																		55°C), de vibraciones (Según la norma ISO 2372).	
																		<b>Falso contacto de las conexiones.</b> Inspección de las conexiones.	Semanal
																		<b>Contaminación de material conductivo.</b> Realizar limpieza interna y revisión interna del motor	Mensual
		4B	Transporta mineral chancado menos de 75 Ton/Hr	4B1	Banda de la faja transportadora desalineada	<u>Evidente:</u> Si													
						<u>Afecta SMA:</u> No													
						<u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario A por 3 horas	2	3	2	3	10	3	1	30	Ningún tipo de mantenimiento				
						<u>Acción correctiva:</u> Limpian los accesorios													
																		<b>Accesorios impregnados.</b> Programa de limpieza por parte del operador de los polines, poleas y accesorios de la faja. <b>Falta de polines guidores.</b> Realizar inspección (checklist) de alineamiento y polines guidores	semanal

				4B2	<p>Patinaje entre la polea de cabeza y la faja transportadora</p>	<p><u>Evidente:</u> Sí</p> <p><u>Afecta SMA:</u> No</p> <p><u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario A por 3.6 horas</p> <p><u>Acción correctiva:</u> cambio de la polea de cabeza</p>	2	3	2	3	10	1	1	10	<p>Mantenimiento preventivo: Tarea de sustitución - reemplazo programado</p>	<p><b>Desgaste del caucho de la polea de cabeza.</b> Inspección visual por el operador y mantenedor</p>	Mensual
				4B4	<p>Polines de carga, retorno, etc. impregnado de carga</p>	<p><u>Evidente:</u> Sí</p> <p><u>Afecta SMA:</u> No</p> <p><u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario por 1.1 horas</p> <p><u>Acción correctiva:</u> Coloca la cuchilla de limpieza</p>	1	3	2	2	8	4	1	32	<p>Mantenimiento preventivo: Tarea de sustitución - reemplazo programado</p>	<p><b>Falta de cuchilla de limpieza.</b> Cambio de cuchilla de limpieza en la faja transportadora</p>	Mensual

		4C	Operan en condiciones fuera del estándar	4C1	Cable de emergencia seccionado	<u>Evidente:</u> Si <u>Afecta SMA:</u> No <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado primario por 0.5 horas <u>Acción correctiva:</u> Empalme del cable	2	3	1	2	8	1	2	16	Mantenimiento detectivo: Tarea de búsqueda de fallas ocultas	<b>Mala operación de la parada de emergencia.</b> Pruebas de funcionamiento de cable con la faja en operación realizada por el operador y el electricista.	quincenal
--	--	----	--	-----	--------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	----	--	---	-----------

**PLAN DE MANTENIMIENTO GENERAL**  
**SISTEMA:** Circuito Chancado  
**SUBSISTEMA:** Chancado Secundario

N°	Función	N°	Falla funcional	N°	Modo de falla	Efecto de falla	IS	IA	IO	IM	CON	FREQ	DET	RPN	Actividad de mantenimiento	Acción del Mantenimiento	Frecuencia de aplicación
1	<b>CEDAZO VIBRATORIO COMESA 5' x 10'</b> Separar el mineral bruto de menor de 2" y mayor de 2"		No separa el mineral bruto	1A1	Rotura de la faja de transmisión	<u>Evidente:</u> Sí <u>Afecta SMA:</u> No <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado secundario por 3.5 horas <u>Acción correctiva:</u> Retiro de almacén y cambio de la faja de transmisión	2	1	2	2	7	1	2	14	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Faja de transmisión fatigada.</b> Realizar una inspección del estado de las fajas de transmisión (Cambiar en su totalidad cuando la luz de 2 fajas sea mayor a 1") <b>Poleas en mal estado.</b> Realizar una inspección del estado de las poleas y la guarda. <b>Desalineamiento de las poleas.</b> Realizar la verificación del alineamiento de las poleas.	Semanal







		1B	Separa mineral bruto de mayor de 2" y menores de 2" con deficiencia	1B1	Rotura del resorte	<u>Evidente:</u> Si  <u>Afecta SMA:</u> No  <u>Efecto operacional:</u> Paro el chancado secundario por 1.5 horas.  <u>Acción correctiva:</u> Cambio de resorte	1	1	3	1	6	1	3	18	Ningún tipo de mantenimiento	<b>Falta de inspección.</b> Realice inspecciones del estado del resorte con equipo detenido.	Semanal
				1B2	Carga apelmazada en chute y/o criba	<u>Evidente:</u> Si Aumenta la vibración  <u>Afecta SMA:</u> No  <u>Efecto operacional:</u> Paro el chancado secundario Por 1 hora  <u>Acción correctiva:</u> Limpieza de los chutes	1	1	3	1	6	1	2	12	Ningún tipo de mantenimiento	<b>Mineral bruto extraído arcilloso.</b> Instalar un sistema de lavado para permitir el desplazamiento y la separación del mineral bruto húmedo	Realizar el diseño de la alimentación de agua.
				1B3	Rotura la viga	<u>Evidente:</u> Si Aumenta la vibración  <u>Afecta SMA:</u> No  <u>Efecto operacional:</u> Paro el chancado secundario por 1.3 horas  <u>Acción correctiva:</u> Reparación de la viga	1	1	2	4	8	1	3	24	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Falta de inspección de las uniones de la viga.</b> Inspeccionar la uniones de las vigas y soporte de la estructura	Semanal

