

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
Y UNIVERSIDAD DE HUELVA ESPAÑA**

MAESTRÍA EN SEGURIDAD, SALUD Y AMBIENTE

“PLAN DE PROYECTO DE TITULACIÓN DE LA USFQ”

TEMA:

**EVALUACIÓN DE RIESGO EN LOS ELEMENTOS SENSIBLES DEL
SISTEMA DE OPERACIONES TERRESTRES DE LA SEGURIDAD
INDUSTRIAL EN EL TERMINAL MARÍTIMO DE BALAO**

AUTORA: ING. ANDREA SANTILLÁN SÁNCHEZ

QUITO –ECUADOR

2012

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO – ECUADOR
UNIVERSIDAD DE HUELVA – ESPAÑA**

Colegio de Postgrados

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Evaluación de Riesgo en los Elementos Sensibles del Sistema de Operaciones
Terrestres de la Seguridad Industrial en el Terminal Marítimo de Balao**

María Andrea Santillán Sánchez

Giovanni Vintimilla, Ing. _____

Director de Tesis

Carlos Ruiz Frutos, Ph.D. _____

**Director de la Maestría en Seguridad, Salud y Ambiente de la Universidad de Huelva
y Miembro del Comité de Tesis**

José Antonio Garrido Roldán, M.Sc. _____

**Coordinador Académico de la Maestría en Seguridad, Salud y Ambiente de la
Universidad de Huelva y Miembro del Comité de Tesis**

Luis Vásquez Zamora, MSc-ESP-DPLO-FPh.D _____

**Director de la Maestría en Seguridad, Salud y Ambiente de la Universidad San
Francisco de Quito y Miembro del Comité de Tesis**

Gonzalo Mantilla, MD-MEd-FAAP _____

Decano de Colegio de Ciencias de la Salud

Benjamín Puertas, MPH _____

Decano de la Escuela de Salud Pública

Victor Viteri Breedy, Ph.D. _____

Decano del Colegio de Postgrados

Quito, Marzo de 2012

©Derechos de autor
María Andrea Santillán Sánchez
2012

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis amados Padres y Hermana, Marco, Eva y Cristina, quienes han sido en mi vida un apoyo incondicional para alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco ante todo a Dios por las bendiciones recibidas en mi vida, a la Familia Santillán Sánchez, al Ing. Giovanni Vintimilla y a las personas que permitieron plasmar este trabajo de investigación.

RESUMEN

Mediante el Proceso de Investigación en el Tema: Evaluación de Riesgo en los Elementos Sensibles del Sistema de Operaciones Terrestres de la Seguridad Industrial en el TMB, se identificó el Síntoma **“Fallas Técnicas en el diseño del componente “Fundación”** donde se encuentra asentado el Tanque de Almacenamiento. Esto se manifiesta en la pérdida de equilibrio de cada tanque con lo que se reduce la eficiencia operativa y amenaza permanente de rotura del fondo del tanque por presión. Esta deficiencia a través de los años se ha convertido en alto nivel de riesgo industrial por posible derrame de crudo de gran magnitud por el piso, lo que podría ser iniciador de catástrofes no predecibles, con lo que se amenazan la seguridad de la infraestructura, humana y ambiental con altos costos asociados.

De esto se desprende que la variable independiente es Evaluación de Riesgo y la variable dependiente: Seguridad Industrial. Con esta identificación de las variables centrales, es posible la formulación del problema: ¿Cómo la Evaluación de Riesgo en los Elementos Sensibles del Tanque de Almacenamiento potencia a la Seguridad Industrial, Humana y Ambiental del TMB?

En base a los factores causales sobre la existencia del problema de investigación, se desarrollan los componentes de la propuesta de solución, mediante el título: Diseñar un Modelo de Evaluación de Riesgo en los Componentes Sensibles de los Tanques de Almacenamiento del TMB.

ABSTRACT

Through the research process on the topic: Evaluation of risks on sensible elements of the Terrestrial operations system in the TMB, “**technical defects on the design of the component “Foundation”**”, where the storage tank is seated were found. This results on losing balance of each tank, which reduces the operative efficiency as well as having permanent threat of rupture on the bottom of the tank due to pressure. Throughout the years, this defect has become a high industrial risk due to possible and considerable oil spillages on the floor, which could start unpredictable catastrophes, threatening the infrastructure, human and environmental safety with high associated costs.

What can be gathered from this is that the independent variable is: Evaluation of Risks, and the dependent variable is: Industrial Safety. After the identification of the central variables, it is possible to formulate the problem: How does the Evaluation of Risks on sensible elements of storage tank boosts the Industrial, Human and Environmental Safety of TMB?

Based on the causal factors about the existence of the problem object of the research; the components of the solution proposal are developed, under the title: Designing a model of Evaluations of Risks on Sensible Components on Storage Tanks of the TMB

TABLA DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁGINA	
CAPÍTULO I.		
INTRODUCCIÓN		
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
	1.1.1 Aspectos que Identifican el Problema de Investigación	3
	1.1.2 Descripción Específica de la Relación Causa-Efecto	7
	1.1.3 Sistematización y Formulación del Problema	8
	1.1.3.1 Formulación del Problema	9
1.2	OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	9
	1.2.1 Objetivo General	9
	1.2.2 Objetivos Específicos	9
1.3	HIPÓTESIS	10
	1.3.1 Hipótesis Particular	10
	1.3.2 Hipótesis General o Idea a Defender	10
1.4	MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.5	UNIVERSO Y MUESTRA	12
	1.5.1 El Universo de Investigación	12
	1.5.2 La Muestra de Investigación	12
1.6	FUENTES DE OBTENCIÓN DE DATOS	13
	1.6.1 Fuentes Secundarias	13
	1.6.2 Fuentes Primarias	13
	1.6.3 Técnicas	13
1.7	RESULTADOS QUE SE PRETENDE OBTENER	14
1.8	NOVEDAD CIENTÍFICA DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.9	BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS	15
1.10	ASPECTOS DE SEGURIDAD ACTUAL EN EL TERMINAL MARÍTIMO DE BALAO	16
	1.10.1. Generalidades	16
	1.10.2 El Terminal Marítimo de Balao del SOTE	16
	1.10.2.1 Visión del TMB	17
	1.10.2.2 Misión	17
	1.10.2.3 Propósito	17
	1.10.2.4 Objetivos Operacionales	17
	1.10.2.5 Políticas Operacionales	18
	1.10.3 Funcionamiento del Terminal Marítimo de Balao	18
	1.10.3.1 Funcionamiento del Sistema de Tanques de Almacenamiento	18
	1.10.3.2 Recorrido de Petróleo Crudo	19
	1.10.3.3 Carga de Crudo a los Buque Tanques (B/T)	20
	1.10.3.4 Entrega de Petróleo Crudo a la Refinería de Esmeraldas	21
	1.10.4 Infraestructura del Terminal Marítimo de Balao	21
	1.10.4.1 Área Terrestre	21
	1.10.4.1.1 Tanques de Almacenamiento	21
	1.10.4.1.2 Líneas de Carga	23
	1.10.4.1.3 Sala de Control	23

1.10.4.1.4	Sistemas Auxiliares	24
------------	---------------------	----

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1	ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	27
2.1.1	Origen de los Riesgos en las Operaciones Industriales	28
2.1.2	Identificación y Medición de los Riesgos	28
2.2	EVALUACIÓN DE RIESGOS	28
2.2.1	Gestión de Riesgo en los Componentes de los Sistemas	30
2.2.2	El Proceso en la Gestión de Riesgo Basada en el Contexto	31
2.2.3	Identificación de Riesgos	32
2.2.4	Índice de Riesgo Compuesto	35
2.2.5	Estrategia en la Gestión	36
2.2.6	La Efectividad de un Sistema Industrial	38
2.2.7	Los Costos Asociados por la Falla en la Seguridad	39
2.2.8	Confiabilidad de los Elementos de un Sistema	40
2.2.8.1	Sistema	40
2.2.8.2	Confiabilidad	40
2.2.8.3	Falla	41
2.2.9	La Probabilidad como Índice de Confiabilidad	43
2.2.9.1	Índices Cuantitativos de Confiabilidad	43
2.2.9.2	Medición del Riesgo Industrial Basado en la Probabilidad	44
2.2.9.3	Análisis de Riesgo Industrial	47
2.2.10	La Disponibilidad en Base a la Probabilidad	48
2.2.11	La Probabilidad en el Árbol de Fallas	49
2.2.11.1	Árboles de Eventos y Árboles de Fallas	50
2.2.12	Creación de un Plan de Gestión de Riesgos	51
2.2.13	Implementación de Plan de Gestión de Riesgos	52
2.2.13.1	Revisión de Elementos y Evaluación del Plan de Gestión de Riesgos	53
2.2.13.2	Actualización de Planes de Gestión de Riesgo	53
2.2.13.3	Limitaciones por Deficiente Evaluación y Priorización de los Riesgos	53
2.2.14	Análisis Modal de Fallos y Efectos en Evaluación de Riesgos	54
2.2.14.1	Creación y Formación del Equipo AMFE	54
2.2.14.2	Identificar el Tipo AMFE, su Objeto y Límite	54
2.2.15	Implantación del AMFE	62
2.2.16	Beneficios de la Aplicación del AMFE	67
2.3	SÍNTESIS GENERAL DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO	68
2.4	SEGURIDAD INDUSTRIAL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	69
2.4.1	Tanques de Almacenamiento de Hidrocarburos o Petróleo	69
2.4.1.1	Generalidades del Tanque de Almacenamiento de Petróleo o Derivados	69
2.4.1.2	Tanques de Acero Construidos en Base a la Norma API 650	70
2.4.2	Tanques Atmosféricos de Almacenamiento de Petróleo	71
2.4.2.1	Elementos del Tanque Cilíndrico de Techo Flotante	73

2.5	LA SEGURIDAD EN LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE PETRÓLEO	86
2.6	ADMINISTRACIÓN DE LAS OPERACIONES DE LA EMPRESA	87
2.7	DIRECCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL	88
2.8	EL ANÁLISIS FODA EN LA OFERTA DE LA EMPRESA	89
2.9	LA GERENCIA EN LA EJECUCIÓN DEL PLAN DE LA EMPRESA	90
	2.9.1 El Gerente de la Empresa	90
	2.9.2 La Gerencia en una Empresa Industrial	91
2.10	DESEMPEÑO DE LA GESTIÓN DE CONFIABILIDAD EN LA SEGURIDAD	92
	2.10.1 Razones por las que es Importante la Gestión de Seguridad de Calidad	92
2.11	AUDITORÍA EN LA GESTIÓN DE CONFIABILIDAD EN LA SEGURIDAD	93
	2.11.1 La Funcionalidad y Efectividad de la Organización	93
	2.11.2 Planificación, Programación, Ejecución y Control de los Planes Operativos	94
	2.11.3 Seguimiento en la Ejecución de las Tareas de Trabajo	94
2.12	LAS FUNCIONES DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO	95
2.13	ÍNDICES DE DISPONIBILIDAD EN LA GESTIÓN DE SEGURIDAD	97
	2.13.1 Índices de Gestión	97
	2.13.2 Índices de Mantenimiento	98
	2.13.3 Índices de Disponibilidad	98
	2.13.4 Confiabilidad	99
	2.13.5 Mantenibilidad	100
	2.13.6 Efectividad Total de los Equipos	100
2.14	EL MANTENIMIENTO EN LA SEGURIDAD INDUSTRIAL DE EQUIPOS	101
	2.14.1 Propósitos del Mantenimiento	101
	2.14.2 Misión del Área de Operaciones Terrestres en el Mantenimiento	102
2.15	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	102
	2.15.1 Categorías de Mantenimiento Correctivo	103
	2.15.2 El Proceso de un Mantenimiento Correctivo	104
2.16	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	104
	2.16.1 Metodología	104
2.17	ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO CON MÍNIMOS RIESGOS	106
	2.17.1 Mantenimiento Predictivo en la Confiabilidad de la Seguridad Industrial	107
	2.17.2 Mantenimiento Proactivo	108
	2.17.3 Mantenimiento Productivo Total (MPT)	108
2.18	ELEMENTOS DE MANTENIMIENTO QUE POTENCIAN LA SEGURIDAD	109
	2.18.1 Inventario y Catastro	110
	2.18.2 Instrucciones de Mantenimiento y Recomendaciones de Seguridad	110
	2.18.3 Los Archivos con Recomendaciones de Seguridad	111

2.18.4	Informes de Fallas	111
2.18.5	Órdenes de Trabajo	112
2.18.6	Disponible Mano de Obra	112
2.18.7	Datos de Operación	113
2.19	LA SEGURIDAD ANTICORROSIVA VÍA MANTENIMIENTO DE TANQUES	113

CAPÍTULO III. INVESTIGACIÓN METODOLÓGICA

3.1	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	116
3.1.1	Tipo de Investigación	116
3.2	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO	116
3.3	UNIVERSO DE INVESTIGACIÓN	116
3.3.1	Personas Involucradas en las Operaciones del TMB	117
3.4	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL TANQUE	117
3.5	ANÁLISIS DE TANQUES EN OPERACIONES EN PLANTA INDUSTRIAL	120
3.6	REALIZACIÓN DE LA INSPECCIÓN DE TANQUE 322003	120
3.7	TECNOLOGÍA UTILIZADA EN LA INVESTIGACIÓN DEL FONDO DEL TANQUE	120
3.8	RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN REALIZADA	122
3.8.1	Reporte Gráfico de la Inspección por Barrido Continuo FALCON 2000	123
3.9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
3.10	RESULTADO DE LA ENTREVISTA REALIZADA AL SUPERVISO DE MANTENIMIENTO DEL TMB	126
3.11	CONCLUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA ENTREVISTA	129
3.12	CONCLUSIÓN GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO	130

CAPÍTULO IV. PROPUESTA

4.1	INTRODUCCIÓN	131
4.2	JUSTIFICACIÓN	131
4.3	FUNDAMENTACIÓN	132
4.4	OBJETIVOS	133
4.4.1	Objetivo General	133
4.4.2	Objetivo Específico	133
4.5	GESTIÓN DE RIESGOS PARA POTENCIAR LA SEGURIDAD EN EL TMB	133
4.5.1	Desarrollo de la Metodología AMFE	134
4.5.1.1	Descripción de los Componentes del Tanque	134
4.5.1.1.1	El Tanque de Almacenamiento de Petróleo	135
4.5.1.2	Las Funciones de los Equipos o Subsistemas	135
4.5.1.3	Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE).	136

4.5.1.3.1 Aspectos Generales	136
4.5.1.3.2 Definición del AMFE	136
4.5.1.3.3 Las Características Principales del AMFE	136
4.5.1.4 El AMFE del Producto y Proceso	137
4.5.1.5 Los Objetivos y Alcance del AMFE	137
4.5.1.6 Responsabilidades en la Evaluación con el AMFE	138
4.5.1.6.1 Persona Responsable o Grupo de Trabajo del Estudio	138
4.5.1.6.2 Coordinador de los Grupos o Personas	138
4.5.1.6.3 Los Clientes/Usuarios que Atiende el AMFE	138
4.5.1.6.4 Producto que es Atendido con el AMFE	139
4.5.1.6.5 Seguridad de Funcionamiento	139
4.5.1.6.6 Fallo	139
4.5.1.6.7 Modo Potencial de Fallo	139
4.5.1.6.8 Efecto Potencial de Fallo	140
4.5.1.6.9 Causas Potenciales de Fallo	140
4.5.2 Descripción de la Metodología AMFE	141
4.5.2.1 Creación y Formación del Equipo AMFE	142
4.5.2.2 Identificar el Tipo de AMFE, su Objeto y Límite	142
4.5.2.3 Generar AMFE	142
4.5.2.3.1 Estructura del Análisis Modal de Fallo y Efecto “AMFE”	142
4.5.2.3.2 Estructura de los Correctivos AMFE	154
4.5.2.3.3 Revisar y Seguir el AMFE	156
4.5.2.4 Implementación de la Metodología AMFE	156
4.5.2.5 Descripción de las Tareas de Mantenimiento AMFE	157
4.5.2.5.1 Tareas de Mantenimiento	158
4.6 METODOLOGÍA PARA ALTA CONFIABILIDAD EN LA SEGURIDAD	158
4.6.1 Causas de Fallas a Identificar en el Fondo del Tanque	159
4.6.2 Detección de Fugas en el Fondo del Tanque como Control de Riesgo	159
4.7 PROCEDIMIENTO PARA EVALUACIÓN DE LA BASE TANQUE	160
4.7.1 Identificación de los Aspectos Principales a ser Evaluados	160
4.7.1.1 Decisión de Reparación o Reemplazo de Sectores Deteriorados	160

CAPITULO V. RESULTADOS ESPERADOS DE LA PROPUESTA

5.1 RESULTADOS DE LA PROPUESTA.	162
5.1.1 Tablas AMFE de Almacenamiento	163
5.1.2 Tablas Correctivos AMFE	171
5.2. SÍNTESIS DE GESTIÓN DE RIESGO PARA LA SEGURIDAD INDUSTRIAL	204

**CAPÍTULO VI.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1	CONCLUSIONES	180
6.2	RECOMENDACIONES	181

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	183
ANEXOS	186

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1.1	Área de Tanques TMB	22
Figura 1.2	Tanque de Almacenamiento 322003 TMB	22
Figura 2.1	Representación del Árbol de Problemas	50
Figura 2.2	Etapas para la Implementación Sistemática del AMFE	63
Figura 2.3	Mezcladores	74
Figura 2.4	Sistema de Recepción	75
Figura 2.5	Válvula de Presión	76
Figura 2.6	Respiradero	77
Figura 2.7	Soportes de Techo	78
Figura 2.8	Boca de Aforo para Toma de Muestras y Medir Temperaturas	78
Figura 2.9	Tubo de Aforo	79
Figura 2.10	Válvula de Drenaje	80
Figura 2.11	Colectores	81
Figura 2.12	Codo Giratorio o Swivel	81
Figura 2.13	Sistema de Drenaje de Agua de Formación	82
Figura 2.14	Válvula Principal	83
Figura 2.15	Actuador Eléctrico	83
Figura 2.16	Escalera Rodante	84
Figura 2.17	Escalera Externa	85
Figura 2.18	Manhole	85
Figura 2.19	Boca de Sondeo	86
Figura 3.1	Inspección Tanque 322003	117
Figura 3.2	Fondo del Tanque	119
Figura 3.3	Equipo de Inspección FALCON 2000 MARK II	121
Figura 4.1	Proceso AMFE	141
Tabla 1.1	Marco Metodológico	11
Tabla 2.1	Clasificación de las Fallas	42
Tabla 2.2	Riesgos Individuales de Muerte por Varias Causas EEUU 2009	48
Tabla 2.3	Clasificación según Gravedad o Severidad de Fallo	56
Tabla 2.4	Clasificación según la Probabilidad de Ocurrencia	58
Tabla 2.5	Clasificación según la Probabilidad de No Detección	60
Tabla 3.1	Universo de Involucrados	117
Tabla 3.2	Datos Inspección Tanque 322003	118
Tabla 3.3	Datos Técnicos	118
Tabla 4.1	Subsistemas Componentes del Tanque de Almacenamiento con su Código	135
Tabla 4.2	Análisis Modal de Fallo y Efecto	143
Tabla 4.3	Codificación de Falla Funcional en un Subsistema o Tanque	144
Tabla 4.4	Clasificación de la Gravedad del Modo de Falla con repercusión en el cliente	148
Tabla 4.5	Clasificación de la Frecuencia/ Probabilidad de Ocurrencia de un Modo de Fallo	149

Tabla 4.6	Clasificación de la Facilidad de la Detección del Modo de Fallo	150
Tabla 4.7	AMFE Basado en el Método del Árbol de Fallas	153
Tabla 4.8	Correctivos AMFE	155
Tabla 5.1	Tanque de Almacenamiento Base (PISO) FONDO	163
Tabla 5.2	Tanque de Almacenamiento Cuerpo	164
Tabla 5.3	Tanque de Almacenamiento Escalera Voladiza	165
Tabla 5.4	Tanque de Almacenamiento Escalera Rodante	166
Tabla 5.5	Tanque de Almacenamiento Techo Sello	167
Tabla 5.6	Tanque de Almacenamiento Mezclador de Banda	168
Tabla 5.7	Tanque de Almacenamiento Mezclador de Engranajes	169
Tabla 5.8	Tanque de Almacenamiento Drenaje del Techo	170
Tabla 5.9	CORRECTIVOS AMFE: Tanque de Almacenamiento FUNDACIÓN o base de soporte (piso)	172
Tabla 5.10	CORRECTIVOS AMFE: Tanque de Almacenamiento CUERPO - FONDO	173
Tabla 5.11	CORRECTIVOS AMFE: Tanque de Almacenamiento ESCALERA VOLADIZA	174
Tabla 5.12	CORRECTIVOS AMFE: Tanque de Almacenamiento TECHO SELLO	175
Tabla 5.13	CORRECTIVOS AMFE: Tanque de Almacenamiento MEZCLADOR POR BANDAS	176
Tabla 5.14	CORRECTIVOS AMFE: Tanque de Almacenamiento MEZCLADOR POR ENGRANAJES	177
Tabla 5.15	CORRECTIVOS AMFE: Tanque de Almacenamiento DRENAJE DEL TECHO	178

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Mediante el Tema “Evaluación de Riesgo en los Elementos Sensibles del Sistema de Operaciones Terrestres de la Seguridad Industrial en el TMB”, en cuatro capítulos se encuentra el desarrollo de los componentes de cómo la Evaluación de Riesgo puede potenciar a la Seguridad Industrial, con la finalidad de minimizar los riesgos del Tanque de almacenamiento de petróleo en servicio.

