

Universidad Católica de Santa María  
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales  
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y  
Mecatrónica



**“IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ANÁLISIS  
CAUSA RAIZ AL TREN DE RODAMIENTO DEL TRACTOR DE ORUGAS D8T  
CAT PARA LA EMPRESA CONSTRUCTORAS GENERALES DYL E.I.R.L”**

Tesis presentada por el Bachiller  
Valdivia Paredes, Marcelo Ignacio  
para optar el Título profesional de:  
Ingeniero Mecánico

Asesor: Quispe Ccachuco Marcelo Jaime

**Arequipa-Perú  
2021**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 01 de Febrero del 2021

**Dictamen: 002792-C-EPIMMEM-2021**

Visto el borrador del expediente 002792, presentado por:

**2011224211 - VALDIVIA PAREDES MARCELO IGNACIO**

Titulado:

**IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ANÁLISIS CAUSA RAIZ AL TREN  
DE RODAMIENTO DEL TRACTOR DE ORUGAS D8T CAT PARA LA EMPRESA CONSTRUCTORAS  
GENERALES DYL E.I.R.L**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**1733 - VALENCIA SALAS MARIO JOSE  
DICTAMINADOR**



**1828 - GORDILLO ANDIA CARLOS ALBERTO  
DICTAMINADOR**




**2396 - CACERES NUÑEZ AUGUSTO EMILIO CARLOS  
DICTAMINADOR**



## DEDICATORIA

A Dios, porque él es el camino,  
la sabiduría y el todopoderoso.



A mi familia,  
A mi novia y amigos, que con su ayuda  
he podido lograr todo lo que tengo en esta vida

## RESUMÉN

La empresa Constructoras Generales DyL, perteneciente a la ciudad de Moquegua, es ampliamente reconocida debido a su vasta experiencia en el rubro de maquinaria pesada.

Su parque de máquinas actual cuenta con 15 equipos en lo que respecta a línea amarilla y 10 equipos en línea blanca. Actualmente están en varios frentes mineros y de construcción locales como: Quellaveco, Toquepala, Cuajone, Gobierno Regional de Moquegua, entre otros.

La mayor parte del equipo pesado en la empresa corresponde a la marca Caterpillar, en la cual se evidencio una falla potencial ocasionada en el tractor de orugas D8T, para lo que utilizamos el Análisis Causa Raíz (ACR) como estrategia de mantenimiento a fin de encontrar el causal y poder estudiarlo y evitar su concurrencia.

Hoy en día, varias empresas cuentan con gran parque de máquinas, pero no se detienen a evaluar y examinar estos costos ocultos que ocasionan se eleve el costo por hora estándar del equipo, perjudicando notablemente la disponibilidad y confiabilidad en las máquinas.

Se tiene como principal tarea demostrar que, aplicando esta metodología, la empresa podrá tener ahorros significativos tanto en los costos operativos del equipo, como también aumentar factores importantes en lo que refiere a disponibilidad operativa y confiabilidad de la máquina.

La metodología está compuesta de 5 pasos o fases las cuales nos ayudaran a encontrar la causa raíz al evento no deseado, será aplicada sobre el tren de rodaje del tractor de orugas D8T de la marca Caterpillar para poder tangibilizar los resultados.

Después de haber implementado la estrategia de mantenimiento ACR, se logró generar un ahorro de más del 50% en costos de carrilería, asimismo se logró demostrar las causas raíces y tomar acciones correctivas para eliminar la concurrencia y aparición de estas.

**Palabras clave:** Modos fallas, análisis causa raíz, acciones correctivas.

## ABSTRACT

The Constructoras Generales DyL company, belonging to the city of Moquegua, is widely recognized due to its vast experience in the heavy machinery industry.

Its current machine park has 15 assets regarding the yellow line and 10 assets in the white line. Currently they are in several local mining and construction fronts such as: Quellaveco, Toquepala, Cuajone, Regional Government of Moquegua, among others.

Most of the heavy equipment in the company corresponds to the Caterpillar brand, in which a potential failure caused in the D8T crawler tractor was evidenced, for which we used the Root Cause Analysis (ACR) as a maintenance strategy in order to find the cause and be able to study it and avoid its concurrence.

Today, several companies have a large fleet of machines, but they do not stop to evaluate and examine these hidden costs that cause the cost per standard hour of the equipment to rise, significantly damaging the availability and reliability of the machines.

Its main task is to demonstrate that, by applying this methodology, the company will be able to have significant savings both in the operating costs of the equipment, as well as increase important factors in terms of operational availability and reliability of the machine.

The methodology is composed of 5 steps or phases which will help us find the root cause of the unwanted event, it will be applied on the undercarriage of the Caterpillar brand D8T crawler tractor to make the results tangible.

After having implemented the ACR maintenance strategy, it was possible to demonstrate saving more than 50% in costs of undercarriage, also we find the root causes and take corrective actions to eliminate the occurrence and appearance of these.

**Keywords:** Failures, root cause analysis, corrective actions.

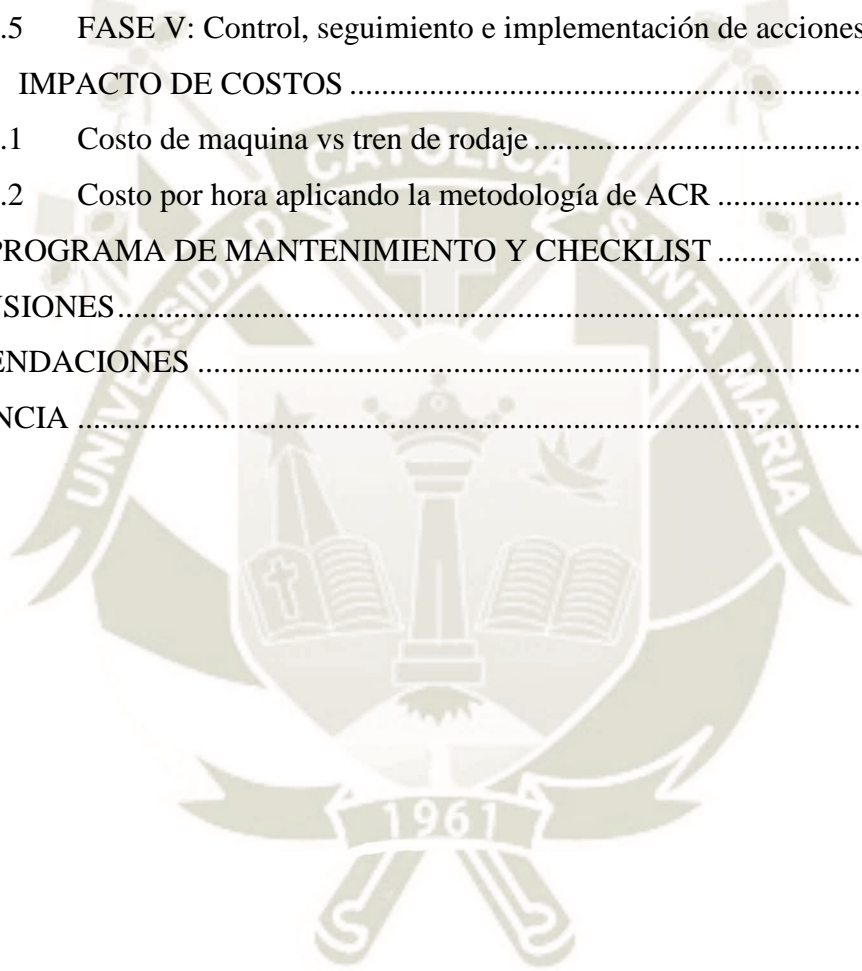
## INDICE

DEDICATORIA.....	ii
RESUMÉN.....	iv
ABSTRACT.....	v
CAPITULO I.....	1
1. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. HIPÓTESIS.....	3
1.5. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	3
1.6. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	4
1.7. LIMITES Y ALCANCES.....	4
CAPITULO II.....	5
2. ANÁLISIS SITUACIONAL DE LA EMPRESA.....	5
2.1. EMPRESA.....	5
2.2. SITUACIÓN GENERAL.....	5
2.2.1. Ubicación geográfica y distribución.....	5
2.2.2. Políticas de Mantenimiento.....	6
2.3. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA.....	8
2.4. VISIÓN Y MISIÓN DE LA EMPRESA.....	8
2.5. OBJETIVOS DE LA EMPRESA.....	9
2.6. SERVICIOS QUE BRINDA LA EMPRESA.....	9
CAPITULO III.....	10
3. MARCO TEÓRICO ANÁLISIS CAUSA RAÍZ.....	10
3.1. ANÁLISIS CAUSA RAÍZ.....	10
3.2. ACR COMO HERRAMIENTA EN LA CONFIABILIDAD.....	13
3.3. CONCEPTOS BÁSICOS DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ.....	15
3.4. DETECCIÓN Y ANÁLISIS DE FALLAS.....	18

3.4.1.	Teoría de fallas.....	18
3.4.2.	ACR como método cualitativo para el análisis de fallas .....	19
3.4.3.	Tipos de fallas.....	19
3.5.	ANÁLISIS DE CRITICIDAD- ACR.....	21
3.5.1.	Criticidad .....	21
3.5.2.	Criterio para la determinación de criticidad de sistemas .....	22
3.5.3.	Matriz Cuantitativa .....	23
3.5.4.	Resultados de la evaluación de criticidad. ....	27
CAPITULO IV .....		28
4. MARCO TEORICO DEL TRACTOR ORUGA.....		28
4.1.	DESCOMPONETIZACIÓN DE TRACTOR DE ORUGAS D8T.....	33
4.2.	TREN DE RODAMIENTO .....	36
4.2.1.	Eslabones .....	37
4.2.2.	Pasador de cadena.....	40
4.2.3.	Bujes de Cadena.....	42
4.2.4.	Sellos de Cadena.....	44
4.2.5.	Sprockets.....	47
4.2.6.	Zapatas de Cadena .....	48
4.2.7.	Pernos de Cadena.....	50
4.2.8.	Tuercas de cadena.....	51
4.2.9.	Rodillos de Cadena .....	51
4.2.10	Rueda guía .....	52
CAPITULO V .....		54
5. HERRAMIENTAS Y METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ.....		54
5.1.	INTRODUCCIÓN A LAS HERRAMIENTAS.....	54
5.2.	ANÁLISIS DE ÁRBOL LÓGICO DE FALLAS .....	54
5.2.1.	Metodología del árbol lógico de fallas (árbol de falla).....	55
5.2.2.	Desarrollo del árbol lógico de fallas .....	58
5.3.	ÁRBOL DE OMISIONES Y RIESGO ADMINISTRATIVOS (MORT).....	61
5.3.1.	Enfoque general de Mort .....	62
5.3.2.	Estructura de Mort .....	63

5.4.	HERRAMIENTA KEPNER-TREGOE .....	65
5.4.1.	Definición del problema en la herramienta kepner-tregoe .....	66
5.4.2.	Describir el problema.....	67
5.4.3.	Determinar las causas posibles .....	68
5.5.	CINCO PORQUÉS PARA RESOLVER PROBLEMAS .....	69
5.5.1.	Cómo utilizar los cinco porqués .....	70
5.5.2.	Dominio de los cinco porqués .....	71
5.6.	DIAGRAMA DE ISHIKAWA O ESPINA DE PESCADO.....	72
5.6.1.	Creación del diagrama ishiikawa o espina de pescado .....	74
5.7.	ANÁLISIS DE EVENTOS Y FACTORES CAUSALES .....	76
5.7.1.	Descripción de la técnica .....	77
5.7.2.	Criterios para la descripción de eventos y condiciones .....	78
5.7.3.	Construcción del diagrama .....	79
5.8.	ANÁLISIS DE BARRERAS .....	79
5.8.1.	Construcción de una hoja de trabajo para el análisis de barreras .....	83
5.8.2.	Resultados del análisis de barreras .....	83
5.9.	ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLOS.....	83
5.10.	RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DE HERRAMIENTA.....	86
5.11.	METODOLOGÍA Y CRITERIOS PARA INICIAR UN ACR.....	86
5.12.	PROCEDIMIENTO DE LA METODOLOGÍA ANÁLISIS CAUSA RAÍZ....	87
5.13.	PROCEDIMIENTO DE LA METODOLOGÍA ACR.....	89
5.14.	FASE I: IDENTIFICACIÓN Y RECOPIACIÓN DE DATOS .....	91
5.14.1	Identificación del evento a investigar .....	91
5.14.2	Recopilación de la información .....	92
5.15	FASE II: EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL EVENTO .....	94
5.16	FASE III: DECISIONES Y ACCIONES CORRECTIVAS .....	96
5.17	FASE IV: COMUNICACIÓN DE RESULTADOS .....	97
5.18	FASE V: IMPLEMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO .....	98
CAPITULO VI.....		99
6	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ACR AL TREN DE RODAJE .....	99
6.1	DESCRIPCIÓN DEL EVENTO NO DESEADO .....	99

6.2	CONFORMACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO.....	100
6.3	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ANÁLISIS CAUSA RAÍZ .....	101
6.3.1	FASE I: Recopilación de información del evento no deseado .....	101
6.3.2	FASE II: Evaluación y análisis del evento no deseado.....	104
6.3.3	FASE III: Toma de decisiones y acciones correctivas del evento .....	111
6.3.4	FASE IV: Comunicación de resultados .....	113
6.3.5	FASE V: Control, seguimiento e implementación de acciones.....	114
6.4	IMPACTO DE COSTOS .....	115
6.4.1	Costo de maquina vs tren de rodaje .....	115
6.4.2	Costo por hora aplicando la metodología de ACR .....	116
6.5.	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO Y CHECKLIST .....	118
	CONCLUSIONES.....	120
	RECOMENDACIONES .....	121
	REFERENCIA .....	122



## INDICE DE FIGURAS

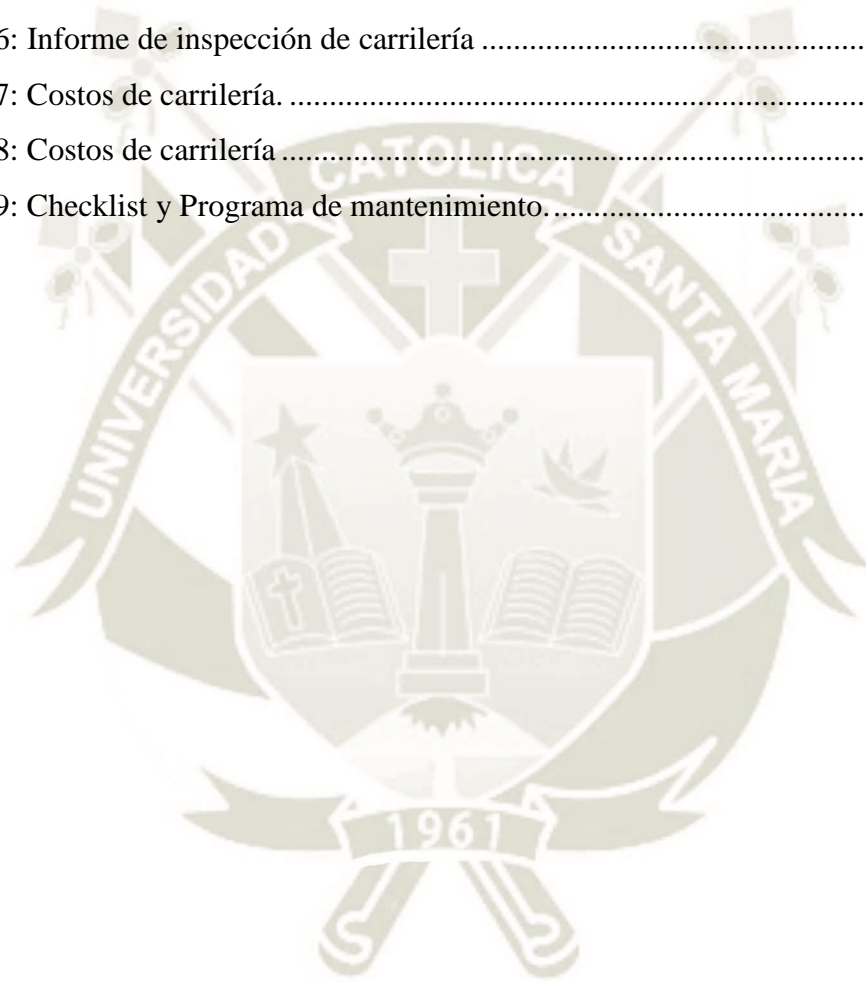
Figura 1: Imagen referencial taller Constructoras Generales DyL. ....	6
Figura 2: Organigrama funcional de la empresa. ....	8
Figura 3: Ciclo de Análisis Causa Raíz. ....	10
Figura 4: Analogía causa raíz. ....	12
Figura 5: Analogía causa raíz. ....	14
Figura 6: Tractor de Orugas Caterpillar Modelo D8T ....	28
Figura 7: Rueda motriz elevada. ....	29
Figura 8: Tren de rodaje CAT. ....	36
Figura 9: Eslabón de cadena. ....	37
Figura 10: Eslabón de Cadena. ....	39
Figura 11: Eslabón Master. ....	40
Figura 12: Pin de Cadena. ....	41
Figura 13: Asiento de Tuerca Autoblocante de Eslabón. ....	41
Figura 14: Buje de cadena. ....	42
Figura 15: Segmento de Cadena Sellada y Lubricada. ....	43
Figura 16: Eslabón, Pin y Buje de Cadena. ....	44
Figura 17: Sellos de cadena lubricada con grasa. ....	45
Figura 18: Sello rígido de cadena. ....	46
Figura 19: Segmento de sprocket. ....	47
Figura 20: Zapata de cadena. ....	48
Figura 21: Tipos de zapata. ....	49
Figura 22: Perno de cadena. ....	50
Figura 23: Tuerca de cadena. ....	51
Figura 24: Rodillos de Cadena. ....	52
Figura 25: Rueda Guía. ....	53
Figura 26: Representación gráfica del árbol lógico de fallas. ....	57
Figura 27: Ejemplo de una puerta lógica tipo O. ....	60
Figura 28: Ejemplo de una puerta lógica tipo Y. ....	61
Figura 29: Esquema de la práctica de los 5 porqués. ....	71

Figura 30: Esquema de espina de pescado .....	73
Figura 31: Esquema de espina de pescado para la boca de una tina ovalada. ....	74
Figura 32: Diagrama de eventos y factores causales I. ....	77
Figura 33: Diagrama de eventos y factores causales II. ....	78
Figura 34: Diagrama de eventos y factores causales. ....	78
Figura 35: Diagrama de eventos y factores causales. ....	80
Figura 36: Equipo de trabajo ACR. ....	88
Figura 37: Etapas del ACR. ....	91
Figura 38: Tractor descarrilado. ....	99
Figura 39: Equipo de trabajo. ....	100
Figura 40: Desgaste interno excesivo por junta seca. ....	102
Figura 41: Fractura de bocina por junta seca. ....	103
Figura 42: Fractura de bocina por junta seca. ....	103
Figura 43: Fractura de bocina por junta seca. ....	104
Figura 44: Diagrama de Ishikawa .....	110
Figura 45: Identificación de causas raíces en diagrama Ishikawa. ....	110
Figura 46: Control de la comba. ....	112

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Mantenimiento preventivo Tractor de Orugas CAT D8T .....	7
Cuadro 2: Tipos de fallas.....	20
Cuadro 3: Criterio de criticidad por riesgo.....	22
Cuadro 4: Matriz de cuantitativa .....	23
Cuadro 5: Matriz de criticidad y riesgo .....	23
Cuadro 6: Criterio de criticidad para tren de rodaje .....	24
Cuadro 7: Matriz de criticidad para tren de rodaje.....	25
Cuadro 8: Criterio de criticidad para tren de potencia .....	25
Cuadro 9: Matriz de criticidad para tren de potencia .....	26
Cuadro 10: Criterio de criticidad para el sistema hidráulico.....	26
Cuadro 11: Matriz de criticidad para sistema hidráulico.....	27
Cuadro 12: Resultados de criticidad de los sistemas principales .....	27
Cuadro 13: Especificaciones de motor C15 .....	29
Cuadro 14: Especificaciones de capacidades de llenado y pesos D8T.....	30
Cuadro 15: Especificaciones de tren de rodaje D8T.. .....	31
Cuadro 16: Especificaciones de velocidades de transmisión D8T.....	31
Cuadro 17: Medidas tractor de orugas D8T. ....	32
Cuadro 18: Descomponetizacion tractor de orugas D8T.....	33
Cuadro 19: Costo de los sistemas principales Tractor de Orugas D8T.....	35
Cuadro 20: Costo del tren de rodaje Tractor de Orugas D8T.....	35
Cuadro 21: Símbolos utilizados para la representación del árbol lógico de fallas. ....	58
Cuadro 22: Símbolos utilizados para la representación del árbol lógico de fallas. ....	63
Cuadro 23: Plantilla para describir el problema .....	67
Cuadro 24: Plantilla para describir el problema. ....	68
Cuadro 25: Plantilla para describir el problema. ....	69
Cuadro 26: Plantilla para describir el problema. ....	81
Cuadro 27: Hoja de Trabajo del Análisis de Barreras.....	83
Cuadro 28: Formato de AMEF.....	85
Cuadro 29: Aplicación y limitantes de algunas herramientas del ACR. ....	95

Cuadro 30: Informe de resumen del ACR.....	97
Cuadro 31: Fases para el ACR. ....	101
Cuadro 32: Lluvia de ideas.....	105
Cuadro 33: Lluvia de ideas.....	106
Cuadro 34: AMEF descarrilamiento tractor D8T.....	107
Cuadro 35: Acciones correctivas propuestas para el evento no deseado. ....	112
Cuadro 36: Informe de inspección de carrilería .....	113
Cuadro 37: Costos de carrilería.....	116
Cuadro 38: Costos de carrilería.....	118
Cuadro 39: Checklist y Programa de mantenimiento.....	119



## CAPITULO I

### 1. ASPECTOS GENERALES

#### 1.1. INTRODUCCIÓN

Una de las actividades más importantes en la Ingeniería de Confiabilidad es el Análisis Causa Raíz (ACR), puede ser definido como: Riguroso método de solución de problemas, para cualquier tipo de fallas, que utiliza la lógica sistémica y el árbol de causa raíz de fallas, usando la deducción y prueba de los hechos que conducen a las causas reales.

El principal objetivo del ACR es determinar el origen de la falla, frecuencia e impacto el cual genera, en este caso a la máquina. Esto se da debido a un estudio completo de los factores, condiciones, elementos y afines que podrían originarla, con la finalidad de mitigarla o eliminarla por completo una vez que se tomen las medidas correctivas que sugiere este análisis. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Debido a estos factores se realiza el presente trabajo, con el fin de proporcionar a la empresa Constructoras Generales DyL E.I.R.L un análisis causa raíz, a las fallas que ocurre en el tractor de orugas D8T CAT por ser su principal activo y de suma importancia dentro de su parque de máquinas.

Actualmente no muchas empresas consideran esta estrategia como una variable importante, por lo que con este trabajo demostraremos que aplicándola podremos tener mejoras significativas, resaltando la reducción de costos y alargando la vida útil de diversos componentes.

El Análisis Causa Raíz (ACR) nos da el beneficio de reconocer un patrón de fallas, por lo cual evitamos la repetición de las mismas. Aumenta la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de los equipos, también mejora condiciones de seguridad evitando tiempos improductivos necesarios, los cuales reducen el número de incidentes, impactos ambientales y accidentes.

La aplicación de esta estrategia es también considerada una compleja actividad

técnico-económica que tiene por finalidad la conservación de los activos físicos, maximizando la calidad de servicios de las unidades, para lograr estos objetivos se debe aplicar estrategias adecuadas las cuales determinaran un ahorro de dinero importante.

Con la innovación en tiempos actuales de constante desarrollo tecnológico, los equipos son cada vez más sofisticados, con sistemas de producción activos en los que la calidad y el precio son factores determinantes. Para la permanencia de las empresas en el mercado, es primordial que las organizaciones respondan a las nuevas corrientes administrativas, a efecto de lograr un desarrollo integrado de sus recursos, obedeciendo a una planificación estratégica eficiente, para enfrentar los retos de una competencia. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La Empresa Constructoras Generales DYL E.I.R.L dentro de sus funciones de brindar servicio de alquiler de maquinaria pesada, brinda servicios de mantenimiento correctivo y adicionalmente cuenta con una flota de camiones para transporte logístico.

En el taller se encuentran las máquinas y almacén de repuestos, está ubicado en el distrito de Chen Chen Mariscal Nieto Moquegua- Perú. Los principales clientes de la empresa son las municipalidades de Tacna Moquegua y alrededores, también contratistas de la mina Quellaveco y Pucamarca. Como empresa realizan servicios de mantenimiento dada la vasta experiencia que tienen en el rubro. Actualmente cuenta con un parque de más de 10 máquinas Caterpillar.

Esta empresa se encuentra dentro de las más referidas de Moquegua, al dedicarse al alquiler de maquinaria pesada, es de suma importancia identificar las fallas potenciales presentadas anteriormente respecto al tren de rodaje del tractor de orugas D8T Caterpillar, ya que ocasionan grandes pérdidas de dinero y tiempo.

La aplicación del ACR es una de las estrategias que resuelve el problema anterior, con una estructura que permite llevar a cabo la evaluación y selección de

tareas, que se pueda implementar en forma rápida y segura, esta técnica es única en su género y conduce a obtener resultados extraordinarios en mejoras y rendimiento del equipo. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Implementar la Estrategia de Mantenimiento Análisis Causa Raíz como herramienta clave en el análisis del evento no deseado ocurrido al tren de rodaje del tractor de orugas D8T CAT para la Empresa Constructoras Generales DYL E.I.R.L.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Realizar la descomponetización del tractor oruga según Norma ISO 14224
- Evaluar y obtener los componentes más críticos del tren de rodaje
- Efectuar análisis causa raíz a los componentes críticos del tren de rodaje.
- Realizar una evaluación técnico económica a los componentes del tren de rodaje críticos.
- Plantear un programa de mantenimiento proactivo al sistema del tren de rodaje.

### **1.4. HIPÓTESIS**

- Si elaboramos una estrategia ACR proactiva para el tren de rodaje del tractor de orugas D8T CAT, podremos lograr una mejora en la disponibilidad.
- Si efectuamos una estrategia ACR proactiva para el tren de rodaje del tractor de orugas D8T CAT, podremos lograr una mejora en la mantenibilidad.
- Si realizamos una estrategia ACR proactiva para el tren de rodaje del tractor de orugas D8T CAT, podremos lograr una mejora en la confiabilidad.

### **1.5. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA**

Actualmente la empresa aplica mayormente los mantenimientos correctivos, salvo

los preventivos recomendados por el fabricante, pero no va más allá de ello. Al no tener control ni visión acerca de los componentes del tren de rodaje de su máquina, una falla catastrófica, puede suceder el cualquier momento.

De acuerdo a los últimos avances de Caterpillar, se cuenta con varias herramientas tecnológicas, las cuales pueden brindar desde el estado actual del desgaste de componentes, así como una sutil predicción de cuando se deberían cambiar.

### **1.6. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA**

El costo de un tren de rodaje llega hasta un 60% del costo de mantenimiento y reparación del equipo. Con una buena estrategia de mantenimiento, se puede lograr extender la vida útil de los componentes, minimizar el tiempo muerto y reducir el desgaste acelerado.

Teniendo una proyección y control adecuado de carrilería, se puede evitar paradas imprevistas las cuales en costo son 50% más perjudiciales que las programadas.

### **1.7. LIMITES Y ALCANCES**

El presente trabajo tiene como centro de alcance el área de mantenimiento de la empresa de los equipos y maquinas en cuestión, la misma que presenta la problemática más álgida y que exige una adecuada estrategia ACR para prevenir fallas comunes.

Son limitaciones, el acceso de información debido a que la empresa está en etapa de expansión y no registra adecuadamente la data.

La disposición de algunos de los directivos de la empresa para colaborar con la presente investigación por motivos de tiempo.

## CAPITULO II

### 2. ANÁLISIS SITUACIONAL DE LA EMPRESA

#### 2.1. EMPRESA

LA EMPRESA CONSTRUCTORAS GENERALES DYL E.I.R.L es una empresa que ofrece los servicios de alquiler de maquinaria pesada, cuenta con 8 excavadoras hidráulicas y 2 tractores de orugas Caterpillar. También ofrece servicios de mantenimiento de maquinarias a terceros, y cuentan con una flota de tractos los cuales principalmente transportan maquinarias a diversos frentes. Los clientes con los que trabaja son contratistas de la mina Quellaveco y municipalidades de Tacna y Moquegua.

Cuenta con una oficina administrativa y también con un taller en el cual realiza los mantenimientos correctivos y preventivos a sus equipos. La empresa tiene más de 10 años de experiencia en el rubro.

El taller tiene todos los equipos necesarios para realizar diversas reparaciones, tales como recalzado de zapatas, reparación de cilindros hidráulicos, entre otros.

#### 2.2. SITUACIÓN GENERAL

A continuación, analizamos el taller desde un punto de vista general priorizando su ubicación y distribución que presenta.

##### 2.2.1. Ubicación geográfica y distribución

Actualmente el taller se encuentra ubicado en la zona industrial del distrito de CHEN CHEN-MOQUEGUA. La localización resulta ser optima cerca a varias empresas de maquinaria pesada, las cuales son contratistas y proveedores para la mina principal (Quellaveco).

Figura 1: Imagen referencial taller Constructoras Generales DyL.