				1B4	Exceso de humedad del mineral bruto	<u>Evidente:</u> Sí Aumenta la vibración  <u>Afecta SMA:</u> No  <u>Efecto operacional:</u> Paro el chancado secundario por 2.3 horas  <u>Acción correctiva:</u> Limpieza con agua.	2	1	1	1	5	1	2	10	Mantenimiento basado en la mejora – Rediseño	<b>Mineral bruto extraído arcilloso.</b> Instalar un sistema de lavado para permitir el desplazamiento y la separación del mineral bruto húmedo.	Realizar el diseño de la alimentación de agua.
2	<b>CHANCADORA DE CONO SYMONS 4 ¼ ESTANDAR</b>  Reducir el mineral grueso a 1/2" a 120 Ton/Hr.	2A	No reduce el mineral grueso	2A1	Motor eléctrico con bobinas cortocircuitadas o rotas	<u>Evidente:</u> Sí  <u>Afecta SMA:</u> No  <u>Efecto operacional:</u> Paro el circuito de chancado secundario por 168 horas  <u>Acción correctiva:</u>	2	1	2	4	9	1	3	27	Mantenimiento proactivo : Tarea predictivas - Basado en condiciones	<b>Baja y sobre tensión.</b> Realizar la verificación de la tensión alimentación con carga y s/carga (440V-460V). <b>Aislamiento deteriorado.</b> Realice la verificación del aislamiento de las bobinas del rotor y estator (Mayor a 2MΩ) y el índice de polaridad (Mayor a 2) según la norma ANSI/IEEE 43-2000 <b>Fallas con el rodamiento del motor.</b> Seguimiento por monitoreo de temperatura (menor a 55°C), de vibraciones (Según la norma ISO 2372).	Diario
															<b>Falso contacto de las conexiones.</b> Inspección de las conexiones.	Semanal	













#### 4.2.2. Análisis del costo de vida útil

Para garantizar la efectiva inversión, para tomar las decisiones y lograr resultados sostenibles en el rendimiento del proceso debemos utilizar el análisis del costo del ciclo de vida.

Como se mencionó en el punto 2.3, el costo de ciclo de vida se determina por medio de la identificación de las funciones aplicables en cada fase. Además se calcula el costo de estas funciones y se aplica los costos apropiados durante toda su extensión del ciclo de vida; sin embargo, en el presente informe, solo se analizarán los costos de mantenimiento, debido a que los otros costos son confidenciales. Asimismo, dichos costos son de un año a causa de las limitaciones de la información de los años anteriores.

En la figura 4.9, se presenta el costo del ciclo vida de la planta concentradora y las pérdidas en la facturación por las averías de los equipos de la planta concentradora durante un año.