En el Capítulo I, se encuentran los contenidos preliminares de la Investigación: el planteamiento del problema, la relación causa – efecto que se perciben en las manifestaciones más relevantes de la problemática de la Evaluación de Riesgo y de la Seguridad Industrial, la sistematización y formulación del problema central con sus dos variables; la delimitación, el campo de acción, los objetivos, las hipótesis, la metodología para llevar a cabo el proceso investigativo y los aspectos referenciales más importantes a ser investigados.

En el Capítulo II, se encuentra el desarrollo de los componentes con los cuales se verifica que la Evaluación de Riesgo en su condición de variable independiente, sí puede potenciar a la Seguridad Industrial como variable dependiente. Principalmente se encuentra desarrollada la teoría de la Metodología de Análisis Modal de Fallos y Efectos. Los componentes del Tanque como sistema de almacenamiento. Los principios fundamentales de cómo se debe implementar el AMFE.

En el Capítulo III se encuentra el desarrollo de los componentes de la investigación de campo, especialmente, el análisis del Tanque 322003 del cual se obtuvo información mediante la Inspección del fondo, datos con los cuales se verificó la existencia del problema formulado en el capítulo I y que dio origen a la presente investigación. Se incluye una entrevista al Supervisor de Mantenimiento de los equipos del TMB.

En el Capítulo IV se encuentra el desarrollo de la propuesta de solución: Desarrollo de la Metodología de Gestión de Riesgos para potenciar la Confiabilidad de la Seguridad mediante la utilización del Análisis Modal de Fallo y Efecto (AMFE). Es mediante la aplicación de la herramienta AMFE, con la cual se pretende reducir el nivel de riesgos en el fondo y fundación de cada tanque, particularmente, la adopción de medidas para mejorar el nivel de confiabilidad de la Seguridad Industrial, de la Vida Humana y evitar los Daños Ambientales. El objetivo del AMFE es satisfacer al cliente y en este caso en el proceso industrial de los tanques de recepción, almacenamiento y despacho de petróleo.

En el Capítulo V se resume mediante los Resultados, la Gestión de Riesgos con la que se podría potenciar la Seguridad Industrial, Protección Humana y Ambiental, en los tanques de almacenamiento.

En el Capítulo VI se encuentra las Conclusiones y Recomendaciones del presente trabajo investigativo.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Aspectos que Identifican el Problema de Investigación

a) Los Sistemas Industriales en las Operaciones Terrestres del TMB.

El Sistema Industrial del Terminal Marítimo de Balao (TMB) de EP PETROECUADOR en la Ciudad de Esmeraldas, se compone de dos grandes Sistemas de Operaciones: a) Operaciones Terrestres con las actividades de: Recepción, Almacenamiento y Transporte de Crudo; y, b) Operaciones Marítimas, con dos Líneas de Transporte y Carga de Crudo a los Buques. En la actualidad no se cuenta con una Metodología, que identifique y evalúe el nivel de riesgo en las instalaciones industriales en cada uno de dichos Sistemas, que sirva de base de datos a la Intendencia y Gerencia General para la toma de decisiones, en lo relacionado con: la Minimización contra Riesgos Industriales, Laborales y Ambientales.

En la actual era de la calidad, de la alta contaminación ambiental, recalentamiento global, inundaciones por fenómenos marítimos y volcánicos, es un imperativo empresarial en el TMB el poder contar con un Modelo para Evaluar los niveles de Riesgos en los Elementos o Componentes de los Sistemas o Equipos Industriales. Esta preocupación surge en algunos expertos de seguridad y riesgos, en los que se incluyen técnicos y personal que han trabajado varios años tanto en las Operaciones Terrestres como Marítimas, cuando son consultados sobre los logros y desafíos para enfrentar el futuro después de 40 años de actividades en el TMB, dado que de acuerdo a los estándares industriales la vida útil de la Infraestructura de los Tanques de Almacenamiento, fue estimada para este período de tiempo. La pregunta que viene respecto al tema del nivel de Riesgo y la Seguridad Industrial, Humana y Ambiental es ¿Qué experiencias se han obtenido durante los 40 años para implementar mejoras en la infraestructura de Tanques de Almacenamiento de Crudo como los Sistemas Operativos de mayor importancia en las Operaciones Terrestres del TMB?

Tratando de encontrar la respuesta de dicha interrogante, la presente investigación se centra en los datos sobre debilidades importantes o fallas detectadas en los Sistemas de Tanques en el Almacenamiento de Petróleo Crudo, que configuren un problema

caracterizado en niveles de Riesgos, que por su magnitud impliquen reducción de la Seguridad expresada en amenazas a la “Infraestructura Industrial, Protección Humana y Ambiental”.

El período de 40 años es un lapso de tiempo en el cual han participado los conocimientos y experiencias de por lo menos cuatro generaciones de profesionales, técnicos y personal colaborador en las Operaciones Terrestres y Marítimas del TMB. Sin embargo, con el desarrollo científico y tecnológico en el campo de la Industria Petrolera, y en particular en la recepción, almacenamiento y despacho de crudo para la exportación, se debe seguir estudiando y aprendiendo más, de cómo aplicar los nuevos métodos sobre la identificación de Riesgos para aportar a mejorar el nivel de Seguridad en la “Infraestructura Industrial, Protección Humana y Ambiental”, como la alternativa de sobrevivencia y aporte al desarrollo socioeconómico sostenible del Ecuador.

Es mediante la utilización de los nuevos conocimientos científicos y tecnológicos expresados en los métodos, y en particular en el denominado Método: Análisis Modal de Fallo y Efecto (AMFE), con el cual se pretende diseñar procesos y procedimientos para la identificación de Riesgos en los Sistemas o Tanques de Almacenamiento, explicar las causas que los originan y proponer alternativas de solución adecuadas a los modos de fallos, con el propósito de mantener un alto grado de confiabilidad de la Seguridad en las Operaciones Terrestres en el TMB. Especialmente, se trata de observar y estudiar los componentes o subsistemas más sensibles a través del historial en las tareas de mantenimiento, frente a las amenazas de eventos no deseados, como incendios, fuga de gases, fallas fortuitas de los operadores, entre otros aspectos iniciadores de catástrofes. Es decir, la identificación de los componentes o elementos sensibles de cada Tanque de Almacenamiento, consistirá en una revisión, observación de campo y análisis de cuales son en la realidad operativa, los iniciadores de situaciones de Riesgos que reducen la Seguridad, al punto de constituir un problema.

b) Las Fallas Técnicas y Humanas que Identifican el Problema de Investigación.

De acuerdo a las observaciones efectuadas en los Sistemas o Tanques de Almacenamiento de las Operaciones Terrestres del TMB, la situación problemática se inicia en la Ingeniería de los Componentes del Tanque, que tiene como fuente secundaria de información al Área de Mantenimiento Industrial, dado que se realizan tareas de mantenimiento manual con personal, con lo que se puede deducir una clasificación en elementos o puntos sensibles que forman parte del funcionamiento de los subsistemas de Operaciones Terrestres. Esto implica, la posibilidad de reconocer un nivel de riesgo por fallas técnicas en el funcionamiento de los elementos o componentes de mayor importancia de los equipos industriales, a los que se les tiene que suministrar lubricación, refrigeración y supervisión para controlar el estado de funcionamiento, en algunos casos, las temperaturas. Tareas de seguimiento y mantenimiento, que en la actualidad se realizan manualmente donde también se presentan fallas humanas, por la variabilidad en la precisión natural de todo trabajo manual, lo que origina la necesidad de un estudio de medición a través métodos o sistemas basados en el conocimiento aplicado de la probabilidad de Riesgo como es el AMFE anteriormente señalado.

c) Las Fallas Industriales como Causas de los Riesgos Humanos y Ambientales.

De las observaciones de campo en Sistemas o Tanques de Almacenamiento de Petróleo Crudo, se deduce que cualquier falla en las Operaciones Industriales Terrestres, es una causa de Riesgo expresada en Efectos de algún tipo de daño en la Protección o Seguridad Humana y Ambiental. Esta es la razón, por la cual en el proceso de investigación se debe tratar de identificar los factores causales de las Fallas Industriales. Por lo tanto, con los datos registrados del mantenimiento y mediante un análisis integral de los factores que sirven de base a los Tanques, tales como la resistencia del suelo, la hidráulica, la mecánica, la calidad de los materiales, entre otros, son otra fuente de observación y estudio para identificar los factores causales en la generación de Fallas con Riesgos Industriales con efectos negativos en la Seguridad Humana y Ambiental en el TMB.

La situación problemática de “Fallas Industriales en los Tanques de Almacenamiento” de Petróleo Crudo, que constituyen Riesgo y que reducen la Seguridad Humana y Ambiental

y que tienen como fuente secundaria de datos el Mantenimiento Industrial en el Sistema de Operaciones Terrestres del TMB, con factores causales que aún son desconocidos pero que tienen implicaciones en consecuencias técnicas de los componentes en el funcionamiento, amenazas humanas y ambientales, es lo que motivó la realización de la presente investigación científica, la que pretende explicar los factores causales mediante la teoría científica de la Confiabilidad del AMFE y a la vez diseñar una propuesta para sugerir la solución al nivel de riesgo identificado en la Ingeniería Industrial de los Tanques Almacenamiento.

En síntesis, dado la existencia de tecnología avanzada mediante sistemas computarizados, son alternativas que permiten mayor precisión en las tareas de identificación, a partir de los datos de mantenimiento registrados en el Área de Mantenimiento para tratar de evitar el aumento de los riesgos en los componentes vulnerables o sensibles de la Seguridad Industrial en el TMB, pero que en la actualidad dicha tecnología no se aplica.

De las observaciones realizadas en el funcionamiento de todos los Sistemas y/o Subsistemas operativos, en base al Método del AMFE, en la visión particular de la Investigadora, donde se identifican fallas de alto Riesgo es en el Sistema de Tanques de Almacenamiento, que por la gran cantidad de petróleo almacenado ejercen gran presión con amenaza de fuga de la sustancia, riesgo potencial sobre el cual no existen mecanismos en la detección a tiempo de las fallas. Sin embargo, se debe reconocer que se han hecho esfuerzos en corregir y prevenir en otros aspectos de menor importancia. Se encuentran instalando un sistema contra incendio a base de control por espuma anti inflamable en la parte exterior de cada Tanque, el establecimiento de un sistema de capacitación de emergencias, entre otros. Se insiste, el gran nivel de Riesgo se encuentra en la Tecnología de los Tanques de Almacenamiento en las Operaciones Industriales Terrestres del TMB, y es lo que se tratará de demostrar en la presente investigación científica y técnica, a través del desarrollo de este documento.

1.1.2 Descripción Específica de la Relación Causa – Efectos

Los aspectos que identifican el problema de investigación en el TMB en la relación causas – efectos, son los siguientes:

- La falta de capacitación que recibe el personal para identificar los Elementos Sensibles al Riesgo en los Tanques de Almacenamiento, es lo que reduce confiabilidad en la Seguridad Industrial, Humana y Ambiental en el Sistema de Operaciones Terrestres del TMB.
- El limitado conocimiento científico sobre el nivel de Riesgo Industrial en los Tanques, no permite a las personas percibir si la existencia de sustancias y gases inflamables pueden o no ser amenazas a la confiabilidad de la Seguridad de daños a la vida de humana y ambiental.
- La falta de una Metodología de Evaluación de Riesgos Industriales, no permite la identificación de Fallas Técnicas en los Componentes de los Tanques con los que se reduce el nivel de confiabilidad de la Seguridad en el Sistema de Operaciones Terrestres del TMB.
- La “Dependencia de la Seguridad Industrial” a un solo tipo de diseño estandarizado de Tanques de Almacenamiento, es lo que genera un nivel de Riesgo que se tiende a confundir con “Fallas Humanas de los Operadores de Mantenimiento Manual”.
- La falta de investigación sobre nuevos diseños de Tanque con tecnología para suelos arenosos, es lo que genera un nivel de Riesgo en el Almacenamiento por fallas hidráulicas o mecánicas, que no son percibidas por los sistemas de mantenimiento y reducen la confiabilidad de la Seguridad.
- La falta de un Modelo computarizado de Análisis de Probabilidad en la Seguridad “APS”, en los componentes del Tanque, es lo que no permite contar con información continua para mantener informados a los directivos responsables y personas involucradas sobre la Evaluación de Riesgos reduciendo la Seguridad en el TMB.

Los supuestos factores causales por fallas técnicas y humanas, en la condición de aspectos iniciadores de deficiencias actuales e inductores que pueden originar efectos manifestados

en eventos no deseados y terminar en posibles catástrofes, con daños económicos a los bienes de las instalaciones de los dos sistemas en las Operaciones Terrestres y Marítimas, pérdidas de las reservas de crudo almacenado, con afectación a las personas y daños ambientales, son los objetivos que se pretende que sean verificados en la investigación de campo, mediante la utilización de instrumentos científicos. Sin embargo, consciente de los aspectos subjetivos del planteamiento, es sobre estos factores causales que originan los efectos de deficiencias en los componentes del Tanque, sistema objeto de investigación en el TMB, con lo que se hace posible la sistematización y formulación del problema de investigación siguiente.

1.1.3 Sistematización y Formulación del Problema:

- a) **Síntoma.** Fallas Técnicas en los Componentes de los Tanques de Almacenamiento con alto nivel de Riesgo Industrial que pueden ser iniciadores de Catástrofes, que amenazan la Seguridad de la Infraestructura, Humana y Ambiental y altos costos asociados en el Área de Mantenimiento Correctivo, lo que preocupa a Involucrados y Expertos de Seguridad Industrial en los Sistemas de Operaciones Terrestres del TMB.

- b) **El Problema.** Falta de Métodos Científicos de Evaluación de Riesgo en los Componentes o Elementos Sensibles del Tanque de Almacenamiento con incidencia negativa en la Seguridad Industrial, Humana y Ambiental del Sistema de Operaciones Terrestres en el TMB

- c) **Variables centrales.** De la identificación del Problema se desprende que:
 - **Variable Independiente: Evaluación de Riesgo**
 - **Variable Dependiente: Seguridad Industrial.**

Con la identificación de las variables, se desprende la formulación respectiva.

1.1.3.1 Formulación del Problema.

¿Cómo la Evaluación de Riesgo en los Elementos Sensibles del Tanque de Almacenamiento potencia a la Seguridad Industrial, Humana y Ambiental en las Operaciones Terrestres del TMB?

- a) **Objeto de Estudio.** Consistirá en el estudio de los fundamentos científicos de la Evaluación contra Riesgos, a partir de las Normas ISO: 9001, 14001: 2004 y la normatividad vigente de alta confiabilidad basadas en métodos científicos que potencian la Seguridad de los Tanques.
- b) **Campo de Acción.** Consistirá en establecer nuevos procedimientos en la Evaluación de Riesgos en los Componentes sensibles de los Tanques de Almacenamiento en las Operaciones Terrestres del TMB, con nuevo enfoque de Seguridad Industrial, respuestas a las interrogantes relacionadas al tema riesgos asociados a eventos diversos, que amenazan a la vida, las instalaciones industriales y al medio ambiente.

1.2 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un Modelo de Evaluación de Riesgo en los Componentes Sensibles de los Tanques de Almacenamiento de petróleo crudo de las Operaciones Terrestres para la Seguridad Industrial, Humana y Ambiental en el TMB.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Fundamentar científicamente en base a citas de autores, la relación de incidencia de Evaluación de Riesgo de los Componentes de los Tanques basada en un modelo de probabilidad sobre la Seguridad Industrial y en particular del Método AMFE.

- Obtener un diagnóstico del problema formulado en la Seguridad Industrial en los Componentes Sensibles de los Tanques de Almacenamiento de las Operaciones Terrestres, en base al Método AMFE.
- Desarrollar los requerimientos del Modelo de Evaluación de Riesgo AMFE en los Componentes Sensibles de los Tanques de Almacenamiento de las Operaciones Terrestres para la Seguridad Industrial, Humana y Ambiental en el TMB.

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis Particular

La Evaluación de Riesgo de los Elementos o Componentes Sensibles sí potencia a la seguridad industrial, la vida de las personas y evita daños ambientales en los Tanques de Almacenamiento del Sistema de Operaciones Terrestres en el TMB.

1.3.2 Hipótesis General o Idea a Defender

Con el Diseño de un Modelo de Evaluación de Riesgo en los Componentes Sensibles de los Tanques de Almacenamiento en las Operaciones Terrestres se podrá sugerir la implementación del Método AMFE para mantener alta confiabilidad de seguridad industrial, proteger la vida de las personas y evitar daños ambientales en el TMB.

1.4 MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

En la realización de la presente investigación se realizarán los métodos siguientes:

TABLA N° 1.1. Marco Metodológico

MOMENTOS DEL PROYECTO	MÉTODOS TEÓRICOS, EMPÍRICOS Y MATEMÁTICOS	APLICACIONES	TÉCNICAS	RESULTADOS
1. Fundamentación Teórica	Histórico Lógico Analítico Sintético	Recopilación y análisis de datos. Conocer sobre aplicaciones de teoría sobre Tanques de Almacenamiento de petróleo. Medición de Fallas y Riesgos. Relacionar los componentes y datos cuantitativos de Seguridad Industrial	Fichas, Revisión bibliográfica, y documentos Métodos de identificación y medición de Fallos de equipos Datos de Internet.	Fundamentos científicos y técnicos que potencian la propuesta.
2. Diagnóstico Situacional ▪ Análisis Situacional ▪ Investigación Exploratoria	Inductivo-Deductivo Revisión, documental, recolección de información, observación y medición. Análisis Estadístico Análisis de Datos	Investigación Campo Visitas a observar el funcionamiento de sistemas operativos. Recopilación y análisis de datos. Conocimientos generales. Datos de Entrevista Funcionamiento de Tanques y Fallos.	Fichas Encuestas Entrevistas Criterios de expertos en Riesgos y Seguridad Industrial Tabla de Datos Datos obtenidos	Informe sobre el estado actual del problema. Validación Pronósticos
3. Propuesta	Sistemático Modelación	Metodología de Evaluación de Riesgos que potencia la Seguridad Industrial	Diseño de Componentes Evaluación de Riesgo y Seguridad	Datos de Riesgo que verifican la confiabilidad en Seguridad

Elaboración: Propia.

1.5 UNIVERSO Y MUESTRA

1.5.1 El Universo de Investigación

En la investigación de la parte operativa en la que se relacionan la Gestión de Riesgos y la Seguridad Industrial, Humana y Ambiental, se utilizan los datos del funcionamiento del Sistema de Operaciones Terrestre del TMB, de los años 2006 al año 2011 con referencias al historial del Mantenimiento de los últimos diez años de los 10 Tanques de Almacenamiento de Petróleo Crudo. En la parte de la validación, la investigación consiste en el universo de las personas que se encuentran involucradas en el proceso de Gestión de Riesgos y Seguridad Industrial, Laboral y Ambiental; los directivos junto con los colaboradores son entrevistados con el propósito de validar la obtención de información primaria sobre Riesgo y Seguridad en el TMB. El Universo de Investigación en este caso es mixto, porque se consideran las personas involucradas y los 10 Tanques que son las unidades de almacenamiento, objeto de estudio donde se ha identificado el problema, que dio origen a dicha investigación.

1.5.2 La Muestra de Investigación

Como es de conocimiento general, la investigación a través de muestra representativa, se la utiliza ante la complicación que resulta el trabajo con todo el universo.

a) La Muestra en la Elección de los Tanques. Se analizan los componentes de los 4 Tanques que registran tareas de mantenimiento, en especial a los que se les hicieron reparaciones importantes en los dos últimos años, y que equivale al 40% del total de 10 que comprende la capacidad de almacenamiento del TMB.

b) La Muestra en la Elección de Personas. La muestra se la obtiene de las Autoridades, personal de Mantenimiento y Seguridad Industrial del TMB.

1.6 FUENTES DE OBTENCIÓN DE DATOS

1.6.1 Fuentes Secundarias

La información que se necesita para la presente investigación será obtenida a través de datos bibliográficos como libros, revistas, periódicos y archivos. Particularmente, revisión de las tareas de mantenimiento que se encuentran registradas en la Coordinación de Operaciones Terrestres e Intendencia del TMB.

