



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

### **“ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA CENTRAL DE HORMIGONADO DE LA EMPRESA PÚBLICA CEMENTERA DEL ECUADOR”**

**BARRIONUEVO CAZAR PAÚL FAVIÁN  
ILICACHI YUNGÁN JÉSSICA SOLEDAD**

## **TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Previo a la obtención del Título de:**

## **INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA - ECUADOR  
2017**

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2016-05-11

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**BARRIONUEVO CAZAR PAÚL FAVIÁN**  
**ILLICACHI YUNGÁN JÉSSICA SOLEDAD**

Titulado:

**“ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA CENTRAL DE**  
**HORMIGONADO DE LA EMPRESA PÚBLICA CEMENTERA DEL ECUADOR”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Ángel Daniel Larrea Moreano  
**DIRECTOR**

---

Ing. Alex Giovanni Tenicota García  
**ASESOR**

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ILLICACHI YUNGÁN JÉSSICA SOLEDAD**

**TRABAJO DE TITULACIÓN: “ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA CENTRAL DE HORMIGONADO DE LA EMPRESA PÚBLICA CEMENTERA DEL ECUADOR”**

**Fecha de Examinación: 2017-02-08**

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Marco Santillán Gallegos. <b>PRESIDENTE TRIB.DEFENSA</b>			
Ing. Ángel Daniel Larrea Moreano <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Alex Giovanni Tenicota García <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. Ing. Marco Santillán Gallegos  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** BARRIONUEVO CAZAR PAÚL FAVIÁN

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** **“ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA CENTRAL DE HORMIGONADO DE LA EMPRESA PÚBLICA CEMENTERA DEL ECUADOR”**

**Fecha de Examinación:** 2017-02-08

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Marco Santillán Gallegos <b>PRESIDENTE TRIB.DEFENSA</b>			
Ing. Ángel Daniel Larrea Moreano <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Alex Giovanni Tenicota García <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. Marco Santillán Gallegos  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Illicachi Yungán Jéssica Soledad**

---

**Barrionuevo Cazar Paúl Favián**

## **DECLARACION DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Jéssica Soledad Illicachi Yungán y Paúl Favián Barrionuevo Cazar, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Illicachi Yungán Jéssica Soledad**  
Cédula de Identidad: 180446538-1

---

**Barrionuevo Cazar Paúl Favián**  
Cédula de Identidad: 060446662-3

## **DEDICATORIA**

Este logro se lo dedico a Dios, a mis padres Sr. Alejandro Illicachi y Sra. María Yungán quienes con su esfuerzo y amor han permitido mi superación académica y personal, siendo mi más grande ejemplo de sacrificio, constancia, amor y dedicación, a mis hermanos Verónica, Vanessa y Erick que son mi aliento de superación y fortaleza, recordándoles mi admiración y orgullo por ellos, pues son quienes a través de mucho esfuerzo, perseverancia y paciencia han hecho posible mis logros actuales y a mi amigo Luis por toda su ayuda sin la cual no estuviera logrado llegar a la culminación de tan ansiado sueño.

**Illicachi Yungán Jéssica Soledad.**

Dedico a dios y la virgen santísima por brindarme salud, sabiduría y fortaleza en este duro camino sin dejarme vencido, y poder alcanzar la meta tan soñada.

A mi padre Josías Barrionuevo B. Y a mi madre Edna Cazar A. Por ser ejemplo de rectitud, que han inculcado en mis buenos valores, trabajo constante y sacrificio, por darme la atención que siempre necesite y por ese amor incomparable, a ustedes padres míos dedico este primer logro personal. Espero que siempre estén orgullosos de mí así como yo siempre lo estaré de ustedes.

A Gabriela Cueva A., mi amada esposa, quien ha sido mi ayuda y apoyo incondicional y desinteresado. Gracias a ti vida mía que estuviste luchando a diario para este logro profesional tan ansiado.

A mis hermanas Verónica, Daniela, Cristina y amigos que siempre con su granito de arena, cariño, ánimo y consejos me apoyaron en este largo trajinar, solo queda agradecerles a todos.

**Barrionuevo Cazar Paúl Favián.**

## **AGRADECIMIENTO**

Todo lo puedo en Cristo que me fortalece Filipenses 4:13. Aprovecho este espacio para agradecer en primer lugar a Dios por haberme acompañado siempre, en cada batalla, en cada dolor y ahora en éste logro tan anhelado. Es un placer para mí expresar mi gratitud a mi familia por la confianza, por el aliento de fuerza que me han dado en todo momento. Gracias a mis tutores por su siempre buena disposición y apoyo durante el desarrollo del presente trabajo de titulación, al personal de la Empresa Pública Cementera del Ecuador por abrirnos sus puertas y su ayuda incondicional.

Y por último, agradezco a todas aquellas personas que de una u otra manera me han ayudado durante el transcurso de mi carrera; profesores, compañeros, amigos y familiares.

**Illicachi Yungán Jéssica Soledad.**

Agradezco a Dios y a la Virgen Santísima por darme fuerza para lograr uno de mis sueños.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería en Mantenimiento, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser una persona útil para la sociedad.

Agradezco a la Empresa Pública Cementera del Ecuador, al Ing. Diego Cáceres jefe de planta, por permitirme realizar el trabajo de titulación.

A Ing. Ángel Larrea e Ing. Alex Tenicota, por brindarme su amistad y asesoramiento del trabajo, quienes con la ayuda de su conocimiento y experiencia lograron elaborar el presente documento.

**Barrionuevo Cazar Paúl Favián.**



## TABLA DE CONTENIDOS

	Página
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general.</i> ....	2
1.3.2 <i>Objetivo específicos.</i> ....	2
CAPÍTULO II.....	3
2. MARCO REFERENCIAL.....	3
2.1 Mantenimiento.....	3
2.1.1 <i>Importancia del mantenimiento.</i> ....	3
2.1.3 <i>Finalidad del mantenimiento.</i> ....	4
2.1.4 <i>Objetivos del mantenimiento.</i> ....	4
2.2 Confiabilidad.....	4
2.3 Distribución exponencial.....	6
2.4 Distribución de Weibull.....	8
2.5 Análisis de criticidad (AC).....	11
2.5.1 <i>Métodos para análisis de criticidad AC.</i> ....	12
2.5.1.1 <i>Método flujograma (Cualitativo).</i> .....	12
2.5.1.2 <i>Modelo de factores ponderados basado en la teoría del riesgo.</i> .....	14
2.6 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).....	16
2.6.1 <i>Funciones y parámetros de funcionamiento.</i> ....	16
2.6.2 <i>Funciones primarias.</i> ....	17
2.6.3 <i>Funciones secundarias.</i> ....	17
2.6.4 <i>Fallas funcionales.</i> .....	17
2.6.5 <i>Modos de falla.</i> ....	18
2.6.6 <i>Efectos de falla</i> ....	19

2.6.7	<i>Consecuencias de las fallas.</i> .....	19
2.6.7.1	<i>Consecuencias de fallas ocultas.</i> .....	19
2.6.7.2	<i>Consecuencias ambientales y para la seguridad.</i> .....	19
2.6.7.3	<i>Consecuencias</i> .....	20
2.6.7.4	<i>Consecuencias</i> .....	20
CAPÍTULO III .....		21
3.	DESARROLLO .....	21
3.1	Descripción del proceso de elaboración de hormigón. ....	21
3.1.1	<i>Antecedentes Empresa Pública Cementera del Ecuador (EPCE)</i> .....	21
3.1.2	<i>Ubicación</i> .....	21
3.1.2.1	<i>Macro localización.</i> .....	21
3.1.2.2	<i>Micro localización.</i> .....	22
3.1.3	<i>Descripción de la planta.</i> .....	22
3.2	Proceso de producción del hormigón. ....	23
3.2.1	<i>Recepción de materias primas.</i> .....	24
3.2.2	<i>Almacenamiento de materias primas.</i> .....	24
3.2.3	<i>Dosificación</i> .....	24
3.2.4	<i>Mezclado</i> .....	25
3.2.5	<i>Descarga</i> .....	25
3.2.6	<i>Área</i> .....	25
3.3	Descripción de los equipos de la planta hormigonera. ....	26
3.3.1	<i>Tolva dosificadora.</i> .....	26
3.3.2	<i>Banda transportadora.</i> .....	28
3.3.3	<i>Skip.</i> .....	29
3.3.4	<i>Mezcladora</i> .....	29
3.3.5	<i>Silo de cemento.</i> .....	31
3.3.6	<i>Bomba de aditivo.</i> .....	32
3.3.7	<i>Compresor de pistón.</i> .....	34
3.4	Determinar la criticidad de los equipos de la central de hormigonado. ....	35
3.4.1	<i>Análisis cualitativo de los equipos de la central de hormigonado.</i> .....	35
3.4.2	<i>Análisis cuantitativo de los equipos de la central de hormigonado.</i> .....	41
3.5	Análisis de la confiabilidad de los equipos de la central de hormigonado. ....	46
3.5.1	<i>Cálculo de los índices de confiabilidad de la mezcladora.</i> .....	49
3.5.2	<i>Cálculo de los índices de confiabilidad de la tolva dosificadora.</i> .....	54

3.5.3	<i>Cálculo de los índices de confiabilidad de la banda transportadora.</i> .....	58
3.5.4	<i>Cálculo de los índices de confiabilidad del Skip.</i> .....	62
3.5.5	<i>Cálculo de los índices de confiabilidad del silo de cemento.</i> .....	66
3.5.6	<i>Cálculo de los índices de confiabilidad de la bomba de aditivo.</i> .....	70
3.5.7	<i>Cálculo de los índices de confiabilidad del compresor.</i> .....	74
3.5.8	<i>Cálculo de los índices de confiabilidad de la tolva de descarga.</i> .....	78
3.5.9	<i>Resultados de los índices de confiabilidad de la central de hormigonado.</i> .....	82
3.5.10	<i>Análisis de los valores de confiabilidad de los equipos</i> .....	83
3.6	Propuesta de RCM para la mezcladora de la central de hormigonado. ....	85
3.6.1	<i>Contexto operacional.</i> .....	86
3.6.2	<i>Análisis de modos y efectos de fallas de la mezcladora.</i> .....	87
3.6.3	<i>Hoja de decisión de RCM</i> .....	89
3.6.4	<i>Plan de mantenimiento.</i> .....	90
CAPITULO IV .....		91
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	91
4.1	CONCLUSIONES .....	91
4.2	RECOMENDACIONES.....	92
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
1-2	Áreas de impacto para el método cualitativo. .... 13
2-2	Modelo de factores basados en la teoría del riesgo. .... 15
3-3	Ficha técnica y características de la tolva dosificadora..... 27
4-3	Ficha técnica y características de la banda transportadora..... 28
5-3	Ficha técnica y características del Skip. .... 29
6-3	Ficha técnica y características de la mezcladora. .... 30
7-3	Ficha técnica y características del silo de cemento. .... 32
8-3	Ficha técnica y características de la bomba de aditivo..... 33
9-3	Ficha técnica y características del compresor de pistón..... 34
10-3	Equipos de la central de hormigonado. .... 35
11-3	Evaluación de la criticidad de la tolva dosificadora..... 36
12-3	Evaluación de la criticidad de la banda transportadora. .... 36
13-3	Evaluación de la criticidad del Skip. .... 37
14-3	Evaluación de la criticidad de la mezcladora. .... 38
15-3	Evaluación de la criticidad del silo de cemento. .... 38
16-3	Evaluación de la criticidad del compresor de pistón. .... 39
17-3	Evaluación de la criticidad de la bomba de aditivo..... 39
18-3	Evaluación de la criticidad de la tolva de descarga. .... 40
19-3	Resultados de criticidad valorados cualitativamente. .... 41
20-3	Criticidad cuantitativo de la tolva dosificadora..... 42
21-3	Criticidad cuantitativo de la banda transportadora..... 42
22-3	Criticidad cuantitativa del Skip. .... 42
23-3	Criticidad cuantitativa de la mezcladora. .... 42
24-3	Criticidad cuantitativa del silo de cemento. .... 43
25-3	Criticidad cuantitativa de la bomba de aditivo. .... 43
26-3	Criticidad cuantitativa del compresor de pistón. .... 43
27-3	Criticidad cuantitativa de la tolva de descarga. .... 43

28-3	Resultados de la evaluación de criticidad cuantitativa.....	44
29-3	Valor de riesgo cada equipo.....	45
30-3	Rangos de confiabilidad basados en el alfa de Cronbach .....	47
31-3	Bitácora de fallas de la mezcladora.....	49
32-3	Fórmulas utilizadas para el análisis de la confiabilidad.....	49
33-3	Bitácora de fallas de la tolva dosificadora. ....	54
34-3	Bitácora de fallas de la banda transportadora.....	58
35-3	Bitácora de fallas del Skip.....	62
36-3	Bitácora de fallas del silo de cemento.....	66
37-3	Bitácora de fallas de la bomba de aditivo. ....	70
38-3	Bitácora de fallas del compresor. ....	74
39-3	Bitácora de fallas de la tolva de descarga. ....	78
40-3	Valores de los índices de confiabilidad de la central de hormigonado. ....	82
41-3	Valoración de criterios de confiabilidad .....	84
42-3	Valores de confiabilidad de los equipos de la central de hormigonado. ....	84
43-3	Valoración de la confiabilidad de los equipos. ....	84
44-3	Hoja de información RCM.....	88
45-3	Hoja de decisión RCM .....	89
46-3	Plan inicial de mantenimiento.....	90

## TABLA DE FIGURAS

	Página
2-1	Las cuatro vértices que determina la confiabilidad de un activo. .... 6
2-2	Curva de la bañera la tasa de fallas en función del tiempo. .... 9
2-3	Matriz de criticidad de las causas de paradas no planificadas. .... 13
2-4	Matriz de criticidad. .... 14
3-1	Ubicación de la Empresa. .... 22
3-2	Proceso de producción de hormigón. .... 23
3-3	Tolva de agregados (arena, ripio)..... 27
3-4	Banda transportadora (arena, ripio)..... 28
3-5	Skip (arena, ripio)..... 29
3-6	Mezcladora (arena, ripio, cemento, agua y aditivo). .... 30
3-7	Silo de cemento. .... 32
3-8	Bomba de aditivo ..... 33
3-9	Compresor de pistón..... 34
3-10	Ubicación de los equipos con la valoración de la criticidad. .... 44
3-11	Nivel estadístico de riesgo de criticidad de los equipos..... 45
3-12	Índices de Confiabilidad de la Mezcladora. .... 51
3-13	Distribución de Weibull. .... 51
3-14	Curva de la confiabilidad en la mezcladora. .... 52
3-15	Desconfiabilidad de la mezcladora. .... 52
3-16	Densidad de la probabilidad de falla de la mezcladora. .... 52
3-17	Tasa de fallas instantánea de la mezcladora..... 53
3-18	Índices de Confiabilidad de la tolva dosificadora. .... 55
3-19	Distribución de Weibull para la tolva dosificadora..... 56
3-20	Curva de la confiabilidad de la tolva dosificadora..... 56
3-21	Desconfiabilidad de la tolva dosificadora. .... 56
3-22	Densidad de la probabilidad de falla de la tolva dosificadora..... 57
3-23	Tasa de fallas instantánea de la tolva dosificadora. .... 57

3-24	Índices de Confiabilidad para la banda transportadora. ....	59
3-25	Distribución de Weibull para la banda transportadora. ....	60
3-26	Curva de la confiabilidad de la banda transportadora. ....	60
3-27	Desconfiabilidad de la banda transportadora. ....	60
3-28	Densidad de la probabilidad de falla de la banda transportadora. ....	61
3-29	Tasa de fallas instantánea de la banda transportadora. ....	61
3-30	Índices de Confiabilidad para el Skip. ....	63
3-31	Distribución de Weibull para el Skip. ....	64
3-32	Curva de la confiabilidad del Skip. ....	64
3-33	Desconfiabilidad del Skip. ....	64
3-34	Densidad de la probabilidad de falla del Skip. ....	65
3-35	Tasa de fallas instantánea de la banda transportadora. ....	65
3-36	Índices de Confiabilidad del Silo de cemento. ....	68
3-37	Distribución de Weibull para el Silo de cemento. ....	68
3-38	Curva de la confiabilidad del silo de cemento. ....	68
3-39	Desconfiabilidad del silo de cemento. ....	69
3-40	Densidad de la probabilidad de falla del silo de cemento. ....	69
3-41	Tasa de fallas instantánea del silo de cemento. ....	69
3-42	Índices de Confiabilidad para la bomba de aditivo. ....	72
3-43	Distribución de Weibull para la bomba de aditivo. ....	72
3-44	Curva de la confiabilidad de la bomba de aditivo. ....	72
3-45	Desconfiabilidad de la bomba de aditivo. ....	73
3-46	Densidad de la probabilidad de falla de la bomba de aditivo. ....	73
3-47	Tasa de fallas instantánea de la bomba de aditivo. ....	73
3-48	Índices de Confiabilidad del compresor. ....	76
3-49	Distribución de Weibull para el compresor. ....	76
3-50	Curva de la confiabilidad del compresor. ....	76
3-51	Desconfiabilidad del compresor. ....	77
3-52	Densidad de la probabilidad de falla del compresor. ....	77
3-53	Tasa de fallas instantánea del compresor. ....	77
3-54	Índices de Confiabilidad de la tolva de descarga. ....	80
3-55	Distribución de Weibull para la tolva de descarga. ....	80
3-56	Curva de la confiabilidad de la tolva de descarga. ....	80

3-57	Desconfiabilidad de la tolva de descarga. ....	81
3-58	Densidad de la probabilidad de falla de la tolva de descarga.....	81
3-59	Tasa de fallas instantánea de la tolva de descarga. ....	81
3-60	Valoración de la confiabilidad de la central de hormigonado.....	85



## **LISTA DE ABREVIACIONES**

AC	Análisis de criticidad.
MTBF	Tiempo medio de funcionamiento entre fallos (Mean Time Between Failures).
RCM	Mantenimiento Centrado en la confiabilidad.
AMEF	Análisis de los modos falla y efectos.
EPCE	Empresa Pública Cementera del Ecuador.
PH	Premezclado de hormigón.
LA	Losas alveolares.
PC	Paneles autoportantes/cimentación.
AA	Pesaje /almacenamiento / despacho.
PR	Pesaje-Recepción.
DH	Durmientes de hormigón.
AH	Adoquines de hormigón.
GK	Generación Eléctrica.
AP	Acopio de producto terminado.

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo A.** Flujograma de la Matriz de criticidad

**Anexo B.** Fallas de los equipos de la central de hormigonado.

**Anexo C.** Análisis de confiabilidad de datos (Coeficiente de Cronbach).

**Anexo D.** Diagrama de decisión del RCM.

**Anexo E.** Plan de Mantenimiento Preventivo.

## **RESUMEN**

Se analizó la confiabilidad de los equipos en la central de hormigonado de la Empresa Pública Cementera del Ecuador, el trabajo responde a la necesidad de contar con un análisis de la confiabilidad para los equipos de la central de hormigonado de la empresa. La EPCE funciona con estrategias correctivas y no planificadas, afectando a la confiabilidad que deben tener sus activos, por lo que se proyecta alcanzar el nivel preventivo basado en la confiabilidad y así mejorar la misma. Eso se consiguió mediante el uso del software Fiasoft que utiliza las formulas de la estadística de Weibull, análisis de criticidad el cual permitió establecer prioridades en los equipos de la central de hormigonado y la técnica del mantenimiento centrado en la confiabilidad nivel 2 (RCM). Como resultado se obtuvo el análisis de la confiabilidad de los equipos y una propuesta de plan de mantenimiento basado en la confiabilidad. Se determinó que el activo crítico en el sistema es la mezcladora, se analizó la confiabilidad interna de los datos con el análisis de Cronbach teniendo un valor alto demostrando veracidad de datos, se mejoró las horas para mantenimiento, por lo que se recomienda la implementación del plan de mantenimiento.

**PALABRAS CLAVES:** <MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)> <ANÁLISIS DE CRITICIDAD> <ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD> <CENTRAL DE HORMIGONADO> <LICAN (PARROQUIA)> <RIOBAMBA (CANTÓN)> <CHIMBORAZO (PROVINCIA)>

## SUMMARY

We analyzed equipment reliability in the central of production of concrete of the Public Company Cementera del Ecuador, this job is an answer for the need to find Reliability Analysis for the equipment of the central of concrete production. The Public Company Cementera del Ecuador (EPCE) is working with remedial strategies, and no planning, affecting to reliability's financial assets, for this reason we want to achieve the preventive level based on the reliability, and then we want to improve it. We found out it by software Fiasot application that it is using Weibull statistic formula, analysis of criticality, so we could find priorities in equipment of central of concrete, and the maintenance technique focused on the reliability level 2 (RCM). As a result we got the Reliability Analysis for the equipment, and a proposal of maintenance planning based on reliability. We established critical financial assets in the system is the mixer, we analyzed the internal reliability of data with the analysis Cronbach. So we can find a high value showing the veracity of data. We improve time of servicing, that is why we strongly recommend a maintenance planning.

Keywords: <MAINTENANCE PLANNING BASED ON RELIABILITY (RCM)>  
<ANALYSIS OF CRITICALITY> <ANALYSIS OR RELIABILITY> <CENTRAL OF  
CONCRETE> <LICAN (PARISH)> <RIOBAMBA (CITY)> <CHIMBORAZO  
(PROVINCE)>

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 Antecedentes.**

La Empresa que es motivo de análisis fue creada por el Estado en el mes de enero del año 2010, Empresa Pública Cementera del Ecuador (EPCE), con la misión de intervenir de manera efectiva en la gestión del negocio del cemento y sus derivados. Al respecto, la ley de creación de la EPCE le confiere el objeto de industrializar, distribuir y comercializar cemento, materia prima relacionada y derivados, entre otros.

La Empresa Pública Cementera del Ecuador (EPCE), cuenta con una producción de paneles portantes y lozas alveolares que pueden ser incorporados en el proceso constructivo. Tienen la posibilidad de fabricar cualquier tipo de pieza específica bajo medida. Los prefabricados no solo contribuyen al cambio de la matriz productiva, también potencian el uso de materias primas propias.

El argumento de éste trabajo de titulación tiene como propósito ser un instrumento de aporte técnico y científico para la nueva generación de estudiantes, ya que brindará conocimientos teóricos basados en la práctica.

Cada día se realizan investigaciones sobre nuevas maneras de reducir las consecuencias de las fallas que tiene como objetivo analizar la confiabilidad de los equipos y/o máquinas, y a su vez reducir los tiempos de parada en la producción.

Mediante éste trabajo de titulación los futuros profesionales de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, podrán aplicar esta modalidad de trabajo técnico y enfocarla hacia fines prácticos e investigativos, entre otros.

## **1.2 Justificación.**

El desarrollo del presente tema de Trabajo de Titulación tiene como finalidad realizar un análisis de la confiabilidad de los equipos de la central de hormigonado en la Empresa Pública Cementera del Ecuador está compuesta por varias líneas de procesos especializados en realizar productos de hormigón, para ello es esencial la central de hormigonado, ya que el funcionamiento de ésta da como resultado la mezcla proporcional para cada uno de los productos a fabricar, siendo el punto de partida para empezar el proceso, razón por la cual es necesario garantizar la confiabilidad de los equipos que lo conforman, siendo necesario analizar y evaluar sus comportamientos a través de los registros de mantenimiento generados por los historiales.

Por el momento, no existe un análisis detallado sobre la confiabilidad de la central de hormigonado. Como consecuencia no se logra disponer de un plan de mejoras de gestión coherente en base a dicho indicador. Existiendo ocasiones en que el mantenimiento se torna totalmente correctivo en lugar de preventivo o planificado, evidenciando la falta de planificación, la ausencia de stock de repuestos necesarios en campo y la sobrecarga de trabajo en personal técnico.

Actualmente el análisis de los índices de Confiabilidad se lo realiza de manera superficial presentándose solamente como un valor y sin determinar sus causas o sin analizar a fondo el motivo de sus resultados.

Es por ello que el presente Trabajo de Titulación busca como finalidad el realizar un adecuado cálculo y análisis de disponibilidad de la central de hormigonado.

Con los resultados obtenidos se busca reducir la incidencia de las fallas realizando un estudio basado en un Análisis de Modo y Efectos de Fallas al o a los equipos considerados como críticos, con la finalidad de minimizar los orígenes de las fallas, alcanzando así una elevada confiabilidad del proceso de hormigonado y a su vez brindar mayor seguridad a los operadores y cuidado al medio ambiente, llevando a la empresa a obtener mayor rentabilidad al minimizar los costos de producción.