**Fuente:** *Google (2020)*

El Taller cuenta con una sola planta con área de producción aproximada de 1000 m<sup>2</sup>. La distribución del taller se encuentra dividida en dos secciones como son: almacén y zona de equipos.

### **2.2.2. Políticas de Mantenimiento**

Actualmente la empresa cuenta con políticas de mantenimiento preventivas y correctivas, respecto al mantenimiento preventivo, este se realiza cada 250 horas y varía en un ciclo de 2000 horas, considerando el siguiente esquema:

Cuadro 1: Mantenimiento preventivo Tractor de Orugas CAT D8T

ITEM	SERVICIO INTERVALO DE HORAS	M.PREVENTIVO	GESTIÓN
1	250	PM1	Cambio de aceite de motor, filtro de aceite de motor y petróleo separador de agua y secundario
2	500	PM2	Misma ejecución que el PM1 pero se considera también el filtro de aire primario y todos los filtros hidráulicos
3	750	PM1	Cambio de aceite de motor, filtro de aceite de motor y petróleo separador de agua y secundario
4	1000	PM3	Misma ejecución que el PM2 pero se considera también el filtro de aire secundario y cambio de aceite de transmisión
5	1250	PM1	Cambio de aceite de motor, filtro de aceite de motor y petróleo separador de agua y secundario
6	1500	PM2	Misma ejecución que el PM1 pero se considera también el filtro de aire primario y todos los filtros hidráulicos
7	1750	PM1	Cambio de aceite de motor, filtro de aceite de motor y petróleo separador de agua y secundario
8	2000	PM4	Misma ejecución que el PM3 pero se considera también el aceite hidráulico y de mandos finales.

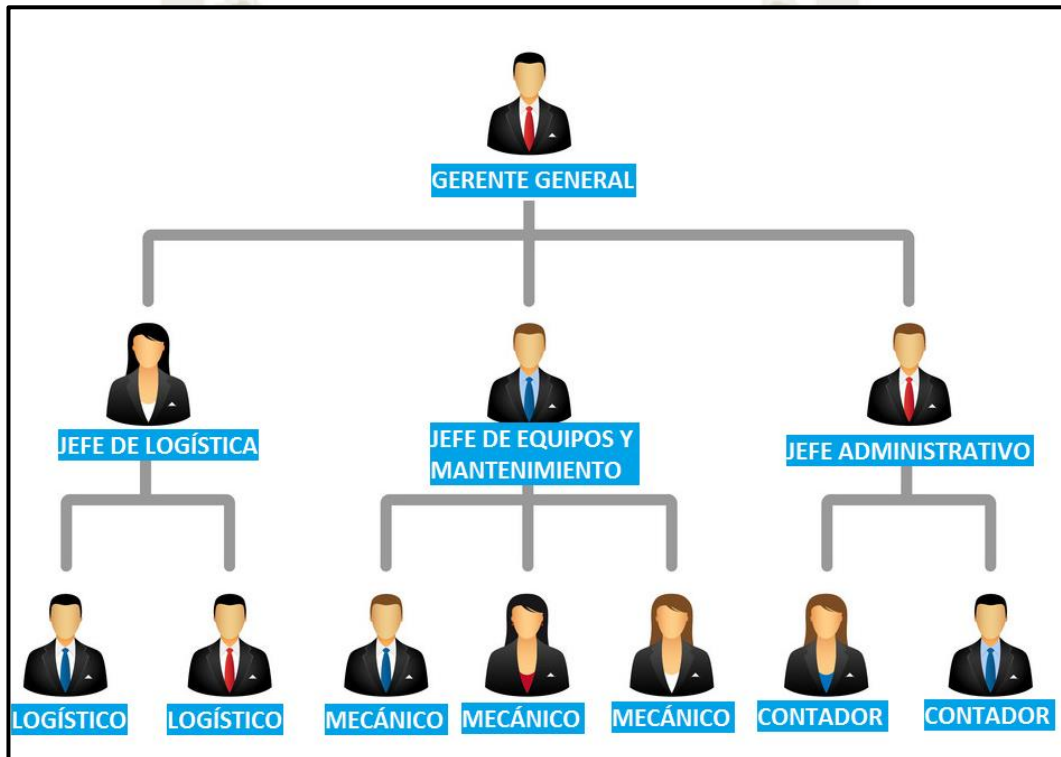
**Fuente:** (Elaboración propia)

El mantenimiento correctivo se gestiona de acuerdo a evaluación del técnico.

### 2.3. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA

En la Figura 2, tenemos el organigrama de la empresa Constructoras Generales DyL E.I.R.L, en el cual nos servirá de información sobre la división de funciones, niveles jerárquicos relaciones de dependencia y de coordinación entre otros.

Figura 2: Organigrama funcional de la empresa.



Fuente: *Elaboración propia*

### 2.4. VISIÓN Y MISIÓN DE LA EMPRESA

Para fijar los planes estratégicos y tácticos de la empresa, se tiene la misión y visión que sirven de guías.

#### Visión:

Consolidarse como empresa líder e innovadora en el mercado de alquiler de maquinaria pesada garantizando tiempos de trabajo continuos con mano de obra calificada.

**Misión:**

Poder brindar a nuestros clientes equipos los cuales puedan cumplir los exigentes requisitos del mercado, siendo responsables desde el principio y actuando con rapidez ante cualquier correctivo generando confianza y disponibilidad.

**2.5. OBJETIVOS DE LA EMPRESA**

- Ser líder en la prestación de servicios de alquiler de maquinaria pesada, servicios de mantenimiento y transporte logístico
- Brindar a los clientes altos estándares de calidad y garantía en los servicios ofrecidos.
- Garantizar tiempos de atención para reducir al máximo el tiempo de paradas.
- Amplia gama de servicios ante cualquier necesidad en el rubro.

**2.6. SERVICIOS QUE BRINDA LA EMPRESA**

Los servicios que ofrece la empresa cumplen con los parámetros requeridos por los contratistas tanto mineros como locales, se tiene una amplia gama de soluciones para diversas necesidades.

A continuación, se muestra los procesos que se desarrollan en la empresa:

- Servicio de alquiler de maquinaria pesada
- Servicio de mantenimiento especializado en gestión de mantenimiento correctivo y preventivo
- Servicio de recalzado de zapatas
- Servicio de barrenado y soldadura en general
- Servicio de transporte de maquinaria pesada

## CAPITULO III

### 3. MARCO TEÓRICO ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

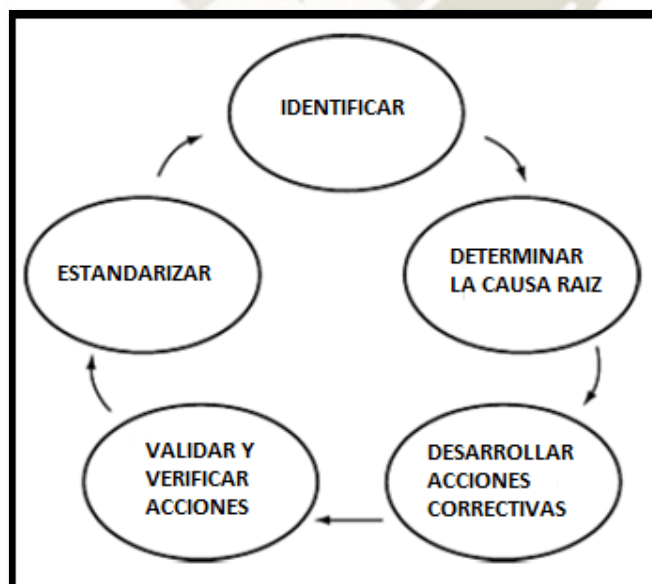
#### 3.1. ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

El Análisis Causa Raíz (ACR) es un método de solución de problemas para cualquier tipo de fallas, aplicando un conjunto de técnicas o procesos para identificar factores causales de accidentes o incidentes. El objetivo principal de este método es determinar el origen principal de la falla, con la finalidad de entenderla, ver de dónde se origina y finalmente mitigarla o eliminarla por completo.

El ACR es usado globalmente para determinar factores críticos o eventos insatisfactorios tanto en industrias de la seguridad, salud, calidad, medio ambiente, etc.

En resumen, el ACR es una herramienta la cual nos ayuda a identificar no solo el cómo y qué se produjo, sino poder entender, analizar, saber cómo se originó y llegar a la causa raíz para corregir y evitar una nueva concurrencia de este problema. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Figura 3: Ciclo de Análisis Causa Raíz.



**Fuente:** *Failure analysis and prevention vol 11 (2002)*

En la Figura 3 podremos encontrar un pequeño resumen de lo que consta el ACR en el cual indica los siguientes procesos:

- 1) **Identificar:** Definir la situación actual. Definir la deficiencia en términos de los síntomas (o indicadores). Determinar el impacto de la deficiencia en el componente, producto, sistema y cliente. Poner una meta. Recopilar datos para proporcionar una medida de la deficiencia.
- 2) **Determina una causa raíz:** Analizar el problema para determinar la(s) causa(s).
- 3) **Desarrolla acciones correctivas:** Enumerar las posibles soluciones para mitigar y prevenir la recurrencia del problema. Generar alternativas. Desarrollar un plan de implementación.
- 4) **Validar y verificar acciones correctivas:** Probar acciones correctivas en estudio piloto. Medir la efectividad del cambio. Validar mejoras. Verifique que el problema se corrija y mejore la satisfacción del cliente.
- 5) **Estandarizar:** Incorporar la acción correctiva en el sistema de documentación de normas de la empresa, organización o industria para evitar la recurrencia en productos o sistemas similares. Monitorear los cambios para asegurar eficacia. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Adicionalmente se considera que el análisis de fallas es el examen de las características y causas de fallas en los equipos o componentes. En la mayoría de los casos, esto implica la consideración de evidencia física y el uso de principios científicos y de ingeniería y herramientas analíticas. A menudo, la razón por la que se realiza un análisis de falla es caracterizar las causas de falla con el objetivo general para evitar la repetición de fallas similares. Sin embargo, el análisis de la evidencia física puede que no sea solamente adecuado para alcanzar este objetivo. El alcance de un análisis de falla puede, pero no necesariamente, conducir a una causa raíz corregible.

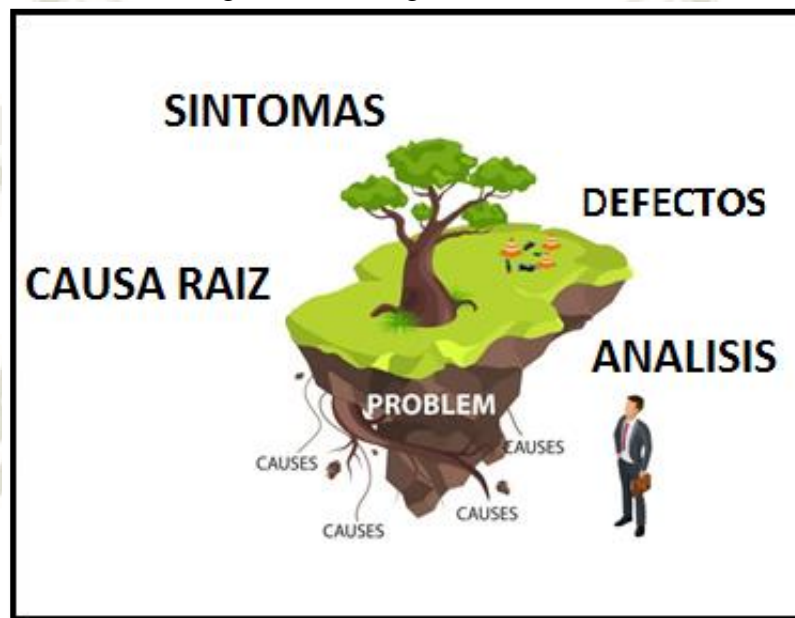
Muchas veces, un análisis de falla termina incorrectamente en la identificación del mecanismo de falla y quizás causales influencias. Los principios del análisis de causa raíz (ACR) pueden aplicarse para garantizar que se entienda la causa raíz y se pueden

identificar acciones correctivas apropiadas. Un ejercicio ACR puede ser simplemente un ejercicio mental momentáneo o un amplio análisis de cartografía logística.

La (s) causa (s) fundamental (es) que si se corrige evitará la recurrencia.

En la siguiente Figura 4 podremos encontrar niveles del ACR.

Figura 4: Analogía causa raíz.



**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Octubre del 2019 de <https://www.gradusct.com.br/o-que-e-analise-de-causa-raiz/>)

Los tres niveles de análisis de causa raíz son raíces físicas, raíces humanas y raíces latentes. Las raíces físicas, o las raíces de los problemas del equipo, son donde se detienen muchos análisis de fallas. Estas raíces pueden ser lo que viene fuera de una investigación de laboratorio o análisis de ingeniería y a menudo son hallazgos a nivel de componentes o materiales. Las raíces humanas (es decir, los problemas de las personas) involucran factores humanos que causaron la falla, un ejemplo es un error criterio. Las raíces latentes nos llevan a las causas del error humano e incluyen raíces que son organizativas o procesales en naturaleza, así como raíces ambientales u otras

que están fuera del ámbito de control. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

### **3.2. ACR COMO HERRAMIENTA EN LA CONFIABILIDAD**

La confiabilidad operacional se enfoca primordialmente en eliminar las fallas o accidentes / incidentes, en humanos, equipos de los cuales se erradican causas que generan baja confiabilidad y afectan los procesos junto con la rentabilidad.

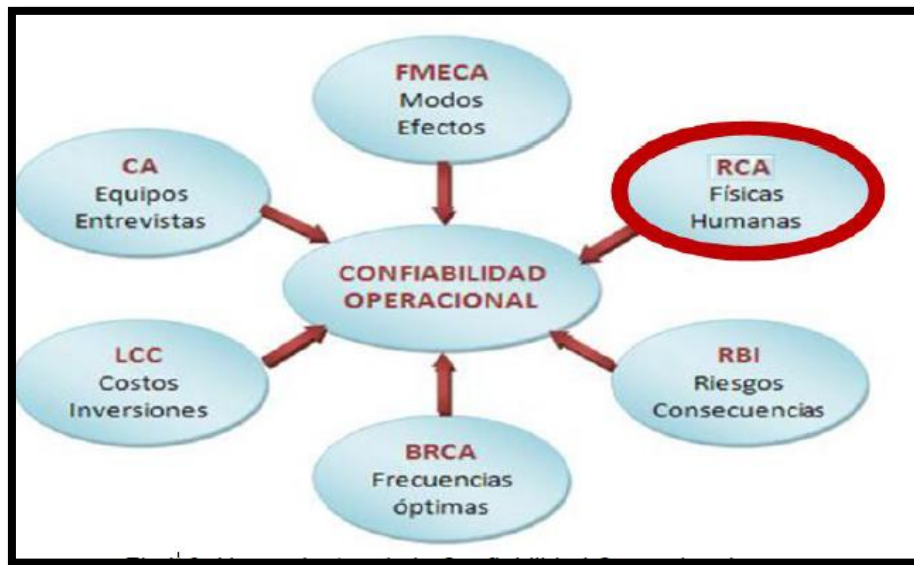
Básicamente se tienen cuatro procesos los cuales pueden garantizar un total control sobre la C.O: Confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, confiabilidad de los diseños y la confiabilidad de los equipos. Sobre estos cuatro procesos se debe actuar para tener un mejoramiento continuo y de largo plazo.

La C.O tiene varias herramientas las cuales permiten evaluar el comportamiento del activo, dentro de ellas se encuentra el ACR.

El ACR como se comentó anteriormente es la herramienta que nos va a ayudar a determinar las causas que generen algún acontecimiento no deseado que afecte tanto operacionalmente, como económicamente o en algún índice de seguridad.

En la siguiente Figura 5 se muestran las herramientas fundamentales y como participa el ACR en la C.O. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Figura 5: Analogía causa raíz.



**Fuente** (Figura recuperada el 1 de Octubre del 2019 de <http://confiabilidad.net/articulos/gestion-integral-de-mantenimiento-basada-en-confiabilidad/>)

**Análisis de Criticidad (CA).** Es una técnica que jerarquiza sistemas, equipos e instalaciones, en función al impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

**Análisis de Modos y efectos de Falla y Criticidad (FMECA).** Es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un determinado sistema, impacto y frecuencia con la que se presentan.

**Análisis Causa Raíz (RCA).** Es una técnica sistemática que se aplica con el objetivo de determinar las causas que originan las fallas, impactos y frecuencias de aparición, para poder mitigarlas o eliminarlas.

**Inspección Basada en Riesgos (RBI).** Es una técnica que ayuda a definir la probabilidad de falla de un equipo o sistema, y las consecuencias que estas puedan generar sobre la gente, el ambiente y procesos. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

**Análisis Costo Riesgo Beneficio (BRCA).** Es una metodología que permite establecer una combinación óptima entre los costos y beneficios que una determinada actividad pueda generar, considerando el riesgo que involucra la realización o no de tal.

**Costo del Ciclo de Vida (LCC).** El análisis LCC es una metodología que permite elegir entre diversos tipos de inversión o acciones para aumentar la confiabilidad con base en su efecto en el costo total del ciclo de vida de un activo nuevo o en servicio.

El ACR como pilar dentro de las técnicas que rodean a la C.O se convierte en una herramienta muy útil ayudará a eliminar eventos no deseados buscando una manera rápida y eficaz para la solución de problemas y evitar que se repitan o de que sea más grande la eventualidad, cumpliendo con este punto, lograremos obtener mayor confiabilidad integral del proceso reduciendo el número de éstas, también se optimiza el volumen de trabajo al reducir las actividades que generan molestia, aumentando de esta forma la eficiencia en los procesos de ejecución. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

### 3.3. CONCEPTOS BÁSICOS DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

A continuación, definiremos conceptos básicos del ACR para luego continuar con la metodología.

#### ACCIÓN

Se aplica ocasionalmente para establecer divisiones del trabajo o para resaltar o diferenciar algunos actos especializados, como son: acción administrativa, acción política, acción técnica, acción de reforma administrativa, entre otros. Enfocado a mantenimiento, es el efecto que causa un agente (físico, químico, humano, etc.) sobre algo producto de la ejecución de actividades específicas. Por ejemplo, la reparación de una maquina o componente como consecuencia de una falla es una acción correctiva. En análisis de fallas, es la asignación para ejecutar una tarea o series de

tareas para resolver una causa identificada en la investigación de esta. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

### **ACTIVO**

Término contable para cualquier recurso que tiene un valor, puede ser activo fijo o circulante, debe tener un ciclo de vida y generar un flujo de caja, puede ser humano, físico o financiero, por ejemplo: el personal, centros de trabajo, plantas, equipos, etc.

### **BARRERA**

Es un control el cual se utiliza para reducir el riesgo de un resultado no deseado a un nivel aceptable. Las barreras pueden tener intervención física.

### **CAUSA (FACTOR CAUSAL)**

Podemos definirla como el motivo, origen o principio de algo que luego tendrá resultado en un efecto consecuente.

### **CONSECUENCIA**

La consecuencia es el resultado de un evento, pueden existir una o más. Estas pueden variar de positivas a negativas. Las consecuencias de un evento pueden ser expresadas cualitativa o cuantitativamente, los modelos para el cálculo de consecuencias deben tomar en cuenta el impacto en seguridad, higiene, ambiente, producción, costos de reparación e imagen de la empresa. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

### **CONDICIÓN**

Corresponde a cualquier estado que se encuentre, sea motivado o no por un evento, que puede tener la seguridad operacional.

### **DEFECTO**

Causa inmediata y apreciable de una falla: desalineamiento, mal ajuste, fallas ocultas en sistemas de seguridad, entre otros.

## **DISPONIBILIDAD**

Medida en la que ítem está en un estado operable y confiable en el inicio de una función, cuando la función es solicitada en cualquier momento (aleatorio), se definen dos indicadores de disponibilidad:

**Disponibilidad Inherente:** La disponibilidad inherente representa el porcentaje del tiempo que un equipo está en condiciones de operar durante un período de análisis, teniendo en cuenta sólo los paros no programados.

**Disponibilidad Operacional:** Representa el porcentaje de tiempo que el equipo quedó a disponibilidad del área de Operación para desempeñar su función en un período de análisis. Teniendo en cuenta el tiempo que el equipo está fuera de operación por paros programados y no programados. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

## **EVENTO**

Es un suceso u ocurrencia en tiempo real que describe alguna acción discreta, por lo general un error, fallo o mal funcionamiento. Ejemplos tuberías rotas, pérdida de energía debido a fenómenos naturales como la caída de un rayo o que el personal apaga un switch por error.

## **ITEM**

Se usa el termino para identificar cualquier equipo mantenible, incluyendo sistemas, partes, materiales, subensambles, conjuntos, accesorios, etcétera

## **PROBABILIDAD**

Medida porcentual probable de ocurrencia de un evento llámese falla incidente u accidente. La frecuencia de que ocurra un evento es un indicador de probabilidad. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

### 3.4. DETECCIÓN Y ANÁLISIS DE FALLAS

Una falla tiene muchas consecuencias, pueden ocasionar desde pequeñas pérdidas hasta grandes pérdidas, pueden dejar sin efecto la producción, o dañar seriamente las plantas o equipos del área de operaciones. Debemos tener en cuenta que una alta disponibilidad no siempre va de la mano de una alta confiabilidad, pero de manera inversa una alta confiabilidad pues nos garantiza una alta disponibilidad.

#### 3.4.1. Teoría de fallas

Es necesario conocer como ocurren las fallas y en la teoría contamos con tres etapas:

**Fallas iniciales:** En esta etapa encontramos bastantes fallas que descienden rápidamente con el tiempo, mayormente se deben a instalaciones incorrectas, equipos defectuosos, desconocimiento del equipo por parte de los operarios o desconocimiento del procedimiento de uso adecuado.

**Fallas normales:** En esta etapa se originan errores normales y de mayor constancia, son producidos por causas aleatorias externas. Pueden ser accidentes fortuitos, mala operación, condiciones adversas, etc.

**Fallas de desgaste:** En esta última etapa ya se tienen errores rápidamente crecientes, mayormente se producen por desgaste natural del equipo debido al transcurso del tiempo.

También es importante hablar sobre el programa de detección de fallas, el cual proporciona destrezas y habilidades para la prevención y solución de problemas acompañado de la mejora continua.

El análisis de falla es un proceso sistemático que se encarga de determinar la causa raíz de la falla y usar la información para mejorar la confiabilidad. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Dentro de este tipo de análisis de falla, podemos obtener lo siguiente:

- Hallar modos de falla (forma de que falle el producto o pieza)
- Identificar el mecanismo de falla (fenómeno involucrado)
- Determinar la causa raíz (defecto o diseño que llevo a la falla)
- Recomendar métodos para la prevención de la falla. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

### 3.4.2. ACR como método cualitativo para el análisis de fallas

El método cualitativo del ACR se centra básicamente en encontrar las fallas en procesos, equipos o sistemas mediante técnicas de observación y verificación, lluvia de ideas, entre otros. Estos métodos son lógicos y sistemáticos.

El ACR también nos permite encontrar la mejor solución para la causa que se logre identificar, así como realizar su debido seguimiento para lograr eliminar las causas y no solo corregirlas.

Este estudio es un método el cual conlleva invertir muchos recursos y tiempo, por eso es importante hacer una evaluación previa a ver si cumple con los requisitos que lo justifiquen, como por ejemplo la inversión comprometida de la falla, seguridad de las personas, inversiones, etc.

Para tener un buen estudio de ACR es importante ir mas allá de los componentes físicos los cuales mayormente originan las fallas o que tienen raíces físicas, se debe analizar también las acciones humanas, las cuales pueden desencadenar gran parte de este tipo de fallas. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

### 3.4.3. Tipos de fallas

Como falla podemos entender que es la acción o acontecimiento que evita el buen funcionamiento de un equipo, aunque este no deje de funcionar. Con esto podemos indicar que implica desencadenantes los cuales evitan que un proceso pueda funcionar correctamente afectando a los demás, es por eso importante analizarlo y llegar a la raíz.

Una falla puede ser total o parcial, afectando o no los equipos como ya se mencionó anteriormente, normalmente afectan elementos como:

- Equipos/sistemas/componentes
- Problemas administrativos
- Perdidas de eficiencia/ desviaciones operacionales
- Eventos aislados de alto impacto

Tenemos dos tipos de fallas a los que nos podemos enfrentar, las fallas crónicas y las fallas esporádicas. A continuación, veremos un resumen acerca de los dos tipos en la Cuadro 2.

Cuadro 2: Tipos de fallas.

Tipo de Falla	Características	Identificación
Esporádicas	<p>*Son repentinas, y su aparición genera la interrupción operativa de los equipos.</p> <p>*Luego de ser reparado, el equipo vuelve a su estado operativo previo.</p>	<p>*Son siempre visibles en sus consecuencias y normalmente obedecen a una sola causa.</p> <p>*Las acciones correctivas no son complejas de resolver y tienen un fuerte impacto en la producción.</p>
Crónicas	<p>*Son aquellas que persisten en el tiempo.</p> <p>*Normalmente se confunden con condiciones operativas normales o pasan desapercibidas (y muchas veces ignoradas).</p>	<p>*Suelen responder a una combinación de causas, por lo que su solución no es sencilla.</p> <p>*Estas fallas resultan de difícil identificación, y suelen confundir problemas de mantenimiento con problemas de operación.</p>

**Fuente:** Programa de Gestión del Mantenimiento PGM. (2014). El deterioro de los equipos.

En resumen, podemos entender que:

- Falla esporádica: Fallas repentinas, que generalmente causan daños importantes en las máquinas y producen demoras importantes. Normalmente se deben a una única causa fácil de determinar, pero que conllevo bastantes recursos e inversión para solucionarla.

- Falla crónica: Fallas que persisten en el tiempo y se repiten con bastante frecuencia, mientras que las fallas esporádicas deben ser analizadas y solucionadas de inmediato, estas permaneces en un estado latente que dificulta su solución.

### 3.5. ANÁLISIS DE CRITICIDAD- ACR

#### 3.5.1. Criticidad

Según Parra (2012) es una metodología que permite identificar y jerarquizar por su importancia los activos de una instalación sobre las cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos). En otras palabras, el proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan.

Para nuestra implementación del ACR y por la cantidad de equipos que se tienen instalados se decide hacer un análisis de criticidad a nivel de equipo.

### 3.5.2. Criterio para la determinación de criticidad de sistemas

Cuadro 3: Criterio de criticidad por riesgo.

<b>Frecuencia de fallos</b>	
Mayor a 4 Fallas/año	4
3 - 4 Fallas/año	3
1 - 2 Fallas/año	2
No presenta Fallas en el año	1

<b>Impacto operacional</b>	
Salida de operacion mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de Equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2

<b>Flexibilidad Operacional</b>	
No existe equipo de Respaldo	4
Hay Equipo de respaldo	2
Se tiene equipo/repuesto disponible en almacen	1

<b>Costo de Mantenimiento</b>	
Mayor o igual a 80.000\$	2
Inferior a 80.000 \$	1

<b>Impacto a la seguridad y medio ambiente</b>	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (Accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños a personas o impactos al medio ambiente	0

**Fuente:** (Parra & Crespo,2012).

3.5.3. Matriz Cuantitativa

Cuadro 4: Matriz de cuantitativa

		Aspectos y Consecuencias a Evaluar en el analisis SRCM					
		Disponibilidad	Oportunidad de Producción	Costos de Mantenimiento	Calidad	Seguridad	Medio Ambiente
Nivel de Criticidad	Alto	Afecta la disponibilidad de la planta mas de 2 Horas	La tasa de producción decrece debajo de 95%	Costo de reparación afecta el presupuesto >25000 USD	Genera rechazos o reprocesos	La falla puede generar daño a la persona	Impacto externo, con daño localizado, severo o permanente. Cobertura de Medios
	Medio	Afecta la disponibilidad de la planta menos de 2 horas	La tasa de producción decrece hasta 95%	Costo de reparación entre 5000 a 25000 USD.	Genera minimos rechazos o reprocesos	La falla genera solo daño material	Impacto interno con daños recuperables
	Bajo	No afecta en la disponibilidad	La tasa de producción no reduce	Costo de reparaición < a 5000 USD.	No afecta la calidad	Ningún riesgo	Ningún riesgo

Fuente: (Parra & Crespo,2012).

Cuadro 5: Matriz de criticidad y riesgo

Modelo de factores ponderados / Basado en la teoría del riesgo

- Riesgo = Frecuencia x Consecuencia
- Frecuencia = # de fallos en un tiempo determinado
- Consecuencia = ( ( Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costos Mtto. + Impacto SAH )

FRECUENCIA	4	B	B	A	A	A
	3	B	B	B	A	A
	2	C	C	B	B	A
	1	C	C	C	B	A
			10	20	30	40
		CONSECUENCIA				

Fuente: (Parra & Crespo,2012).

Evaluación de criticidad en el tren de rodaje aplicando el modelo de factores ponderados

a. Sistema: Tren de rodaje Tractor de Orugas D8T Caterpillar

Evaluación:

Cuadro 6: Criterio de criticidad para tren de rodaje

Frecuencia de fallos	
Mayor a 4 Fallas/año	4
3 - 4 Fallas/año	3
1 - 2 Fallas/año	2
No presenta Fallas en el año	1

Impacto operacional	
Salida de operacion mayor a 8 horas	10
Impacta en niveles de producción o calidad	6
Impacto operacional por antigüedad de Equipo mayor a 10 años	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2

Flexibilidad Operacional	
No existe equipo de Respaldo	4
Hay Equipo de respaldo	2
Se tiene equipo/repuesto disponible en almacen	1

Costo de Mantenimiento	
Mayor o igual a 80.000\$	2
Inferior a 80.000 \$	1

Impacto a la seguridad y medio ambiente	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Provoca daños menores (Accidentes e incidentes)	4
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3
No provoca ningún tipo de daños a personas o impactos al medio ambiente	0

**$10 \times 4 + (1 + 4) = 45$**

Fuente: (Elaboración propia).