1.6.2 Fuentes Primarias

La fuente a utilizarse para obtener información directa es en el lugar donde se encuentran los Tanques de Almacenamiento con petróleo crudo, en particular la obtención de los datos observados en elementos o componentes de los tanques seleccionados en la muestra de investigación, y en la entrevista al Supervisor encargado del mantenimiento en el Sistema de Operaciones Terrestres del TMB.

1.6.3 Técnicas

La entrevista personal para discernir información tanto cuantitativa como cualitativa que esta servirá como parámetro de medición para el análisis de los datos obtenidos y poder estructurar un documento con información relevante, tanto para la constatación del problema identificado, como en la aceptación o no de una propuesta de solución a dicho problema.

1.7 RESULTADOS QUE SE PRETENDE OBTENER

1. El Conocimiento Científico. Utilizar la fundamentación teórica y aplicaciones del conocimiento científico/técnico para la descripción, análisis de los modelos de los tipos de tanques, la elaboración teórica de sistemas de seguridad, investigación y desarrollo de un modelo para identificar y medir el Riesgo de la eficacia y eficiencia de un Tanque y sus componentes para la confiabilidad de la Seguridad Industrial. Se trata de destacar la aplicación de normas internacionales y los libros con las citas de los autores universalmente más reconocidos para explicar el funcionamiento o características de los componentes con los cuales se establece la confiabilidad del Plan de Seguridad Industrial, Humana y Ambiental en el Almacenamiento.

2. Estudio del Entorno. El estudio del entorno en el cual se desarrollan las actividades de gestión de transporte por oleoductos, almacenamiento, eliminación de impurezas del producto y despacho en la carga de Buques de petróleo crudo para la exportación, siguiendo el cumplimiento del conjunto de normas, como mecanismos que garantizan la confiabilidad en la Seguridad de las Operaciones Terrestres en el TMB, mostrando las condiciones óptimas de trabajo y protección humana y ambiental para satisfacer las necesidades y deseos que requieren los clientes del sector o involucrados

3. Planeación de la Seguridad Industrial. La planeación para la implementación de un Plan de Seguridad de alta confiabilidad, basado en la Gestión de Riesgos. Mostrar la parte administrativa de la Coordinación en la ejecución de las acciones presentes o futuras y de prevención en el proceso de transporte de petróleo, considerando que existe un nivel de riesgo que puede originarse durante las actividades de recepción, almacenamiento y despacho de petróleo crudo; así como en la elaboración de nuevas propuestas con estrategias de confiabilidad en el manejo de los riesgos, en la protección de la infraestructura, de las personas y ambiente, siguiendo las recomendaciones de las normas internacionales y cumplimiento de los aspectos legales de los Organismos de Control.

1.8 NOVEDAD CIENTÍFICA DE LA INVESTIGACIÓN

En la realización de la investigación se pretende mostrar los aportes siguientes:

- a) **En el Campo de la Evaluación de Riesgo.** Aplicar los conocimientos científicos y técnicos en el campo de la Evaluación de Riesgos Industriales, con el propósito de desarrollar una Metodología de identificación y medición de los niveles de Riesgos en cada Tanque de Almacenamiento de Petróleo Crudo en el Sistema de Operaciones Terrestres del TMB, como aporte en la reducción de los riesgos a las instalaciones, en el trabajo y medio ambiente.
- b) **En la Seguridad Industrial, Humana y Ambiental.** Mediante la utilización de la Metodología desarrollada en la investigación científica, implementar los mecanismos de reducción de Riesgo para potenciar la seguridad industrial, humana y protección ambiental, que permita mejorar los niveles de rendimiento y calidad de vida en el TMB.

1.9 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS

El presente documento de tesis desarrolla su contenido en cuatro partes o capítulos, conocimientos con los cuales se pretende mostrar que la Evaluación de Riesgos potencia la confiabilidad de la Seguridad en los Tanques de Almacenamiento de Petróleo Crudo en el Sistema de Operaciones Terrestres del TMB.

En el Capítulo 2, se desarrolla la fundamentación teórica de la Evaluación de Riesgo, en base a métodos de probabilidad, como el Análisis Modal de Fallo y Efecto (AMFE), el Índice de Prioridad de Riesgo (IPR), con los que se fundamentan cada uno de los componentes analizados, hasta llegar al cumplimiento de los objetivos teóricos del conocimiento científico y técnico.

En el Capítulo 3 se desarrolla la Investigación de Campo y descriptiva de los Componentes de los Tanques, que mediante análisis científico y técnico se pretende constatar la existencia del problema identificado. De otro lado, mediante la realización de una

entrevista al Supervisor de Mantenimiento del TMB, se pretende validar las hipótesis formuladas y la aceptación o no de una propuesta de solución al problema que dio origen a la presente investigación. Estos resultados, son los que con llevarán al diseño de una propuesta de solución a desarrollar en el capítulo siguiente.

En el capítulo 4, se presenta la propuesta de solución mediante el desarrollo de los componentes, documento con el cual se pretende sugerir la implementación de una Metodología de Evaluación para el mejoramiento del Control preventivo de Fallos para reducir el nivel de Riesgo en los Tanques de Almacenamiento y de esa manera potenciar la Seguridad en el Sistema de Operaciones Terrestres del TMB, con lo cual finaliza la presente investigación.

1.10 ASPECTOS DE SEGURIDAD ACTUAL EN EL TERMINAL MARÍTIMO BALAO

1.10.1 Generalidades

El Terminal Marítimo de Balao (TMB), fue creado mediante Ley de Régimen Administrativo de los Terminales Petroleros, con Decreto Supremo del 16 de Agosto de 1972, publicado en el Registro Oficial N° 129 del 24 de Agosto del mismo año.

El Terminal Marítimo de Balao fue el primer Terminal Petrolero en el Pacífico Sudamericano en obtener un Sistema de Gestión Ambiental con certificación ISO 14001.

1.10.2 El Terminal Marítimo de Balao del SOTE

El Terminal Marítimo de Balao, es la terminación del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE), por lo que es el responsable de coordinar la operación de entrega de petróleo crudo a la Refinería de Esmeraldas y de despachar el crudo para la exportación, se encuentra localizado en la Provincia de Esmeraldas, Cantón Esmeraldas, a una altitud de 123 metros sobre el nivel del Océano Pacífico, y en un área aproximada de 141.3 hectáreas de terreno, en la cual se distribuye su Infraestructura operativa del Sistema de Operaciones Terrestres y Operaciones Marítimas. El SOTE se encuentra a 497.622

metros de distancia con relación a la Estación de entrada situada en el Cantón Lago Agrio de la Provincia de Sucumbíos, país Ecuador.

1.10.2.1 Visión del TMB

Ser reconocido por los usuarios nacionales e internacionales, como un Terminal Marítimo Petrolero de alta confiabilidad y efectividad de la Costa Sur del Océano Pacífico en la satisfacción a los clientes en las exportaciones de crudo, enmarcado en las Normas ISO 14001 para la conservación ambiental y el desarrollo sostenible.

1.10.2.2 Misión

Ser un Terminal referente en recibir, almacenar y despachar de manera eficaz, eficiente y efectiva petróleo crudo para su exportación y refinación, garantizando siempre la calidad y cantidad, en un ambiente de operaciones de alta confiabilidad en la Seguridad Industrial, Humana y Ambiental, para satisfacer a todos los involucrados.

1.10.2.3 Propósito

Entregar para la exportación y refinación la totalidad de petróleo crudo recibido, tratando de mantener en las operaciones alta confiabilidad en la Seguridad Industrial, Humana y Ambiental, para satisfacción de todos los involucrados.

1.10.2.4 Objetivos Operacionales

- Minimizar inconsistencias o desbalances volumétricos en la fiscalización y transferencia de custodia.
- Mejorar la calidad de la mezcla entregada a las Refinerías del País.
- Proporcionar la Protección Industrial, Humana y Ambiental, a las instalaciones de Tanques de Almacenamiento y de Buques, que hacen uso de las facilidades portuarias costa afuera de responsabilidad del Terminal.
- Minimizar y neutralizar los impactos ambientales que pudieran producirse en el área de influencia.

1.10.2.5 Políticas Operacionales

- Aplicar las Normas ISO, API, ASTM en el seguimiento, monitoreo y control de cantidad, calidad y Confiabilidad de Seguridad en las operaciones.
- Mejorar la gestión, prácticas de medición, procedimientos y competencias tanto en operación como en mantenimiento para el aumento de la confiabilidad de la Seguridad Industrial.
- Implementar nuevas Tecnologías y mejores prácticas observadas para el mejoramiento de todos los procesos y Seguridad Industrial del TMB.

1.10.3 Funcionamiento del Terminal Marítimo de Balao

El Terminal dispone de diez (10) Tanques de almacenamiento de petróleo crudo, con capacidad de 322.000 barriles cada uno para recibir el petróleo crudo que llega de la Estación Lago Agrio.

1.10.3.1 Funcionamiento del Sistema de Tanques de Almacenamiento

Tiene múltiples individuales o tridentes que conectan a la línea de llenado de 24'' y a dos líneas de carga separadas de 36 y 42''. Además disponen de techo flotante el cual está provisto de un sistema de drenaje para las aguas lluvias que desaguan al exterior del Tanque.

En la parte exterior de los Tanques 322001 al 322009 a unos 30 cm del piso, diametralmente opuesto hay dos válvulas de compuerta de 6'' para descarga de aguas lluvias del techo. El Tanque 322010 tiene solo una válvula para la descarga de aguas lluvias del techo. A la misma altura de las válvulas antes indicadas y frente a las válvulas de 24'' y 42'' hay una válvula de compuerta de 4'' ANSI 150 para drenaje del agua que llega con crudo, la posición normal de esta es cerrada y únicamente debe abrirse para drenar el agua del Tanque. El agua drenada pasa a través de esta a un sistema de observación de calidad de agua drenada, luego a una válvula de 6'' ANSI 150 y

posteriormente a una tubería de 6" que recoge el agua drenada de todos los Tanques y la transporta hasta las piscinas de decantación del sistema de deslastre.

1.10.3.2 Recorrido de Petróleo Crudo

La cantidad de petróleo crudo que llega al Terminal debe ser examinado cuidadosamente previo a ser almacenado, para lo cual es necesario seguir estrictamente las normas establecidas siguientes:

- Fiscalización del Tanque con 30 minutos antes y no más de 4 horas, medido con cinta, tomando la temperatura y sacado muestras para determinar la cantidad y calidad del crudo que va a recibir.
- El Tanque no debe recibir y despachar al mismo tiempo.
- Cuando el tanque está por llenarse, el cuidado de la seguridad debe ser aun mayor, por lo que no se debe confiar en los medidores de nivel por posibles fallas eventuales. El operador o ayudante, debe verificar el nivel de tapa y estar presente al momento de cambio de tanque para observar una posible falla en los sistemas de control. En tal caso, debe estar preparado para el control manual.
- Por seguridad, mantener con candados todos los brakers o switch de cada una de las válvulas de los tanques de almacenamiento, debiendo estar las llaves de estos candados bajo la responsabilidad del personal de Sala de control, con los que se atestigua y certifica el uso de los procedimientos, la presencia del Inspector del Organismo de Control.
- Cuando un Tanque de almacenamiento ha terminado de recibir crudo, se debe esperar por lo menos 30 minutos para proceder a medir el nivel de cinta, ésta es una medida inicial para drenar agua del Tanque, conjuntamente con la medida debe también sacarse una muestra para determinar el volumen de agua de formación que se ha recibido y la calidad de crudo que hay en ese tanque.
- Normalmente, antes de proceder a drenar el agua del Tanque, es mejor dejarlo reposar un tiempo conveniente para que el agua decante y se recoja en el fondo del tanque, esto hace que la evacuación se facilite.

1.10.3.3 Carga de Crudo a los Buques Tanques (B/T)

El petróleo crudo del tanque que se vaya a despachar para cargar a un Buque de Transporte (B/T), debe estar en lo posible, libre de agua.

La cantidad y calidad de crudo del Tanque a ser despachado para cargar a un Buque de Transporte, son previamente examinadas mediante la aplicación de las normas de fiscalización siguientes:

1. Medida con cinta de acuerdo a normas establecidas por la ASTM D – 1085 (American Society for Testing and Measurement) y API (American Petroleum Institute) Standard 2545 designadas como: Toma de temperaturas y muestras igualmente de acuerdo a las normas establecidas a este respecto, ASTM D – 270 y API Standard 2546.
2. Las pruebas de las muestras en el laboratorio también cumplen estrictamente las normas e instrumentos dados para cada una de ellas:
 - Agua y sedimento según ASTM N° D- 96 – API Standard: 2542
 - Gravedad API según ASTM D- 287 – API Standard 2544.
 - Azufre según ASTM D- 2622
 - Viscosidad según ASTM D – 88
 - Punto de escurrimiento (Pour Point) ASTM D – 97
 - Punto de Inflamación (Flash Point) ASTM D – 3628
 - Contenido de Sal ASTM D – 3230

En el caso que el Terminal no tenga disponible los medios para realizar las pruebas, estas son realizadas en otras instituciones, como es la Refinería Estatal Esmeraldas, Estación de Lago Agrio, entre otras

3. Toda fiscalización cumple con las normas legales u oficiales, según regulación del Organismo de Control, en la cual debe ser atestiguada por el representante autorizado.

4. El Operador a cargo de la fiscalización lleva un registro de todos los datos que obtiene y una vez que termina todo el proceso emite una boleta de aforo que contiene todos los datos, la que lleva su firma y rúbrica del Inspector delegado del Organismo de Control, documento que es entregado al Supervisor de Turno para su conocimiento y control y el que es entregado al Documentista para la elaboración del certificado de medida de Tanques al cual queda adjunta.
5. Terminado este proceso, el Tanque queda a disposición para ser usado en la carga al Buque de Transporte.

1.10.3.4 Entrega de Petróleo Crudo a la Refinería de Esmeraldas

El despacho o entrega de crudo del TMB a la Refinería de Esmeraldas, se lo realiza mediante un seccionamiento que se encuentra en el Manifold de entrada ubicado en el Área de Tanques.

La coordinación de entrega de crudo es por medio de una programación solicitada por la Refinería y aprobada por el Comité Nacional de Programación (CNP)

La entrega es mediante la apertura y/o cierre de la válvula de compuerta de 12", que es de responsabilidad del TMB.

1.10.4 Infraestructura del Terminal Marítimo de Balao

1.10.4.1 Área Terrestre

1.10.4.1.1 Tanques de Almacenamiento

El TMB para el movimiento de petróleo crudo tiene un área de almacenamiento, la que se muestra en la Figura 1.1, conformada por diez Tanques de Almacenamiento de Petróleo, que constituye la parte final del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE).



Figura 1.1 Área de Tanques TMB

Fuente: Archivos Fotográficos TMB.

La infraestructura instalada tiene una capacidad total de tres millones doscientos veinte mil barriles y el despacho de crudo se lo hace a través de dos Monoboyas con capacidad para cargar Buque Tanques de hasta 100 mil toneladas de peso muerto.

Cada uno de los Tanques tiene una capacidad de 322.000 barriles. Su altura es de 18 metros por 62 metros de diámetro, con un blindaje de 2 pulgadas en los primeros 2 metros, terminando en 0.5 pulgadas en la cumbre.



Figura 1.2 Tanque de Almacenamiento 322004 TMB

Fuente: Archivo Fotográfico TMB

DATOS GENERALES:	DETALLE
PRODUCTO	PETRÓLEO
CAPACIDAD	51.000 m ³
DIÁMETRO	61.722 m
ALTURA	17.983 m
AÑO CONSTRUCCIÓN	1972

1.10.4.1.2 Líneas de Carga

El TMB dispone de dos líneas o tuberías de carga de 36” y 42” de diámetro, constituidas de acero al carbono con un espesor de 0.0375 y una longitud aproximada de 12 kilómetros hasta el PLEM submarino, las que transportan el petróleo crudo desde los Tanques de Almacenamiento a los Buque – Tanques.

1.10.4.1.3 Sala de Control

Sala de Control Principal, desde la cual operan remotamente todos los sistemas instalados, tanto para la recepción de crudo, como de carga a Buques se realiza por gravedad, con un Sistema de Control, lo que garantiza confiabilidad de la Seguridad.

El Terminal dispone para el control de sus operaciones de un Sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), el mismo que provee continuamente y en tiempo real datos operacionales a la Sala de Control. Es una Red de datos basada en comunicación Ethernet TOP/P, combinada con una red digital fieldbus y otra con protocolo TRL/2 canleada, provenientes de los equipos instalados en las diferentes Áreas del TMB; tal como, tanques de almacenamiento, tuberías o líneas de carga, entre otros.

Los aspectos que se monitorea por el Sistema SCADA incluye:

- Datos relacionados con el petróleo, como temperatura, peso específico/gravedad.
- Información de operaciones como la presión y velocidad del flujo, las condiciones de operación de las bombas, válvulas, tanques y estado de las alarmas.
- Estado de alarmas contra incendios, y otro puntos de interés en las instalaciones y procesos de la ejecución de tareas.

El Sistema de Control SCADA, permite deducir en las Operaciones Terrestres en el TMB, un amplio control, con lo cual se da cumplimiento al conjunto de normas de calidad nacionales e internacionales ISO, API, entre otras.

1.10.4.1.4 Sistema Auxiliares

En el TMB, existen las instalaciones complementarias a las instalaciones industriales antes descritas, con las cuales se refuerza la seguridad en el funcionamiento operativo.

a) Sistema Auxiliar de Energía Eléctrica

En el TMB existen dos unidades de generación electrógenos: uno de 750 KW y otro de 300 KW, que corresponde a la energía eléctrica de emergencia para garantizar la continuidad, en caso de suspensión del Sistema Nacional Integrado.

b) Sistema de Agua

El TMB cuenta con un sistema de agua propio. El agua es abastecida por un sistema de bombeo hasta las instalaciones industriales, con capacidad de 200 galones por hora a través de una tubería de 2 pulgadas.

c) Sistema Contra Incendio.

En la prevención de posibles incendios que pudieran presentarse en los Tanques de Almacenamiento y otros puntos, se cuenta con los cuatro sistemas siguientes:

- Extintores portátiles de polvo químico seco (PQS) y CO₂, distribuidos en sitios accesibles en las áreas e instalaciones del TMB.
- Cada uno de los Tanques de Almacenamiento, están protegidos por un anillo colocado en la tapa del tanque con dispositivos térmicos que se disparan automáticamente en caso de fuego (SISTEMA CARDOX CO₂).
- En las áreas de control, bodegas, talleres y oficinas, además de los extintores portátiles se cuenta con un sistema de hidratantes.

- En las piscinas e instalaciones de las líneas de carga, los hidratantes están acoplados a tanques que contienen químicos (espumógeno) que al ser absorbido por el agua se transforma en espuma, para extinguir el fuego producido por líquidos inflamables.

El TMB, además cuenta con una motobomba para asistir a los afectados en casos de catástrofes de gran alcance.

d) Bodega y Talleres.

El TMB cuenta con bodegas y talleres para abastecimiento y mantenimiento. Esto permite realizar actividades profesionales de mantenimiento de los equipos y custodia de materiales o sustancias químicas, con un grado de riesgo en su manejo.

e) Laboratorio de Crudo.

El TMB cuenta con un Laboratorio para determinar las características de pureza del petróleo para la exportación en concordancia a los requerimientos especificados por API.

SÍNTESIS GENERAL DEL CAPÍTULO I.

En el Tema Evaluación de Riesgo en los Componentes Sensibles de los Tanques de Almacenamiento en la Seguridad Industrial, Humana y Ambiental del Sistema de Operaciones Terrestres en el TMB, el propósito de ésta información referencial, es tener en cuenta durante el proceso de investigación, que en determinadas áreas de trabajo y aspectos de los componentes de los equipos industriales, existen hasta demasiadas inversiones y acciones sobre seguridad; pero, en los Tanques que son el centro medular del Almacenamiento de Petróleo Crudo, materia de investigación, hay componentes que no están protegidos y es donde se generan altos niveles de Riesgos y que reducen el grado de Seguridad Industrial, la que origina amenazas de daños a la vida humana y ambiental. Sin embargo, estos son los aspectos relevantes que serán demostrados en la presente investigación a través del desarrollo de contenidos en los capítulos 2 del Marco Teórico y capítulo 3 Investigación de Campo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Evaluación de Riesgo en los elementos sensibles del Sistema de Operaciones Terrestres de la Seguridad Industrial en el TMB, es el tema de investigación con el cual se pretende explicar los factores causales, que generan riesgos manifestados en fallos de equipos que son utilizados en los procesos de trabajo, que tienen como efecto la reducción en el nivel de seguridad. Este requerimiento de seguridad en las operaciones industriales es de sobre el 95% de certeza y con una variabilidad de 0 al 5% de riesgo o error permisible según la Guía ISO CEI 73/2009.