El presente trabajo de titulación cumple con los objetivos planteados, y constituye un recurso valioso para apoyar la gestión de mantenimiento de los técnicos de la EPCE, pero también a los estudiantes de la escuela de Ingeniería de Mantenimiento debido a que el mundo actual demanda profesionales capaces de generar ideas, planes bajo conocimiento de nuevas tecnologías para el aporte a la sociedad.

### **1.3 Objetivos.**

1.3.1 ***Objetivo general.*** Analizar la confiabilidad de los equipos de la central de hormigonado de la Empresa Pública Cementera del Ecuador.

#### **1.3.2 *Objetivo específicos.***

- Describir el proceso de la elaboración de hormigón.
- Determinar la confiabilidad de los equipos críticos de la central de hormigonado.
- Analizar la confiabilidad de la central de hormigonado
- Elaborar una propuesta de plan de mantenimiento para incrementar la confiabilidad del sistema.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO REFERENCIAL

#### 2.1 Mantenimiento.

Según la norma UNE EN 13306, el mantenimiento es la: “Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y gerenciales durante el ciclo de vida de un ítem con el fin de mantenerlo, o restaurarlo, a un estado en el cual pueda desempeñar la función requerida.”

Interpretando la definición presentada, se puede destacar que:

La principal función del mantenimiento es conservar la función de los equipos. Bajo ésta premisa se puede entender la importancia del área de mantenimiento al sobrevivir y crecer a las distintas épocas acorde a las necesidades de sus clientes.

En la década de los ochenta, entra en aparición los indicadores de mantenimiento como son la confiabilidad, la disponibilidad y los costes, con los cuales se aumenta la disponibilidad minimizando las paradas por revisión, y mejorando la confiabilidad mediante mayor estudio y análisis de las averías complejas la implantación de reformas en los equipos o instalaciones.

**2.1.1 Importancia del mantenimiento.** El objetivo del mantenimiento es conservar todos los bienes que componen los eslabones del sistema directa e indirectamente



**2.1.2** afectados a los servicios, en las mejores condiciones de funcionamiento con un alto nivel de confiabilidad, calidad al menor costo posible. (Torres, 2010)

Mantenimiento no solo deberá mantener las máquinas sino también las instalaciones eléctricas, aire comprimido, agua, aire acondicionado, calles internas, pisos, depósitos. (Torres, 2010)

**2.1.3 Finalidad del mantenimiento.** Conseguir el máximo nivel de efectividad en el funcionamiento del sistema productivo y de servicios con la menor contaminación del medio ambiente y mayor seguridad para el personal al menor costo posible. (Torres, 2010)

**2.1.4 Objetivos del mantenimiento.** Los objetivos del mantenimiento deben alinearse con los de la empresa, éstos deben ser específicos y estar presentes en las acciones que realice el área, para la maximización de la efectividad del sistema y debe estar encaminada a los siguientes aspectos. (Torres, 2010)

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Optimización del capital humano.
- Aprovechar al máximo de la vida útil de los equipos.
- Maximizar la seguridad de los operadores.
- Conservación del medio ambiente.

## **2.2 Confiabilidad.**

Según la norma de terminología del mantenimiento UNE-EN 13306, dice que la confiabilidad es:

“Aptitud de un elemento de realizar una función requerida bajo unas condiciones determinadas durante un intervalo de tiempo dado.”

La confiabilidad está estrechamente relacionada con la calidad de un producto y es con frecuencia considerada un componente de ella.

La calidad se define cualitativamente como la cantidad de satisfacción en cuanto a los requerimientos de los usuarios de un producto.

La confiabilidad se interesa por el tiempo que continúa el activo en funcionamiento después de entrar en operación. Una baja calidad del producto implica disminución de su confiabilidad, de la misma manera que una calidad alta implica una confiabilidad elevada.

Existen cuatro características que determinan su estructura: (Mora, 2009)

- Probabilidad.
- Desempeño satisfactorio.
- Período.
- Condiciones específicas.

La confiabilidad es uno de los componentes fundamentales en cuanto a seguridad industrial se trata, y herramienta esencial para organizar el mantenimiento de equipos.

La confiabilidad integral del activo tiene parámetros como se observa en la figura 2.1:

- Confiabilidad humana, que se alcanza mediante la disminución y eliminación de errores de las personas.
- Confiabilidad de la gestión, basada en una adecuada planificación del mantenimiento.
- Confiabilidad inherente o intrínseca, dada por diseño.
- Confiabilidad en el contexto operacional, como resultado de un correcto análisis que intervenga en el eficiente y eficaz funcionamiento de nuestro sistema.

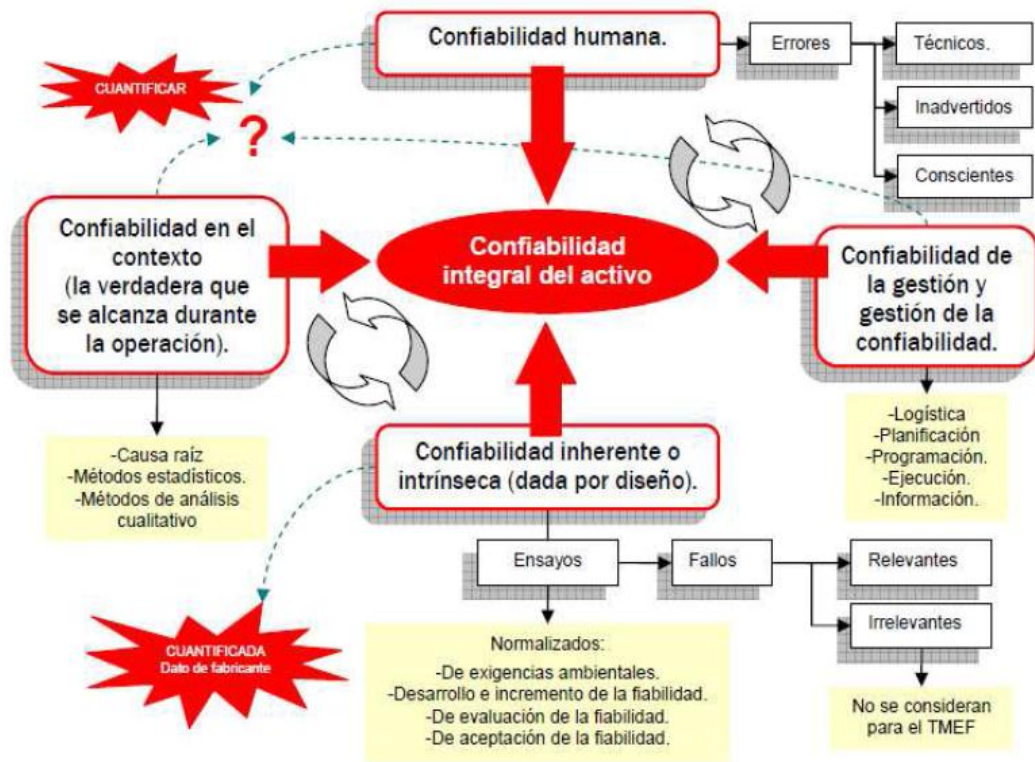


Figura 2-1 Las cuatro vértices que determina la confiabilidad de un activo.

Fuente: SEXTO, Luis. Ponencia en Seminario Internacional de Mantenimiento. Confiabilidad integral de<sup>o</sup> activo. Perú, Arequipa, 2005.

### 2.3 Distribución exponencial.

Se utiliza para predecir la confiabilidad en componentes eléctricos y electrónicos, que se caracteriza porque la tasa de fallos es constante.

La confiabilidad se describe con la siguiente ecuación:

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

Dónde:

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

e = Número de Euler (2,718).

t: = Período especificado en funcionamiento libre de fallos.

$\lambda$  = Tasa de fallo.

MTBF =  $\frac{1}{\gamma}$ : tiempo promedio para fallar o tiempo promedio entre fallas.

Esta ecuación es válida para fallas que sigan la distribución exponencial.

**2.3.1 Tiempo medio de funcionamiento entre fallos MTBF O TMEF (Mean Time Between Failures).** “El Tiempo Medio de Funcionamiento entre Fallos es la media aritmética de los tiempos de funcionamiento entre Fallos.” (UNE-EN 13306, 2011) y (UNE-EN 15341, 2008)

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{\text{Número total de fallos}} = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número total de fallos}} \quad \text{Ecuación 2}$$

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

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de operación}} = \frac{1}{MTBF} \quad \text{Ecuación 3}$$

**2.3.3 Densidad de probabilidad de fallo.** La función densidad de probabilidad de fallos es la probabilidad de que un dispositivo cualquiera tenga un fallo. Igual a la probabilidad de que funcione hasta t (confiabilidad).

$$f(t) = \gamma e^{-\gamma * t} \quad \text{Ecuación 4}$$

## 2.4 Distribución de Weibull.

La distribución de Weibull es una distribución de probabilidad continua. Recibe su nombre por Waloddi Weibull, que la describió detalladamente en 1951, aunque fue descubierta inicialmente por Fréchet (1927) y aplicada por primera vez por Rosin y Rammler (1933) para describir la distribución de los tamaños de determinadas partículas. (Sheldon, 2002)

Es una distribución versátil que se puede utilizar para modelar una amplia gama de aplicaciones en ingeniería, investigación médica, control de calidad, finanzas y climatología.

Por ejemplo, la distribución se utiliza frecuentemente en análisis de confiabilidad para modelar datos de tiempo para falla, como la probabilidad de que una parte falle después de uno, dos o más años. (minitab.com)

Los datos analizados mediante las distribuciones pueden responder a diferentes características, de acuerdo con el tipo y el evento de estudio, por ejemplo el tiempo de funcionamiento del equipo (TBF), el tiempo de operación del sistema (MTBF) o el tiempo que tarda en repararse un equipo después de fallar (MTTR). Estos tiempos de vida pueden medirse en horas, millas, ciclos de fracaso, o cualquier otra medida con la que se pueda evaluar la vida de los equipos. (Mora, 2009)

El análisis de los datos de vida y en la ingeniería de la confiabilidad se deben estimar los valores de la probabilidad de falla, la probabilidad de éxito o la confiabilidad, la vida media, los parámetros de una distribución o cualquier otro parámetro aplicable, porque son los instrumentos que permiten desarrollar estrategias y acciones claras de mantenimiento. (Mora, 2009)

Una de las ventajas significativas que ofrece la distribución de Weibull consiste en que es muy manejable y se acomoda a las tres zonas (Infancia, madurez o vida útil y envejecimiento) de la curva de la bañera o de Davies.

Los parámetros de ésta curva como se muestra en la figura 2.2 son:

Gamma.- Parámetro de posición ( $\gamma$ ), es el más difícil de estimar y por ende se asume que con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula. (Mora, 2009)

Eta.- Parámetro de escala o característica de vida útil ( $\eta$ ), su valor es determinante para fijar el valor del producto o del sistema. Cuánto más alto, las máquinas pueden ser más robustas o de trabajos de mayor duración. (Mora, 2009)

Beta.- Parámetro de forma ( $\beta$ ), refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución. Permite a la distribución de Weibull tomar diversas formas cuando  $\beta$  es  $< 1$  se le denomina fase infantil (tasa de fallo decreciente); cuando  $\beta$  toma valores cercanos a 1 se describe la fase con el nombre de vida útil (tasa de fallo constante y aleatoria); y  $\beta > 1$  se conoce como de envejecimiento o desgaste (tasa de fallo creciente). (Mora, 2009)

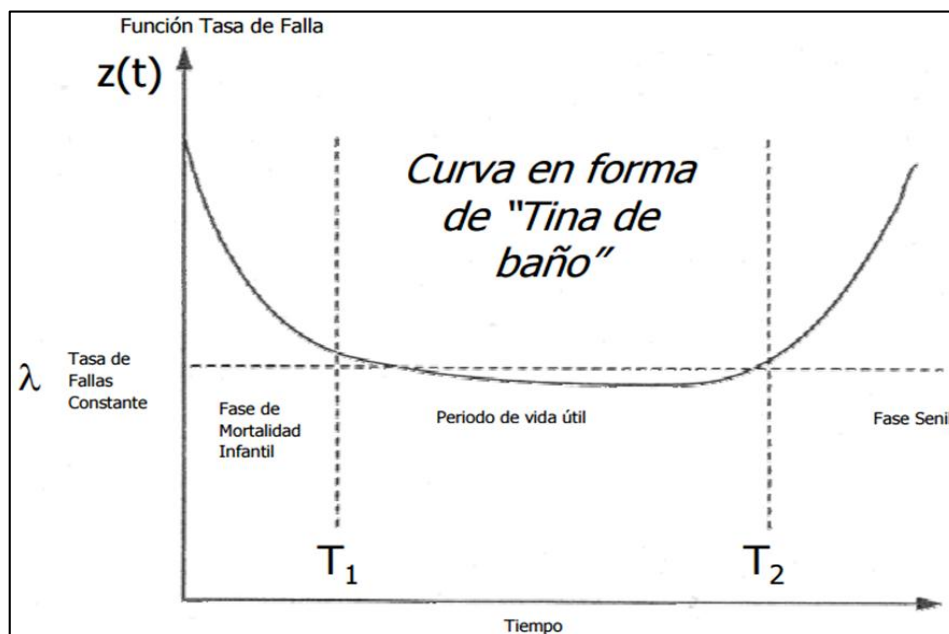


Figura 2-2 Curva de la bañera la tasa de fallas en función del tiempo.  
Fuente: (Corno, 2012).

Este tipo de distribución se caracteriza por ser un modelo matemático estadístico para predecir la confiabilidad de equipos, que se aplica a prácticamente todos los casos prácticos; pero que varía el parámetro de  $\beta$ , se obtiene los modelos de distribución.

Confiabilidad.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$\beta$  = Parámetro de forma.

$\alpha$  = Vida característica.

$t$  = Tiempo de predicción.

$t_0$  = Tiempo inicial. (= 0)

Densidad de probabilidad de fallo.

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta} \quad \text{Ecuación 6}$$

Tasa de fallos

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad \text{Ecuación 7}$$

Tiempo medio entre fallos MTBF o TMEF (Mean Time Between Failures).

$$MTBF = A \alpha + t_0 \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$A$  = Valor determinado en base de  $\beta$ .

$t_0$  = Tiempo inicial.

## 2.5 Análisis de criticidad (AC).

Es una técnica que permite establecer la jerarquía o prioridades de sistemas o equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones, orientando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y necesario optimizar, basado en la realidad actual.

El objetivo de un análisis de criticidad es ofrecer una herramienta de ayuda, en la determinación de la jerarquía de sistemas y equipos de una planta, que permita de manejarla de manera controlada y en orden de prioridades.

Pasos para realizar análisis de criticidad (AC)

- Elaboración de inventario: Permite elaborar un listado de los equipos que participan en el sistema productivo.
- Diagnóstico de la situación actual.- Se realiza con la finalidad de determinar las condiciones en que se encuentran los equipos, dicha evaluación permite tener una visión amplia de la situación actual.
- Jerarquía de Activos: Define el número de elementos o componentes de una instalación y/o planta en agrupaciones secundarias que trabajan conjuntamente para alcanzar propósitos preestablecidos. (ReliabilityWeb).

Información necesaria: Se requiere contar con la siguiente información para realizar el análisis.

- a. Relación de las instalaciones (se refiere al tipo de instalaciones).
- b. Relación de sistema y equipo por instalación (se requiere a diferentes tipos de sistemas y equipos).
- c. Ubicación (área geográfica, región) y servicio.
- d. Filosofía de operación de la instalación y equipo.
- e. Diagramas de Flujo de Proceso (DFP).
- f. Registros disponibles de eventos no deseados o fallas funcionales.



g. Frecuencia de ocurrencia de los eventos no deseados o las fallas consideradas en el análisis. (PEMEX).

### **2.5.1 Métodos para análisis de criticidad AC.**

**2.5.1.1 Método flujograma (Cualitativo).** del Técnica donde se hace referencia a un análisis puramente cualitativo sobre los equipos de producción, ésta matriz de criticidad envuelve aspectos gerenciales y criterios de decisión que tratan de abordar los aspectos de impacto global con miras a descubrir los ítems donde atacar las consecuencias de las fallas. (Carrión, 2010)

Contiene elementos englobando como:

- Estrategia del negocio
- Misión de la planta
- Costo del mantenimiento
- Frecuencias de falla
- Pérdidas de producción
- Riesgos involucrados (humano, seguridad, etc.).

El análisis se efectúa a través de una matriz que contiene siete áreas de impacto con los criterios respectivos que ubica a cada ítem en una de tres posibilidades:

- Riesgo alto
- Riesgo medio
- Riesgo bajo

En la tabla 1-2 se encuentra las áreas de impacto, Seguridad y salud, Medio ambiente Calidad y productividad, Producción Tiempo operacionales Intervalo entre actividades tiempo y costos de mantenimiento.

Tabla 1-2 Áreas de impacto para el método cualitativo.

S&S	Seguridad y salud
MA	Medio ambiente
C&P	Calidad y productividad
P	Producción
TO	Tiempos operacionales
TBF	Intervalos entre actividades
MT	Tiempos y costos de mantenimiento

Fuente: (Carrión, 2010).

En la figura 2.3 matriz de criticidad en cada pregunta existen tres posibles respuestas A, B o C que sirve para caracterizar el equipo, con la ayuda del flujograma de criticidad se clasifica bajo parámetros antes mencionados.

MATRIZ DE CRITICIDAD			
Área de Impacto	A	B	C
	Riesgo Alto	Riesgo Medio	Riesgo Bajo
Seguridad y Salud (S&S)	Alto riesgo de vida del personal	Riesgo de vida significativa del personal	No existe riesgo ni de salud ni de daños al personal
	Daños graves en la salud del personal (no irreversible)	Daños menores en la salud del personal	
Medio Ambiente (MA)	Alto excedente de los límites permitidos de derrames y fugas	Excedente de los límites permitidos y repetitivos de derrames y fugas	Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos
Calidad y Productividad (C&P)	Defectos de producción Reducción de velocidad Reducción de producción	Variaciones en las especificaciones de calidad y producción	Sin efectos
Producción (P)	Parada de todo el proceso	Parada de una parte del proceso	Sin efectos
Tiempos de operación (TO)	24 horas diarias	2 turnos u horas normales de trabajo	Ocasionalmente o no es un equipo de producción
Intervalos entre actividades (TBF)	Menos de 6 meses	En promedio una vez al año	Raramente
Tiempos y Costos de Mantenimiento (MT)	Tiempo y/o costos de reparación altos	Tiempo y/o costos de reparación razonables	Tiempo y/o costos de reparación irrelevantes

Figura 2-3 Matriz de criticidad de las causas de paradas no planificadas.

Fuente: (Carrión, 2010).

**2.5.1.2 Modelo de factores ponderados basado en la teoría del riesgo.** Las ponderaciones propuestas de cada factor o criterio pueden ser cambiadas dependiendo de la política de la organización empresarial y la influencia en la productividad como objetivo principal, lo cual representa la flexibilidad en la determinación de la criticidad de acuerdo a las necesidades y adaptación real de cada una.

Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación.

Paso 1: Identificar los eventos más significativos.

Paso 2: Preservar las evidencias de las fallas.

Paso 3: Ordenar el análisis.

Paso 4: Construir el Árbol Lógico de fallas.

Paso 5: Comunicar los resultados y las recomendaciones.

Paso 6: Hacer seguimiento a los resultados.

Éste método determina la criticidad de una unidad o equipo donde se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de falla. En un eje se representa la frecuencia de fallas y en el otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla. (PEMEX)

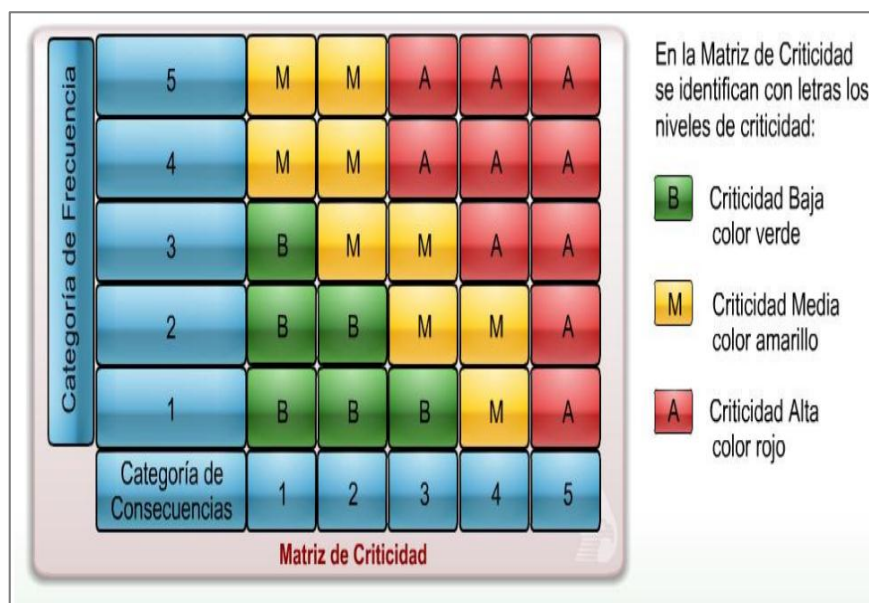


Figura 2-4 Matriz de criticidad.  
Fuente: (PEMEX)

La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis.

La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación.

Criticidad = Frecuencia x Consecuencia.

Tabla 1-2 Modelo de factores basados en la teoría del riesgo.

<b>Costo de Mantenimiento</b>	
Mayor o igual a 20000 USD	2
Inferior a 20000 USD	1
<b>Frecuencia de fallas</b>	
Parámetro mayor a 4 fallas/año	4
Promedio 2 – 4 fallas/año	3
Buena 1 – 2 fallas/año	2
Excelente menores de 1 falla/año	1
<b>Impacto en Seguridad Ambiental e Higiene</b>	
Afecta a la seguridad humana tanto externa como interna	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Provoca daños menores (accidente e incidente) personal propio	2
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
No provoca ningún tipo de daños a personas instalaciones o al ambiente	0
<b>Flexibilidad Operacional</b>	
No existe de producción y no existe función de repuesto	4
Hay opción de repuesto compartido	2
Función de repuesto disponible	1
<b>Impacto operacional</b>	
Parada inmediata total	10
Parada del complejo planta y tiene repercusión en otros complejos	6
Impacta en niveles de producción o calidad	4

Repercute en costos operacionales adicionales asociadas a disponibilidad	2
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1

Fuente: (Optimización de plan de mantenimiento, 2016).

## 2.6 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual. (Moubray, 2004)

Las siete preguntas básicas.

El proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar.

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

**2.6.1 Funciones y parámetros de funcionamiento.** Antes de aplicar un proceso para determinar que debe hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional, necesitamos hacer dos cosas:

- Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que haga.
- Asegurar que es capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga.

Por esto el primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados.

Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer, y puede ser dividido en dos categorías:

**2.6.2 Funciones primarias.** En primera instancia resumen el porqué de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente. (Moubray, 2004)

**2.6.3 Funciones secundarias.** Reconoce lo que se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con el área de seguridad, control, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales, y hasta la apariencia del activo. (Moubray, 2004)

**2.6.4 Fallas funcionales.** Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y expectativas de funcionamiento asociadas al activo en cuestión. Antes de poder aplicar una combinación adecuada de herramientas para el manejo de una falla, se necesita identificar que fallas pueden ocurrir. (Moubray, 2004)

El proceso de RCM lo hace en dos niveles:

- En primer lugar, identifica las circunstancias que llevaron a la falla.

- Luego se pregunta qué eventos pueden causar que el activo falle.

En el mundo del RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.

Sumando a la incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona pero con un nivel de desempeño inaceptable (incluyendo las situaciones en las que el activo no puede mantener los niveles de calidad o precisión).

Evidentemente sólo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo. (Moubray, 2004)

**2.6.5 Modos de falla.** Una vez que se ha identificado cada falla funcional, el próximo paso es identificar todas las maneras posibles que pueden haber causado estado de falla. Estos hechos se denominan modos de falla. (Moubray, 2004)

Los modos de falla posibles incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, fallas que se están previniendo por regímenes de mantenimiento existentes, así como fallas que aún no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto operacional. (Moubray, 2004)

La mayoría de listas tradicionales de modos de fallas, incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso normal. Sin embargo, para que todas las causas probables de fallas en los equipos puedan ser identificadas y resueltas adecuadamente, esta lista debería incluir fallas causadas por errores humanos (por parte de los operadores y el personal de mantenimiento, junto con errores de diseño. (Moubray, 2004)

También es importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo esfuerzo intentando tratar síntomas en lugar de causas reales. (Moubray, 2004)

**2.6.6 Efectos de falla.** El cuarto paso en el proceso de RCM tiene que ver cómo hacer un listado de efectos de falla, que describen lo que ocurre con cada modo de falla. Esta descripción debería incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla, tal como:

- Qué evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- De qué manera afecta a la producción o a las operaciones.
- Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla.