Cuadro 7: Matriz de criticidad para tren de rodaje

<b>FRECUENCIA</b>	4	B	B	A	A	A
	3	B	B	B	A	A
	2	C	C	B	B	A
	1	C	C	C	B	A
			10	20	30	40
		<b>CONSECUENCIA</b>				

Fuente: (Elaboración propia).

b. Sistema: Tren de potencia Tractor de Orugas D8T Caterpillar

Evaluación:

Cuadro 8: Criterio de criticidad para tren de potencia

<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Frecuencia de fallos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mayor a 4 Fallas/año</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>3 - 4 Fallas/año</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>1 - 2 Fallas/año</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>No presenta Fallas en el año</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Frecuencia de fallos		Mayor a 4 Fallas/año	4	3 - 4 Fallas/año	3	1 - 2 Fallas/año	2	No presenta Fallas en el año	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Costo de Mantenimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mayor o igual a 80.000\$</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Inferior a 80.000 \$</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Costo de Mantenimiento		Mayor o igual a 80.000\$	2	Inferior a 80.000 \$	1						
Frecuencia de fallos																							
Mayor a 4 Fallas/año	4																						
3 - 4 Fallas/año	3																						
1 - 2 Fallas/año	2																						
No presenta Fallas en el año	1																						
Costo de Mantenimiento																							
Mayor o igual a 80.000\$	2																						
Inferior a 80.000 \$	1																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Impacto operacional</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Salida de operacion mayor a 8 horas</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Impacta en niveles de producción o calidad</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Impacto operacional por antigüedad de Equipo mayor a 10 años</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Impacto operacional		Salida de operacion mayor a 8 horas	10	Impacta en niveles de producción o calidad	6	Impacto operacional por antigüedad de Equipo mayor a 10 años	4	No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Impacto a la seguridad y medio ambiente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Afecta la seguridad humana</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Afecta el ambiente produciendo daños reversibles</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Provoca daños menores (Accidentes e incidentes)</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>No provoca ningún tipo de daños a personas o impactos al medio ambiente</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Impacto a la seguridad y medio ambiente		Afecta la seguridad humana	8	Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6	Provoca daños menores (Accidentes e incidentes)	4	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3	No provoca ningún tipo de daños a personas o impactos al medio ambiente	0
Impacto operacional																							
Salida de operacion mayor a 8 horas	10																						
Impacta en niveles de producción o calidad	6																						
Impacto operacional por antigüedad de Equipo mayor a 10 años	4																						
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2																						
Impacto a la seguridad y medio ambiente																							
Afecta la seguridad humana	8																						
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6																						
Provoca daños menores (Accidentes e incidentes)	4																						
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3																						
No provoca ningún tipo de daños a personas o impactos al medio ambiente	0																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Flexibilidad Operacional</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>No existe equipo de Respaldo</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Hay Equipo de respaldo</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Se tiene equipo/repuesto disponible en almacen</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Flexibilidad Operacional		No existe equipo de Respaldo	4	Hay Equipo de respaldo	2	Se tiene equipo/repuesto disponible en almacen	1	<p style="text-align: center;"><b><math>10 \times 2 + (1+0) = 21</math></b></p>														
Flexibilidad Operacional																							
No existe equipo de Respaldo	4																						
Hay Equipo de respaldo	2																						
Se tiene equipo/repuesto disponible en almacen	1																						

Fuente: (Elaboración propia).

Cuadro 9: Matriz de criticidad para tren de potencia

<b>FRECUENCIA</b>	4	B	B	A	A	A
	3	B	B	B	A	A
	2	C	C	B	B	A
	1	C	C	C	B	A
		10	20	30	40	50
	<b>CONSECUENCIA</b>					

Fuente: (Elaboración propia).

c. Sistema: Unidad hidráulica Tractor de Orugas D8T Caterpillar

Evaluación:

Cuadro 10: Criterio de criticidad para el sistema hidráulico.

<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Frecuencia de fallos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mayor a 4 Fallas/año</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>3 - 4 Fallas/año</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>1 - 2 Fallas/año</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>No presenta Fallas en el año</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Frecuencia de fallos		Mayor a 4 Fallas/año	4	3 - 4 Fallas/año	3	1 - 2 Fallas/año	2	No presenta Fallas en el año	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Costo de Mantenimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mayor o igual a 80.000\$</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Inferior a 80.000 \$</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Costo de Mantenimiento		Mayor o igual a 80.000\$	2	Inferior a 80.000 \$	1						
Frecuencia de fallos																							
Mayor a 4 Fallas/año	4																						
3 - 4 Fallas/año	3																						
1 - 2 Fallas/año	2																						
No presenta Fallas en el año	1																						
Costo de Mantenimiento																							
Mayor o igual a 80.000\$	2																						
Inferior a 80.000 \$	1																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Impacto operacional</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Salida de operacion mayor a 8 horas</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Impacta en niveles de producción o calidad</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Impacto operacional por antigüedad de Equipo mayor a 10 años</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Impacto operacional		Salida de operacion mayor a 8 horas	10	Impacta en niveles de producción o calidad	6	Impacto operacional por antigüedad de Equipo mayor a 10 años	4	No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Impacto a la seguridad y medio ambiente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Afecta la seguridad humana</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Afecta el ambiente produciendo daños reversibles</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Provoca daños menores (Accidentes e incidentes)</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>No provoca ningún tipo de daños a personas o impactos al medio ambiente</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Impacto a la seguridad y medio ambiente		Afecta la seguridad humana	8	Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6	Provoca daños menores (Accidentes e incidentes)	4	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3	No provoca ningún tipo de daños a personas o impactos al medio ambiente	0
Impacto operacional																							
Salida de operacion mayor a 8 horas	10																						
Impacta en niveles de producción o calidad	6																						
Impacto operacional por antigüedad de Equipo mayor a 10 años	4																						
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	2																						
Impacto a la seguridad y medio ambiente																							
Afecta la seguridad humana	8																						
Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6																						
Provoca daños menores (Accidentes e incidentes)	4																						
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	3																						
No provoca ningún tipo de daños a personas o impactos al medio ambiente	0																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Flexibilidad Operacional</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>No existe equipo de Respaldo</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Hay Equipo de respaldo</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Se tiene equipo/repuesto disponible en almacen</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Flexibilidad Operacional		No existe equipo de Respaldo	4	Hay Equipo de respaldo	2	Se tiene equipo/repuesto disponible en almacen	1	<p style="text-align: center;"><b><math>6 \times 2 + (1+0) = 13</math></b></p>														
Flexibilidad Operacional																							
No existe equipo de Respaldo	4																						
Hay Equipo de respaldo	2																						
Se tiene equipo/repuesto disponible en almacen	1																						

Fuente: (Elaboración propia).

Cuadro 11: Matriz de criticidad para sistema hidráulico.

<b>FRECUENCIA</b>	4	B	B	A	A	A
	3	B	B	B	A	A
	2	C	C	B	B	A
	1	C	C	C	B	A
		10	20	30	40	50
		<b>CONSECUENCIA</b>				

**Fuente:** (Elaboración propia).

#### 3.5.4. Resultados de la evaluación de criticidad.

Cuadro 12: Resultados de criticidad de los sistemas principales.

ITEM	SISTEMA	CRITICIDAD
1	TREN DE RODAJE	A
2	TREN DE POTENCIA	B
3	SISTEMA HIDRAULICO	B

Con los resultados, ahora solo nos dedicaremos al sistema de mayor criticidad.

## CAPITULO IV

### 4. MARCO TEORICO DEL TRACTOR ORUGA

El tractor de orugas o topador D8T está diseñado para ofrecer fiabilidad y durabilidad en las condiciones de trabajo más duras., esto gracias a las características únicas de Caterpillar como la rueda motriz elevada, dirección diferencial y la servotransmisión planetaria con un divisor de par de alta eficiencia.

Figura 6: Tractor de Orugas Caterpillar Modelo D8T



Fuente: *Caterpillar (2017)*

La rueda elevada ayuda a proteger los componentes principales contra impactos fuertes, por otro lado, al estar suspendido proporciona mayor contacto con el suelo, sobretodo en terrenos difíciles e irregulares.

Figura 7: Rueda motriz elevada.



Fuente: *Caterpillar (2017)*

Cuadro 13: Especificaciones de motor C15

<b>Motor</b>	
Modelo de motor	C15 ACERT Cat
Emisiones	Cumple con las normas de emisiones MAR-1 de Brasil, equivalentes a las normas de emisiones Tier 3 de la EPA de EE.UU./Stage IIIA de la UE u, opcionalmente, a Tier 2/Stage II, según se requiera en cada región
Potencia del motor: 1.600 rpm	
SAE J1995 (bruta)	273 kW    366 hp
ISO 14396	269 kW    361 hp
ISO 14396 (DIN)	365 hp
Potencia del motor: 1.900 rpm	
ISO 9249/SAE J1349	242 kW    325 hp
ISO 9249/SAE J1349 (DIN)	328 hp
Calibre	137 mm
Carrera	172 mm
Cilindrada	15,2 L

Fuente: *(Caterpillar, 2017)*

Cuadro 14: Especificaciones de capacidades de llenado y pesos D8T.

<b>Capacidades de llenado de servicio</b>	
Tanque de combustible	600 L
Sistema de enfriamiento	62 L
Cárter del motor*	38 L
Tren de fuerza	155 L
Mandos finales (cada uno)	12,5 L
Bastidores de rodillos (cada uno)	65 L
Compartimiento del eje pivote	40 L
* Con filtros de aceite.	
<b>Pesos</b>	
Peso en orden de trabajo	
Estándar	38.351 kg
LGP	36.763 kg
Manipulador de basura	38.265 kg
Manipulador de basura LGP	40.483 kg
Peso de embarque	
Estándar	29.553 kg
LGP	30.506 kg
Manipulador de basura	32.227 kg
Manipulador de basura LGP	34.269 kg

Fuente: (Caterpillar, 2017)

Cuadro 15: Especificaciones de tren de rodaje D8T..

<b>Tren de rodaje: estándar</b>	
Tipo de zapata	Servicio moderado
Ancho de la zapata	610 mm
Zapatillas por lado	44
Altura de la garra	78 mm
Paso	216 mm
Espacio libre sobre el suelo	618 mm
Entrevía	2.082 mm
Longitud de la cadena sobre el suelo	3.207 mm
Área de contacto con el suelo	3,9 m <sup>2</sup>
Rodillos de cadena por lado	8
Cantidad de rodillos superiores	1 por lado (optativo)
Presión sobre el suelo (ISO 16754)	86,4 kPa/12,5 lb/pulg <sup>2</sup>
• Cadena con sistema de retención positiva del pasador.	

Fuente: (Caterpillar, 2017)

Cuadro 16: Especificaciones de velocidades de transmisión D8T.

<b>Transmisión</b>	
Avance 1	3,4 km/h
Avance 2	6,1 km/h
Avance 3	10,6 km/h
Retroceso 1	4,5 km/h
Retroceso 2	8,0 km/h
Retroceso 3	14,2 km/h
Avance 1: tracción en la barra de tiro (1.000)	650,7 N
Avance 2: tracción en la barra de tiro (1.000)	356,9 N
Avance 3: tracción en la barra de tiro (1.000)	191,8 N

Fuente: (Caterpillar, 2017)

Para finalizar la introducción del marco teórico podemos observar en las siguientes Figuras las medidas del tractor las cuales son bastante útiles en caso se desee transportar la máquina en alguna cama baja. Las medidas pueden variar dependiendo del año de

fabricación, por ejemplo, el tractor D8T moderno viene con un bulldozer más largo respecto al de año anteriores.

Cuadro 17: Medidas tractor de orugas D8T.

	Estándar	No amortiguado	LGP
<b>1</b> Entrevía	2.083 mm	2.083 mm	2.337 mm
<b>2</b> Ancho del tractor:			
Ancho sin muñones (zapata estándar)	2.743 mm	2.743 mm	3.311 mm
Ancho sobre los muñones	3.057 mm	3.057 mm	3.656 mm
<b>3</b> Altura			
Parte superior del tubo de escape	3.400 mm	3.400 mm	3.400 mm
Cabina con estructura ROPS/FOPS	3.488 mm	3.488 mm	3.488 mm
<b>4</b> Longitud de la cadena sobre el suelo	3.207 mm	3.258 mm	3.207 mm
<b>5</b> Longitud total del tractor básico	4.647 mm	4.647 mm	4.647 mm
Con los siguientes accesorios, agregue:			
Desgarrador de vástago individual	1.519 mm	1.519 mm	N/D
Desgarrador de vástagos múltiples	1.613 mm	1.613 mm	N/D
Hoja SU	1.844 mm	1.844 mm	1.844 mm
Hoja U	2.241 mm	2.241 mm	N/D
Hoja A (no orientable)	2.027 mm	2.027 mm	N/D
Hoja (angulada a 25 grados)	3.068 mm	3.068 mm	N/D
Barra de tiro	406 mm	406 mm	406 mm
<b>6</b> Altura de la garra	78 mm	78 mm	78 mm
<b>7</b> Espacio libre sobre el suelo	613 mm	606 mm	613 mm
Altura de la barra de tiro (centro de la horquilla)	708 mm	701 mm	708 mm

Fuente: (Caterpillar, 2017)

#### 4.1. DESCOMPONETIZACIÓN DE TRACTOR DE ORUGAS D8T

En este capítulo pasaremos a descomponer el tractor de orugas y analizaremos sus componentes más críticos sobre los cuales aplicaremos la metodología ACR.

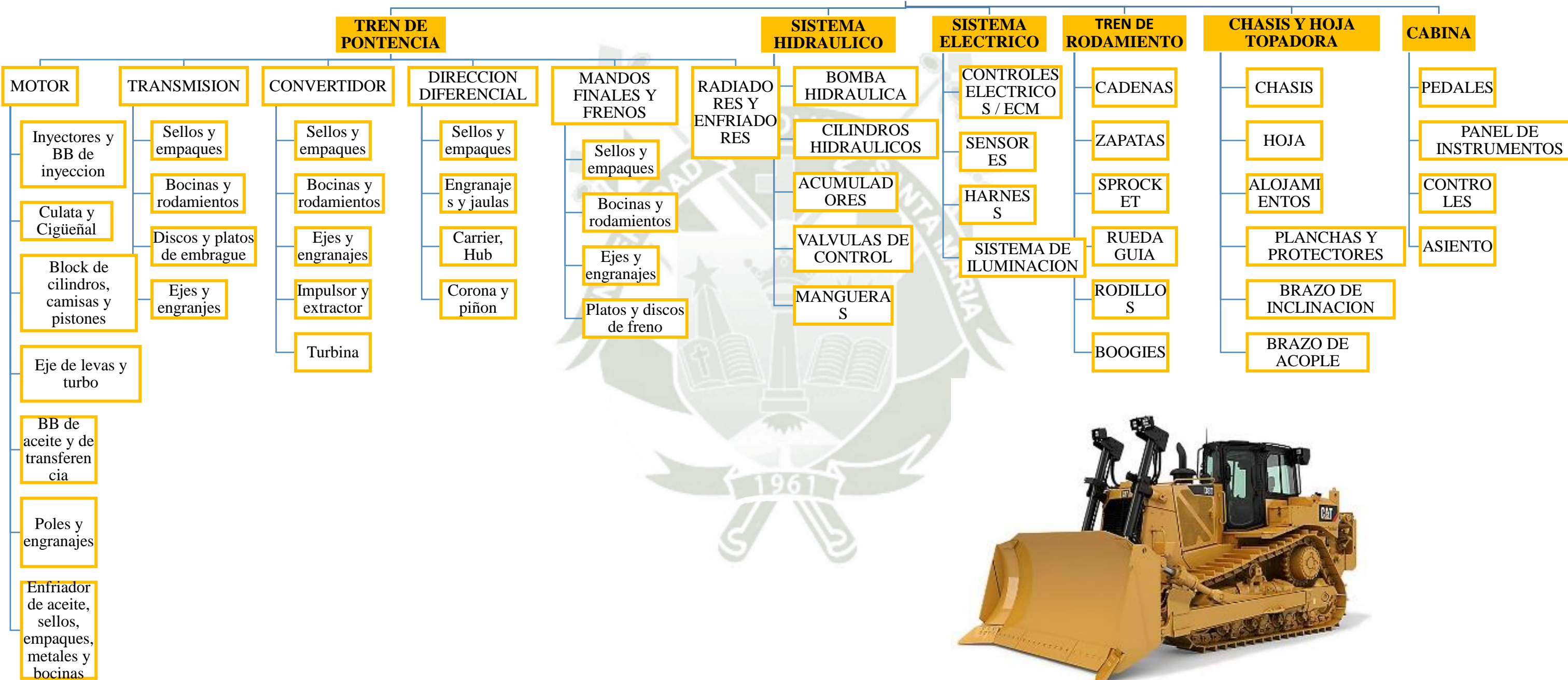
En esta tesis analizaremos el tren de rodamiento debido a las prematuras fallas presentadas y nivel de criticidad que corresponden al equipo. En el siguiente capítulo haremos un detalle de todos los componentes del grupo mencionados anteriormente.

En la Figura 8 podemos apreciar todas las partes y componentes del tractor Caterpillar D8T.



Cuadro 18: Descomponetización tractor de orugas D8T

# TRACTOR DE ORUGAS D8T



Fuente: (Elaboración propia)

Cuadro 19: Costo de los sistemas principales Tractor de Orugas D8T.

ITEM	SISTEMA	COSTO
1	TREN DE RODAJE	\$80,130.04
2	TREN DE POTENCIA	\$249,150.00
3	SISTEMA HIDRAULICO	\$60,400.00
4	SISTEMA ELECTRICO	\$25,569.96
5	CHASIS Y HOJA TOPADORA	\$286,900.00
6	CABINA	\$52,850.00
<b>COSTO TOTAL TRACTOR DE ORUGA</b>		<b>\$755,000.00</b>

Fuente: (Elaboración propia)

Cuadro 20: Costo del tren de rodaje Tractor de Orugas D8T

CANTIDAD	DESCRIPCION	VALOR VENTA ( SIN IGV )	VALOR VENTA MULTIPLICADO ( SIN IGV )
10	SEGMENT SPROCKET	\$216.98	\$2,169.80
70	PERNOS DE SPROCKET	\$3.01	\$210.70
70	TUERCAS DE SPROCKET	\$3.13	\$219.10
70	ARANDELA	\$2.33	\$163.10
8	RODILLO DF	\$1,019.19	\$8,153.52
8	RODILLO SF	\$1,046.24	\$8,369.92
2	RUEDA GUIA	\$5,184.04	\$10,368.08
2	RUEDA GUIA	\$4,650.78	\$9,301.56
2	CADENA	\$12,747.93	\$25,495.86
88	ZAPATAS	\$144.83	\$12,745.04
4	PERNOS MASTER	\$6.82	\$27.28
4	PERNOS MASTER	\$9.28	\$37.12
344	TUERCAS DE ZAPATA	\$2.23	\$767.12
344	PERNOS DE ZAPATA	\$6.11	\$2,101.84
		<b>VALOR DE VENTA TOTAL ( SIN IGV )</b>	<b>\$80,130.04</b>

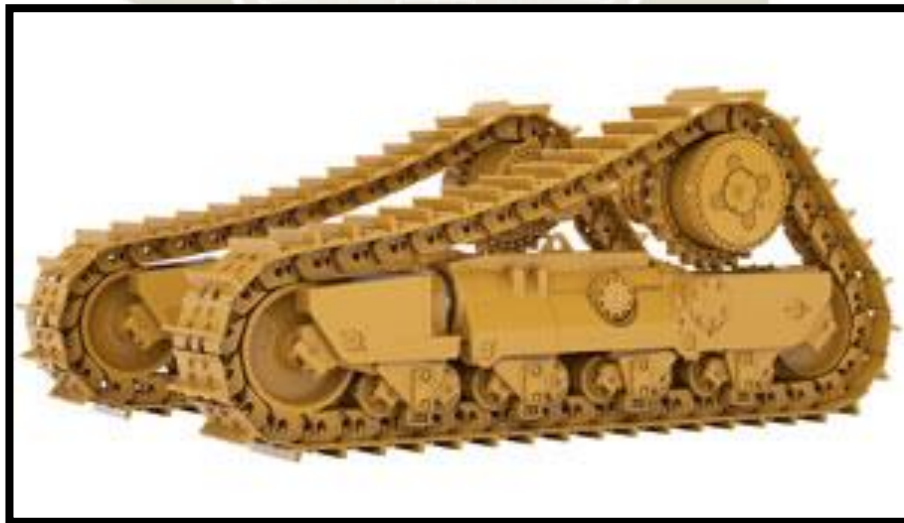
Fuente: (Elaboración propia)

#### 4.2. TREN DE RODAMIENTO

El tren de rodamiento o tren de rodaje, es un sistema integrado de componentes los cuales le dan movilidad en este caso al tractor de orugas D8T de la empresa Constructoras Generales DyL.

En las máquinas de cadenas u orugas, las ruedas motrices, en vez de apoyar en el suelo, están dentadas y engranan con los casquillos que articulan entre sí los eslabones que forman las cadenas. Por el exterior de cada eslabón se atornilla una zapata, que es lo que apoya y se agarra al suelo. De esta forma, al girar las ruedas motrices, gracias a su engranaje en las cadenas, va avanzando con el vehículo por encima de los carriles continuos formados por los eslabones de cada cadena y que constituyen el verdadero camino constantemente echado, pisado, recogido y vuelto a echar delante, por el que rueda el tractor. Como las zapatas pueden llevar en el exterior garras para afianzarse al suelo, descansando todo el peso sobre las cadenas, la adherencia y agarre son los más completos posible, por lo que estos vehículos son los más adecuados para marchar por todo terreno. (Yepes Piqueras, 2016)

Figura 8: Tren de rodaje CAT.



**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de <https://www.tracsa.com.mx/marcas/cat/refacciones/tren-de-rodaje>)

Es importante tener en cuenta las variables de costo debido a que el tren de rodamiento significa aproximadamente un 20% del costo total de la máquina, y un 50% de los costos del mantenimiento.

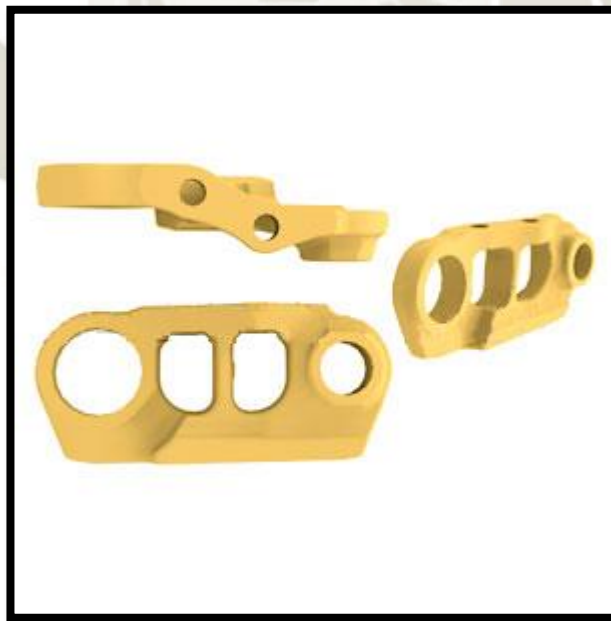
A continuación, veremos las partes que componen el tren de rodaje.

#### 4.2.1. Eslabones

Los eslabones de cadena son parte muy importante del tren debido a que se enlazan entre ellos mediante las bocinas, también se atornillan a las zapatas, y permiten un carril continuo a los rodillos.

De acuerdo al desgaste que tengan se puede tomar decisiones como lo que es el volteo de bujes, se considera una vida útil para este componente de 120% que va relacionado con las horas de trabajo de la máquina. (MECA-EVOLUTION, 2013)

Figura 9: Eslabón de cadena.



**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de <https://www.cadeco.com.mx/tren-de-rodaje/partes-de-cadena/eslabones-de-cadena/1080947>)

Los eslabones de cadena tienen como función proveer un riel para que la maquina avance sobre los rodillos, así como un medio para conectar las zapatas y transmitir la fuerza motriz de las bocinas a estas.

Asimismo, son componentes los cuales tienen una vida útil combinada junto con los demás componentes del tren de rodaje y si se usan de marca OEM estos tienen resistencia más allá de los límites de desgaste.

Para que cumplan con las especificaciones y requisitos mínimos deben estar maquinados para cerrar tolerancias entre los pines, bujes y zapatas. También el riel debe contar con una amplia vida útil para que pueda resistir roturas, desprendimientos y fallas de fatiga. (MECA-EVOLUTION, 2013)

Como otras características de los eslabones tenemos:

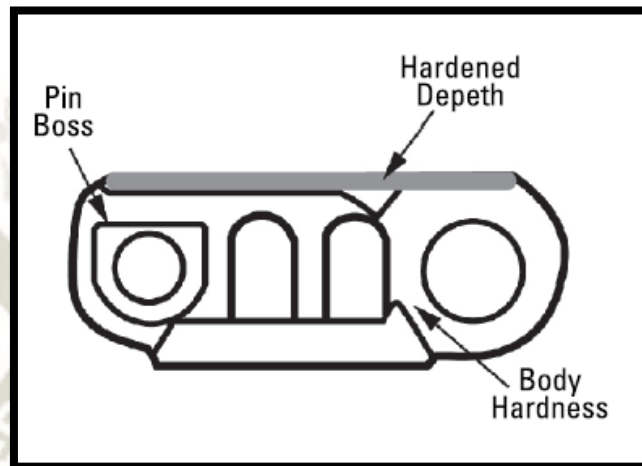
- Son de acero de endurecimiento profundo
- Alta dureza en el cuerpo del eslabón
- Dureza uniforme en el riel

En la Figura 10

- El riel es la parte del eslabón que se desplaza sobre el rodillo. La dureza del riel es igual a la del rodillo de cadena.
- El orificio del pasador sostiene el pin.
- El orificio la bocina sostiene la bocina
- El abocardado está dentro del orificio del pasador. El abocardado sostiene la configuración del sello de la cadena sellada y lubricada.
- La plancha del eslabón está empernada a la zapata de cadena.
- El tirante ayuda a sujetar el riel de cadena.

- La plancha del eslabón es la porción del orificio del buje en la parte trasera del eslabón. Cuando el orificio del buje es demasiado angosto, se puede romper y no permite la reconstrucción del eslabón.

Figura 10: Eslabón de Cadena.



**Fuente:** *PSK Caterpillar (2019)*

El acero de endurecimiento profundo utilizado en los eslabones permite una alta dureza del cuerpo, mayor profundidad endurecida y mayor resistencia a la fatiga que el acero al carbono medio simple.

Los eslabones en los tractores, cargadores y excavadoras de cadenas actuales tienen una gran dureza del cuerpo. Esto aumenta la tenacidad, durabilidad, resistencia a la fatiga y mejora la retención de pasadores y bujes.

Los rieles de eslabón se calientan por inducción, se tiempla por aspersión y se tiempla al horno para una dureza profunda y uniforme. Esto le da a los rieles de eslabón dureza que resiste el desgaste lateral y el vuelco. El riel endurecido coincide con la banda de rodadura del rodillo y la dureza de la brida para una vida útil óptima. (MECA-EVOLUTION, 2013)

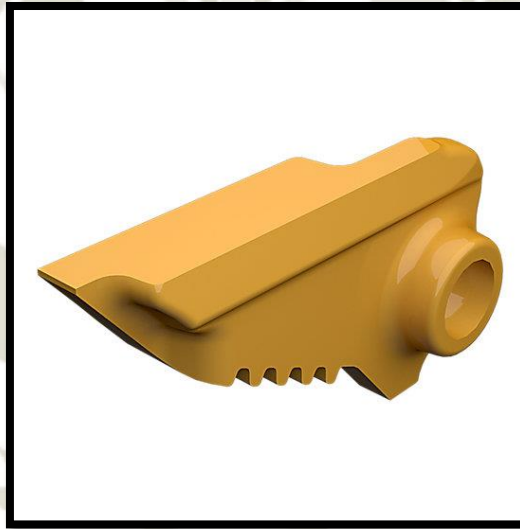
Los eslabones de Cat son reconstruibles; La alta dureza del cuerpo da como resultado una buena retención de los pasadores y bujes, incluso después de repetidos desmontajes y montajes. El diseño masivo del tirante proporciona la mejor

resistencia disponible a fallas de grietas que resultan de la flexión de zapatas ocasionadas por mala configuración de máquina-terreno, pasadores y bujes. Los asientos de tuerca autoblocantes permiten una fácil instalación y extracción de zapatas de cadena. Además, ayuda a mantener el cuerpo apretado.

### **Eslabón máster**

El eslabón mater permite la extracción e instalación de la cadena, también elimina la necesidad de un pin y buje maestro. Cuenta con diseño atornillado para montaje y desmontaje más rápido y sencillo. Permite el uso de pasadores y bujes regulares el cual es ensamblado en fábrica con lubricante. (MECA-EVOLUTION, 2013)

Figura 11: Eslabón Master.

