

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DISEÑO DE METODOLOGÍA DE ANÁLISIS CAUSA RAIZ PARA LA EMPRESA PAVIMENTAR

Juan Carlos Osorio Muriel

Ingeniería Electromecánica

Carlos Alberto Acevedo Alvarez, IM.

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

FACULTAD DE INGENIERÍAS

MEDELLIN

2016

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Partiendo de la continua aparición de fallas que ameritan paros no programados durante la operación de transporte y maquinaria pesada en el proceso de producción y despachos de la empresa PAVIMENTAR S.A., se plantea realizar un diseño de un análisis de causa raíz de las anomalías ocurridas al proceso de mantenimiento.

Desde la perspectiva del grupo de mantenimiento de la empresa, es de rigor darle el mejor direccionamiento a la solución de los paros no previstos de los equipos, en ellos se identifican varias causas probables en cada falla, se solucionan, pero no queda un registro profundo o historial de como fue el desarrollo y solución final de esta. Ello permite que, aun atendiendo una falla ya conocida, algunas veces, no tomemos el camino más efectivo hacia su solución.

Es de interés general al departamento de mantenimiento ser más eficientes, eficaces y ordenados; desde estas bases se consolida un camino directo al logro propuesto. Y basados en esta filosofía, se ha realizado una evaluación de afinidad entre algunos procedimientos de ACR aplicables a la empresa, Se tiene en cuenta el contexto operacional de la empresa; Se estudian las ventajas y desventajas de las ACR y se somete a compatibilidad según criterios asociados.

Al final y moldeando correctamente los criterios y resultados, el proceso de mantenimiento se verá ampliamente enriquecido, rodeado de personas más eficientes, métodos y soluciones más eficaces y un proceso debidamente documentado y ordenado.

Como meta se tiene lograr el diseño de una metodología de análisis causa raíz (ACR), adaptada a las condiciones de la empresa pavimentar S.A.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

A Dios, por hilar minuto a minuto el cumplimiento de mis metas.

A mi esposa Deisy López, quien me alentó a no desistir.

A mi hija Salomé, quien le dio una nueva motivación a mi vida.

A mis padres y Hermanos.

A mis profesores y mentores.

A mis jefes.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

ACMEF Análisis Crítico del Modo De Efecto De Falla

ACR Análisis Causa Raíz

AMEF Análisis de Modos y efectos de Falla

CBM Mantenimiento Basado en Condición

CFA Análisis de Falla de Componentes

CM Mantenimiento Continuo

CMMS Computerized Maintenance Management System (Sistema de Gestión de Servicios de Mantenimiento).

COPIMAN Comité Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento

ECM Mantenimiento Centrado en la Eficiencia

FTA Análisis Árbol Factorial

ICGM Índice de Clasificación para los Gastos de Mantenimiento

IF Índice de Falla

JIT Justo a Tiempo

NPR Número Prioritario de Riesgo

PaM Mantenimiento Proactivo

PdM Mantenimiento Predictivo

RCI Investigación de Causa Raíz

RCM Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

SySO Seguridad y Salud Ocupacional

TPEF Tiempo Promedio entre Fallos

TPM Mantenimiento Productivo Total

TPPF Tiempo Promedio para Fallar

TPPR Tiempo Promedio para Reparar

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
2. OBJETIVOS	11
GENERAL	11
ESPECÍFICOS	11
3. MARCO TEÓRICO	12
3.1 PAVIMENTAR S.A.	12
3.2 VISIÓN	12
3.3 MAQUINARIA Y EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN CIVIL.	13
3.4 CLASIFICACIÓN	13
3.5 LA GESTION DEL MANTENIMIENTO	13
3.6 BREVE HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.	14
3.7 BREVE DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO.	15
3.8 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO	15
3.9 TIPOS DE MANTENIMIENTO	16
3.9.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	16
3.9.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO	16
3.9.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO	17
3.9.4 MANTENIMIENTO CERO HORAS (Overhaul)	17
3.9.5 MANTENIMIENTO EN USO	17
3.10 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)	18
3.10.1 PILARES DEL TPM	18
3.11 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ	19
3.12 INTRODUCCIÓN AL ANALISIS CAUSA RAÍZ	20
3.13 ANTECEDENTES DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ	22
3.14 IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ	22
3.15 BENEFICIOS GENERADOS POR EL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ	23
3.16 DÓNDE Y CUANDO SE DEBE APLICAR ANÁLISIS CAUSA RAÍZ	23
3.17 DIFERENTES TÉCNICAS Y METÓDOLOGÍAS	23
3.18 MATRICES DE PONDERACIÓN	24
EJEMPLO DE UNA MATRIZ DE PONDERACIÓN	24
3.19 METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS CAUSA RAIZ	25
3.19.1 DIAGRAMA DE ISHIKAWA	25
3.19.2 ANÁLISIS DE BARRERA	31
3.19.3 ANÁLISIS ÁRBOL FACTOR CAUSAL	33
3.19.4 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA	39

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.19.5	ANÁLISIS DE PARETO	42
3.19.6	LOS 5 ¿POR QUÉ?	45
3.19.7	LAS 8D	47
3.20	DISEÑO DE LA MATRIZ.....	52
4.	METODOLOGÍA.....	55
5.	RESULTADOS	58
6.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	77
	REFERENCIAS	79

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

LISTADOS DE TABLAS

Tabla 1	Matriz de ponderación	24
Tabla 2	Listado global de equipos-Dirección de maquinaria y equipo móvil.	59
Tabla 3	Disponibilidad de equipos Enero –Febrero	63
Tabla 4	listado de equipos por familia, días de paro y criticidad.	67
Tabla 5	Numero de fallas según ubicación de los equipos.....	69
Tabla 6	Total horas por paros.	70
Tabla 7	Matriz de selección.	71
Tabla 8	Puntuación de metodología afín a la empresa.	72
Tabla 9	Formato único de aplicación.....	76

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

LISTADO DE FIGURAS Y ECUACIONES

Ecuación 1	Ponderado total	56
Figura 1	Representación gráfica del diagrama de Ishikawa por el método 6M.....	27
Figura 2	Representación gráfica del diagrama de Ishikawa por el método del flujo de proceso. ...	29
Figura 3	Representación gráfica del diagrama de Ishikawa por el método de estratificación.	30
Figura 4	Puerta Y.	35
Figura 5	Puerta O.....	35
Figura 6	Esquema de un árbol de fallas.....	39
Figura 7	Proyección de horas de trabajo mensual 2016 – Maquinaria y equipo móvil.	60
Figura 8	Comportamiento Mes a Mes de la Disponibilidad.	65
Figura 9	Comportamiento de fallas mes a mes.....	68
Figura 10	Horas mes a mes de paro de los equipos.....	70
Figura 11	Flujograma del diseño ACR para PAVIMENTAR S.A.....	75

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Pavimentar S.A es una empresa colombiana del ramo de la construcción, especializada en obras de infraestructura vial en el sector público y privado. Cuenta con un equipo de trabajo estructurado para la participación y ejecución de concesiones viales, mantenimiento de vías, la explotación, producción y comercialización de mezclas asfálticas y suministros pétreos. Además, con la fomentación de sociedades estratégicas con empresas del sector de la construcción vertical, ha ampliado su portafolio de servicios, lo que la hace más competitiva en el ámbito nacional. (Pavimentar S.A, 2016)

Dadas las características de su actividad económica la empresa requiere la operación de una flota, de más de doscientos cincuenta equipos. Los cuales generan una demanda de recursos logísticos, económicos, humanos y físicos de consideración en cuanto a actividades de mantenimiento se refiere. Por ello la compañía realiza grandes esfuerzos en la planeación y ejecución de un adecuado plan de mantenimiento que genere como resultado un excelente estado, disponibilidad y unos costos óptimos de los equipos.

Pese a los grandes esfuerzos que se han hecho en la gestión de mantenimiento, la empresa aún genera un alto índice en la recurrencia de fallas y un elevado indicador de paros inesperados de equipos y procesos críticos. Con la intención de reducir estos paros, se decide realizar un diseño de una metodología de análisis; basada en el conocido método Análisis Causa Raíz (ACR). Para cumplir dicho objetivo se decide hacer el estudio, análisis y diseño de una metodología ACR que se adapte a las condiciones de la empresa, cuya realización se desarrolla en este proyecto.

Bajo el propósito de realizar el diseño de ACR, que sea adaptable y aplicable a Pavimentar S.A, se procede en primer lugar al estudio y análisis del contexto operacional tanto de la empresa como de la maquinaria.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se estudian entonces, aspectos, tales como el tipo y cantidad de maquinaria, los recursos físicos y humanos, el contexto organizacional de la empresa, la ubicación de los equipos, la proyección, la funcionalidad, las políticas, demanda, entre otros.

Luego de esto se procede con la investigación de las diferentes metodologías de ACR, haciendo una detallada revisión en cuanto a forma de ejecución, bondades, falencias, influencia en la industria y requerimientos. Para esto se consultan las metodologías modernas, las tradicionales, las conocidas y las no tan conocidas.

A partir de las metodologías estudiadas y teniendo en cuenta un sinnúmero de variables se continúa con el desarrollo de un diseño que pueda cuantificar la afinidad de la metodología, con las necesidades y requerimientos de Pavimentar; para así realizar un adecuado diseño y finalizar con la formalización de la metodología ACR.

Al finalizar, se formalizará la metodología a aplicar a través de un formato de fácil divulgación y que sea archivada de manera ordenada; sirviendo como base de estudio y registro para análisis pasados, presentes y futuros. Al día de hoy, en la empresa no se realiza un análisis detallado de los sucesos críticos o reincidentes, los registros de reparación no son lo suficientemente completos y claros para remitirse a una falla anterior y buscar una solución adecuada para una nueva o repetitiva.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. OBJETIVOS

General

Diseñar una metodología de análisis causa-raíz que se adapte a las condiciones de empresas del sector minero, que cuenten con una flota de transporte y maquinaria pesada; en este caso específico a la empresa pavimentar S.A.

Específicos

- Identificar el contexto operacional de la empresa y de la maquinaria.
- Realizar el estudio de las diferentes metodologías de análisis causa-raíz usadas actualmente en la industria.
- Diseñar y ejecutar una matriz de selección para comparar las bondades de cada una de las metodologías existentes, teniendo en cuenta el contexto operacional de la empresa y de la maquinaria.
- Diseñar la metodología de análisis causa raíz más adecuada para las condiciones de la empresa.
- Establecer las bases operativas para una futura implementación de la metodología ACR adecuada para la empresa.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. MARCO TEÓRICO

3.1 PAVIMENTAR S.A.

Somos una empresa colombiana del ramo de la construcción, especializada en la ejecución de obras de infraestructura vial en el sector público y privado, fundada en el año 1988, con un equipo de trabajo estructurado para:

- Operación y desarrollo de Concesiones Viales.
- Construcción completa de proyectos de infraestructura vial y obras complementarias: Movimientos de Tierra, Urbanismo, Puentes, Viaductos, Carreteras, Depósitos y Rellenos, Obras de arte, etc.
- Construcción y pavimentación de vías.
- Mantenimiento y/o rehabilitación vial.
- Explotación, producción, comercialización, colocación y suministro de mezclas asfálticas y materiales pétreos.

3.2 VISIÓN

En 2016 lograr una amplia participación en el mercado nacional en la construcción de Obras Civiles y de infraestructura vial, mediante la aplicación de estándares integrados en Calidad, Salud y Ambiente que permitan un mejoramiento continuo y un crecimiento sostenible en productividad y competitividad. (Pavimentar S.A, 2016)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.3 MAQUINARIA Y EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN CIVIL.

La maquinaria pesada es un tipo de maquinaria que requiere de gran consumo de combustible para su operación, que es accionada generalmente por un conductor, y es usada para realizar diversas tareas; como el movimiento de tierra, levantamiento de grandes cargas, demolición, excavación o el transporte de material. (Males Alcoser, 2007)

3.4 CLASIFICACIÓN

- Maquinaria para movimiento de tierra
- Maquinaria para excavación.
- Maquinaria para carga.
- Maquinaria para acarreo y transporte.
- Maquinaria para compactación.
- Maquinaria para firmes bituminosos.
- Maquinaria para perforación.
- Trituradoras de piedra

3.5 LA GESTION DEL MANTENIMIENTO

Enmarca todas aquellas actividades de diseño, planificación y control dirigidas a reducir los costos causados al mal funcionamiento de los equipos. Consiste en coordinar, dirigir y organizar los recursos materiales, humanos y flujos de información destinados al correcto funcionamiento, reparación y prolongación de la vida de los equipos disponibles y así conseguir una concepción del gasto y la optimización de los costes.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.6 BREVE HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO.

Basados en la necesidad del hombre para mantener sus equipos; aun cuando se habla de herramientas rudimentarias. Una gran mayoría de fallas eran producto del abuso que se le daba a los equipos y esto sigue sucediendo hasta nuestros tiempos. En el principio el mantenimiento se realizaba solo hasta que el equipo fuere imposible de cumplir su función. A lo cual se denominaba “Mantenimiento de Ruptura o Reactivo”.

Fue hasta 1950 que un grupo de ingenieros japoneses, dan inicio a un nuevo concepto de mantenimiento, el cual se basaba en el seguimiento de las recomendaciones de los mismos fabricantes de los equipos; donde explicaban los cuidados de operación y manutención de los mismos.

Esta tendencia se llamó “Mantenimiento Preventivo”. Como resultado se obtuvo un interés desde lo administrativo de las empresas y derogado a los niveles inferiores, logrando que, desde la supervisión hasta el personal técnico, desarrollaran programas de lubricación y verificaciones preventivas. Lo anterior, aun cuando dio resultados positivos en cuanto a pérdidas de tiempo; el mantenimiento preventivo, era una alternativa costosa, por tener que hacer el reemplazo de partes basados en el estimado de vida útil aun cuando se les hubiere podido usar más.

En 1960, se introdujo un nuevo concepto. “Mantenimiento Productivo”. Correspondía entonces la asignación de más responsabilidad a quienes intervenían en el mantenimiento del equipo; considerando márgenes de confiabilidad, diseño y operación. Más tarde en los 60’s, la globalización del mercado tomó un lugar importante; lo que condujo a exigir estándares de “Clase Mundial” y vino a lugar, el Mantenimiento Productivo Total (TPM) como concepto de mejoramiento continuo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El TPM exigía la participación de todos y cada uno de los miembros de la organización, dirigidos a la optimización de los equipos.