**2.6.7 Consecuencias de las fallas.** Las fallas afectan a la industria de algún modo, pero en cada caso, los efectos son diferentes. Pueden afectar operaciones, la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente. Son estas consecuencias las que más influyen en el intento de prevenir cada falla. (Moubray, 2004)

Un punto fuerte del RCM es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas. De hecho reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas sino evitar o reducir las consecuencias de las fallas. El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos de la siguiente manera. (Moubray, 2004)

**2.6.7.1 Consecuencias de fallas ocultas.** Las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas. (Moubray, 2004)

**2.6.7.2 Consecuencias ambientales y para la seguridad.** Una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona.



Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional. (Moubray, 2004)

**2.6.7.3 Consecuencias operacionales.** Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta a la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente, o costos operacionales además del costo directo de la reparación.)

**2.6.7.4 Consecuencias no operacionales.** Las fallas que caen en esta categoría no afectan a la seguridad no la producción, sólo implican el costo directo de la reparación. (Moubray, 2004)

## CAPÍTULO III

### 3. DESARROLLO

#### 3.1 Descripción del proceso de elaboración de hormigón.

**3.1.1 Antecedentes Empresa Pública Cementera del Ecuador (EPCE).** La Empresa Pública Cementera del Ecuador, EPCE, fue creada con la misión de intervenir de manera efectiva en la gestión del negocio del cemento y sus derivados. Al respecto, la ley de creación de la EPCE le confiere el objeto de industrializar, distribuir y comercializar cemento, materia prima relacionada y derivados, entre otros.

Esta empresa cuenta con una producción de paneles portantes y paneles de fachada que pueden ser incorporados en el proceso constructivo. De igual manera se tiene la posibilidad de fabricar cualquier tipo de pieza específica bajo medida.

Los prefabricados no solo contribuyen al cambio de la matriz productiva sino que también potencian el uso de materias primas propias.

#### 3.1.2 Ubicación de la Empresa Pública Cementera del Ecuador.

##### 3.1.2.1 Macro localización.

- País: Ecuador
- Región: Sierra

- Provincia: Chimborazo.

### 3.1.2.2 *Micro localización.*

- Cantón: Riobamba
- Ubicación: Panamericana Sur Km 14 vía a Chiquicaz

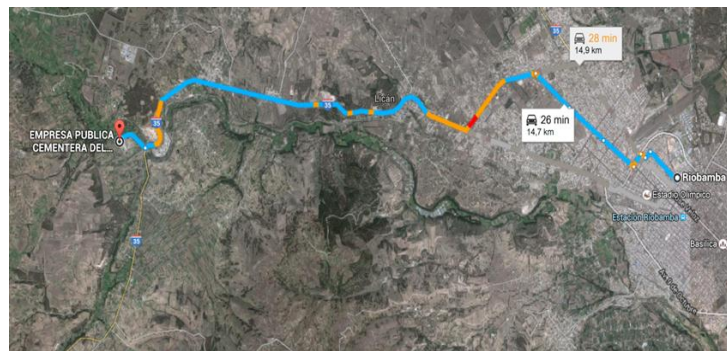


Figura 3-1 Ubicación de la Empresa.  
Fuente: (Google)

**3.1.3 Descripción de la planta.** La Empresa Pública Cementera del Ecuador está dividida en nueve áreas.

- PH Premezclado de hormigón
- LA Losas alveolares
- PC Paneles autoportantes/cimentación
- AA Pesaje /almacenamiento / despacho
- PR Pesaje-Recepción
- DH Durmientes de hormigón
- AH Adoquines de hormigón.
- GK Generación Eléctrica
- AP Acopio de producto terminado

El área en la cual se enfoca el análisis de la confiabilidad, es la de premezclado de hormigón donde se realiza la mezcla la materia prima en la porción adecuada para realizar los diferentes productos.

Para la optimización de los recursos de manejo de materia prima, es imprescindible contar con laboratorios modernos para el aseguramiento del control de calidad y una planta de producción tecnificada, garantizando aún más que los productos derivados en la planta sean de calidad.

### 3.2 Proceso de producción del hormigón.

El diagrama de proceso en la fábrica de producción de hormigón se considera los siguientes pasos:

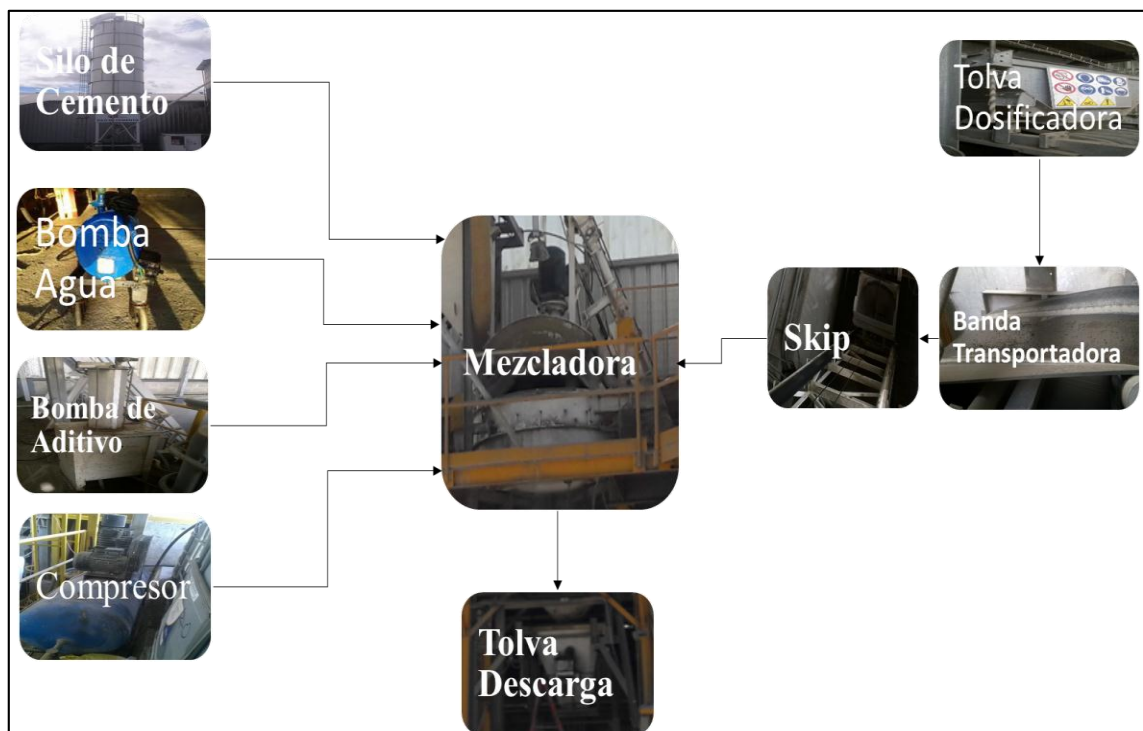


Figura 3-2 Proceso de producción de hormigón.  
Fuente: Autores.

**3.2.1 *Recepción de materias primas.*** En esta área primero se lleva a cabo un control de la calidad mediante una inspección visual del producto, para verificar que las materias primas (arena, ripio, cemento aditivo) no contengan algún material contaminante ni han sido adulteradas e incluyen la revisión de las características físicas del ingrediente.

Estos análisis generalmente se conocen como pruebas de andén, posteriormente se toman muestras para analizar la calidad de los ingredientes mediante pruebas de laboratorio antes de aceptar el lote, las cuales incluyen la determinación de la composición del agregado, en caso de no cumplirlas es etiquetado y puesto en cuarentena para finalmente ser devuelto.

**3.2.2 *Almacenamiento de materias primas.*** Una vez que ha sido aceptado el producto, es almacenado para ser utilizado en el momento requerido. Hay que tener en cuenta las condiciones de temperatura, humedad y ventilación ya que son muy importantes para conservar en buen estado las materias, sin embargo estas pueden variar de acuerdo al tipo de materia prima de que se trate (arena, ripio, cemento aditivo).

Se utiliza compartimentos para almacenar la materia prima, estos varían en cuanto a su forma y su capacidad.

Los compartimentos son llenados por la parte superior y la descarga es por la parte inferior, esto evitará que alguna cantidad del lote permanezca más tiempo ya que lo primero en entrar es lo primero en salir.

Para trasladar las materias primas desde los cubículos hasta las tolvas de almacenamiento, existen una retroexcavadora como medio de transporte.

**3.2.3 *Dosificación.*** Una vez que las materias primas han sido almacenadas, son transportadas al área de dosificación, aquí es donde los ingredientes serán fraccionados a la proporción adecuada, dependiendo del tipo de producto que se desee realizar.

**3.2.4 Mezclado.** Una vez que la arena y ripio han sido dosificados en la banda transportadora, el siguiente paso es descargar en el Skip la cantidad necesaria para que el producto quede perfectamente homogéneo.

Por otro lado en el silo de cemento se almacena el resto de materia prima (cemento), que serán mezclados junto con la cantidad de agua y aditivo respectivamente en el equipo “Mezcladora”.

El proceso de mezclado durará de 2 a 3 minutos. Las cantidades de ingredientes que se van a mezclar dependen del tipo de producto que se esté realizando.

**3.2.5 Descarga.** La descarga es una operación donde después de haber sido mezclado las materias (cemento, ripio, arena, agua y aditivo).

Se la envía hacia la tolva de descarga para luego pasar a las canastas, donde asegura que los ingredientes previamente mezclados se compacten para formar un comprimido con tamaño y dureza variable de acuerdo al producto a fabricar, facilitando así su manejo y mejorando la aceptación y aprovechamiento de material.

**3.2.6 Área de aseguramiento de calidad.** Esta es una de las principales áreas dentro de la planta, ya que en ella se va a corroborar la calidad tanto de los ingredientes como del producto terminado para así poder detectar aquellos puntos críticos del proceso en los cuales puede existir alguna falla y estar alterando la calidad del hormigón.

Es importante contar con un laboratorio donde se realicen pruebas específicas para determinar la calidad de las muestras.

Las pruebas que se realizan dentro de la planta son:

- Inspección de materia prima.

- Ensayos del hormigón de premezclado.

Se cumple la normativa del INEN en referencia a hormigón, áridos y morteros.

La prueba de calidad del producto terminado se cumple de acuerdo a la norma ONE-EN-1168, elaboración de lozas alveolares 2006 se denomina:

- Inspección de producto terminado.
- Ensayos a escala real para aprobar el lote de producción.

### **3.3 Descripción de los equipos de la planta hormigonera.**

Los equipos existentes en la Empresa Pública Cementera del Ecuador en la planta de hormigonado son:


- Tolva dosificadora.
- Banda transportadora.
- Skip
- Mezcladora
- Silo de cemento.
- Bomba de aditivo.
- Compresor de pistón.

**3.3.1 Tolva dosificadora.** La tolva dosificadora es utilizada para albergar las materias (arena, ripio) mediante un tamizaje las materias son a una sola medida de diámetro, que luego serán fraccionados a la proporción adecuada, dependiendo del tipo de producto que se desee realizar.



Figura 3-3 Tolva de agregados (arena, ripio)  
Fuente: EPCE.

Tabla 2-3 Ficha técnica y características de la tolva dosificadora.

<b>Nombre del equipo TOLVA DOSIFICADORA</b>			
<b>Código de barras:</b> (8004) 200004958		<b>Año de instalación:</b> 2010	
<b>Características generales</b> <b>Capacidad acopio de agregados:</b> 800 m <sup>3</sup>  <b>Planos generales:</b> Si ( ) No ( ) <b>Planos eléctricos:</b> Si ( ) No ( )		<b>Características del ambiente</b> <b>Instalación:</b> Ninguna	
		<b>Características adicionales</b> 5 vibradores	
<b>Vibrador</b>	<b>Marca / Proveedor</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Velocidad</b>
	ITALVIBRAS GIORGOSILINGARDI S.A	60 Hz	3600 rpm
<b>Fuerza</b>	<b>Potencia</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Intensidad</b>
2,14 KN	3 Kw	230 / 460 V	0,6/0,5 A

Fuente: Datos obtenidos del departamento de mantenimiento de Empresa Pública Cementera del Ecuador.




**3.3.2 Banda transportadora.** La banda transportadora es una máquina con la marca CE en conformidad con las norma de la Unión Europea, su función es la de transporte del material (arena y ripio) a granel, desde la dosificación hacia el siguiente equipo.

Las superficies de ida y retorno de la banda, se apoyan sobre una serie de rodillos sostenidos por estructuras metálicas. Tiene limitado consumo energético y mantenimiento programable a largos intervalos.



Figura 3-4 Banda transportadora (arena, ripio).  
Fuente: EPCE.

Tabla 3-3 Ficha técnica y características de la banda transportadora.

Nombre del equipo: BANDA TRANSPORTADORA			
<b>Características Generales</b> <b>Longitud total:</b> 27,60 m <b>Espesor:</b> 0.01 m <b>Ancho:</b> 0.79 m		<b>Proveedor:</b> SIMEN	
		<b>Características del ambiente</b> <b>Instalación:</b> Ninguna	
		<b>Montaje:</b> 2010	
<b>Planos generales:</b> Si ( ) No ( ) <b>Planos eléctricos:</b> Si ( ) No ( )		<b>Características adicionales</b> 1 motor eléctrico	
<b>Motor eléctrico</b>	<b>Marca / Proveedor</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Velocidad</b>
	ABB Motors	60 Hz	1750 rpm
<b>Factor de potencia.</b>	<b>Potencia</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Intensidad</b>
COS $\phi$ 0,88	12,7 Kw	440 V ( $\Delta$ )	21,7 A ( $\Delta$ )


Fuente: Datos obtenidos del departamento de mantenimiento de Empresa Pública Cementera del Ecuador

**3.3.3 Skip.** Es un equipo elevador que transporta la materia prima (arena, ripio) desde la dosificadora mediante la banda transportadora, hacia la mezcladora.



Figura 3-5 Skip (arena, ripio)  
Fuente: EPCE

Tabla 4-3 Ficha técnica y características del Skip.

Nombre del equipo SKIP			
<b>Características generales</b>  <b>Capacidad acopio de agregados:</b> 1-1.5 m <sup>3</sup>  <b>Planos generales:</b> Si ( X ) No ( ) <b>Planos eléctricos:</b> Si ( X ) No ( )	<b>Año de instalación:</b> 2010		
	<b>Características del ambiente</b> <b>Instalación:</b> Ninguna		
	<b>Características adicionales</b> 1 motor eléctrico.		
<b>Motor eléctrico</b>	<b>Marca / Proveedor</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Velocidad</b>
	M.G.M (motori elettrici S.p.A)	60 Hz	1750 rpm
<b>Factor de potencia.</b>	<b>Potencia</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Intensidad</b>
COS $\phi$ 0,88	13 Kw (0,75 Hp)	480 V ( $\Delta$ ) / 830 V (Y)	21 A ( $\Delta$ )

Fuente: Datos obtenidos del departamento de mantenimiento de Empresa Pública Cementera del Ecuador.

**3.3.4 Mezcladora.** El mezclador planetario vertical “SUN” es una máquina con marcación “CE” conformemente con las normas de la Unión Europea descritas.

Ésta máquina no puede operar sola, ya que el carácter específico de sus elaboraciones impone la integración en línea con otras máquina/equipos.



El transporte en la salida de la mezcla se logra con una rampa incorporada en el contexto de la línea. La máquina posee específicas protecciones idóneas para prevenir accidentes de carácter eléctrico y mecánico. La máquina funciona con energía eléctrica mediante los motores ambos gobernados por un específico cuadro eléctrico de mando ubicado fuera del tanque de mezclado.



Figura 3-6 Mezcladora (arena, ripio, cemento, agua y aditivo).  
Fuente: EPCE.

Tabla 5-3 Ficha técnica y características de la mezcladora.

<b>Nombre del equipo MEZCLADORA</b>	
<b>Modelo:</b> SUN 1500	<b>Año de instalación:</b> 2010
<b>Matricula:</b> 2120243	<b>Características del ambiente</b> <b>Instalación:</b> Ninguna
<b>Peso:</b> 6200 Kg	
<b>Características generales</b> <b>Capacidad acopio de agregados:</b> 1500 l <b>Rendimiento vibrado:</b> 1000 l  <b>Planos generales:</b> Si ( ) No ( ) <b>Planos eléctricos:</b> Si ( X ) No ( )	<b>Características adicionales</b> 1 motor eléctrico. 1 centralina hidráulica

<b>Motor eléctrico</b>	<b>Marca / Proveedor</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Rendimiento</b>
	SIEMENS	60 Hz	95.8
<b>Factor de potencia.</b>	<b>Potencia</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Intensidad</b>
COS $\phi$ 0,84	60 Hp	220 / 440 V ( $\Delta$ )	146 / 73 A ( $\Delta$ )
<b>Motor Centralina hidráulica</b>	<b>Marca / Proveedor</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Velocidad</b>
	M2AA100L.A-S	60 Hz	1720 rpm
<b>Factor de potencia.</b>	<b>Potencia</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Intensidad</b>
COS $\phi$ 0,79	8,5 Kw ( $\Delta$ ) / 4,9 Kw (Y)	250-280 V ( $\Delta$ ) / 440-480 V (Y)	2,5 A ( $\Delta$ , Y)

Fuente: Datos obtenidos del departamento de mantenimiento de Empresa Pública Cementera del Ecuador.

**3.3.5 Silo de cemento.** El Cemento es descargado a través de un compresor hacia el silo de reserva o stock (Silo de cemento). Mediante un transportador neumático (soplador y una válvula rotatoria), el cemento es transportado al silo de consumo; existe un transporte por medio de un tornillo sin fin.



Todo los silo tiene un sistema de vibradores eléctricos y aireador que cumplen la función de evitar que el cemento se pegue a las paredes del silo, siendo una pieza integral para cualquier operación de producción de concreto.

El silo permite almacenar el producto en grandes volúmenes, manteniendo sus costos al mínimo.



Figura 3-7 Silo de cemento.  
Fuente: EPCE.

Tabla 6-3 Ficha técnica y características del silo de cemento.

Nombre del equipo SILO DE CEMENTO			
Modelo: SCL / 115		Año de instalación: 2010	
<b>Características generales</b> <b>Volumen: 115 m<sup>3</sup></b>  <b>Planos generales:</b> Si ( ) No ( ) <b>Planos eléctricos:</b> Si ( X ) No ( )		<b>Características del ambiente</b> <b>Instalación: 440 V</b>	
		<b>Características adicionales</b> 1 motor eléctrico. 1 filtro	
Motor eléctrico	Marca / Proveedor	Frecuencia	Velocidad
	ABB	60 Hz	1755 rpm
Factor de potencia.	Potencia	Voltaje	Intensidad
COS $\phi$ 0,87	12,5 Kw	440 V ( $\Delta$ )	21,6 A ( $\Delta$ )
Filtro	Marca / Proveedor	Tipo	Serie
	SIMEM(CAMS)	FCAL 10/26 STR3	5930

Fuente: Datos obtenidos del departamento de mantenimiento de Empresa Pública Cementera del Ecuador


**3.3.6 Bomba de aditivo.** La bomba de aditivo es una máquina que por su naturaleza funcional requiere integrar otras máquinas o equipos. Éste no es adecuado para uso en ambientes donde existan mezclas inflamables o explosivos. La función de la máquina es

entregar la dosis exacta de líquido es decir aditivos (sustancias que ayudan al cemento a consolidar su uso).



Figura 3-8 Bomba de aditivo  
Fuente: EPCE.

Tabla 7-3 Ficha técnica y características de la bomba de aditivo.

<b>Nombre del equipo BOMBA DE ADITIVO</b>			
<b>Características generales</b>  <b>Capacidad:</b> 45 Lts <b>Caudal:</b> 40 Lt/min <b>Potencia:</b> 0,8 HP  <b>Planos generales:</b> Si ( ) No ( ) <b>Planos eléctricos:</b> Si ( ) No ( )	<b>Año de instalación:</b> 2010		
	<b>Características del ambiente</b> <b>Instalación:</b> 220 / 380 V		
	<b>Características adicionales</b> 1 motor eléctrico.		
<b>Motor eléctrico</b>	<b>Marca / Proveedor</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Velocidad</b>
	CALPEDA(VI ITALY)	60 Hz	3450 rpm
<b>Factor de potencia.</b>	<b>Potencia</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Intensidad</b>
COS $\phi$ 0,80	0,55 Kw (0,75 HP)	254 V( $\Delta$ ) / 440 V(Y)	3,1 A ( $\Delta$ ) / 1,8 A (Y)

Fuente: Datos obtenidos del departamento de mantenimiento de Empresa Pública Cementera del Ecuador



**3.3.7 Compresor de pistón.** Es una máquina que aspiran el aire ambiente (a presión atmosférica) y lo comprimen hasta lograr una presión superior, que tiene como finalidad aportar energía a los fluidos compresibles (gases y vapores) sobre los que operan, para hacerlos fluir aumentando al mismo tiempo su presión.



Figura 3-9 Compresor de pistón  
Fuente: EPCE.

Tabla 8-3 Ficha técnica y características del compresor de pistón.

<b>Nombre del equipo COMPRESOR DE PISTÓN</b>			
<b>Características generales</b>  <b>Modelo:</b> P500 FTH <b>Serie:</b> L0887/5 <b>Potencia:</b> 7,5 HP <b>Presión máxima de servicio:</b> 10 bar  <b>Planos generales:</b> Si ( ) No ( ) <b>Planos eléctricos:</b> Si ( ) No ( )	<b>Año de instalación:</b> 2010		
	<b>Características del ambiente</b> <b>Instalación:</b> 440 / 380 V		
	<b>Características adicionales</b> 1 motor eléctrico.		
<b>Motor eléctrico</b>	<b>Marca / Proveedor</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Velocidad</b>
	Eng. By LAFERT	60 Hz	2900/3480 rpm
<b>Factor de potencia.</b>	<b>Potencia</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Intensidad</b>
COS $\phi$ 0,85	6,3 Kw	440 / 480 V( $\Delta$ )	11,2 A ( $\Delta$ )

Fuente: Datos obtenidos del departamento de mantenimiento de Empresa Pública Cementera del Ecuador

### 3.4 Determinar la criticidad de los equipos de la central de hormigonado.

De acuerdo al número de los equipos que pertenecen al proceso de hormigonado de la Empresa Pública Cementera del Ecuador, se procede a determinar e identificar a los equipos críticos mediante la metodología del análisis de criticidad, cualitativo y cuantitativo.

El período de estudio se encuentra entre enero 2015- enero 2016, ya que en este periodo se tomó datos dentro de la empresa.

**3.4.1 Análisis cualitativo de los equipos de la central de hormigonado.** Este procedimiento conlleva analizar los equipos, llenando una matriz evaluando aspectos gerenciales y criterios de decisión en todas las áreas de impacto, para descubrir donde atacar las consecuencias de las fallas

En la siguiente tabla se muestra un listado de los equipos pertenecientes al proceso de hormigonado.

Tabla 9-3 Equipos de la central de hormigonado.

No.	Nombre del activo
1	Tolva de dosificación
2	Banda Transportadora
3	Skip (elevador de materia prima)
4	Mezcladora
5	Silo de cemento
6	Compresor de pistón
7	Bomba de aditivo
8	Tolva de descarga

Fuente: Autores.



Tabla 10-3 Evaluación de la criticidad de la tolva dosificadora

MATRIZ DE CRITICIDAD DE LA TOLVA DOSIFICADORA			
Área de impacto	A	B	C
	Riesgo alto	Riesgo medio	Riesgo bajo
Seguridad y salud (S&S)			No existe riesgo ni salud ni de daños al personal
		Daños menores en la salud del personal	
Medio ambiente (MA)			Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos
Calidad y productividad (C&P)			Sin efectos
Producción (P)		Parada de una parte del proceso	
Tiempos de operación (TO)		2 turnos u horas normales de trabajo	
Intervalos entre actividades (TBF)			Raramente
Tiempos y costos de mantenimiento (MT)			Tiempo y/o costos de reparación irrelevantes

Fuente: Autores.

Tabla 11-3 Evaluación de la criticidad de la banda transportadora.