En el conocimiento científico de la Probabilidad y Estadística, significa que en una gestión de calidad de los procesos de una organización o empresa, la seguridad para una actividad industrial puede operar con una probabilidad (P) de $0.95 = 95\%$ y a la vez se considera la no probabilidad que representa el riesgo por fallas, que variará entre 0 al 5%. Esto quiere decir, que siempre existe un espacio para la gestión de riesgo en las actividades industriales normales de una empresa. Este enfoque, tuvo su origen en el desarrollo científico de Gauss (1846), conocimientos científicos que tienen actual vigencia y que han sido mejorados con otras investigaciones de diversos autores con tendencia hacia distribuciones normales de probabilidad, lo que tiene relación con la mayoría de procesos en los sistemas, subsistemas y/o equipos industriales; y de manera particular, en la gestión de riesgos de los Tanques de Almacenamiento de hidrocarburos o petróleo. Estos conocimientos aplicados con los ordenadores lógicos electrónicos o computadores, permiten hacer seguimiento continuo sobre el desempeño o funcionamiento de cualquier equipo, y a la vez proporcionar datos de fallos mecánicos, electricidad o electrónicos de uno o más componentes, en los que se incluyen los cambios físicos por rotura o daño que podría ser causa de fuga de sustancias o gases con amenazas de riesgos industriales, a la vida humana y/o ambiental.

2.1.1 Origen de los Riesgos en las Operaciones Industriales.

En una actividad industrial que es producción o prestación de servicios a gran escala, y en particular en la realización de tareas en la explotación petrolera, transporte por tubería, almacenamiento en tanques, rectificación o purificación del producto, comercialización del petróleo crudo, los riesgos pueden provenir de la incertidumbre en determinados componentes de un sistema o equipo, donde no se puede efectuar un control total en su funcionamiento, en lo relacionado a evitar fallos. Esto significa, que riesgo y seguridad son dos partes opuestas que se encuentran y que deben ser evaluadas en toda operación industrial, por lo que un riesgo puede ser interpretado como la parte de inseguridad en el desarrollo de las tareas productivas.

2.1.2 Identificación y Medición de los Riesgos.

En los conocimientos científicos, se establece que la probabilidad es la medida de los riesgos cuando ocurre o que pueden ocurrir eventos no deseados, tales como fallos de los elementos o componentes de un equipo. Sin embargo, en la práctica no es tan simple la identificación de los factores causales que generan los riesgos, especialmente cuando se trata de un Tanque de almacenamiento de petróleo, lo que en general se percibe solamente en los efectos negativos por fallos. Por esta razón, en adelante para identificar los riesgos se utilizará la técnica de fallo.

2.2 EVALUACIÓN DE RIESGOS

En el estudio y análisis científico, se tratará de verificar cómo la Evaluación de Riesgos, en su condición de variable independiente, puede potenciar a la Seguridad Industrial, y de esa manera reducir y mantener controlado el nivel riesgo normal, las posibles amenazas a la vida de las personas y/o daños ambientales.

¹Según la Guía ISO / IEC 73:2009, se señala que la Evaluación de Riesgos, es un conocimiento científico con aplicaciones técnicas que utiliza la Organización Internacional

¹ ISO CEI 73/2009 Evaluación de Riesgos de la Organización Internacional.

como medio para reducir riesgos y de esa manera potenciar la “Seguridad” en los procesos u operaciones de los sistemas, equipos o subsistemas, que permiten alcanzar metas y objetivos de mejor manera en situaciones de cierta incertidumbre medibles que permite manejo para conseguir la viabilidad.

Lo anteriormente expuesto en la norma ISO, significa que una vez que los riesgos han sido identificados en uno o más componentes de un equipo o sistema, sigue un proceso para alcanzar metas y/u objetivos, por lo que luego los resultados deben ser evaluados en cuanto a su gravedad potencial del impacto (generalmente un impacto negativo, como el daño o pérdida) en base a la probabilidad de ocurrencia. Estas cantidades pueden ser fácil de medir, en el caso del valor de un edificio perdido, o imposible saber a ciencia cierta en el caso de la probabilidad de un caso poco probable de ocurrir del evento de fallo o resultante negativa. Por lo tanto, en el proceso de evaluación de riesgo, es fundamental para tomar las mejores decisiones obtener la información necesaria con el fin de priorizar adecuadamente la aplicación del Plan de Gestión de Riesgos .

La dificultad fundamental en la evaluación de riesgos está en la determinación de la tasa de incidencia o probabilidad, porque en general, la información estadística para las actividades productivas no está disponible en todo tipo de incidentes correspondiente a periodos en el pasado. Además, la evaluación de la gravedad de las consecuencias (impacto) es a menudo muy difícil de conseguir para los activos intangibles. Valoración de activos y/o equipos, es otra cuestión que debe abordarse, donde hay muy poca información disponible. Por lo tanto, colaboradores mejor educados o capacitados y opiniones estadísticas disponibles, son las principales fuentes de información para poder efectuar la evaluación de riesgos en una organización o empresa.

En síntesis, la Evaluación de Riesgo para poder efectuarse, requiere previamente de la identificación de riesgos y de la priorización de los riesgos que se contemplan en el Plan de Gestión de Riesgos de la organización.

2.2.1. Gestión de Riesgo en los Componentes de los Sistemas

La Evaluación de Riesgo, es un componente de la Gestión de Riesgos, que procede a la identificación de riesgo, pero que es anterior a la priorización de los riesgos en el manejo y control.

²Hubbard, Douglas (2009), señala que la Gestión de Riesgos, es la identificación, evaluación y priorización de los riesgos, que según la norma ISO 31000, se define en como *el efecto de la incertidumbre sobre los objetivos*, ya sea positivo o negativo, seguida de la aplicación coordinada y racional de los recursos para minimizar, monitorear y controlar la probabilidad y / o impacto de eventos desafortunados o para maximizar la realización de las oportunidades.

De las afirmaciones de los autores citados, se desprende que los riesgos en las organizaciones o empresas pueden provenir de la complejidad de los procesos tecnológicos industriales, del fracaso de los proyectos (en cualquiera de las fases de diseño, desarrollo, producción, logística o los ciclos de vida), las obligaciones legales, de la incertidumbre en los mercados financieros en competencia, el riesgo de crédito, los accidentes, causas naturales y los desastres , así como el ataque deliberado de un adversario, o eventos de incierto e impredecible de causa raíz .

En la actualidad, existen diversos modelos de las disciplinas científicas de gestión de riesgos en base a estándares que han sido desarrollados, incluyendo el Project Management Institute, el Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología de los países de mayor desarrollo industrial, las sociedades de actuarios, y las normas ISO (cita 1). Los métodos, definiciones y objetivos varían ampliamente en función de si el método de gestión de riesgos en el contexto de la gestión de proyectos, seguridad, ingeniería, procesos industriales, las carteras financieras, las evaluaciones actuariales, o la salud pública y la seguridad.

² Hubbard D. El Fracaso de la Gestión de Riesgos: ¿Por qué se ha roto y cómo solucionarlo?. Agosto 2009.

En síntesis, la gestión de riesgos puede variar en enfoque de explicación de los factores causales, pero en general existe una coincidencia en el método de medición de la magnitud para evaluar el nivel riesgo de un evento de fallo:

**La magnitud del Riesgo es igual a la Tasa o Probabilidad de ocurrencia,
multiplicada por el impacto del Evento.**

En este caso se trata de mostrar una forma poco matemática para determinar la magnitud de un riesgo, pero que es suficiente para poder explicar la teoría de la gestión de riesgos. Este conocimiento se aplicará más adelante en la investigación de campo y en el diseño de propuestas o soluciones a casos específicos.

2.2.2 El Proceso en la Gestión de Riesgo Basada en el Contexto

³ De acuerdo con la norma ISO/DIS 31000, se establece que la "Gestión de Riesgos, se basa en principios y directrices (cita 3), sobre la aplicación" de un Proceso de Gestión de Riesgos, el que consiste en el contexto y la identificación de riesgos para poder efectuar la Evaluación de Riesgos.

Siguiendo la aplicación de las normas citadas anteriormente, el establecimiento del contexto y la identificación pueden ser expresadas en sus elementos que los componen:

El Establecimiento del Contexto se refiere a:

1. Identificación de los riesgos por fallas de un área o dominio de interés seleccionado.
2. La planificación del Proceso de Evaluación de Riesgo.
3. Delinear los aspectos siguientes:
 - el alcance social de la gestión del riesgo

³ ISO ISO/DIS 31000. Gestión de Riesgos- Principios y Directrices sobre la Aplicación. Organización Internacional de Normalización. 2009.

- la identidad y los objetivos de las partes interesadas
 - la base sobre la cual se evaluarán los riesgos, limitaciones.
4. Definir un marco para la actividad y una agenda para la identificación.
 5. El desarrollo de un análisis de los riesgos involucrados en el proceso.
 6. Mitigación o solución de los riesgos utilizando los recursos tecnológicos disponibles, humanos y organizativos.

2.2.3. Identificación de Riesgos.

⁴Dorfman, Mark S. (2007), señala que después de establecer el contexto, el paso siguiente en el proceso de gestión de riesgos consiste en identificar los riesgos potenciales. Los riesgos se refieren a acontecimientos que, cuando se activan, causarán problemas. Por lo tanto, la identificación de riesgos puede comenzar con el origen de los problemas, o con el mismo problema.

Los métodos comunes de identificación de riesgos son:

- **Análisis de las Fuentes de Riesgo** El análisis de las fuentes de riesgo pueden ser internas o externas al sistema o equipo que es el objetivo de la gestión del riesgo. Las fuentes internas de riesgo son: las partes interesadas de un proyecto, los empleados de una empresa o el tiempo que deben pasar en espera las personas para ser atendidos para recibir un servicio público, o espera en un aeropuerto para viajar en avión, entre otros.
- **El análisis de las fuentes o del problema.** Los riesgos están relacionados con las amenazas identificadas, como podrían ser: la amenaza de perder el dinero invertido en un equipo, la amenaza de abuso de información privada o la amenaza de accidentes y víctimas. Las amenazas pueden existir con diversas entidades, lo más importante con los accionistas, los clientes y los órganos legislativos, como el gobierno.

⁴ Dorfman M. Introducción a la Gestión de Riesgos y Seguros. 9ª ed. Englewood: Prentice Hall; 2007.

Mediante el análisis, cuando cualquiera de las fuentes o del problema que se conoce, los eventos que pueden desencadenar una fuente o los eventos que pueden conducir a un problema puede ser investigado. Estas fuentes podrían ser: los interesados que se retiran durante el lapso de ejecución de un proyecto, puede poner en peligro la financiación del proyecto; la privacidad de la información puede ser robada por los empleados, incluso dentro de una red cerrada, caída de un rayo sobre una instalación industrial, o caída de un avión durante el despegue puede hacer que todas las personas sean afectadas sobre las víctimas junta inmediata.

- **El Método Elegido para Identificar Riesgos.** El método elegido para la identificación de los riesgos puede depender de la cultura, la práctica de la industria y el cumplimiento. Los métodos de identificación están formados por plantillas o el desarrollo de plantillas para la identificación de la fuente, el problema o evento.
- **Objetivos Basados en la Identificación de Riesgos.** Las organizaciones y los equipos de proyecto tienen objetivos. Cualquier evento que pueda poner en peligro el logro de un objetivo parcial o totalmente se identifica como de riesgo.
- **El Análisis de Escenarios Basados en la Identificación de Riesgos.** Los diferentes escenarios para el análisis, en general se deben crear. Los escenarios pueden ser las vías alternativas para lograr un objetivo, o un análisis de la interacción de fuerzas, por ejemplo, un mercado o una batalla. Cualquier evento que desencadena una alternativa en un escenario no deseado se identifica como riesgo.
- **Taxonomía Basada en la Identificación de Riesgos.** La taxonomía en la identificación de riesgos basado en un desglose de las fuentes de posible riesgo. Sobre la base de la taxonomía y el conocimiento de mejores prácticas, un cuestionario se ha compilado. Las respuestas a las preguntas revelan riesgos. Esto se verifica de los estudios de CMU/SEI – 1993–TR – 6 Taxonomía basada en la identificación de riesgos en la industria del software.

- **Listas con los Riesgos Conocidos en Varias Industrias.** En varias industrias, las listas con riesgos conocidos están disponibles. Cada riesgo en la lista pueden consultarse para su aplicación a una situación en particular. En el caso de perforación mar adentro, los datos de control de riesgos se encuentran en ⁵ IADC HSE Directrices de casos de perforación mar adentro 3.2, sección 4.7
- **Cartografía de Riesgo** Este método combina los enfoques anteriores de lista de recursos en situación de riesgo, las amenazas a esos recursos, la modificación de los factores que pueden aumentar o disminuir el riesgo y las consecuencias que se quiere evitar. La creación de una matriz de estos conceptos permite una variedad de enfoques en la identificación de amenazas. Se puede comenzar con los recursos y considerar las amenazas a que están expuestos y las consecuencias de cada uno. ⁶Esto se puede documentar en Roehrig, P (2006).
- **Los Eventos de Probabilidad Binomial.** En algunos casos, la probabilidad de eventos raros puede ser obtenida dividiendo la ocurrencia completa en una serie de eventos, para los cuales las probabilidades individuales de ocurrencia son conocidas. Es el caso de la estimación de la probabilidad de obtener caras todas las veces en 50 lanzamientos de una moneda. Se conoce que la probabilidad de sacar cara en un lanzamiento es 0.5, por lo que en 50 lanzamientos será 0.5^{50} , que equivale a una vez en 10^{15} ensayos.

En síntesis, todo Método de Identificación de Riesgos, alternativamente puede comenzar con las amenazas y examinar los recursos que puedan afectar, o, se puede comenzar con las consecuencias y determinar qué combinación de amenazas y de los recursos estarían involucrados para llevar a cabo las tareas con alto grado en la seguridad para obtener los resultados esperados en la organización o empresa.

⁵ IADC HSE. Directrices de Casos de Perforación Mar Adentro 3.2 Sección 4.7.

⁶ Roehrig P. Gobierno para Gestionar el Riesgo de Outsourcing o Externalización Trimestral de Negocios. 2006.

2.2.4 Índice de Riesgo Compuesto

La definición anterior de la magnitud de riesgo, también puede escribirse en términos de un índice de riesgo compuesto (IRC) de la siguiente manera:

$$\text{IRC} = \text{Impacto de Probabilidad} \times \text{los Eventos de Riesgo de la ocurrencia}$$

Los dos valores que determinan el IRC, tienen el significado siguiente:

a) Impacto de Probabilidad. El evento de riesgo se suele evaluar en una escala de 1 a 5, donde 1 y 5 representan el posible impacto mínimo y máximo de una ocurrencia de un riesgo, que por lo general, es en términos de pérdidas económicas. Sin embargo, la escala de 1 a 5 puede ser arbitraria y no tiene que ser necesariamente en una escala lineal.

b) Eventos de Riesgo. El impacto de la probabilidad de ocurrencia es también comúnmente evaluados en una escala de 1 a 5, donde 1 representa una probabilidad muy baja de los eventos de riesgo realmente está ocurriendo mientras que el 5 representa una muy alta probabilidad de ocurrencia. Este eje puede expresarse en términos matemáticos (evento ocurre una vez al año, una vez en diez años, una vez cada 100 años, etc) o puede expresarse en "la llanura Inglés" - evento que ha ocurrido aquí muy a menudo; caso ha sido conocido por ocurrir aquí; caso se ha sabido que se producen en la industria, etc.) Una vez más, la escala de 1 a 5 puede ser arbitraria o no lineal en función de las decisiones de los expertos en la materia. La escala también podría ser de 1 a 10 puntos con subdivisión de intervalos para la valoración, y en tal caso el IRC en los valores numéricos podrían variar entre 1 a 150.

El Índice Compuesto por lo tanto puede tomar valores que van normalmente de 1 a 25, y este rango es generalmente dividido arbitrariamente en tres sub-rangos. La evaluación general del riesgo es entonces baja, media o alta, dependiendo del rango de sub-que contiene el valor calculado del índice compuesto. Los tres posibles sub-rangos se podría definir como de 1 a 8, 9 a 16 y de 17 a 25.

Es importante que el encargado de la Gestión de Riesgos, en todo momento tenga en cuenta que la probabilidad de ocurrencia del riesgo es difícil de estimar, ya que los datos anteriores en las frecuencias no están fácilmente disponibles, como ya se mencionó. Después de todo, la probabilidad no implica certeza, pero sí es una medida aproximada. Del mismo modo, el impacto del riesgo no es fácil de estimar, ya que es a menudo difícil estimar la pérdida potencial en caso de ocurrencia del riesgo.

En síntesis, es importante considerar, que en ambos factores, la “probabilidad de ocurrencia del riesgo” y los “Eventos de riesgo de la ocurrencia”, puede cambiar en magnitud en función de la adecuación para evitar el riesgo y las medidas de prevención adoptadas por los encargados de la seguridad y debido a cambios en las condiciones económicas externas. Por lo tanto, es absolutamente necesario periódicamente re-evaluar los riesgos e intensificar / implementar las medidas de mitigación, o según sea necesario. Cambios en los procedimientos, tecnología, programas, presupuestos, las condiciones del mercado, entorno político, u otros factores suelen requerir una nueva evaluación de los riesgos.

2.2.5 Estrategia en la Gestión de Riesgo

Dado la existencia de vías alternativas existentes para identificar riesgos, efectuar evaluación y priorizar de que manera se debería tratar los riesgos potenciales, en la actualidad en las investigaciones, se recomienda la utilización de la estrategia en la gestión de los riesgos.

⁷Flyvbjerg, Bent (2006), señala que las Estrategias para gestionar el riesgo potencial, generalmente, incluyen transferir el riesgo a un tercero, evitando el riesgo, reduciendo el efecto negativo o probabilidad del riesgo, o incluso la aceptación de todas o algunas de las consecuencias potenciales o reales de un riesgo particular.

⁷ Flyvbjerg B. “Del premio Nobel a la gerencia de proyecto: Consiguiendo riesgos derechos. “Diario de la gerencia de proyecto, vol. 37, no. 3, agosto 2006.

Algunos aspectos de muchas de las normas de gestión de riesgo han sido objeto de críticas por no tener una mejora mensurable en el manejo de un determinado riesgo, si la confianza en las estimaciones y decisiones parecen aumentar.

a) La Gestión de Riesgos Intangibles. La Gestión de Riesgos intangibles identifica un nuevo tipo de riesgo que tiene una probabilidad del 100% de que ocurra, pero es ignorado por la organización debido a la falta de capacidad de identificación. Podría ser cuando el conocimiento deficiente se aplica a una situación donde existe un riesgo causante de hecho no evidenciado. La relación de riesgo aparece cuando se produce la colaboración eficaz en el proceso de la participación-riesgo, la que puede ser un problema cuando los procedimientos operativos se aplican con ineficacia. Estos riesgos se reducen directamente la productividad de los trabajadores del conocimiento, disminución de la rentabilidad, rentabilidad, servicio, calidad, reputación, valor de marca y calidad de las ganancias. Gestión de riesgos intangibles permite la gestión de riesgos para crear valor inmediato de la identificación y reducción de los riesgos que reducen la productividad.

b) Dificultades la Gestión de Riesgos en la Asignación de Recursos. La gestión de riesgos también se enfrenta a dificultades en la asignación de recursos. Esta es la idea esencial del “**costo de oportunidad**”. Los recursos dedicados a la gestión del riesgo podrían haber sido empleados en actividades más rentables. Una vez más, la gestión del riesgo ideal minimiza el gasto (o mano de obra u otros recursos) y también minimiza los efectos negativos de los riesgos.

La Evaluación del Riesgo debe producir información para la gestión de la organización que los principales riesgos son fáciles de entender y que las decisiones de gestión de riesgos puede ser una prioridad. Por lo tanto, ha habido varias teorías y los intentos de cuantificar los riesgos.

En síntesis, en toda gestión de riesgo es importante que exista una estrategia para evitar equivocaciones o apariencias engañosas. Una mejora positiva a corto plazo puede tener a largo plazo efectos negativos. Se podría pensar que si una carretera se ensancha para permitir más tráfico de automotores podría ser la solución a la alta accidentalidad. Sin embargo, más capacidad de tráfico conduce a un mayor desarrollo en los alrededores de la

capacidad del tráfico. Con el tiempo, por lo tanto aumenta el tráfico para llenar la capacidad disponible. Esto implica que las autopistas de peaje deben ser ampliadas en un ciclo aparentemente interminable por la falta de estrategias. Hay muchos ejemplos de ingeniería en una mayor capacidad (para realizar cualquier función) se llena de pronto por la mayor demanda. Dado que la expansión tiene un costo, el crecimiento resultante podría llegar a ser insostenible sin la previsión y la gestión de riesgos.