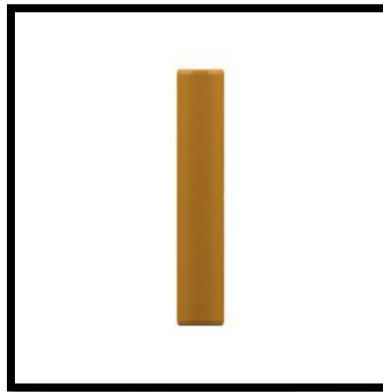


**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de <https://parts.cat.com/en/catcorp>)

#### **4.2.2. Pasador de cadena**

El pin o pasador de cadena ayuda a mantener la sección de la cadena unida, actúa como una bisagra con el buje en la sección contigua y transfiere cargas entre el buje y el eslabón.

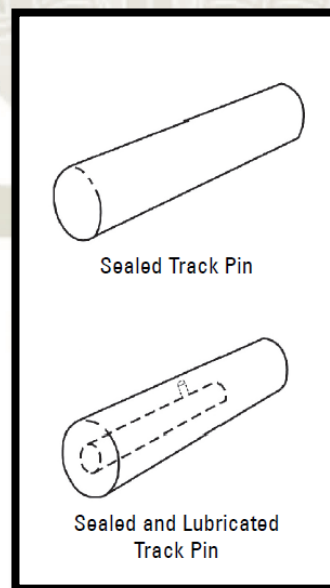
Figura 12: Pin de Cadena.



**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de <https://parts.cat.com/en/catcorp/common-undercarriage/199-5522>)

Provee un reservorio para el lubricante en la cadena sellada y lubricada, resiste la flexión y el agrietamiento, incluso cuando se usa más allá de su límite.

Figura 13: Asiento de Tuerca Autoblocante de Eslabón.



**Fuente:** PSK Caterpillar (2019)

Caterpillar fabrica los pines de cadena de acero al medio carbono que proporciona un pasador resistente con buena superficie y dureza. Esto proporciona una buena resistencia al astillado y al agrietamiento en condiciones de alto impacto.

Los pasadores de oruga sellados y lubricados se perforan en el centro para proporcionar un depósito de aceite y se perforan en cruz para proporcionar un paso para que el aceite fluya entre el pasador y el buje. Después del tratamiento térmico, los extremos del pasador se rectifican para proporcionar dimensiones finales estrechas para un ajuste preciso a presión y retención de aceite. (MECA-EVOLUTION, 2013)

#### 4.2.3. Bujes de Cadena

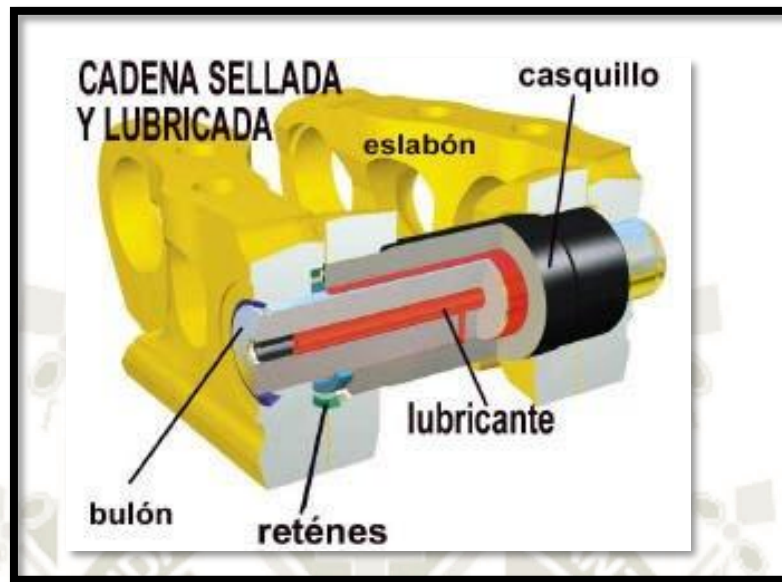
Los bujes o bocinas de cadena son los elementos que interactúan directamente con la rueda motriz y tienen la función de alojar al pasador mediante una junta la cual internamente es lubricada gracias al orificio que tiene el pasador, esto evita que ingresen partículas abrasivas que se encuentran en el exterior o zona de trabajo. (MECA-EVOLUTION, 2013)

Figura 14: Buje de cadena.



**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de <https://picclick.co.uk/Caterpillar-CAT-6Y-3914-Bushing-Sealed-Lubricated-Track-302732972139.html>)

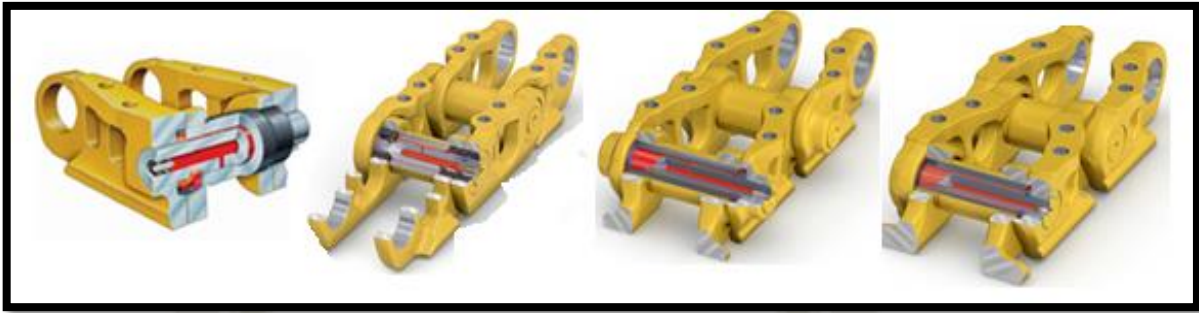
Figura 15: Segmento de Cadena Sellada y Lubricada.



**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de <http://equipopesado28007.blogspot.com/2007/06/trenes-de-rodaje-cadenas-los-tractores.html>)

Los bujes cuentan con resistencia al desprendimiento, formado por extrusión en frío de acero de bajo carbono y tratamiento térmico para adecuada dureza y tenacidad. Adicionalmente ayuda a mantener las secciones de la cadena unidas y cuenta con la misma vida útil que el pasador de cadena. Según la Figura 16 podemos apreciar los tres elementos ya mencionado anteriormente para tener más claridad. (MECA-EVOLUTION, 2013)

Figura 16: Eslabón, Pin y Buje de Cadena.



**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de <https://www.finanzauto.es/es/postventa/repuestos/tren-de-rodaje/rodaje-para-tractores-y-palas>)

#### 4.2.4. Sellos de Cadena

Los sellos de cadena están hechos de acero elástico, endurecido y templado, se forman como arandelas en forma de cono y son utilizados en pares, se ajustan a cada agujero del eslabón, su función principal es evitar entrada de partículas externas entre las bocinas y los pasadores. También evita que las bocinas tengan desgaste frente al alojamiento del eslabón, no obstante, asume gran parte de las cargas laterales. La vida útil de estos es igual a la del pasador y buje.

Una arandela encaja contra el extremo del buje, la otra contra el enlace de contrapeso base. Cuando las secciones de la cadena se presionan juntas, las arandelas se aplanan para formar un sello. El efecto de resorte de las arandelas planas mantiene la presión de sellado a medida que se desgastan.

Los sellos están diseñados para usarse uno contra otro en lugar de 1 agujero de eslabón y buje final. Este sistema extiende la vida útil interna del pin y buje en 20-30% en comparación con la cadena sin sellar. Los sellos de cadena no son reutilizables a su vez. (MECA-EVOLUTION, 2013)

### Cadenas selladas lubricadas con grasa

El desgaste interno entre el pasador y el eslabón fue la principal razón para que las cadenas selladas entren en mantenimiento, para solucionar esto, los ingenieros de Caterpillar diseñaron este sistema el cual reduce este desgaste notoriamente.

Las características principales de este sistema es que gracias a la configuración en “W” del sello la cual se muestra en la Figura 17, mantiene la grasa entre el deposito del medio de la junta y esto reduce significativamente la fricción y desgaste procedente.

Figura 17: Sellos de cadena lubricada con grasa.



**Fuente:** (PSK Caterpillar, 2019)

Adicionalmente a absorber cargas laterales, también absorbe cargas de empuje y reduce notoriamente el ruido respecto a la anterior configuración.

Cabe resaltar que no es una cadena que se mantenga lubricada en toda la vida útil del pin y buje, así como que debe operar a una máxima temperatura de 70°C. (MECA-EVOLUTION, 2013)

### Cadenas selladas y lubricadas

Comparadas con las anteriores, estas cadenas constan de un sello de plástico y un anillo de goma resistente a la carga, el sello tiene contacto con la parte lisa final del buje. El anillo de carga distribuye una carga equitativa a lo largo de todo el sello para garantizar un sellado de 360°.

Figura 18: Sello rígido de cadena.



**Fuente:** PSK Caterpillar (2019)

Estos sellos son diseñados para operar a una temperatura máxima de 70°, en caso se exceda puede afectar el tiempo de vida útil del sello.

El anillo de empuje tiene como función controlar las cargas de empuje lateral gracias a su diseño en acero templado y cuenta con muescas para que el aceite pase por las áreas de sellado.

Los mayores beneficios de este sistema de cadenas selladas y lubricadas son que ya no requiere mantenimiento alguno debido a que el desgaste interno entre pin y buje queda eliminado. Asimismo, mantiene fuera las partículas abrasivas de el pin, buje y el alojamiento del eslabón.

El lubricante elimina la fricción normal entre el buje y pin, por lo que la mayoría de componentes son reusables.

Teniendo todas estas consideraciones la vida útil del buje aumenta en 50%.

El aceite aplicado a este sistema es el SAE 75W-140 para lubricar la junta.

#### 4.2.5. Sprockets

Los segmentos de sprocket transfieren las fuerzas motrices del mando final a la cadena a través de los bujes. El tiempo de vida considerado para estos elementos es igual a un lado de las bocinas de cadenas y son bastante resistentes a la rotura debido a que son formados en base a un profundo acero templado el cual tiene el doble de temple que el acero de medio carbono.

Figura 19: Segmento de sprocket.



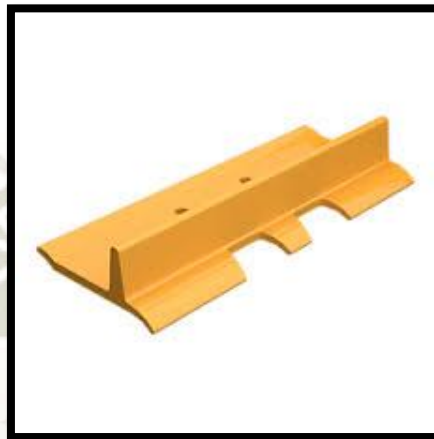
**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de <http://www.maquinariapegaso.com/sViews/sProduct/procat.php?sprocatID=3>)

Este elemento es el principal influyente en el desgaste de las bocinas de cadena.

#### 4.2.6. Zapatas de Cadena

Las zapatas de cadena son los componentes que van empernados a los eslabones de cadena y tienen como función principal soportar el peso de la máquina proveyendo tracción y flotación adecuada.

Figura 20: Zapata de cadena.



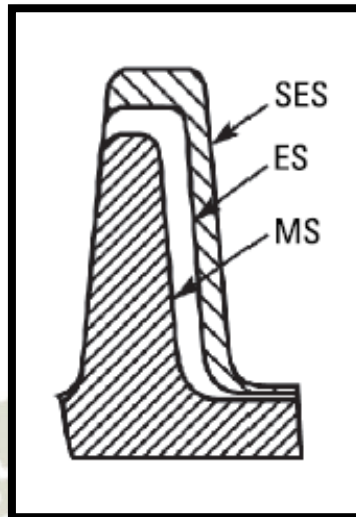
**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de <https://www.cadeco.com.mx/tren-de-rodaje/partes-de-cadena/zapatas/7T2390>)

Las zapatas constan de un acero templado al horno, troquelado y revenido para obtener la mayor resistencia al impacto. Como característica adicional estas zapatas pueden ser recalzadas para así obtener una nueva vida.

Para escoger la zapata correcta de la máquina, se debe considerar el tipo de terreno y como recomendación se debe elegir la más angosta en terrenos secos y de alto impacto para así evitar esfuerzos de flexión y curvaturas en los hombros. En caso se cuente con un terreno en el cual se requiera una mayor flotación pues será momento de ver opciones de zapatas más anchas.

A continuación, presentamos los tipos de zapatas que podremos observar en la Figura 21.

Figura 21: Tipos de zapata.



Fuente: *PSK Caterpillar (2019)*

#### **Zapatas de garra simple servicio moderado (ms)**

- Las zapatas de servicio moderado son adecuadas para condiciones de bajo a medio impacto, del mismo modo con la abrasividad. Eso brinda mejor penetración y tracción, resiste el desgaste y la flexión y está disponible en varios anchos y modificaciones. Laminado en acero al carbono medio modificado.

#### **Zapatas de garra simple servicio extremo (es)**

- Las zapatas de servicio extremo deben usarse donde las zapatas de servicio moderado se doblen o rompan. Los zapatos de servicio extremo son más fuertes para resistir flexiones y roturas y tienen más material de desgaste permitido que el calzado de servicio moderado. Las zapatas de servicio extremo están hechas de acero de aleación resistente, son tratadas térmicamente para proporcionar una mayor resistencia a la tracción para resistir flexiones y roturas en condiciones de alto impacto.

Estas cuentan con más material de desgaste: servicio extremo tiene hasta aproximadamente un 50% más material que las de servicio moderado. Se pueden recalzar más veces debido a su sección más gruesa.

#### **Zapatas de garra simple servicio súper extremo (ses)**

- Estas zapatas cuentan con 25% más material que las de Servicio Extremo.

#### **4.2.7. Pernos de Cadena**

Los pernos de cadena tienen como función principal sostener la zapata con el eslabón, como característica principal tienen buena resistencia a la tracción y al esfuerzo cortante.

Figura 22: Perno de cadena.



**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de <https://boltzequipmentparts.com/products/6t8853-track-shoe-bolt>)

Para cumplir con estas especificaciones pasan por un proceso de endurecido mediante inducción y así soportan cualquier tipo de deformación a la que puedan ser expuestos debido al impacto o condiciones de material abrasivo lo que garantiza una mayor vida útil.

Estos pernos también exceden los requisitos de Grado 8 con una resistencia a la tracción mínima de 160,000 PSI.

#### 4.2.8. Tuercas de cadena

Las tuercas de cadena se usan junto con los pernos para sostener la zapata con el eslabón, estas pasan por un proceso de templado y revenido para igualar y hasta superar la resistencia del perno mínimo (dureza mínima del core de la tuerca es Rc30).

Figura 23: Tuerca de cadena.

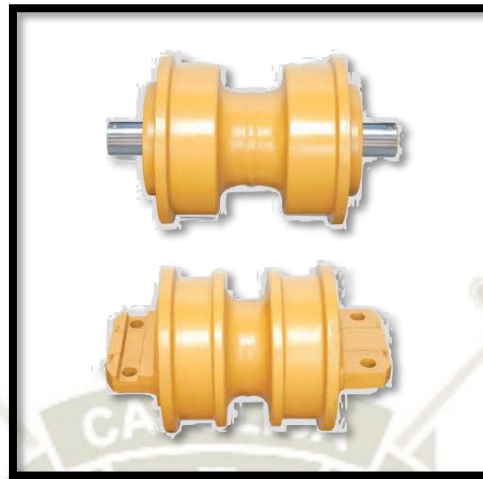


**Fuente:** (PSK Caterpillar, 2019)

#### 4.2.9. Rodillos de Cadena

Los rodillos de cadena tienen la función de guiar la maquina a lo largo de la cadena, así como soportar la misma en tal, en la carrilería del D8T encontramos dos tipos de rodillos, pestaña simple y doble pestaña, ambos tienen la misma función.

Figura 24: Rodillos de Cadena.



**Fuente:** (Figura recuperada el 10 de octubre del 2019 de [parts.cat.com](http://parts.cat.com))

Los rodillos están forjados de acero endurecido y tratados térmicamente para que resistan la misma vida útil y hasta más del eslabón de cadena. La ventaja de estos es que pueden ser reconstruidos.

#### 4.2.10 Rueda guía

Tiene como función principal guiar la cadena por dentro y fuera de los rodillos inferiores, soportar el peso de la maquina intermitentemente y proveer un control óptimo de la comba de la cadena.

Las rudas en la marca Caterpillar están diseñadas para soportar aún más del desgaste de la banda de rodadura, así como igualan y exceden la vida del eslabón. Tanto las bandas de rodadura como la brida central es reconstruible y no requieren ningún tipo de mantenimiento a lo largo de su vida útil.

Figura 25: Rueda Guía.



**Fuente:** *(Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de [parts.cat.com](http://parts.cat.com))*

## CAPITULO V

### 5. HERRAMIENTAS Y METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

#### 5.1. INTRODUCCIÓN A LAS HERRAMIENTAS

Actualmente podemos encontrar varias herramientas para llevar a cabo el análisis del ACR y determinar los probables causales de falla, todas tienen un objetivo en común, que trabajan relacionando causas y efectos posibles hasta encontrar las causas de falla de una manera conjunta y organizada, a continuación, nombraremos algunas de estas herramientas.

#### 5.2. ANÁLISIS DE ÁRBOL LÓGICO DE FALLAS

Esta herramienta fue desarrollada por ingenieros y se utilizó por primera vez en el año 1962 por H. A. Watson, de Bell Telephone Laboratories, en relación con un contrato de Air Force para revisar y evaluar las condiciones de seguridad de los sistemas de tiro de los misiles ICBM Minuteman. Comprendieron que la mayoría de accidentes e incidentes resultan de fallas inherentes a un sistema ( personas, equipo, material y factores ambientales), este sistema realiza tareas específicas, los componentes de un sistema y su ambiente están interrelacionados, y una falla puede afectar a cualquier parte, a partir de ese momento, esta técnica de análisis de riesgos ha sido profundamente utilizada y perfeccionada por parte de estas instalaciones nucleares, aeronáuticas y espaciales, extendiéndose después su empleo para la diversas evaluaciones de riesgos a industrias electrónicas, químicas, petroquímicas, entre otras. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

El árbol lógico de fallas representa gráficamente relaciones de causa y efecto que corresponden a la confiabilidad operacional Estos gráficos nos conducen a descubrir un evento indeseable y cuál fue su causa raíz del problema. También esta herramienta es bastante útil interrelacionando diversos factores para determinar la falla de un mismo evento. Se puede usar para prevenir o identificar fallas, pero mayormente es utilizado para el análisis e investigación de tales. Esta técnica se basa en las leyes de algebra de Boole la cual consiste en descomponer mediante sistemas un suceso

complejo que se denomina como suceso TOP EVENT que luego se descomprimirá en sucesos intermedios hasta luego llegar a los sucesos básicos en los cuales se puede calcular la probabilidad de falla. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

### 5.2.1. Metodología del árbol lógico de fallas (árbol de falla)

Para aplicar esta técnica, se debe tomar un evento no deseado como raíz principal, para luego descomponerlo en situaciones que pueda generar como consecuencias en serie de expresiones lógicas. Ocasionalmente los árboles se etiquetan con números reales sobre probabilidades de fallo, los cuales combinándolos con la lógica Booleana permite calcular la confiabilidad de estos.

El árbol utiliza puertas lógicas, las cuales son conectores entre sí, “Y” (and) o “O” (or), también eventos identificados como dentro y fuera (inputs y outputs). Como reglas del árbol lógico de fallas se tiene lo siguiente:

- Todos los eventos deben estar conectados por puertas o “gates”
- No se permiten hacer conexiones entre puertas
- Debe existir un mínimo de dos inputs por cada output

Según lo comentado anteriormente para aplicar esta herramienta en el ACR, constaría de los siguientes pasos:

#### 1) Evento

- Suceso no deseado que ocurre a través de varios factores desconocidos inicialmente. Este es el principio desde el cual parte todo el suceso de investigación.

#### 2) Modos de falla

- Los modos de falla son una descripción más detallada de como ocurrió el evento anteriormente, estos deben estar basados en hechos. Consecuentemente se tendrá diferentes fallas que ocasionaron el problema principal y su función es dividirlo en cuadros pequeños para hacerlo más manejable. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

### 3) Hipótesis

- Estas son suposiciones que se hacen de acuerdo a una pregunta sobre cómo pudo suceder el evento, pueden tener varios niveles dependiendo del nivel de asertividad que se requiera.

### 4) Verificación de hipótesis

- En esta etapa la hipótesis pasa por procesos de validación para discernir cuales son válidas y clarifican más a donde se quiera llegar.

### 5) Causas físicas humanas y latentes

El árbol lógico de fallas debe desarrollarse mediante un proceso ordenado donde las diferentes etapas guiaran un camino adecuado para el análisis del ACR y así encontrar efectivamente la causa raíz.

La estructura ramificada para el análisis del ACR mediante el árbol lógico se ramifica estructuralmente como la siguiente Figura 26. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

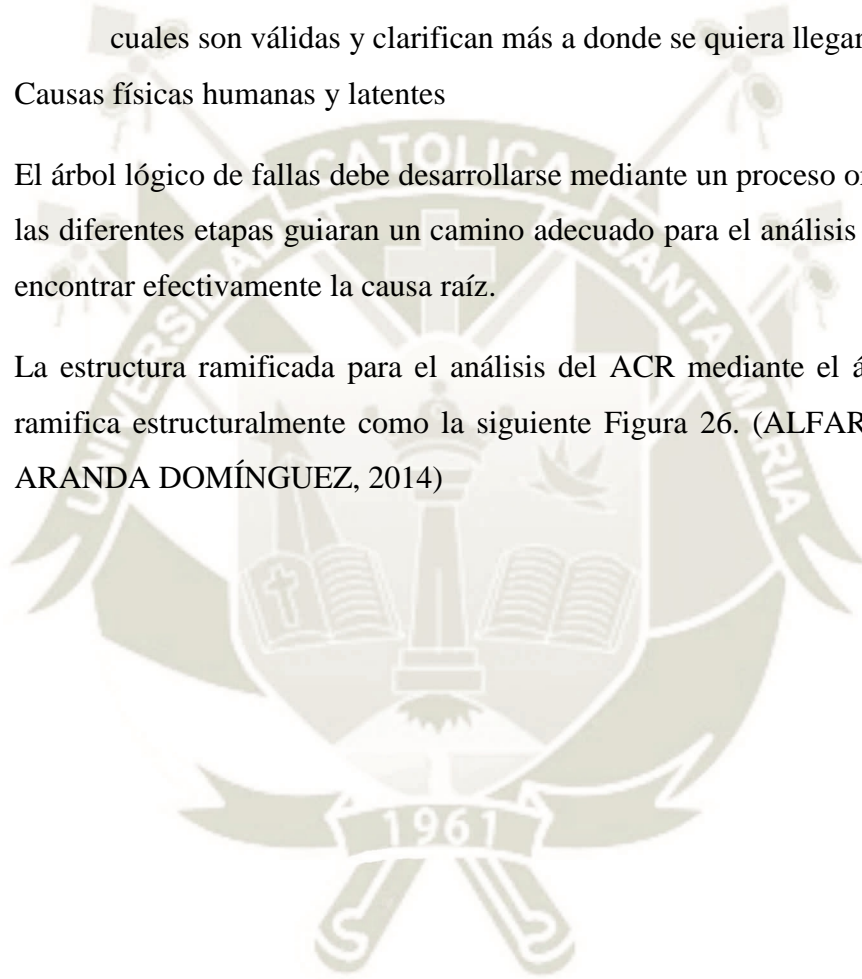
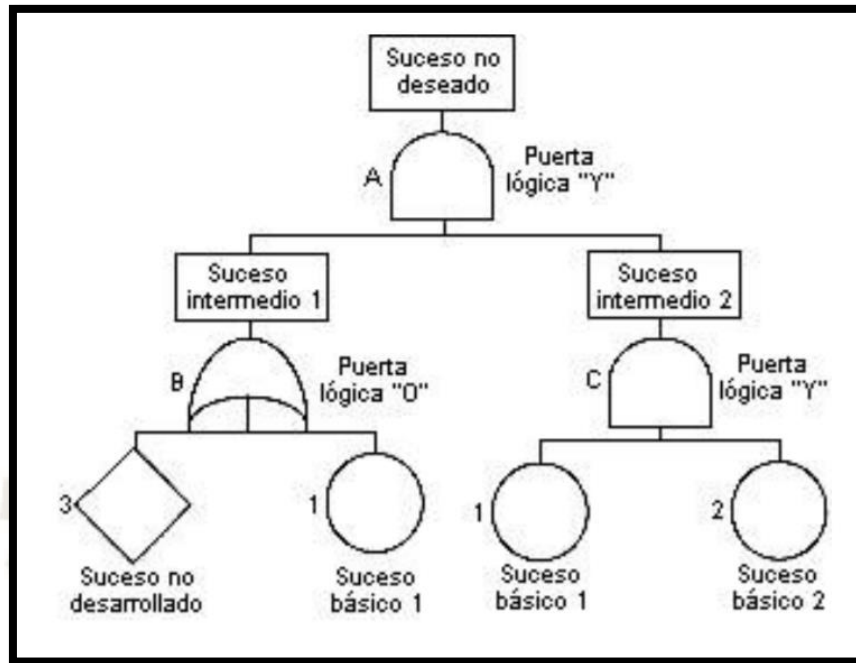


Figura 26: Representación gráfica del árbol lógico de fallas.



**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de [https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp\\_333.pdf/10fae1d9-91bb-4a75-bb92-81bd0ad9dcf3](https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_333.pdf/10fae1d9-91bb-4a75-bb92-81bd0ad9dcf3))

Se puede apreciar un cuadro que de manera sistemática y lógica representa un desglose desde el Suceso TOP hasta los básicos., siendo el nexo puertas u operadores. El árbol se desarrolla de esa manera hasta obtener los “sucesos básicos” denotados de esa forma debido a que ya no se encuentran más anterior a ellos. También alguna rama puede terminar alcanzando algún “suceso no desarrollado” por falta de información o por la poca utilidad que se le podría dar para identificar la causa raíz.

Tanto los sucesos básicos como los no desarrollados deben estar claramente identificados, se caracterizan por los siguientes aspectos:

- Son independientes entre ellos
- La probabilidad de que ocurran pueden ser estimadas o calculadas


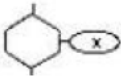
Para garantizar que el método sea efectivo, este debe ser desarrollado por personas conocedoras del área conformando grupos de trabajo pluridisciplinarios para proceder a una reflexión propicia.

### 5.2.2. Desarrollo del árbol lógico de fallas

Empezando con el evento a analizar en el sistema, se desciende escalón a escalón a través de los sucesos intermedios o inmediatos hasta los sucesos básicos o no desarrollados, que conjuntamente contribuyen con la aparición del “suceso no deseado”.

Para la representación gráfica del árbol se muestran a continuación ciertos símbolos con el fin de normalizar e universalizar los procesos. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Cuadro 21: Símbolos utilizados para la representación del árbol lógico de fallas.

	<p>Puerta “o” exclusiva.- El suceso de salida ocurrirá sí lo hace una de las entradas, pero no dos o más de ellas</p>
	<p>Puerta de inhibición.- La salida ocurrirá sí, y solo sí lo hace su entrada, y además se satisface una condición dada (x)</p>

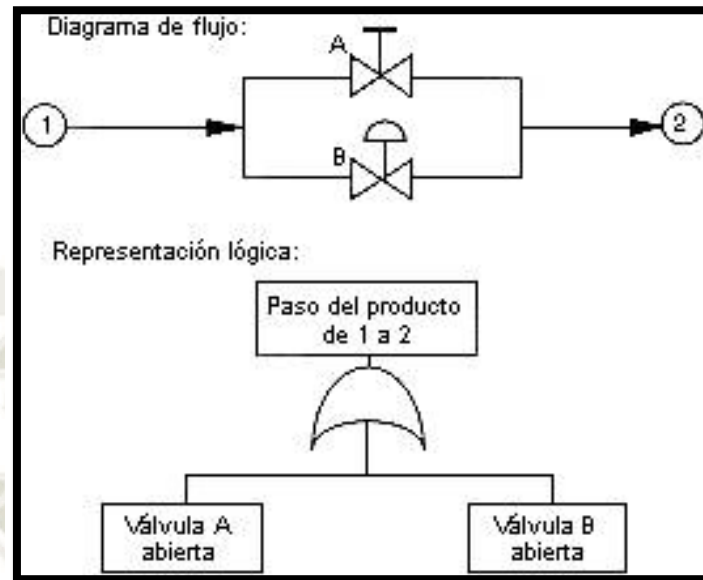
Símbolos	Significado del símbolo
	Suceso básico.- No requiere de posterior desarrollo al considerarse un suceso de evento básico
	Suceso no desarrollado.- No puede ser considerado como básico, pero sus causas no se desarrollan, sea por falta de información o por su poco interés
	Suceso intermedio.- Requiere de la combinación de sucesos más elementales por medio de puertas lógicas. Así mismo se representa en un rectángulo el "suceso no deseado" del que parte todo el árbol
	<p>PUERTA "Y"</p> <p>El suceso de salida (S) ocurrirá sí, y sólo si ocurren todos los sucesos de entrada (E1, B1)</p>
	<p>PUERTA "O"</p> <p>El suceso de salida (S) ocurrirá sí ocurren uno o más de los sucesos de entrada (E1, B1)</p>
	Simbolo de transferencia.- Indica que el árbol sigue en otro lugar
	Puerta "y" prioritaria.- El suceso de salida ocurrirá sí, y sólo sí todas las entradas ocurren en una secuencia determinada, que normalmente se especifica en una elipse dibujada a la derecha de la puerta

**Fuente:** *Análisis probabilístico de riesgos: Metodología del "Árbol de fallos y errores" Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*

A continuación, veremos un ejemplo respecto a una puerta lógica tipo "O":

En el diagrama de flujo proyectado en la Figura 27, el producto pasara del punto 1 al punto 2 si la válvula manual A esta abierta o si la válvula neumática B está abierta.