MATRIZ DE CRITICIDAD DE LA BANDA TRANSPORTADORA			
Área de impacto	A	B	C
	Riesgo alto	Riesgo medio	Riesgo bajo
Seguridad y salud (S&S)			No existe riesgo ni salud ni de daños al personal
		Daños menores en la salud del personal	
Medio ambiente (MA)			Emisiones normales dentro de los límites permitidos

Calidad y productividad (C&P)			Sin efectos
Producción (P)			Sin efectos
Tiempos de operación (TO)		2 turnos u horas normales de trabajo	
Intervalos entre actividades (TBF)			Raramente
Tiempos y costos de mantenimiento (MT)			Tiempo y/o costos de reparación irrelevantes

Fuente: Autores.

Tabla 12-3 Evaluación de la criticidad del Skip.

MATRIZ DE CRITICIDAD DEL SKIP			
Área de impacto	A	B	C
	Riesgo alto	Riesgo medio	Riesgo bajo
Seguridad y salud (S&S)			No existe riesgo ni salud ni de daños al personal
		Daños menores en la salud del personal	
Medio ambiente (MA)			Emisiones normales dentro de los límites permitidos
Calidad y productividad (C&P)			Sin efectos
Producción (P)		Parada de una parte del proceso	
Tiempos de operación (TO)		2 turnos u horas normales de trabajo	
Intervalos entre actividades (TBF)		En promedio una vez al año	
Tiempos y costos de mantenimiento (MT)			Tiempo y/o costos de reparación irrelevantes

Fuente: Autores.

Tabla 13-3 Evaluación de la criticidad de la mezcladora.

MATRIZ DE CRITICIDAD DE LA MEZCLADORA			
Área de impacto	A	B	C
	Riesgo alto	Riesgo medio	Riesgo bajo
Seguridad y salud (S&S)		Riesgo de vida significativa del personal	
	Daños graves en la salud del personal		
Medio ambiente (MA)			Emisiones normales dentro de los límites permitidos
Calidad y productividad (C&P)	Defectos de producción Reducción de velocidad Reducción de producción		
Producción (P)	Parada de todo el proceso		
Tiempos de operación (TO)		2 turnos u horas normales de trabajo	
Intervalos entre actividades (TBF)		En promedio una vez al año	
Tiempos y costos de mantenimiento (MT)	Tiempo y/o costos de reparación razonables		

Fuente: Autores.

Tabla 14-3 Evaluación de la criticidad del silo de cemento.

MATRIZ DE CRITICIDAD DEL SILO DE CEMENTO			
Área de impacto	A	B	C
	Riesgo alto	Riesgo medio	Riesgo bajo
Seguridad y salud (S&S)			No existe riesgo ni salud ni de daños al personal
		Daños menores en la salud del personal	
Medio ambiente (MA)			Emisiones normales dentro de los límites permitidos
Calidad y productividad (C&P)			Sin efectos
Producción (P)		Parada de una parte del proceso	

Tiempos de operación (TO)		2 turnos u horas normales de trabajo	
Intervalos entre actividades (TBF)			Raramente
Tiempos y costos de mantenimiento (MT)		Tiempo y/o costos de reparación razonables	

Fuente: Autores.

Tabla 15-3 Evaluación de la criticidad del compresor de pistón.

MATRIZ DE CRITICIDAD DEL COMPRESOR DEL PISTON			
Área de impacto	A	B	C
	Riesgo alto	Riesgo medio	Riesgo bajo
Seguridad y salud (S&S)			No existe riesgo ni salud ni de daños al personal
		Daños menores en la salud del personal	
Medio ambiente (MA)			Emisiones normales dentro de los límites permitidos
Calidad y productividad (C&P)			Sin efectos
Producción (P)		Parada de una parte del proceso	
Tiempos de operación (TO)		2 turnos u horas normales de trabajo	
Intervalos entre actividades (TBF)			Raramente
Tiempos y costos de mantenimiento (MT)			Tiempo y/o costos de reparación irrelevantes

Fuente: Autores

Tabla 16-3 Evaluación de la criticidad de la bomba de aditivo.

MATRIZ DE CRITICIDAD DE LA BOMBA DE ADITIVO			
Área de impacto	A	B	C
	Riesgo alto	Riesgo medio	Riesgo bajo
			No existe riesgo ni salud ni de daños al personal

Seguridad y salud (S&S)		Daños menores en la salud del personal	
Medio ambiente (MA)			Emisiones normales dentro de los límites permitidos
Calidad y productividad (C&P)		Variaciones en las especificaciones de calidad y producción	
Producción (P)		Parada de una parte del proceso	
Tiempos de operación (TO)		2 turnos u horas normales de trabajo	
Intervalos entre actividades (TBF)			Raramente
Tiempos y costos de mantenimiento (MT)			Tiempo y/o costos de reparación irrelevantes

Fuente: Autores.

Tabla 17-3 Evaluación de la criticidad de la tolva de descarga.

MATRIZ DE CRITICIDAD DE LA TOLVA DE DESCARGA			
Área de impacto	A	B	C
	Riesgo alto	Riesgo medio	Riesgo bajo
Seguridad y salud (S&S)			No existe riesgo ni salud ni de daños al personal
		Daños menores en la salud del personal	
Medio ambiente (MA)			Emisiones normales dentro de los límites permitidos
Calidad y productividad (C&P)			Sin efectos
Producción (P)		Parada de una parte del proceso	
Tiempos de operación (TO)		2 turnos u horas normales de trabajo	
Intervalos entre actividades (TBF)			Raramente
Tiempos y costos de mantenimiento (MT)			Tiempo y/o costos de reparación irrelevantes

Fuente: Autores.

En la siguiente tabla tenemos los resultados de la criticidad valorada cualitativamente de los activos físicos del proceso de hormigonado.

Tabla 18-3 Resultados de criticidad valorados cualitativamente.

EQUIPO	(S&S)	(MA)	(C&P)	(TO)	(P)	(TBF)	(MT)	CRITICIDAD
Tolva Dosificadora.	C	C	C	B	B	C	C	NC
Banda transportadora	C	C	C	B	C	C	C	NC
Skip	C	C	C	B	B	B	C	NC
Mezcladora	B	C	A	B	A	B	A	C
Silo de cemento.	C	C	C	B	B	B	B	SC
Compresor de pistón.	C	C	C	B	B	C	C	NC
Bomba de aditivo	C	C	B	B	B	C	C	NC
Tolva de descarga.	C	C	C	B	B	C	C	NC

Fuente: Autores.

**3.4.2 Análisis cuantitativo de los equipos de la central de hormigonado.** Con el modelo de factores ponderados basado en la teoría del riesgo se estable según la metodología del análisis de la matriz de criticidad los equipos como críticos, semi-críticos y no críticos teniendo como resultado las siguiente información.

Basados en las siguientes fórmulas de la teoría del riesgo obtenemos los siguientes valores

- $CRITICIDAD = Frecuencia\ de\ Falla * Consecuencia$
- $Consecuencia = ((Impacto\ Operacional * Flexibilidad) + Costos\ Mantenimiento + Impacto\ SAH).$

Tabla 19-3 Criticidad cuantitativo de la tolva dosificadora.

<b>Tolva Dosificadora</b>		<b>Valoración</b>
Frecuencia de fallas	Buena 1-2 fallas/año	2
Impacto operacional	Parada inmediata total	10
Flexibilidad operacional	Función de requisito disponible	1
Costo de mantenimiento	Inferior a 20000 USD	1
Impacto en seguridad, ambiente e higiene	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
Consecuencia	$((10 \times 1) + 1 + 1)$	12
Criticidad	2 x 12	24

Fuente: Autores

Tabla 20-3 Criticidad cuantitativo de la banda transportadora.

<b>Banda Transportadora</b>		<b>Valoración</b>
Frecuencia de fallas	Buena 1-2 fallas/año	2
Impacto operacional	Parada inmediata total	10
Flexibilidad operacional	Función de requisito disponible	1
Costo de mantenimiento	Inferior a 20000 USD	1
Impacto en seguridad, ambiente e higiene	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
Consecuencia	$((10 \times 1) + 1 + 1)$	12
Criticidad	2 x 12	24

Fuente: Autores.

Tabla 21-3 Criticidad cuantitativa del Skip.

<b>Skip</b>		<b>Valoración</b>
Frecuencia de fallas	Buena 1-2 fallas/año	2
Impacto operacional	Parada inmediata total	10
Flexibilidad operacional	Hay opción de repuesto compartido	2
Costo de mantenimiento	Inferior a 20000 USD	1
Impacto en seguridad, ambiente e higiene	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
Consecuencia	$((10 \times 2) + 1 + 1)$	22
Criticidad	2 x 22	44

Fuente: Autores.

Tabla 22-3 Criticidad cuantitativa de la mezcladora.

<b>Mezcladora</b>		<b>Valoración</b>
Frecuencia de fallas	Parámetro mayor a 4 fallas/año	4
Impacto operacional	Parada inmediata total	10
Flexibilidad operacional	No existe de producción y no existe función de repuesto.	4
Costo de mantenimiento	Inferior a 20000 USD	1
Impacto en seguridad, ambiente e higiene	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
Consecuencia	$((10 \times 4) + 1 + 1)$	42
Criticidad	4 x 42	168

Fuente: Autores.

Tabla 23-3 Criticidad cuantitativa del silo de cemento.

<b>Silo de Cemento</b>		<b>Valoración</b>
Frecuencia de fallas	Buena 1-2 fallas/año	2
Impacto operacional	Parada inmediata total	10
Flexibilidad operacional	Hay opción de repuesto compartido	2
Costo de mantenimiento	Inferior a 20000 USD	1
Impacto en seguridad, ambiente e higiene	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
Consecuencia	$((10 \times 2) + 1 + 1)$	22
Criticidad	$2 \times 22$	44

Fuente: Autores.

Tabla 24-3 Criticidad cuantitativa de la bomba de aditivo.

<b>Bomba de Aditivo</b>		<b>Valoración</b>
Frecuencia de fallas	Existe menores de 1fallas/año	1
Impacto operacional	Parada inmediata total	10
Flexibilidad operacional	Función de repuesto disponible	1
Costo de mantenimiento	Inferior a 20000 USD	1
Impacto en seguridad, ambiente e higiene	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
Consecuencia	$((10 \times 1) + 1 + 1)$	12
Criticidad	$1 \times 12$	12

Fuente: Autores.

Tabla 25-3 Criticidad cuantitativa del compresor de pistón.

<b>Compresor de Pistón</b>		<b>Valoración</b>
Frecuencia de fallas	Existe menores de 1fallas/año	1
Impacto operacional	Parada inmediata total	10
Flexibilidad operacional	Función de repuesto disponible	1
Costo de mantenimiento	Inferior a 20000 USD	1
Impacto en seguridad, ambiente e higiene	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
Consecuencia	$((10 \times 1) + 1 + 1)$	12
Criticidad	$1 \times 12$	12

Fuente: Autores.

Tabla 26-3 Criticidad cuantitativa de la tolva de descarga.

<b>Tolva de descarga</b>		<b>Valoración</b>
Frecuencia de fallas	Existe menores de 1fallas/año	1
Impacto operacional	Parada inmediata total	10
Flexibilidad operacional	Función de repuesto disponible	1
Costo de mantenimiento	Inferior a 20000 USD	1
Impacto en seguridad, ambiente e higiene	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
Consecuencia	$((10 \times 1) + 1 + 1)$	12
Criticidad	$1 \times 12$	12

Fuente: Autores.



En la tabla 28-3 tenemos los resultados de la criticidad valorado cuantitativamente de los activos físicos del proceso de hormigonado.

Tabla 27-3 Resultados de la evaluación de criticidad cuantitativa.

Equipos	Frecuencia	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos Mantenimiento.	Impacto en SAH	Consecuencia	Criticidad	Riesgo
Mezcladora	4	10	4	1	1	42	168	C
Skip	2	10	2	1	1	22	44	SC
Silo de Cemento	2	10	2	1	1	22	44	SC
Banda transportadora	2	10	1	1	1	12	24	NC
Bomba de Aditivo.	1	10	1	1	1	12	12	NC
Tolva de Descarga	1	10	1	1	1	12	12	NC
Compresor de pistón	1	10	1	1	1	12	12	NC
Tolva Dosificadora	2	10	1	1	1	12	12	NC

Fuente: Autores.

Nota: Los equipos debido a su valoración en el proceso de hormigón se considera como nivel a los colores “Rojo” a los equipos críticos, “Amarillo” a los equipos semi-críticos y “Verde” a los equipos no críticos.

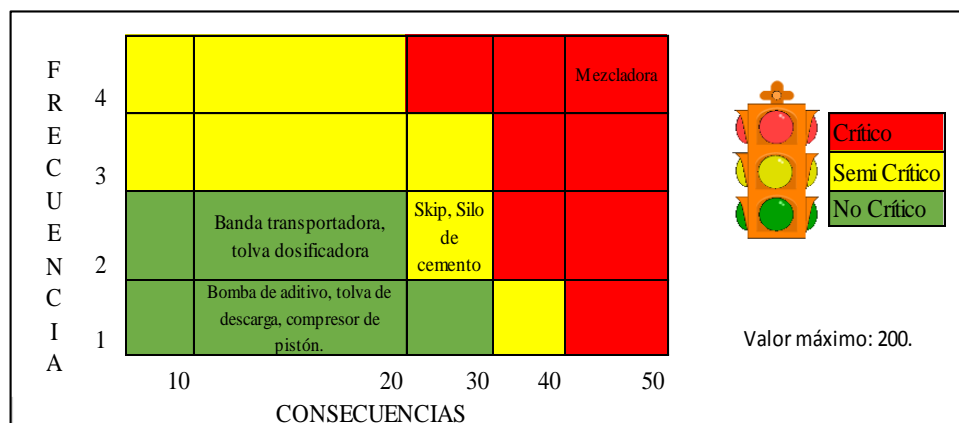


Figura 3-10 Ubicación de los equipos con la valoración de la criticidad.

Fuente: Autores.

Tabla 28-3 Valor de riesgo cada equipo.

EQUIPO	RIESGO
Mezcladora	168
Skip	44
Silo de Cemento	44
Banda transportadora	24
Bomba de Aditivo.	12
Tolva de Descarga	12
Compresor de pistón	12
Tolva Dosificadora	12

Fuente: Autores.

En la tabla 29-3 indica la valoración de riesgo de los equipos analizados, con este método indica que la mezcladora es un equipo con un mayor impacto de paradas producidas por las condiciones de trabajo.

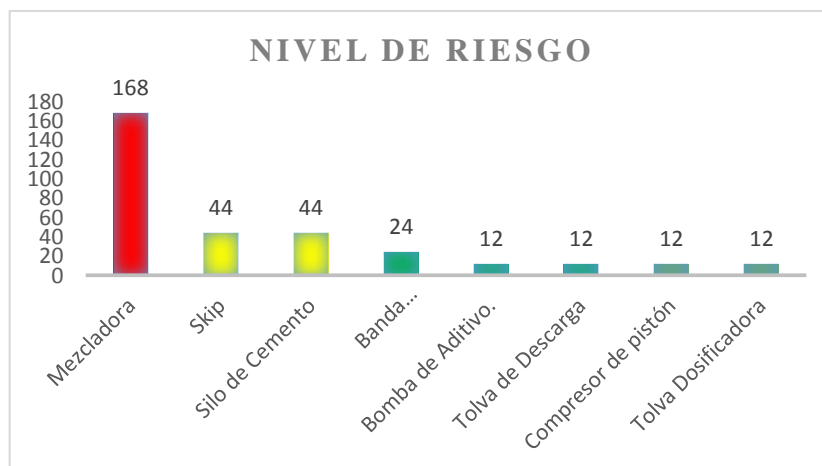


Figura 3- 11 Nivel estadístico de riesgo de criticidad de los equipos.  
Fuente: Autores.

### **3.5 Análisis de la confiabilidad de los equipos de la central de hormigonado.**

El desarrollo de la confiabilidad parte de una base de datos, de una bitácora de fallos de los equipos de la central de hormigonado, en un período de tiempo determinado bajo un contexto operacional de la planta de prefabricados de hormigón.

El período de recolección de datos para el presente análisis de confiabilidad es de un año comprendido entre enero 2015 – enero 2016.

Los datos obtenidos de las fallas ocurridas en el periodo de estudio se elaboraron en base a los reportes de los operadores y técnico de mantenimiento. Cabe recalcar que los datos obtenidos son bajo confidencialidad ya que se requieren para ser analizados en el trabajo de titulación.

La confiabilidad se analizará en base a la distribución de Weibull ya que los equipos que conforman el proceso de hormigonado se encuentran en etapa de vida útil y no tiene una tasa de fallo constante.

El cálculo de confiabilidad requiere de un registro histórico de fallas generadas en el periodo ya mencionado. Mediante el parámetro de forma  $\beta$ , vida característica  $\alpha$  y tiempo de predicción  $t$ . determinamos la confiabilidad.

El análisis de la confiabilidad se realiza en el Software FIASOFT, los datos a ingresar son: número de datos, tiempo de buen funcionamiento, y si es falla o suspensión. El software calcula los índices de probabilidad de Weibull, Confiabilidad, Desconfiabilidad, Densidad de probabilidad de fallos, y Tasa de falla instantánea.

El tiempo de análisis será de un año laboral de la empresa, puesto que se trabaja de lunes a viernes con excepción de los feriados, 250 días, el horario de trabajo es de 8 horas, el uso de la central de hormigonado es de 4 horas diarias o en su defecto 1000 horas de funcionamiento.

Para obtener estadísticamente un porcentaje de confiabilidad, desconfiabilidad, densidad de probabilidad de fallo y tasa de falla instantánea puesto que a ésta frecuencia se realiza

el plan de mantenimiento preventivo en el que es necesario sacar fuera de servicio a la central de hormigonado. Para obtener el tiempo de buen funcionamiento parámetro que encontramos en las bitácoras de los equipos, se utilizó como referencia 2000 horas, tiempo que llevó trabajando anteriormente la central de hormigonado. Con estos datos se obtienen los parámetros alfa, beta, TMBF y landa  $\lambda$ .

Ya que con el estudio de la confiabilidad podemos estudiar el proceso de envejecimiento de cada equipo, la seguridad durante su funcionamiento y cumplimiento de las normas de operación, relacionando el riesgo de falla, dependiendo de su diseño, fabricación y servicio siendo como un control de calidad en función del tiempo.

En la figura 31-3 encontramos parámetros como fecha de parada, hora de parada, fecha de arranque, hora de arranque, tiempo de parada y el tiempo de buen funcionamiento que se analizó de la siguiente manera; obtuvimos como dato adicional utilizando como punto de partida 2000 horas de funcionamiento anteriores, restamos las horas totales de paro anual de cada equipo; luego calculamos los días de trabajo que tuvo la empresa para éste análisis son 250 días y multiplicamos por las horas de operación de la central de hormigonado que son 5 horas obteniendo 1000 horas ideales de operación, a éste resultado se resta las horas de funcionamiento antes que vuelva a ocurrir otra falla.

Obtenidos los dos valores procedemos a restarlos, teniendo como resultado el tiempo de buen funcionamiento:  $TBF = (2000 - 127) - (1000 - 11) = 884$ .

Basándonos en el parámetro alfa de Cronbach anexo C que como criterio general sugiere las recomendaciones siguientes para evaluar el nivel de confiabilidad de datos, que indica la tabla 30-3.

Tabla 29-3 Rangos de confiabilidad basados en el alfa de Cronbach

ALFA DE CRONBACH	CONSISTENCIA INTERNA
> 0.9	Excelente
> 0.8	Bueno
> 0.7	Aceptable
> 0.6	Cuestionable
> 0.5	Pobre
< 0.5	Inaceptable

Fuente: <http://www.uv.es/~friasnav/AlfaCronbach.pdf>.


Según Huh, Delorme & Reid (2006): el valor de confiabilidad en estudios exploratorios debe ser igual o mayor a 0.6; en estudios confirmatorios debe estar entre 0.7 y 0.8.

Basados en que nuestro estudio es exploratorio ya que se busca, indaga, inspecciona, reconoce y es la primera aproximación a los fenómenos por parte de los autores, puesto que se realizó cuando no se tuvo un estudio previo. Sobre el problema a investigar por tal motivo los valores de confiabilidad aceptables lo tomamos en un valor igual o mayor a 0,6.

Los valores de confiabilidad interna de datos corroboran la autenticidad de los mismo dándonos como resultado un 87% de veracidad.

### 3.5.1 Cálculo de los índices de confiabilidad de la mezcladora.

Tabla 30-3 Bitácora de fallas de la mezcladora.

		Empresa Pública Cementera del Ecuador						
		Equipo	Mezcladora					
Nº	Descripción de la Falla	Fecha de Parada	Hora de Parada	Fecha de Arranque	Hora de Arranque	TBF (h)	TP(h)	
1	Fisura de puerta de descarga de materias	06/01/2015	15:30	06/01/2015	16:30	884	1	
2	Rotura de las paletas de mezclado central	26/01/2015	17:00	13/02/2015	16:00	935	57	
3	Fisuras en los brazos de las paletas	18/02/2015	15:30	19/02/2015	17:30	945	6	
4	Daño del racor (conexión hídrica)	23/02/2015	16:00	24/02/2015	18:00	951	6	
5	Rotura de las paletas de rascado	11/03/2015	16:00	20/03/2015	17:00	994	32	
6	Rotura de los pernos de las paletas	26/03/2015	16:00	26/03/2015	18:00	1008	2	
7	Daño del sensor de humedad	31/03/2015	15:30	31/03/2015	18:00	1017,5	2,5	
8	Falla de los rodamientos del motor mezcladora	13/04/2015	17:00	14/04/2015	18:00	1049,5	4	
9	Falla de la electroválvula en el sistema de control de la mezcladora	30/07/2015	15:30	30/07/2015	18:30	1358,5	3	
10	Fisura de la palanca de la puerta	01/09/2015	16:30	01/09/2015	17:30	1437,5	1	
11	Falla en la caja de engranajes de la mezcladora	15/10/2015	17:00	19/10/2015	16:00	1560,5	9	
12	Fisura de la manguera de la centralina	26/10/2015	16:00	26/10/2015	18:00	1578,5	2	
13	Rotura de la tubería de agua	08/12/2016	15:30	08/12/2016	17:00	1689	1,5	
14		01/01/2016	0:00	00/00/0000	0:00	1753	0,0	
						TMEF	1320,08	127

Fuente: Autores.

En la tabla 32-3 se encuentran las fórmulas utilizadas para el análisis de los parámetros de la confiabilidad de los equipos de la central de hormigonado de la Empresa Pública Cementera del Ecuador.

Tabla 31-3 Fórmulas utilizadas para el análisis de la confiabilidad.

Fórmulas de Distribución de Weibull	
Confiabilidad	$R(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta}$
Desconfiabilidad	$F(t) = 1 - R(t)$
Densidad de probabilidad de falla	$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^\beta}$
Tasa de fallos	$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t-t_0}{\alpha}\right)^{\beta-1}$
Tiempo medio entre falla	$TMEF = A \alpha + t_0$

Fuente: Autores.

Confiabilidad de la mezcladora.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{1200}{1357,77}\right)^{4,03}} = 54,45\% \quad \text{Ecuación 9}$$

Desconfiabilidad de la mezcladora

$$F(t) = 1 - R(t) = 45,55\% \quad \text{Ecuación 10}$$

Densidad de probabilidad de fallo de la mezcladora.

$$f(t) = \frac{4,03}{1357,77} * \left(\frac{1200}{1357,77}\right)^{4,03-1} * e^{-\left(\frac{1200}{1357,77}\right)^{4,03}} = 1,11 \times 10^{-3} \text{ Falla/hora} \quad \text{Ecuación 11}$$

Tasa de fallos de la mezcladora.

$$\lambda(t) = \frac{4,03}{1357,77} * \left(\frac{1200}{1357,77}\right)^{4,03-1} = 2,0414 \times 10^{-3} \text{ Falla/hora} \quad \text{Ecuación 12}$$

Tiempo medio entre fallos de la mezcladora.

$$TMBF = 0,9064 * 1357,77 = 1230,68 \text{ h.} \quad \text{Ecuación 13}$$

Considerando para la mezcladora un intervalo de confiabilidad entre 50% y 90%, realizamos el cálculo de los tiempos respectivos.

$$t(50\%) = 0 + 1357,77 * \text{Ln}\left(\frac{1}{0,5}\right)^{\left(\frac{1}{4,03}\right)} = 1239,8h \quad \text{Ecuación 14}$$

$$t(90\%) = 0 + 1357,77 * \text{Ln}\left(\frac{1}{0,9}\right)^{\left(\frac{1}{4,03}\right)} = 776,8h \quad \text{Ecuación 15}$$

Al encontrar los tiempos para que la confiabilidad sea del 50% el mantenimiento va a ser a las 1250,00 horas, mientras que para que el activo tenga una confiabilidad del 90% el tiempo para realizar mantenimiento va a ser de 700 horas.