El TPM “Mantenimiento Productivo Total”, tiene como parte de sus propósitos la transformación de actitud de todas las personas de la organización, en todos los niveles. (www.leanexpertise.com /agosto 2016)

3.7 BREVE DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO.

El mantenimiento en esencia no es reparar; es la actividad dedicada a la conservación de los equipos, asegurando la productividad, disponibilidad y confiabilidad.

Su función ha sido a través de la historia, considerada como un costo necesario, pero las diferentes técnicas e innovaciones; hacen que el mantenimiento sea visto como inversión y no un gasto impositivo. (www.leanexpertise.com /agosto 2016)

3.8 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento ha sufrido muchas transformaciones a la par del desarrollo tecnológico; inicialmente se centraba en actividades correctivas para la solución de fallas. Hoy se busca aumentar y confiabilizar la producción.

Los objetivos más destacados son:

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida útil de las máquinas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.9 TIPOS DE MANTENIMIENTO

3.9.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Conjunto de actividades de mantenimiento a intervalos fijos, con el objetivo de evitar fallas potenciales. Se realiza aun cuando el equipo no ha presentado ningún síntoma de falla. (www.renovetec.com/septiembre 2016)

En la ejecución de este mantenimiento, se asocia una inspección detallada de los componentes, esto con el fin de determinar próximas intervenciones importantes o de planear y programar un paro del equipo, (correctivos programados). Los paros asociados a este mantenimiento no representan sorpresa en la producción, ya que corresponden a una programación comunicada a los diferentes niveles y por lo general, son actividades generadas por el software de mantenimiento que se use.

3.9.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Conjunto de actividades de mantenimiento destinadas a corregir las fallas que se presentan a causa del uso de los equipos. El mantenimiento correctivo se desarrolla en dos grandes campos:

- **Mantenimiento correctivo programado:** es consecuencia de la verificación que se hace en el mantenimiento preventivo y de una evaluación pre operacional de los equipos. Este nos comunica que la falla está latente, pero que el paro no es inminente.
- **Mantenimiento correctivo de emergencia:** es consecuencia de fallas por desgastes prematuros, mala operación, mala reparación etc. Y por su naturaleza ocurre la falla e implica una intervención o paro inmediato del equipo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.9.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Este tipo de mantenimiento se enfoca en dar apoyo a las estrategias de mantenimiento correctivo-programado y de mantenimiento preventivo. Está basado en aplicar diferentes tecnologías de predicción de fallas, tales como, entre otras: análisis de vibraciones, termografía, detectores infrarrojos, análisis de lubricantes, ultrasonido.

Es mediante el conocimiento de variables físicas (Temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que aparecen al equipo. Requiere no solo de equipos técnicos, si no, de altos conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos. (www.renovetec.com/septiembre 2016)

3.9.4 MANTENIMIENTO CERO HORAS (Overhaul)

Es el conjunto de actividades que se realizan con el objetivo de revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca algún fallo, esto para cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano. (www.renovetec.com/septiembre 2016)

3.9.5 MANTENIMIENTO EN USO

Es el conjunto de actividades básicas y elementales aplicadas a un equipo. Es mayormente realizado por los usuarios del mismo (inspección visual, limpieza, lubricación y ajuste de tornillos, entre otras), No es necesaria una gran formación y es apenas la base del TPM. (www.renovetec.com/septiembre 2016)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.10 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

El Mantenimiento Productivo Total o Mantenimiento Participativo Total, se desarrolló en Japón, buscando el mejoramiento de la gestión del mantenimiento y alcanzar la velocidad con que se automatizaron los procesos productivos. Al inicio se limitó a los departamentos que directamente tenían que ver con los equipos, luego fue un concepto aplicado al general de la organización y ha sido asimilado en el seno de la cultura corporativa de organizaciones en estado Unidos, Europa, Asia y América Latina.

[\(https://prezi.com/nk1ammsxjoju/gestion-de-mantenimiento-5-s-tpm/\)](https://prezi.com/nk1ammsxjoju/gestion-de-mantenimiento-5-s-tpm/)

3.10.1 PILARES DEL TPM

Buscando tener una mejor perspectiva de su significado, este se sustenta en 8 pilares.

1. Mejora Focalizada

Se concentra en la eliminación sistemática de pérdidas ocasionadas con el proceso productivo.

2. Mantenimiento Autónomo

Busca conservar y mejorar el equipo con la participación del operador.

3. Mantenimiento Planeado

Su objetivo es mantener el equipo y el proceso en condiciones óptimas.

4. Capacitación

Se dirige a aumentar las capacidades y habilidades de los empleados.

5. Control Inicial

Su objetivo es reducir el deterioro de los equipos actuales y mejorar los costos de su mantenimiento.

6. Mejoramiento Para La Calidad

Conlleva tomar acciones preventivas para obtener un proceso y equipo cero defectos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

7. TPM En los Departamentos de Apoyo

Consiste en la eliminación de pérdidas en los procesos administrativos y aumentar la eficiencia.

8. Seguridad Higiene Y Medio Ambiente

Centrado en crear y mantener un sistema que garantice un ambiente laboral sin accidentes y sin contaminación

El desarrollo e implementación del TPM, involucran una serie de actividades y métodos que posibilitan el aumento de productividad. Una de ellas es:

Aplicación de las 5 S's

1. Seiri (clasificar)
2. Seiton (organizar)
3. Seiso (Limpieza)
4. Seiketsu (Higiene)
5. Shitsuke (Disciplina y Compromiso)

Las 5s, es una concepción orientada hacia la calidad total originada en Japón hace más de 40 años e incluida en el conocido "Mejoramiento Continuo" o Gemba Kaizen.

(<https://prezi.com/nk1ammsxjoju/gestion-de-mantenimiento-5-s-tpm/>)

3.11 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

Es una herramienta utilizada para identificar las causas que originan los fallos o problemas, las cuales al ser identificadas y corregidas evitarán la recurrencia de los mismos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Es una técnica de identificación de causas fundamentales que conducen a fallos recurrentes. Las causas identificadas son causas lógicas y su efecto relacionado.

Es importante mencionar que es un análisis deductivo, el cual identifica la relación causal que conduce al sistema, equipo o componente a un fallo. Se utilizan una gran variedad de técnicas y su selección depende del tipo de problema, disponibilidad de la data y conocimiento de las técnicas. (luchitoedu, 2013)

En la búsqueda de su propósito, se hacen 3 preguntas elementales: ¿Que sucedió?, ¿Porque sucedió?, ¿Que se puede hacer para evitar que suceda nuevamente? En este aspecto es común que la situación indeseada se derive de varios factores (Condiciones de la infraestructura, Factores humanos o procesos, Métodos, etc.) Y pueden ser identificadas varias Causas Raíz.

(http://www.tuv.com/es/mexico/about_us_mx/tuv_rheinland_mexico/tuv_rheinland_mexico.html)

3.12 INTRODUCCIÓN AL ANALISIS CAUSA RAÍZ

Al ocurrir una falla, se percibe esta, a través de ciertas manifestaciones o síntomas. Esto conduce en muchas ocasiones a actuar sobre las consecuencias y no directamente a la raíz del problema. De este modo es cuando tenemos fallas recurrentes.

A mayor complejidad del sistema, será mayor la dificultad para localizar la raíz de la falla. Es fundamental entonces, encontrar el origen, pero sin embargo no es la solución definitiva y se deberá estudiar distintas acciones correctivas.

El análisis causa raíz es una herramienta que se usa en la identificación de la causa de la falla y así evitar sus consecuencias. Entre más profundo el análisis, mucho mejor para

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ayudar a comprender los eventos y mecanismos que actuaron como raíz del problema; su clasificación puede ser de la siguiente manera:

- Análisis de falla de componentes (CFA), Implica estudiar los componentes dañados.
- Investigación de causa Raíz (RCI), Esta herramienta incluye a la anterior e investiga las causas físicas.
- Análisis de causa raíz (ACR), Esta herramienta incluye las dos anteriores y analiza además el error humano.

En la aplicación a fondo del Análisis Causa Raíz, se debe adentrar más allá de las piezas físicas de la falla o raíces físicas; y analizar los actos humanos que influyeron la cadena causa-efecto que derivó a la causa física, lo cual implica el análisis del ¿por qué se hizo eso?, si fue debido a procedimientos incorrectos, a especificaciones erróneas o a falta de conocimiento; lo cual podría sacar a relucir raíces latentes, es decir, deficiencias en el manejo. De no corregirse, la falla podría ser reiterativa.

El Análisis causa Raíz, posee diferentes aplicaciones, que trascienden más allá del mantenimiento.

- Análisis de Fallas, Para la búsqueda de fallas complejas en equipos o procesos críticos, lo cual es una aplicación reactiva.
- Análisis de fallas recurrentes de equipos o procesos críticos, lo que sería una aplicación proactiva.
- Análisis de Modos de falla y sus Efectos (FMEA), usada también en el RCM2.
- Análisis de Errores Humanos, aplicados al proceso de diseño y aplicación de procedimientos.
- Análisis de Accidentes e Incidentes, aplicables en sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional. (SySO)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El respaldo de los hechos debe hacerse bajo la observación directa, documentación y deducciones científicas. (Altman, s.f)

Los métodos y técnicas seleccionados, dependerán del tipo de falla y datos disponibles.

3.13 ANTECEDENTES DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

El ACR es una técnica o metodología que se inició, en forma sistemática, desde los 70's y se han producido mejoras en el tiempo, la última versión es la utilización del ACR proactivo, que consiste en identificar los fallos antes de que ocurran y tomar acción antes de que falle el equipo. Sin embargo, no se han producido, ni se espera que se produzcan cambios sustanciales en la forma de ejecutar la herramienta, aun cuando pueda sufrir ciertas variaciones por el acoplamiento con otras metodologías de confiabilidad. (luchitoedu, 2013)

3.14 IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

Normalmente cuando ocurre un fallo, éste es percibido porque genera ciertas manifestaciones o fenómenos de fácil localización (síntomas), no así las causas de la misma (causa raíz) que, mientras más complicado sea el sistema, mayor será la dificultad de localizar el origen de dichas causas, pudiendo atacar las manifestaciones del fallo, pero no su origen, lo que se traduce en potencialidad de ocurrencia de fallos que se harán recurrentes.

De no realizarse un análisis exhaustivo de la falla y sus causas, se desaprovecha la oportunidad de mejorar la relación Coste-Producción- Confiabilidad.

Los responsables del mantenimiento deben concentrarse en la identificación de las verdaderas causas del problema y no solo reparar para seguir en movimiento. De este mismo modo desde el personal administrativo, se deriva la presión de la rutina diaria, lo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

que imposibilita eliminar el problema de fondo y dedicarse solo a atender los síntomas.
(luchitoedu, 2013)

3.15 BENEFICIOS GENERADOS POR EL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

- Reducción del número de incidentes, fallos y desperdicios.
- Reducción de gastos y de la producción diferida, asociada a fallos.
- Mejoramiento de la confiabilidad, la seguridad y la protección ambiental.
- Mejoramiento de la eficiencia, rentabilidad y productividad de los procesos.

3.16 DÓNDE Y CUANDO SE DEBE APLICAR ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

- En forma proactiva para evitar fallos recurrentes de alto impacto en costes de operación y mantenimiento.
- En forma reactiva para resolver problemas complejos que afectan la organización.
- Equipos/sistemas con un alto coste de mantenimiento correctivo.
- Particularmente, si existe una data de fallos de equipos con alto impacto en costes de mantenimiento o pérdidas de producción.
- Análisis de fallos repetitivos de equipos o procesos críticos.
- Análisis de errores humanos en el proceso de diseño y aplicación de procedimientos y de supervisión.

3.17 DIFERENTES TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS

En la actualidad existen diferentes técnicas, metodologías o herramientas que sirven como guía y ayuda para la ejecución de un ACR, muchas con características similares que pueden ser aplicadas como conjunto o complemento una de otra. La correcta selección y

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

aplicación de una de estas metodologías depende del tipo de problema, del contexto operacional, de la disponibilidad de la información, del alcance que se quiere lograr y del tipo de solución al cual se quiere llegar.

3.18 MATRICES DE PONDERACIÓN

Las Matrices de ponderación, como herramienta de toma de decisiones multicriterios son muy usadas, pero debido a su sencillez, es poca la literatura que las soporta. Es una guía para la toma de decisiones multicriterios en base a puntajes establecidos. (Hernández R., 2007).

Se basa en la priorización de las variables en función a la elaboración de matrices y el cálculo de algunos valores que en forma consecuente indicarán que variables son las más importantes según su influencia hacia el resto y según su dependencia del resto.

Lo usual es que la matriz de ponderación, en su forma general; en la primera columna se presenten las alternativas a ser evaluadas y en las siguientes columnas los criterios y en la última la sumatoria de puntos en su respectiva fila. walkerplazola.blogspot.com.co

EJEMPLO DE UNA MATRIZ DE PONDERACIÓN

Tabla 1 Matriz de ponderación walkerplazola.blogspot.com.co

Tabla I.- Matriz De Ponderación en su forma más general. .Alternativas . Criterios	Criterio 1 Peso x a X	Criterio 2 Peso y a Y	...	Criterio n-1 Peso w a W	Criterio n Peso z a Z	Total
Alternativa 1	P1,1	P1,2	...	P1,n-1	P1,n	Total 1
Alternativa 1	P2,1	P2,2	...	P2,n-1	P2,n	Total 2
..
Alternativa m - 1	Pm-1,1	Pm-1,2	...	Pm-1,n-1	Pm-1,n	Total m-1
Alternativa m	Pm,1	Pm,2	...	Pm,n-1	Pm,n	Total m

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.19 METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS CAUSA RAIZ

En la actualidad existen diferentes técnicas, metodologías o herramientas que sirven como guía y ayuda para la ejecución de un ACR, muchas con características similares que pueden ser aplicadas y complementadas una con otra.

A continuación, se enlistan algunas de las más conocidas y utilizadas en la actualidad y otras que pese a no ser tan conocidas pueden ampliar nuestro conocimiento y así realizar un mejor diseño, de acuerdo a las necesidades que se tengan:

- Diagrama de Ishikawa
- Análisis de barreras
- Análisis árbol factor causal
- Análisis de los modos y efectos de falla (FMECA)
- Análisis de Pareto
- Los 5 ¿por qué?
- Las 8D

3.19.1 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

Un diagrama de Causa y Efecto es la representación de varios elementos (causas) de un sistema que pueden contribuir a un problema (efecto). Fue desarrollado en 1943 por el Profesor Kaoru Ishikawa en Tokio. Algunas veces es denominado Diagrama Ishikawa o Diagrama Espina de Pescado por su parecido con el esqueleto de un pescado. Es una herramienta efectiva para estudiar procesos y situaciones, y para desarrollar un plan de recolección de datos. (<http://claroline.ucaribe.edu.mx/claroline/claroline/backends/download>).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El Diagrama de Causa y Efecto es una forma gráfica de exhibir gran información de causas en un espacio compacto. El uso del Diagrama ayuda a los equipos a pasar de opiniones a teorías comprobables.