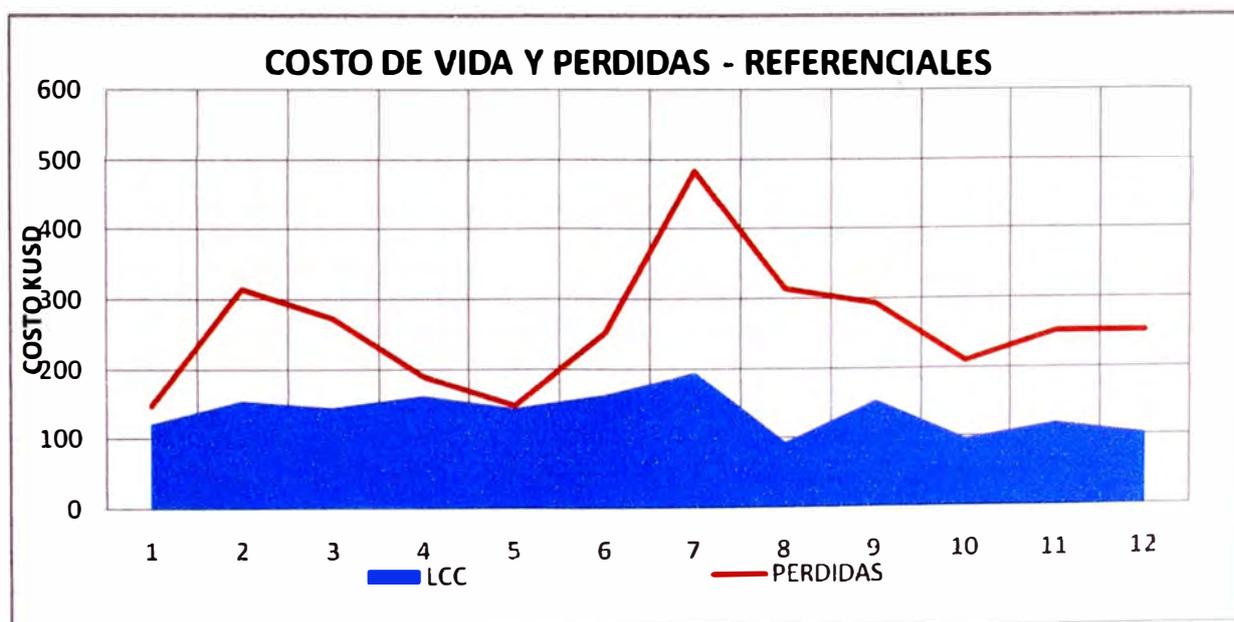


Figura 4.9. Costo de ciclo de vida y pérdidas de la planta concentradora

### **4.2.3. Estrategias**

En la etapa de estrategias de confiabilidad, se realizaría un análisis del modo y efecto de la falla (AMEF) de los equipos críticos con el objetivo de determinar qué actividad y acción se debe realizar a una determinada frecuencia. Esto se permite eliminar o reducir el impacto en las operaciones.

Para que se cumpla, efectivamente, cada acción de mantenimiento se debe contar con lo siguiente:

- Estrategias de materiales que permitan contar con repuestos, materiales y servicios al momento que se requieran. Esta estrategia se realiza cuando la estrategia de mantenimiento es cíclico y se muestra con la relación de materiales y frecuencias enviadas a la gerencia de logística.
- Estrategias de operación que permitan entregar procedimientos de una mejor operación. Esta estrategia se muestra con el estándar de operación.
- Estrategia de mantenimiento que permita las acciones de mantenimiento mediante el formato de inspección o instructivo de desarrollo..

Los formatos propuestos se presentan en las figuras 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13.



**Castrovirreyna**  
COMPAÑÍA MINERA S.A.

**INSPECCION DIARIO DE MANTENIMIENTO  
ALIMENTADOR DE PLACAS 42" X 14" COMESA**

**MANTENIMIENTO GENERAL**

FECHA TURNO / HORA INICIO : \_\_\_\_\_

FECHA TURNO / HORA FINAL : \_\_\_\_\_

INSPECTOR A CARGO : \_\_\_\_\_

FRECUENCIA DE INSPECCION : \_\_\_\_\_

EQUIPO CORRIENDO / DETENIDO : CORRIENDO

N	COMPONENTE	TAREA	OBSERVACIONES
1	TRANSMISION		
11	MOTOR ELECTRICO	1.1.1 Observe ruidos inusuales	
		1.1.2 Observe vibraciones inusuales	
		1.1.3 Revisar temperatura del motor	
		1.1.4 Medir la resistencia del aislamiento (SEMANAL)	
		1.1.5 Revisar estructura del motor	
		1.1.6 Revisar fijaciones del motor	
12	REDUCTOR	1.2.1 Observar ruidos inusuales	
		1.2.2 Observar vibraciones inusuales	
		1.2.3 Revisar temperatura del reductor	
		1.2.4 Revisar estructura del reductor	
		1.2.5 Revisar fijaciones del reductor	
13	ACOPLE	13.1 Revisar el estado del acoplamiento	
14	CADENA	14.1 Cadena de transmisión	
2	POLEA MOTRIZ		
21	CHUMACERA	2.1.1 Revisar las chumaceras de pie	
		2.1.2 Verificar la temperatura del rodamiento	
22	SPROCKET	2.2.1 Revisar el estado SPROCKET	
		2.2.2 Revisar la chaveta	
23	EJE	2.3.1 Revisar el estado del eje	
3	POLEA DE COLA		
21	CHUMACERA	2.1.1 Revisar las chumaceras de pie	
		2.1.2 Verificar la temperatura del rodamiento	
23	EJE	2.2.1 Revisar el estado del eje	
4	ORUGA		
4.1	PLACAS		
4.2	CADENA	4.2.1 Revisar el estado de la cadena	
		4.2.2 Revisar los pines de sujecion de la cadena	
5	TORNILLO TENSOR		
5.1	TORNILLO	5.1 Revisar el estado del tornillo tensor	