Por lo tanto la confiabilidad sube a las 700 horas y baja a las 1200 horas, observando que al transcurrir 1200 horas que fue el tiempo de prueba propuesto, la confiabilidad se ve disminuida en un 54,45%.

Al proponer una confiabilidad de un 90% debemos realizar una frecuencia de mantenimiento en un período de 700 horas.

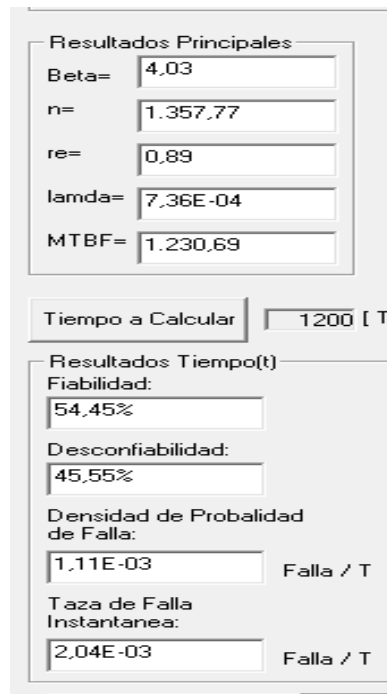


Figura 3-12 Índices de Confiabilidad de la Mezcladora.  
Fuente: Autores.

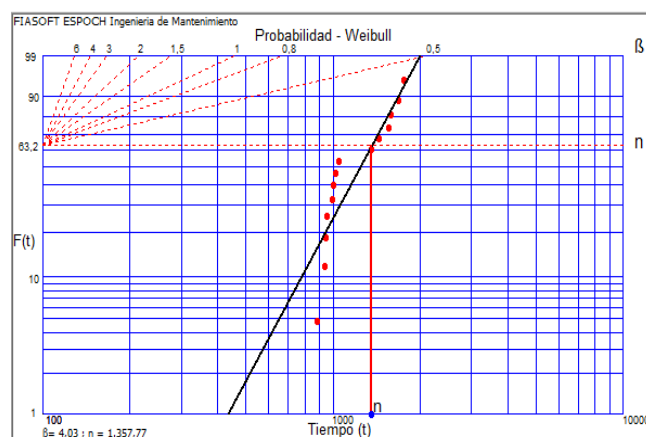


Figura 3-13 Distribución de Weibull.  
Fuente: Autores.



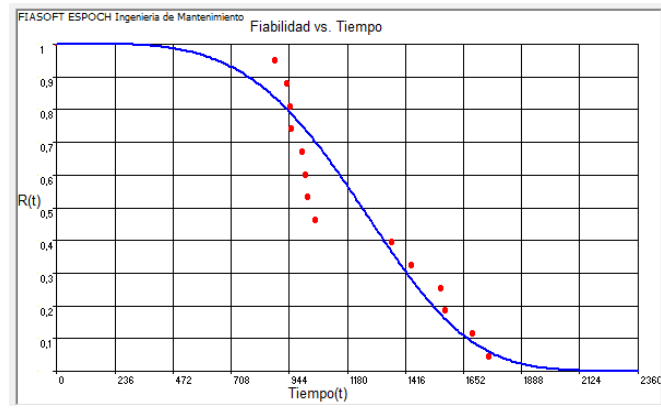


Figura 3-14 Curva de la confiabilidad en la mezcladora.  
Fuente: Autores.

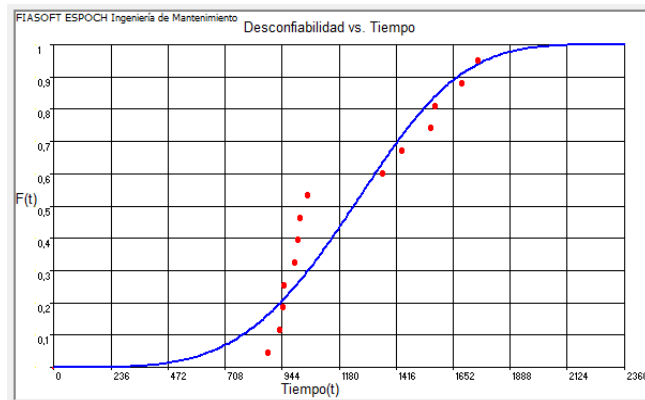


Figura 3-15 Desconfiabilidad de la mezcladora.  
Fuente: Autores.

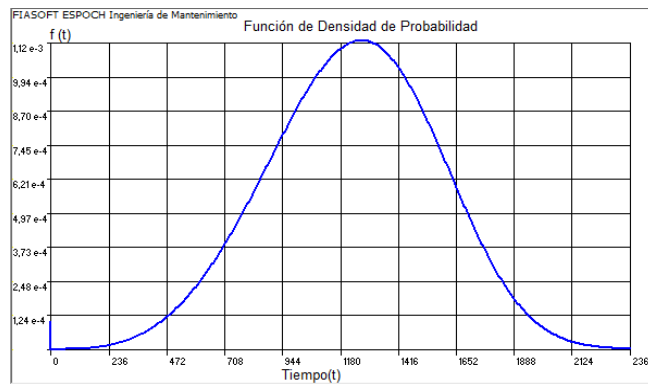


Figura 3-16 Densidad de la probabilidad de falla de la mezcladora.  
Fuente: Autores

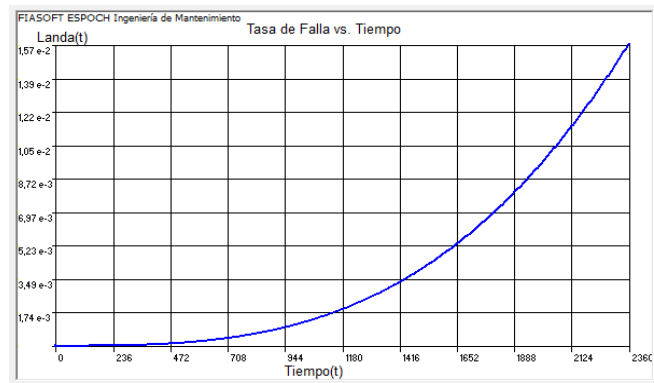


Figura 3-17 Tasa de fallas instantánea de la mezcladora.  
Fuente: Autores.

Análisis de los gráficos perteneciente a la mezcladora en un tiempo de 1200 horas de funcionamiento.

Probabilidad de Weibull se determinó los parámetros de vida ( $\alpha$ ) y forma ( $\beta$ ), para la mezcladora;  $\alpha = 1357,8$ ;  $\beta = 4,03$ , observando que el equipo se encuentra en la etapa de desgaste ya que el valor de  $\beta > 1$ , dato que nos sirve para priorizar el mantenimiento.

La confiabilidad de la mezcladora es 54,45%.


La Desconfiabilidad de la mezcladora es 55,55%.

La densidad de probabilidad de falla de la mezcladora es  $1,11 \times 10^{-3}$  fallas/horas.

La tasa de fallas instantánea de la mezcladora es  $2,0414 \times 10^{-3}$  fallas/horas.

### 3.5.2 Cálculo de los índices de confiabilidad de la tolva dosificadora.

Tabla 32-3 Bitácora de fallas de la tolva dosificadora.

		Empresa Pública Cementera del Ecuador						
		Equipo	Tolva Dosificadora					
Nº	Descripción de la Falla	Fecha de Parada	Hora de Parada	Fecha de Arranque	Hora de Arranque	TBF (h)	TP(h)	
1	Falla del sensor de humedad de la pesa hormigonera	05/05/2015	16:00	05/05/2015	18:00	1330	2	
2	Falla de la electroválvula de la tolva	09/06/2015	15:30	09/06/2015	16:30	1428	1	
3	Falla del sensor de seguridad	05/11/2015	17:00	06/11/2015	16:00	1837	5	
4		01/01/2016	0:00	00/00/0000	0:00	1989	0	
						TMEF	1751,333	8,00

Fuente: Autores.

Confiabilidad de la tolva dosificadora.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{1200}{1787,26}\right)^{4,95}} = 87,01 \% \quad \text{Ecuación 16}$$

Desconfiabilidad de la tolva dosificadora.

$$F(t) = 1 - R(t) = 12,99\% \quad \text{Ecuación 17}$$

Densidad de probabilidad de fallo de la tolva dosificadora.

$$f(t) = \frac{4,95}{1787,26} * \left(\frac{1200}{1787,26}\right)^{4,95-1} * e^{-\left(\frac{1200}{1787,26}\right)^{4,95}} = 5,00 X 10^{-4} \text{ falla/hora} \quad \text{Ecuación 18}$$

Tasa de fallos de la tolva dosificadora.

$$\lambda(t) = \frac{4,95}{1787,26} * \left(\frac{1200}{1787,26}\right)^{4,95-1} = 5,74X 10^{-4} \text{ falla/hora} \quad \text{Ecuación 19}$$

Tiempo medio entre fallos de la tolva dosificadora.

$$TMBF = 0,9077 * 1787,26 = 1622,29h \quad \text{Ecuación 20}$$

Considerando para la tolva dosificadora un intervalo de confiabilidad entre 50% y 90%, realizamos el cálculo de los tiempos respectivos.

$$t(50\%) = 0 + 1787,26 * Ln\left(\frac{1}{0,5}\right)^{\left(\frac{1}{4,95}\right)} = 1659,71 h \quad \text{Ecuación 21}$$

$$t(90\%) = 0 + 1357,77 * Ln\left(\frac{1}{0,9}\right)^{\left(\frac{1}{4,03}\right)} = 1134,35h \quad \text{Ecuación 22}$$

R (t) = 50%; el tiempo va a ser de 1700,00 h

R (t) = 90%; el tiempo va a ser de 1000,00 h

Al encontrar los tiempos para que la confiabilidad sea del 50% el mantenimiento debe hacerse a las 1650,00 h; mientras que para que el activo tenga una confiabilidad del 90% el tiempo para realizar mantenimiento va a ser de 1000 horas.

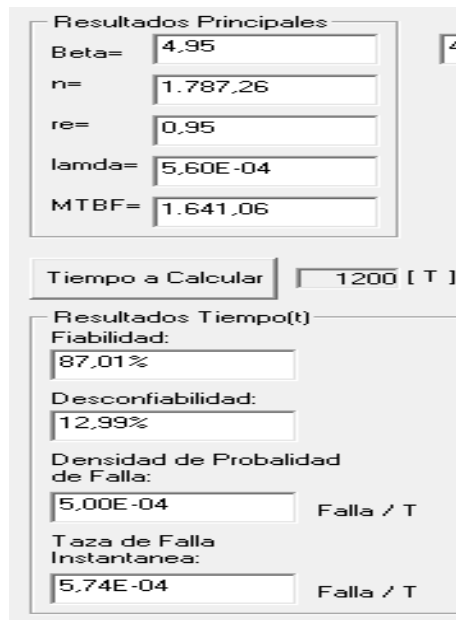


Figura 3-18 Índices de Confiabilidad de la tolva dosificadora.  
Fuente: Autores.

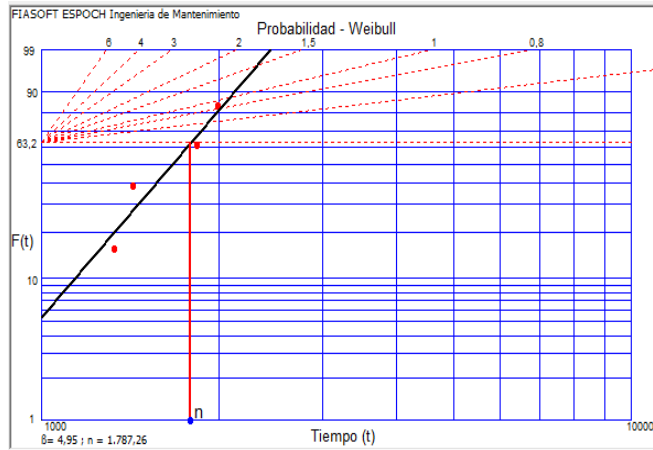


Figura 3-19 Distribución de Weibull para la tolva dosificadora.  
Fuente: Autores.

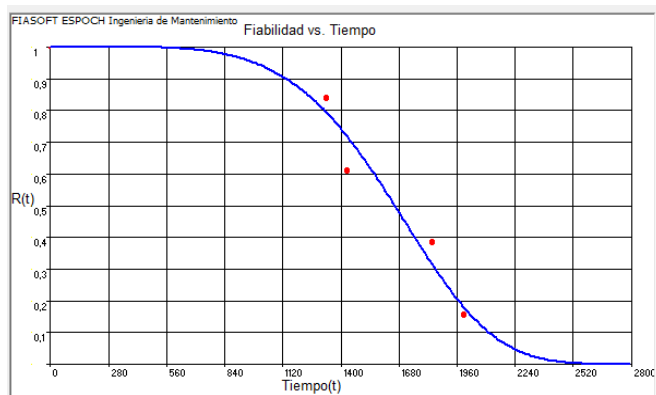


Figura 3-20 Curva de la confiabilidad de la tolva dosificadora.  
Fuente: Autores.

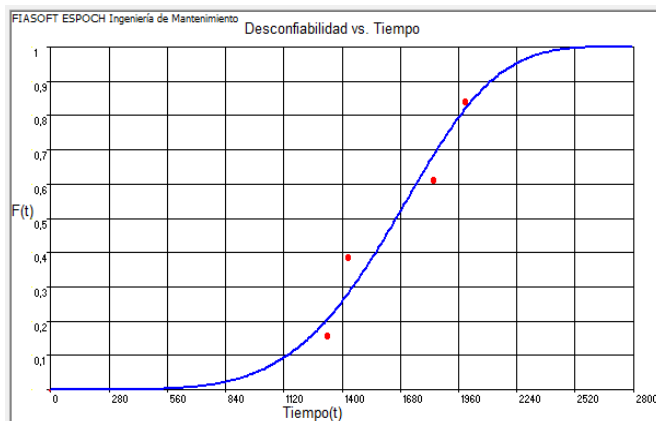


Figura 3-21 Desconfiabilidad de la tolva dosificadora.  
Fuente: Autores.

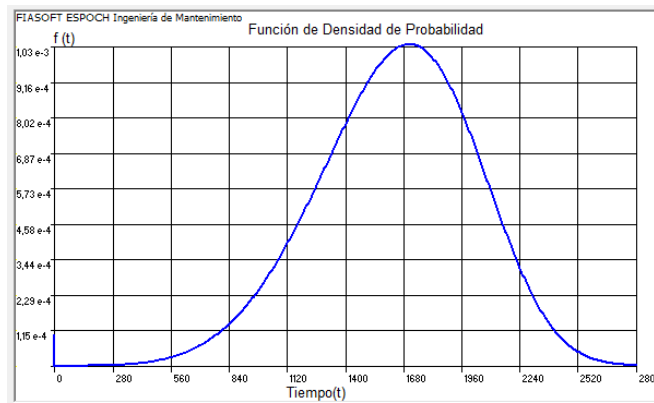


Figura 3-22 Densidad de la probabilidad de falla de la tolva dosificadora.  
Fuente: Autores.

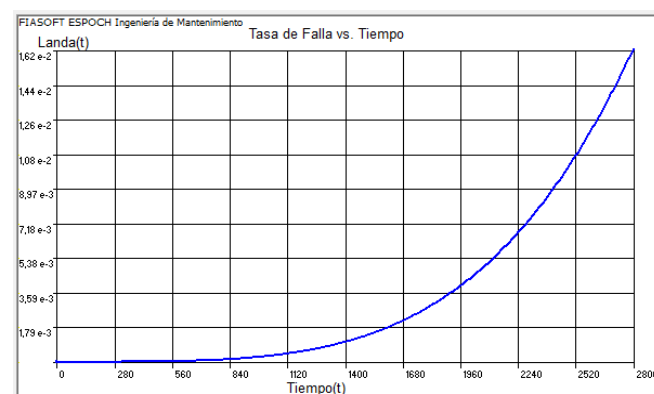


Figura 3-23 Tasa de fallas instantánea de la tolva dosificadora.  
Fuente: Autores.

Análisis de los gráficos perteneciente a la tolva dosificadora en un tiempo de 1200 horas de funcionamiento.

Probabilidad de Weibull se determinó los parámetros de vida ( $\alpha$ ) y forma ( $\beta$ ), para la tolva dosificadora;  $\alpha = 1787,26$ ;  $\beta = 4,95$ , observando que el equipo se encuentra en la etapa de desgaste ya que el valor de  $\beta > 1$ .

La confiabilidad de la tolva dosificadora es 87,01%.


La Desconfiabilidad de la tolva dosificadora es 12,99%.

La densidad de probabilidad de falla de la tolva dosificadora es  $5 \times 10^{-4}$  fallas/horas.

La tasa de fallas instantánea de la tolva dosificadora es  $5,74 \times 10^{-4}$  fallas/horas.

### 3.5.3 Cálculo de los índices de confiabilidad de la banda transportadora.

Tabla 33-3 Bitácora de fallas de la banda transportadora.

		Empresa Pública Cementera del Ecuador						
		Equipo	Banda Transportadora					
Nº	Descripción de la Falla	Fecha de Parada	Hora de Parada	Fecha de Arranque	Hora de Arranque	TBF (h)	TP(h)	
1	Falla del sensor de aproximidad de seguridad	14/05/2015	15:30	14/05/2015	16:30	1357	1	
2	Falla del rodamiento del motor de la cinta	25/05/2015	16:00	26/05/2015	17:00	1386	5	
3		01/01/2016	0:00	00/00/0000	0:00	1990	0	
						TMEF	2366,5	6

Fuente: Autores.

Confiabilidad de la banda transportadora

$$R(t) = e^{-\left(\frac{1200}{1751,17}\right)^{3,81}} = 78,99\% \quad \text{Ecuación 23}$$

Desconfiabilidad de la banda transportadora.

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - 0.7899 = 21,01\% \quad \text{Ecuación 24}$$

Densidad de probabilidad de fallo de la banda transportadora.

$$f(t) = \frac{3,81}{1751,17} * \left(\frac{1200}{1751,17}\right)^{3,81-1} * e^{-\left(\frac{1200}{1751,17}\right)^{3,81}} = 5,94 \times 10^{-4} \text{ falla/hora} \quad \text{Ecuación 25}$$

Tasa de fallos de la banda transportadora.

$$\lambda(t) = \frac{3,81}{1751,17} * \left(\frac{1200}{1751,17}\right)^{3,81-1} = 7,52 \times 10^{-4} \text{ falla/hora} \quad \text{Ecuación 26}$$

Tiempo medio entre fallos de la banda transportadora.

$$TMBF = 0,9038 * 1751,17 = 1582.71h \quad \text{Ecuación 27}$$

Considerando para la mezcladora un intervalo de confiabilidad entre 50% y 90%, realizamos el cálculo de los tiempos respectivos.

$$t(50\%) = 0 + 1751,17 * Ln\left(\frac{1}{0,5}\right)^{\left(\frac{1}{3,81}\right)} = 1590,56 h \quad \text{Ecuación 28}$$

$$t(90\%) = 0 + 1751,17 * Ln\left(\frac{1}{0,9}\right)^{\left(\frac{1}{3,81}\right)} = 970,09h \quad \text{Ecuación 29}$$

Al encontrar los tiempos para que la confiabilidad sea del 50% el mantenimiento debe hacerse a las 1590 horas, mientras que para que le activo tenga un confiabilidad del 90% el tiempo para realizar mantenimiento va a ser de 970 h.

Por lo tanto la confiabilidad sube a las 970 horas y baja a las 1590 horas, observando que al transcurrir 1200 horas que fue el tiempo de prueba propuesto, tenemos una confiabilidad de 78,99%, proponiendo llegar a un 90% de confiabilidad para lo cual debemos realizar frecuencias de mantenimiento en un período de 970 horas.

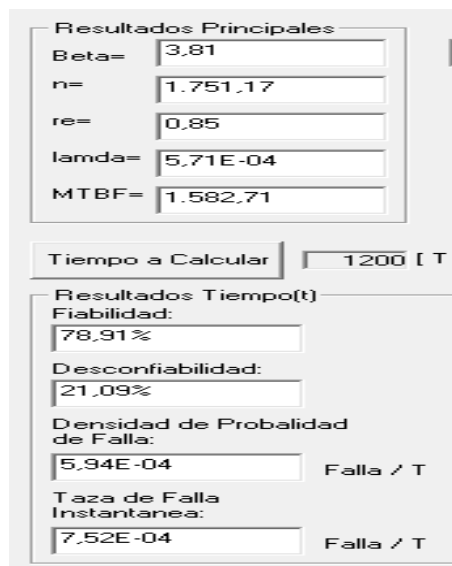


Figura 3-24 Índices de Confiabilidad para la banda transportadora.  
Fuente: Autores.



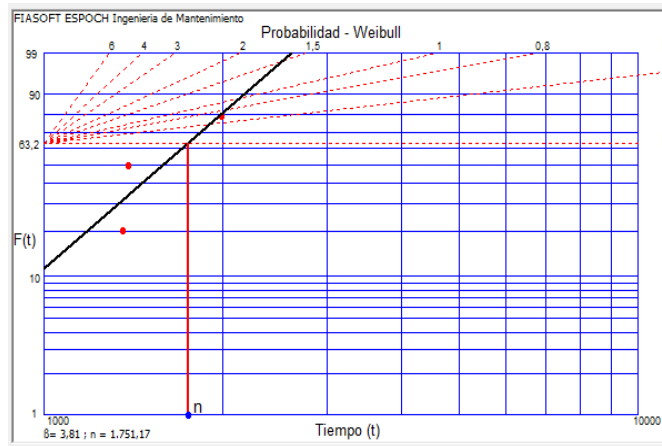


Figura 3-25 Distribución de Weibull para la banda transportadora.  
Fuente: Autores.

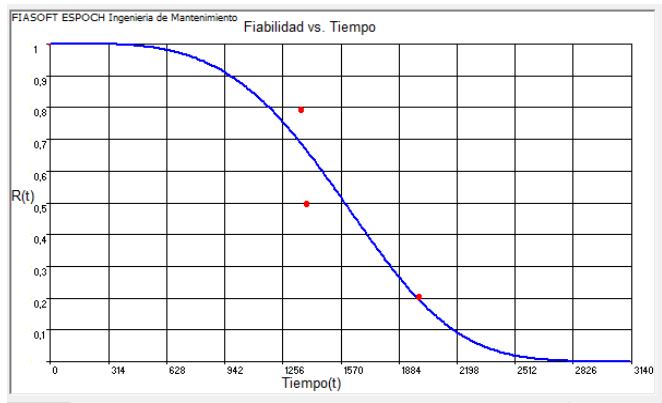


Figura 3-26 Curva de la confiabilidad de la banda transportadora.  
Fuente: Autores.

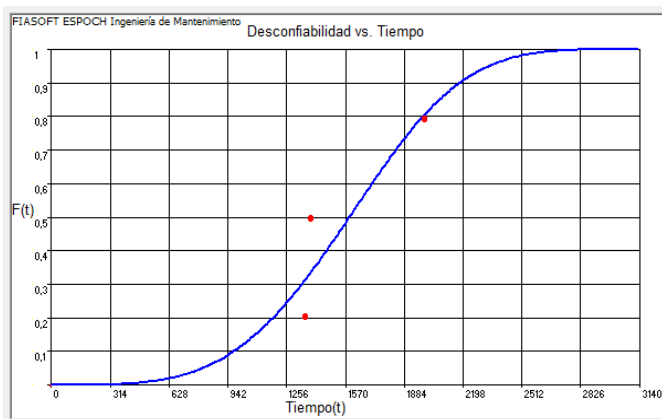


Figura 3-27 Desconfiabilidad de la banda transportadora.  
Fuente: Autores.

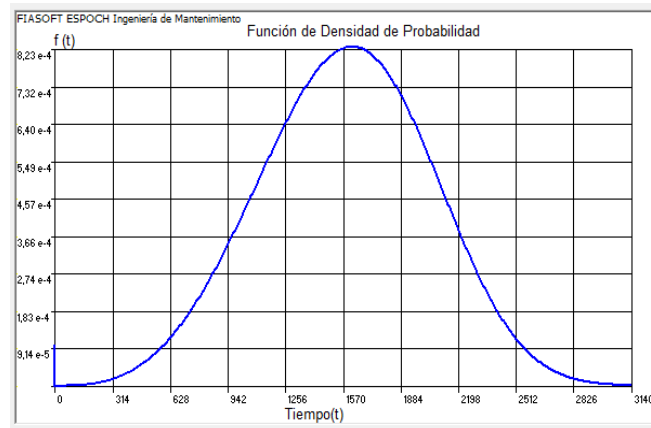


Figura 3-28 Densidad de la probabilidad de falla de la banda transportadora.  
Fuente: Autores.