3.19.1.1 ¿Cuándo se utiliza?

El Diagrama de Causa y Efecto es utilizado para identificar las posibles causas de un problema específico. La naturaleza gráfica del Diagrama permite que los grupos organicen grandes cantidades de información sobre el problema y determinar exactamente las posibles causas.

Finalmente, aumenta la probabilidad de identificar las causas principales. El Diagrama de Causa y Efecto se debe utilizar cuando se pueda contestar “sí” a una o a las dos preguntas siguientes:

1. ¿Es necesario identificar las causas principales de un problema?
2. ¿Existen ideas y/u opiniones sobre las causas de un problema?

Con frecuencia, las personas vinculadas de cerca al problema que es objeto de estudio se han formado opiniones sobre cuáles son las causas del problema. Estas opiniones pueden estar en conflicto o fallar al expresar las causas principales. El uso de un Diagrama de Causa y Efecto hace posible reunir todas estas ideas para su estudio desde diferentes puntos de vista.

El desarrollo y uso de Diagramas de Causa y Efecto son más efectivos después de que el proceso ha sido descrito y el problema esté bien definido. Para ese momento, los miembros del equipo tendrán una idea acertada de qué factores se deben incluir en el Diagrama.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El Diagrama de Causa y Efecto no ofrece una respuesta a una pregunta, como lo hacen otras herramientas. Herramientas como el Análisis de Pareto, Diagramas Scatter, e Histogramas, pueden ser utilizadas para analizar datos estadísticamente.

3.19.1.2 Métodos para la construcción del diagrama de Ishikawa

Existen tres métodos para construir un DI, que son: 6M, flujo del proceso y estratificación. Método 6M o Análisis de Dispersión: Es el método más común y consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales: métodos de trabajo, mano de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente. Estos seis elementos definen todo proceso de manera global, y cada uno aporta parte de la variabilidad y de la calidad del producto o servicio. De esta manera, es natural esperar que la causa de un problema tenga relación con alguna de las 6M (Ver Figura 1).

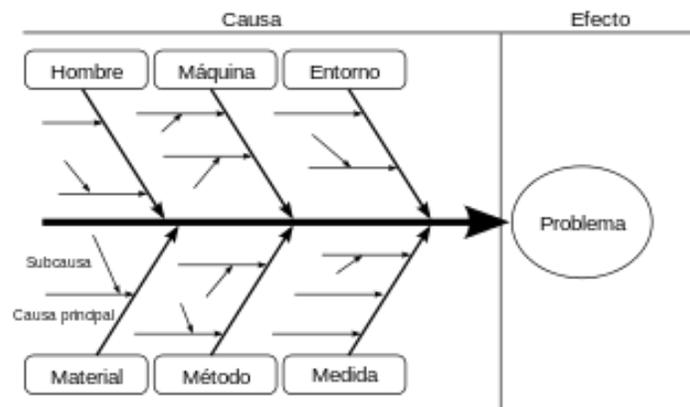


Figura 1 Representación gráfica del diagrama de Ishikawa por el método 6M.
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5b/Diagrama-general-de-causa-efecto.svg/317px-Diagrama-general-de-causa-efecto.svg.png>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ventajas:

- Obliga a considerar una gran cantidad de elementos asociados con el problema.
- Puede ser utilizado cuando el proceso no se conoce en detalle. Se concentra en el proceso y no en el producto.

Desventajas:

- En una sola rama se identifican demasiadas causas potenciales.
- Tiende a concentrarse en pequeños detalles del proceso.
- El método no es ilustrativo para quienes desconocen el proceso.

3.19.1.3 Método del flujo del proceso

La línea principal sigue la línea normal de secuencia del proceso de producción o del proceso administrativo. Los factores que pueden afectar la característica de calidad se agregan en el orden que les corresponde según el proceso. Se basa en el diagrama de flujo del proceso colocado de manera horizontal, al cual se le van agregando los factores que influyen en la variabilidad de cada etapa.

Ventajas

- Usa el diagrama de flujo del proceso.
- Se considera el proceso completo como una causa potencial del problema.
- Se pueden llegar a descubrir otros problemas que no son considerados inicialmente.
- Puede usarse para predecir problemas futuros del proceso.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Desventajas

- Es fácil pasar por alto las causas potenciales debido a que la gente está acostumbrada a trabajar con ellas y las ven normales.
- Es difícil usarlo por mucho tiempo, sobre todo en procesos complejos.
- Algunas causas potenciales pueden aparecer muchas veces.
- Ejemplo: Se puede estudiar un problema de calidad a través de su diagrama de flujo (Ver Figura 2).

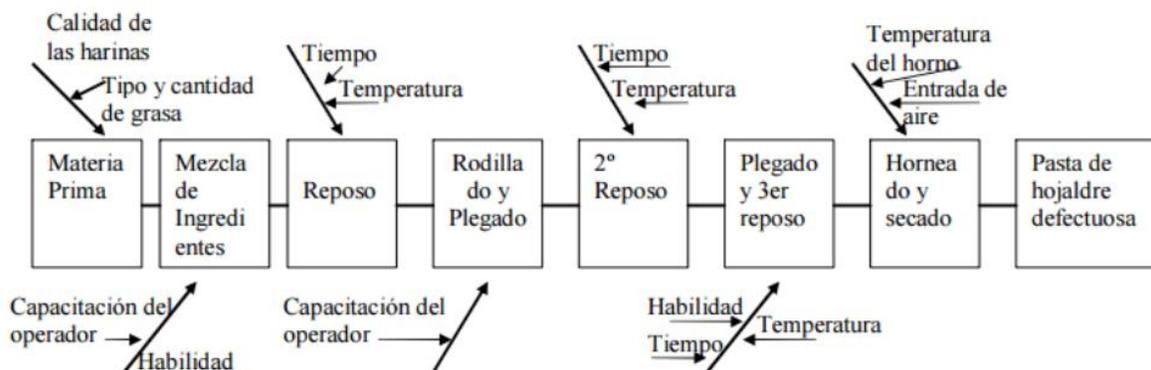


Figura 2. Representación gráfica del diagrama de Ishikawa por el método del flujo de proceso.

(<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5b/Diagrama-general-de-causa-efecto.svg/317px-Diagrama-general-de-causa-efecto.svg.png>)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.19.1.4 Método de estratificación o enumeración de causas

Con este método se trata de ir directamente a las principales causas potenciales de un problema. La selección de estas causas muchas veces se hace a través de una sesión de lluvia de ideas. Hay que preguntarse el ¿por qué? del problema durante la sesión con el fin de profundizar en la búsqueda de causas.

Este método para realizar el DI aplica cuando las categorías de las causas potenciales pueden subdividirse. Por ejemplo, un producto terminado puede dividirse fácilmente en sub-ensambles. La diferencia entre este método y el de las 6M es que éste va de lo muy general a lo particular, mientras aquel va directo a las causas potenciales del problema. Ejemplo de un DI construido por estratificación (Ver Figura 3).

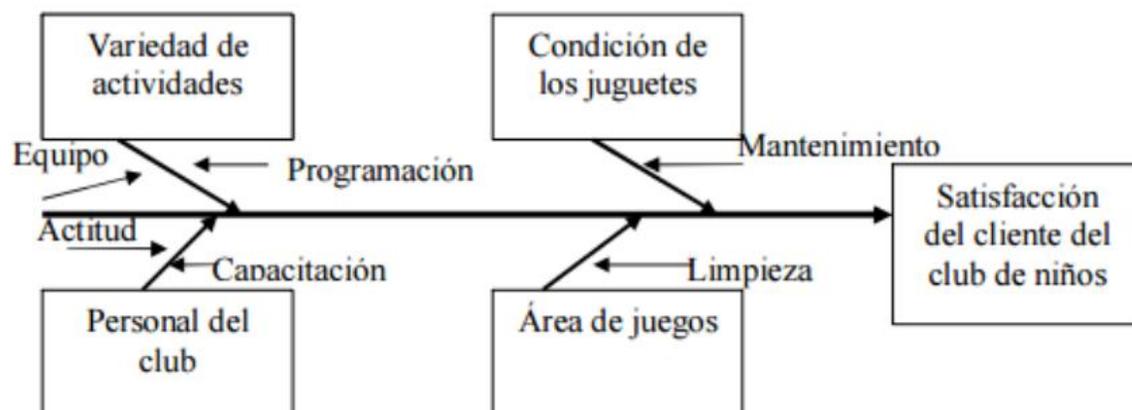


Figura 3. Representación gráfica del diagrama de Ishikawa por el método de estratificación.

(<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5b/Diagrama-general-de-causa-efecto.svg/317px-Diagrama-general-de-causa-efecto.svg.png>)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ventajas

- Proporciona un agrupamiento claro de las causas potenciales de un problema, lo que permite centrarse directamente en el análisis del mismo.
- Es generalmente menos complejo que los otros métodos.

Desventajas

- Se pueden dejar de tomar en cuenta algunas causas importantes.
- Puede ser difícil definir las subdivisiones principales.
- Se requiere un mayor conocimiento del producto o el proceso.
- Se requiere un gran conocimiento de las causas potenciales.

3.19.2 ANÁLISIS DE BARRERA

Una barrera es una circunstancia u obstáculo que previene que algo acontezca, es algo que substancialmente reduce la probabilidad de adopción de las medidas de mitigación o de los medios y formas de solución para algún acontecimiento.

El análisis de barrera ofrece una forma estructurada de visualizar los eventos relacionados a una falla sistemática, puede ser una forma reactiva para resolver los problemas identificados o de forma proactiva para evaluar las barreras existentes (Zaballa, s.f.)

A continuación, se muestra la clasificación de los tipos de barreras existentes.

- Económicas y financieras
- Capacidades humanas
- Capacidades institucionales y organizativas
- Marcos normativos y regulatorios
- Sensibilización pública y conducta
- Disponibilidad y calidad de datos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para la realización de un análisis de barreras sistemático se hace necesaria la ejecución de los siguientes seis pasos.

1. Organizar el proceso:

En este paso se establecen aspectos de suma importancia para el correcto desarrollo del análisis tales como el objetivo del análisis de barrera, el cronograma de actividades (Cuándo y dónde los diferentes pasos serán desarrollados), los actores responsables y los stakeholders involucrados (quién estará involucrado en qué) y los recursos disponibles.

2. Identificar y categorizar todas las posibles barreras:

Para la realización de este paso se hace necesaria la implementación de diferentes abordajes que pueden ser entrevistas individuales que faciliten la identificación de las barreras basado en el conocimiento de cada individuo en relación, revisión bibliográfica de publicaciones académicas o de expertos sobre casos que fuesen similares, la realización de grupos focales y un mapeo de mercado recomendado en los casos de promoción de bienes de consumo y bienes capitales.

3. La priorización de las barreras:

En cual se realiza una revisión de las barreras, una descomposición de las mismas y un análisis de las causas. Este paso se realiza por medio de la implementación de técnicas como los diagramas de Ishikawa o los 5 ¿por qué's? y de acá se hace necesario que queden establecidas las barreras críticas.

4. Descripción detallada de cada una de las barreras críticas:

Cada barrera considerada como crítica deberá contar con una ficha técnica que contenga información detallada sobre la misma.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. Traduciendo las barreras en acciones:

Las barreras que fueron identificadas como críticas y que a su vez son la raíz causal del problema, deberán ser traducidas positivamente en objetivos que estén orientados a resolver el problema en cuestión. Para cada uno de los objetivos, las opciones de alcance de los mismos deben estar señaladas. Estas opciones eventualmente serán traducidas en acciones que remuevan las barreras.

6. Evaluación de las acciones y desarrollo de un plan de trabajo:

Las opciones propuestas para remover las barreras necesitan ser evaluadas para definir la viabilidad de las mismas. Algunas consideraciones comunes que deberán considerarse durante el proceso de evaluación son:

- Costo-efectividad
- Impactos ambientales y sociales
- Viabilidad institucional y consideraciones políticas
- Complejidad
- Costos gubernamentales

3.19.3 ANÁLISIS ÁRBOL FACTOR CAUSAL

El FTA fue desarrollado por ingenieros para mejorar la seguridad de los sistemas de misiles. Entendieron que la mayoría de accidentes/incidentes resultan de fallas inherentes a un sistema. Un sistema consta de personas, equipo, material y factores ambientales. Este sistema realiza tareas específicas con métodos recomendados. Los componentes de un sistema y su ambiente están interrelacionados, y una falla con cualquier parte puede afectar las demás partes. Un evento negativo puede ser un por poco o un incidente que podría haber resultado en lesiones personales a un empleado o daños a equipo/propiedad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los diagramas analíticos son representaciones gráficas o ilustraciones de un proyecto o evento. Utilizan el razonamiento deductivo ya que empiezan con un evento general o un evento de resultado y elaboran por las ramas a los eventos específicos causantes que tienen que ocurrir para producir el evento general. Se refiere a los diagramas analíticos como árboles porque su estructura parece la de un árbol, estrecho en lo de arriba con un solo evento y luego echando ramas en el proceso de su desarrollo.

Árboles de fallas: Árboles analíticos negativos o árboles de fallas son herramientas excelentes para localizar y corregir fallas. Pueden usarse para prevenir o identificar fallas antes de que ocurran, pero se usan con más frecuencia para analizar accidentes o como herramientas investigativas para señalar fallas. Al ocurrirse un accidente o una falla, se puede identificar la causa raíz del evento negativo.

Se analiza cada evento al hacer la pregunta, “¿Cómo es posible que esto suceda?”. Al contestar esta pregunta, se identifican las causas principales y como se interactúan para producir un evento no deseado. Este proceso de lógica sigue hasta identificar todas las causas posibles. A lo largo de este proceso, se usa un diagrama de árbol para grabar los eventos identificados.

Las ramas del árbol terminan cuando estén completos todos los eventos que resultan en el evento negativo. Se usan símbolos para representar varios eventos y para describir relaciones:

Puerta Y – representa una condición en la cual todos los eventos mostrados debajo de la puerta (puerta de entrada) tiene que estar presentes para que ocurra el evento arriba de la puerta (evento de resultado). Esto significa que el evento de resultado ocurrirá

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

solamente si todos los eventos de entrada existen simultáneamente (Ver Figura 4) (<http://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcessp/spstpfaulmtree.pdf>).