Figura 27: Ejemplo de una puerta lógica tipo O.



**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de

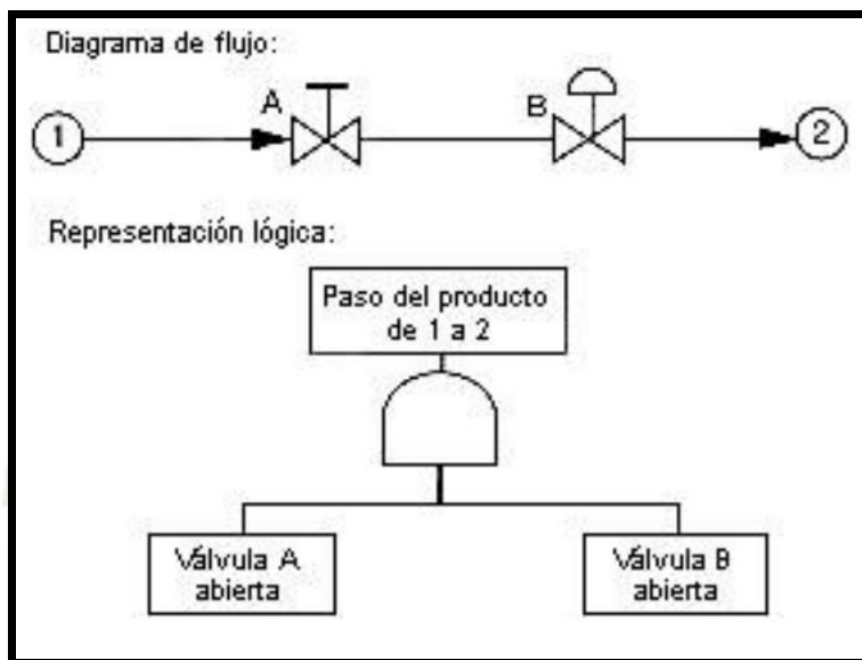
[https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp\\_333.pdf/10fae1d9-91bb-4a75-bb92-81bd0ad9dcf3](https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_333.pdf/10fae1d9-91bb-4a75-bb92-81bd0ad9dcf3))

En caso sean necesarias simultáneamente todas las causas inmediatas, entonces se conectan mediante una puerta lógica tipo “Y”.

Por ejemplo:

En el siguiente diagrama podemos observar que como condición tanto la válvula A Y B deben estar abiertas simultáneamente para que el producto pase del punto 1 al punto 2, su representación lógica la podemos observar en la Figura 28:

Figura 28: Ejemplo de una puerta lógica tipo Y.



**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de [https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp\\_333.pdf/10fae1d9-91bb-4a75-bb92-81bd0ad9dcf3](https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_333.pdf/10fae1d9-91bb-4a75-bb92-81bd0ad9dcf3))

Siguiendo de esta forma, se desciende de modo progresivo hasta que ya no se encuentren más sucesos básicos o no desarrollados, es ahí cuando hemos completado el árbol lógico de fallas.

### 5.3. ÁRBOL DE OMISIONES Y RIESGO ADMINISTRATIVOS (MORT)

MORT es un proyecto que surgió en 1970 en base a un programa de gestión de riesgos para lograr altos estándares en seguridad y salud. Representa también un formato para valorar los programas de seguridad.

Este método es parecido al árbol lógico de fallas, pero con la particularidad de ser aplicado a riesgos omitidos o inadvertidos para identificar las causas raíz. MORT utiliza símbolos similares, pero no idénticos al árbol de fallas (el árbol utiliza códigos ANSI). (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

### 5.3.1. Enfoque general de Mort

MORT se basa en la lógica que un evento no deseado denominase incidente o accidente ocurre cuando existe contacto entre un agente dañino con una instalación o persona. Puede ocurrir de acuerdo a una falla en las medidas preventivas o a un determinado evento desafortunado, pero bajo la premisa que el riesgo ha sido evaluado y asumido.

Esta metodología evalúa todas las causas-efecto que puedan conducir a una falla, sin establecer ningún tipo de hipótesis en el sentido que un riesgo debe ser o no asumido. Este análisis está dirigido en identificar problemas en los procesos/trabajos y deficiencias en las barreras protectoras/controles asociadas. EN este análisis se pueden encontrar etapas como procesos de planeación, diseño, control, operación, mantenimiento, etc. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Para utilizar MORT deberemos identificar los episodios clave:

- Un objetivo vulnerable expuesto a
- Un agente de daño en el
- Ausencia de barreras

Antes de iniciar el análisis, se debe identificar las barreras protectores, lo que permitirá enfocarnos en la secuencia de eventos más relevantes. La metodología orienta el análisis dialogando entre con preguntas genéricas entre el investigador y la situación a analizar. Estas preguntas se realizan en forma secuencial de forma que se pueden identificar todos los factores que implican al accidente o incidente según corresponda, descartando preguntas irrelevantes.

La metodología de MORT usa una Carta o Diagrama de Árbol que actúa como un listado para identificar todos los objetos relevantes, para simplificar esta técnica se usan colores los cuales resaltan los factores más importantes. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Cuadro 22: Símbolos utilizados para la representación del árbol lógico de fallas.

Rojo	Cuando se identifica un problema
Verde	Cuando un aspecto ha sido evaluado satisfactoriamente como relevante
Azul	Cuando se piensa que un aspecto es relevante pero no se tiene la información suficiente para evaluarlo adecuadamente

**Fuente:** *NRI MORT Manual del Usuario para su uso en la Supervisión de la Gestión de Riesgos y diagrama de árbol lógico analítico.*

Adicionalmente los aspectos analizados por la metodología MORT que se han identificado como irrelevantes, deben ser marcados con una “X” para indicar que han sido evaluados.

### 5.3.2. Estructura de Mort

De acuerdo a (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014) el árbol de fallas de MORT, fue desarrollado por el departamento de energía en USA, para realizar análisis de accidentes nucleares y evaluar factores críticos bajo el siguiente esquema:

- Descripción del evento. En este diagrama el evento superior es etiquetado como “Perdidas”, abajo se encuentran dos causas alternativas: (1) descuidos y omisiones, o (2) Riesgos asumidos.
- Estas pérdidas pueden aumentar a partir de dos fuentes distintas, riesgos aceptados e identificados correctamente (riesgos asumidos) y riesgos que no han sido administrados correctamente (llamados daños y omisiones)
- Factores específicos para el control de riesgo. Los factores que contribuyen en la secuencia del accidente son tratados como omisiones y daños al menos que sea transferidos a la rama de riesgos asumidos.
- Factores administrativos del sistema de respuesta a emergencias accidentales.
- Barreras para limitar accidentes, condiciones de operación, supervisión y desempeño.

- Eventos previos, cadena de eventos.
- Análisis de condiciones de riesgo
- Requerimientos de seguridad
- Recopilación de información técnica según:
  - Mantenimiento.
  - Inspección.
  - Análisis de seguridad.
  - Servicios.
  - Respuesta a emergencias.
  - Factores humanos.
  - ¿Qué sucedió? ¿Por qué sucedió?

La investigación de accidentes se lleva a cabo según el siguiente proceso:

- Se recopila información y evidencias.
- Se analiza la información y las evidencias.
- Se formulan hipótesis.
- Se recopila cualquier información adicional que se requiera para probar y/o desechar la hipótesis.
- Se obtienen conclusiones.
- Se elabora el reporte

Durante la recopilación de esta información se buscarán evidencias físicas con soporte de laboratorio, para identificar:

- Defectos por manufactura
- Defectos causados por el ambiente
- Defectos causados por fuerzas externas
- Defectos de construcción

Los resultados del análisis de MORT son:

- La creación de nuevas líneas de investigación
- Visibilidad de factores causales

- Aumento en la rigurosidad de la investigación

#### 5.4. HERRAMIENTA KEPNER-TREGOE

Esta herramienta fue desarrollada por Charles H. Kepner y Benjamín B. Tregoe en la década de 1960, la cual consta en una metodología estructurada para la recolección de información, priorización y posterior evaluación.

La idea de esta herramienta no es encontrar la solución perfecta, sino la mejor opción posible. La decisión de esta herramienta se basa primordialmente en conseguir un objetivo determinado con mínimas consecuencias negativas.

Esta técnica parte de la conformidad que todos los problemas tienen la misma estructura, lo que facilita a racionalizar el proceso de solución. La técnica cuenta con cuatro patrones:

- **Evaluación de situaciones** ¿Qué está ocurriendo? Permite aclarar, evaluar, imponer orden y seleccionar parámetros en una situación confusa. Se utiliza esta etapa para aclarar la situación, esbozar preocupaciones y elegir una dirección.
- **Análisis de problemas** ¿Por qué ocurrió esto? Relaciona los sucesos con los resultados, la causa con su efecto, aquí se determinan los problemas y se define la causa determinada.
- **Análisis de decisiones** ¿Qué curso de acción hay que tomar? Permite hacer decisiones razonadas, se identifican las alternativas y se gestiona un análisis de riesgo por cada una.
- **Análisis del problema potencial** ¿Qué nos espera más adelante? Permite mirar en dirección al futuro que nos depara, se propone la mejor alternativa considerando el menor riesgo y consecuencias negativas.

La técnica que se presenta, (K-T por sus autores), expone cómo se debe realizar el segundo patrón de la solución de problemas; el análisis de problemas. Para los autores, un problema (evento no deseado o falla) es algún tipo de desviación de una

norma, que se considera importante y es necesario restablecer. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Es algo que inexplicablemente ha salido mal y su detección se inicia con una noción clara de lo que debe suceder. El problema se indica haciendo preguntas tanto del objeto que ha sido afectado como del defecto del mismo mediante cuatro dimensiones:

1. La identidad de la falla (¿Qué?)
2. El lugar donde ocurre (¿Dónde?)
3. Su ubicación en el tiempo (¿Cuándo?)
4. La magnitud o tamaño (¿Cuánto?)

La ventaja de esta técnica es la sistematización del análisis de los problemas, los cuales se analizan de forma estructurada y no con sentido común o por intuición en la cual se deben contrastar “LO QUE ES” y “LO QUE NO ES” o con lo que “PUDIERA SER” pero “NO ES”. La desventaja de esta técnica se encuentra en la necesidad del conocimiento profundo sistemático de objeto de estudio. La técnica es recomendable para identificar, describir y analizar problemas operativamente técnicos, proporcionando un medio sistemático para extraer la información relevante y dejar a un lado la que no. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

#### **5.4.1. Definición del problema en la herramienta kepner-tregoe**

Hay un paso importante en esta etapa en el cual el equipo a cargo no debe pasar por alto, la definición del problema. A menudo varios consideran este punto como pérdida de tiempo, pero es un problema de inmadurez para enfrentar el problema. Cuando se tiene nociones preconcebidas están resultan en una extensión en el corte debido a un juicio pobre, esta gestión de problemas es un ejercicio que se debe resolver en equipo para obtener una mayor y mejor comprensión del problema.

Un buen modelo para formalizar las declaraciones de la definición del problema es el método GQM ( Goal Question Metric ), que da como resultado un objetivo, un propósito y un enfoque adecuado. También es recomendable utilizar la técnica

de “5 porqués” hasta llegar al punto que no haya más explicación para el problema.  
(ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

#### 5.4.2. Describir el problema

Después de definir el problema, a continuación, se debe describir el problema a detalle. Para esto nos guiaremos de la Cuadro 23 la cual nos servirá como plantilla describiendo la hoja de trabajo básico que se usa en el proceso

Cuadro 23: Plantilla para describir el problema

Es		Puede ser pero no es	Diferencias	Cambios
Que	Falla del sistema	Sistemas similares/situación sin fallas	?	?
Donde	Ubicación de la falla	Otras ubicaciones que no fallaron	?	?
Cuando	Momento de la falla	Otras veces cuando la falla no ocurrió	?	?
Extensión	Otras fallas del sistema	Otras sin falla	?	?

**Fuente:** *Gabriel De Las Nieves Sánchez Guerrero, Capítulo 6 - Técnicas participativas para la planeación*

Podemos observar que se describen cuatro aspectos de un problema, que es, donde, cuando y la extensión en que se produjo. La primera columna (ES) que se observa en la Tabla 4 proporciona un espacio para la descripción en detalle sobre el problema – lo que el problema (ES). A continuación, la columna (Podría ser, pero no es) ofrece un espacio para poner detalles relacionados al problema, pero excluidos de lo que el problema (Podría ser, pero no es). Ambas columnas ayudan en eliminar diversas suposiciones sobre el problema. Con estas columnas completas, la tercera ofrece un espacio para diferenciar los detalles entre sí. Estas diferencias son parte de la base de la solución de problemas, la última columna proporciona el espacio para enumerar todos los cambios realizados entre las columnas 1 y 2 para remarcar las diferencias de la columna 3. Como ejemplo se

muestra a continuación el análisis en el problema de un turbogenerador. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Cuadro 24: Plantilla para describir el problema.

Enunciado de la desviación: Disparo en el Turbogenerador 2 (TG2)				
PREGUNTAS DE ESPECIFICACIÓN	LO QUE ES	LO QUE NO ES	DISTINCIÓN	CAMBIO
<b>IDENTIDAD</b> ¿Qué? Objeto – Defecto	ES el Turbogenerador 2.	PUDIERA SER pero NO ES en los turbos 1, 3 y 4.	Al TG2 se le realizó cambio de cojinetes.	Se instalaron durante el mantenimiento preventivo.
<b>UBICACIÓN</b> ¿Dónde? Se observó la falla	ES en la parte de generación.	NO ES en otros lugares. NO ES en la turbina, sensores o el sistema de control.		Se realizó cambio de los sistemas de excitación.
<b>TIEMPO</b> ¿Cuándo? Se observó la falla	ES observada quince días después del mantenimiento al TG2.	NO ES vista antes del mantenimiento.	Se realizó mantenimiento quince días antes de presentarse la falla.	
<b>MAGNITUD</b> ¿Cuánto? ¿Qué tanto impacto?	ES la no disponibilidad total del TG2.	NO ES la pérdida parcial de la energía generada por el TG2.		
<b>CAUSA MÁS PROBABLE</b> ¿ Por qué? Y ¿Cómo sucedió?	Los cojinetes que se colocaron durante el mantenimiento, no fueron colocados adecuadamente o sufrieron un desgaste prematuro.			

**Fuente:** (Gabriel De Las Nieves Sánchez Guerrero, Capítulo 6 - Técnicas participativas para la planeación)

#### 5.4.3. Determinar las causas posibles

En esta parte podemos apreciar en lo que un problema es y lo que un problema podría ser, pero no lo es. Respecto al tiempo se pueden originar muchos cambios los cuales pueden complicar las cosas y es mejor tener controlados todos los factores, con la hoja de trabajo completa, se pueden hacer visibles algunas soluciones.

**Prueba de la causa más probable:** Teniendo una lista corta de posibles causas (con cambios recientes evaluados y convertidos en una lista), el siguiente paso es ponerse a pensar sobre el siguiente problema. La siguiente indicación puede

contribuir con el siguiente proceso. Debemos hacernos la pregunta: “Si \_\_\_\_\_ es la causa raíz de este problema ¿explica el problema (Es) y cual problema (Podría ser, pero no lo es)?” Si la respuesta potencial es la causa raíz, la solución potencial debe encajar en todos los aspectos de la hoja de trabajo de análisis de problemas. Se debe utilizar una hoja de trabajo como se muestra a continuación en la siguiente Cuadro 25. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Cuadro 25: Plantilla para describir el problema.

Causa Raíz Potencial:	Verdad si:	¿Causa raíz probable?
-----	-----	-----
-----	-----	-----

**Fuente:** *(Gabriel De Las Nieves Sánchez Guerrero, Capítulo 6 - Técnicas participativas para la planeación)*

### 5.5. CINCO PORQUÉS PARA RESOLVER PROBLEMAS

Fue inventando en 1930 por Kiichiro Toyoda y se hizo popular en el año de 1970 por Toyota. Esta estrategia consta básicamente de observar y preguntar: “¿Por qué?” y “¿Qué causo este problema?”. Es importante también resaltar que Six Sigma, es un proceso de calidad (SGC), y utiliza esta herramienta ya mencionada. El principio de los “5 porqués” es simple, consta básicamente de plantear la pregunta ¿Por qué?, la cual separara los síntomas de las causas de un problema. Esto es muy importante debido a que normalmente lo síntomas cubren las causas de un problema. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

**Simplicidad.** No requiere de herramientas ni matemáticas avanzadas.

**Eficacia.** Separa rápidamente los síntomas de las causas ayudando a definir la causa raíz.

**Exhaustividad.** Determina relaciones entre las diversas causas.

**Flexibilidad.** Puede funcionar solo o combinado con otras técnicas para realizar análisis de problemas.

**Atractivo.** Fomenta el trabajo en equipo tanto dentro como fuera de la organización.

**Bajo costo.** Al ser una guía centrada en el ejercicio de un equipo, esta no tiene costos adicionales.

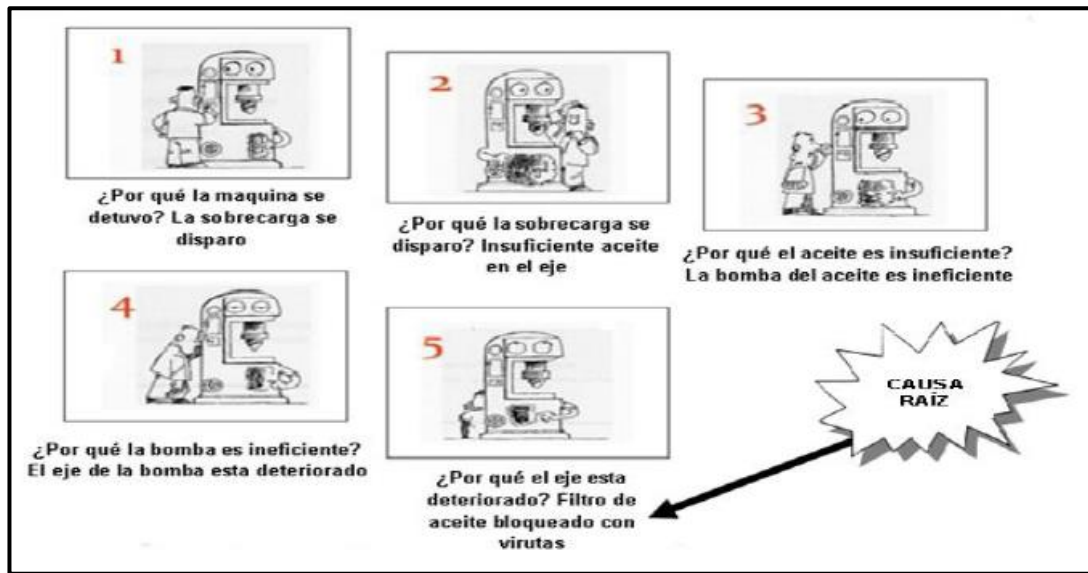
Normalmente la primera pregunta ¿Por qué?, desmenuza otras razones y genera otro “por qué”. A menudo se requieren cinco de estas preguntas para llegar a la causa raíz del problema. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

### 5.5.1. Cómo utilizar los cinco porqués

Como indica (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014) estos son los pasos para llevar a cabo el ACR utilizando esta herramienta:

- 1) Conformar un equipo de gente conocedora en el tema de falla, incluir especialistas relacionados con el motivo y usuarios si fuese necesario.
- 2) En un esquema de presentación describir brevemente acerca de lo que se sabe del problema. Trate de documentarlo y de describirlo en la forma más completa posible. Perfeccionar la definición con el equipo, llegando a un acuerdo sobre el problema en cuestión.
- 3) Un miembro del equipo conformado hace la primera pregunta “¿Por qué?” el problema puede ocurrir y a continuación escribe la respuesta debajo de la descripción del problema.
- 4) Si la respuesta dada a partir del punto 3 no resuelve el problema, se deben repetir los pasos 3 y 4 hasta que lo haga.
- 5) Si la respuesta parece probable para resolver el problema, asegúrese de que el equipo este de acuerdo e intentar una resolución con la respuesta como se puede apreciar en el siguiente ejemplo:

Figura 29: Esquema de la práctica de los 5 porqués.



**Fuente:** (Alfaro, M. y Aranda, G. (2014).

### 5.5.2. Dominio de los cinco porqués

Es importante basar nuestras causas raíz provenientes de los “5 por qué” en hechos reales (observación directa) y no en suposiciones o especulaciones. Si no se puede observar el “por qué” de primera mano, entonces solo se está adivinado y eso no nos traerá buenos resultados.

El adivinar es contraproducente, gente que es experimentada en esta técnica exige que se pregunte nuevamente los 5 porqués, pero dirigido a cada propuesta para la causa raíz que el equipo piensa que puede ser.

Para validar las potenciales causa raíces de los resultados de las preguntas de los 5 porqués, realice las siguientes preguntas para cada posible causa raíz:

- ¿Hay alguna prueba (se pueda medir u observar) para apoyar esta determinación de causa raíz?
- ¿Hay alguna historia o el conocimiento que indique que la posible causa raíz en la actualidad podría producir el problema?
- ¿Hay algo "por debajo" de la posible causa raíz que podría ser una causa más probable?

- ¿Hay algo que esta posible causa raíz requiere para producir el problema?
- ¿Hay alguna otra causa que pudiera producir el mismo problema?

Teniendo en cuenta estas preguntas validadas, tendremos una mejor claridad acerca de la descripción del problema y podremos entender mejor todos los factores derivados que lo relacionan. Incluso si no se llegase a una resolución, esta herramienta garantiza un mejor empapamiento y comprensión del problema. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

## 5.6. DIAGRAMA DE ISHIKAWA O ESPINA DE PESCADO

Este método fue documentado por primera vez por Kaoru Ishikawa, es utilizado para métodos de análisis y se utiliza hoy en día como piedra angular de mejora continua del servicio. Debido a la forma que tiene, el diagrama de Ishikawa también es conocido como espina de pescado. Otro nombre que tiene esta herramienta es el “diagrama de causa-efecto”. Usando este diagrama se puede observar todas las posibles causas de un problema y descubrir la causa raíz de las fallas. Este tipo de diagramas no requieren ningún tipo de inversión en softwares o herramientas, básicamente es un ejercicio grupal.

En resumen, Ishikawa, "Espina de pescado", o diagrama de causa-efecto se refieren a lo mismo: una representación grafica de entradas (causas / razones) y salidas (problema o evento). Un profesional guía a un grupo para organizar todas las causas de acuerdo a su importancia, lo cual en el diagrama se interrelaciona con las razones y problemas consecuentes. Este grafico ayuda a identificar las causas raíces, ineficiencias, entre otros problemas objetos de estudio. Tener todas las ideas organizadas en conjunto dentro del diagrama, ayuda a acelerar el diagnostico de problemas y resoluciones. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Esta técnica se debe usar siempre que se deba:

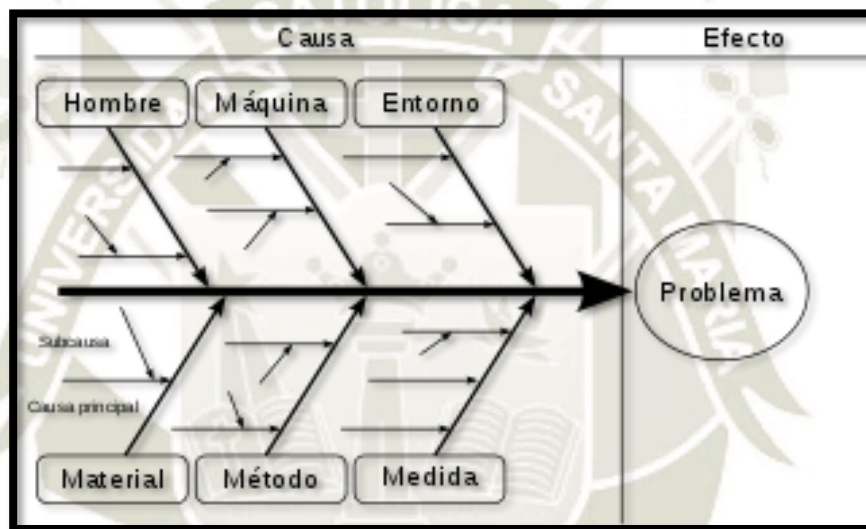
- Determinar una causa raíz.
- Comprender razones por las cual un proceso no se está cumpliendo como lo esperado.

- Identificar áreas en las cuales se puedan recoger datos.

La cabeza en el diagrama de Ishikawa debe contener la descripción del problema. Luego, de la cabeza se origina la “columna vertebral” del pescado, y consecuentemente vienen las “costillas” que son las causales en la mayoría de problemas. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

A continuación, se puede observar las partes en la siguiente Figura 30:

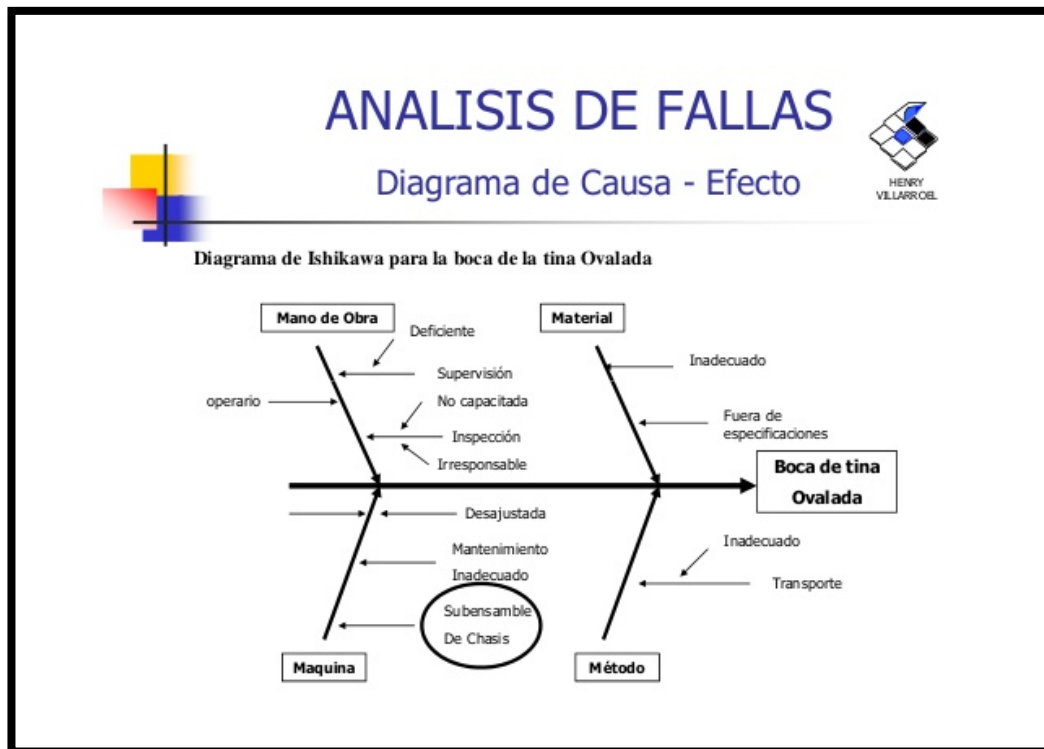
Figura 30: Esquema de espina de pescado



**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de <https://cecma.com.ar/wp-content/uploads/2019/04/modulo-ii-el-deterioro-de-los-equipos-mantenimiento-correctivo-preventivo-y-predictivo-v1.pdf>)

A continuación, veremos un ejemplo en la Figura 31:

Figura 31: Esquema de espina de pescado para la boca de una tina ovalada.



**Fuente:** (Figura recuperada el 1 de Febrero del 2020 de <https://es.slideshare.net/henry44/analisis-de-fallas-de-componentes-mecanicos>)

### 5.6.1. Creación del diagrama ishikawa o espina de pescado

Para crear el diagrama de pescado se debe realizar lo siguiente: Para empezar, deberemos contar con un equipo empapado con el problema en cuestión.

1. Dibujar una línea horizontal la cual será nuestra “columna vertebral” del pescado y un rectángulo al final de esta la cual será nuestra “cabeza”.

2. Trabajar con el equipo para llegar a una descripción del problema con claridad. Escribir esta descripción en la cabeza del pescado. En el ejemplo, el problema es Boca de tina Ovalada, refiriéndose a un fallo en un determinado producto.
3. A continuación, el equipo debe discutir y estar de acuerdo con los grandes grupos de causas o “costillas” iniciales. Si el grupo no logra ponerse de acuerdo, debe proceder con la siguiente técnica: la de las 3P, Personas, Proceso y Producto. Escriba una etiqueta para cada “costilla”.
4. Use técnicas tradicionales como la tormenta de ideas para llenar posibles razones para estas costillas de la siguiente manera:
  - a. Pregunte individualmente a cada persona una posible causa (puede ser en forma de pregunta) para cada “costilla”. Cada persona debe presentar al menos una razón posible, y en caso no la tenga puede pasar. Se debe asegurar que cada causa sea medible, clara y concisa.
  - b. Dibuje la causa en una línea conectada a la “costilla” adecuada y etiquétela con la causa. En caso se tenga una causa existente dentro de la etiquetación, se debe crear otra espina dorsal dentro de la costilla con su respectiva etiqueta.
  - c. Volver atrás y repetir el proceso hasta que ya nadie tenga ideas y todos “pasen”. Es ahí cuando ya no tendremos más costillas para añadir.
5. Con la espina del pez completo, ahora se procede a revisar y discutir el diagrama para buscar las causas comunes o repetidas. Trate de determinar la causa raíz del problema.