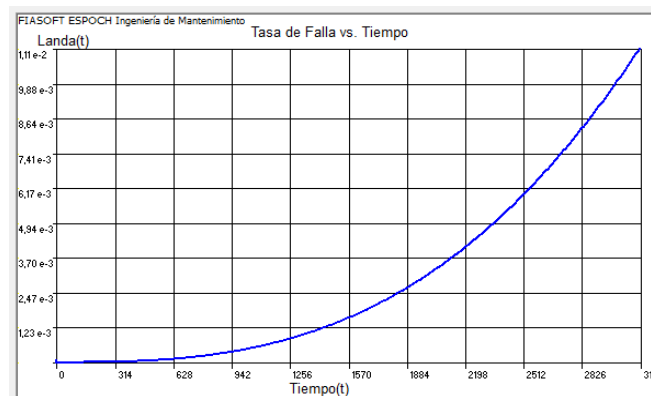


Figura 3-29 Tasa de fallas instantánea de la banda transportadora.  
Fuente: Autores.

Análisis de los gráficos perteneciente a la banda transportadora en un tiempo de 1200 horas de funcionamiento.

Probabilidad de Weibull se determinó los parámetros de vida ( $\alpha$ ) y forma ( $\beta$ ), para la banda transportadora;  $\alpha = 1751,17$ ;  $\beta = 3,81$ , observando que el equipo se encuentra en la etapa de desgaste ya que el valor de  $\beta > 1$ .

La confiabilidad de la banda transportadora es 78,91%.


La Desconfiabilidad de la banda transportadora es 21,99%.

La densidad de probabilidad de falla de la banda transportadora es  $5,94 \times 10^{-4}$  falla/horas.

La tasa de fallas instantánea de la banda transportadora es  $7,52 \times 10^{-4}$  falla/horas.

### 3.5.4 Cálculo de los índices de confiabilidad del Skip.

Tabla 34-3 Bitácora de fallas del Skip.

		Empresa Pública Cementera del Ecuador						
		Equipo	Skip					
Nº	Descripción de la Falla	Fecha de Parada	Hora de Parada	Fecha de Arranque	Hora de Arranque	TBF (h)	TP(h)	
1	Rotura del cable del skip	23/06/2015	16:00	24/06/2015	18:00	1450,5	7	
2	Falla del rodamiento de la rueda de la tolva	28/12/2015	15:30	30/12/2015	17:00	1956	10,5	
3		01/01/2016	0:00	00/00/0000	0:00	1964	0	
						TMEF	2685,25	17,50

Fuente: Autores.

Confiabilidad del Skip.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{1200}{1941,21}\right)^{5,05}} = 91,56\% \quad \text{Ecuación 30}$$

Desconfiabilidad del Skip.

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - 0.9156 = 8,44 \% \quad \text{Ecuación 31}$$

Densidad de probabilidad de fallo del Skip.

$$f(t) = \frac{5,05}{1941,21} * \left(\frac{1200}{1941,21}\right)^{5,05-1} * e^{-\left(\frac{1200}{1941,21}\right)^{5,05}} = 3,40 \times 10^{-4} \text{ falla/hora} \quad \text{Ecuación}$$

32

Tasa de fallos del Skip.

$$\lambda(t) = \frac{5,05}{1941,21} * \left(\frac{1200}{1941,21}\right)^{5,05-1} = 3,71X 10^{-4} \text{ falla/hora} \quad \text{Ecuación 33}$$

Tiempo medio entre fallos del Skip

$$\text{TMBF} = 0,9182 * 1941,21 = 1782,41 \text{ h} \quad \text{Ecuación 34}$$

Considerando la confiabilidad del Skip en un intervalo de 50% al 90%, realizamos el cálculo de los tiempos para tener una probabilidad de tiempo de falla.

$$t(50\%) = 0 + 1941,21 * \text{Ln}\left(\frac{1}{0,5}\right)^{\left(\frac{1}{5,05}\right)} = 1805,31h \quad \text{Ecuación 35}$$

$$t(90\%) = 0 + 1357,77 * \text{Ln}\left(\frac{1}{0,9}\right)^{\left(\frac{1}{4,03}\right)} = 1243,21h \quad \text{Ecuación 36}$$

R (t) = 50%; el tiempo va a ser de 1800,00 h

R (t) = 90%; el tiempo va a ser de 1250,00 h

Por lo tanto se tiene como resultado una probabilidad para el primer resultado del 50% que la máquina va a fallar a las 1800 horas, mientras que con el segundo resultado la máquina al llegar a las 1250 horas habrá fallado con el 10% de equivocación.

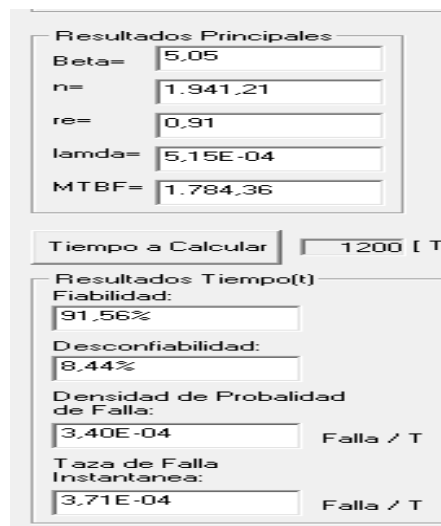


Figura 3-30 Índices de Confiabilidad para el Skip.  
Fuente: Autores.

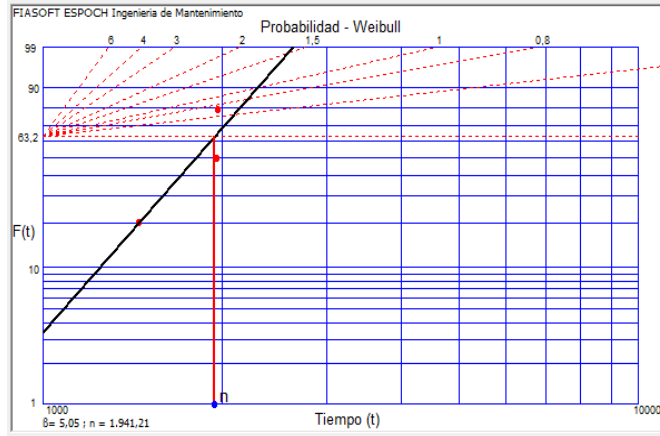


Figura 3-31 Distribución de Weibull para el Skip.  
Fuente: Autores.

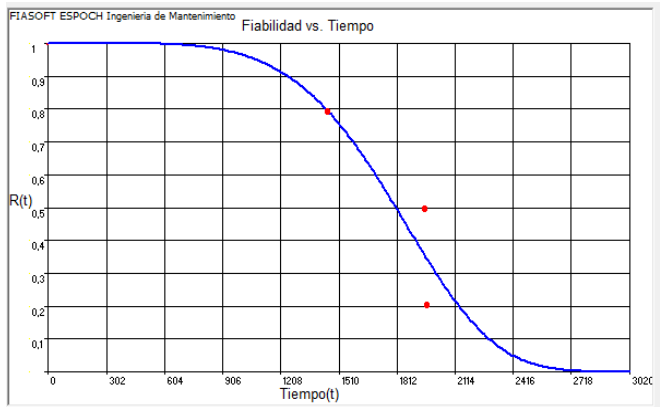


Figura 3-32 Curva de la confiabilidad del Skip.  
Fuente: Autores.

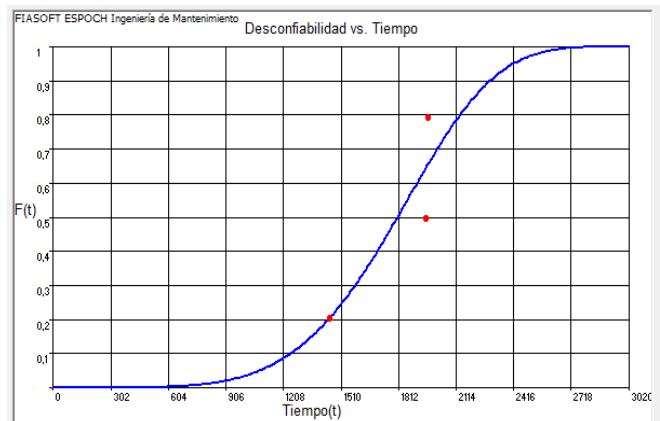


Figura 3-33 Desconfiabilidad del Skip.  
Fuente: Autores.

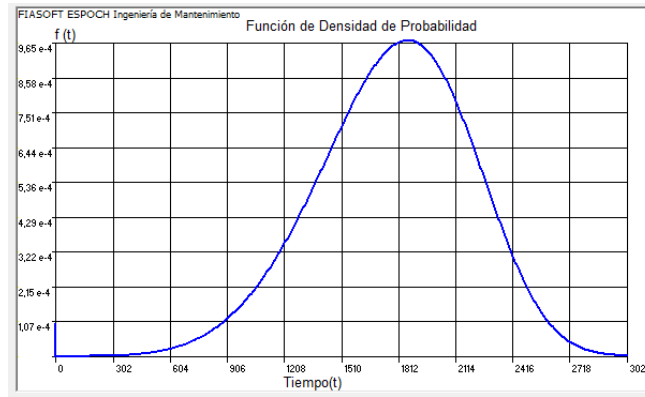


Figura 3-34 Densidad de la probabilidad de falla del Skip.  
Fuente: Autores.

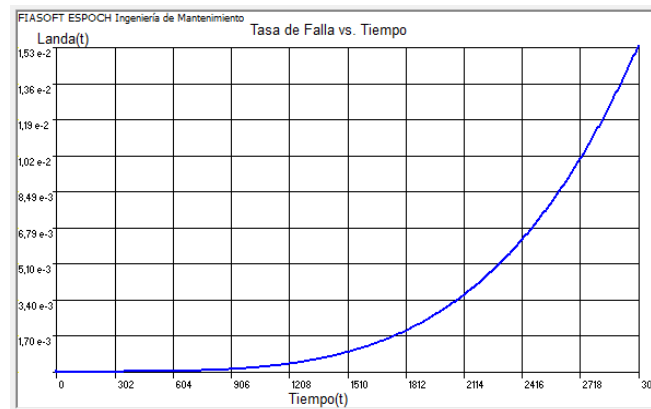


Figura 3-35 Tasa de fallas instantánea de la banda transportadora.  
Fuente: Autores.

Análisis de los gráficos perteneciente al Skip en un tiempo de 1200 horas de funcionamiento.

Probabilidad de Weibull se determinó los parámetros de vida ( $\alpha$ ) y forma ( $\beta$ ), para el Skip;  $\alpha = 1941,21$ ;  $\beta = 5,05$ , observando que el equipo se encuentra en la etapa de desgaste ya que el valor de  $\beta > 1$ .

La confiabilidad del Skip es 91,56%.


La Desconfiabilidad del Skip es 8,44%.

La densidad de probabilidad de falla del Skip es  $3,40 \times 10^{-4}$  falla/horas.

La tasa de fallas instantánea del Skip es  $3,71 \times 10^{-4}$  falla/horas.

### 3.5.5 Cálculo de los índices de confiabilidad del silo de cemento.

Tabla 35-3 Bitácora de fallas del silo de cemento.

		Empresa Pública Cementera del Ecuador					
		Equipo		Silo de Cemento			
Nº	Descripción de la Falla	Fecha de Parada	Hora de Parada	Fecha de Arranque	Hora de Arranque	TBF (h)	TP(h)
1	Falla en la cargadora y descargadora de cemento	07/04/2015	17:00	07/04/2015	18:00	1257	1
2	Fisura del conducto de salida del cemento	12/08/2015	18:00	12/08/2015	19:00	1612	1
3		01/01/2016	0:00	00/00/0000	0:00	1996	0
						TMEF	2432,5
							2

Fuente: Autores.

Confiabilidad del silo de cemento

$$R(t) = e^{-\left(\frac{1200}{1778,38}\right)^{4,17}} = 82,37\% \quad \text{Ecuación 37}$$

Desconfiabilidad del silo de cemento

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - 0,8237 = 17,63\% \quad \text{Ecuación 38}$$

Densidad de probabilidad de fallo del silo de cemento.

$$f(t) = \frac{4,17}{1778,38} * \left(\frac{1200}{1778,38}\right)^{4,17-1} * e^{-\left(\frac{1200}{1778,38}\right)^{4,17}} = 5,55 \times 10^{-4} \text{ falla/hora} \quad \text{Ecuación}$$

39

Tasa de fallos del silo de cemento.

$$\lambda(t) = \frac{4,17}{1778,38} * \left(\frac{1200}{1778,38}\right)^{4,17-1} = 6,74 \times 10^{-4} \text{ Falla/hora} \quad \text{Ecuación 40}$$

Tiempo medio entre fallos del silo de cemento.

$$TMBF = 0,9077 * 1778,38 = 1614,24 \text{ h} \quad \text{Ecuación 41}$$

Considerando para el silo de cemento la confiabilidad un rango entre 50% y 90%, realizamos el cálculo de los tiempos respectivos.

$$t(50\%) = 0 + 1778,38 * \text{Ln}\left(\frac{1}{0,5}\right)^{\left(\frac{1}{4,17}\right)} = 1628,75h \quad \text{Ecuación 42}$$

$$t(90\%) = 0 + 1778,38 * \text{Ln}\left(\frac{1}{0,9}\right)^{\left(\frac{1}{4,17}\right)} = 1036,70h \quad \text{Ecuación 43}$$

R (t) = 50%; el tiempo va a ser de 1600,00 h

R (t) = 90%; el tiempo va a ser de 900,00 h

Por lo tanto se tiene como resultado una probabilidad para el primer resultado del 50% que la máquina va a fallar a las 1600 horas, mientras que con el segundo resultado la máquina al llegar a las 900 horas habrá fallado con el 10% de equivocación.



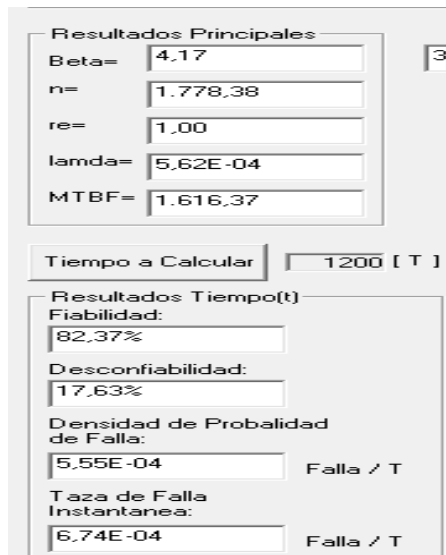


Figura 3-36 Índices de Confiabilidad del Silo de cemento.  
Fuente: Autores.

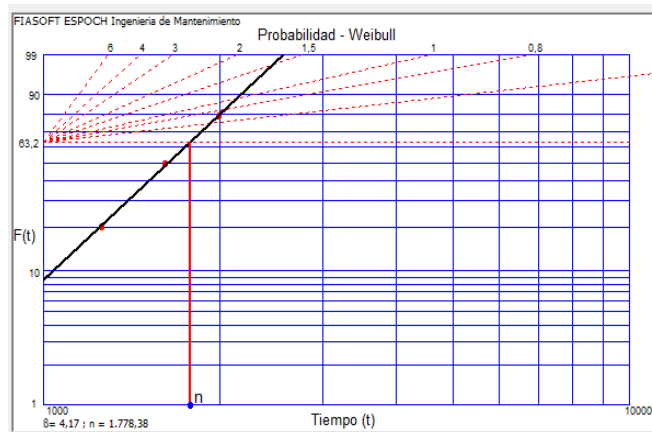


Figura 3-37 Distribución de Weibull para el Silo de cemento.  
Fuente: Autores.

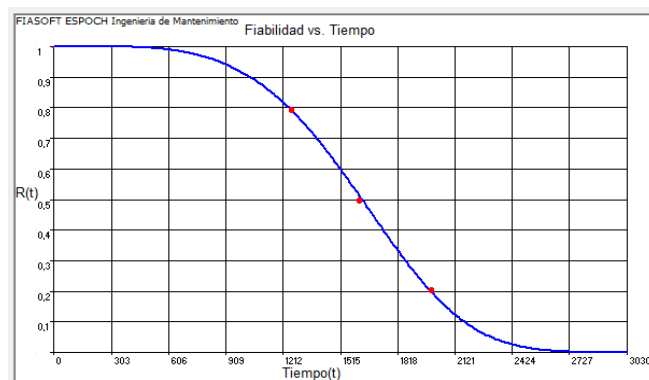


Figura 3-38 Curva de la confiabilidad del silo de cemento.  
Fuente: Autores

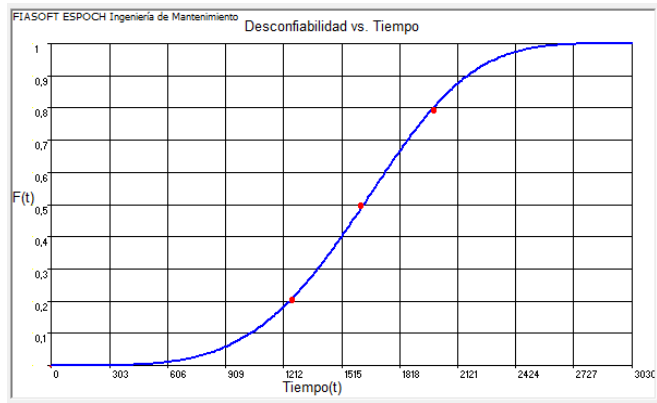


Figura 3-39 Desconfiabilidad del silo de cemento.  
Fuente: Autores.

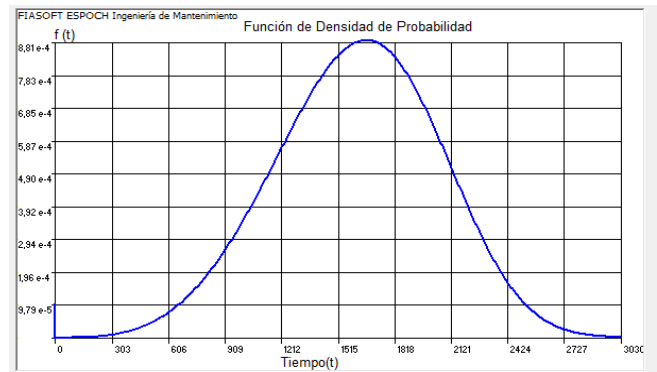


Figura 3-40 Densidad de la probabilidad de falla del silo de cemento.  
Fuente: Autores

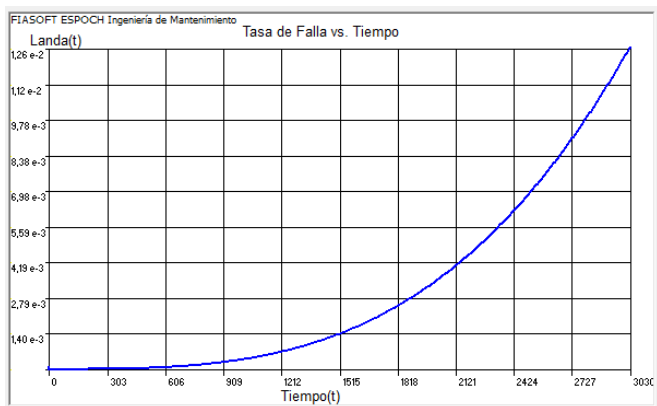


Figura 3-41 Tasa de fallas instantánea del silo de cemento.  
Fuente: Autores.

Análisis de los gráficos perteneciente al silo de cemento en un tiempo de 1200 horas de funcionamiento.

Probabilidad de Weibull se determinó los parámetros de vida ( $\alpha$ ) y forma ( $\beta$ ), para el silo de cemento;  $\alpha = 1778,38$ ;  $\beta = 4,17$ , observando que el equipo se encuentra en la etapa de desgaste ya que el valor de  $\beta > 1$ .

La confiabilidad del silo de cemento es 82,37%.


La Desconfiabilidad del silo de cemento es 17,63%.

La densidad de probabilidad de falla del silo de cemento es  $5,55 \times 10^{-4}$  fallas/horas.

La tasa de fallas instantánea de silo de cemento es  $6,74 \times 10^{-4}$  fallas/horas.

### 3.5.6 Cálculo de los índices de confiabilidad de la bomba de aditivo.

Tabla 36-3 Bitácora de fallas de la bomba de aditivo.

		Empresa Pública Cementera del Ecuador					
		Equipo		Bomba de Aditivo			
Nº	Descripción de la Falla	Fecha de Parada	Hora de Parada	Fecha de Arranque	Hora de Arranque	TBF (h)	TP(h)
1	Falla de la pesa del aditivo	17/11/2015	16:00	18/11/2015	18:00	1864	6
2		01/01/2016	0:00	00/00/0000	0:00	1988	0
					TMEF	3852	6

Fuente: Autores.

Confiabilidad de la bomba de aditivo.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{1200}{1967,09}\right)^{19,77}} = 99,99\% \quad \text{Ecuación 44}$$

Desconfiabilidad de la bomba de aditivo.

$$F(t) = 1 - R(t) = 0,01\% \quad \text{Ecuación 45}$$

Densidad de probabilidad de falla de la bomba de aditivo.

$$f(t) = \frac{19,77}{1967,09} * \left(\frac{1200}{1967,09}\right)^{19,77-1} * e^{-\left(\frac{1200}{1967,09}\right)^{19,77}} = 9,40X 10^{-7} \text{ falla/hora} \quad \text{Ecuación 46}$$

Tasa de fallos de la bomba de aditivo.

$$\lambda(t) = \frac{19,77}{1967,09} * \left(\frac{1200}{1967,09}\right)^{19,77-1} = 0,01 X 10^{-7} \text{ falla/hora} \quad \text{Ecuación 47}$$

Tiempo medio entre fallas de la bomba de aditivo.

$$TMBF = 0,9347 * 1967,09 = 1925,63 \text{ h} \quad \text{Ecuación 48}$$

Considerando para la mezcladora un intervalo de confiabilidad entre 50% y 90%, realizamos el cálculo de los tiempos respectivos.

$$t(50\%) = 0 + 1967,09 * \text{Ln}\left(\frac{1}{0,5}\right)^{\left(\frac{1}{19,77}\right)} = 1930,96 \text{ h} \quad \text{Ecuación 49}$$

$$t(90\%) = 0 + 1967,09 * \text{Ln}\left(\frac{1}{0,9}\right)^{\left(\frac{1}{19,77}\right)} = 1755,45 \text{ h} \quad \text{Ecuación 50}$$

R (t) = 50%; el tiempo va a ser de 1930,96 h

R (t) = 90%; el tiempo va a ser de 1755,45 h

Se tiene una probabilidad para el primer resultado del 50% que la máquina va a fallar a las 1930 horas, mientras que al llegar a las 1755 horas habrá fallado con el 10% de equivocación. Observando que al transcurrir 1200 horas que es el tiempo de prueba propuesto con el cual se hizo el análisis, la confiabilidad es 99,99%. Por lo cual no se hace ninguna recomendación para las actividades de mantenimiento generado en la planta.



Figura 3-42 Índices de Confiabilidad para la bomba de aditivo.  
Fuente: Autores.

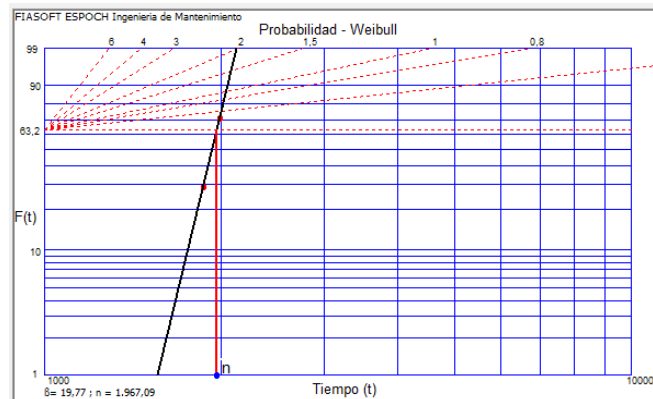


Figura 3-43 Distribución de Weibull para la bomba de aditivo.  
Fuente: Autores.