Figura 4. Puerta Y

<http://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcessp/spstpfaulmtree.pdf>.

Puerta O – representa una situación en la cual cualquier de los eventos mostrados debajo de la puerta (puerta de entrada) llevarán al evento mostrado arriba de la puerta (evento de resultado). El evento ocurrirá si solamente uno o cualquier combinación de los eventos de entrada ocurren (<http://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcessp/spstpfaulmtree.pdf>).



Figura 5 Puerta O.

(<http://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcessp/spstpfaulmtree.pdf>).

3.19.3.1 *Cinco tipos de símbolos para eventos*

1. **Rectángulo:** el rectángulo es el principal componente básico del árbol analítico. Representa el evento negativo y se localiza en el punto superior del árbol y puede localizarse por todo el árbol para indicar otros eventos que pueden dividirse más. Este es el único símbolo que tendrá abajo una puerta de lógica y eventos de entrada.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. **Círculo:** un círculo representa un evento base en el árbol. Estos se encuentran en los niveles inferiores del árbol y no requieren más desarrollo o divisiones. No hay puertas o eventos debajo del evento base.

3. **Diamante:** el diamante identifica un evento terminal sin desarrollar. Tal evento es uno no completamente desarrollado debido a una falta de información o significancia. Una rama del árbol de fallas puede terminar con un diamante. Por ejemplo, la mayoría de los proyectos requieren personal, procedimientos, y equipo. El desarrollador del árbol tal vez se decida enfocarse en el aspecto de personal del procedimiento y no en los aspectos del equipo o procedimientos. En este caso el desarrollador usaría diamantes para mostrar “procedimientos” y “equipo” como eventos terminales no desarrollados.

4. **Óvalo:** Un símbolo de ovalo representa una situación especial que puede ocurrir solamente si ocurren ciertas circunstancias. Esto se explica adentro del símbolo del ovalo.

 Un ejemplo de esto El Centro de Recursos del Departamento de Seguros de Texas División de compensación para Trabajadores Servicios Laborales y Médicos, Alcance y Educación HS02-015B (9-06) tal vez sea el caso de que si hay que cerrar ciertos interruptores por una secuencia específica antes de ocurrir una acción.

<http://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcesp/spstpfaulttree.pdf>).

5. **Triángulo:** El triángulo significa una transferencia de una rama del árbol de fallas a otro lugar del árbol. Donde se conecta un triángulo al árbol con una flecha, todo que esté mostrado debajo del punto de conexión se pasa a otra área del árbol. Esta área se identifica con un triángulo correspondiente que se conecta al árbol con una línea vertical. Letras, números o figuras diferencian un grupo de símbolos de transferencia de otro. Para mantener la simplicidad del árbol analítico, el símbolo de transferencia debe usarse con moderación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.19.3.2 *Análisis de Fallas con Diagramas de Árbol*

El FTA consta los siguientes pasos:

1. Definir el evento superior.
 2. Conocer el sistema.
 3. Construir el árbol.
 4. Validar el árbol.
 5. Evaluar el árbol.
 6. Considerar cambios constructivos.
 7. Considerar alternativas y recomendar medidas.
1. **Defina el evento superior:** Para definir el evento superior, se tiene que identificar el tipo de falla que se va a investigar. Esto podría ser lo que haya sido el resultado final de un incidente, tal como el volcarse un montacargas.
 2. **Determine todos los eventos no deseados en la operación de un sistema:**
Separe esta lista en grupos con características comunes. Varios FTA tal vez sean necesarios para estudiar un sistema completamente. Finalmente, un evento debe establecerse que representa todos los eventos dentro de un grupo. Este evento llega a ser el evento no deseado que se va a estudiar.
 3. **Conozca el sistema:** Se debe estudiar toda la información disponible sobre el sistema y su ambiente. Puede ser de ayuda un análisis de trabajo para determinar la información necesaria.
 4. **Construya el árbol de fallas:** Este paso tal vez sea el más fácil porque se usan solamente pocos de los símbolos y la construcción práctica es muy sencilla.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. **Evalúe el árbol de fallas:** El árbol ahora necesita examinarse para las áreas donde pueden hacerse mejoras en el análisis o donde tal vez haya oportunidad de utilizar procedimientos o materiales alternativos para disminuir el peligro.

6. **Estudie cambios constructivos:** En este paso, cualquier método alternativo que se implementen deben evaluarse más. Esto permite que los asesores vean cualquier problema que esté relacionado con el nuevo procedimiento antes de implementarlo.

7. **Considere alternativas y recomiende pasos:** Este es el último paso en el proceso donde se recomiendan acciones correctivas o medidas alternativas.

Ventajas

La ventaja principal de los análisis de árbol de falla son los datos valiosos que producen que permiten evaluar y mejorar la fiabilidad general del sistema. También evalúa la eficiencia y la necesidad de redundancia.

Desventajas

Una limitación del análisis de árbol de fallas es que el evento no deseado que se está evaluando tiene que ser previsto y todos los factores contribuyentes a la falla tienen que ser anticipados. Este esfuerzo puede llevar mucho tiempo y puede ser muy caro. Y finalmente, el éxito en general del proceso depende de la habilidad del analista involucrado.

Esquema de un árbol de fallas

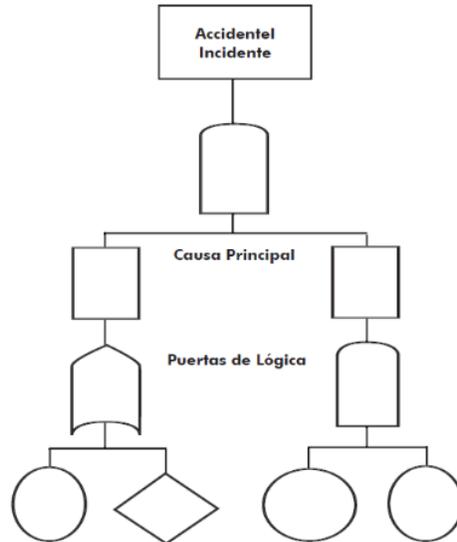


Figura 6 Esquema de un árbol de fallas.

(<http://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcessp/spstpfaulttree.pdf>).

3.19.4 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA

Tomado de los sectores que apuestan alto como la industria aeroespacial y defensa, el Análisis de Modo y Efecto de Fallos (AMEF) es un conjunto de directrices, un método y una forma de identificar problemas potenciales (errores) y sus posibles efectos en un SISTEMA para priorizarlos y poder concentrar los recursos en planes de prevención, supervisión y respuesta.

Los AMEFs fueron formalmente introducidos a finales de los 40's mediante el estándar militar 1629. Utilizados por la industria aeroespacial en el desarrollo de cohetes, los AMEFs y el todavía más detallado Análisis Crítico del Modo y Efecto de Falla (ACMEF)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

fueron de mucha ayuda en evitar errores sobre amaños de muestra pequeños en la costosa tecnología de cohetes.

El principal empuje para la prevención de fallas vino durante los 60's mientras se desarrollaba la tecnología para enviar un hombre a la luna en la misión Apolo. Ford Motor Company motivados por los altos costos de demandas de responsabilidad civil introdujo los AMEFs en la industria automotriz a finales de los 70's para consideraciones de seguridad y requisitos regulatorios.

En 1993 Chrysler, Ford y GM crearon el documento «Potencial Failure Mode And Effects Analysis» que cubría los tipos vigentes de AMEF. El documento formo parte de la norma QS 9000 (Hoy conocida como ISO 16949). (www.leansolutions.com)

3.19.4.1 Los Beneficios de implantación de AMEF en un sistema

- Identifica fallas o defectos antes de que estos ocurran.
- Reducir los costos de garantías.
- Incrementar la confiabilidad de los productos/servicios (reduce los tiempos de desperdicios y re-trabajos).
- Procesos de desarrollo más cortos.
- Documenta los conocimientos sobre los procesos.
- Incrementa la satisfacción del cliente.
- Mantiene el Know-How en la compañía.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.19.4.2 Tipos de AMEF

- **AMEF de sistema:** Asegura la compatibilidad de los componentes del sistema.
- **AMEF de diseño:** Se usa para analizar componentes del diseño. Se enfoca hacia los modos de falla asociados con la funcionalidad u operación de un componente causados por el diseño.
- **AMEF de proceso:** Se usa para analizar los procesos de instalación, fabricación y ensamble. Se enfoca a la incapacidad para producir el requerimiento que se pretende, un defecto. Los modos de falla pueden derivar de causas identificadas del AMEF de diseño.

3.19.4.3 ¿Cuándo iniciar un AMEF?

- Cuando el proceso es muy complejo.
- Cuando un producto o servicio nuevo está siendo diseñado.
- Cuando un proceso es creado, mejorado o rediseñado.
- Cuando productos existentes, servicios, o procesos son usados en formas nuevas o nuevos ambientes.

3.19.4.4 Pasos para hacer un AMEF

1. Determine el producto o proceso a analizar
2. Determinar los posibles modos de falla
3. Listar los efectos de cada potencial modo de falla
4. Asignar el grado de severidad de cada efecto Severidad a la consecuencia de que la falla ocurra.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. Asignar el grado de ocurrencia de cada modo de falla Ocurrencia a la probabilidad de que la falla ocurra
6. Asignar el grado de detección de cada modo de falla Detección a la probabilidad de que la falla se detectada antes de que llegue al cliente
7. Calcular el NPR (Numero Prioritario de Riesgo) de cada efecto
8. NPR es severidad*Ocurrencia*detección
9. Priorizar los modos de falla
10. Tomar acciones para eliminar o reducir el riesgo del modo de falla
11. Calcular el nuevo resultado del NPR para revisar si el riesgo ha sido eliminado o reducido.

3.19.5 ANÁLISIS DE PARETO

El principio de Pareto afirma que en todo grupo de elementos o factores que contribuyen a un mismo efecto, unos pocos son los responsables de la mayor parte de dicho efecto. El análisis de Pareto es una comparación cuantitativa y ordenada de elementos según su contribución a un determinado efecto.

El objetivo de esta comparación es clasificar dichos elementos o factores en dos categorías. Las pocas vitales (los elementos muy importantes en su contribución) y los muchos triviales (los elementos poco importantes en ella). (www.fundibeq.com)

A continuación, se visualizan una serie de características que ayudan a comprender la naturaleza de la herramienta

- **Priorización:** Identifica los elementos que más peso tienen dentro de un grupo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Unificación de criterios:** Enfoca y dirige el esfuerzo de los componentes del grupo de trabajo hacia un objetivo prioritario común.
- **Carácter objetivo:** Su utilización fuerza al grupo de trabajo a tomar decisiones basadas en datos y hechos objetivos y no en ideas subjetivas.

3.19.5.1 *Tablas y diagramas de Pareto.*

Las tablas y diagramas de Pareto son herramientas de representación utilizadas para visualizar el análisis de Pareto, el diagrama de Pareto es la representación gráfica de tabla de Pareto correspondiente. Las ventajas de las tablas y gráficas de Pareto son su simplicidad ya que no requieren ni cálculos complejos ni técnicas sofisticadas de representación gráfica y el impacto visual ya que comunica de forma clara y evidente el resultado de análisis de comparación y priorización.

A continuación, se plasman los pasos para ejecutar un correcto análisis de Pareto.

Paso 1. Preparación de los datos: Como en todas las herramientas de análisis de datos, el primer paso consiste en recoger los datos correctos o asegurarse de que los existentes lo son. Para la construcción de un Diagrama de Pareto son necesarios:

- a) Un efecto cuantificado y medible sobre el que se quiere priorizar (Costes, tiempo, número de errores o defectos, porcentaje de clientes, etc.).
- b) Una lista completa de elementos o factores que contribuyen a dicho efecto (tipos de fallos o errores, pasos de un proceso, tipos de problemas, productos, servicios, etc.).
- c) La magnitud de la contribución de cada elemento o factor al efecto total.

Paso 2. Cálculo de las contribuciones parciales y totales. Ordenación de los elementos o factores incluidos en el análisis: Para cada elemento contribuyente sobre el efecto, anotar

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

su magnitud. Ordenar dichos elementos de mayor a menor, según la magnitud de su contribución. Calcular la magnitud total del efecto como suma de las magnitudes parciales de cada uno de los elementos contribuyentes.

Paso 3. Calcular el porcentaje y el porcentaje acumulado, para cada elemento de la lista ordenada.

Paso 4. Trazar y rotular los ejes del Diagrama: El eje vertical izquierdo representa la magnitud del efecto estudiado. Debe empezar en 0 e ir hasta el valor del efecto total. Rotularlo con el efecto, la unidad de medida y la escala. La escala debe ser consistente, es decir variar según intervalos constantes. Las escalas de gráficos que se compararán entre sí, deben ser idénticas (Nota: prestar especial cuidado a las escalas automáticas de los gráficos por ordenador).

Paso 5. Dibujar un Gráfico de Barras que representa el efecto de cada uno de los elementos contribuyentes: La altura de cada barra es igual a la contribución de cada elemento tanto medida en magnitud por medio del eje vertical izquierdo, como en porcentaje por medio del eje vertical derecho.

Paso 6. Señalar los elementos "Pocos Vitales" y los "Muchos Triviales": Trazar una línea vertical que separa el Diagrama en dos partes y sirve para visualizar la frontera entre los "Pocos Vitales" y los "Muchos Triviales", basándonos en el cambio de inclinación entre los segmentos lineales correspondientes a cada elemento.

- Rotular las dos secciones del Diagrama.
- Rotular el porcentaje acumulado del efecto correspondiente al último elemento incluido en la sección "Pocos Vitales".

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Desventajas

Al dibujar el Diagrama de Pareto, vemos que este no permite realizar una clara distinción entre los diferentes elementos o categorías que contribuyen al efecto, por los siguientes motivos:

- Todas las barras del Diagrama son más o menos de la misma altura.
- Se requieren más de la mitad de las categorías para tener en cuenta más del 60% del efecto total.

En cualquier caso, parece que el Principio de Pareto no es aplicable al caso en estudio. Esta circunstancia es altamente improbable ya que dicho principio ha demostrado su validez en miles de casos. En general, estas circunstancias son debidas a una elección deficiente de los elementos o categorías utilizados para el análisis. Debe probarse una nueva estratificación de los datos y repetirse en base a esta última el análisis.

3.19.6 LOS 5 ¿POR QUÉ?

Es una técnica sistemática de preguntas utilizada durante la fase de análisis de problemas para buscar posibles causas principales de un problema. Durante esta fase, los miembros del equipo pueden sentir que tienen suficientes respuestas a sus preguntas. Esto podría ocasionar que el equipo falle en identificar las causas más probables del problema, debido a que ellos no buscaron con la suficiente profundidad.