La mejor forma para interpretar los resultados, es clasificar las 5 mejores causas. Los 5 porqués también son de gran ayuda para determinar la causa raíz en este diagrama. Hacer un círculo de las causas seleccionadas y que los miembros a continuación investiguen estas causas utilizando otras técnicas de solución de

problemas. Es considerado adecuado limitar el número de causas (costillas) entre 3 a 5. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Otras técnicas para el uso con este diagrama son:

- Realizar una pregunta directa al problema, tal como ¿Por qué son los incidentes? ¿Por qué existe tan alto rechazo en él? Cada causa debe responder a esas preguntas.
- Asegurarse que las costillas son las causas del problema y no los síntomas.
- Usar la técnica de la lluvia de ideas para determinar las costillas de forma clara.
- Comprobar que las causas en el diagrama no son otros problemas.
- Combinar costillas vacías o casi vacías con otras similares.
- Divida las costillas densas en varias costillas según convenga.
- Realice copias de los resultados y repártalo para obtener mayor participación y comprensión. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

## 5.7. ANÁLISIS DE EVENTOS Y FACTORES CAUSALES

Este es un componente importante en la investigación de eventos no deseados, diseñado como herramienta independiente que examina condiciones y eventos, construyendo y analizando la cronología o secuencia de estos. Está basado en la premisa que los incidentes o accidentes pueden ser estudiados como el resultado de uno o más eventos sucesivos. Cada uno de estos eventos pueden verse influenciados para las condiciones que son denominadas factores casuales. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Tiene tres propósitos en la investigación:

1. Ayuda a verificar cadenas causales y secuencias de eventos
2. Proporciona una estructura para integrar los resultados de la investigación
3. Ayuda a la constante comunicación durante y al finalizar la investigación

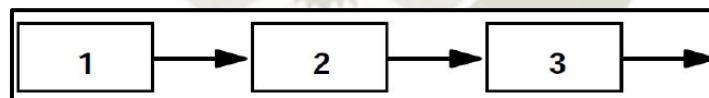
Los accidentes se investigan para identificar las causas que provocaron su aparición, y acciones para evitar la recurrencia. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Es importante profundizar para identificar la raíz de estos.

### 5.7.1. Descripción de la técnica

1. Se deben encerrar los eventos en rectángulos; las condiciones en óvalos. Todo evento y condición que esté basado en con observaciones validas, debe ser dibujada con bordes sólidos, y los eventos que sean asumidos o condiciones, deben ser enmarcadas con líneas discontinuas.
2. Organizar los eventos cronológicamente de izquierda a derecha

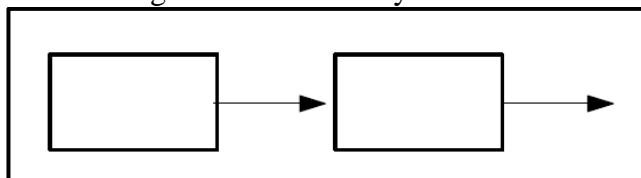
Figura 32: Diagrama de eventos y factores causales I.



**Fuente:** (Alfaro, M. y Aranda, G.(2014))

3. Mostrar eventos en secuencia real; deben seguir un orden lógico, mostrar cualquier tipo de evento previo relacionado (accidente, incidente o problema), y el post-evento o la fase de mejora. Tanto el inicio como el final del evento o problema debe tener una secuencia definida.
4. Conectar los eventos con flechas continuas como podemos observar en la Figura 33

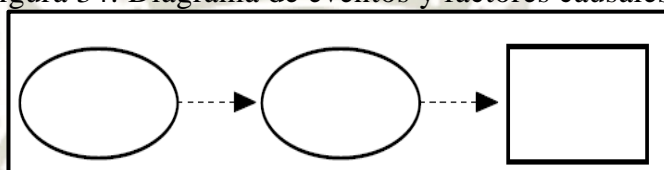
Figura 33: Diagrama de eventos y factores causales II.



**Fuente:** (Alfaro, M. y Aranda, G. (2014))

5. Conectar las condiciones con a cada evento relacionado mediante flechas con líneas discontinuas Fig 34

Figura 34: Diagrama de eventos y factores causales.



**Fuente:** Alfaro, M. y Aranda, G. (2014).

6. En caso sea necesario, se puede representar una secuencia de eventos secundarios, usando líneas horizontales a diferentes niveles debajo de la secuencia primaria.

Cabe resaltar que esta técnica es bastante visual, ya que provee una secuencia de historia (de eventos) acompañada de explicaciones o descripciones de las condiciones que lo rodean. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

### 5.7.2. Criterios para la descripción de eventos y condiciones

- Cada evento debe describir un hecho o acontecimiento, mas no una condición, circunstancia, estado conclusión o resultado
- Todo evento debe ser mostrado en el diagrama en un rectángulo y debe ser descrito en una oración corta, con un verbo y sujeto, por ejemplo: “el papel se incendió”. Cuando hay varios eventos que se describen conjuntamente, como, “el papel se incendió y fue extinguido”, esto puede hacer que su posterior análisis, los eventos potencialmente importantes o factores que se deben tener

en cuanto se pierdan, como por ejemplo “el intento ineficaz de sofocar el fuego con mantas” o “dificultades para operar o accionar el extinguidor”

- Se debe tener precisión en la descripción de cada caso.
- Cada evento debe cuantificarse lo mejor posible, como por ejemplo “el fuego se extendió a dos pisos” en vez de “el fuego se extendió”.
- En lo posible incluir hora y fecha en cada evento, esto puede ayudar mucho en la cronología y determinación de los hechos.
- Mostrar secuencia real de los eventos.
- Las condiciones se diferencian de los eventos debido a que estas describen estados o circunstancias en lugar de los sucesos o acontecimientos y son pasivos, no activos.

### 5.7.3. Construcción del diagrama

Este gráfico inicial, será el producto del esqueleto final, el cual debe ser actualizado en caso se sumen nuevas condiciones o eventos. Esto ayudara a tener mayor claridad acerca de la representación de los eventos para utilizar en la recopilación de pruebas y testimonios.

Los investigadores pueden construir el evento y los factores casuales manualmente o mediante un método computarizado, convenientemente se recomienda que se realice en la primera etapa de forma manual y luego se transforme a computarizado.

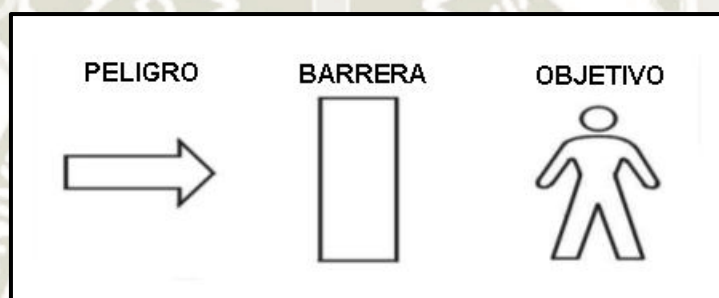
La construcción de la cadena de los hechos que condujeron al accidente comienza de izquierda a derecha, los eventos secundarios se van añadiendo a continuación a los eventos primarios en una línea por encima de estos. Las condiciones que afectan a cualquiera de estos eventos secundarios o primarios se colocan por encima o por debajo de estos. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

## 5.8. ANÁLISIS DE BARRERAS

Este análisis está conceptualizado bajo la premisa que todos los riesgos están asociados con los accidentes. Estas barreras son integradas y desarrolladas con la finalidad de proteger al personal y equipo de cualquier tipo de daños. Para que ocurra un accidente debe haber:

- Un peligro, el cual entra en contacto con un objetivo.
- Un objetivo, es el porqué del evento o problema.
- Las barreras, controles que tal vez no estaban en su lugar, no fueron utilizadas o fallaron.

Figura 35: Diagrama de eventos y factores causales.



**Fuente:** *DOE Manual de Investigación de accidentes (2012)*

El peligro es considerado como un flujo de energía que resulta de un accidente u otra consecuencia adversa. Este flujo es transferido desde una fuente a otra, donde este puede ser deseado o no deseado. El objetivo es el objeto o persona a la cual el peligro puede direccionar todo el flujo de energía causando graves daños, para esto, las barreras son medios utilizados para controlar, prevenir o impedir que el peligro llegue al objetivo. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Los investigadores a menudo usan el análisis de barreras para identificar todos los peligros relacionados u asociados a accidentes y las barreras posicionadas para prevenir cualquier tipo de daño.

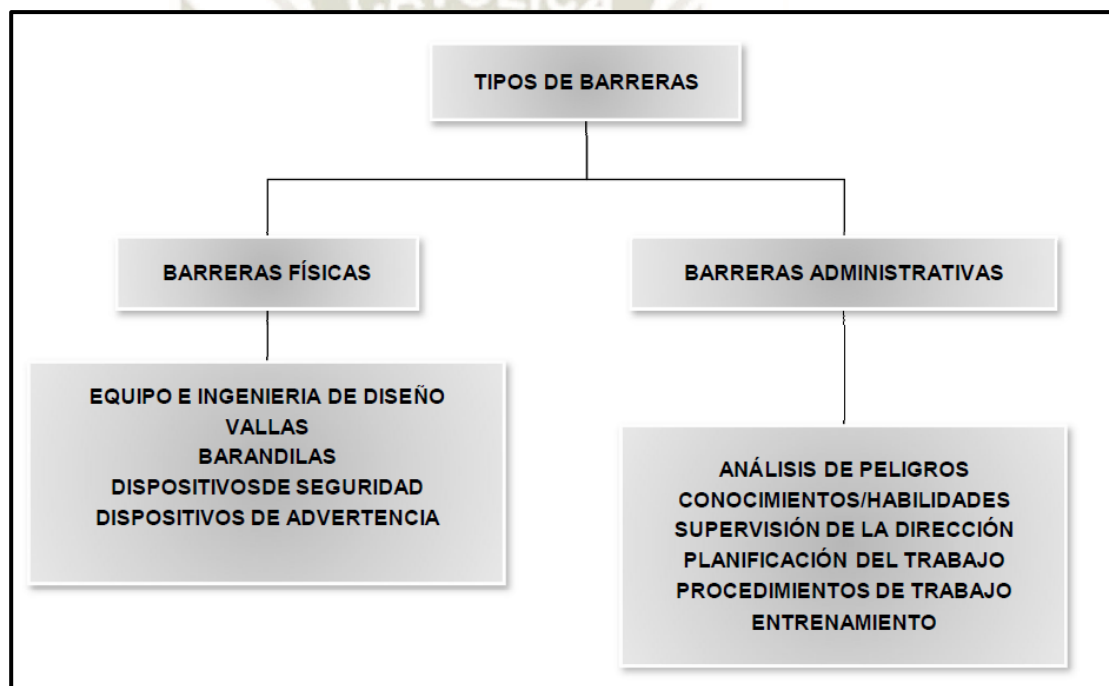
El análisis consta de identificar:

- Barreras en su lugar y la forma que actuaron.
- Barreras en su lugar pero que no se usaron.

- Barreras que no estaban en su lugar y fueron requeridas.
- Barreras que en caso sean reforzadas puedan impedir un accidente similar en el futuro.

A continuación, se puede apreciar en la Figura 36 los tipos de barreras que pueden existir para proteger los procesos, personal contra riesgos y equipos determinados.

Cuadro 26: Plantilla para describir el problema.



**Fuente:** *DOE Manual de Investigación de accidentes (2012)*

Es importante analizar los siguientes elementos junto con el esquema de tipo de barreras:

- La amenaza que produce el daño.
- El objetivo que sufre el daño.
- Las barreras que pudieron prevenir el peligro, pero no lo hicieron.
- La ruta por la cual la amenaza alcanzó al objetivo.

Las barreras físicas son aquellas que van directamente asociadas al objetivo de forma física, colocados entre el peligro y el objetivo, como por ejemplo un casco de construcción. En el caso de las barreras de gestión, estas son más difíciles de determinar a simple vista, debido a que se dan de forma indirecta, como por ejemplo los límites de trabajo en un determinado equipo para que no se sobre esfuerce o controlar los límites de exposición requeridos para minimizar el daño. Los investigadores deben tener en claro la diferencia entre ambos tipos de barreras e indicar el motivo por el cual no pudieron prevenir que el peligro llegue al objetivo. Para analizar el desempeño de estas, se puede requerir diversos tipos de datos incluidos:

- Especificaciones de los sistemas y equipos.
- Documentación técnica de proveedores y adquisiciones.
- Registros de instalación y pruebas.
- Planos o fotografías.
- Historiales de mantenimiento.

En el caso de las barreras de gestión, los investigadores deben profundizar en las áreas de obra: actividad, instalaciones y niveles institucionales. Por ejemplo, en lo que se refiere a actividad, procesos de planificación y control de los procesos que regían la actividad laboral y los sistemas de gestión de seguridad adecuados. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Para llevar esta información se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Organigramas que definan roles y responsabilidades para la supervisión de seguridad.
- Registros y formación de calificación a personas involucradas en el accidente.
- Planes de control de riesgos.
- Documentación para el respectivo análisis de riesgos.

### 5.8.1. Construcción de una hoja de trabajo para el análisis de barreras

A continuación, mostraremos en la Tabla 7 una hoja de trabajo la cual es una herramienta bastante útil para consolidar la información.

Cuadro 27: Hoja de Trabajo del Análisis de Barreras.

Peligro		Objetivo o blanco	
¿Cuáles fueron las barreras?	¿Cómo fue el desempeño de cada barrera?	¿Por qué la barrera falló?	¿Cómo la barrera afectó el accidente?

**Fuente:** (DOE Manual de Investigación de accidentes,2012)

Los pasos para completar la tabla son los siguientes:

- Paso 1: Identificar el objetivo y riesgo. Registrarlos en la parte superior de la hoja de trabajo.
- Paso 2: Identificar las barreras y colocarlas en la columna 1.
- Paso 3: Identificar como se ha realizado la barrera (¿Cuál fue el propósito de la barrera? ¿la barrera estaba en su lugar o no? ¿Falló la barrera? ¿La barrera utilizada si estaba en su lugar?).
- Paso 4: Identificar y considerar las causas probables de la falla de la barrera
- Paso 5: Evaluar las consecuencias de este accidente. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

### 5.8.2. Resultados del análisis de barreras

Finalmente, se podrá graficar o resumir en un esquema las barreras que funcionaron y las que no, para así determinar si se requiere alguna nueva barrera o una acción inmediata para evitar que suceda nuevamente el accidente.

## 5.9. ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS

El AMEF (Análisis de modo de fallas y efecto de fallas), es una herramienta la cual permite conocer las consecuencias de los modos de falla o identificar los efectos correspondientes. Con esto podemos lograr que:

- Todos los modos de falla sean comprendidos, así como sus efectos.
- Identificar debilidades en el diseño o proceso.
- Proveer alternativas
- Proveer criterios acerca de acciones correctivas
- Proveer criterios para acciones preventivas
- Intervenir en la identificación de fallas en sistemas anómalos.

Existen muchas maneras de evaluar el AMEF en la siguiente Tabla 1 se observa un formato de realización (Moubray, 2004).



Cuadro 28: Formato de AMEF

HOJA DE INFORMACION RCM		ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA PARA DETERMINAR LA CAUSA RAIZ Hoja de informacion									
MAQUINA:		MODELO:		REALIZADO POR:		FECHA:		TAREAS PARA OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO			
CODIGO:		COMPONENTE:		REVISADO POR:		FECHA:					
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO Y CONSECUENCIA DE FALLA	TIPO DE MANTENIMIENTO	TAREA	FRECUENCIA	EQUIPOS	EN OPERACIÓN	DURACION	A REALIZARSE POR:	
1	A	1									
		2									
		3									
		4									

Fuente: *Elaboración propia*

## 5.10. RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN DE HERRAMIENTA

Al usar cualquiera de las herramientas ya descritas, la o las que se seleccionen para el análisis, deben adecuarse a determinar por qué motivo ocurrió, determinar cómo prevenir y asignar la responsabilidad para las acciones correctivas. Se estima que para determinar la causa de un problema que no tiene mucha relevancia, no debe emplearse mucho tiempo, ni esfuerzo. En el proceso del ACR, nuestro objetivo es la investigación, reportar la causa de un problema o falla, e identificar las acciones correctivas adecuadas.

Esta línea de razonamiento nos ayuda a determinar que aconteció paso a paso. Empezando por el evento no deseado, identificando porque se permitió que ocurriera y las acciones a tomar.

Como dice (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014) la herramienta que se utilice deberá darnos resultados precisos y acertados según corresponda el tema del evento, además se debe considerar los siguientes puntos:

- Que sea rápida.
- Fácil de aprender.
- Que se puedan identificar tendencias.
- Que pueda ser combinada junto con otras herramientas.
- Que categorice y organice.
- Que de una visión clara.

## 5.11. METODOLOGÍA Y CRITERIOS PARA INICIAR UN ACR

Para realizar un buen ACR es necesario hacerlo “on site”, con un espacio adecuado y con las facilidades que requiere este análisis para llevarse a cabo.

Antes de realizar el análisis es importante recolectar toda la información posible acerca del antes, durante y después del evento, preservar la evidencia física de falla, realizar entrevistas al personal relacionado, definir el circuito del proceso, entre otros.

Una vez que tengamos la información, la podemos ingresar al sistema y a

continuación definir el evento. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Esto se gestiona de tal forma, que si en vez de consolidar esta información, pasamos a preguntar a “x” personas distintas, obtendríamos “x” respuestas diferentes lo cual ampliaría el radio de análisis.

De acuerdo a (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014) de vez en cuando se debe llevar el ACR de manera esporádica cuando algunas situaciones se ven involucradas como, por ejemplo:

- a) **Ambiente (cuando el evento impacta en el ambiente)**
  - Cuando es “no controlado”
  - Evento recurrente
  - Evento reportado
- b) **Accidente**
  - Lesión, fuego, daños o equipos
- c) **Parada no planificada**
- d) **Pérdidas de producción**
- e) **Perdidas mayores**
- f) **Incidente de calidad**
  - Evento no controlado
  - Reclamo
- g) **Evento de consideración especial (por parte de la gerencia)**

## 5.12. PROCEDIMIENTO DE LA METODOLOGÍA ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

Lo más importante en el análisis del ACR, es la formación de un equipo eficaz el cual pueda contribuir y dar valor agregado a cada una de las etapas que se realizaran.

Debido a la naturaleza del ACR, esta no puede ser desarrollada bajo el enfoque unilateral, es por eso que se requiere el apoyo de personas conocedoras en el área para así obtener distintos puntos de vista para que facilite y agilice el estudio del problema.

Así como se muestra en la Figura 36 se puede considerar la confirmación del equipo de trabajo. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Figura 36: Equipo de trabajo ACR.



**Fuente:** Pemex (2006)

Las responsabilidades de equipo se enumeran a continuación:

- **Facilitador:** Son los responsables de la toma de decisiones, facilitan material visible y recursos para el desarrollo del análisis ACR. También dan seguimiento y aseguran el cumplimiento de las recomendaciones generadas en los análisis.
- **Líder de equipo:** Debe contar con experiencia en análisis y conocimiento de la metodología ACR. Es responsable de los resultados, de elegir el equipo y empoderarlo, velar por una buena conducción del análisis, mostrar los resultados y asegurar que las medidas de reducción de riesgo sean ejecutadas.
- **Secretario:** La responsabilidad de este integrante s realizar juntas de trabajo, seguimiento al cumplimiento de acuerdos, así como programar y registrar las reuniones.
- **Asesor de la Metodología:** Es la persona más capacitada en el ACR, y responsable de conducir adecuadamente el análisis. Por lo general es un ingeniero de operación o mantenimiento.
- **Analistas:**

- Encargado de mantenimiento: Debe proveer el histórico de reemplazos, modificaciones o reparaciones.
- Operador: Responsable de indicar la condición de operación de los equipos. Son responsables de ejecutar las recomendaciones dentro de su ámbito de acción.
- Integrantes especiales:
  - Fabricante: Es el responsable de dar apoyo técnico y aportar información sobre los equipos involucrados en el análisis.
  - Especialista en equipos dinámicos: Responsable de aportar el conocimiento y experiencia en el área de equipos dinámicos.
  - Especialista en seguridad: Provee información de los sistemas de seguridad, ambientales y regulaciones vigentes. También podrá brindar recomendaciones para mitigar las consecuencias.
  - Especialista en corrosión y materiales: Se encarga de revisar los mecanismos de deterioro, tipos de material, edad, entre otras variables. También, deberá brindar recomendaciones para prevenir la posibilidad de falla respecto a los mecanismos nombrados anteriormente.
  - Ingeniero de procesos: Responsable de brindar las condiciones de proceso. Debe poder recomendar acciones de mejora. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Podemos apreciar que es de suma importancia la conformación del equipo para atacar diversas áreas en el proceso de análisis del ACR.

### **5.13. PROCEDIMIENTO DE LA METODOLOGÍA ACR**

Resumiendo, en el proceso del ACR podemos considerar las siguientes etapas:

1. Definir el problema o evento: Se deberá describir el evento incluyendo atributos cualitativos y cuantitativos de la consecuencia, especificando su naturaleza, ubicación, magnitud y el momento del hecho.
2. Recolectar evidencia y datos: Ordenar cronológicamente hasta el momento del evento (falla u accidente/incidente). Para cada condición, comportamiento, acción

o inacción aclarar en la línea de tiempo que es lo que se debió hacer cuando esta difiera de lo que se hizo.

3. Preguntarse ¿Por qué?: En esta etapa deberemos preguntarnos cuales son los factores que contribuyeron directamente con el problema.
4. Calcificar las causas raíz: En este punto se deberá clasificar dividiendo el evento en factores causales que nos llevaran al problema y a eliminar los que nos estorban.
5. Identificar otros factores que nos puedan perjudicar y ser considerados también como causas raíces. Si existen múltiples causas, deberemos detectarlas para accionar sobre estas en el futuro.
6. Identificar y señalar acciones correctivas que puedan evitar la concurrencia del evento no deseado, incluyendo consecuencias y factores.
7. Identificar soluciones.
8. Implementar acciones correctivas a la causa raíz recomendada. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Gráficamente y en resumen consolidando la metodología de varios autores, podemos graficar las etapas de la siguiente manera:

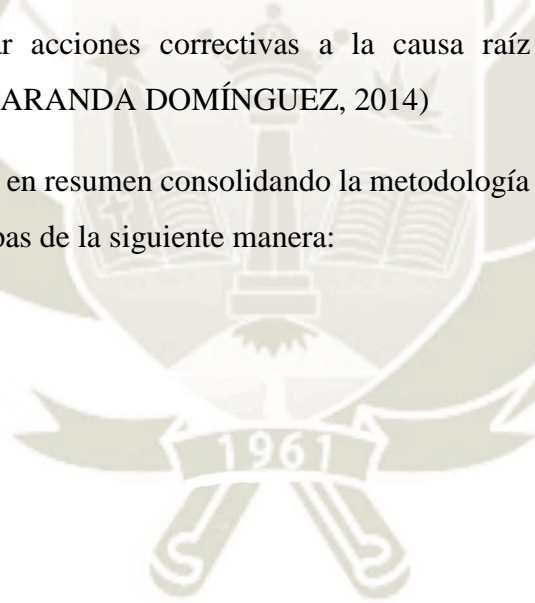
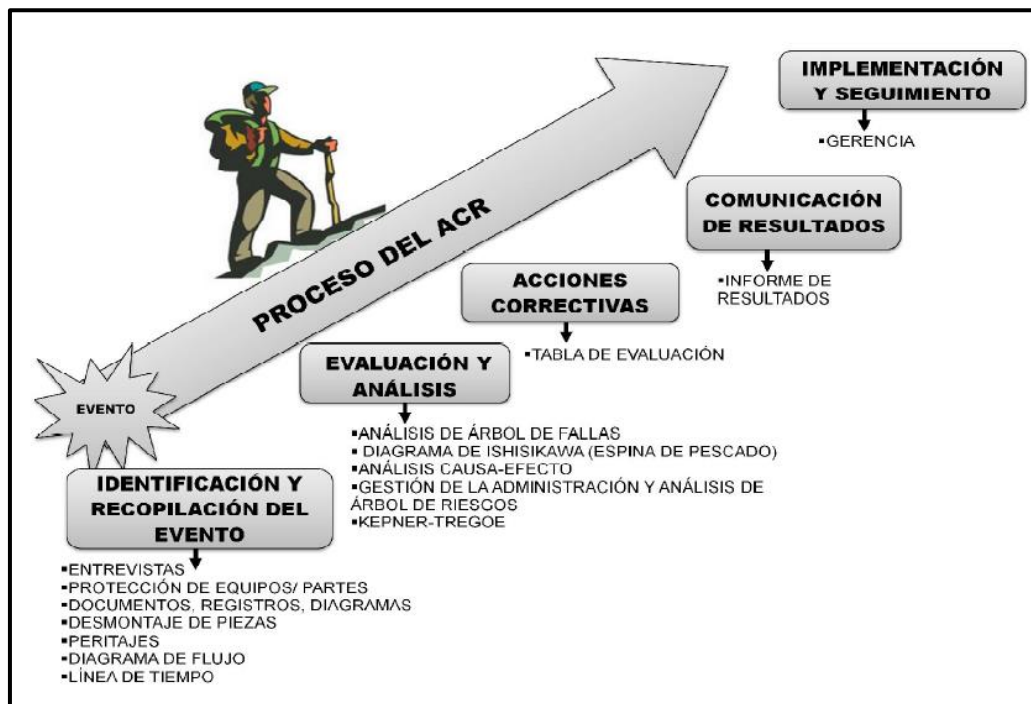


Figura 37: Etapas del ACR.



Fuente: (Alfaro, M. y Aranda, G. (2014))

## 5.14. FASE I: IDENTIFICACIÓN Y RECOPIACIÓN DE DATOS

La información a recolectar, es de suma importancia para descubrir los hechos que demuestran cómo se produjo el evento no deseado en una línea de tiempo de antes, durante y después. La participación de personas, factores ambientales y cualquier información adicional que sea relacionada al evento será de suma importancia.

### 5.14.1 Identificación del evento a investigar

Después de recolectar información consistente que se base en hechos reales y no en suposiciones, se deberá armar un esquema, dibujo o diagrama, donde este sirva como apoyo para el equipo de trabajo, para un correcto análisis y se logren entender todos los aspectos del problema.

Para lograr identificar los factores que llevaron a cabo el evento no deseado, se puede aplicar una lluvia de ideas para asegurar todas las causas posibles que

puedan tomarse en cuenta en nuestro análisis del ACR. Se pueden realizar diversas preguntas como, por ejemplo:

- ¿Cuál es el problema? (enunciado)
- ¿Cuándo ocurrió?
- ¿Cuál es la historia?
- ¿Dónde ocurrió?
- ¿Qué condiciones se presentaron antes de que ocurriera?
- ¿Qué barreras pudieron prevenir que ocurriera el problema y no lo hicieron?
- ¿Cuál es el impacto en seguridad, ambiente, producción y costos de mantenimiento de la empresa?

Durante esta etapa se debe describir una breve historia del problema, indicando fecha de inicio de operaciones, fecha en la cual se detectó el problema, eventos relevantes o relacionados antes de esa fecha, como mantenimientos realizados o correcciones o cambios en métodos y procedimientos. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

#### **5.14.2 Recopilación de la información**

Inmediatamente después de la ocurrencia del evento no deseado, es de suma importancia recolectar toda la información posible para nuestro análisis del ACR, esto para asegurar que no se pierda asuntos valiosos. En algunos casos, se deberá recolectar datos durante un evento sin comprometer la recuperación de tal. Se debe considerar toda la información que involucre al evento no deseado antes, durante y después de este. Para casos con gravedad mayor a la normal, es importante obtener evidencias fotográficas las cuales eran de mucha ayuda en el momento del análisis.

Después de la recopilación de evidencias, debemos empezar a identificar los que nos sirven y los que no. En caso debamos quedarnos con la evidencia física hasta terminar el análisis, esto deberá hacerse.

Básicamente debemos identificar la causa directa y fundamental, para que luego de la implementación, evitemos la concurrencia del evento. Para lograr mayor detalle debemos enfocarnos en ciertas áreas como:

- Actividades relacionadas
- Problemas iniciales o con recurrencia
- Equipos asociados
- Medio o circunstancias físicas

Para recopilar información podemos aplicar las siguientes técnicas:

- Entrevistas: Hechos y no suposiciones del problema. La preparación previa a la entrevista es esencial para realizar las preguntas correctas.

Estas entrevistas deben hacerse a las personas directamente relacionadas con el problema usando cualquier formato para realizarla anotando lo más valioso e importante.

- Revisión de registros: Revisar todos los documentos o partes que sean necesarios para el uso en el análisis de ACR (anotar fechas y horarios). Algunos ejemplos podrían ser:

- Registros de operación
- Registros o checklist de mantenimiento
- Datos de proceso
- Instrucciones o procedimientos
- Manuales de proveedores
- Información de diseño
- Dibujos, planos o especificaciones
- Sistema de seguridad y observaciones del tema
- Lecturas de parámetros
- Gráficos de tendencias
- Ordenes de trabajo

## 5.15 FASE II: EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL EVENTO

Esta fase, incluye el análisis de datos para identificar los posibles factores causales, que son la categorización de hallazgos y resultados. La principal razón es descubrir el motivo que explique por qué se produjo el evento no deseado, respecto a una comparación de los hechos para comparar frente a algo que realmente pudo haber ocurrido, en cualquier momento durante el evento. Lo más retador de estas cinco fases es encontrar la verdadera causa raíz, por lo cual para tener una mayor claridad y enfoque utilizamos las herramientas descritas en el capítulo V las cuales incluyen los siguientes pasos:

- Identificar el problema y su impacto
- Determinar la importancia
- Identificar las causas inmediatamente (acciones o condiciones) que están relacionadas con el problema
- Identificar arzones de las causas existentes (corregir la recurrencia de estos hechos), es la causa raíz y el punto final en la fase de evaluación.