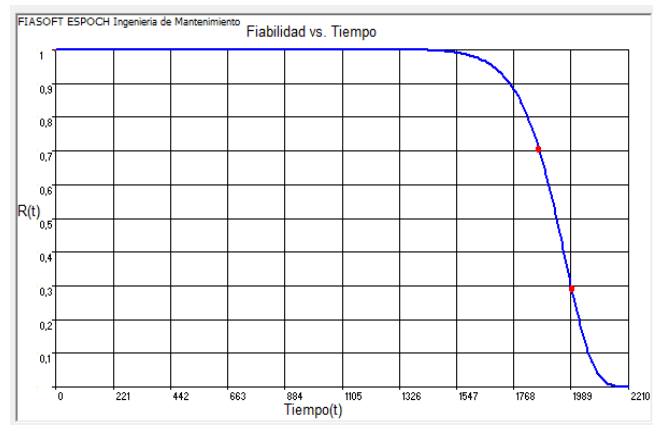


Figura 3-44 Curva de la confiabilidad de la bomba de aditivo.  
Fuente: Autores

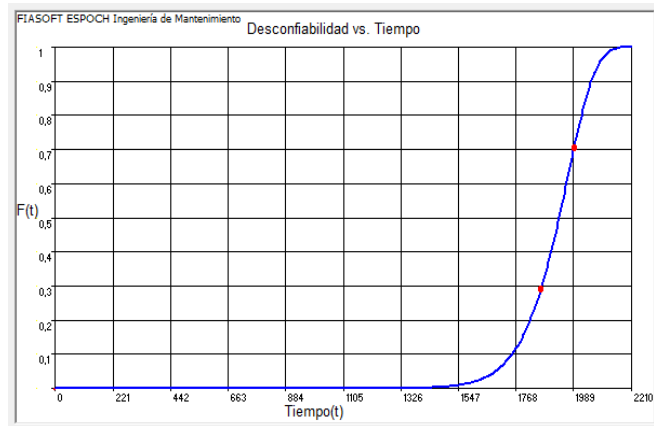


Figura 3-45 Desconfiabilidad de la bomba de aditivo.  
Fuente: Autores.



Figura 3-46 Densidad de la probabilidad de falla de la bomba de aditivo.  
Fuente: Autores.

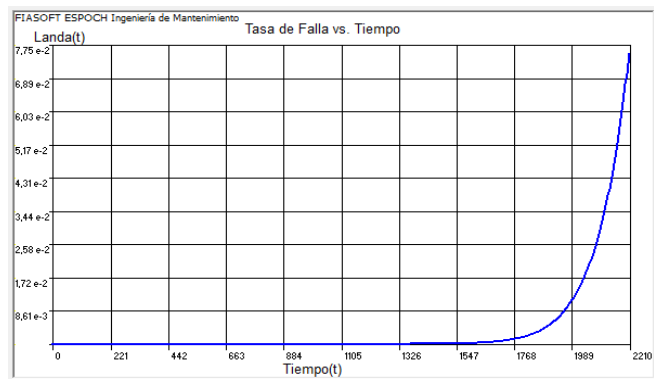


Figura 3-47 Tasa de fallas instantánea de la bomba de aditivo.  
Fuente: Autores.

Análisis de los gráficos perteneciente a la bomba de aditivo en un tiempo de 1200 horas de funcionamiento.

Probabilidad de Weibull se determinó los parámetros de vida ( $\alpha$ ) y forma ( $\beta$ ), para la bomba de aditivo;  $\alpha=1967,09$ ;  $\beta=19,77$ , observando que el equipo se encuentra en la etapa de desgaste ya que el valor de  $\beta > 1$ .

La confiabilidad de la bomba de aditivo es 99,99%.


La desconfiabilidad de la bomba de aditivo es 0,01%.

La densidad de probabilidad de falla de la bomba de aditivo es  $9,40 \times 10^{-7}$  fallas/horas.

La tasa de fallas instantánea de la bomba de aditivo es  $9,40 \times 10^{-7}$  fallas/horas.

### 3.5.7 Cálculo de los índices de confiabilidad del compresor.

Tabla 37-3 Bitácora de fallas del compresor.

		Empresa Pública Cementera del Ecuador						
		Equipo	Compresor					
Nº	Descripción de la Falla	Fecha de Parada	Hora de Parada	Fecha de Arranque	Hora de Arranque	TBF (h)	TP(h)	
1	Rotura de la manguera aire	01/07/2015	15:30	01/07/2015	17:30	1486	2	
2	Falla de la válvula de aire	14/12/2015	16:00	15/12/2015	18:00	1940	6	
3		01/01/2016	0:00	00/00/0000	0:00	1984	0	
						TMEF	2705	8

Fuente: Autores.

Confiabilidad del compresor.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{1200}{1940,95}\right)^{5,60}} = 93,45\% \quad \text{Ecuación 51}$$

Desconfiabilidad del compresor

$$F(t) = 1 - R(t) = 6,55\% \quad \text{Ecuación 52}$$

Densidad de probabilidad de falla del compresor.

$$f(t) = \frac{5,60}{1940,95} * \left(\frac{1200}{1940,95}\right)^{5,60-1} * e^{-\left(\frac{1200}{1940,95}\right)^{5,60}} = 2,95 \times 10^{-4} \text{ falla/horas} \quad \text{Ecuación 53}$$

53

Tasa de fallos del compresor.

$$\lambda(t) = \frac{5,60}{1940,95} * \left(\frac{1200}{1940,95}\right)^{5,60-1} = 3,16 \times 10^{-3} \text{ falla/hora} \quad \text{Ecuación 54}$$

Tiempo medio entre fallas del compresor.

$$TMBF = 0,9241 * 1940,95 = 1793,63h \quad \text{Ecuación 55}$$

Considerando para el compresor un intervalo de confiabilidad entre 50% y 90%, realizamos el cálculo de los tiempos respectivos.

$$t(50\%) = 0 + 1940,95 * Ln\left(\frac{1}{0,5}\right)^{\left(\frac{1}{5,60}\right)} = 1817,99 h \quad \text{Ecuación 56}$$

$$t(90\%) = 0 + 1940,95 * Ln\left(\frac{1}{0,9}\right)^{\left(\frac{1}{5,60}\right)} = 1298,65 h \quad \text{Ecuación 57}$$

R (t) = 50%; el tiempo va a ser de 1800,00 h

R (t) = 90%; el tiempo va a ser de 1290,00 h

Se tiene una probabilidad para el primer resultado con un 50% de equivocación que la máquina va a fallar a las 1800 horas, mientras que al llegar a las 1290 horas habrá fallado con el 10% de equivocación. Observando que al transcurrir 1200 horas que es el tiempo de prueba propuesto con el cual se hizo el análisis, la confiabilidad es 93,45%, no se hace ninguna recomendación para las actividades de mantenimiento generado en la planta.



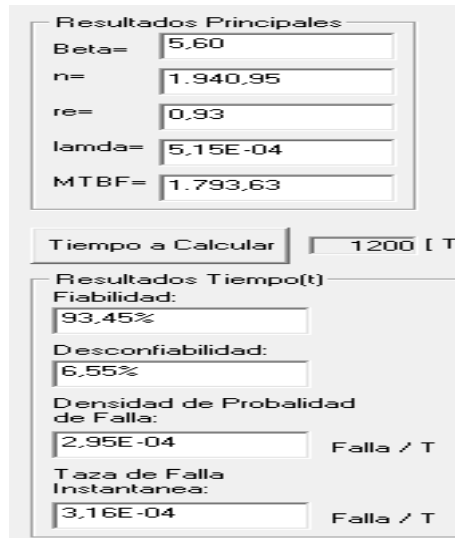


Figura 3-48 Índices de Confiabilidad del compresor.  
Fuente: Autores.

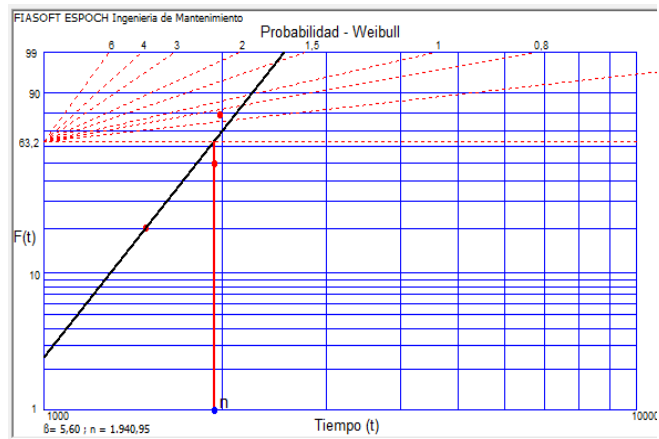


Figura 3-49 Distribución de Weibull para el compresor.  
Fuente: Autores.

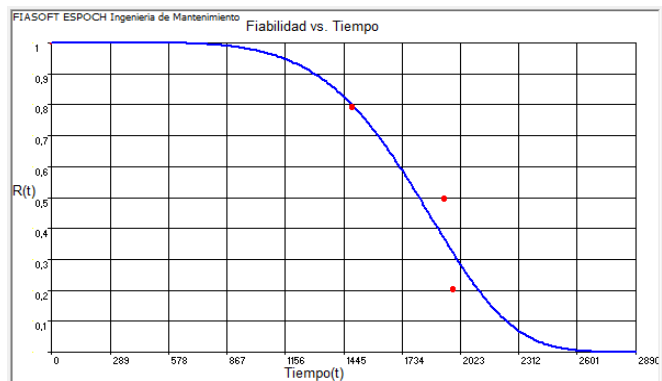


Figura 3-50 Curva de la confiabilidad del compresor.  
Fuente: Autores.

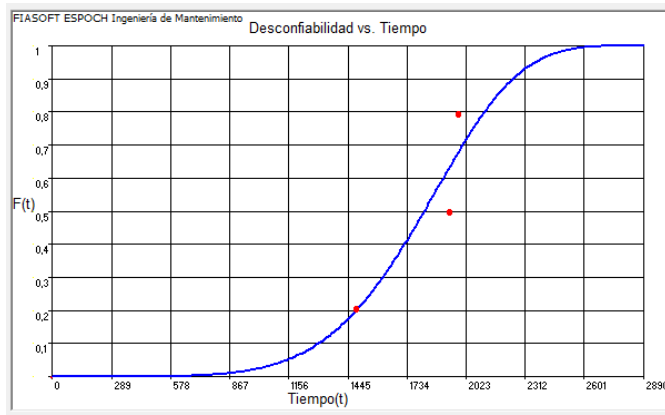


Figura 3-51 Desconfiabilidad del compresor.  
Fuente: Autores.

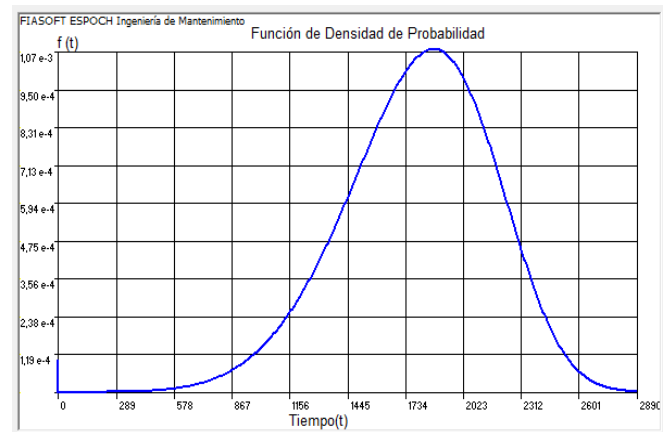


Figura 3-52 Densidad de la probabilidad de falla del compresor.  
Fuente: Autores.

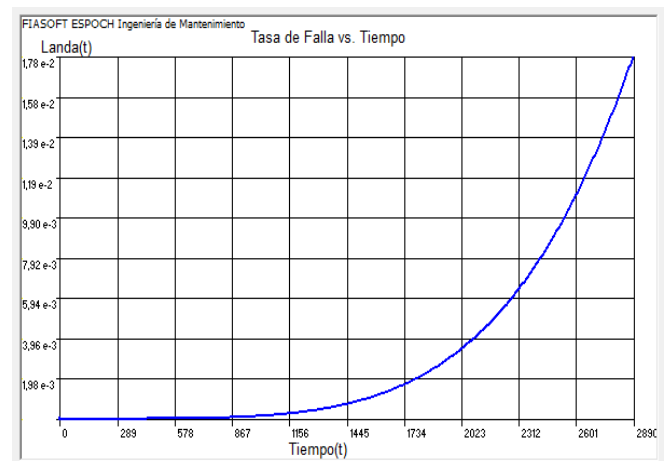


Figura 3-53 Tasa de falas instantánea del compresor.  
Fuente: Autores.

Análisis de los gráficos perteneciente al compresor en un tiempo de 1200 horas de funcionamiento. Probabilidad de Weibull se determinó los parámetros de vida ( $\alpha$ ) y forma ( $\beta$ ), para el compresor;  $\alpha = 1940,95$ ;  $\beta = 5,60$ , observando que el equipo se encuentra en la etapa de desgaste ya que el valor de  $\beta > 1$ .

La confiabilidad del compresor es 93,45%.


La desconfiabilidad del compresor 6,55%.

La densidad de probabilidad de falla del compresor es  $2,95 \times 10^{-4}$  fallas/horas.

La tasa de fallas instantánea del compresor es  $3,16 \times 10^{-4}$  falla/horas.

### 3.5.8 Cálculo de los índices de confiabilidad de la tolva de descarga.

Tabla 38-3 Bitácora de fallas de la tolva de descarga.

		Empresa Pública Cementera del Ecuador						
		Equipo	Tolva de Descarga					
Nº	Descripción de la Falla	Fecha de Parada	Hora de Parada	Fecha de Arranque	Hora de Arranque	TBF (h)	TP(h)	
1	Falla del electrofreno de la tolva de descarga	14/07/2015	17:00	15/07/2015	18:00	1518	5	
2	Falla del gato hidráulico	22/09/2015	16:00	24/09/2015	16:00	1710	8	
3		01/01/2016	0:00	00/00/0000	0:00	1974	0	
						TMEF	2601	13

Fuente: Autores.

Confiabilidad de la tolva de descarga.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{1200}{1836,13}\right)^{7,28}} = 95,58\% \quad \text{Ecuación 58}$$

Desconfiabilidad de la tolva de descarga.

$$F(t) = 1 - R(t) = (1 - 0,9558) * 100 = 4,42\% \quad \text{Ecuación 59}$$

Densidad de probabilidad de la tolva de descarga.

$$f(t) = \frac{7,28}{1836,13} * \left(\frac{1200}{1836,13}\right)^{7,28-1} * e^{-\left(\frac{1200}{1836,13}\right)^{7,28}} = 2,62 \times 10^{-4} \text{ falla/hora} \quad \text{Ecuación 60}$$

Tasa de fallo de la tolva de descarga.

$$\lambda(t) = \frac{7,28}{1836,13} * \left(\frac{1200}{1836,13}\right)^{7,28-1} = 2,74 \times 10^{-4} \text{ falla/hora} \quad \text{Ecuación 61}$$

Tiempo medio entre fallos en la tolva de descarga.

$$TMBF = 0,9347 * 1836,13 = 1716,23 \text{ h} \quad \text{Ecuación 62}$$

Considerando la confiabilidad para un rango de  $50\% < R(t) < 90\%$ , calculamos los tiempos para tener una mejor exactitud.

$$t(50\%) = 0 + 1836,13 * \text{Ln}\left(\frac{1}{0,5}\right)^{\left(\frac{1}{7,28}\right)} = 1745,98 \text{ h} \quad \text{Ecuación 63}$$

$$t(90\%) = 0 + 1836,13 * \text{Ln}\left(\frac{1}{0,9}\right)^{\left(\frac{1}{7,28}\right)} = 1347,89 \text{ h} \quad \text{Ecuación 64}$$

$R(t) = 50\%$ ; el tiempo va a ser de 1750,00 h

$R(t) = 90\%$ ; el tiempo va a ser de 1300,00 h

Se tiene una probabilidad para el primer resultado con un 50% de equivocación que la máquina va a fallar a las 1750 horas, mientras que al llegar a las 1300 horas habrá fallado con el 10% de equivocación. Observando esto podemos decir que al transcurrir 1200 horas que es el tiempo de prueba propuesto en el en éste trabajo de titulación, la confiabilidad es 95,58%. Por lo cual no se hace ninguna recomendación para las actividades de mantenimiento generado en la planta.

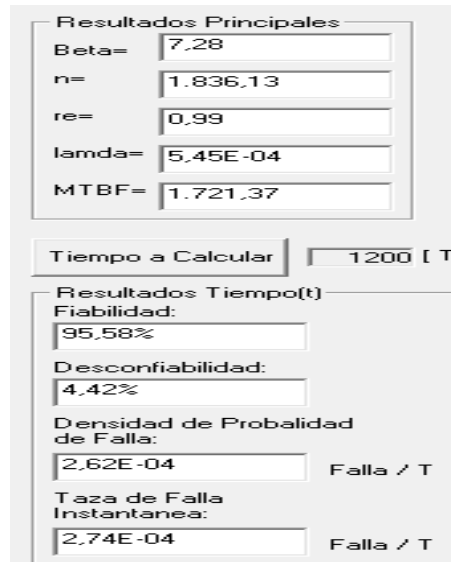


Figura 3-54 Índices de Confiabilidad de la tolva de descarga.  
Fuente: Autores.

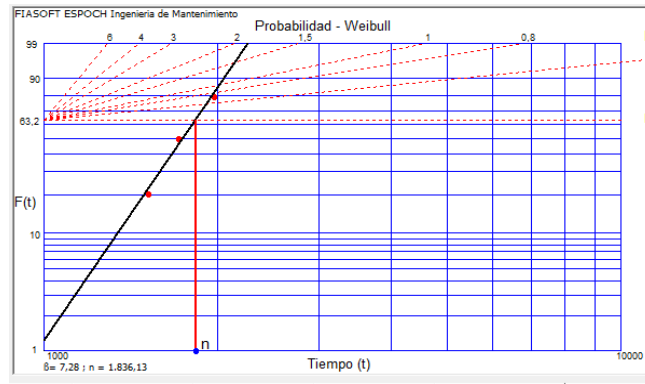


Figura 3-55 Distribución de Weibull para la tolva de descarga.  
Fuente: Autores.

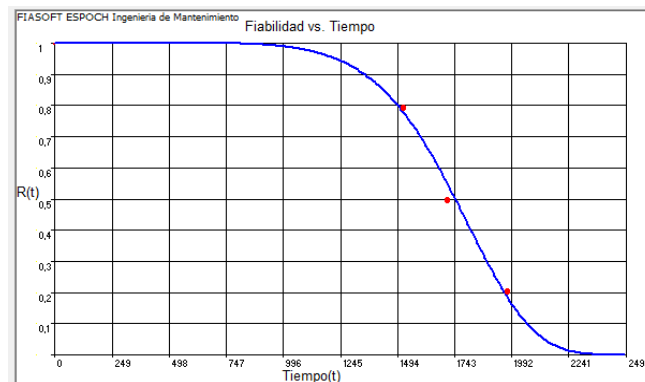


Figura 3-56 Curva de la confiabilidad de la tolva de descarga.  
Fuente: Autores.

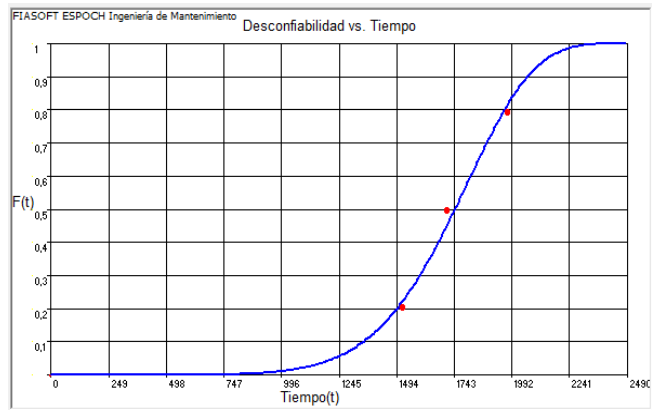


Figura 3-57 Desconfiabilidad de la tolva de descarga.  
Fuente: Autores.

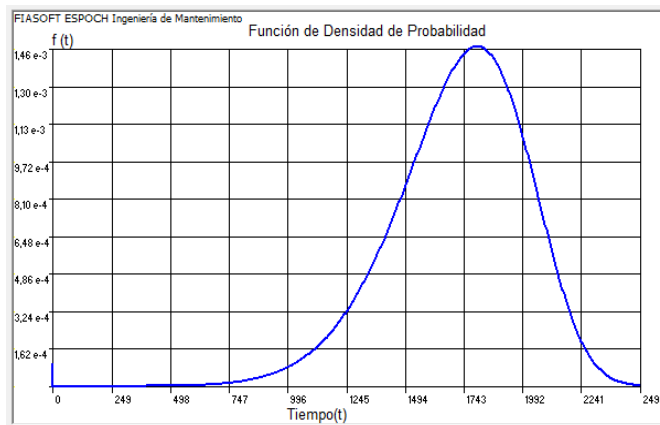


Figura 3-58 Densidad de la probabilidad de falla de la tolva de descarga.  
Fuente: Autores.

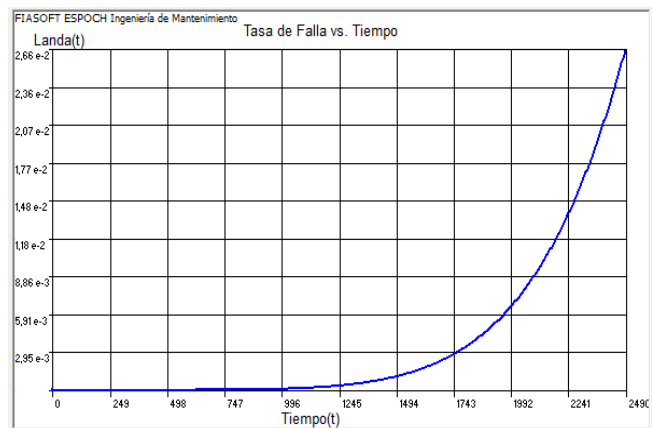


Figura 3-59 Tasa de fallas instantánea de la tolva de descarga.  
Fuente: Autores.

Análisis de los gráficos perteneciente a la tolva de descarga en un tiempo de 1200 horas de funcionamiento.

Probabilidad de Weibull se determinó los parámetros de vida ( $\alpha$ ) y forma ( $\beta$ ), para la tolva de descarga;  $\alpha = 1836,13$ ;  $\beta = 7,28$ , observando que el equipo se encuentra en la etapa de desgaste ya que el valor de  $\beta > 1$ .

La confiabilidad de la tolva de descarga es 95,58%..

La desconfiabilidad de la tolva de descarga 4,42%.

La densidad de probabilidad de falla de la tolva de descarga es  $2,62 \times 10^{-4}$  fallas/horas.

La tasa de fallas instantánea de la tolva de descarga es  $2,74 \times 10^{-4}$  fallas/horas.

### 3.5.9 Resultados de los índices de confiabilidad de la central de hormigonado.

Tabla 39-3 Valores de los índices de confiabilidad de la central de hormigonado.

EQUIPO	PORCETAJE DE CONFIABILIDAD $R(t)$ %	PORCETAJE DE DESCONFIABILIDAD $F(t)$ %	DENSIDAD DE PROBABILIDAD DE FALLO (falla/hora) $f(t)$	TASA DE FALLO (falla/hora) $\lambda(t)$	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS (h)
Mezcladora	54,45	45,55	$1,11 \times 10^{-3}$	$2,0414 \times 10^{-3}$	1230,68
Tolva dosificadora	87,01	12,99	$5,00 \times 10^{-4}$	$5,74 \times 10^{-4}$	1622,29
Banda transportadora	78,99	21,01	$5,94 \times 10^{-4}$	$7,52 \times 10^{-4}$	1582,71
Skip	91,56	8,44	$3,40 \times 10^{-4}$	$3,71 \times 10^{-4}$	1782,41
Silo de cemento	82,37	17,63	$5,55 \times 10^{-4}$	$6,74 \times 10^{-4}$	1614,24
Bomba de aditivo	99,99	0,01	$9,40 \times 10^{-7}$	$0,01 \times 10^{-7}$	1925,63 h
Compresor	93,45	6,55	$2,95 \times 10^{-4}$	$3,16 \times 10^{-3}$	1793,63
Tolva de descarga.	95,58	4,42	$2,62 \times 10^{-4}$	$2,74 \times 10^{-4}$	1716,23

Fuente; Autores.