La técnica requiere que el equipo pregunte "¿Por Qué?" aproximadamente cinco veces, o trabaje a través de cinco niveles de detalle aproximadamente.

Una vez que sea difícil para el equipo responder al "Por Qué", la o las causas más probables habrán sido identificadas.

(www.idea.edu.pe/herramientas/4taherramientadecalidadporqueporque.doc)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.19.6.1 ¿Cuándo se utiliza?

Al intentar identificar las causas principales más probables de un problema.

3.19.6.2 ¿Cómo se utiliza?

1. Realizar una sesión de Lluvia de Ideas normalmente utilizando el modelo del Diagrama de Causa y Efecto.
2. Una vez que las causas probables hayan sido identificadas, empezar a preguntar “¿Por qué es así...?” o “¿Por qué está pasando esto...?”
3. Continuar preguntando Por Qué al menos cinco veces. Esto reta al equipo a buscar a fondo y no conformarse con causas ya "probadas y ciertas".
4. Habrá ocasiones en las que se podrá ir más allá de las cinco veces preguntando Por Qué para poder obtener las causas principales y otras en las que no será posible llegar a cinco veces pues la causa raíz ya fue encontrada.
5. Durante este tiempo se debe tener cuidado de NO empezar a preguntar “Quien”. Se debe recordar que el equipo está interesado en el proceso y no en las personas involucradas.

3.19.6.3 Consejos para la Construcción / Interpretación:

Esta técnica se utiliza mejor en equipos pequeños (5 a 10 personas). El facilitador deberá conocer la dinámica del equipo y las relaciones entre los miembros del equipo. Durante “los Cinco ¿Por Qué?”, existe la posibilidad de que muchas preguntas de Por Qué, Por Qué, etc. podrían causar molestia entre algunos de los miembros del equipo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.19.6.4 Relación con otras herramientas

La técnica de los Cinco Por Qué se relaciona con frecuencia con:

- Diagrama de Causa y Efecto
- Diagrama de Árbol
- Hoja de chequeo
- Diagrama de Interrelaciones
- Votación múltiple

3.19.7 LAS 8D

8D es una metodología Sistemática para identificar, corregir y eliminar problemas.

8D significa 8 Disciplinas (8 pasos + Disciplina =8D), que Permite desarrollar ventajas competitivas al solucionar rápida y efectivamente los problemas, mantener a los clientes por el buen servicio y la calidad en los productos que se proveen, disminuir la cantidad de problemas dentro de la organización. (<http://www.leansolutions.co/conceptos/amef/>)

3.19.7.1 Historia

Las Ocho disciplinas para la resolución de problemas (en inglés Eight Disciplines Problem Solving) es un método usado para hacer frente y resolver problemas. También se conoce de forma más abreviada como 8D, Resolución de problemas 8-D, G8D o Global 8D.

El gobierno de los EEUU primero utilizó un proceso parecido al 8D durante la segunda guerra mundial, refiriéndole como el estándar militar # 1520 (sistema de acción correctiva y disposición del material no conforme). Ford Motor Company, fue el primero que documentó el método 8D en 1987 en una resolución de problemas orientada “equipo titulado manual” del curso. Este curso fue escrito a petición de la alta gerencia de la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

organización de autogestión Power Train, que estaba frustrada por tener problemas recurrentes año tras año. (<http://www.leansolutions.co/conceptos/amef/>)

3.19.7.2 ¿Qué es un problema?

Es la diferencia existente entre una situación deseada (estándar) y una situación actual (Real). Un problema suele ser un asunto del que se espera una rápida y efectiva solución, generalmente lo que vemos de los problemas son los síntomas, la metodológica permite encontrar la causa raíz para darle el debido tratamiento.

3.19.7.3 Las 8 Disciplinas

- D1: establecer un grupo para solución del problema
- D2: crear la descripción del problema
- D3: desarrollar una solución temporal
- D4: Análisis de causa raíz
- D5: desarrollar soluciones permanentes
- D6: implementar y validar soluciones
- D7: prevenir la recurrencia
- D8: cerrar el problema y reconocer contribuciones

D1. Establecer un grupo para la solución del problema: Para empezar el proceso de solución de problemas siguiendo los pasos del 8D se debe establecer un equipo de investigación multidisciplinario, en donde todos los integrantes tengan la experiencia para entender el problema y autoridad para implementar soluciones, tengan la disposición y el tiempo para pertenecer al grupo y tengan diferentes competencias que permitan ver los diferentes aspectos que pueda tener el problema.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El equipo debe tener un líder quien debe manejar la información de la investigación, debe mantener informado al grupo y a las personas involucradas con el problema (stakeholders), y es quién debe hacerse responsable por que se cumplan los objetivos establecidos por el grupo 8D.

D2. Crear la descripción del problema: En este paso se debe crear una descripción del problema que contenga información clara, concisa, que contemple varios aspectos del problema. Esta información debe ser obtenida preguntando a las personas que están directamente involucradas, es decir quienes trabajan en el área o proceso objeto del problema.

La descripción del problema se debe basar en hechos reales, es decir que el grupo 8D debe ir al lugar real (Gen-ba) y ver que está sucediendo (Genchi Genbutsu).

Para completar la descripción del problema se deben contestar preguntas como aparentemente ¿Cuál es el problema?, ¿Que está pasando? VS ¿qué debería de estar pasando?, ¿En dónde está pasando?, ¿Cuando está pasando?, ¿Cuando no está pasando?, ¿Quiénes están involucrados? Y Cual es el alcance del problema en cuanto a costos, calidad, seguridad, daños, etc.

D3. Desarrollar una solución temporal: En algunos casos es necesario implementar una solución temporal para controlar los efectos que pueda tener un problema, esto para dar tiempo a encontrar la causa raíz del problema y dar una solución definitiva al mismo.

Es importante que la solución temporal sea evaluada y probada antes de su implementación, y que se documente muy bien para poder ser removida en su totalidad cuando sea implementada la solución final a la causa raíz del problema. Esta solución

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

temporal se debe poner en consideración de las personas involucradas en el proceso y que puedan verse afectadas por los efectos que pueda tener.

No debe olvidarse que esta solución es para remediar temporalmente los efectos que cause el problema en cuestión, mas no es la solución final, por lo que el grupo 8D debe continuar trabajando en las siguientes disciplinas hasta cerrar el caso.

D4. Análisis de causa Raíz (RCA): En esta disciplina se deben identificar la causa o causas de los síntomas que se están presentando. Cabe anotar que el problema que se define en la D2 (Crear la descripción del problema) en principio es la consecuencia o síntoma de una o varias cosas que lo han ocasionado.

En la mayoría de los casos no es tan evidente la causa raíz por lo cual se debe hacer un análisis que conduzca a encontrarla. Para esto primero es necesario observar detenidamente el proceso que contiene el problema, obtener información directamente de las personas que tienen la experiencia y de datos reales obtenidos.

Después de tener una o varias causas se debe utilizar la metodología de los 5 por qué hasta obtener las causas iniciales. La causa raíz se identifica comprobando que al eliminarla el problema no debe tener recurrencia.

D5. Desarrollar soluciones permanentes: Una vez encontrada la causa raíz del problema en cuestión se deben plantear soluciones permanentes que la ataquen directamente. Estas soluciones deben probarse hasta comprobar que efectivamente la causa raíz ha sido detectada y eliminada.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Es probable que al implementar la o las soluciones permanentes se vean buenos resultados, pero si el problema persiste se deben buscar más soluciones hasta que este sea eliminado en gran medida.

D6. Implementar y validar soluciones: Después de haber desarrollado y probado la o las soluciones permanentes se debe planear y realizar la implementación, y posteriormente verificar que funcione correctamente, es decir que no se presente recurrencia.

Se recomienda tomar mediciones para saber si las acciones realizadas son efectivas y saber en qué momento reaccionar cuando se den medidas descontroladas.

D7. Prevenir la recurrencia: La información obtenida de un 8D es tal vez lo más importante de todo este proceso. Porque permitirá que los logros obtenidos en la solución de un problema en un área de trabajo se puedan trasladar a otra área en donde se presenten problemas similares, y sea una manera eficiente de que el trabajo de un grupo sea de ayuda para que otros grupos puedan llegar más rápida y efectivamente a soluciones permanentes a situaciones no deseables que se estén presentando. De igual manera tomar acciones preventivas a situaciones que se puedan presentar en los diferentes lugares de trabajo. Para prevenir la recurrencia puedes hacer:

AMEF, Cambio de políticas, procedimientos, estándares, Poka Yoke.

- 1) Revisando el historial de problema.
- 2) Identificar las políticas y prácticas que permitieron que este problema ocurriera.
- 3) Desarrolle un plan de acciones de prevención

Es importante en este punto del 8D realizar auditorías para asegurarse de que la solución implementada está funcionando de acuerdo a lo esperado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

D8. Cerrar el problema y reconocer contribuciones: Una vez un problema ha sido auditado y se ha determinado que su solución es efectiva debe ser cerrado oficialmente. En este punto se debe remover la solución temporal que se dio en el paso D3, a menos de que se considere parte de la solución permanente.

Para finalizar el proceso el grupo debe preguntarse que estuvo bien y que no, revisar las responsabilidades de los miembros y el líder del grupo, las expectativas de los stakeholders, si los procedimientos pueden ser aplicados en algún otro lugar, si se encontraron problemas adicionales, que se aprendió y si finalmente se resolvió el problema.

Es importante reconocer la contribución de cada uno de los miembros del equipo, ya que toda la organización se beneficia por las actividades que contribuyen al mejoramiento continuo.

3.20 DISEÑO DE LA MATRIZ

De acuerdo a lo planteado en la metodología, para la elaboración de la matriz se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- 1. *Tamaño del grupo evaluador:*** Debido a las condiciones del tamaño del equipo de mantenimiento de la empresa el cual se encargará de la puesta en marcha de los ACR, es necesario optar por una metodología que no requiera un gran número de personas para la elaboración del mismo.

- 2. *Requerimientos de recursos económicos:*** En este criterio se tendrá en cuenta los gastos económicos que se deberán hacer para la aplicación del ACR, referentes a

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

contratación de personal externo especializado, elaboración de análisis y/o experimentos, gastos para su puesta en marcha y divulgación, entre otros.

- 3. Experiencia de los evaluadores:** Algunas de las metodologías ACR estudiadas requieren personal más capacitado en cuanto a la ejecución, con más conocimientos sobre los equipos, o con más conocimientos matemáticos para la evaluación del ACR.

Debido a que la empresa es nueva en esta metodología y además con la ambición que se tiene para que en un futuro el personal técnico pueda ejecutar el análisis por completo, mientras menos experiencia requiera, mayor será la valoración dada en este ítem.

- 4. Aplicación en la industria actual:** El éxito que ha tenido en la industria actual es un factor muy importante debido a que, si bien no garantiza el éxito en la empresa si tiene mayor probabilidad.
- 5. Facilidad en la aplicación:** posterior al diseño, será de suma importancia, encontrar la metodología de aplicación. Sería difícil el cambio de cultura interna que se requiere; pero eso es parte de asegurar el éxito del proyecto.
- 6. Tiempo de realización:** Por la condición de ser un análisis que se ejecutará en maquinaria móvil, y debido al volumen de fallas que se dan en este tipo de equipos, es necesario que las soluciones se den en el menor tiempo posible.
- 7. Eficacia:** Entre las metodologías estudiadas se pudo observar que no todas llevan el análisis hasta su solución final, algunas simplemente se ejecutan para dar un acercamiento a la posible causa, dicho esto hay que aclarar que para el equipo de mantenimiento es esencial que se puedan llevar hasta su estado final (solución) el mayor número de análisis ejecutados.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

8. *Simplicidad para su explicación y/o divulgación:* Con el objetivo de que todas las personas relacionadas con el proceso operativo de la maquinaria (Operadores, Conductores, mecánicos, ingenieros, personal administrativo, etc.) estén al tanto de lo que se está realizando y además poder dar mejor y más rápida ejecución a las soluciones arrojadas por el ACR, se requiere que la metodología sea de fácil explicación para todas aquellas personas que no poseen una formación profesional, o que no tengan los conocimientos afines al área de mantenimiento.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. METODOLOGÍA

Con el propósito de realizar un diseño de una metodología ACR, adaptable a Pavimentar S.A, se procede en primer lugar al estudio y análisis del contexto operacional. Para este objetivo se realiza la identificación del sector económico en el que se desenvuelve la empresa, el tamaño de la misma, las estrategias que utiliza en pro de su fortalecimiento y crecimiento, el portafolio de productos y servicios, la participación que tiene en el mercado actual, la demanda y la competencia. Además de esto se realiza el reconocimiento del contexto operacional de la maquinaria, identificando la distribución administrativa de los equipos, la cantidad y el tipo de maquinaria, la criticidad que tienen, las proyecciones de trabajo, la ubicación, y más importante aún de acuerdo a las ambiciones de este proyecto, la revisión del plan de mantenimiento, donde se investiga sobre el tipo de actividades de mantenimiento que se ejecutan y los recursos económicos, físicos y humanos que se tienen. Todo esto haciendo uso de páginas web de la empresa y estatales, y de información recolectada en el tiempo de participación laboral en la empresa.

Para la elaboración del segundo objetivo se procede con la investigación de las diferentes metodologías de ACR, haciendo una detallada revisión en cuanto a forma de ejecución, bondades, falencias, aplicación en la industria actual y requerimientos, Para esto se consultan las metodologías modernas, las tradicionales, las conocidas y las no tan conocidas, esto haciendo uso de diferentes medios tales como páginas web de empresas especializadas en mantenimiento (*LEAN SOLUTIONS*), artículos sobre metodologías de análisis causa raíz, páginas web sobre maquinaria amarilla, entre otras.