Figura 4.10. Formato de una inspección diaria del ALP-0001

Castrovirreyna COMPAÑIA MINERA S.A.		INSPECCION TRIMESTRAL DE MANTENIMIENTO ALIMENTADOR DE PLACAS 42" X 14" COMESA	
<b>MANTENIMIENTO GENERAL</b>			
FECHA TURNO / HORA INICIO :		_____	
FECHA TURNO / HORA FINAL :		_____	
INSPECTOR A CARGO :		_____	
FRECUENCIA DE INSPECCION :		_____	
EQUIPO CORRIENDO / DETENIDO :		DETENIDO	
N°	COMPONENTE	TAREA	OBSERVACIONES
1	TRANSMISION		
11	MOTOR ELECTRICO	11.1 Revisar rodamientos	
		11.2 Revisar retenes	
		11.3 Revisar aoplamiento	
		11.4 Revisar lubricación	
		11.5 Realizar limpieza	
12	REDUCTOR	12.1 Revisar la base y cubierta de la caja	
		12.2 Revisar el respiradero	
		12.3 Revisar sellos de aceite	
		12.4 Revisar rodamientos	
		12.5 Revisar engranajes, piñones y ejes	
		12.6 Revisar elementos de sujeción	
		12.7 Revisar el estado de aceite (Tomar muestra)	
13	ACOPLE		
14	CADENA		
2	POLEA MOTRIZ		
2.1	CHUMACERA	2.1.1 Revisar rodamientos	
		2.1.1 Revisar retenes	
2.2	SPROCKET	2.2.1 Realizar la inspeccion del estado	
2.3	EJE	2.3.1 Revisar estado de ejes	
		2.3.1 Realizar el monitoreo por ultrasonido	
3	POLEA DE COLA		
3.1	CHUMACERA	3.1.1 Revisar rodamientos	
		3.1.2 Revisar retenes	
3.2	EJE	3.2.1 Revisar estado de ejes	
		3.2.2 Realizar el monitoreo por ultrasonido	
4	DRUGA		
4.1	PLACAS	4.1.1 Revisión del estado de la placas	
4.2	CADENA	4.2.1 Revisión del estado de los eslabones de la cadena	
4.3	RODILLO	4.3.1 Revisión del estado de los rodillos	
5	TORNILLO TENSOR		

Figura 4.11 Formato de una inspección trimestral ALP-0001

Castrovirreyna COMPAÑIA MINERA S.A.		INSPECCION DIARIAS DE MANTENIMIENTO ZARANDA GRIZZLY 4' X 8'	
MANTENIMIENTO GENERAL			
FECHA/TURNO /HORA INICIO	:	_____	
FECHA/TURNO /HORA FINAL	:	_____	
INSPECTOR A CARGO	:	_____	
FRECUENCIA DE INSPECCION	:	_____	
EQUIPO CORRIENDO /DETENIDO	:	CORRIENDO	
N°	COMPONENTE	TAREA	OBSERVACIONES
1	ESTRUCTURA		
1.1	CUBIERTA	1.1.1 Inspeccione los pernos de sujecion de la estructura	
		1.1.2 Inspeccione el estado de la planchas laterales por fuera	
1.2	CHUTE DE CARGA	1.2.1 Inspeccione el estado de las planchas y cordones de soldadura por fuera	
1.3	CHUTE DE DESCARGA	1.3.1 Inspeccione el estado de la planchas y cordones de soldadura por fuera	
2	TRANSMISION		
2.1	MOTOR ELECTIRCO	2.1.1 Observe ruidos inusuales	
		2.1.2 Observe vibraciones inusuales	
		2.1.3 Revisar temperatura del motor	
		2.1.3 Mida la resistencia del aislamiento	
		2.1.4 Revisar estructura del motor	
		2.1.5 Revisar fijaciones del motor	
2.2	MECANISMO DE VIBRACION	2.1.6 Revisar la guarda entre las poleas	
		2.2.1 Observe ruidos inusuales	
		2.2.2 Observe vibraciones inusuales	
2.3	LUBRICACION	2.2.3 Revise la temperatura de los rodamientos	
		2.3.1 Verificar el nivel de aceite	
		2.3.2 Revisar la temperatura del aceite (38°C - 54°C)	
		2.3.4 Verificar el tapon	
3	SUSPENSION	2.3.5 Verificar los tubos de lubricación	
		3.1.1 Revise el estado de los resortes en movimiento	
3.1	RECORTE	3.1.2	