2.2.6 La Efectividad de un Sistema Industrial

⁸El Dr. Howard Finley, introdujo el concepto de Efectividad de un Sistema como método para modelar las actividades de las operaciones y del mantenimiento de los equipos, a objeto de optimizar la gerencia, en este sentido lo definió como: "La probabilidad que un sistema opere a toda capacidad durante un período de tiempo determinado".

De la afirmación del autor citado, se desprende que los aspectos referenciales mencionados anteriormente hacen aparecer a la función de mantener como una actividad dinámica donde actúan gran cantidad de variables y relaciones funcionales, dentro de un esquema de aleatoriedad que caracteriza al sistema de mantenimiento de una organización industrial, para alcanzar alta efectividad en las operaciones que se realizan a través de un equipo, sistema o máquina en el ámbito industrial.

En síntesis, la Efectividad de un Sistema está asociada a la probabilidad de la capacidad de operar durante un lapso específico. Es decir, la probabilidad determina el nivel de efectividad de un sistema o equipo industrial, evaluadas mediante normas de calidad reconocidas a nivel internacional o como las normas ISO.

⁸ Finley H. Principios de Optimización de Mantenimiento. Venezuela: Editorial Universitaria; 1995.

2.2.7 Los Costos Asociados por la Falla en la Seguridad

⁹El Dr. Howard Finley, en el concepto de “Efectividad de un Sistema” asocia a las variables de “Costo Asociados” que involucran en el sistema o equipo y consecuentemente define los conceptos de “**costo directo de mantener, costo redundante y costo de penalización**”.

El autor citado define los tres tipos de costos frente a fallas en la seguridad industrial en el funcionamiento de un sistema, del modo siguiente:

- a) **El Costo directo de mantener.** Se refiere a la totalidad de los costos necesarios para mantener los equipos operables incluyendo los servicios, reparaciones, inspección y reparaciones mayores.
- b) **El Costo Redundante.** Es el costo adicional por la condición de mantener equipos en espera, para ponerlos en funcionamiento cuando el equipo principal sale de servicio.
- c) **El costo de Penalización.** Se refiere a las pérdidas de producción, cuando los equipos primarios salen de servicio y no existen equipos en espera.

De los costos asociados del autor citado, se desprende que los tres tipos de costos descritos son identificables en el procedimiento de fallas de un sistema o equipo y en el mantenimiento industrial, las interacciones funcionales de los costos mencionados son sumamente complejas porque aparecen **variables Intervinientes**; como es el tiempo, pero en todo caso, es la gerencia industrial la que define su esquema de actuación conducente a identificar la mejor combinación de los subsistemas asociados al sistema de planta industrial, a objeto de minimizar el costo total de la operación y a optimizar los esfuerzos de mantener un complejo industrial en particular, en la mejor condición operacional, dentro de un tiempo determinado.

En síntesis, el esfuerzo de mantener en condiciones óptimas el funcionamiento de un sistema o equipo, en primer lugar, está asociado de manera directa al tiempo fuera de servicio de una instalación o subsistema o equipo; por lo que el costo total resultante en la

⁹ Finley H. Principios de Optimización de Mantenimiento. Venezuela: Editorial Universitaria; 1995.

operación es relación directa al esfuerzo de mantener. Por lo tanto, a mayor esfuerzo se comprometen más recursos económicos y materiales, razón por la cual se incrementará funcionalmente el tiempo fuera de servicio de equipos. Esto implica, que por mucho esfuerzo realizado, el costo de mantener no necesariamente será el óptimo, es más, se podrá incluso llegar a ser anti-económico.

2.2.8 Confiabilidad de los Elementos de un Sistema

¹⁰El Dr. Howard Finley, define los conceptos de “sistema, confiabilidad, y falla”, en el contenido siguiente:

2.2.8.1 Sistema: Conjunto de elementos discretos o componentes que interactúan para el cumplimiento de una función determinada. Subconjuntos de estos componentes pueden, a su vez, denotarse como subsistemas.

De lo que afirma el autor citado, se desprende que los conceptos de sistema y subsistema son conceptos relativos y dependen de la función que sea objeto de estudio. De acuerdo con la función que se defina pueden variar los límites considerados del sistema y los subsistemas. Lo que en un estudio es sistema, puede que en otro sea subsistema. De igual forma, la definición de los elementos discretos o componentes de un sistema también es relativa y depende del grado de detalle con que queramos descomponer el sistema para su estudio y, en última instancia, de las posibilidades que ofrezca la base de datos disponible. Así, en el caso de un sistema de enfriamiento, uno de los componentes podría ser la bomba, mientras que si disponemos de los datos necesarios, la bomba podría en otro caso considerarse como sistema y sus piezas como componentes.

2.2.8.2 Confiabilidad: Es la propiedad de un sistema (elemento, componente o pieza) de cumplir las funciones para él previstas, manteniendo su capacidad de trabajo bajo los regímenes y condiciones de explotación prescritos y durante el intervalo de tiempo requerido.

¹⁰ Finley H. Principios de Optimización de Mantenimiento. Venezuela: Editorial Universitaria; 1995.

De lo que afirma el autor citado, se desprende que dicho de otra forma, la “confiabilidad es la propiedad del sistema de mantenerse sin experimentar un suceso de falla durante el tiempo y las condiciones de explotación establecidos”.

2.2.8.3 Falla: Suceso después del cual el sistema tecnológico deja de cumplir (total o parcialmente) sus funciones. La falla es la alteración de la capacidad de trabajo del componente o sistema.

Las fallas pueden ser clasificadas de acuerdo con una serie de índices, que se recogen de manera general en la tabla 2.1. La falla catastrófica conduce a la alteración de la capacidad de trabajo. A este tipo de falla corresponden la ruptura y el cortocircuito; las fracturas, deformaciones y atascamiento de las piezas mecánicas, etc. Las fallas paramétricas son fallas parciales que conllevan a una degradación de la capacidad de trabajo, pero no a su interrupción total.

Las fallas, como hechos casuales, pueden ser independientes o dependientes. Si la falla de un elemento cualquiera de un sistema no motiva la falla de otros elementos, éste será un hecho o acontecimiento independiente. Si la aparición de la falla en un elemento o si la probabilidad de ocurrencia de la falla ha cambiado con la falla de otros elementos, esta falla será un hecho dependiente. Análogamente se definen como dependientes o independientes las fallas de sistemas con respecto a las de otros sistemas.

Las fallas repentinas (inesperadas) aparecen como consecuencia de la variación brusca (catastrófica) de los parámetros fundamentales bajo la acción de factores casuales relacionados con defectos internos de los componentes, con la alteración de los regímenes de funcionamiento o las condiciones de trabajo, o bien con errores del personal de servicio, etc. En las fallas graduales se observa la variación suave de los parámetros debido al envejecimiento y al desgaste de los elementos o de todo el sistema.

Tabla 2.1 Clasificación de las Fallas.

Índice de Clasificación	Tipos de Fallas
Según el grado de influencia en la capacidad de trabajo	catastrófica paramétrica
Según la influencia de fallas de otros elementos	independiente
	dependiente
Según el carácter de su proceso de aparición	repentina gradual
Según el tiempo de permanencia del estado fallado	estable temporal intermitente
Según el momento en que se manifiesta	de interrupción de bloqueo
Según la forma de su detección	revelable
	oculta
Según la naturaleza de su origen o causas	primaria
	secundaria
	comando
	modo común

Fuente: Finley H. Principios de Optimización de Mantenimiento. Venezuela: Editorial Universitaria; 1995.

Elaboración: Propia.

De lo que afirma el autor citado, se desprende que las fallas estables son aquellas que se eliminan sólo con la reparación o la regulación, o bien sustituyendo al elemento que falló. Las fallas temporales pueden desaparecer espontáneamente sin la intervención del personal de servicio debido a la desaparición de los motivos que la provocaron. Las causas de tales fallas frecuentemente son los regímenes y condiciones de trabajo anormales. Las fallas temporales que se repiten muchas veces se denominan intermitentes o alternantes. Ellas atestiguan la existencia de anomalías en la calidad del equipamiento o en regímenes y condiciones de trabajo.

Las fallas de interrupción son las que se producen en el equipamiento en operación interrumpiendo su trabajo. Las fallas de bloqueo impiden el arranque o puesta en funcionamiento de sistemas o componentes sobre la demanda, es decir, bloquean la puesta en funcionamiento de sistemas que están a la espera. Las fallas revelables son aquellas que se revelan al personal de operación inmediatamente después de su ocurrencia porque sus efectos se manifiestan directamente en los parámetros de funcionamiento de la instalación tecnológica o se detectan a través del sistema de control. Se trata de fallas de sistemas en

funcionamiento, o a la espera con control de sus parámetros. Las fallas ocultas no se revelan al personal de operación por ninguna vía en el momento de su ocurrencia, pero la condición de falla permanente está latente hasta ser descubierta por una prueba o sobre la demanda de operación del sistema en cuestión. Se trata, por tanto, de fallas de sistemas que trabajan a la espera.

Las fallas primarias son intrínsecas del elemento y responden a sus características internas. Las fallas secundarias son debidas a condiciones ambientales o tensiones operativas excesivas impuestas a un elemento desde el exterior. Las fallas comando son las originadas por la operación indebida o la no operación de un elemento iniciador (elemento que controla o limita el flujo de energía que llega al elemento considerado). Dentro de las fallas secundarias y comando se pueden definir las fallas modo o causa común que son aquellas en que fallan varios elementos, producto de una misma causa.

En síntesis, los conceptos de sistemas, confiabilidad y fallas, son los elementos esenciales en el proceso de gestión de riesgo del estudio y dirección para conseguir un nivel de seguridad en las operaciones de la empresa.

2.2.9 La Probabilidad como Índice de Confiabilidad

¹¹El Dr. Howard Finley, señala que la Efectividad de un Sistema, es función de la Disponibilidad asociada a "la probabilidad que un sistema, subsistema o equipo disponible tiene para su uso durante un tiempo dado".

La afirmación del autor citado se puede interpretar como sigue:

2.2.9.1 Índices Cuantitativos de Confiabilidad.

Entre los parámetros fundamentales que caracterizan la confiabilidad de elementos y sistemas se tienen los siguientes:

¹¹ Finley H. Principios de Optimización de Mantenimiento. Venezuela: Editorial Universitaria; 1995.

a) Probabilidad de trabajo sin fallas o probabilidad de supervivencia: Es la probabilidad de que en un intervalo de tiempo prefijado (o en los límites de las horas de trabajo dadas) con regímenes y condiciones de trabajo establecidos no se produzca ninguna falla, es decir, la probabilidad de que el dispositivo dado conserve sus parámetros en los límites prefijados durante un intervalo de tiempo determinado y para condiciones de explotación dadas. La denotaremos por $P_s(t)$.

De esta definición se infiere que la probabilidad de supervivencia es el índice a través del cual se cuantifica la confiabilidad de un sistema o elemento técnico. La cuantificación de la confiabilidad como una probabilidad está determinada por el carácter aleatorio del suceso al que está referida (aparición de la falla). Dicho suceso, aunque aleatorio, está condicionado por factores de diseño, calidad de la ejecución y explotación, etc., cuya influencia se refleja en su probabilidad. Por tanto, la influencia de estos factores sobre la confiabilidad también es susceptible de cuantificar.

b) Probabilidad de falla. Es la probabilidad de que en un intervalo de tiempo prefijado se produzca al menos una primera falla. La denotaremos por $P_f(t)$. Puesto que el trabajo defectuoso y el trabajo sin fallas son sucesos complementos, tendremos que:

$$P_f(t) = 1 - P_s(t)$$

Desde el punto de vista matemático $P_s(t)$ y $P_f(t)$ constituyen funciones de distribución acumulada.

2.2.9.2 Medición del Riesgo Industrial basado en la Probabilidad.

La palabra riesgo expresa la posibilidad de pérdida de la vida o daño a las personas y la propiedad de los bienes económicos. Para establecer valoraciones comparativas de riesgo de accidentes se utiliza la siguiente definición técnica:

$$R = P * C$$

Donde los elementos de la expresión anterior significan:

R es el riesgo expresado en consecuencias por unidad de tiempo; **P** es la probabilidad o frecuencia de ocurrencia del evento al que se asocia el riesgo, expresada en eventos por unidad de tiempo; y, **C** es la magnitud del evento o cantidad, expresada en consecuencias por el evento.

La medición de Riesgo de las personas en accidentes de automotores de ciudad cualquiera:

- a) En promedio mueren 5 personas por cada 20 accidentes en el lapso de los tres años.
La probabilidad de ocurrencia o frecuencia es $p = 5 / 20 = 0.005 = 5\%$
- b) En promedio han ocurrido 10 accidentes por mes y/o 120 accidentes en cada año en la población de 1 000 000.
- c) El Riesgo de muertes a personas es:

$$R = 0.005 \times 1\,000\,000 = 5\,000 \text{ personas amenazadas de muerte}$$

El riesgo puede expresarse de dos formas principales, dependiendo del tipo de daño asociado al mismo, esto es:

- **Riesgo individual:** probabilidad de daño de cada individuo expuesto (promedio).
- **Riesgo social:** daño colectivo al público o al entorno.

El concepto de riesgo social está basado en la premisa según la cual la sociedad se preocupa más por los eventos en que muere mayor número de personas o que ocasionan afectaciones considerables al entorno, que por aquellos en que el número de muertes es más pequeño y no ocasionan afectaciones significativas más allá de su punto de ocurrencia, a pesar de que estos últimos son de mayor probabilidad y cobran anualmente un mayor número de vidas.

El daño a las personas puede expresarse en términos de daños inmediatos (como muerte, lesionados), o daños a la salud a más largo plazo (la incidencia de cáncer u otras

afecciones). El daño colectivo puede expresarse en los mismos términos de daño a las personas (número de personas con estado de daño dado) o en otros términos que permitan evaluar el impacto social (pérdidas económicas en términos monetarios o en días-hombre de producción, pérdida por lesiones o muerte, áreas de terreno afectadas, aguas contaminadas, etc.).

Lo anterior se ilustra con los ejemplos siguientes. En el caso de una sociedad donde ocurren 1.000.000 de accidentes automovilísticos en promedio por un año y que en uno de cada 200 accidentes resulta una muerte. El riesgo social de muerte por concepto de accidentes automovilísticos será: $(1 \times 10^6 \text{ accidentes} / \text{año}) \times (1 \text{ muerte} / 200 \text{ accidentes}) = 5000 \text{ muertes} / \text{año}$. Si esta sociedad estuviese integrada por 100 millones de personas y suponiendo que el riesgo colectivo está uniformemente distribuido, el riesgo individual será: $(5000 \text{ muertes} / \text{año}) / (100 \times 10^6) \text{ personas} = 5 \times 10^{-5} \text{ muertes} / \text{persona-año}$.

El riesgo anterior puede expresarse a su vez en una forma más comprensible, como una tasa anual de mortalidad por accidentes equivalente a: 5 personas por cada 100.000 expuestos, ó 0.5 por cada 10.000, 0.05 por cada 1.000 etc. Los números fraccionarios obviamente no tienen significado físico, ya que una persona sólo muere como un todo, pero son útiles en el análisis matemático del riesgo.

Análisis de Riesgo. Otros riesgos adicionales debido a accidentes automovilísticos son las lesiones a personas y daños a la propiedad. Suponiendo en el ejemplo anterior que 20 personas resultan seriamente lesionadas por cada una que fallece debido a estos tipos de accidentes, entonces como promedio 1 persona es lesionada por cada 10 accidentes.

Luego el riesgo social en estos términos será: $(1 \times 10^6 \text{ accidentes/año}) \times (1 \text{ lesionado} / 10 \text{ accidentes}) = 100.000 \text{ lesionados} / \text{año}$ y el riesgo individual correspondiente será $(100.000 \text{ lesionados/año}) / (100 \times 10^6 \text{ personas}) = 1 \times 10^{-3} \text{ lesionados} / \text{persona-año}$ o, por ejemplo, una tasa de 1 lesionado de cada 1000 personas. Por otro lado, si se estima el valor de las pérdidas por daño a la propiedad y por lesiones o muerte (pérdida en días-hombres de producción, de 6000 días-hombre, en caso de muerte se puede calcular análogamente el riesgo en términos económicos. Las pérdidas económicas globales de la sociedad por

concepto de accidentes son considerables y están dominadas, por lo general, por los accidentes de tránsito y los incendios.

Por otro lado, si se estima el valor de las pérdidas por daño a la propiedad y por lesiones o muerte (pérdida en días-hombres de producción, de 6000 días-hombre), en caso de muerte se puede calcular análogamente el riesgo en términos económicos. Las pérdidas económicas globales de la sociedad por concepto de accidentes son considerables y están dominadas, por lo general, por los accidentes de tránsito y los incendios. Por último definiremos el riesgo tecnológico que es aquel en que las consecuencias del accidente se expresan en términos de estado de daño a la tecnología (medios de transporte, instalación industrial, componente de la misma), directamente relacionados con el daño potencial a las personas y al entorno, pero sin abarcar las consecuencias sobre estos últimos. Ejemplos de definición de tales estados de daño pueden ser: la caída de un avión, la liberación de productos tóxicos de plantas químicas, el daño del combustible nuclear o la liberación de radiactividad en los reactores nucleares. Obviamente la definición de estado de daño o suceso indeseado depende, en primer lugar, de las particularidades de la tecnología analizada, pero puede variar para una misma tecnología en dependencia de los objetivos específicos del estudio a emprender. Los análisis de riesgo tecnológico tienen un alcance más limitado, pero permiten llegar más directamente y con menos esfuerzos a los objetivos buscados, cuando se trata de detectar puntos débiles en el diseño o en la operación de los sistemas analizados, con miras a la introducción de mejoras ingenierías para elevar la seguridad.

2.2.9.3 Análisis de Riesgo Industrial

A manera de ilustración de los valores que pueden adoptar diferentes riesgos para una sociedad moderna, en la tabla 2.2 se relacionan los riesgos individuales de muerte atribuidos a diferentes causas en Estados Unidos para 1999, cuando su población era de 200 millones de personas (datos tomados de WASH-1400).

En síntesis, mediante el análisis anterior se explica el riesgo individual y el riesgo social, el método de medición. Esta ilustración permite, la aplicación práctica del concepto de riesgo asociados a la probabilidad de ocurrencia de eventos. Los datos de probabilidad indicados

en la tabla permiten una cierta idea sobre la estimación de riesgo, pero no es una manera sistemática de evaluación de riesgo a un proceso industrial completo de operaciones.

Tabla 2.2 Riesgos Individuales de Muerte por Varias Causas. EE UU 2009

Tipo de Accidente	Cantidad Total de Muertos	Riesgo Individual
Vehículos de motor	55791	3×10^{-4}
Caídas	17827	9×10^{-5}
Fuegos y sustancias calientes	7451	4×10^{-5}
Ahogamiento	6181	3×10^{-5}
Envenenamiento	4516	2×10^{-5}
Armas de fuego	2309	1×10^{-5}
Maquinaria	2054	1×10^{-5}
Viajes aéreos	1778	9×10^{-6}
Caída de objetos	1271	6×10^{-6}
Electrocución	1148	6×10^{-6}
Líneas ferroviarias	884	4×10^{-6}
Rayos	160	5×10^{-7}
Tornados	118	4×10^{-7}
Huracanes	90	4×10^{-7}
Accidentes Nucleares(100 reactores)	---	2×10^{-10} *

2.2.10 La Disponibilidad en Base a la Probabilidad

¹²Antonio Lozano Conejero, el concepto de Disponibilidad como medida probabilística de que un sistema esté disponible a requerimiento del Sistema Operativo de una Planta Industrial, es de extraordinaria importancia para la Gerencia de Operaciones y de Mantenimiento. El complemento de este concepto o indisponibilidad de un sistema, subsistema o equipo, se utilizará con frecuencia en los análisis de funcionalidad por la forma práctica que toma el concepto en las aplicaciones computarizadas.

La disponibilidad como parámetro de mantenimiento a su vez es función de dos elementos muy importantes: en primer lugar de la “Confiabilidad” de un sistema, subsistema o equipo

¹²Lozano Conejero A. Confiabilidad – Teoría y Práctica. Buenos Aires: Editorial Universitaria; 1969.

y en segundo lugar de la “Mantenibilidad”. Por la importancia de los dos elementos, se hace referencia comparativa a los tres autores siguientes:

- a) La Confiabilidad técnicamente Antonio Lozano Conejero, la define como: "la característica de un elemento expresada por la probabilidad que cumpla sus funciones específicas durante un tiempo determinado cuando se coloca en las condiciones del medio exterior".
- b) La Confiabilidad técnicamente Howard Finley la define como: "**La Probabilidad que un Equipo no falle mientras esté en servicio durante un período de tiempo dado**".
- c) Por último, Valhuerdi y Quintero la definen como: "la propiedad de un sistema de cumplir las funciones para él previstas, manteniendo su capacidad de trabajo bajo los regímenes y condiciones de explotación prescritos y durante el intervalo de tiempo requerido".