La siguiente tabla 9 nos muestra las distintas aplicaciones y limitaciones de las herramientas vistas anteriormente para poder discernir cual o cuales usaremos. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Cuadro 29: Aplicación y limitantes de algunas herramientas del ACR.

Herramientas	Cuando utilizar	Ventajas	Desventajas	Observaciones
<p>Causa y efecto</p> <p>Análisis gráfico</p> <p>Análisis árbol de fallas</p> <p>Árbol lógico</p> <p>Diagrama de espina de pescado</p>	<p>Se utiliza para múltiples problemas con larga o compleja cadena de factores causales.</p> <p>Árbol lógico de fallas se puede utilizar cuando el problema está relacionado con las cuestiones de lógica o de control.</p>	<p>Proporciona visualización del proceso de análisis. Identifica probables contribuyentes a la situación. El árbol lógico de falla es capaz de analizar los problemas lógicamente con sistemas o procesos de control (mayormente usado).</p>	<p>Consumo tiempo y requiere familiaridad con el proceso para que sea efectivo. además el árbol lógico de falla puede ser extremadamente complejo</p>	<p>Requiere una amplia perspectiva del evento para identificar los problemas relacionados. Ayuda a identificar donde se produjeron desviaciones de los métodos aceptables. Puede necesitar especialistas en sistemas de control y la lógica de la herramienta del árbol lógico de fallas.</p>
<p>Análisis de barreras</p>	<p>Se utiliza para identificar barreras en fallo de equipos y problemas de procedimiento o administrativos.</p>	<p>Proporciona un enfoque sistemático.</p>	<p>Requiere familiarizarse con el proceso para que sea efectivo.</p>	<p>Este proceso se basa en el concepto de peligro (MORT / objetivo).</p>
<p>Gestión de la administración y análisis de árbol de riesgos (MORT)</p>	<p>Se utiliza cuando hay una escasez de expertos para hacer las preguntas correctas y cada vez que el evento es un problema recurrente. Útil en la resolución de problemas de programación.</p>	<p>Se puede utilizar con una formación previa y limitada. Proporciona una lista de preguntas para los factores de control y de gestión específicos.</p>	<p>Sólo puede identificar causa en ciertas aéreas, y no las causas específicas.</p>	<p>Si este proceso falla para identificar áreas problemáticas, se necesita la búsqueda y ayuda adicional o utilizar análisis causa y efecto.</p>
Herramientas	Cuando utilizar	Ventajas	Desventajas	Observaciones
<p>Kepner-Tregoe resolución de problemas y toma de decisiones</p>	<p>De uso para los principales eventos cuando todos los aspectos necesitan un análisis exhaustivo. Puede ser utilizado como un marco general.</p>	<p>Enfoque altamente estructurado, se centra en todos los aspectos de la resolución del problema. Disciplinado en el proceso de desarrollo de soluciones.</p>	<p>Mayor amplitud siendo necesaria en algún momento.</p>	<p>Requiere capacitación.</p>

Fuente: (Alfaro, M. y Aranda, G. (2014).

Luego de identificar con que herramienta(s) se trabajara, podremos ser capaces de identificar la causa raíz del problema con lo que daríamos por terminada la fase II.

### 5.16 FASE III: DECISIONES Y ACCIONES CORRECTIVAS

Esta fase, está dedicada a identificar, corregir o eliminar las causas identificadas en la etapa anterior, con el fin de logra resultados efectivos. El ACR, mediante la implementación de estas acciones correctivas, logra aumentar la confiabilidad y seguridad. Primeramente, se deben identificar las acciones correctivas para la causa, seguidamente aplicar criterios de estas para ver si son viables, de lo contrario será necesario reevaluar las soluciones.

- ¿Es la acción correctiva viable?
- ¿Las acciones correctivas podrán prevenir la recurrencia del evento no deseado?
- ¿La acción correctiva nos permite cumplir con los objetivos iniciales?
- ¿La acción correctiva genera nuevos riesgos? ¿Los riesgos asumidos son claramente establecidos?
- (La seguridad de los otros sistemas no deben ser comprometidos por las acciones correctivas en cuestión)
- ¿Las acciones inmediatas fueron tomadas apropiada y eficazmente?

En la siguiente Tabla 10 se muestra de cómo podríamos resumir e identificar las acciones que deben tomarse por cada causa raíz identificada. Incluye acciones a corto plazo y soluciones definitivas para eliminar de raíz la causa que genero el evento no deseado. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

Cuadro 30: Informe de resumen del ACR

Definición del Problema	Título del Evento a investigar		
	Causas de Incidentes	Acciones Correctivas y Preventivas	
Causa Raíz	Aportaciones	Corto Plazo	Solución Definitiva
-----	-----	-----	-----

**Fuente:** Alfaro, M. y Aranda, G. (2014).

Luego de tener claro la comunicación en la tabla, es recomendable tener en cuenta lo siguiente:

- Las recomendaciones juegan el rol más importante de los análisis
- Las recomendaciones deben contemplar mejoras y estar orientadas a solucionar las causas raíces del problema
- Deben inhibir el flujo de eventos
- Deben ser ejecutadas oportuna y eficientemente

Están deben estar directamente relacionadas y asociadas al evento no deseado en cuestión. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

#### 5.17 FASE IV: COMUNICACIÓN DE RESULTADOS

Todas las partes interesadas tienen que ser informadas sobre los resultados del ACR, esto puede contar con la explicación y discusión de los resultados incluyendo las acciones correctivas propuestas para que sean puestas en práctica.

Para que el ACR sea exitoso, primero se debe ver la posición que se tiene sobre los resultados del punto de vista administrativo con respecto a los resultados del análisis. Un informe formal es de mucha ayuda para la implementación a nivel de las áreas involucradas respecto a las acciones correctivas propuestas para resolver eventos, centrándonos en la causa raíz identificada en nuestra investigación. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

## 5.18 FASE V: IMPLEMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO

En esta última fase, se deben implementar las acciones correctivas identificadas, así como el respectivo seguimiento para ver qué resultados se está obteniendo luego de su implementación.

Como parte importante de esta etapa, es analizar la implantación de las acciones correctivas y realizar el seguimiento de su ejecución. Estos resultados pueden ser comparados y medidos mediante el mejoramiento en las tasas de producción, reducción del índice de falla, aumento en índices de seguridad, etc.

El ACR podría llegar a ser una herramienta sin valor agregado si no se actúa sobre las acciones correctivas con el respectivo seguimiento para comprobar y corroborar los cambios luego de la introducción de estas mejoras.

Finalmente, se debe atacar directamente al control de las operaciones en vez de permitir que estas tomen control sobre la organización. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

## CAPITULO VI

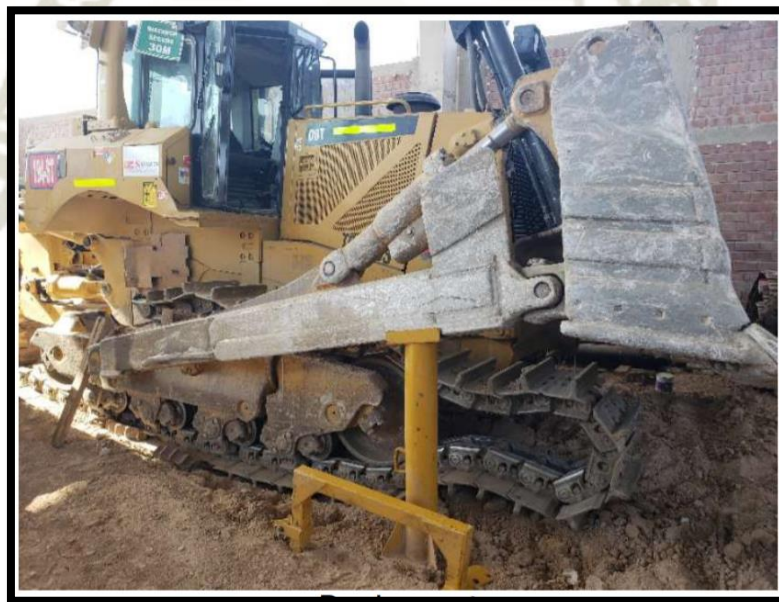
### 6 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ACR AL TREN DE RODAJE

#### 6.1 DESCRIPCIÓN DEL EVENTO NO DESEADO

El tractor de orugas D8T Caterpillar de la empresa Constructoras Generales Dyl, se encontraba trabajando en un frente de la mina Quellaveco, bajo un ciclo de trabajo de doble turno, haciendo aproximadamente entre 400 a 500 horas al mes.

Este equipo tuvo un evento no deseado el cual se descarriló al romperse un buje de cadena, estirándose el paso y generando un descarrilamiento del tractor Figura 38

Figura 38: Tractor descarrilado.



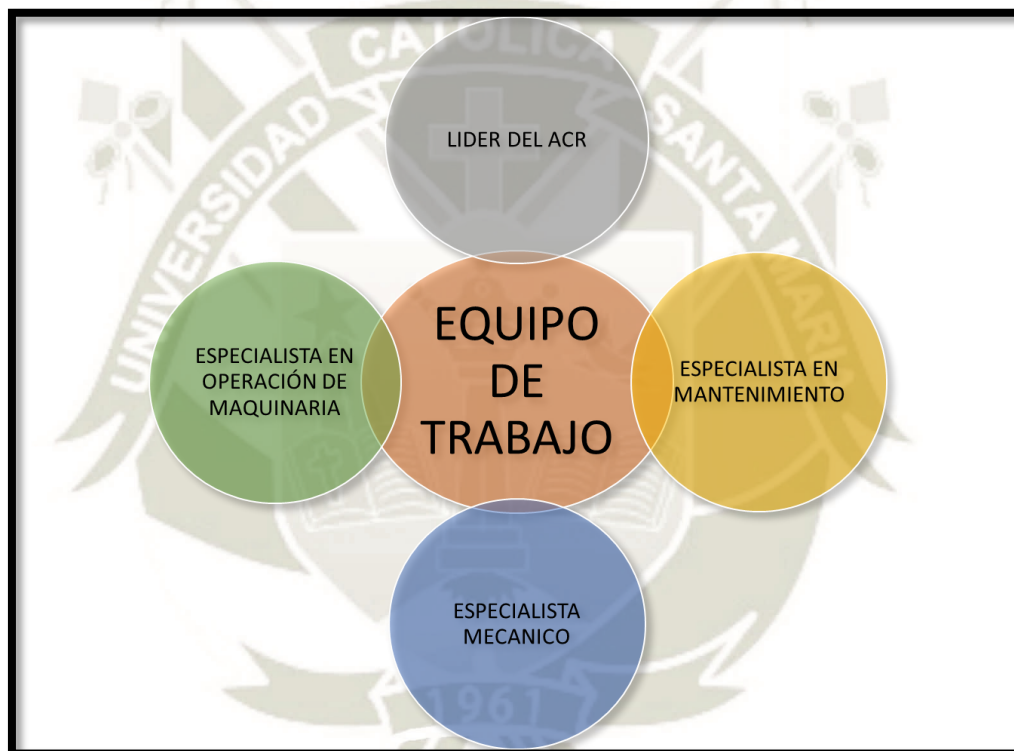
**Fuente:** *(Foto tomada en el taller de la empresa)*

Al momento de suceder este evento no deseado, la cadena contaba con un SMU de 2000 horas, el evento fue crítico debido a que normalmente a cliente le duraban entre 3000 a 3500 horas en proyectos propios y el descarrilamiento al salirse del paso de cadena afectó a otros componentes como a los segmentos de sprocket y ruedas guía.

## 6.2 CONFORMACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO

El equipo que se conformara, nos ayudara a aportar ideas e información para llevar un adecuado proceso de ACR. El punto principal de formar un equipo de trabajo, es obtener varios puntos de vista para evitar resultados parcializados, dando como resultado aceptación en las diversas áreas de la empresa ya que sus opiniones serán tomadas en cuenta. En la Figura 39 se esquematiza como sería el equipo de trabajo.

Figura 39: Equipo de trabajo.



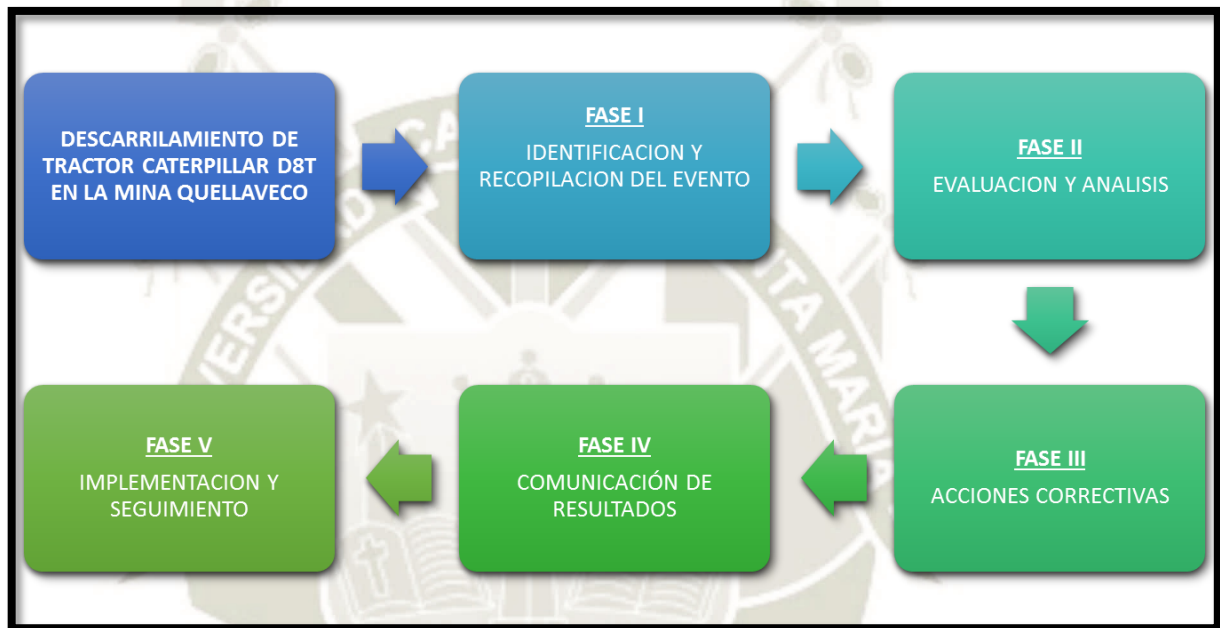
**Fuente:** *Elaboración propia.*

Una vez conformado el equipo de trabajo, empezaremos con el desarrollo de las Fases del ACR.

### 6.3 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

Ya identificado el problema, agruparemos el esquema de implementación de la siguiente manera como se apreciará en la Figura 40.

Cuadro 31: Fases para el ACR.



**Fuente:** (Elaboración propia)

#### 6.3.1 FASE I: Recopilación de información del evento no deseado

Al originarse este suceso, la acción que se tomó fue bajarlo inmediatamente a las instalaciones en Moquegua de la empresa Constructoras Generales Dyl para tomar acciones correctivas.

Por indicaciones del gerente, se compró un juego de cadenas y segmentos de sprockets, para que la máquina vuelva a quedar operativa. En el transcurso de la decisión pudimos aprovechar para recopilar diversas imágenes las cuales nos podrían ayudar en determinar la causa raíz de este descarrilamiento.

En la Figura 40 podemos observar que se tiene una separación del conjunto buje-pin respecto al eslabón lo que pudo haber generado el aumento de paso de cadena.

Figura 40: Desgaste interno excesivo por junta seca.



**Fuente:** *(Elaboración propia)*

También se pudo tomar foto a la falla principal la cual presenta fractura en una sección del buje por junta seca debido a que hubo fuga del aceite lubricante interior como se podrá apreciar en las siguientes imágenes:

Figura 41: Fractura de bocina por junta seca.



**Fuente:** *Elaboración propia.*

Figura 42: Fractura de bocina por junta seca.



**Fuente:** *Elaboración propia.*

Al momento de suceder el evento no deseado, también afecto otros componentes como la rueda guía la cual se puede ver en la Figura 43 y los segmentos de sprocket.

Figura 43: Fractura de bocina por junta seca.



**Fuente:** *(Elaboración propia)*

### 6.3.2 FASE II: Evaluación y análisis del evento no deseado

Para evaluar y analizar el evento no deseado y poder determinar su causa raíz, pasaremos a esta fase que nos ayudara identificando las posibles causas mediante la aplicación de la herramienta del diagrama Ishikawa complementando con lluvia de ideas por parte del equipo de trabajo y los 5 porqués.

Esta herramienta nos ayudara a simplificar y desglosar todas las causas que se crean posibles de forma ordenada.

#### **Construcción del diagrama**

Para poder armar nuestro diagrama de Ishikawa, empezaremos con una lluvia de ideas como podremos ver en la Figura 44 por parte del equipo de trabajo para luego poder separarlo por grupos y graficarlo en el diagrama adicionando todas las causas posibles ayudándonos con los 5 porqués.

Cuadro 32: Lluvia de ideas.



**Fuente:** *(Elaboración propia)*

A continuación, se realizó un descarte de algunas causas por acuerdo de la mayoría como producto defectuoso, debido a que la marca Caterpillar es una marca confiable y por las horas que duró la cadena se interpreta que fue una falla que no está relacionada con la calidad o performance del repuesto.

Luego de agrupar las causas como podemos ver en la Figura 45, procedemos a graficar en el diagrama de Ishikawa aplicando el método de los 5 porqués para aumentar costillas y determinar la causa raíz, esto lo podemos ver en la Figura 46.

Cuadro 33: Lluvia de ideas.



**Fuente:** *(Elaboración propia)*

Cuadro 34: AMEF descarrilamiento tractor D8T

HOJA DE INFORMACION ACR		ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA PARA DETERMINAR LA CAUSA RAIZ Hoja de informacion											
MAQUINA:	TRACTOR DE ORUGAS	MODELO:	D8T	REALIZADO POR:	MARCELO VALDIVIA	FECHA:	16/07/2020	TAREAS PARA OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO					
SERIE	J8B03081	COMPONENTE:	TREN DE RODAMIENTO	REVISADO POR:		FECHA:	16/07/2020						
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO Y CONSECUENCIA DE FALLA	TIPO DE MANTENIMIENTO	TAREA	FRECUENCIA	EQUIPOS	EN OPERACIÓN	DURACION	A REALIZARSE POR:			
1	MOVILIZAR AL TRACTOR DE ORUGAS	A	DESCARRILAMIENTO DEL TRACTOR	1	JUNTA SECA ENTRE BOCINAS Y PINES	LA JUNTA SECA PUEDE PRODUCIR LA ROTURA DE LA BOCINA Y EL PIN POR FRICCIÓN Y ELEVADA TEMPERATURA EN ESA ZONA. ESTIRAMIENTO DE CADENA SI SE PRESENTA MAS DE UNA JUNTA SECA Y GENERA QUE SE SALGA DE PASO. MAQUINA PARADA, AFECTA COMPONENTES COLATERALES DEL TREN DE RODAMIENTO POR EL IMPACTO.	PREDICTIVO	*MONITOREAR JUNTAS DE LA CADENA PARA DETERMINAR JUNTA SECA DE ACUERDO A TEMPERATURAS /SONIDOS/COLO R.	500 H		NO	1 HORA	01 TECNICO
				2	DESGASTE DE BUJES	HACE QUE EL MATERIAL DE LA BOCINA NO AGUANTE MAS Y SE PARTA POR FATIGA Y SOBRE ESFUERZO. MAQUINA PARADA, AFECTA COMPONENTES COLATERALES DEL TREN DE RODAMIENTO POR EL IMPACTO.	PREDICTIVO	*MEDICION DE CARRILERIA MEDIANTE ULTRASONIDO PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE VIDA DE LOS BUJES.	500H	ULTRASONIDO	NO	4 HORAS	02 TECNICOS
				3	ROTURA O DESPRENDIMIENTO DE ESLABON MASTER	PUEDE DARSE POR FATIGA O ROTURA DEL PERNO, ESTO GENERA QUE SE ABRA LA CADENA. MAQUINA PARADA, AFECTA COMPONENTES COLATERALES DEL TREN DE RODAMIENTO POR EL IMPACTO.	PREDICTIVO	*REVISAR ESTADO DE LOS HILOS DEL ESLABON MASTER Y EL TORQUE DE ESTOS.	1000H		NO	4 HORAS	02 TECNICOS
				4	CADENA ESTIRADA	HACE QUE SE SALGA DE PASO Y PROVOQUE DESCARRILAMIENTO Y SOBREGASTE EN DIVERSOS COMPONENTES. MAQUINA PARADA, AFECTA COMPONENTES COLATERALES DEL TREN DE RODAMIENTO POR EL IMPACTO.	PREDICTIVO	*MONITOREAR LA COMBA DE LA CADENA Y MEDIR EL ESTIRAMIENTO.	500H		NO	2 HORAS	01 TECNICO

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 34: AMEF descarrilamiento tractor D8T

HOJA DE INFORMACION ACR		ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA PARA DETERMINAR LA CAUSA RAIZ											
		Hoja de informacion											
MAQUINA:	TRACTOR DE ORUGAS	MODELO:	D8T	REALIZADO POR:	MARCELO VALDIVIA	FECHA:	16/07/2020	TAREAS PARA OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO					
SERIE	J8B03081	COMPONENTE:	RUEDA GUIA	REVISADO POR:		FECHA:	16/07/2020						
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO Y CONSECUENCIA DE FALLA	TIPO DE MANTENIMIENTO	TAREA	FRECUENCIA	EQUIPOS	EN OPERACIÓN	DURACION	A REALIZARSE POR:			
1	GUIAR Y SOPORTAR EL PESO DE LA CADENAS Y ZAPATAS.	A	DESPRENDIMIENTO POTENCIAL DE MATERIAL EN LA BANDA DE LA RUEDA GUIA Y AGRIETAMIENTO	1	AGRIETAMIENTO DE LA RUEDA	DEBIDO AL PESO QUE DEBE SOPORTAR LA RUEDA, AL ESTAR AGRIETADA LA RUEDA LLEGA A PARTIRSE OCASIONANDO EL DESCARRILAMIENTO DEL TRACTOR	PREDICTIVO	REVISAR QUE NO TENGA GRIETAS	1000H		NO	30 MIN	01 TECNICO
				2	DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL EN RUEDA RECONSTRUIDA	LA BANDA AL ESTAR DESGASTADA VA A UN PROCESO DE RECONSTRUCCION, EN CASO NO SE USA BUEN MATERIAL Y SE TENGA UN PROCESO INADECUADO PUEDE DESPRENDERSE TOTALMENTE LA SOLDADURA OCASIONANDO FALLAS COLATERALES EN LOS ESLABONES Y DESCARRILAMENNTO DE TRATOR	PREDICTIVO	REVISAR SOLDADURA Y DESPRENDIMIEN TO DE MATERIAL	1000H		NO	30MIN	01 TECNICO
				3	FUGA DE ACEITE POR EL SELLO INTERNO	OCASIONA QUE INTERNAMENTE SE TENGA MAYOR FRCCION ENTRE EL EJE Y LA RUEDA, OCASIONANDO FISURAS INTERNAS	PREDICTIVO	REVISAR QUE NO EXISTAN FUGAS EN EL SELLO DE LA RUEDA	1000H		NO	30MIN	01 TECNICO

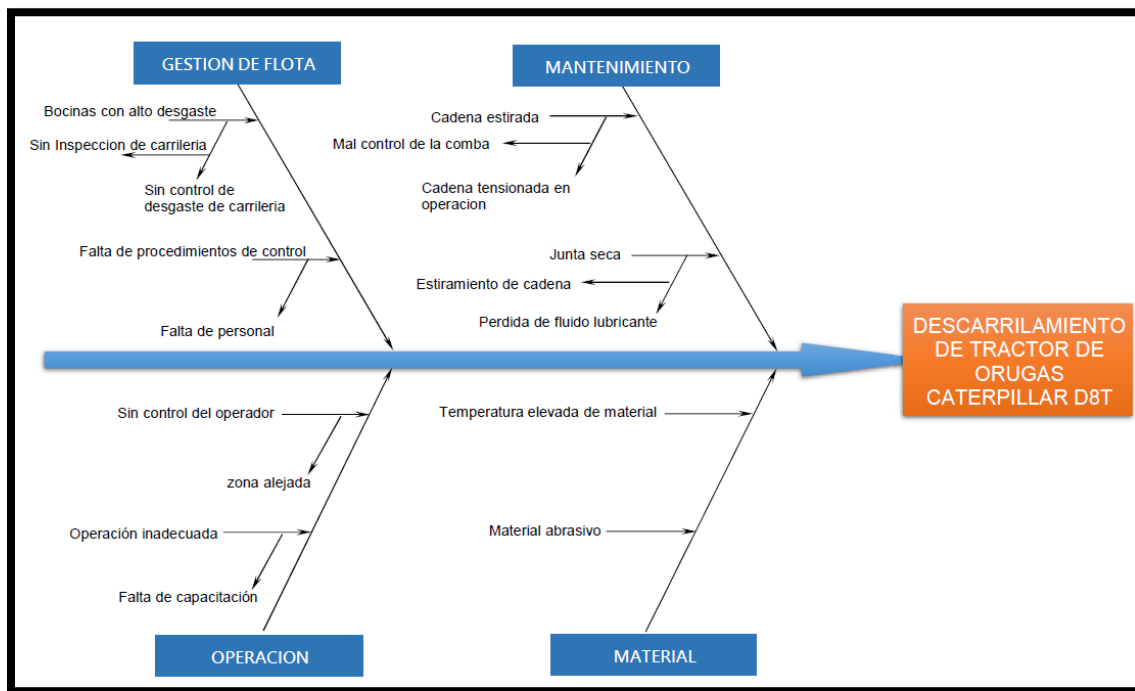
Fuente: *Elaboración propia.*

Cuadro 34: AMEF descarrilamiento tractor D8T

HOJA DE INFORMACION ACR		ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA PARA DETERMINAR LA CAUSA RAIZ									
		Hoja de informacion									
MAQUINA:	TRACTOR DE ORUGAS	MODELO:	D8T	REALIZADO POR:	MARCELO VALDIVIA	FECHA:	16/07/2020	TAREAS PARA OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO			
SERIE	J8B03081	COMPONENTE:	SEGMENTOS DE SPROCKET	REVISADO POR:		FECHA:	16/07/2020				
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO Y CONSECUENCIA DE FALLA	TIPO DE MANTENIMIENTO	TAREA	FRECUENCIA	EQUIPOS	EN OPERACIÓN	DURACION	A REALIZARSE POR:	
1	A TRANSFIEREN LAS FUERZAS MOTRICES DEL MANDO FINAL A LA CADENA MEDIANTE LOS BUJES	1	AGRIETAMIENTO EN EL PASO DEL SEGMENTO	GENERA RAYONES EN LA BOCINA DE LA CADENA GENERANDO MENOS DURACION Y AGRIETAMIENTO CONJUNTO	PREDICTIVO	MONITOREAR LOS DIENTES Y EL PASO BUSCANDO AGRIETAMIENTOS, FISURAS O DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	500H		NO	30MIN	01 TECNICO
		2	AFILAMIENTO EXCESIVO DE DIENTES	GENERA UN DESGASTE EXCESIVO EN LA BOCINA DE LA CADENA OCACIONANDO POSIBLE FALLA POTENCIAL.	PREDICTIVO	*MEDICION DE DIENTES COMPARANDO MEDIDAS EN EL MANUAL DE USUARIO.	500H	WINCHA	NO	30MIN	01 TECNICO

Fuente: *Elaboración propia.*

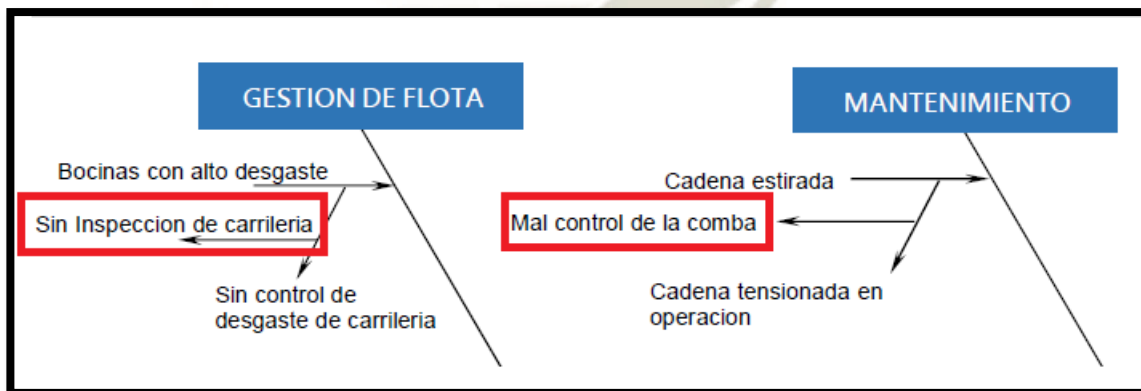
Figura 44: Diagrama de Ishikawa



Fuente: (Elaboración propia)

Luego de graficar el diagrama podemos identificar **dos causas raíces:**

Figura 45: Identificación de causas raíces en diagrama Ishikawa.