Figura 4.12. Formato de una inspección diaria ZAR-0001

Castrovirreyna COMPAÑIA MINERA S.A.		INSPECCIONES SEMANAL DE MANTENIMIENTO ZARANDA GRIZZLY 4' x 8'	
<b>MANTENIMIENTO GENERAL</b>			
FECHA/TURNO/HORA INICIO	:	_____	
FECHA/TURNO/HORA FINAL	:	_____	
INSPECTOR A CARGO	:	_____	
FRECUENCIA DE INSPECCION	:	_____	
EQUIPO CORRIENDO/DETENIDO	:	DETENIDO	
N°	COMPONENTE	TAREA	OBSERVACIONES
1	ESTRUCTURA		
11	CUBIERTA	11.1 Inspeccione los pernos de sujecion de la estructura	
		11.2 Inspeccione el estado de la planchas laterales por dentro	
12	CHUTE DE CARGA	12.1 Limpie el chute	
		12.2 Inspeccione el estado de las planchas y cordones de soldadura por dentro	
13	CHUTE DE DESCARGA	13.1 Limpie el chute	
		13.2 Inspeccione el estado de las planchas y cordones de soldadura por dentro	
14	CRIBA	14.1 Inspeccione el estado las barras	
		14.2 Inspeccione el estado de las vigas transversales	
		14.3 Inspecciones las planchas de la criba	
2	TRANSMISION		
2.1	MOTOR ELECTRICO	2.1.1 Verifique el estado de las fajas de transmisión (cuando la luz < T' de 2 fajas, o estan cuareadas)	
		2.1.2 Inspeccione el estado de la polea y chaveta	
		2.1.3 Verifique la resistencia del aislamiento del motor (Mayor a 2MΩ)	
		2.1.4 Realizar re-engrase (1.5 cm3 por rodamiento o 8 bombas)	
		2.1.1 Limpieza interna del motor electrico (MENSUAL)	
		2.1.2 Revision interna del motor electrico (MENSUAL)	
		2.1.2 Verifique que las RPM del eje y rodamiento sean iguales (MENSUAL)	
2.2	MECANISMO DE VIBRACION	2.1.1 Realizar el monitoreo de porosidades y/o fisuras del eje por ultrasonido (Anual)	
		2.2.1 Inspeccione el estado de la polea y chaveta	
		2.2.2 Inspeccione el estado de las lamas del rodamiento	
		2.2.3 Verificacion el alineamiento entre las poleas	
2.3	LUBRICACION	2.2.4 Realizar el monitoreo de porosidades y/o fisuras del eje por ultrasonido (Anual)	
		2.3.1 Verificar el nivel de aceite	
		2.3.2 Revisar la temperatura del aceite (38° C - 54° C)	
		2.3.4 Verificar el tapon	
		2.3.5 Verificar los tubos de lubricación	

Figura 4.13. Formato de una inspección semanal ZAR-0001

## **CAPÍTULO V**

# **RESULTADO DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL**

Los resultados que esperamos con la correcta aplicación del sistema de mantenimiento propuesto son los siguientes: que presente la rentabilidad en la implementación; que en el costo de ciclo de vida se refleje la disminución de las pérdidas en la facturación por influencia de las paradas de los equipo y que los modos de falla.

### **5.1. Rentabilidad en la implementación**

Para precisar si con la implementación se generarán beneficios adicionales, se realizará el cálculo del retorno de la inversión (ROI).

$$\text{ROI} = (\text{Ingresos} - \text{Inversión}) / (\text{Inversión})$$

Antes de calcular el retorno sobre la inversión, se calcularán los ingresos y egresos planificados durante el año, tal como se muestra en la tabla 5.4., donde se deben considerar los siguientes valores:

- I: Inversión de equipos de monitoreo más la capacitación recibida por una empresa especialista, como se muestra en la tabla 5.1 y 5.2
- CP: Costo del incremento de personal especialista para la implementación, como se presenta en la tabla 5.3
- RI: Ingreso adicional que se obtendrá por la implementación, el cual es calculado con el mínimo valor de las pérdidas del año anterior
- PP: Pérdidas que se generaran, tal como se muestra a partir del cuarto mes, en el cual la dicha pérdida se reducirá y, a partir del séptimo, mes se eliminará.

EQUIPO	MARCA	MODELO	CNT	COSTO PARCIAL	COSTO TOTAL
MEDIDOR DE VIBRACIONES	HAWB	VM 30	3	6,231.2	18,693.6
MEDIDOR DE ESPEORES ULTRASONICO	DAKOTA	MX-5	3	3,850.0	11,550.0
CAMARA TEMOGRÁFICA	FLIR	E50bx	3	5,495.0	16,485.0
					<b>USD 46,728.6</b>

Tabla 5.1. Relación de equipos de monitoreo

DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL
CAPACITACIÓN DE ANÁLISIS VIBRACIONAL	6,352.4
CAPACITACIÓN DE TERMOGRAFÍA	8,635.9
CAPACITACIÓN DE CAUSA RAÍZ	6,389.3
CAPACITACIÓN DE ANÁLISIS DE ACEITE	9,313.2
<b>USD 24,338.4</b>	

Tabla 5.2. Relación de capacitaciones para el personal

CARGO	CNT	COSTO	
		PARCIAL	TOTAL
INGENIERO DE CONFIABILIDAD	2	3,100.0	6,200.0
TÉCNICO DE CONFIABILIDAD	3	1,600.0	4,800.0
TÉCNICO MECÁNICO	6	1,000.0	6,000.0
TÉCNICO ELECTRICISTA	3	1,500.0	4,500.0
			<b>21,500.0</b>

Tabla 5.3. Relación de profesionales adicionales

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	-71,067	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CP	-21,500	-21,500	-21,500	-21,500	-21,500	-21,500	-21,500	-21,500	-21,500	-21,500	-21,500	-21,500
RI	147,000	147,000	147,000	147,000	147,000	147,000	147,000	147,000	147,000	147,000	147,000	147,000
PP	-	-	-	-50,000	-50,000	-50,000	-30,000	-30,000	-30,000	-30,000	-30,000	-30,000
Total	92,567.0	21,500.0	21,500.0	75,500.0	75,500.0	75,500.0	95,500.0	95,500.0	95,500.0	95,500.0	95,500.0	95,500.0