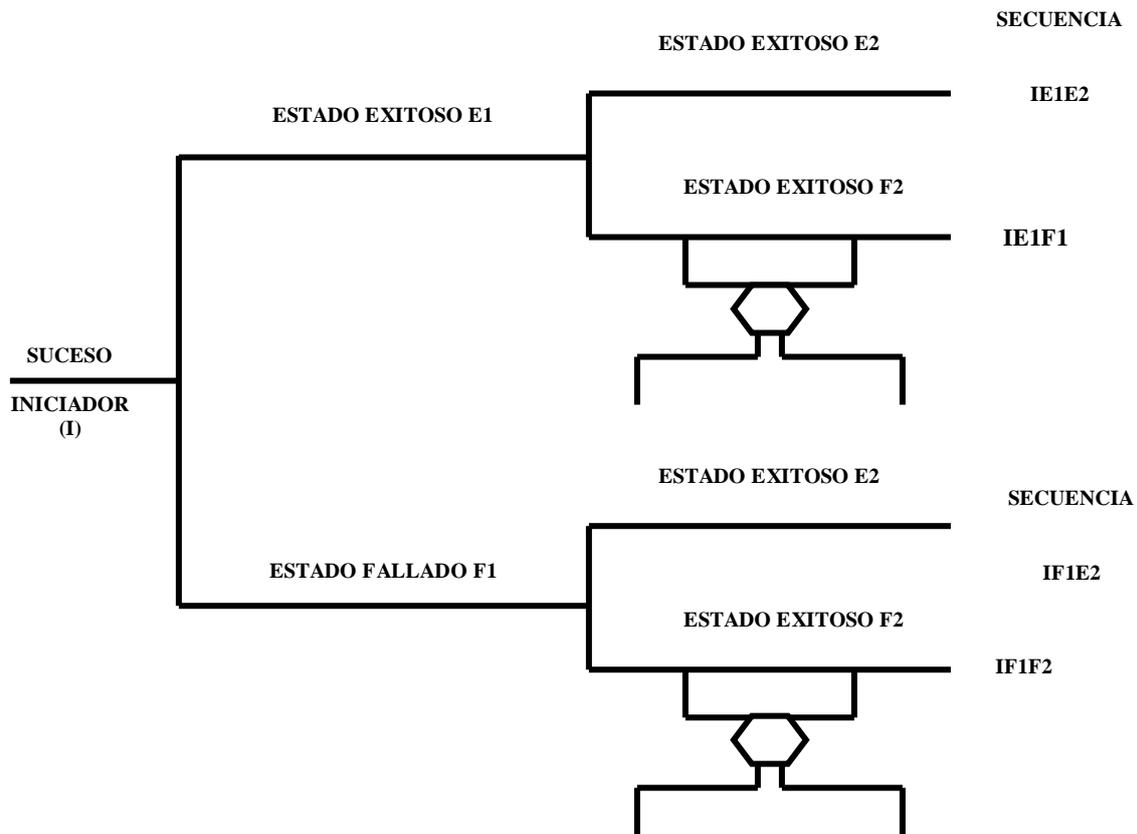
En síntesis, a partir del concepto de probabilidad como medida de la capacidad de Disponibilidad de los Sistemas Industriales Operativos, permite el diseño de aplicaciones computacionales, con lo cual se puede mejorar significativamente la Evaluación de Riesgo y de esa manera incidir en el mejoramiento de la Seguridad Industrial en una Planta de Operaciones compleja.

2.2.11 La Probabilidad en el Árbol de Fallas

¹³Murriay Spiegel, señala que en el análisis de riesgo industrial, un evento puede estar en varios eventos independientes más probables. Este es el principio básico de las técnicas de árboles de eventos y árboles de fallas. Esto se ilustra en la Fig. 2-1.

¹³Murray S. Estadística. Pg. 158. 2ª ed. España: McGraw Hill; 2006.

Figura 2.1 Representación del Árbol de Problemas



Fuente: Murray S. Estadística. Pg. 158. 2ª ed. España: McGraw Hill; 2006.

En este caso, la determinación de las probabilidades de accidentes en sistemas tecnológicos complejos. El evento iniciador descompone sucesivamente el suceso indeseado en otros más probables que contribuye al mismo, como sucesos iniciadores, secuencias accidentales, fallas de sistemas y fallas de componentes. Se atenderá suceso u eventos independientes, cuando no tienen aspectos comunes que los relacionen en su ocurrencia.

2.2.11.1 Árboles de Eventos y Árboles de Fallas

De la forma indicada en la Figura 2.1, a partir de datos estadísticos se estiman las probabilidades de estado fallado o indisponibilidad de componentes, a partir de éstos sistemas y las frecuencias de secuencias que conducen al suceso raro, y con la suma de estas últimas la frecuencia del suceso raro. En el caso de un reactor nuclear, el suceso raro es el daño al combustible, en una evaluación probabilística de riesgos de primer nivel.

La metodología anterior conocida como Análisis Probabilista de Seguridad (APS) se aplicó por vez primera a dos plantas nucleares en los Estados Unidos (Surry y Peach Botton) en un estudio para la estimación del riesgo en este tipo de instalaciones, conocido como Estudio de Seguridad del Reactor (WASH-1400), publicado en 1975, lo que fue considerado como método para tomar decisiones.

A pesar de controversias iniciales, se ha alcanzado progresivamente un consenso en la comunidad técnica internacional sobre la utilidad de tales estudios, por las interioridades de la seguridad de la tecnología que logra revelar y los criterios que brindan para la toma de decisiones respecto a la prevención y mitigación de accidentes. Este proceso ha sido catalizado por dos grandes accidentes que se produjeron con posterioridad en el ámbito de la energética nuclear: el de Three Miles Island, Harrisburg, E.U. (1979) y el de Chernobil, Ucrania, URSS (1986), el primero de los cuales fue previsto en una de las secuencias accidentales más importantes determinadas en el estudio WASH-1400.

En síntesis, las particularidades del desarrollo de secuencias accidentales y de su cuantificación se exponen en lo relacionado con la estimación de probabilidad conjunto y por aplicación del Teorema de Bayes. Por otro lado, para la cuantificación del riesgo es necesario estimar las consecuencias de los caminos de mayor probabilidad del accidente, para lo cual se requiere el conocimiento y la modelación de los procesos que lo acompañan, que por lo general son específicos de cada tipo de tecnología.

2.2.12 Creación de un Plan de Gestión de Riesgos

¹⁴Moteff, John (2005) en concordancia con ISO / IEC 27001, señala que la “etapa inmediata después de la finalización de la **Evaluación de Riesgos**, es la fase que consiste en la preparación de un **Plan de Tratamiento de Riesgos**, que debe documentar las decisiones acerca de cómo cada uno de los riesgos identificados deben ser manejados”.

De lo señalado por el autor citado, se desprende que un Plan de Gestión de Riesgos, debe tratar la mitigación de riesgos, la que debe tener por objeto la selección de **los controles**

¹⁴ Moteff J. Gestión de Riesgos y Protección de Infraestructura Crítica: Evaluar, Integrar y Gestionar las Amenazas, Vulnerabilidades y Consecuencias. Washington DC. Congress Report. 2005.

de seguridad, documentada en una Declaración de Aplicabilidad, que identifica los objetivos particulares de control y controles de las normas que han sido seleccionadas, y por qué razón.

El plan de gestión de riesgos debe proponer los controles de seguridad, aplicables y eficaces para la gestión de los riesgos de éxito. Un caso entre otros, sería el alto riesgo observado de los virus informáticos, que podrían ser mitigados mediante la adquisición e implementación de software antivirus. Además un plan de gestión de riesgos debe contener un calendario para la aplicación de control y las personas responsables para efectuar esas acciones.

En síntesis, el Plan de Gestión de Riesgo contempla la selección de los controles adecuados o contramedidas para medir cada riesgo, es la etapa posterior a la Evaluación y priorización de los Riesgos. Sin embargo, la mitigación de riesgos debe ser aprobado por el nivel correspondiente de la administración de la organización o empresa. Tal es así, que un riesgo relacionado con la imagen de la organización debe tener la decisión la alta dirección detrás de ella, mientras que la gestión de la tecnología de información (TI) tiene la autoridad para decidir sobre los riesgos de virus informáticos.

2.2.13 Implementación de un Plan de Gestión de Riesgos

¹⁵ Londres: Instituto de Gestión de Riesgos, sostienen que “la implantación sigue todos los métodos previstos para la mitigación de los efectos de los riesgos. Políticas de compra de seguros para los riesgos que se han decidido a ser transferido a una compañía de seguros, evitar todos los riesgos que pueden evitarse sin sacrificar los objetivos de la entidad, reducir otros, y retener el resto”.

Del enfoque de implementación por el Instituto de Gestión de Riesgo citado, se desprende que los aspectos señalados pueden ser interpretados como sigue.

¹⁵ Instituto de Gestión de Riesgos / AIRMIC / ALARMA (2002) una gestión de riesgos. Londres: Instituto de Gestión de Riesgos.

2.2.13.1 Revisión de Elementos y Evaluación del Plan de Gestión de Riesgos.

El Plan de Gestión de Riesgo es tan solo una guía para las acciones pero que nunca será una fórmula perfecta. El plan puede ser usado como herramienta ejecutiva eficaz y eficiente para la identificación, evaluación y priorización de los riesgos, especialmente en la mitigación. Sin embargo, los resultados de la práctica, la experiencia y las amenazas de posibles pérdidas reales, obligan a efectuar las modificaciones en el plan para aportar información relevante que permita que las posibles decisiones que se hizo sean efectivas para hacer frente a los riesgos que se deben enfrentar, en unos casos evitar y en otros mitigar.

2.2.13.2 Actualización de Planes de Gestión de Riesgo. De acuerdo a los resultados obtenidos, las desviaciones y cambios en los escenarios, los planes de gestión de riesgos deberán ser actualizados periódicamente. Las dos razones principales son:

- **Evaluar si los Controles de Seguridad.** Seleccionados e implementados, para saber si siguen siendo válidos y eficaces para alcanzar las metas y los objetivos de la empresa.
- **Evaluar los Cambios de nivel de Riesgo posible en el entorno.** De la organización o empresa. Estos cambios, se podrán percibir en los riesgos de la información rápida sobre el comportamiento del entorno tecnológico y empresarial.

2.2.13.3 Limitaciones por deficiente Evaluación y Priorización de los Riesgos. La deficiente evaluación y priorización puede presentarse cuando el personal encargado no se encuentra capacitado y cuando en cada área de la empresa no se cuenta con una metodología adecuada para identificar, evaluar y priorizar los riesgos. Esta deficiencia, no permite a los encargados de las operaciones hacer frente a los Riesgos de pérdidas económicas, posibles daños a la infraestructura de operaciones, amenazas a la vida humana y contaminación ambiental. Es decir, por la falta de un plan de gestión de riesgos, pueden ocurrir daños y pérdidas económicas que podrían ser evitados.

2.2.14 Análisis Modal de Fallos y Efectos en Evaluación de Riesgos

El Análisis Modal de Causas y Efectos “AMFE”, es una Metodología basada en el concepto de probabilidad, la que puede ser aplicada en el diseño de un producto o servicio o en el proceso de producción de la organización.

2.2.14.1 Creación y Formación del Equipo AMFE

El Equipo de Trabajo. Estará compuesto por personas que dispongan de conocimientos profesionales y experiencia amplia del producto/servicio, y/o proceso objeto del AMFE.

Se designará un Coordinador para el grupo con dominio de la técnica AMFE, el que se encargará de la organización de las reuniones. Por lo tanto, ser el encargado de guiar al grupo en la realización del trabajo en el Subsistema con riesgo controlado.

2.2.14.2 Identificar el Tipo de AMFE, su Objeto y Límite.

Se identificará de forma precisa el producto o parte del producto, el servicio o el proceso objeto de estudio, delimitando el campo de aplicación del AMFE. Este objeto de estudio no debe ser demasiado amplio, pero con la posibilidad de subdivisión y la realización de varios AMFE.

Para el cumplimiento de este paso, se requiere un conocimiento básico común a todos los integrantes del grupo, objeto de estudio. En el caso de un AMFE de proceso, se recomienda un diagrama de flujo, que clasifique los datos para todos los participantes.

Paso 1. El Nombre y Componente.

En la primera columna se escribe el nombre y /o componente en el que se va aplicar el AMFE. También se deben incluir los subsistemas, equipos y componentes, ya sea de diseño de producto o proceso.

Paso 2. Operación o Función.

Es la función o las funciones que el subsistema debe cumplir dentro del sistema principal, por lo que en los pasos siguientes se detallan cada una de las funciones que el subsistema realiza dentro del sistema.

Lo anterior significa escribir la información según la función de diseño o proceso del AMFE que este realizando. Para el AMFE de diseño se debe incluir las funciones que realiza cada componente. Para el AMFE de proceso, se deben reflejar las operaciones que se realizan dentro del proceso de producción o fabricación de cada componente. Se debe incluir las operaciones de abastecimiento, producción, de embalaje, almacenamiento y transporte.

Paso 3. Modo de Fallo. Un “Modo de Fallo”, significa que un elemento o un sistema no satisfacen o no funciona de acuerdo con la especificación. Simplemente, no se obtiene lo que se espera del funcionamiento del sistema. El fallo es una desviación o defecto de una función o especificación. Con esta definición, una falla puede no ser detectada inmediatamente por el cliente. Sin embargo, en el análisis o investigación debe ser considerada como tal.

Paso 4. Efecto de Fallo. Los efectos comprenden los síntomas. Generalmente hacen referencia al rendimiento o prestación defectuosa.

Cuando se analiza una parte o componente se tendrá también en cuenta la repercusión en todo el sistema, lo que ofrecerá una descripción más clara del efecto. Si un modo de fallo tiene “muchos efectos al momento de evaluar, se “elegirá el efecto más grave”

Entre los efectos típicos de fallos, se pueden citar los siguientes:

- b) **De Diseño.** Ruido, inoperante, olor desagradable, inestable, acabado no atractivo, etc.
- c) **De Proceso.** No puede sujetar, no cierra bien, no puede almacenar, no puede perforar.

Paso 5. Gravedad del Fallo. El índice de Gravedad del Fallo (IG), valora el nivel de las consecuencias sentidas en el cliente. Esta clasificación está basada únicamente en los efectos del fallo. El valor positivo del IG, crece en función de:

- d) La insatisfacción del cliente. Si se produce un gran descontento en los clientes, no comprarán más.
- e) La degradación de las prestaciones. La rapidez de la aparición de averías.
- f) El costo de la reparación.

El índice de Gravedad (IG) es independiente de la frecuencia y detección. Para utilizar criterios comunes en la empresa, se tiene que utilizar la tabla de clasificación de la gravedad o severidad de cada efecto de fallo, con lo que se obtiene la valorización.

Paso 5. Gravedad del Fallo:

Tabla 2.3. Clasificación según Gravedad o Severidad de Fallo

Cuadro de Clasificación de la gravedad del modo de fallo		
Gravedad	Criterio	Valor
Muy Baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, este observará un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable.	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema.	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado en el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevada.	7-8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta al funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10.	9-10

Fuente: Nota Técnica de Prevención NTP 679.
Elaboración: Propia.

Paso 6. Características Críticas. Siempre que la gravedad sea 9 ó 10, y que la frecuencia y detección sean superiores a 1, se considera el fallo y las características que le corresponden como críticas. Estas características, que pueden ser una especificación o una cota, se identifican con un triángulo invertido, u otro signo en el documento AMFE, en el plan de control y en el plano si le corresponde. Aunque el Índice de Probabilidad de Riesgo (IPR) resultante sea menor que el especificado como límite, conviene actuar sobre estos modos de fallo.

Paso 7. Causa del fallo. En esta columna se reflejan todas las causas potenciales de fallo atribuibles a cada modo de fallo. La causa potencial de fallo se define como indicio de una debilidad del diseño o proceso cuya consecuencia es el modo de fallo. Las causas relacionadas deben ser lo más concisas y completas posibles, de modo que las acciones correctoras y/o preventivas puedan ser orientadas hacia las causas pertinentes.

Entre las causas típicas de fallo podrían citarse las siguientes:

- En diseño: porosidad, uso de material incorrecto, sobrecarga.
- En proceso: daño de manipulación, utillaje incorrecto, sujeción, amarre.

Decir que al igual que en la obtención de los efectos se hacía uso del diagrama "causa-efecto", a la hora de detectar las causas de un fallo se hace uso del "Árbol de fallos" que permitirá obtener las causas origen de un fallo.

Paso 8. Probabilidad de ocurrencia. Ocurrencia se define como la probabilidad de que una causa específica se produzca y dé lugar al modo de fallo. El índice de la ocurrencia representa más bien un valor intuitivo más que un dato estadístico matemático, a no ser que se dispongan de datos históricos de fiabilidad o se haya establecido un modelo y previsto éstos. En esta columna se pondrá un valor de probabilidad de ocurrencia de la causa específica.

Este índice de frecuencia está íntimamente relacionado con la causa de fallo, y consiste en calcular la probabilidad de ocurrencia en una escala del 1 al 10, como se indica en la tabla siguiente:

Paso 8. Probabilidad de Ocurrencia

Tabla 2.4. Clasificación según la Probabilidad de Ocurrencia

Cuadro de Clasificación de la frecuencia/ probabilidad de ocurrencia del modo del fallo		
Frecuencia	Criterio	Valor
Muy Baja Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del Sistema, aunque es poco probable que suceda	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	9-10

Fuente: Nota Técnica de Prevención NTP 679

Elaboración: Propia

Cuando se asigna la clasificación por ocurrencia, deben ser consideradas dos probabilidades:

- La probabilidad de que se produzca la causa potencial de fallo. Para esto, deben evaluarse todos los controles actuales utilizados para prevenir que se produzca la causa de fallo en el elemento designado.
- La probabilidad de que, una vez ocurrida la causa de fallo, ésta provoque el efecto nocivo (modo) indicado. Para este cálculo debe suponerse que la causa del fallo y de modo de fallo son detectados antes de que el producto llegue al cliente.

Para **reducir el índice de frecuencia**, hay que emprender una o dos acciones:

- Cambiar el diseño, para reducir la probabilidad de que la causa de fallo pueda producirse.
- Incrementar o mejorar los sistemas de prevención y/o control que impiden que se produzca la causa de fallo.

El consejo que se da para reducir el índice de frecuencia de una causa es atacar directamente la "raíz de la misma". Mejorar los controles de vigilancia debe ser una acción transitoria, para más tarde buscar alguna solución que proporcione una mejora de dicho índice.

Paso 9. Controles actuales. En esta columna se reflejarán todos los controles existentes en la actualidad para prevenir las causas del fallo y detectar el efecto resultante.

Paso 10. Probabilidad de No Detección. Este índice indica la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, supuestamente aparecido, llegue al cliente. Se está definiendo la "**no-detección**", para que el índice de prioridad crezca de forma análoga al resto de índices a medida que aumenta el riesgo. Tras lo dicho se puede deducir que este índice está íntimamente relacionado con los controles de detección actuales y la causa. A continuación se muestra la formulación de la tabla que relaciona la probabilidad de que el defecto alcance al cliente y el índice de detección. (D)

Tabla 2.5. Clasificación según la Probabilidad Detección

Cuadro de Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo		
Detectabilidad	Criterio	Valor
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2 – 3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción.	4 – 6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento	7 – 8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9 – 10

Fuente: Nota Técnica de Prevención NTP 679

Elaboración: Propia

Es necesario no confundir control y detección, pues una operación de control puede ser eficaz al 100%, pero la detección puede resultar nula si las piezas no conformes son finalmente enviadas por error al cliente.

Para mejorar este índice será necesario mejorar el sistema de control de detección, aunque por regla general aumentar los controles signifique un aumento de coste, que es el último medio al que se debe recurrir para mejorar la calidad. Algunos cambios en el diseño también pueden favorecer la probabilidad de detección.

Paso 11. Número de Prioridad de Riesgo (NPR). El Número de Prioridad de Riesgo (NPR) es el producto de la probabilidad de ocurrencia, la gravedad, y la probabilidad de no detección, y debe ser calculado para todas las causas de fallo. El NPR es usado con el fin de priorizar la causa potencial del fallo para posibles acciones correctoras. El NPR también es denominado IPR (índice de prioridad de riesgo).

Paso 12. Acción correctora. En este paso se incluye una descripción breve de la acción correctora recomendada. Para las acciones correctoras es conveniente seguir un cierto orden de prioridad en su elección. El orden de preferencia en general será el siguiente:

1. Cambio en el diseño del producto, servicio o proceso general.
2. Cambio en el proceso de fabricación.
3. Incremento del control o de la inspección.