Para realizar una correcta selección de la metodología, que satisfaga las necesidades de la empresa y sea de una aplicación viable, se decide realizar una matriz de selección, tomando como referencia las matrices de ponderación, implementado por los autores (Hernández R., 2007)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La elaboración viene descrita por los siguientes pasos:

1. **Alternativas a evaluar:** En este caso se evaluarán las diferentes metodologías ACR investigadas.
2. **Planteamiento de los criterios y consideraciones a analizar:** Los criterios que se tomarán en cuenta para el diseño de la metodología, serán establecidos por el grupo de trabajo conformado por el analista de mantenimiento y el jefe de mantenimiento
3. **Asignación de puntuación:** Para esto el mismo grupo conformado para el planteamiento de los criterios será el encargado de asignar la puntuación la cual se hará de acuerdo a una escala del 1 al 5, siendo (1) muy mala, (2) regular, (3) buena, (4) muy buena, (5) excelente.
4. **Resultado y diseño:** Para obtener el resultado (Porcentaje ponderado total), se hará multiplicando la fracción asignada a cada criterio

$W_i/5$ por el valor asignado en cada criterio a la alternativa y posteriormente se realiza la sumatoria, quedando de la siguiente manera.

$$\text{Ponderado total} = \sum \frac{W_i * V_i}{5} \quad (1)$$

Ecuación 1 Ponderado total

Donde:

W_i : Valor asignado al criterio i

V_i : Valor asignado a la alternativa i

La alternativa con mayor puntuación será la seleccionada.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El diseño de la metodología ACR, estará basado en un método estudiado; aplicando a este, alternativas, métodos, disciplinas. Que permitan la implementación y o transformación de “cultura” primero a quienes corresponde directamente el mantenimiento, posteriormente a quienes hacen parte de la organización y que indirectamente influyen en el proceso.

Se establecerán las bases de aplicabilidad del ACR en la empresa, con la creación de formatos, divulgación y ejercicio del Análisis Causa Raíz.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. RESULTADOS

5.1 CONTEXTO OPERACIONAL

Pavimentar S.A es una empresa del sector de la construcción, especializada en la ejecución de obras de infraestructura vial, la cual con la fomentación de sociedades estratégicas con empresas del sector de la construcción vertical, tal como lo es Asfalto y Hormigón S.A ha venido ampliando su rango de actuación, que la hace ser más competitiva y creciente en el ámbito nacional, estando así a la altura de sus principales competidores tales como lo son, Conasfaltos, Procopal, Gisaico, Construcciones el cóndor, entre muchas otras.

La empresa cuenta con dos grandes áreas en donde se concentran la totalidad de la maquinaria, tanto móvil como estacionaria. Dichas áreas son:

Producción, el área de maquinaria y equipos móviles. El óptimo funcionamiento de estas dos áreas depende del trabajo en paralelo una con la otra.

El área de producción como su nombre lo indica es la encargada de la producción de los diferentes tipos de materiales que aplica y comercializa la empresa, tales como crudo, las bases y sub-bases granulares, arenas, triturado y los diferentes tipos de mezcla asfáltica.

Por otro lado el área de maquinaria y equipo móvil se encarga de la extracción de la materia prima (piedra y arena) con las diferentes formas de obtención, que para el caso de la empresa son cantera y río, además se encarga del transporte, levante de tierra, vaciado, conformado y compactado de material, así como el fresado de las diferentes vías.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Pavimentar S.A cuenta con una totalidad de 266 máquinas y equipos distribuidos a lo largo y ancho del territorio nacional según las obras que se estén ejecutando.

**LISTADO GLOBAL DE EQUIPOS
DIRECCIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO MOVIL**

Tabla 2 Listado global de equipos-Dirección de maquinaria y equipo móvil.
(Elaboración Propia)

TIPO	CANTIDAD	CRITICIDAD
BULLDOZER	4	ALTA
BUSES	1	MEDIA
CAMIONES TRANSPORTE	10	MEDIA
CAMIONES TANQUE	10	ALTA
CAMIONETAS	17	BAJA
CARGADORES	13	MEDIA
COMPACTADORES DE LLANTA	3	MEDIA
COMPACTADORES DE PAVIMENTO	9	MEDIA
COMPACTADORES DE SUELOS	10	MEDIA
COMPRESORES DE AIRE	9	BAJA
DUMPERS	9	ALTA
EQUIPOS MENORES	25	MEDIA
EXCAVADORAS	15	BAJA
FRESADORAS	4	ALTA
MEZCLADORAS DE CONCRETO	9	MEDIA
MOTONIVELADORAS	6	MEDIA
MINICOMPACTADORES	2	MEDIA
PERFORADORAS	3	ALTA
PLANTAS GENERADORAS	11	MEDIA
PLATAFORMA DE ELEVACIÓN TELESCÓPICA	1	BAJA
REMOLQUES	12	BAJA
RETROCARGADORES	7	MEDIA

TERMINADORAS DE ASFALTO	8	ALTA
TORRES DE ILUMINACION	9	BAJA
TRACTOCAMIONES	4	MEDIA
TELEHANDER	2	MEDIA
VOLQUETAS	47	MEDIA
TOTAL DE EQUIPOS	260	

PROYECCIÓN DE HORAS POR MES 2016

MAQUINARIA Y EQUIPOS

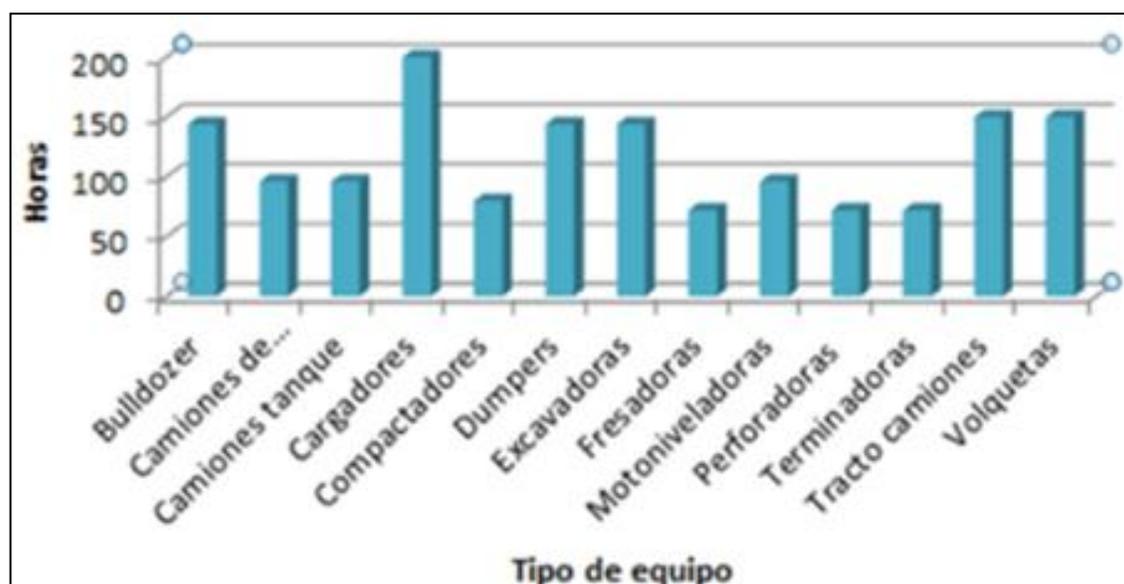


Figura 7 Proyección de horas de trabajo mensual 2016 – Maquinaria y equipo móvil.

Basados en la proyección de horas por equipo; y con miras a cumplir con dichas proyecciones, realizar la atención y mantenimiento de la totalidad de la maquinaria; La empresa cuenta con un plan de mantenimiento basado en actividades correctivas, sistemáticas (preventivas) y predictivas, previamente estudiadas y establecidas por un grupo del personal técnico e ingenieros calificados, para cuya ejecución se hace uso del software de origen nacional de mantenimiento *Mántum CMMS*.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

También se cuenta con personal, recursos económicos (Más de 2000 millones de pesos anual) y una planta física con la capacidad de atender la gran mayoría de las actividades de mantenimiento que sean necesarias realizar, además de un grupo de más de 120 proveedores que suministran los repuestos necesarios para dichas actividades, prestan servicio y apoyo técnico para el caso de todas aquellas actividades que la empresa no esté en la capacidad de atender.

La correcta ejecución del plan de mantenimiento es de vital importancia para la mantenibilidad de la maquinaria, la disponibilidad, la calidad de los servicios prestados y más importante aún, la seguridad de los empleados de la compañía y de los externos, ya que la falta de ejecución de actividades tales como revisión de frenos y sistema de dirección (En el caso de la maquinaria móvil) pueden finalizar en heridas o muerte de una persona.

En la actualidad el crecimiento de la demanda en la ejecución o mantenimiento de obras de infraestructura vial crece de una manera exponencial debido a las políticas de desarrollo vial del Gobierno nacional.

Pavimentar en estos momentos cuenta con la participación ya sea como ejecutor de obra o como proveedor de materia prima, en más de 40 obras que implican una producción de material de 1500 a 3000 toneladas diarias.

Entre estas obras se destacan la ejecución de la obra Gramalote en el departamento de Cúcuta y la próxima ejecución de la obra Mar 2 de las Autopistas 4G con el gobierno nacional, donde tiene una participación del 25%.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5.2 VARIABLES IMPORTANTES PRE DISEÑO.

Conociendo el contexto operacional de la empresa sumado al conocimiento base que se tiene de los diferentes métodos y antes de realizar un diseño de Análisis Causa Raíz; es importante estudiar las variables propias de la empresa.

Las variables nos ponen en contexto sobre donde debemos enfocar el Análisis Causa Raíz e impartir soluciones no solo a las fallas, sino también al proceso.

Las variables importantes son tomadas de los resultados de disponibilidad por mes; en este informe se visualiza los días totales de paro por intervenciones correctivas ligadas a los fallos. En segundo lugar, la criticidad juega un papel importante para evitar crisis en los procesos y en tercer lugar, se valoran los costos asociados a las intervenciones (horas hombre, tiempo de no producción y repuestos necesarios).

5.3 DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS

Se realiza un sondeo con el informe de disponibilidad real mes por mes, esto nos debe permitir visualizar el comportamiento de los paros correctivos que afectan la normal operación de la empresa.

Tabla 3 Disponibilidad de equipos Enero –Febrero (Elaboración Propia)

Tipo de Equipos	ENERO				Tipo de Equipos	FEBRERO			
	Cntd.	Disp.	Días de paro	%Disp.		Cntd.	Disp.	Días de paro	%Disp.
Volqueta Dobletroque	40	37,0	78	92,5%	Volqueta Dobletroque	40	35,2	126	87,9%
Volqueta Sencilla	6	5,7	8	94,9%	Volqueta Sencilla	6	5,4	15	90,4%
Tractomulas	4	3,8	6	94,2%	Tractomulas	4	3,8	5	95,2%
Camión Imprimador	3	2,2	21	73,1%	Camión Imprimador	3	3,0	1	98,7%
Camión Tanque	7	6,2	22	87,9%	Camión Tanque	7	6,1	23	87,4%
Bulldozer	4	3,8	4	96,2%	Bulldozer	4	3,3	17	83,7%
Cargador	10	9,6	11	95,8%	Cargador	10	9,5	12	95,4%
Dumper	6	5,5	12	92,3%	Dumper	6	5,3	18	88,5%
Excavadoras	16	14,2	48	88,5%	Excavadoras	16	15,4	15	96,4%
Retroexcavadoras	9	8,2	21	91,0%	Retroexcavadoras	9	7,9	28	88,0%
Motoniveladoras	6	5,8	4	97,4%	Motoniveladoras	6	5,9	3	98,1%
Compactador de suelos	10	9,8	5	98,1%	Compactador de suelos	10	9,8	4	98,5%
Compactador de pavimentos	9	7,3	45	80,8%	Compactador de pavimentos	10	8,6	37	85,8%
Compactador de llantas	3	3,0	1	98,7%	Compactador de llantas	4	3,8	6	94,2%
Terminadora	9	8,5	14	94,0%	Terminadora	9	6,8	58	75,2%
Fresadoras	4	4,0	1	99,0%	Fresadoras	4	3,9	2	98,1%
Mixer	3	2,5	12	84,6%	Mixer	3	2,4	15	80,8%
Equipo Menor	36	35,6	11	98,8%	Equipo Menor	36	35,7	7	99,3%
Transporte	9	7,7	34	85,5%	Transporte	9	8,4	16	93,2%
TOTAL	194	180,2	358	92,9%	TOTAL	196	180,3	408	92,0%

Tabla 4. Disponibilidad de equipos Marzo- Abril (Elaboración Propia)

Tipo de Equipos	MARZO				Tipo de Equipos	ABRIL			
	Cntd.	Disp.	Días de paro	%Disp.		Cntd.	Disp.	Días de paro	%Disp.
Volqueta Dobletroque	40	38,1	49	95,3%	Volqueta Dobletroque	40	37,5	65	93,8%
Volqueta Sencilla	6	5,3	19	87,8%	Volqueta Sencilla	6	5,3	18	88,5%
Tractomulas	4	3,5	12	88,5%	Tractomulas	4	3,7	9	91,3%
Camión Imprimador	3	2,9	3	96,2%	Camión Imprimador	3	2,9	2	97,4%
Camión Tanque	7	6,9	2	98,9%	Camión Tanque	7	5,6	37	79,7%
Bulldozer	4	3,8	6	94,2%	Bulldozer	4	3,3	18	82,7%
Cargador	10	8,8	32	87,7%	Cargador	10	8,4	42	83,8%
Dumper	6	5,7	7	95,5%	Dumper	6	4,7	35	77,6%
Excavadoras	16	15,7	9	97,8%	Excavadoras	16	14,5	38	90,9%
Retroexcavadoras	9	8,8	5	97,9%	Retroexcavadoras	9	8,5	14	94,0%
Motoniveladoras	6	5,9	2	98,7%	Motoniveladoras	6	5,2	22	85,9%
Compactador de suelos	10	9,0	25	90,4%	Compactador de suelos	10	9,6	10	96,2%
Compactador de pavimentos	10	10,0	1	99,6%	Compactador de pavimentos	10	9,2	21	91,9%
Compactador de llantas	4	3,9	2	98,1%	Compactador de llantas	4	3,0	26	75,0%
Terminadora	9	7,4	41	82,5%	Terminadora	9	6,7	61	73,9%
Fresadoras	4	3,8	5	95,2%	Fresadoras	4	3,3	17	83,7%
Mixer	3	3,0	0	100,0%	Mixer	3	2,6	10	87,2%
Equipo Menor	36	34,9	29	96,9%	Equipo Menor	42	40,1	49	95,5%
Transporte	9	8,5	12	94,9%	Transporte	9	8,9	3	98,7%
TOTAL	196	186,0	261	94,9%	TOTAL	202	182,9	497	90,5%

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 5 Disponibilidad de equipos Mayo - Junio (Elaboración Propia)