Tabla 5.4. Ingresos y egresos planificados en la implementación

Se calcula el VAN (valor actual neto) de los ingresos (RI) y egresos como inversión (I, CP, PP). Se obtiene el VAN ingresos (733,292.9 USD) y el VAN inversión (561,780.3 USD) en un año. Según la fórmula 5.1, se obtiene el ROI = 2.2. A partir de ello, se concluye, a nivel económico, que en su primer año la implementación es rentable y recuperable en 3.2 meses.

## **5.2. Costo de ciclo de vida**

Una vez ejecutada la implementación, esta influirá en del ciclo de vida, debido a que incrementará la mano de obra, los nuevos instrumentos de monitoreo y el adelanto o los retrasos de cambio de componentes. Para conocer cómo será el comportamiento del costo de ciclo vida de la planta concentradora, se debe saber qué metas alcanzará el proceso de implementación. Dichos procesos son los siguientes:

- **Proceso de capacitación.** Es el proceso donde se generan estándares de ejecución y procedimientos de los procesos complementarios. Existe una modificación del *software* para el registro del RCM; por ello, se debe contratar a las personas idóneas, se debe capacitar en la ejecución de los procesos complementarios y de monitoreo, se debe realizar simulaciones con el fin de levantar desviaciones que puedan afectar a la ejecución de la implementación. Los costos de mantenimiento y pérdida del ciclo de vida en este proceso se mantendrán con los mismos valores, tal como se muestra en la figura 5.2.

- **Proceso de ejecución I.** Es el proceso donde se genera una consolidación de los repuestos, materiales y servicios que se necesitarán para la ejecución del mantenimiento proactivo planteado. En el ciclo de vida de este proceso, los costos de mantenimiento aumentarán, puesto que la inversión y la pérdida disminuirán considerablemente, debido a las acciones de tareas proactivas, tal como se presenta en la figura 5.2.

- **Proceso de ejecución II.** Es el proceso donde se genera una consolidación del mantenimiento y operación de los equipos de la operación de la planta concentradora. En el ciclo de vida de este proceso, los costos de mantenimiento tomarán su rumbo, según la planificación de cambios y reparaciones. Por ello, la pérdida disminuirá a un valor determinado a 97% de disponibilidad (target de operación), así como lo muestra figura 5.2.