Para un mismo nivel de calidad o un mismo valor del índice de prioridad NPR en dos casos, suele ser más económico el caso que no emplea ningún control de detección. Es en general más económico reducir la probabilidad de ocurrencia de fallo (si se encuentra la manera de conseguirlo) que dedicar recursos a la detección de fallos.

Es conveniente considerar aquellos casos cuyo índice de gravedad sea 10, aunque la valoración de la frecuencia sea subjetiva y el NPR menor de 100 o del valor considerado como límite.

Cuando en un modo de fallo intervienen muchas causas que no son independientes entre sí, la primera medida correctora puede ser la aplicación del Diseño de Experimentos (DDE), que permitirá cuantificar objetivamente la participación de cada causa y dirigir acciones concretas. Es un medio muy potente y seguro para reducir directamente la frecuencia de defectos.

Paso 13. Definir responsables. Esta columna se indicarán los responsables de las diferentes acciones propuestas y, si se cree preciso, las fechas previstas de implantación de las mismas.

Paso 14. Acciones implantadas. En esta columna se reflejarán las acciones realmente implantadas que pueden, en algunos casos, no coincidir con las propuestas inicialmente recomendadas.

Paso 15. Nuevo Número de Prioridad de Riesgo. Como consecuencia de las acciones correctoras implantadas, los valores de la probabilidad de ocurrencia (O), la gravedad (S),

y/o la probabilidad de no detección (D) habrán disminuido, reduciéndose, por tanto, el Número de Prioridad de Riesgo. Los nuevos valores de S, O, D y NPR se reflejarán en las columnas 15, 16, 17 y 18.

Si a pesar de la implantación de las acciones correctoras, no se cumplen los objetivos definidos en algunos Modos de Fallo, es necesario investigar, proponer el implantar nuevas acciones correctoras, hasta conseguir que el NPR sea menor que el definido en los objetivos. Una vez conseguido que los NPR de todos los modos de fallo estén por debajo del valor establecido, se da por concluido el AMFE.

2.2.15 Implantación del AMFE

Como requisito previo necesario para implantar el AMFE en una empresa hay que contar con el apoyo de la gerencia. Conseguir el apoyo de la gerencia es muy importante, ya que la elaboración del AMFE:

- se realiza en horas de trabajo;
- implica cambios (y los cambios cuestan dinero y no son fáciles de hacer);
- se llega a conclusiones que requieren el apoyo de la dirección.

La gerencia tiene que conocer el método, apoyar su aplicación y animar al equipo de trabajo, ya que la persistencia en el esfuerzo es uno de los factores de éxito.

Las etapas para la implantación sistemática del AMFE en la empresa son las siguientes:

Figura 2.2. Etapas para la Implantación Sistemática del AMFE



Fuente: Modelo AMFE, Librería HOR DAGO.

A continuación, se analizan cada una de estas etapas:

1. Crear y formar el equipo AMFE

Los miembros del grupo deben formarse específicamente en el método AMFE y también en las técnicas de análisis y solución de problemas. La práctica más usual es formar un grupo base como máximo de 6 personas, de las áreas de Ingeniería, Métodos, Producción y Calidad para que luego éstas sean capaces de formar a los miembros que se incorporen a los grupos de AMFE.

Hay que explicar a todos los miembros del equipo lo que es el AMFE, diagramas de flujo o de bloques funcionales, las técnicas estadísticas que se van a emplear (variabilidad, CEP,...), Plan de control, los diagramas de Ishikawa (causa-efecto), etc.

2. Identificar el producto o proceso

El grupo base se ocupa de identificar sobre qué producto y/o proceso se va a aplicar el AMFE y quién va a ser el responsable de dirigirlo y realizarlo.

Cuando se quiera utilizar el AMFE sobre un proceso o producto y no se tenga claro sobre cual hacerlo, una buena técnica a utilizar puede ser la tormenta de ideas, seguido de una labor de priorización de las oportunidades de mejora que surjan.

3. Elaborar el Diagrama de Flujo y/o diagramas de Bloques funcionales

Para los AMFE de proceso se preparan diagramas de flujo. Para los AMFE de diseño se estudia el diagrama de bloques funcionales del conjunto final y el proceso de diseño.

El diagrama de flujo es como una fotografía del proceso. Es la representación esquemática y cronológica de las operaciones que componen la elaboración del producto. Además, sirve para tomar como punto de partida la documentación del proceso: gamas de control, puntos críticos... Para su realización se utilizan una serie de símbolos con su significado correspondiente.

El diagrama de bloques funcionales representa de forma esquemática las partes que componen un sistema y sus relaciones físicas o funcionales. Conviene simplificarlo cuando el producto a estudiar sea muy complejo, para que los integrantes del equipo puedan comprenderlo sin problemas.

El Plan de control es un documento escrito que recoge las acciones encaminadas a planificar la calidad para un proceso, producto y/o servicio específico. El Plan de control lista todas las características de diseño y parámetros del proceso consideradas importantes para lograr la satisfacción del cliente y que requieren acciones específicas para lograr alcanzarlas.

El AMFE es el método que identifica las características críticas y significantes de un proceso o producto y por tanto es el punto de partida para iniciar un Plan de control.

4. Recoger datos de fallos y clasificarlos

Para la realización del AMFE es necesario dirigir al grupo hacia la identificación de los problemas potenciales de calidad del producto o del proceso, de una forma estructurada.

Para ello, antes de comenzar el análisis exhaustivo del producto o del proceso, es necesario que el responsable del AMFE disponga de toda la información relevante del producto o del proceso implicado.

5. Preparar el AMFE

El grupo de AMFE, mediante una o varias reuniones y haciendo uso de la documentación aportada por el responsable del AMFE, de sus conocimientos y de las técnicas de análisis y solución de problemas más adecuadas en cada caso, comienza la aplicación del AMFE al producto o al proceso designado.

Para ello, completa en primer lugar el encabezamiento del formato AMFE con los datos correspondientes (producto, proceso, especificación, fecha, etc.).

Se completan también las columnas 1 y 2 del formato, asegurando que no se olvida ningún componente.

A continuación, y haciendo uso del método más adecuado (por ejemplo. la tormenta de ideas, el diagrama causa-efecto), se comienzan a identificar los diferentes Modos de Fallo.

Para cada uno se determina:

- el efecto del fallo,
- la causa del fallo,
- la probabilidad de ocurrencia,
- la gravedad,
- la probabilidad de no detección,
- el índice de prioridad de riesgo,
- las acciones correctoras,
- la responsabilidad de implantar las acciones correctoras;

Todo ello, siguiendo la metodología expuesta en la pregunta anterior y reflejando a información correspondiente en las columnas 3 a 12 del formato.

Con la definición de las acciones correctoras concluye la etapa inicial de aplicación del AMFE.

6. Implantar las acciones correctoras

El responsable de implantar cada una de las acciones correctoras propuestas es el encargado de planificar y asegurar su realización práctica. Si es preciso efectúa los ajustes o las modificaciones oportunas, con objeto de optimizar el resultado.

7. Revisar y seguir el AMFE

Una vez implantadas las acciones correctoras, con objeto de mejorar los Números de Prioridad del Riesgo en los modos de fallos seleccionados, el equipo AMFE se debe reunir con los responsables de la implantación, para evaluar los resultados.

El responsable de la implantación de cada una de las acciones correctoras propuestas informa al grupo sobre cuáles han sido implantadas y cuándo, así como de los resultados obtenidos en la evaluación de las acciones tomadas.

Con estos datos, el equipo AMFE comienza a redefinir la probabilidad de ocurrencia, la gravedad y la probabilidad de no detección de aquellos modos de fallo sobre los que se hayan tomado acciones correctoras, con objeto de calcular el nuevo Número de Prioridad del Riesgo (NPR). Estos datos se reflejan en las columnas 14 a 18.

Si con los nuevos NPR se cumplen los objetivos definidos en el AMFE para el producto o proceso afectado, el AMFE puede ser dado por concluido.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que el AMFE es un proceso dinámico y requiere revisiones periódicas, con objeto de tenerlo siempre actualizado. Especialmente, es conveniente en los siguientes casos:

- Cuando se realicen modificaciones que afecten al producto o al proceso estudiado.

- Cuando se encuentren nuevas aplicaciones para el producto o proceso actual.
- Cuando existan reclamaciones importantes por parte de los clientes.
- Cuando corresponda por la periodicidad establecida.
- Cuando interese realizar mejoras sobre el producto o proceso.

2.2.16 Beneficios de la Aplicación del AMFE

Los principales beneficios que se obtienen al aplicar este método son los siguientes:

- **Potencia la atención al cliente**

En la aplicación del método AMFE y la consiguiente reducción, al mínimo, del Número de Prioridad de Riesgo, lo que se pretende es que el efecto para los clientes (tanto externos como internos) de los posibles modos de fallo sea el mínimo posible. Esto se consigue mediante las acciones correctoras.

- **Potencia la comunicación entre los departamentos**

La organización para la realización del AMFE requiere que diversos departamentos de la empresa colaboren en la búsqueda de los modos de fallo y sus soluciones. Esta interacción facilita la comunicación entre departamentos, de forma que los problemas no se observan como relativos a un departamento, sino al conjunto de la empresa.

- **Facilita el análisis de los productos y los procesos**

La estructuración sistemática del AMFE permite recopilar una enorme cantidad de información que de otra forma sería imposible. Además, proporciona la información necesaria para decidir qué es lo que se debe hacer y por qué, de forma clara y concisa, fomentando la participación del grupo.

- **Mejora la calidad de los productos y los procesos**

El AMFE permite, mediante la ponderación y la selección, proponer y aplicar las acciones correctoras que mejoran el diseño o el proceso, de forma que se reduce el riesgo de ocurrencia de ineficacias y, por lo tanto, el resultado es una mejora de la calidad del producto o del proceso.

- **Reduce los costes operativos**

La filosofía de la prevención y de la mejora continua, que subyace en el AMFE, ayuda a eliminar las ineficiencias existentes, con la consiguiente reducción en tiempo y dinero.

- **Ayuda a cumplir con requisitos ISO 9000 y directivas europeas de responsabilidad de productos**

La razón por la que el AMFE se aplica a todos los apartados de la norma ISO 9000, es porque el AMFE comparte el objetivo y el espíritu de modo de prevención que impregna este estándar. Se debe recordar siempre que por definición el AMFE es una herramienta que quiere optimizar el sistema, diseño, proceso y/o servicio a través de la modificación, mejora y/o eliminación de cualquier problema conocido o potencial.

2.3 SÍNTESIS GENERAL DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO.

a) **La principal justificación para un Proceso de Evaluación de Riesgos formal.** Es legal y burocrático, porque las disposiciones legales vigentes lo exigen imperativamente a la empresa.

b) **Cuando se da prioridad a los procesos de gestión del riesgo demasiado alto en costos.** Podría mantener una organización de nunca terminar un proyecto o incluso empezó a recibir complicaciones. Esto es especialmente cierto si el trabajo de otros se suspende hasta que el proceso de gestión de riesgos se complemente.

c) La Evaluación de Riesgo a través de sus componentes, si potencia a la Seguridad. También es importante tener en cuenta la diferencia entre el **riesgo** y **la incertidumbre**. El riesgo puede ser medido con el uso de la probabilidad de ocurrencia de los eventos identificados por posibles fallas o errores no identificadas a tiempo, o por aspectos poco predecibles.

d) La Evaluación de Riesgo, es un conocimiento que puede ser aplicado tanto para conocer el riesgo individual de eventos, como del riesgo industrial de posibles acontecimientos que

pueden ser amenazas con afectaciones a las instalaciones industriales, la vida humana y daños ambientales.

2.4 SEGURIDAD INDUSTRIAL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

En el estudio y análisis siguiente, se tratará de verificar que la Seguridad Industrial del Sistema de Operaciones del Terminal Marítimo de Balao (TMB), tiene relación de dependencia en la Evaluación de Riesgos en el los Tanques de Almacenamiento.

2.4.1 Tanques de Almacenamiento de Hidrocarburos o Petróleo

Cada Tanque de almacenamiento es la integración de un conjunto de componentes o subsistemas

2.4.1.1 Generalidades del Tanque de Almacenamiento de Petróleo o Derivados

¹⁶El almacenamiento constituye un elemento de gran importancia en la explotación de la industria de los hidrocarburos, por lo siguiente:

- El Almacenamiento actúa como un pulmón entre producción y transporte para absorber las variaciones de consumo.
- El Almacenamiento permite la sedimentación de agua y barros del crudo antes de despacharlo por oleoductos a los buques tanqueros de transporte.
- El Almacenamiento permite flexibilidad operativa a las instalaciones petroleras, tales como refinerías.
- El Almacenamiento actúa como punto de referencia en la medición de despacho de producto, y son únicos aprobados por aduanas.

El Almacenamiento de hidrocarburos y/o petróleo es un medio eficiente que constituye un activo imprescindible para la Industria Petrolera en todos los países del mundo y en particular en el Terminal Marítimo de Balao (TMB).

¹⁶ Según registro de datos del Terminal Marítimo de Balao.

2.4.1.2 Tanques de Acero Construidos en Base a la Norma API 650.

Los Tanques de acero construidos para cumplir la función de recipientes de almacenamiento de petróleo, bajo ciertas condiciones de diseño y dimensionamiento de Ingeniería de Operaciones y de Mantenimiento, son los medios eficientes que constituyen activos imprescindibles para el Proceso de examen en el control del producto, identificación de elementos no deseados, rectificación o eliminación de impurezas, que permiten especificar el nivel de la calidad del crudo en relación a las Normas de Calidad Internacional en la Industria Petrolera. Estas son tareas previas que se realizan en la distribución a las Refinerías y/o para la comercialización de petróleo a los mercados internacionales.

Los Tanques tienen grandes dimensiones y son usados para almacenamiento de fluidos principalmente en la industria petrolera para petróleo, productos intermedios en la producción o finales como gasoil, nafta, entre otros. Los Tanques pueden conformar una planta industrial o batería de tanques.

En la presente investigación se estudian los Tanques Atmosféricos, por ser más fáciles de construir y de mayor capacidad que los subterráneos y de menor costo. Los Tanques se diseñan según las Normas API y los materiales están regulados por las normas ASTM y además, deben adecuarse a las normas de seguridad dadas por NFPA (Nacional FIRE Protection Association).

¹⁷La Norma API 650 regula los requisitos mínimos para diseño, fabricación, instalación, materiales e inspección de Tanques cilíndricos verticales sobre tierra para almacenamiento de petróleo de crudo y sus derivados. La norma API 853 para inspección y reparación. Ambas normas se aplican a tanques atmosféricos de acero fabricados por soldadura.

¹⁷ Los Tanques se diseñan según las Normas API y los materiales están regulados por las normas ASTM y además, deben adecuarse a las normas de seguridad dadas por NFPA (Nacional FIRE Protection Association)

2.4.2 Tanques Atmosféricos de Almacenamiento de Petróleo

Los Tanques Atmosféricos son los que se usan en la recepción, almacenamiento y despacho de petróleo crudo en el TMB, pero que varían según su clasificación. La clasificación de los tanques atmosféricos es respecto a si el techo es fijo o flotante, que a su vez puede ser flotante interior (IFR) o exterior (EFR). Los techos pueden ser planos, con forma cónica o esférica, siendo estos últimos más adecuados cuando la presión interna aumenta. Los tanques de techo flotante son usados por la industria petrolera para evitar la acumulación de gases en el interior del tanque.

a) Tanques de Techo Fijo.

El techo de este tipo de tanque está soldado al cuerpo, siendo su altura siempre constante. La forma de su techo es cónica.

Los tanques de techo fijo, se utilizan para el almacenamiento de crudos que poseen un punto de inflamación y presión de vapor altos, es decir, para almacenar los hidrocarburos que no se evaporan fácilmente, con lo que se evita la acumulación de gases en el interior del tanque que puede originar la explosión de este, y por lo tanto, la presión en el interior no excede la atmosférica.

Los tanques de techo fijo, son constituidos de acero al carbono o aceros aleados, de diversos tamaños y capacidades, de paredes cilíndricas y verticales, diseñados para trabajar a presiones próximas a la atmosférica.

b) Tanque de Techo Flotante.

¹⁸Tienen una cobertura que flota sobre la superficie del líquido, entre esta y la cáscara cilíndrica existe un espacio que se sella con un sello de borde.

¹⁸ Web <http://petroleum-storage-tank-blogspot.com>

El techo flotante puede ser interno: existe un techo fijo colocado en el tanque, o externo: se encuentra a cielo abierto. Ambos cuentan con pontones que flotan al nivel del líquido con la función de reducir la evaporación de producto.

c) Los Tanques de Techo Flotantes de mayor uso para el Almacenamiento de Crudo.

Son los de “**Pontón simple**”, los que tienen un anillo perimetral hueco formado por secciones estancas y una placa circular. El tamaño del montón simple, depende de las dimensiones del tanque y de los requerimientos de flotación. Estos tipos de Tanque se usan para almacenar petróleo crudo liviano y productos refinados, debido a que tienen la tendencia a evaporarse más ligeramente que los más pesados. Este tipo de tanques ayuda a reducir las pérdidas de los productos livianos por evaporación

d) El Fondo de los Tanques puede ser Plano.

El Fondo de los Tanques puede ser Plano, con forma hacia arriba o hacia a bajo, o con pendiente simple. El fondo suele tener algo de forma y pendiente debido a los sedimentos, agua y otros elementos más pesados que el producto almacenado y que se asientan en el fondo.

La fundación de los tanques cilíndricos varía según las especificaciones técnicas requeridas, como las siguientes: suelo compactado, anillo de piedra, anillo de hormigón o losa.

- **El anillo de hormigón.** Es uno de los más utilizados como fundación, porque reduce el problema de asentamientos diferenciales y provee una base para iniciar la construcción del tanque.
- **Suelo compactado y/o anillo de piedra.** Aun cuando son alternativas de uso no son tan recomendables, especialmente en suelos poco resistentes o fangosos que tienen la tendencia a ceder la estabilidad del tanque.

e) La Norma API 650 en la Construcción de Tanques Cilíndricos de Acero.

¹⁹El Instituto Americano de Petróleo en la norma API 650 para construir los “Tanques de Acero Soldado para Almacenamiento de Petróleo Crudo”

De acuerdo con la norma API 650, se desprende que esta establecido como estándar internacional el proceso de construcción del tanque de acero, por lo que el constructor debe conocer su contenido de dicha norma y en el proyecto debe ser especificada en documento de contrato para ser aprobada por el propietario. Esta aplicación de la norma API 650 permite al constructor garantizar un tanque de calidad y para el dueño evitar riesgos con lo cual potencia la Seguridad en las operaciones del Tanque en servicio.

2.4.2.1 Elementos del Tanque Cilíndrico de Techo Flotante.

²⁰De acuerdo con la norma API 650, los tanques de acero cilíndricos verticales de almacenamiento para productos derivados de hidrocarburos así como para petróleo crudo, están equipados con elementos accesorios estandarizados con el propósito de conseguir su normal funcionamiento a un nivel de eficiencia y eficacia, que operan a presión atmosférica con techos flotantes.

Lo anteriormente indicado, es una delimitación de la presente investigación a los tanques de acero cilíndricos de presión atmosféricos con techo flotante, es el tipo de tanque que cubre los requerimientos básicos de la industria petrolera en el Ecuador, y en particular en el TMB. Los elementos instalados o partes componentes en cada tanque de almacenamiento en la Industria Petrolera de todos los países en general y en particular en el TMB son los siguientes:

¹⁹ American Petroleum Institute, API Standar 650

²⁰ Los materiales están regulados por las normas ASTM y además, deben adecuarse a las normas de seguridad dadas por NFPA (Nacional FIRE Protection Association).

- **Fundación.**

Es el anillo perimetral de hormigón sobre el que se apoya el asiento o fondo del tanque para evitar hundimiento en el suelo y corrosión de la chapa o planchas que conforman el fondo de acero.

- **Sistema Contra Incendio.**

Cada uno de los tanques de almacenamiento de petróleo crudo en el TMB, están protegidos por un anillo ubicado en la tapa del tanque en servicio con dispositivos térmicos que se disparan automáticamente en presencia de fuego.

- **Mezcladores.**

Los Mezcladores se utilizan para mantener uniforme la masa de petróleo o hidrocarburos dentro del tanque. Este Mezclador mediante un motor eléctrico externo acciona el movimiento de hélices internas, con las que origina mezclar la masa del producto líquido para mantenerlo uniforme, tala como de indica en la Figura 2.3. Estos mezcladores están acoplados a los manholes secundarios adyacentes al Mezclador principal

Figura 2.3 Mezcladores



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

- **Embocadura de Recepción y Despacho de Petróleo Crudo.**

En una conexión o abertura que permite la embocadura de recepción y/o despacho de petróleo crudo del Tanque de almacenamiento, las que son diseñadas de acuerdo con la norma API 650. Esto se indica en la Figura 2.4.