MAYO					JUNIO				
Tipo de Equipos	Cntd.	Disp.	Días de paro	%Disp.	Tipo de Equipos	Cntd.	Disp.	Días de paro	%Disp.
Volqueta Dobletroque	37	32,3	121	87,4%	Volqueta Dobletroque	41	38,2	73	93,2%
Volqueta Sencilla	6	5,4	15	90,4%	Volqueta Sencilla	6	5,0	25	84,0%
Tractomulas	4	3,9	3	97,1%	Tractomulas	4	4,0	1	99,0%
Camión Imprimador	3	3,0	0	100,0%	Camión Imprimador	3	1,7	34	56,4%
Camión Tanque	7	6,3	18	90,1%	Camión Tanque	7	6,7	9	95,1%
Bulldozer	4	2,6	36	65,4%	Bulldozer	4	3,6	10	90,4%
Cargador	12	7,7	112	64,1%	Cargador	12	8,1	101	67,6%
Dumper	9	7,3	45	80,8%	Dumper	9	8,3	18	92,3%
Excavadoras	16	14,9	29	93,0%	Excavadoras	16	11,8	108	74,0%
Retroexcavadoras	9	8,7	9	96,2%	Retroexcavadoras	7	6,7	8	95,6%
Motoniveladoras	6	5,0	27	82,7%	Motoniveladoras	6	5,2	21	86,5%
Compactador de suelos	10	7,9	54	79,2%	Compactador de suelos	10	9,1	24	90,8%
Compactador de pavimentos	10	9,4	16	93,8%	Compactador de pavimentos	11	10,1	24	91,6%
Compactador de llantas	4	2,8	31	70,2%	Compactador de llantas	4	3,9	2	98,1%
Terminadora	9	8,7	9	96,2%	Terminadora	9	8,9	3	98,7%
Fresadoras	4	3,4	16	84,6%	Fresadoras	4	3,5	12	88,5%
Mixer	6	4,5	39	75,0%	Mixer	12	10,6	36	88,5%
Equipo Menor	42	39,7	61	94,4%	Equipo Menor	42	39,6	63	94,2%
Transporte	9	8,9	2	99,1%	Transporte	9	8,8	4	98,3%
TOTAL	207	182,3	643	88,1%	TOTAL	216	193,8	576	89,7%

Tabla 6. Disponibilidad de equipos Julio – Agosto (Elaboración Propia)

JULIO					AGOSTO				
Tipo de Equipos	Cntd.	Disp.	Días de paro	%Disp.	Tipo de Equipos	Cntd.	Disp.	Días de paro	%Disp.
Volqueta Dobletroque	41	39,5	38	96,4%	Volqueta Dobletroque	41	37,6	88	91,7%
Volqueta Sencilla	6	5,8	4	97,4%	Volqueta Sencilla	6	5,4	16	89,7%
Tractomulas	4	3,9	3	97,1%	Tractomulas	4	3,9	2	98,1%
Camión Imprimador	3	2,0	25	67,9%	Camión Imprimador	3	2,6	11	85,9%
Camión Tanque	7	4,8	57	68,7%	Camión Tanque	7	5,8	32	82,4%
Bulldozer	4	3,6	11	89,4%	Bulldozer	4	3,8	6	94,2%
Cargador	12	9,8	58	81,4%	Cargador	12	10,8	32	89,7%
Dumper	9	8,8	5	97,9%	Dumper	9	8,1	23	90,2%
Excavadoras	16	10,5	142	65,9%	Excavadoras	16	13,5	66	84,1%
Retroexcavadoras	7	6,4	16	91,2%	Retroexcavadoras	7	6,4	15	91,8%
Motoniveladoras	6	5,5	13	91,7%	Motoniveladoras	6	5,7	9	94,2%
Compactador de suelos	10	8,8	32	87,7%	Compactador de suelos	10	8,8	32	87,7%
Compactador de pavimentos	11	10,5	12	95,8%	Compactador de pavimentos	13	12,5	14	95,9%
Compactador de llantas	4	3,9	3	97,1%	Compactador de llantas	4	4,0	0	100,0%
Terminadora	9	8,7	7	97,0%	Terminadora	9	8,9	2	99,1%
Fresadoras	4	3,3	17	83,7%	Fresadoras	4	3,9	3	97,1%
Mixer	12	12,0	1	99,7%	Mixer	12	11,8	5	98,4%
Equipo Menor	45	42,2	72	93,8%	Equipo Menor	45	43,7	34	97,1%
Transporte	9	8,8	5	97,9%	Transporte	9	8,8	6	97,4%
TOTAL	219	199,0	521	90,9%	TOTAL	221	205,8	396	93,1%

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

De los informes anteriores se aprecia que se cumple la meta de disponibilidad de la empresa, la cual está fijada en el 86% , desde la gestión del mantenimiento este indicador es importante y le da en la misma proporción una idea de confiabilidad de los equipos; ya que si fuere muy bajo, estaria diciendo que los equipos entran constantemente a atención en taller.

DISPONIBILIDAD

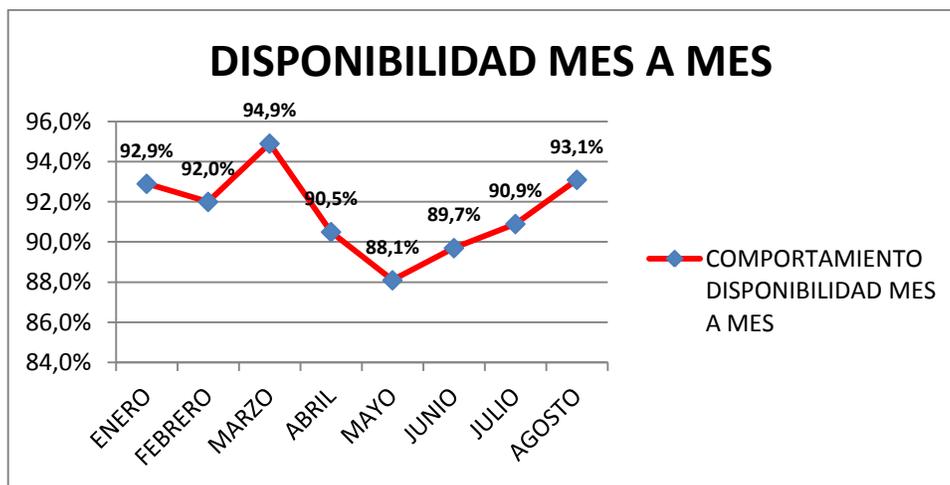


Figura 8. Comportamiento Mes a Mes de la Disponibilidad. (Elaboración Propia)

Es tarea del Analisis Causa Raíz, desprender unos resultados positivos inicialmente en la disponibilidad, luego en confiabilidad y tercero en la rentabilidad (bajando costos de mantenimiento).

5.4 CONSOLIDADO DE FALLAS MES A MES

Se podria hacer una lista jerarquica de los los equipos teniendo solo en cuenta la cantidad de dias de paro, pero debemos tener en cuenta que si bién el cuadro siguiente nos indica de mayor a menor numero, los dias de paro obtenidos por familias de equipo; se

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

comprende implícitamente que no todos tienen la misma criticidad para el proceso y que en cada familia hay un número de equipos diferentes lo que obviamente altera nuestra decisión de cual familia de equipo evaluar.

Esto en otras palabras, indica que entre atender por fallo una Terminadora de asfalto y una Volqueta cargada de asfalto. Se debe analizar la criticidad del equipo para el proceso. Osea se debe comprender que de la terminadora tengo 8 equipos, que reemplazarla implica una logística compleja de transporte, permisos, características de equipo y que ella por si sola es cabeza en un miniproceso llamado “Pavimentación” si esta falla, de allí para atrás todo se detiene.

Lo que con la volqueta nos dá un panorama diferente; se poseen 47 en total, ello permite que si una no puede cumplir su ruta, puede ser reemplazada por otra disponible y aún cargada con mezcla asfáltica, nos dá tiempo de espera sin causar daños al material.

Según la tabla siguiente y el análisis efectuado; el primero en la lista no es necesariamente el primero en concentrarnos para aplicar el Análisis Causa Raíz; pero si lo es para lograr mejorar los indicadores de Disponibilidad y disminuir costos asociados al mantenimiento correctivo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 4. Listado de equipos por familia, días de paro y criticidad. (elaboración propia)

Tipo de Equipos	Días de paro (Enero-Septiembre)	Criticidad
Volqueta Dobletroque	638	Media
Excavadoras	455	Baja
Cargador	400	Media
Equipo Menor	326	Media
Camión Tanque	200	Alta
Terminadora	195	Alta
Compactador de suelos	186	Media
Compactador de pavimentos	170	Media
Dumper	163	Alta
Volqueta Sencilla	120	Media
Mixer	118	Media
Retroexcavadoras	116	Media
Bulldozer	108	Alta
Motoniveladoras	101	Media
Camión Imprimador	97	Alta
Transporte	82	Media
Fresadoras	73	Alta
Compactador de llantas	71	Media
Tractomulas	41	Media

Remitiéndonos a la Tabla 1. Listado Global de Equipos. Los equipos críticos de la lista nos dan la dirección de a donde debemos atacar primero. Lo que deja en orden de atención a los camiones Tanque, Las terminadoras, dumper, bulldozer.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5.5 CONSOLIDADO DE FALLAS TOTALES POR MES

En lo que va del año, se ha realizado seguimiento al número de fallas atendidas; lo que nos permite tener gráficamente el comportamiento de las intervenciones en taller de mantenimiento.

Este consolidado nos enfoca a interesarnos por el Análisis Causa Raíz, más aun cuando en los registros aparece la reiteración de fallas.

En la organización, sin que se tenga implementado un método ACR, ya se toman acciones de mejora en pro de la reducción de fallas e incidentes, pero mientras no se ataque la raíz de los fallos, serán medidas infructuosas.

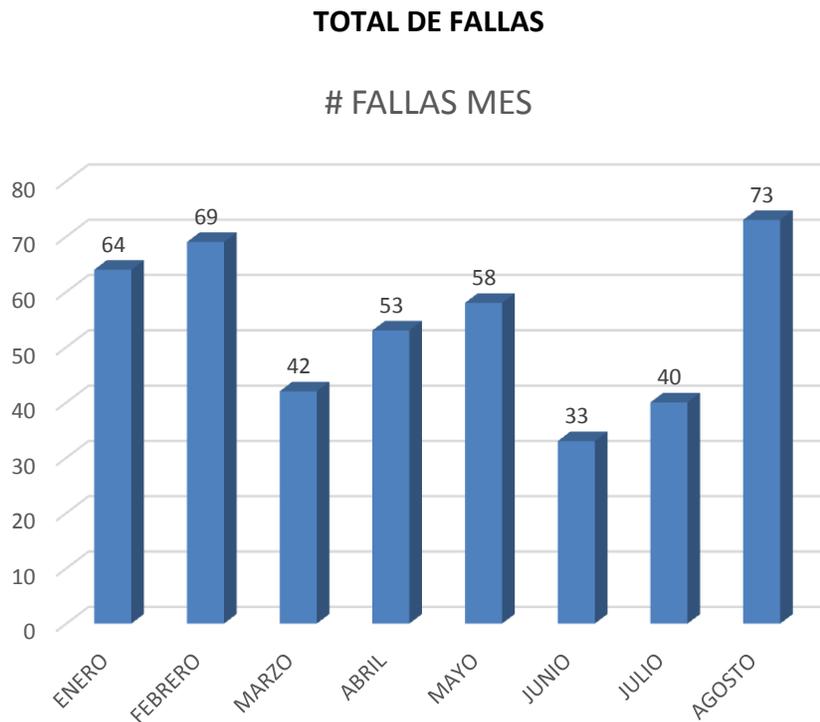


Figura 9. Comportamiento de fallas mes a mes. (elaboración propia)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Teniendo en cuenta que se tiene un técnico por especialidad, es de entender que, a más número de fallas, más probabilidad hay de tener que recurrir a proveedores externos, con el fin de disminuir el tiempo de paro de los equipos; pero aumentando considerablemente los costos de reparación.

5.6 COMPARATIVO POR UBICACIÓN Y TOTAL A LA FECHA

Es indispensable en el diseño del Análisis Causa Raíz, conocer el entorno de operación e interacción en él de los equipos, algunas fallas solo están asociadas a las condiciones del entorno y a malas decisiones de quienes tienen la facultad de dar órdenes.

En la siguiente tabla, ampliamos un panorama de las fallas sucedidas a nivel nacional, siendo la ubicación geográfica criterio de criticidad.

Tabla 5. Número de fallas según ubicación de los equipos. (Elaboración propia)

UBICACIÓN / MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	TOTAL
	64	69	42	53	58	33	40	73	432
PLANTA Y OBRA	54	43	34	39	43	17	24	50	304
VALLEDUPAR	2	1	4	13	12	10	11	14	67
GRAMALOTE	8	19	4	1	3	6	5	9	55

5.7 COSTOS DEL MANTENIMIENTO

Una de las variables a disminuir con la implementación del Análisis Causa Raíz, son los costos del mantenimiento y aunque en ocasiones se suele fijar la mirada solo en el costo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de una reparación o en el costo de un repuesto; se vuelve parte del paisaje los costos asociados al ejecutor, o sea, las “Horas Hombre”.

No solo es un mal indicador atender fallas reiterativas, también es un lastre y frustración para un técnico volver a intervenir el mismo equipo por la misma falla, el Análisis Causa Raíz nos hace remitir a lo que ya está resuelto; ello evita volver a reparar en vano un equipo y a disminuir de manera efectiva las horas de dedicación en la solución de un fallo.

HORAS DE PARO



Figura 10. Horas mes a mes de paro de los equipos. (Elaboración Propia).

Tabla 6. Total de horas por paros. (Elaboración Propia)

HORAS MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	TOTAL
	2330	1299	1229	1160	1606	1019	953	1129	10725

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Las horas representan tanto los costos hombre que ha generado el equipo en su intervención como el tiempo que se ha dejado de facturar al no tener el equipo operativo.

Modelo de matriz

Tabla 7. Matriz de selección. (Elaboración Propia)

MATRIZ CALIFICACIÓN PARA METODOLOGIAS ESTUDIADAS								
METODOLOGIAS		1. DIAGRAMA DE ISHIKAWA	2. ANALISIS DE BARRERA	3. ANALISIS ARBOL FACTOR CAUSAL	4. ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA	5. ANALISIS DE PARETO	6. LOS 5 ¿POR QUE?	7.8D
CRITERIOS DE DISEÑO	PESO (w)							
TAMAÑO DEL GRUPO EVALUADOR								
REQUERIMIENTOS DE RECURSOS ECONÓMICOS								
EXPERIENCIA DE LOS EVALUADORES								
APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ACTUAL								
FACILIDAD EN LA APLICACIÓN								
TIEMPO DE REALIZACIÓN								
EFICACIA								
SIMPLICIDAD PARA SU EXPLICACIÓN								
PONDERADO TOTAL								

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5.8 SELECCIÓN BASE DE LA METODOLOGÍA ACR A DISEÑAR

De acuerdo a las características de los criterios ya establecidos en el numeral anterior, a las alternativas ACR tenidas a consideración y al sistema de evaluación o puntuación explicado en la metodología, se procede con la asignación de puntaje de la metodología.