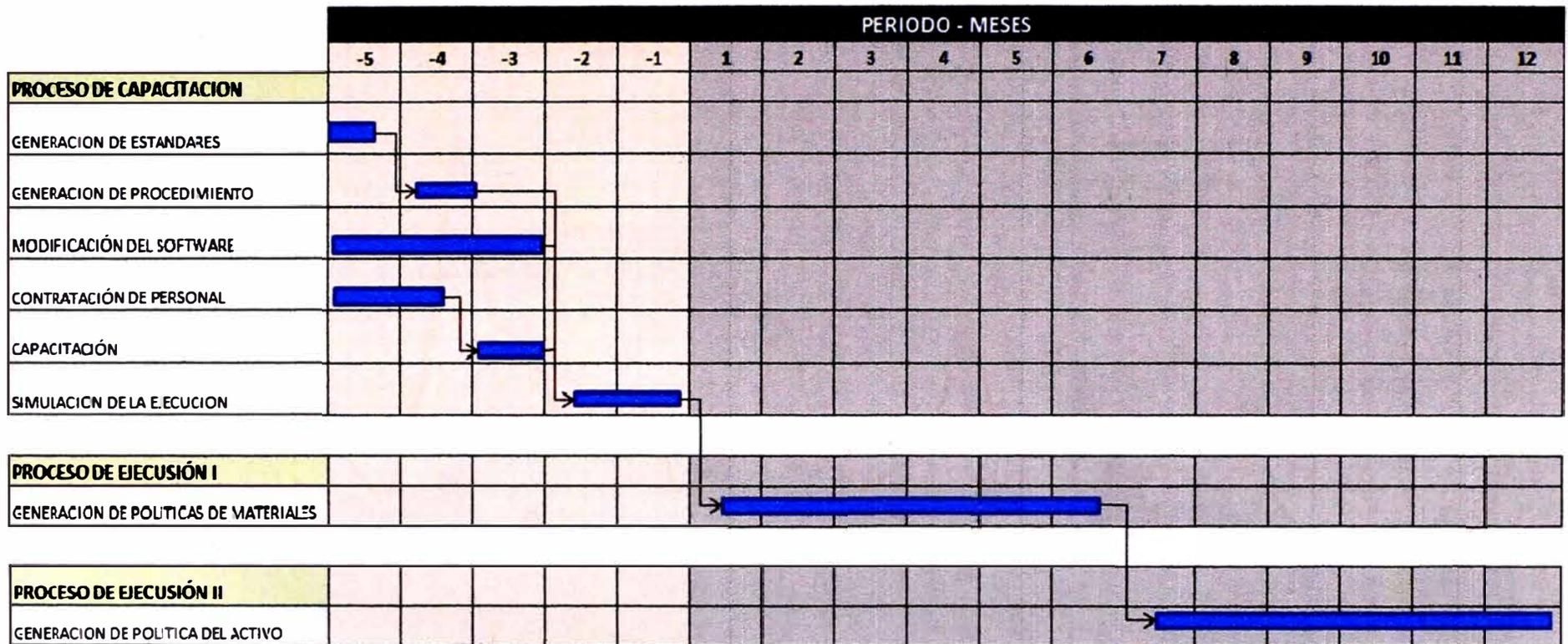


Figura 5.2. Programa de implementación

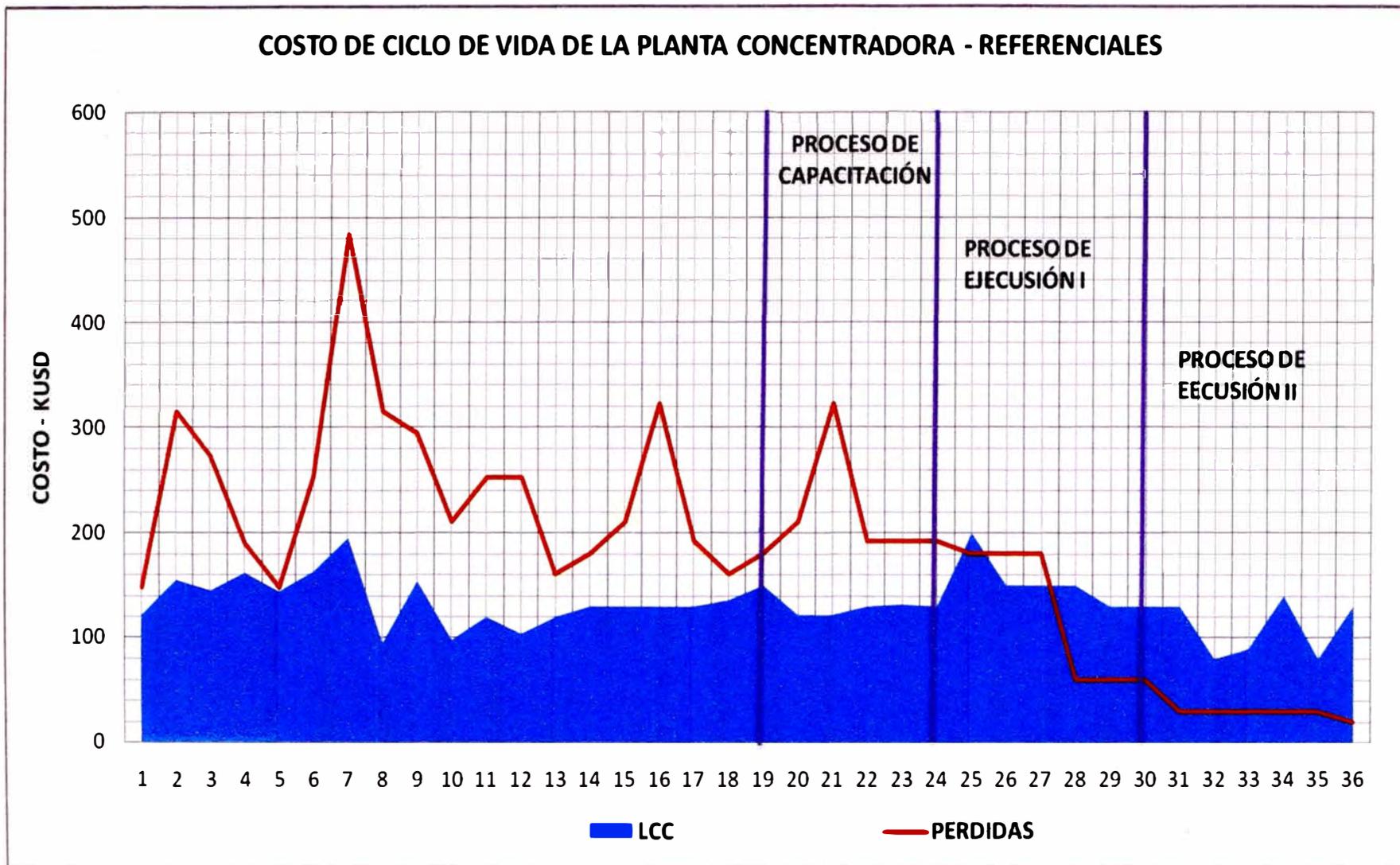


Figura 5.2. Comportamiento del costo del ciclo de vida planificado

## CONCLUSIONES

1. Para calcular el retorno sobre la inversión ROI, se realizó la comparación con la recuperación de las pérdidas de un año, cuyo resultado fue de 2.2 Sin embargo, la inversión realizada presenta un efecto hasta la culminación de su ciclo de vida (30 años aproximadamente); es decir, el retorno de la inversión ROI a 30 años resulta mucho más que 2.2. Por eso, se confirma que dicha implementación es rentable.
2. Los resultados de la implementación será observada en diecisiete meses de aprobada, debido que el tiempo de ejecución de las tapas de la implementación (capacitación, proceso de ejecución I y procesos de ejecución II) dependen del tiempo en que los recursos (repuestos, servicio, instrumentos, personal calificado, etc.) se encuentren en las operaciones.
3. Con la ejecución de la fase inicial de los procesos complementarios (procesos de ejecución I), se reducirán las pérdidas de 250'000USD a 50'000USD en el cuarto mes. Dicha reducción es determinada, aproximadamente, por la ejecución de las estrategias de reducción de modos de fallas de altas frecuencias y downtime prolongado, las cuales tienen repuestos en su inventario en menos de tres meses.
4. Con la ejecución de la fase inicial de los procesos complementarios (procesos de ejecución II), se reducirán las pérdidas de 50'000USD a 30'000USD en el séptimo mes. Esta reducción es determinada, aproximadamente, por la ejecución de las estrategias de reducción de modos de fallas de frecuencia y downtime medio, que tienen repuestos de más de seis meses de inventario.

5. Todas las personas que estén relacionadas con la implementación, como los colaboradores, supervisores, jefaturas, superintendencia y hasta la gerencia de operaciones, debe tener la convicción de que dicha implementación generará grandes beneficios si se ejecutan, de forma ordenada y efectiva, los procesos complementarios.
6. Los técnicos especialistas y los planeadores deben tener la capacidad de identificar una edad del elemento que muestre un rápido incremento en la probabilidad de falla. La mayoría de estos sobreviven a esa edad la restauración de estos elementos debe tener la resistencia original.
7. Con la efectiva ejecución de la implementación de los procesos complementarios, se llevará al departamento de mantenimiento de una etapa PLANEADA a la etapa de PRECISIÓN MEJORADA, la cual le ayudará a programar ventas de concentrado de forma anual.