Fuente: (Elaboración propia)

Las dos causas raíces encontradas son:

- **Falta de inspección de carrilería:** Sin inspección de carrilería no se tiene visión ni proyección de cómo va el tren de rodamiento, que duración estimada de vida útil tendrá o cuando podría ser recomendable hacer un volteo de bocinas.
- **Mal control de la comba:** Este se considera un factor crítico, debido a que, si se trabaja con la cadena muy tensa, inminentemente producirá que esta se estire y no calzará en el paso del sprocket por lo que dañará componentes y producirá descarrilamiento.

### 6.3.3 FASE III: Toma de decisiones y acciones correctivas del evento

Después de haber completado nuestro análisis mediante el diagrama de Ishikawa y que se hayan determinado las causas raíces, pasaremos a la toma de decisiones y acciones correctivas que corresponden a la Fase III.

Estas recomendaciones que se propondrán, serán con la finalidad de evitar o eliminar la reaparición de estos eventos no deseados. Estas acciones correctivas se dividen en:

- Correctivas
- Adaptación
- Monitoreo

El proceso para poder definir estas acciones es el siguiente:

1. Formular acciones correctivas para las causas raíces encontradas
2. Evaluar alternativas y seleccionar acciones correctivas.
3. Evaluar impacto en otras áreas de la empresa.
4. Evaluar impacto en recursos humanos, económicos y materiales.
5. Evaluar impacto en las normas de la empresa.
6. Asegurar adecuación de las acciones correctivas.
7. Planificar la implantación.

Una vez seguidos los puntos anteriores, procedemos a elaborar las acciones correctivas para las causas raíces encontradas en nuestra evaluación. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

En el cuadro 35 podremos observar lo mencionado anteriormente.

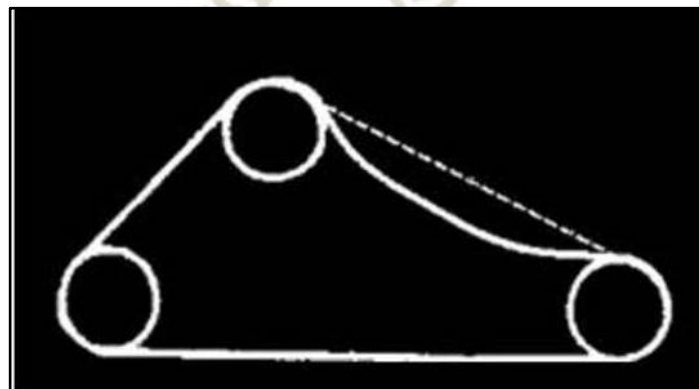
Cuadro 35: Acciones correctivas propuestas para el evento no deseado.

EVENTO	CAUSAS RAÍZ	ACCIONES CORRECTIVAS
DESCARRILAMIENTO DE TRACTOR DE ORUGAS D8T CATERPILLAR	MAL CONTROL DE LA COMBA	Realizar un procedimiento Checklist para que el operador controle diariamente la comba antes de realizar el trabajo.
	FALTA DE INSPECCIÓN DE CARRILERÍA	Conversar con el Dealer autorizado de la marca para que realice inspecciones de carrilería cada 500 horas.

**Fuente:** (Elaboración propia)

Para la acción correctiva del mal control de la comba se debe considerar un rango de 115mm +/- 10 respecto a la Figura 46.

Figura 46: Control de la comba.



**Fuente:** (Figura recuperada el 19 de marzo del 2020 de [sisweb.cat.com](http://sisweb.cat.com))

Para la acción correctiva de la inspección de carrilería, se debe solicitar y tener un informe como el que se observa en el cuadro 36.

Cuadro 36: Informe de inspección de carrilería

<b>Modelo</b>	<b>Lugar de trabajo</b>			<b>Fecha de la inspección</b>	13ago.19
<b>Fabricante</b>	<b>izquierdo izrecno</b>			<b>Fecha de la próxima inspección</b>	--
<b>Número de serie</b>	<b>Comba de la cadena</b>	--	--	<b>Next Inspection Hours</b>	--
<b>Número de referencia</b>	<b>Extensión del bastidor</b>	--	--	<b>Condiciones del suelo</b>	
<b>Lectura del horómetro</b>	<b>Máximo</b>	--	--	<b>Impacto</b>	High
<b>Horas por semana</b>	<b>Juntas secas</b>	--	--	<b>Abrasión</b>	High
<b>Lectura total del odómetro</b>	<b>Desgaste interno</b>	40%	40%	<b>Humedad</b>	Moderate
<b>Odómetro en avance</b>		870 mm	870 mm	<b>Embalaje</b>	Moderate
<b>Odómetro en retroceso</b>	<b>Ancho de la zapata de la cadena</b>	600 mm	600 mm	<b>Desgaste permitido del buje</b>	Lesser
				<b>Desgaste permitido del eslabón</b>	Lesser

GRUPO	RECOMENDACIÓN	% DE DESGASTE		SMU AL 100 %	SMU AL 120 %	FECHA DE FALLA DEL 100 %	FECHA DE FALLA DEL 120 %
TRACK LINK	Monitor	59% (30.2 mm)	59% (30.2 mm)	--	--	--	--
CONDITION: Spalling							
TRACK BUSHING	Monitor	86% (8.4 mm)	86% (8.4 mm)	--	--	--	--
TRACK SHOE	Good	44% (52 mm)	44% (52.1 mm)	--	--	--	--

**Fuente:** (Figura recuperada el 19 de marzo del 2020 de [sisweb.cat.com](http://sisweb.cat.com))

Con este informe, aparte de tener un mejor control de la comba nos puede dar mayores detalles como si es momento o no de voltear las bocinas y así lograr que la cadena pueda durar más horas generando un menos costo por hora.

### 6.3.4 FASE IV: Comunicación de resultados

A continuación, se indicará los siguientes puntos para elaborar un informe o reporte adecuado, comunicando los resultados que son en su mayoría el éxito de la implementación de las recomendaciones, por lo que es de suma importancia la primera impresión. A continuación, procedemos a enumerar los puntos del reporte o informe ACR:

1. Título del evento no deseado. Aquí se indica el que, cuando, donde, quien y el cómo de la situación. También se debe indicar el número de eventos no deseados que se hayan presentado.
2. Condiciones iniciales. En este punto se indica hora del evento, fecha, condicione, configuración y eventos que generaron el problema entre otras cosas.
3. Secuencia del evento. Se detalla el evento brevemente, las circunstancias que dieron pie a que se genere, el método que se utilizó para descubrirlo, acciones inmediatas, acciones de operaciones, falla del equipo, fallas en seguridad higiene y medio ambiente.
4. Causas del evento. Se detalla brevemente el motivo por el cual se dio el evento no deseado, incluyendo la causa principal junto con cualquier otro factor relacionado.
5. Consecuencias del evento no deseado. Incluir las causas raíces del evento no deseado, a continuación, las consecuencias.
6. Acciones correctivas. Indicar las acciones correctivas a ser tomadas en el corto, mediano y largo plazo, así como a los responsables de la ejecución.
7. Aplicar en otros lugares, frentes o locaciones.
8. Datos adicionales de soporte. Reportes de inconformidades, requerimientos de asistencia o apoyo de ingeniería, modificaciones o cambios en planta, OTs, fotografías, tablas, figuras, mapas de eventos y factores causales desarrollados, etc. (ALFARO ANTOR & ARANDA DOMÍNGUEZ, 2014)

### **6.3.5 FASE V: Control, seguimiento e implementación de acciones**

La empresa Constructoras Generales DyL deberá controlar la implementación y ejecución de los resultados para que la eliminación de estas causas raíces sean efectivas y no vuelvan a tener concurrencia. Los puntos emitidos como acciones correctivas en nuestro informe del ACR, garantizaran la no recurrencia de este

evento no deseado para lo cual se debe crear un plan de seguimiento a la implementación de estas acciones.

Este plan de seguimiento cumplirá una función muy importante en la eliminación del evento no deseado, ya que compromete a varios recursos de la empresa, como personal, sistemas, material, entre otros. El núcleo principal para la implementación en este caso, serán los técnicos, mecánicos y operadores, los cuales con sus habilidades y capacidades participarán en este cambio y mejora de los procesos de confiabilidad operacional.

## 6.4 IMPACTO DE COSTOS

### 6.4.1 Costo de maquina vs tren de rodaje

A continuación, se describirá el impacto de costos que se tiene al recurrir a estos eventos no deseados sin tomar acción.

- Costo de tractor de orugas D8T Caterpillar nuevo: US\$ 755,000.00 + IGV
- Costo de carrilería tractor de orugas D8T Caterpillar: US\$ 80,130.04 + IGV

En el Anexo B-1 podremos observar la cotización detallada por el dealer autorizado.

Cuadro 37: Costos de carrilería.

CANTIDAD	DESCRIPCION	VALOR VENTA ( SIN IGV )	VALOR VENTA MULTIPLICADO ( SIN IGV )
10	SEGMENT SPROCKET	\$216.98	\$2,169.80
70	PERNOS DE SPROCKET	\$3.01	\$210.70
70	TUERCAS DE SPROCKET	\$3.13	\$219.10
70	ARANDELA	\$2.33	\$163.10
8	RODILLO DF	\$1,019.19	\$8,153.52
8	RODILLO SF	\$1,046.24	\$8,369.92
2	RUEDA GUIA	\$5,184.04	\$10,368.08
2	RUEDA GUIA	\$4,650.78	\$9,301.56
2	CADENA	\$12,747.93	\$25,495.86
88	ZAPATAS	\$144.83	\$12,745.04
4	PERNOS MASTER	\$6.82	\$27.28
4	PERNOS MASTER	\$9.28	\$37.12
344	TUERCAS DE ZAPATA	\$2.23	\$767.12
344	PERNOS DE ZAPATA	\$6.11	\$2,101.84
		<b>VALOR DE VENTA TOTAL ( SIN IGV )</b>	<b>\$80,130.04</b>

**Fuente:** *(Elaboración propia)*

Con estos resultados tenemos que el tren de rodaje representa un 10.6% del valor de la máquina y un 50% de los costos de mantenimiento según data teórica por parte de Caterpillar.

#### 6.4.2 Costo por hora aplicando la metodología de ACR

Para obtener es costo por hora necesitamos lo siguientes datos:

- Costo de cadenas enzapatadas + segmentos de sprocket y pernería
- Duración de cadena SIN aplicar ACR
- Duración de cadena aplicando ACR + volteo de bujes

Considerando que la cadena de este tractor tuvo una duración de 2000 horas y el costo es de US\$ 43,936.96 (ANEXO A-3) cuando se dio el evento no deseado procedemos a aplicar la siguiente formula:

$$\frac{COSTO}{HORA} = \frac{COSTO DE CADENA ENZAPATADA + SPROCKETS Y PERNERIA}{DURACION DE LA CADENA EN HORAS}$$

$$\frac{COSTO}{HORA} = \frac{43936.96}{2000} = 21.97 \frac{\text{dolares}}{\text{hora}}$$

Considerando que se aplica la metodología del ACR y atacamos a los puntos más críticos teniendo en cuenta las recomendaciones y se realiza el volteo de pines y bujes, tendríamos los siguientes datos:

- ✓ Duración de cadena en horas: 4000
- ✓ Costo de cadena: US\$ 43,936.96
- ✓ Costo de volteo de pines y bujes: US\$ 1,282.00

$$\frac{COSTO}{HORA} = \frac{COSTO DE CADENA ENZAPATADA + SPROCKETS Y PERNERIA + COSTO DE VOLTEO}{DURACION DE LA CADENA EN HORAS}$$

$$\frac{COSTO}{HORA} = \frac{43936.96 + 1282}{4000} = 11.3 \frac{\text{dolares}}{\text{hora}}$$

En resumen, teniendo una diferencia de horas de 2000 horas dándole una segunda vida a la cadena mediante el volteo de bujes, podemos observar que el costo por hora aplicando la metodología y recomendaciones del ACR bajaría casi a la mitad este. A continuación, representaremos el ahorro en una ecuación.

$$\text{Ahorro} = \text{costo por hora SIN ACR} - \text{costo por hora CON ACR}$$

$$\text{Ahorro} = 21.97 \frac{\text{dolares}}{\text{hora}} - 11.3 \frac{\text{dolares}}{\text{hora}}$$

$$\text{Ahorro} = 10.67 \frac{\text{dolares}}{\text{hora}} \times 2000 \text{ hora}$$

$$\text{Ahorro} = 21,340 \text{ dólares}$$

Haciendo resumen de costos:

Cuadro 38: Costos de carrilería

SIN APLICAR METODOLOGIA ACR		APLICANDO METODOLOGIA ACR	
COSTO	HORAS DE OPERACIÓN	COSTO	HORAS DE OPERACIÓN
\$43,936.96	<b>2000</b>	\$45,218.96	<b>4000</b>
COSTO X HORA	21.97 \$/hr	COSTO X HORA	11.3 \$/hr
COSTO TOTAL EN 4000 HORAS	\$87,880.00	COSTO TOTAL EN 4000 HORAS	\$45,200.00
<b>AHORRO TOTAL</b>		<b>\$42,680.00</b>	
<b>%</b>		<b>51%</b>	

**Fuente:** *(Elaboración propia)*

## 6.5. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO Y CHECKLIST

Es de suma importancia controlar diariamente el estado del tren de rodaje respecto a la comba y acumulación de material por parte del operados, no obstante, también se deberá programar una inspección de carrilería cada 500 horas para obtener el momento preciso para voltear pines y bocinas.

A continuación, presentaremos el checklist y plan de mantenimiento recomendado para controlar este suceso no deseado en su totalidad.

Cuadro 39: Checklist y Programa de mantenimiento.

CHECKLIST PARA TREN DE RODAJE D8T						
<b>NOMBRES Y APELLIDOS DEL OPERADOR :</b>						
<b>FECHA (dd/mm/aa):</b>						
<b>HORA:</b>						
<b>FRENTE DE TRABAJO:</b>						
<b>SERIE DE LA MAQUINA :</b>						
<b>HORAS DE LA MAQUINA :</b>						
ACTIVIDAD	INDICAR VALOR DE MEDICION (MM)	¿SE ENCUENTRA DENTRO DE LA TOLERANCIA?	¿SE TIENE MATERIAL ACUMULADO EN EL TREN DE RODAJE?	OBSERVACIONES/ACCIONES TOMADAS		
Medir comba de cadena ( con material del area de trabajo)						
Limpieza de material acumulado en el tren de rodaje						
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA TRACTOR DE ORUGAS D8T CATERPILLAR						
HORAS DE LA MAQUINA	REALIZAR INSPECCION DE CARRILERA	INDICAR SI HAY ALGUN COMPONENTE CRITICO	¿ES MOMENTO PARA HACER VOLTEO DE PINES Y BUJES?	INDICAR NUMERO DE RECALCE DE ZAPATAS ( MAX 3 )	OBSERVACIONES/ACCIONES TOMADAS	
6000						
6500						
7000						
7500						
8000						
8500						
9000						
9500						
10000						

Fuente: (Elaboración Propia)

## CONCLUSIONES

- Se implementó la Estrategia de Mantenimiento Análisis Causa Raíz (ACR) al evento no deseado de descarrilamiento del tren de rodaje del tractor de orugas D8T Caterpillar, encontrando como causas raíces el mal control de la comba y la falta de inspección a la carrilería de la máquina.
- Se realizó la descomponetización del tractor de orugas Caterpillar D8T en el cual logramos identificar los componentes críticos para el evento no deseado.
- Se efectuó el ACR a los componentes críticos del tren de rodaje identificando las causas raíces para tomar acción sobre ellas.
- En esta tesis expusimos una evaluación técnico económica, demostrando que aplicando la metodología ACR se tiene una reducción de hasta 51% en los costos de carrilería.
- Se planteó un checklist y programa de mantenimiento para atacar los eventos no deseados controlando el tren de rodaje y así optimizando la vida útil de los componentes.

## RECOMENDACIONES

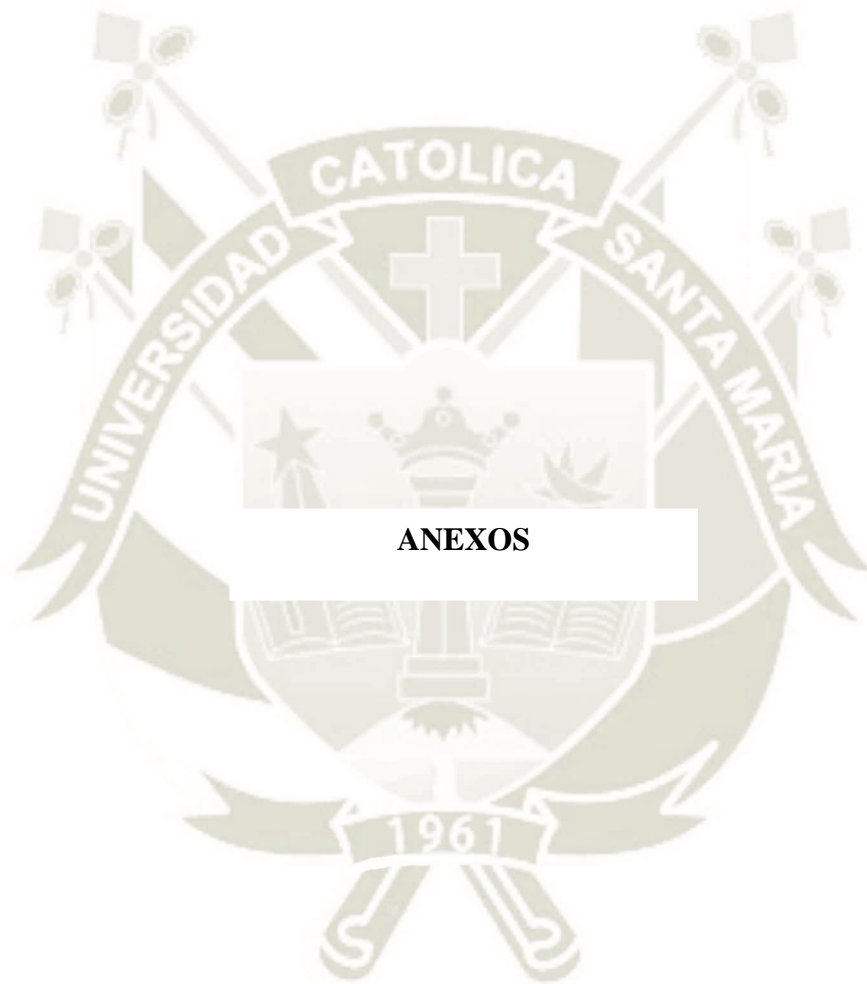
- Se recomienda realizar inspecciones de carrilería a toda la flota que contenga orugas para tener un mejor control y visibilidad acerca del estado de desgaste de las cadenas. Esto podrá ayudar también a tener un mejor flujo de caja proyectado.
- Se recomienda a la gerencia considerar este proyecto para poder generar ahorros considerables en el futuro y en toda su flota.
- Se podría hacer un estudio más detallado sobre los costos por hora que impactan en el estado de ingresos cuando para la maquina por falla catastrófica y así poder cuantificar el ahorro con mayor precisión.
- Se recomienda a la empresa implementar esta metodología de análisis causa raíz a los eventos de falla más recurrentes que afectan la productividad del parque de máquinas.
- Es necesario también revisar los costos por hora tanto de el tren de rodaje de todo el parque de máquinas como el de herramientas de corte.
- Se recomienda a la empresa el cumplimiento del checklist y programa de mantenimiento para así incrementar la disponibilidad de las máquinas y reducir considerablemente las fallas potenciales y catastróficas.

## REFERENCIA

1. Acuna, J. A. (2003). Ingeniería de Confiabilidad. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
2. A.D. Livingston, G. Jackson and K. Priestley. (2001). Root Causes Analysis: Literature Review. HSE (Health and Safety Executive).ISBN: 0-7176-1966-4.
3. Alfaro, M., Aranda, G. (2014). *El análisis causa raíz utilizado como herramienta en la evaluación de eventos no deseados en instalaciones de una refinería* [Tesis de Grado]. Obtenido de [https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/iq/tesis/tesis\\_alfaro\\_antor.pdf](https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/iq/tesis/tesis_alfaro_antor.pdf)
4. Andreani, A. (2009). Ingeniería y Gestión de Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales. Chile: Editorial Ril Editores Santiago de Chile.
5. Dean L. Gano. (2011). Reality Charting Seven Steps to Effective Problem-Solving and Strategies for Personal Success. ISBN: 978-1-883677-13-8.
6. “Guía para la Solución de Problemas Mediante la Metodología de Análisis Causa Raíz (ACR) en Pemex Exploración y Producción”. (2006) PEMEX.
7. Hernández, R., Fernández, C. & Baptista L. P.(2003). Metodología de la Investigación. México: Editorial Mc Graw Hill.
8. Lee N. Vanden Heuvel, Donald K. Lorenzo, Laura O. Jackson, Walter E. Hanson, James J. Rooney and David A. Walker (2008). Root Cause Analysis Handbook. USA: ABS Consulting.
9. Mora, G, A. (2003). Mantenimiento, Planeación, Ejecución y Control. México: Editorial Alfa omega.
10. Moubray, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Argentina: Editorial Bidles Ltd. Segunda Edición.
11. Ñaupas, P. H., Mejía, E., Novoa, E. &, Villagómez, A. (2013). Metodología de Investigación Científica y Elaboración de Tesis. Perú: Editorial Printed in Perú.
12. Parra, C. A., Márquez, A., Crespo, M. (2012). Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Argentina: Editorial INGEMAN Primera Edición.

13. Patrick, D. T., O'Connor, J. W. (1991). Ingeniería de Confiabilidad Práctica. España: Cuarta edición.
14. Robert J. Latino and Kenneth C. Latino (2002). Root Cause Analysis (Improving Performance for Bottom-Line Results). USA: CRC Press.
15. Root Cause Analysis Guidance Document. (1992). U.S. Department of Energy.
16. R. Keith Mobley. (1999). Root Cause Failure Analysis. USA: Newnes.
17. Santiago, D.F. (2003). Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. España. Editorial Díaz salinas S.A.
18. Santiago, D.F. (2008). Cogeneración: Diseño, Operación y Mantenimiento de Plantas. España. Editorial Díaz salinas S.A.
19. THIESSEN F, Dales D. (2015). Manual de Mecánica Diesel, Tomo I. Segunda edición. Editorial Prentice Hall.
20. TOVAR, G. (2005). Fundamentos del Análisis de Falla. Colombia: Editorial Prentice Hall.
21. WILLIAM T. BECKER AND ROCH J. SHIPLEY. (2002). ASM Handbook Volume 11: Failure and Analysis and Prevention.







## **ANEXO A: INSPECCIÓN DE CARRILERIA**




Fuente: (Elaboración propia en CAT WMS)

GRUPO	RECOMENDACIÓN	% DE DESGASTE	SMU AL 100 %	SMU AL 120 %	FECHA DE FALLA DEL 100 %	FECHA DE FALLA DEL 120 %
ESLABÓN DE LA CADENA	Good	25% (45.5 mm)	26,998	32,276	12jun25	15feb26
TRACK BUSHING	Good	30% (13.7 mm)	22,600	26,998	25feb24	12jun25
TRACK SHOE	Monitor	67% (66.6 mm)	10,456	12,425	27jul20	02oct20
RUEDA GUÍA DELANTERA	Good	36% (24.5 mm)	18,935	22,600	26ene23	26ene23
RUEDA GUÍA TRASERA	Good	48% (26.0 mm)	14,353	17,102	20sep21	20sep21
RODILLO INFERIOR	Good	22% (57.4 mm)	30,597	36,594	05jul26	05jul26
	Good	22% (57.4 mm)	30,597	36,594	05jul26	05jul26
	Good	14% (57.1 mm)	47,733	57,157	24jul31	24jul31
	Good	14% (57.1 mm)	47,733	57,157	24jul31	24jul31
	Good	22% (55.6 mm)	30,597	36,594	05jul26	05jul26
<a href="https://catwms.com/inspections/73832fed-fa8c-ea5b-34ae-1a59d8dd5ad3/report?reportName=ucSummaryReportMetric">https://catwms.com/inspections/73832fed-fa8c-ea5b-34ae-1a59d8dd5ad3/report?reportName=ucSummaryReportMetric</a>						
CAT WMS						
2/8/2019	Good	29% (55.6 mm)	23,358	27,908	16may24	05jul26
	Good	28% (55.8 mm)	24,171	28,883	12ago24	12ago24
	Good	28% (55.8 mm)	24,171	28,883	12ago24	12ago24
RUEDA MOTRIZ		37% (232.0 mm)	18,440	22,006	04dic22	14nov24


**Fuente:** (Elaboración propia en CAT WMS)

FOTOGRAFÍAS

Inspección previa      Fotografías



Inspección previa      Inspección previa      Inspección previa




Inspección previa

---

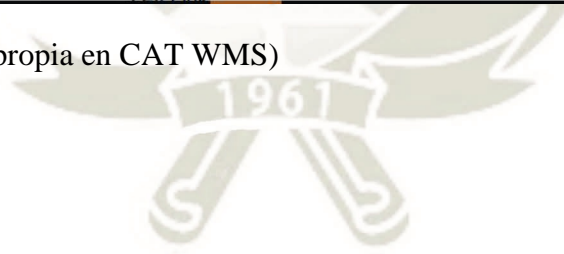
Mediciones

Eslabones



Left Link

**Fuente:** (Elaboración propia en CAT WMS)





Right Bushing

Zapatas



Left Shoe



Right Shoe

Ruedas guía



Left Idler 1



Left Idler 2

**Fuente:** (Elaboración propia en CAT WMS)

12/8/2019

CAT WMS



Right Track Roller 6



Right Track Roller 8

**Fuente:** (Elaboración propia en CAT WMS)



## **ANEXO B: COTIZACIONES**

**ANEXO B-1: COTIZACION DE CARRILERIA**

COTIZACION NRO. 670003522 PAG. 1

FERREYROS S.A.  
RUC: 20100028698  
MOQUEGUA, 20 DE MARZO DE 2020  
VENTAS CASH  
AV CRISTOBAL DE PERALTA NORTE 820  
REFERENCIA 99999999

VALIDEZ DE LA OFERTA HASTA EL 19 DE ABR DE 2020

NRO	CANT	DISP	PRO	PORTE	DESCRIPCION	VALOR DE VENTA BRUTO	%DSC.	VALOR DE VENTA NETO	VALOR DE VENTA NETO	VALOR DE VENTA NETO	VALOR DE VENTA NETO	RAMI
1	10	10	000	314-5462	SEGMENT-SPRO	216.98		216.98	2,169.80	796.32	7,963.20	
2	70	70	000	5P-7665	BOLT	3.01		3.01	210.70	11.05	773.50	
3	70	70	000	7H-3608	NUT/TUERCA	3.13		3.13	219.10	11.49	804.30	
4	70	70	000	6V-5841	WASHER-HARD	2.33		2.33	163.10	8.55	598.50	
5	8	8	000	246-0779	ROLLER GP DF	1,019.19		1,019.19	8,153.52	3,740.43	29,923.44	
6	8	8	000	246-0775	ROLLER GP SF	1,046.24		8,369.92	8,369.92	3,839.70	30,717.60	
7	2	2	000	111-1730	IDLER GP	5,184.04		10,368.08	10,368.08	19,025.43	38,050.86	
8	2	2	000	111-1729	IDLER GP	4,650.78		9,301.56	9,301.56	17,068.36	34,136.72	
9	2	2	000	272-6009	LINK AS	12,747.93		25,495.86	25,495.86	46,784.90	93,569.80	
10	88	88	000	7T-2390	SHOE 22 DBL/ZAPATA	144.83		12,745.04	12,745.04	531.53	46,774.64	
11	4	4	000	6V-1724	BOLT	6.82		27.28	27.28	25.03	100.12	
12	4	4	000	6V-1725	BOLT	9.28		37.12	37.12	34.06	136.24	
13	344	344	000	7G-6442	NUT	2.23		767.12	767.12	8.18	2,813.92	
14	344	344	000	6V-1723	BOLT	6.11		2,101.84	2,101.84	22.42	7,712.48	
						VALOR DE VENTA US\$.		80,130.04	80,130.04	S/.	294,075.32	
						VALOR I.G.V US\$.		14,423.41	14,423.41	S/.	52,933.56	
						PRECIO DE VENTA US\$.		94,553.45	94,553.45	S/.	347,008.88	

-SE HAN PROMULGADO NORMAS QUE PROHIBEN Y SANCIONAN LA MINERIA ILEGAL. LOS BIENES Y/O SERVICIOS DETALLADOS EN ESTE COMPROBANTE NO PODRAN SER DESTINADOS NI DIRECTA NI INDIRECTAMENTE A UNA ACTIVIDAD CONSIDERADA DE MINERIA ILEGAL.

Los precios de ventas en soles son referenciales y han sido calculados utilizando el tipo de cambio venta de s/. 3.67 ,vigente en el banco de crédito del Perú a la fecha de la presente cotización la facturación se realizará en dolares americanos y podrá ser pagada en soles al tipo de cambio venta vigente en el banco de crédito en el día de su cancelación (resolución cambiaria 030.90.ef/90 art.7.

TIEMPO DE ATENCION - DIAS CALENDARIO (REPUESTOS CATERPILLAR)