A continuación se observa la matriz con su puntuación:

Tabla 8. Puntuación de metodología afín a la empresa. (Elaboración Propia)

MATRIZ PUNTUACIÓN PARA METODOLOGIAS ESTUDIADAS								
METODOLOGIAS		1.DIAGRAMA DE ISHIKAWA	2.ANALISIS DE BARRERA	3. ANALISIS ARBOL FACTOR CAUSAL	4. ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA	5. ANALISIS DE PARETO	6. LOS 5 ¿POR QUE?	7.8D
CRITERIOS DE DISEÑO	PESO (w)							
TAMAÑO DEL GRUPO EVALUADOR	1	3	4	4	4	4	4	4
REQUERIMIENTOS DE RECURSOS ECONÓMICOS	3	5	5	5	3	5	5	5
EXPERIENCIA DE LOS EVALUADORES	4	3	3	3	1	2	3	4
APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ACTUAL	3	4	4	3	4	4	4	3
FACILIDAD EN LA APLICACIÓN	3	3	2	2	2	3	4	5
TIEMPO DE REALIZACIÓN	4	4	2	5	3	4	4	4
EFICACIA	5	2	4	3	5	4	3	4
SIMPLICIDAD PARA SU EXPLICACIÓN	3	3	2	2	3	3	4	4
PONDERADO TOTAL		17,2 %	16,6 %	17,4 %	16,2 %	18,6 %	19,6%	21,4 %

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Con base en la anterior matriz de puntuación y el resultado arrojado, se decide diseñar un método análisis causa raíz para la empresa Pavimentar S.A. basado en la metodología 8D y que además que conjugue bondades de otros métodos investigados. Esto con el fin, no solo de trabajar en un modelo muy compatible y aplicable a la dinámica de la empresa, si no también, para dar una mirada a otros factores y actores involucrados y/o determinantes en la recurrencia de las fallas.

5.9 DISEÑO DE LA METODOLOGÍA

Como primera medida de diseño de la metodología ACR, se impartirá el modelo de las “5s” del TPM, pretendiendo desde este, producir un cambio de cultura y de manejo no solo a las intervenciones por falla, sino a las intervenciones preventivas, predictivas y correctivas que se realizan.

Desde este método se pretende involucrar a todas las partes que directa o indirectamente afectan el mantenimiento. Logrando trabajo en equipo y permitiendo involucrar a los trabajadores en el proceso de mejora, que conlleve a una mayor productividad y un mejor lugar de trabajo.

Como un segundo punto del diseño, se debe tener en cuenta que no todas las fallas requieren una aplicación del método; por tanto, debe existir un primer filtro que nos permita definir qué falla someteremos a la metodología y cual no.

Es aquí donde introduciremos el Análisis de Pareto; y realizar la **Priorización, Unificación de criterios y Carácter objetivo**, explicados anteriormente.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Como tercer punto se desarrollarán las 8D, conociendo el argumento central del proyecto y el que arrojará los resultados anhelados en la disminución de fallas, disminución de costes e impacto positivo hacia el personal y los procesos.

Como cuarto punto, se deja establecido un formato único de aplicación de la metodología ACR, basado en la necesidad de una formalización del análisis y en llevar un historial organizado para el registro maestro de la compañía.

FLUJOGRAMA DEL DISEÑO ACR

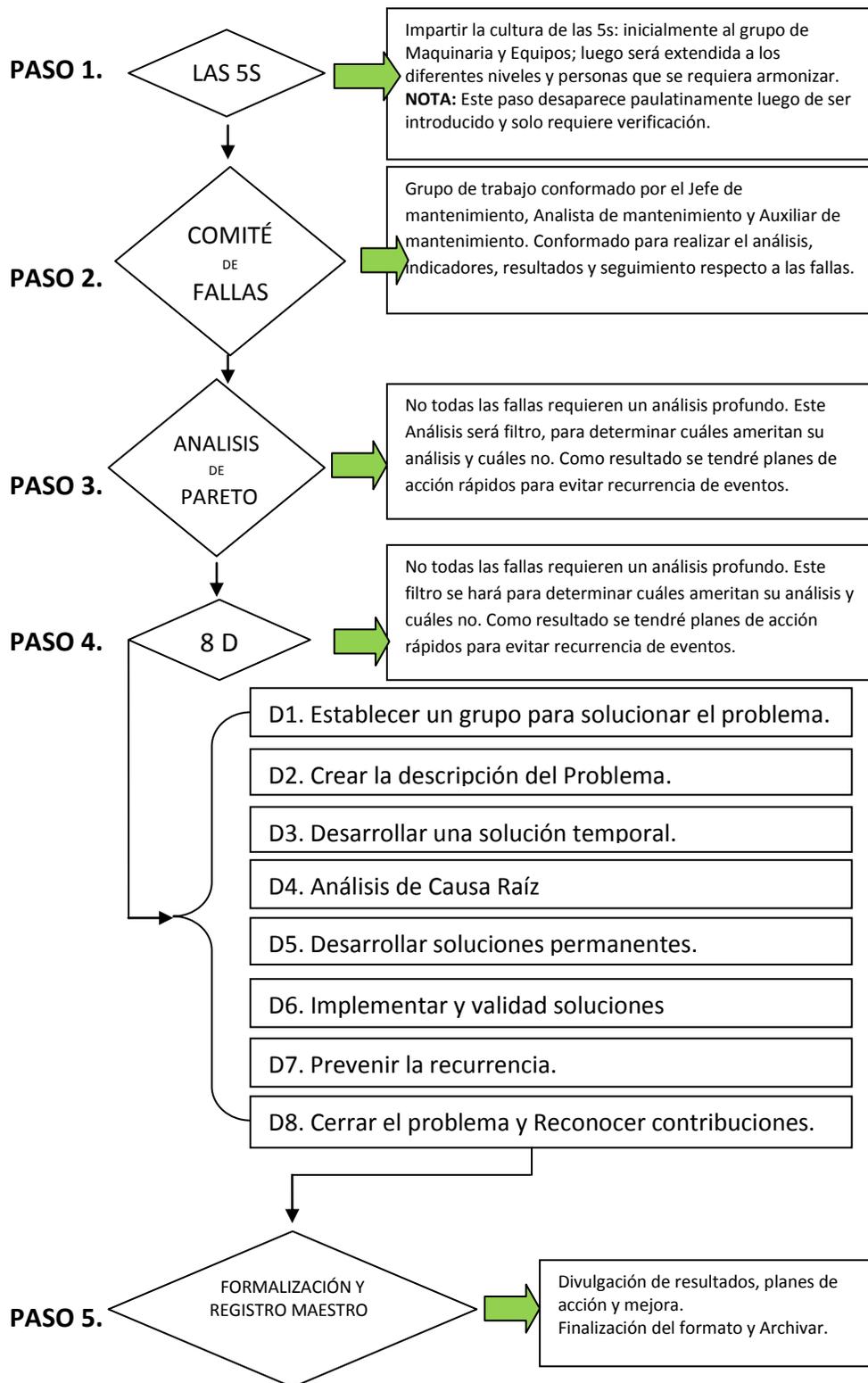


Figura 11. Flujoograma del diseño ACR para PAVIMENTAR S.A (Elaboración Propia).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 9. Formato único de aplicación. (Elaboración Propia)

		ANALISIS DE FALLAS		DOCUMENTO Nº _____	
FECHA EN QUE OCURRE LA FALLA:			FECHA CIERRE DEL ANALISIS:		
Código del Equipo:		Descripción del Equipo			
Orden de Trabajo:		Especialidad (es):			
Responsable			Cargo		
Personal Involucrado			Cargo		
Descripción de la Falla:					
Descripción de la solución temporal:					
Realimentación Técnica:					
Repuestos y/o servicios Técnicos.		Proveedor:		Precio:	
		Proveedor:		Precio:	
		Proveedor:		Precio:	
Análisis de la Falla.					
Causa 1.					
Causa 2.					
Causa 3.					
Causa 4.					
Desarrollo de la solución permanente.					
Realimentación Técnica:					
Repuestos y/o servicios Técnicos.		Proveedor:		Precio:	
		Proveedor:		Precio:	
		Proveedor:		Precio:	
Evaluación de la efectividad.					
Evitable: si ___ no ___					
Realimentación Técnica:					
Análisis económico					
Firma del responsable: _____					

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

La identificación de los diferentes factores que afectan directa o indirectamente el funcionamiento de la maquinaria, es de vital importancia en este tipo de proyectos relacionados con el área de mantenimiento, ya que permite visualizar en qué condiciones se va a ejecutar el proyecto, logrando así obtener mejores resultados.

Con la investigación realizada de los diferentes tipos de metodologías Análisis Causa Raíz se adquiere conocimiento de las metodologías que tienen éxito en la industria actual y evita así limitarse a las metodologías tradicionales, que, si bien son muy efectivas en muchos casos, no siempre se adaptan a los requerimientos y el contexto operacional de todas las empresas. Permitiendo incluso que una metodología se integre con otra.

Con el diseño de la metodología y con la elaboración del formato único de análisis de falla, se procede a iniciar la ejecución piloto de los análisis, cuyo rendimiento y efectividad se estudiará a partir de indicadores tales como índice de ejecución de actividades de mantenimiento correctivas ejecutadas, disponibilidad de equipos, historial de fallas y horas de paro por mes.

El correcto planteamiento de una metodología de análisis de falla, aumenta en gran medida la probabilidad de dar soluciones acertadas a los problemas presentados en una compañía, en cuanto a fallas de maquinaria se refiere, disminuyendo así los

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

indicadores de fallas, los indicadores de ejecución de actividades de mantenimiento correctivas y por ende el presupuesto gastado en mantenimiento.

Las diferentes metodologías estudiadas, nos dan cuenta la necesidad que se tiene en la organización de aplicar directa o indirectamente técnicas como las 5 S's, para ayudar a que los resultados buscados sean más efectivos. Aun cuando las fallas suceden en los equipos, pueden ser recurrentes o concebir otra; desde el momento de una intervención correctiva o preventiva.

La correcta implementación de la metodología ACR, requiere el compromiso de quienes directa o indirectamente están vinculados al mantenimiento.

En la aplicación del ACR, los actores externos (Proveedores), pueden aportar de su experiencia y recomendaciones; esto abre más posibilidades de llegar a una solución.

Divulgar de forma sencilla y que permita el fácil entendimiento de los objetivos; de este modo, el sistema de gestión estará encaminado hacia la mejora continua que deberá ser entendida e interiorizada por toda la organización.

Se deja como trabajo furo el desarrollo de la implementación del diseño, que deberá promover la cultura designada y realizar la divulgación apropiada (formalización) con los que se considere darán inicio al proyecto y posteriormente y como esta designado, escalarlo a todos los niveles de la organización.

Se dejará en estudio de aprobación e implementación, el formato propuesto. Este deberá ser analizado por el departamento MASOC, para que quede incluido en los documentos autorizados de la empresa.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- (s.f.). Obtenido de <http://walkerplazola.blogspot.com.co/>
- Altmann, C. (s.f.). *mantenimientomundial*. Obtenido de <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/causaraizaltmann.pdf>
- aprendizajevirtual*. (s.f.). Obtenido de http://aprendizajevirtual.pemex.com/nuevo/guias_pdf/Guia_SCO_Analisis_Causa_Raiz.pdf
- claroline*. (s.f.). Obtenido de <http://claroline.ucaribe.edu.mx/claroline/claroline/backends/downloa>
- digitaltpm*. (s.f.). Obtenido de <http://digitaltpm.blogspot.com.co/2008/04/las-caractersticas-del-tpm-ms.html>
- Fundibeq*. (s.f.). Obtenido de www.fundibeq.org
- hemaruce*. (s.f.). Obtenido de <http://hemaruce.angelfire.com/tpm.pdf>
- Hernández R., J. G. (Julio de 2007). Obtenido de <http://ares.unimet.edu.ve/sistemas/fpis05/Alumnos/Multicriterios/PonderacionProveed061130SMxPDF.pdf>
- Hernández R., J. G. (Junio de 2007). Obtenido de <http://ares.unimet.edu.ve/sistemas/fpis05/Alumnos/Multicriterios/Pondr>
- idea*. (s.f.). Obtenido de www.idea.edu.pe/herramientas/4taherramientadecalidadporqueporque.doc
- Lean solutions*. (s.f.). Obtenido de <http://www.leansolutions.co/conceptos/amef/>
- Lean Solutions*. (s.f.). Obtenido de <http://www.leansolutions.co/conceptos/amef/>
- leanexpertise*. (s.f.). Obtenido de http://www.leanexpertise.com/TPMONLINE/articles_on_total_productive_maintenance/tpm/tpmprocess/maintenanceinhistorySpanish.htm

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

luchitoedu. (2013). Obtenido de <http://luchitoedu.blogspot.com.co/2013/10/analisis-de-causa-raiz-acr-parte-1.html>

Males Alcoser, L. J. (2007). Manual de diagnóstico de fallas de funcionamiento en maquinaria pesada de construcción civil. 2,3,4,5.

Pavimentar S.A. (15 de 01 de 2016). Obtenido de www.pavimentarsa.com

Plazola, w. (s.f.). Obtenido de <http://walkerplazola.blogspot.com.co/>

renovetec. (s.f.). Obtenido de <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>

tdi.texas. (s.f.). Obtenido de <http://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcessp/spstpfaulmtree.pdf>

TECSUP. (s.f.). Obtenido de www.maquinariaspesadas.org

TUV RHEINLAND DE MÉXICO. (s.f.). Obtenido de https://www.tuv.com/media/mexico/quienes_somos_1/boletines_systems/Boletin_Tecnico_No_1_Analisis_de_Causa_Raz_de_Problemas.pdf

walkerplazola. (s.f.). Obtenido de <http://walkerplazola.blogspot.com.co/>

wikipedia. (s.f.). Obtenido de <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5b/Diagrama-general-de-causa-efecto.svg/317px-Diagrama-general-de-causa-efecto.svg.png>

Zaballa Romero, M. (s.f.). Obtenido de www.unepdtu.org

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES  _____


 FIRMA ASESOR

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<p>FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____</p> <p style="text-align: right;">ACTA NO. _____</p> <p style="text-align: right;">FECHA ENTREGA: _____</p>
--