8. Cuando se establezca la correcta ejecución de cada uno de los procesos, el siguiente paso como una mejora continua será la implementación del sistema de gestión integral de activos (PAS 55).

## RECOMENDACIONES

1. Para que otra empresa realice la implementación de los procesos complementarios planteados, necesita de la ejecución de sus procesos de identificación de trabajo, de planificación, de programación, de ejecución, de cierre, de orden y de análisis correcto de la información. Si se ejecutan los procesos complementarios y no se ejecutan los procesos actuales correctamente, dicha implementación no tendrá resultados favorables.
2. Para el desarrollo del proceso complementario, se debe contar con ingenieros de confiabilidad y técnicos con alta capacidad de búsqueda de causa-raíz.
3. La jefatura de planeamiento presenta un papel importante para la implementación. Debe realizar seguimiento a las desviaciones de la implementación con el fin de tomar acción de manera inmediata y no perjudicar los resultados por la fecha programada.
4. Comprar un *software* o generar un *software*, como es en nuestro caso, para el almacenamiento de la información y para que se visualicen los resultados de los indicadores propuestos por el Balanced Scorecard (BSC).

## BIBLIOGRAFÍA

1. Amendola, Luis. (2011). *Gestión integral de activos físicos*. España: Ediciones PMM Institute for learning..
2. Tomlinngson, Paul. (2010). *Equipment Management. Key to equipment Reliability and Productivity in Mining*. Estados Unidos: Segunda edición. SME...
3. Rodríguez Ojeda, Luis. (2007). *Probabilidad y estadística básica para ingenieros*. Instituto de ciencias matemáticas ESPOL.
4. Moubray, John. (1997). *Reliability centred maintenance*. Segunda edición. Industrial Press Inc..British.
5. Parra, Carlos. (2002). *Manual del practicante: mantenimiento centrado en la confiabilidad*. España: INGEMAN – Universidad de Sevilla...
6. Norma SAE JA1011. (1999). *Evaluation criteria for reliability – center maintenance. The Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea Air and Space.. EE.UU.*
7. Knights, Peter. (2004). *Downtime priorities, jack knife diagrams*. Chile: Catholic University of Chile..
8. Knights, Peter. (1999). *Analysing breakdowns*. Estados Unidos: Mining Magazine..

9. Knights, Peter. (2001). *Rethinking pareto analysis*. EE.UU.: Maintenance Applications of Logarithmic Scatterplots..
10. Palmer, Richard. (2006). *Maintenance plannig and scheduling handbook*.. EE.UU.
11. Rinne, Horst. (2009). *The weibull distribution*. EE.UU.: CRC Press...