Confiabilidad del sistema en serie de la central de hormigonado.

$$R_s(t) = R_1(t) * R_2(t) * \dots * R_n(t) \quad \text{Ecuación 65}$$

$$R_s(t) = 0,5445 * 0,8701 * 0,7899 * 0,9156 * 0,8237 * 0,9999 * 0,9345 * 0,9558 = (0,2520 * 100) = 25,21\% \quad \text{Ecuación 66}$$

Desconfiabilidad de la central de hormigonado.

$$F(t) = 1 - R(t) = (1 - 0,2520) * 100 = 74,79\% \quad \text{Ecuación 67}$$

**3.5.10 Análisis de los valores de confiabilidad de los equipos de la central de hormigonado.** Basados en que las políticas son los principios permanentes de una empresa, que constituyen su compromiso moral y su filosofía de actuación, en el caso de la EPCE es estimular una racional y mayor fabricación de productos de hormigón, a fin de sustituir con eficiencia manufacturas importadas, creando condiciones de trabajo que conduzcan a una mayor eficiencia y satisfacción de los trabajadores.

Con la ayuda de la jefatura de producción y de mantenimiento se ha registrado las políticas de confiabilidad, estas se refieren a todas las interfaces que afectan el rendimiento de mantención como:

- Repuestos.
- Recursos Humanos.
- Costos de mantenimiento.
- Costos de producción.
- Seguridad.
- Servicios Externos.

Creando conveniente asegurar la continuidad de su proceso manteniendo la calidad y cantidad productiva la empresa presenta como rangos de aceptación de confiabilidad de los valores siguientes:



Tabla 40-3 Valoración de criterios de confiabilidad

VALORACIÓN DE CRITERIOS DE CONFIABILIDAD	CRITERIOS DE CONFIABILIDAD
> 0.9	Excelente
> 0.8	Bueno
≥ 0.7	Aceptable
< 0.6	Inaceptable

Fuente: Autores-EPCE.

Tabla 41-3 Valores de confiabilidad de los equipos de la central de hormigonado.

EQUIPO	PORCETAJE DE CONFIABILIDAD R(t) %
Mezcladora	54,45%
Tolva dosificadora	87,01%
Banda transportadora	78,99%
Skip	91,56%
Silo de cemento	82,37%
Bomba de aditivo	99,99%
Compresor	93,45%
Tolva de descarga.	95,58%

Fuente: Autores.

Según las políticas de la empresa el valor de confiabilidad en estudios debe ser igual o mayor a 0.7. Valores que se interpretan de la siguiente manera:

Tabla 42-3 Valoración de la confiabilidad de los equipos.

EQUIPO	CONFIABILIDAD	VALORACIÓN
Mezcladora	0,54	Inaceptable
Tolva dosificadora	0,87	Bueno
Banda transportadora	0,79	Aceptable
Skip	0,92	Excelente
Silo de cemento	0,82	Bueno
Bomba de aditivo	0,99	Excelente
Compresor	0,93	Excelente
Tolva de descarga.	0,96	Excelente
Sistema	0,25	Inaceptable

Fuente: Autores

En la tabla 43-3 indica los resultados de los equipos analizados bajo las políticas internas de la empresa.

Teniendo ya los análisis y presentados en la tabla 43.3 podemos decir que dentro del rango aceptable mayor o igual a 0.7 se encuentran todos los equipos a excepción de la mezcladora, motivo por el cual es el equipo al cual pondremos especial cuidado y realizaremos un estudio de análisis de efecto y modo de falla.

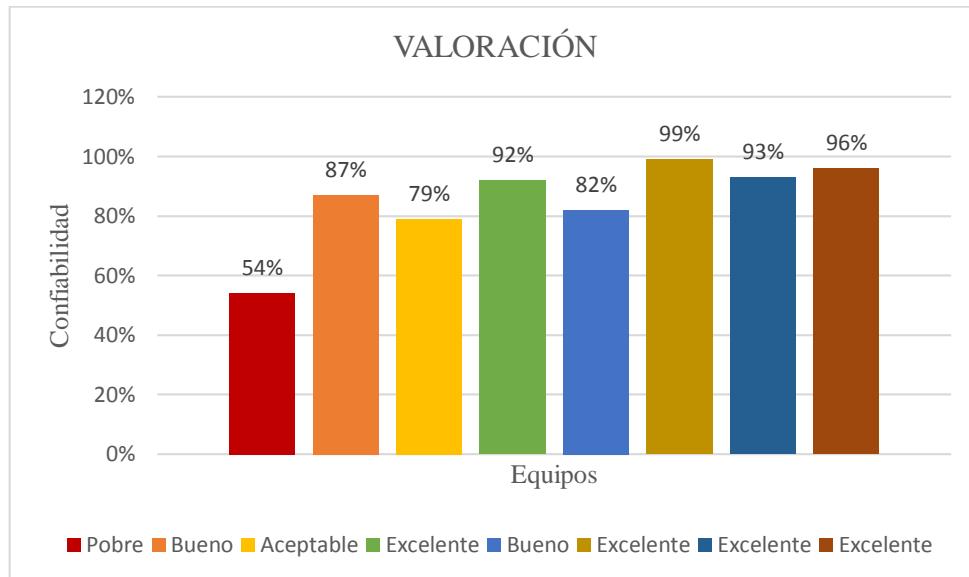


Figura 3-60 Valoración de la confiabilidad de la central de hormigonado.  
Fuente: Autores

### 3.6 Propuesta de RCM para la mezcladora de la central de hormigonado.

Para empezar a realizar un análisis de RCM de nuestro equipo se plantean las siete preguntas básicas que son:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional? (Identificar funciones y contexto operacional).
2. ¿En qué formas falla el activo, dejando de cumplir sus funciones? (Falla funcional).
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional? (Modos de falla).
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? (Efecto de falla).

5. ¿Qué importancia tiene cada falla? (Consecuencias del fallo).
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla? (Tareas preventivas; sustituir o restauración programada).
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada? (Modificación; trabajar hasta el fallo; tareas de búsqueda de fallo).

**3.6.1 Contexto operacional.** Con respecto al mezclador su principal función es mezclar no menos de 1,5 m<sup>3</sup> en un máximo 4 minutos en cada ciclo, con una homogeneidad del 97%, con una capacidad de producción de 21 m<sup>3</sup>/h encontrados de la siguiente manera 14 ciclos realizados en una hora por 1,5m<sup>3</sup> de cada mezcla.

Los riesgos asociados del sistema son el ruido que produce el funcionamiento de los brazos que se encuentra en aproximadamente 110 dB.

En cuanto a seguridad se debe leer el manual de operación para realizar el correcto uso de la máquina; además tener en cuenta el uso y eliminación de productos de limpieza y lubricación de la máquina que representa un riesgo para el ambiente.

El mezclador planetario está constituido esencialmente de un tanque circular cerrado, con una envoltura o capó, en cuyo interior están contenidas una serie de paletas para el mezclado de la materia prima.

En la parte superior está montado el motor con funcionamiento eléctrico, el cual acciona un grupo de engranajes contenidos en la caja de engranajes, que hacen girar las paletas contenidas en el tanque. Esta máquina no puede operar sola, ya que el carácter específico de sus elaboraciones impone la integración en línea con otras máquinas/equipos.

El transporte en la salida de la mezcla se logra con una rampa incorporada en el contexto de la línea. La máquina posee específicas protecciones idóneas para prevenir accidentes de carácter eléctrico y mecánico.

La máquina funciona con energía eléctrica mediante el motor gobernado por un específico cuadro eléctrico de mando ubicado fuera del tanque de mezclado.

El mezclador planetario vertical “SUN” es una máquina que efectúa mezclas de inertes, cemento y similares con aguas y otros líquidos, con el fin de obtener mezclas para usos previstos en la construcción. Un solo operador puede efectuar todas las operaciones de carga y descarga, en modo autónomo.

El hormigón generado por el mezclador planetario con la ayuda de los motores es requerido para la construcción de paneles autoportantes y lozas alveolares de la Empresa Pública Cementera del Ecuador.

La confiabilidad operativa del mezclador planetario es fundamental, para la producción estrella de la Empresa ya que por falla del mismo, se podría tener pérdidas económicas muy importantes por producción que podrían bordear los \$80.000,00 dólares americanos. El mezclador planetario se encuentra operando durante 4 horas al día los 250 días al año; el personal Técnico Operativo labora las 8 horas al día.

### **3.6.2 *Análisis de modos y efectos de fallas de la mezcladora.***

Para realizar la hoja de información tabla 44.3 se identifica la función del activo, la falla funcional, fallas potenciales, modos de fallos, niveles de modos de fallo, sus efectos, consecuencias y acciones propuestas.

Se ubica primero las funciones primarias y se lo enumera, luego los modos de fallas pero no se debe listar todos los modos de falla al mismo nivel, por tal motivo se identifica en el nivel 2, otros en el 6 y el resto en niveles intermedios, seguidos de los efectos que produce cada uno de los modos de fallo, sus consecuencias vistas desde el punto operacional, seguridad, medio ambiente y ocultas, para el presente análisis se ubica en operacional y ocultas, por ellos se proponen acciones para mejorar los modos de fallas existentes en el activo.

Tabla 43-3 Hoja de información RCM

89

HOJA DE INFORMACIÓN RCM																					
EQUIPO	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de función)	MODOS DE FALLO	NIVELES DE FALLO						EFECTOS DE LA FALLA	CONSECUENCIAS	ACCIONES PROPUESTAS									
				2	3	4	5	6													
MEZCLADORA	MEZCLAR NO MENOS DE 15 m3 EN UN MÁXIMO 4 MINUTOS EN CADA CICLO CON UNA HOMOGENEIDAD DEL 97% CON UNA VELOCIDAD DE 21m/min	A	1	EL MOTOR NO ENCHENDE	a	RODAMIENTOS O COJINETES AGARROTADOS EN EL MOTOR	c	DESGASTE NORMAL	h	FATIGA EN PISTAS			AL MOMENTO DE INICIAR CON LA OPERACIÓN DE LA MÁQUINA SE PRODUCE UN RUIDO FUERTE, EXCESO DE VIBRACION	OPERACIONAL	CAMBIO DE RODAMIENTOS.						
							d	LUBRICACIÓN INADECUADA	i	SELLOS DAÑADOS EN LA INSTALACIÓN	q	ERROR DE MONTAJE									
								j	LUBRICANTE NO RECOMENDADO POR EL FABRICANTE	r	SUCIEDAD EN LOS GRASEROS										
					b	CIRCUITO ABIERTO O CORTOCIRCUITO EN LAS BOBINAS DEL ESTATOR.	e	DETERIORO DEL AISLAMIENTO DEL MOTOR	k	ASLACION DETERIORADA	s	DETERIORO NORMAL DEL AISLAMIENTO					EN EL MOTOR SE PRESENTAN ALTAS VIBRACIONES, CALOR, FRIOS EXCESIVO PONEN EN RIESGO A LAS PERSONAS Y AL EQUIPO.	OPERACIONAL	PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO		
							m	ASLAMIENTO HÚMEDO	t	CARCAZA DE MOTOR DAÑADA	v	MOTOR GOLPEADO POR UN OBJETO EXTRAÑO							INSPECCION DE LA CARCAZA DEL MOTOR		
									u	AGUA SOBRE EL MOTOR									OBSERVAR SI EXISTE FILTRACIONES EN EL TECHO		
							f	VENTILADOR DEL MOTOR NO GIRA	n	VENTILADOR BLOQUEADO POR SUCIEDAD									REVISIÓN DEL VENTILADOR DEL MOTOR		
			g	RECALENTAMIENTO DEL MOTOR	p	REJILLA DE VENTILACIÓN CERRADA POR SUCIEDAD						EL MOTOR SE CALIENTA EN EXCESO O HUMEA.			LIMPIEZA DE LA REJILLA DE VENTILACIÓN DEL MOTOR						
			2	LA CAJA DE ENGRANES NO TRANSMITE MOVIMIENTO	w	DIENTES TOTALMENTE DESGASTADOS	y	SUSTITUCIÓN DE GRASA NO ADECUADO					AL MOMENTO QUE EL MOTOR ENTREGA LA ENERGÍA LA CAJA DE ENGRANES NO GIRA, SE ATASCA PRODUCIENDO CALOR Y VIBRACIONES	OPERACIONAL	CAMBIO DE GRASA EN LA CAJA DE ENGRANES.						
					x	DESALINEACIÓN CON LA MÁQUINA ACOPLADA	z	CARGA TENSIONAL SEVERA							LA CAJA DE ENGRANAJES Y EL MOTOR GENERA VIBRACIÓN ELEVADA	ALINEACIÓN DEL CONJUNTO MOTOR. CAJA DE ENGRANAJES					
					FALLAS POTENCIALES	MODOS DE FALLO	NIVELES DE FALLO.						EFECTOS DE LA FALLA	CONSECUENCIAS	ACCIONES PROPUESTAS						
					B	3	ADHERENCIA DE LOS INGREDIENTES DEL HORMIGÓN EN LA CARCAZA Y CONJUNTO MOVIL DE LA MÁQUINA.	aa	INADECUADO CAUDAL DE AGUA	gg	OBSTRUCCIÓN DEL SENSOR DE HUMEDAD CON ALGUN SOLIDO QUE NO PERMITE QUE SENSE EL VALOR DE AGUA NECESARIA					CANTIDAD ELEVADA DE MEZCLA QUEDA ADHERIDA A LA OLLA DEL MIXER.	OPERACIONAL	LIMPIEZA CON ADITIVO ANTEADHERENTE DE HORMIGÓN A LA OLLA DEL MIXER.			
																				REVISIÓN DEL SENSOR DE HUMEDAD	
					C	4	PALETAS DESGASTADAS.	cc	DESGASTE DEL MATERIAL							DISMINUCION DE PROPORCIÓN DE MEZCLADO	OPERACIONAL	CAMBIO DE PALETAS.			
										5	DESGASTE DE LOS DIENTES DE ENGRANAJE.	dd	MALA LUBRICACION	hh	GRASA NO RECOMENDADA						
		6	DESCONECION EN PLENA CARGA DE UNA DE LAS TRES FASES DEL MOTOR	ee														EXCESIVA TENSION	jj	CABLES DEL BOBINADO FLOJOS	
					D	7	FISURA DE LA PUERTA DE DESCARGA	ff	PERNOS FLOJOS EN LAS CONEXIONES	mm	GOLPES FUERTES POR PARTE DE ALGUN OBJETO					CANTIDAD MENOR DE LA TOTAL EN LA DESCARGA DE HORMIGÓN	OPERACIONAL				COMPRUEBE QUE NO HAYA PERNOS FLOJOS EN LAS CONEXIONES

Fuente: Autores

### 3.6.3 Hoja de decisión de RCM.

La hoja de decisión se observa en la tabla 45.3 es que donde se ubica las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisión (anexo D) y en función de dichas respuestas registrar la actividad de mantenimiento, su frecuencia y quien lo hará.

Tabla 44-3 Hoja de decisión RCM

HOJA DE DECISIÓN RCM																	
HOJA DE DECISIÓN RCM	SISTEMA	DE MEZCLADO						SISTEMA N°	Facilitador	Fecha	Hoja N°						
	SUBSISTEMA							SUBSISTEMA N°	Auditor	Fecha	De						
Referencia en información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a falta de				Tarea propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por	
F	FF	FM	NFM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
1	A	1	4h	N	N	N	S	S	.....	.....	.....	.....	.....	CAMBIO DE RODAMIENTOS .	CADA 10000 A 14000 HORAS DE FUNCIONAMIENTO	MECÁNICO Y OPERARIO	
			5q	S	S	.....	.....	S	.....	.....	.....	.....	.....	.....	REVISIÓN DE LOS SELLOS	TRIMESTRALMENTE	MECÁNICO Y OPERARIO
			5r	S	N	N	S	S	.....	.....	.....	.....	.....	.....	LIMPIEZA DE LOS GRASEROS, PUNTOS DE LUBRICACIÓN Y VERIFICAR EL TIPO DE LUBRICANTE RECOMENDADO.	CADA 500 HORAS DE TRABAJO	MECÁNICO Y OPERARIO
			5s	S	S	.....	.....	N	S	.....	.....	.....	.....	.....	PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	TRIMESTRALMENTE	ELÉCTRICO
			6v	S	S	.....	.....	S	.....	.....	.....	.....	.....	.....	INSPECCION DE LA CARCAZA DEL MOTOR	SEMANALMENTE	OPERARIO
			5u	S	N	N	N	S	.....	.....	.....	.....	.....	.....	OBSERVAR SI EXISTE FILTRACIONES EN EL TECHO	DIARIAMENTE	OPERARIO
			4n	S	S	.....	.....	S	.....	.....	.....	.....	.....	.....	REVISIÓN DEL VENTILADOR DEL MOTOR	MENSUALMENTE	OPERARIO
	4p	N	.....	.....	.....	S	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	LIMPIEZA DE LA REJILLA DE VENTILACIÓN DEL MOTOR	SEMANALMENTE	OPERARIO	
	2	3y	S	N	S	.....	S	.....	.....	.....	.....	.....	.....	CAMBIO DE GRASA EN LA CAJA DE ENGRANES .	CADA 1500 HORAS DE TRABAJO	MECÁNICO Y OPERARIO	
		3z	S	S	.....	.....	S	.....	.....	.....	.....	.....	.....	ALINEACION DEL CONJUNTO MOTOR- CAJA DE ENGRANAJES	ANUALMENTE	ESPECIALISTA DE MANTENIMIENTO	
	B	3	3gg	N	.....	.....	.....	S	.....	.....	.....	.....	.....	LIMPIEZA CON ADITIVO ANTEADHERENTE DE HORMIGÓN A LA OLLA DEL MIXER.	DIARIAMENTE	OPERARIO	
	C	4	2cc	S	S	.....	.....	S	.....	.....	.....	.....	.....	CAMBIO DE PALETAS.	MENSUALMENTE	OPERARIO	
		5	3hh	S	N	N	S	S	.....	.....	.....	.....	.....	REVISIÓN DE CAJA DE ENGRANAJES.	CADA 5000 HORAS DE TRABAJO	MECÁNICO Y OPERARIO	
		6	3jj	S	S	.....	.....	S	.....	.....	.....	.....	.....	CAMBIO DE ENGRANAJES.		MECÁNICO Y OPERARIO	
D	7	3mm	N	.....	.....	.....	S	.....	.....	.....	.....	.....	COMPRUEBE QUE NO HAYA PERNOS FLOJOS EN LAS CONEXIONES	ANUALMENTE	OPERARIO		

Fuente: Autores

### 3.6.4 Plan de mantenimiento.

Tabla 45-3 Plan inicial de mantenimiento.

PLAN INICIAL DE MANTENIMIENTO		
Tarea propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
CAMBIO DE RODAMIENTOS	CADA 10000 A 14000 HORAS DE FUNCIONAMIENTO	MECÁNICO Y OPERARIO
REVISIÓN DE LOS SELLOS	TRIMESTRALMENTE	MECÁNICO Y OPERARIO
LIMPIEZA DE LOS GRASEROS, PUNTOS DE LUBRICACIÓN Y VERIFICAR EL TIPO DE LUBRICANTE RECOMENDADO.	CADA 500 HORAS DE TRABAJO	MECÁNICO Y OPERARIO
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	TRIMESTRALMENTE	ELÉCTRICO
INSPECCION DE LA CARCAZA DEL MOTOR	SEMANALMENTE	OPERARIO
OBSERVAR SI EXISTE FILTRACIONES EN EL TECHO	DIARIAMENTE	OPERARIO
REVISIÓN DEL VENTILADOR DEL MOTOR	MENSUALMENTE	OPERARIO
LIMPIEZA DE LA REJILLA DE VENTILACIÓN DEL MOTOR	SEMANALMENTE	OPERARIO
CAMBIO DE GRASA EN LA CAJA DE ENGRANES .	CADA 1500 HORAS DE TRABAJO	MECÁNICO Y OPERARIO
ALINEACION DEL CONJUNTO MOTOR- CAJA DE ENGRANAJES	ANUALMENTE	ESPECIALISTA DE MANTENIMIENTO
LIMPIEZA CON ADITIVO ANTEADHERENTE DE HORMIGÓN A LA OLLA DEL MIXER.	DIARIAMENTE	OPERARIO
REVISIÓN DEL SENSOR DE HUMEDAD	DIARIAMENTE	OPERARIO
CAMBIO DE PALETAS.	MENSUALMENTE	OPERARIO
REVISIÓN DE CAJA DE ENGRANAJES.	CADA 5000 HORAS DE TRABAJO	MECÁNICO Y OPERARIO
CAMBIO DE ENGRANAJES.	CADA 5000 HORAS DE TRABAJO	MECÁNICO Y OPERARIO
INSPECCION DE ELEMENTOS DEL MOTOR.	TRIMESTRALMENTE	OPERARIO
COMPRUEBE QUE NO HA YA PERNOS FLOJOS EN LAS CONEXIONES	SEMANALMENTE	OPERARIO

Fuente: Autores

## **CAPITULO IV**

### **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **4.1 CONCLUSIONES**

1. La confiabilidad del sistema de 25,21% se considera como inaceptable según el las políticas interna coeficiente de Cronbach
2. Se determinó que el activo crítico en el sistema es la mezcladora con un 54,45 % de confiabilidad.
3. Se estableció un plan de mantenimiento para la mezcladora.



## **4.2 RECOMENDACIONES.**

1. Implementar el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.
2. Los operadores y el personal de mantenimiento deben encargarse de realizar el debido control y una organización de los historiales de fallas.
3. Estimar la confiabilidad de cada equipo según su estado de trabajo, a un tiempo establecido, que permita obtener el valor de confiabilidad actualizado de la central de hormigonado.
4. Realizar una calibración de las básculas para agregados cemento y aditivo con el fin de saber la dosificación real por peso.
5. Capacitar al personal de mantenimiento de la planta en la importancia de realizar las tareas propuestas.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

**MORA, Luis. A.** *Mantenimiento Industrial Efectivo*. 1ra ed. Medellín Córdoba: Litográficas Limitada, 2009, pp. 50-65.

**MESA, Darío H.** *La Confiabilidad, la Disponibilidad y la Mantenibilidad, disciplinas modernas Aplicadas al Mantenimiento*. Colombia: Scientia et Technica 2006, pp. 155-159.

**MORA, Luis. A.** *Mantenimiento Planeación, ejecución y control*. Bogotá Colombia: Alfaomega, 2009, pp. 80-95.

**MOUBRAY, John. M.** *Mantenimiento centrado en confiabilidad Reliability - Centred Maintenance*. Segunda edición. Madrid: Aladon Ltd. 2004, pp. 25-200

**MORA, Luis. A.** *Mantenimiento Estratégico Empresarial enfoque sistémico kantiano*. Medellín Colombia: Editorial Universidad (EAFIT). 2007, pp. 20-25.

**GONZÁLES, Francisco. J.** *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado*. España: Fundación Confemental. 2010, pp. 65-86.

**TORRES, Leandro. D.** *Mantenimiento su implementación y gestión*. Buenos Aires Argentina: Universitas Libros. 2010, pp. 120-125.

**MIÑO, Melenia. P.** Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (RAM) de un Motor de Combustión Interna *Wartsila (maestria)*, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba Ecuador.2015, pp. 25-75.

**ROSS, Sheldon M.** *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. 2da ed. México: McGraw-Hill 2002, pp. 56-62.

**HERNÁNDEZ, Eduardo.** *Optimización de plan de mantenimiento*. Vol. 1 (2016), (Ecuador) pp. 1-45.

**ONE-EN-1168.** *Elaboración de lozas alveolares*.

**AENOR UNE-EN 13306.** *Terminología de mantenimiento*.

**UNE-EN 15341:2008** *Mantenimiento. Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento*.

**CARRIÓN, Monica.** *Fiabilidad de máquinas*. Vol. 1 (2010), (Ecuador) pp. 1-35.

**GALLARA, Iván.** *Mantenimiento Industrial, colección gestión industrial*. 1ra ed. Córdoba: Universitas libros, 2009, pp. 155-158.

**CORNO, Federico.** CAD Group - Politecnico di Torino [En línea] Politecnico di Torino Dipartimento di Automatica e Informatica, 2012. [Citado el: 07 de julio de 2016.] [http://www.cad.polito.it/projects/European\\_Union\\_Projects\\_\(terminated\)/TOSCA/calculo.pdf](http://www.cad.polito.it/projects/European_Union_Projects_(terminated)/TOSCA/calculo.pdf).

**Google.** maps. [En línea] [Citado el: 21 de 06 de 2016.] ds  
<https://www.google.com.ec/maps/dir//EPCE+Empresa+Publica+Cementera,+Unnamed+Rd,+Hill+City,+MN+55748,+Estados+Unidos/@-1.6575191,-78.7615403,580m/data=!3m1!1e3!4m1!1m7!3m6!1s0x91d305ef31cc7851:0xd6f35b81749cd2f2!2sEPCE+Empresa+Publica+Cementera!3b1!8m2!3d>.