Figura 2.4 Sistema de Recepción



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

- **Techo Flotante.**

Es la estructura metálica hermética puesta sobre pontones cilíndricos que le permiten suspenderse sobre el crudo. El techo flotante tiene movimiento vertical y evita la generación de vapores que se desprenden del petróleo crudo.

- **Flotadores.**

El techo tiene un anillo perimetral llamado pontón que actúa como boya, el cual permite que dicho techo flote cuando el tanque recibe o despacha de petróleo crudo.

- **Sello del Techo del Tanque.**

Los Sellos del Techo del Tanque son diseñados para impedir o minimizar las fugas hacia la atmósfera de los vapores y el petróleo almacenado dentro del tanque en la unión entre el techo flotante y la envoltura del tanque. Se debe tener presente que hay diferentes tipos de sellos y para obtener resultados adecuados se coloca un sello primario y un sello secundario. El sello primario es indispensable y puede ser del tipo pantográfico de zapata o de espuma montado en fase líquida. El sello secundario se monta sobre el sello primario y puede tener rodamientos que se apoyen contra la pared del tanque en servicio.

- **Válvulas de Presión y Vacío.**

En el Tanque están instaladas válvulas de presión y vacío sobre el techo, sean simples o automáticas, tal como se muestra en la Figura 2.5. Estas válvulas permiten la salida del aire cuando el tanque comienza a llenarse y se cierra en el momento en que el fluido alcanza un determinado nivel de petróleo. En el caso que se origine una sobrepresión interior por evaporación por cambios de temperatura, las válvulas se abren, lo que permite que parte de la mezcla aire-vapor salgan hasta alcanzar el equilibrio de presiones dentro y fuera del techo.

Figura 2.5 Válvulas de presión



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

- **Venteo**

El venteo es un sistema diseñado para prevenir o evitar los efectos de las alteraciones bruscas de la presión interna del petróleo almacenado en un tanque, como consecuencias de las operaciones de trasvase o por las variaciones de temperatura del medio ambiente.

- **Desfogue o Respiraderos.**

Los Desfogues o Respiraderos son los mecanismos que permiten que los gases del petróleo crudo puedan escapar libremente cuando lleguen a la presión de saturación, lo que se muestra en la Figura 2.6.

Figura 2.6 Respiradero



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

- **Soportes del Techo.**

El Soportes del Techo es un conjunto de párales tubulares, sobre los cuales descansa el techo flotante en el mínimo nivel del líquido almacenado. Estos soportes están soldados a las planchas de acero de la base del tanque, tal como se muestra en la Figura 2.7.

Figura 2.7 Soporte de Techo



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

- **Boca de Aforo para Toma de Muestras y Medir Temperaturas.**

Es la abertura en el techo del tanque a través de la cual se hacen las mediciones de temperatura del petróleo crudo y para tomar las muestras de aforo en el análisis de laboratorio, tal como se muestra en la Figura 2.8.

Figura 2.8 Boca de Aforo para Toma de Muestras y Medir temperaturas.



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

- **Tubo de Aforo.**

Es un Tubo perforado que se extiende desde el fondo del tanque hasta la boca de aforo, tal como se muestra en la Figura 2.9. El borde superior es el nivel para tomar medidas como punto de referencia del tanque.

Figura 2.9 Tubo de Aforo



Fuente: Archivo Fotográfico TMB

- **Plataforma de Aforo.**

Es la estructura instalada en la parte superior del Tanque desde donde se efectúan los aforos programados en forma segura.

- **Radar.**

Es el equipo de medición continuo y alarmas, bajo y alto nivel, a través de una Antena instalada dentro del tubo de aforo. El sistema de medición de nivel además tiene puntos de medición de temperatura, mediante sensores ubicados en diferentes alturas, para efectuar medidas a diferentes niveles del petróleo crudo. La precisión del Radar es de 0.05 mm.

El Equipo del Radar esta integrado por los componentes siguientes: Antena, Receptor, sensores de temperatura, Indicador local y Transmisor.

- **Sistema de Drenaje del Agua Lluvia.**

Es el conjunto de Equipos que posibilitan una adecuada gestión del agua lluvia, que se encuentre depositada en el techo del tanque, mediante los procesos de captación, conducción y evacuación. El sistema de Drenaje solamente puede ser suspendido cuando el tanque queda fuera de servicio, por lo que el mantenimiento es esencial para obtener el funcionamiento adecuado, el agua debe ser eliminada del techo del tanque.

El Drenaje del agua por causa de lluvias en el techo flotante, es uno de los aspectos más importantes que se deber tener en cuenta en la gestión de riesgo y en el mantenimiento del sistema de drenaje a largo plazo.

El Sistema de Drenaje del agua lluvia, se compone de una válvula de drenaje, colectores, tuberías y swivel, elementos que se muestran en las Figuras 2.10, 2.11 y 2.12.

a. Válvula de Drenaje.

La válvula que permite efectuar las operaciones de drenaje del tanque, la que se muestra en la Figura 2.9.

Figura 2.10 Válvula de Drenaje



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

b. Colectores.

Los colectores del agua lluvia se encuentran sobre el techo flotante del tanque y son los que permiten retener la basura, con lo que se evita las obstrucciones en la válvula de control y en dicho sistema, tal como se muestra en la Figura 2.11.

Figura 2.11 Colectores



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

c. Tuberías Bajantes.

Son las Tuberías que conducen el agua lluvia desde el techo del tanque.

d. Codo Giratorio o Swivel.

El Codo giratorio permite que la tubería del sistema de drenaje de agua lluvia suba o baje con el techo flotante, tal como se indica en la Figura 2.12.

Figura 2.11. Codo Giratorio o Swivel



Fuente: Archivos Fotográficos del TMB

- **Sistema de Drenaje de Agua de Formación en el Fondo del Tanque.**

El Sistema de Drenaje de Agua de formación, permite la evacuación del agua depositada en el fondo del tanque. La línea de Drenaje está ubicada muy cerca del fondo del Tanque. Algunas de estas líneas se prolongan hasta el centro del fondo de los tanques, en los casos de tanques que tienen cierta inclinación hacia el centro, que mediante este procedimiento se eliminan los sedimentos y el agua en gran parte. Este sistema de drenaje, se encuentra conformado por las partes siguientes: Válvula de control, actuador, cubeto y tubería, tal como se indican en la Figura 2.13

Figura 2.13 Sistema de Drenaje de Agua de Formación



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

- **Válvulas**

- a. **Válvula Principal.**

La Válvula es un medio por el cual se efectúan las operaciones de llenado y vaciado de petróleo en los tanques. En cada tanque se encuentran instaladas tres válvulas, tal como se indica en la Figura 2.14.

Figura 2.14 Válvulas Principales



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

b. Válvulas de Drenaje.

Las Válvulas de Drenaje, son los medios por los cuales se efectúan las operaciones de drenaje del agua de formación y de lluvias.

- **Actuador eléctrico de válvulas.**

El Actuador Eléctrico produce la fuerza motriz requerida para abrir o cerrar las válvulas de control. El actuador se indica en la Figura 2.15

Figura 2.15 Actuador Eléctrico



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

- **Viga de viento o borde.**

Es el refuerzo que se encuentra colocado en todo tanque para mantener su redondez y de esa manera minimizar las cargas de viento. Este refuerzo se encuentra ubicado en la parte externa y sobre el anillo superior del cuerpo del tanque.

- **Accesos de Inspección y Limpieza por Escaleras**

- a. Rodante Interior.**

El Rodante interior, es una escalera que conecta el aforo del Tanque con el Techo Flotante, lo que se indica en la Figura 2.16. Este acceso permite desde el techo del tanque tomar muestras de petróleo crudo, la inspección o mantenimiento de la superficie del techo y limpieza de los recolectores del sistema de drenaje del agua lluvia.

Figura 2.16. Escalera Rodante



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

- b. Escalera Externa.**

La Escalera externa, es el medio que permite el acceso de personas a la parte superior del Tanque para efectuar tareas de medidas de nivel, temperatura, presión de petróleo almacenado, inspección del radar y mantenimiento, tal como se indica en la Figura 2.16.

Figura 2.17 Escalera Externa



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

c. Manhole

En la Figura 2.17 se indica que el Manhole es la entrada que permite el ingreso a personas al interior del Tanque cuando se encuentra fuera de servicio, ya sea para efectuar tareas de inspección, verificación de su estado y/o mantenimiento.

Figura 2.18 Manhole



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

d. Boca de Sendero o Manhole en el Techo

Tal como se indica en la Figura 2.18, el Manhole facilita la inspección sobre el Tanque en servicio, la medición mensual de nivel de producto almacenado, de temperatura, extracción de muestras de petróleo y de mantenimiento programado.

Figura 2.19 Boca de Sondeo



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

- **Cables a tierra.**

Son cables utilizados para las descargas de electricidad estática a tierra que van de las escaleras al techo, las que son imprescindibles para revisar que estos tengan un contacto adecuado y que sus terminales siempre estén en perfecto estado de funcionamiento.

En síntesis, el Tanque de acero con techo flotante, es una unidad cilíndrica con 22 componentes y que en su funcionamiento normal conforma un sistema particular en las operaciones de Recepción, Almacenamiento y Despachos de petróleo. En el caso particular del Sistema de Operaciones Terrestres del Terminal Marítimo de Balao, la Recepción, Almacenamiento y Despacho de Petróleo Crudo, se efectúa con 10 Tanques de acero, con una capacidad de 322 000 barriles cada uno, con una capacidad total 3' 220 000 barriles de petróleo crudo.

2.5 LA SEGURIDAD EN LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE PETRÓLEO

²¹La Seguridad en los Tanques de Almacenamiento de Petróleo Crudo, son todas las actividades, que van desde el diseño, planificación, organización, dirección y control, destinadas a minimizar los costos asociados al mal funcionamiento generador de fallas de los equipos, optimizando los resultados en las operaciones de los procesos, y a la vez satisfaciendo las necesidades de los clientes o usuarios. Esto implica, que las acciones de seguridad se deban centrar en las operaciones de los tanques en servicio en base al cumplimiento de los estándares de calidad, tales como API Std 650, ISO, de modo que se

²¹ American Petroleum Institute API Std 650, ISO

puedan identificar herramientas de gestión necesarias para desarrollar una mejor forma en el trabajo tratando de capacitar al personal y coordinando con los colaboradores para evitar los riesgos potenciales y así estructurar de manera lógica las tareas que se van a realizar, con protección a la infraestructura de operaciones, la vida humana y el ambiente natural.

El propósito de la Gestión de Seguridad, es garantizar como mínimo al 95% la disponibilidad, la funcionalidad, conservación de los equipos, en particular los tanques de almacenamiento de petróleo crudo, con un nivel de riesgo por fallas de entre de 1 al 5% como máximo aceptable. Esto significará, un incremento importante de la vida útil de los tanques en uso, con el fin de garantizar la calidad de los productos, porque para producir con un nivel de calidad, el equipo de producción debe operar dentro de las especificaciones, las cuales pueden ser alcanzadas mediante acciones eficaces y eficientes a través del cumplimiento de una programación en las operaciones del trabajo, en las que se incluyen las tareas de mantenimiento en los tiempos planeados basadas en las normas de calidad establecidas.

En síntesis, la Seguridad Industrial en los sistemas, equipos o tanques, depende del nivel de calidad del mantenimiento que la gerencia de operaciones de la empresa realice, en cualquiera de los enfoques o modelos aplicados en la administración de la empresa.

2.6 ADMINISTRACIÓN DE LAS OPERACIONES DE LA EMPRESA

²²El autor Harold Koontz, señala que “Por Administración se entiende el proceso de diseñar y mantener un entorno en el que trabajando en grupos los individuos cumplen eficientemente objetivos específicos”.

De la definición del autor citado, se desprende que la administración de toda empresa requiere una serie de actividades que deben desarrollarse adecuada y oportunamente con el propósito de asegurar la consecución y de sus objetivos. El rápido crecimiento de diferentes actividades de las empresas con una visión tecnológica del trabajo cada vez más

²² Koontz H. Administración una Perspectiva Global. México: McGraw Hill; 2007.

compleja, y para que no provoquen descontrol, se han creado técnicas, sistemas, método y procedimientos para administrar adecuada y ventajosamente todos los procesos que las conforman, frente a los riesgos industriales que por un lado surgen en la realización de cada tarea sin importar su dimensión, y por otro, de lo impredecible de determinados factores externos que son adquiridos o contratados a diferentes proveedores, tanto públicos como privados.

En síntesis, la administración de una empresa y sus productos no debe considerarse sólo en el aspecto de los artículos y servicios que proporciona, sino como la dirección de una organización que es proveedora de valiosas satisfacciones y capaz de crear nuevos clientes. Sin embargo, para que una empresa alcance los beneficios de que el conocimiento científico le proporciona deberá administrar y coordinar todas las actividades que son realizadas por sus colaboradores en el marco del proceso administrativo o gerencial.

2.7 DIRECCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL

²³La Dirección de la Seguridad Industrial es el proceso de planeación, organización, dirección y control de los esfuerzos destinados a conseguir los intercambios deseados con los mercados que se tienen como objetivo por parte de la Empresa.

De la afirmación de los autores citados, se desprende que la administración de las actividades de Seguridad Industrial, puede ser considerado como un proceso conformado por los pasos de: a) análisis de factores de riesgo, b) elegir objetivos, c) formular estrategias, d) hacer planes; y, e) llevar a cabo la ejecución y control de las actividades planeadas. De esta manera, regular el nivel, el momento y el carácter del proceso de trabajo con la máxima eficacia y eficiencia, en forma tal que ayude a la empresa a lograr sus metas, pero a la vez con alta confiabilidad en la Administración de la Seguridad Industrial, Humana y Ambiental.

Durante las últimas décadas, se ha alcanzado alta Seguridad Industrial, Humana y Ambiental, debido a grandes logros del desarrollo de la investigación científica que ha hecho una gran cantidad de aportaciones, que han ayudado a la creación de nuevas

²³ Koontz H. Administración una Perspectiva Global. México: McGraw Hill; 2007.

empresas dedicadas a la transformación y distribución de satisfactores en bienes y servicios, en especial en la extracción y procesamiento de petróleo. Unido a este desarrollo, ha habido un rápido crecimiento de la población, lo que ha traído como consecuencia el surgimiento de actividades diversas dentro de las empresas y una división del trabajo cada vez más compleja. Por lo tanto, para que esta complejidad no provoque descontrol en las empresas se han desarrollado técnicas, sistemas, métodos y procedimientos para administrar adecuada y ventajosamente los elementos que conforman la confiabilidad de la seguridad.

En síntesis, la Dirección de la Seguridad, se debe estudiar mediante las etapas siguientes: planeación, organización, dirección, integración y control. Es decir, las tareas de la Seguridad, es un proceso de cinco pasos, que posteriormente se describen.

2.8 EL ANÁLISIS FODA EN LA OFERTA DE LA EMPRESA

²⁴Los autores Jorge Espejo y Laura Fischer, señalan que “el sistema de mercadotecnia de una empresa debe operar dentro de una estructura de fuerzas internas y externas que constituye su medio ambiente”.

La afirmación del autor citado, entre otros, las fuerzas externas que no son controlables por la empresa, se la denomina 1) macroambiente, que es un conjunto de los factores: económicos, políticos, legales, sociales, culturales, demográficos, tecnológicos y ecológicos; y, 2) microambiente, que son elementos relacionados estrechamente con la empresa: los proveedores, los intermediarios y los consumidores.

Del conocimiento que posea el directivo empresarial del macroambiente y microambiente donde opera la empresa, puede realizar un análisis interno de sus fuerzas (F) y debilidades (D) y el análisis externo: de las oportunidades (O), y Amenas (A). Esto permite efectuar el Análisis FODA o DAFO, herramienta de gran utilización para tomar decisiones de enfoque estratégico en la ejecución de las tareas operativas.

²⁴ Espejo J, Fischer L. Mercadotecnia. 4ª ed. México: McGraw Hill; 2006.

En síntesis, la empresa para operar con éxito debe diseñar y gestionar la estrategia, por un lado las fuerzas externas o macroambiente y por otro las fuerzas internas o microambiente, mediante la herramienta del FODA en la Seguridad Industrial.

2.9 LA GERENCIA EN LA EJECUCIÓN DEL PLAN DE LA EMPRESA

²⁵El autor Peter Drucker, señala que “La Gerencia es el órgano específico y distintivo de toda organización”.

Lo afirmado por el autor citado, que “La Gerencia es un órgano específico”, puede ser interpretado como una pequeña organización específica especializada en dirección y control de la gran organización que es la empresa. Es decir, la gerencia es la unidad de trabajo direccional, en condición de herramienta que permite a las personas colaboradoras ser productivas en su labor conjunta. Por lo tanto, la Gerencia, es la encargada de establecer la estrategia, las políticas y la estructura organizacional operativa, en la ejecución de las tareas en el trabajo para alcanzar metas y objetivos de la Empresa en ciertas condiciones y en ciertos momentos.

2.9.1 El Gerente de la Empresa

El autor Peter Drucker, señala que “En toda Institución tienen que haber una autoridad final; es decir, un “jefe”: alguien que pueda tomar una decisión final y esperar que se le obedezca”

De lo afirmado por el autor citado, que de “una autoridad final o el jefe”, se desprende que es lo conocido con el nombre de “Gerente” o “Director Ejecutivo”, “Jefe de Comando”, entre otras denominaciones, las que dependen del tipo de institución. En el mismo sentido, la jerarquía de la autoridad del “Jefe”, se puede evidenciar con más claridad en una situación de peligro común, donde se requiere de una decisión final frente a una situación problemática o riesgosa, de la que depende la supervivencia de todos quienes integran la organización o empresa. Por lo tanto, es la autoridad del “jefe o gerente”, el que debe tener

²⁵ Druker P. Los Desafíos de la Gerencias para el siglo XIX. Editorial Norma; 2006.

claridad en el mando y hacer cumplir las políticas y disposiciones con sus colaboradores de la gerencia de la empresa.

En síntesis, la Gerencia es la unidad principal que asume el proceso de administración global de la Empresa, en la ejecución de las tareas planeadas para alcanzar las metas y los objetivos corporativos. El “Gerente” es la autoridad final que está capacitado para ordenar las prioridades de la Empresa y conducir las tareas a través de sus colaboradores de la Gerencia para alcanzar metas productivas y el cumplimiento de objetivos.

2.9.2 La Gerencia en una Empresa Industrial

²⁶El autor Peter Drucker, señala que una empresa cualquiera que sea, probablemente “una empresa industrial típica” precisa varias estructuras organizacionales diferentes que coexistan de lado a lado. (Las diferencias organizacionales existen por el objeto de la empresa).

Frente a una crisis en la Gerencia Técnica, el campo de acción del Gerente de una Empresa, es similar a las tareas del comandante de un Barco en alta mar. Si el barco zozobra, el capitán no convoca a una reunión sino que da una orden. Y si se ha de salvar el barco, todos tienen que obedecer la orden; tienen que saber exactamente a dónde dirigirse y qué hacer, y hacerlo con o sin participación ni discusiones. La “jerarquía” y su aceptación sin cuestionar por parte de todos en la organización viene a ser la única esperanza en una crisis.

En síntesis, otras situaciones dentro de la misma institución exigirán deliberación, posiblemente podría ser el trabajo en equipo, y así sucesivamente. En la Teoría de la Organización se presupone que las instituciones son homogéneas y por lo tanto la totalidad de la organización debe organizarse de la misma manera.

2.10 DESEMPEÑO DE LA GESTIÓN DE CONFIABILIDAD EN LA SEGURIDAD

²⁶ Drucker P. Los Desafíos de la Gerencias para el siglo XIX. Editorial Norma; 2006.

²⁷El Desempeño de la Gestión de Confiabilidad en la Seguridad, se basa en todos los aspectos esenciales para el óptimo funcionamiento de la unidad de producción o de la empresa, busca lograr que cada departamento de cumplimiento con su plan o programación para el adecuado funcionamiento de todo el Sistema de Operaciones Terrestres en el TMB.

De manera especial, el departamento de mantenimiento además de efectuar la reparación de los equipos e instalaciones, debe administrar los costos de mantenimiento, recursos humanos y stock de repuestos, con el fin que el funcionamiento de todo el sistema de operaciones se desarrolle de manera óptima en el cumplimiento de los estándares de calidad y productividad, y en lo posible dentro del presupuesto calculado para el año de actividad correspondiente. En consecuencia, se puede decir, que la Gestión de Confiabilidad en la Seguridad, es el desempeño del cumplimiento de las metas productivas de calidad en el marco de los estándares requeridos, para evitar las fallas en el funcionamiento de los equipos.

2.10.1 Razones por las que es Importante la Gestión de Seguridad de Calidad

La competencia y los estándares de productividad obligan a las gerencias a reducir costos, por lo que se hace necesario optimizar el consumo de materiales y mayor rendimiento de la mano de obra.

En síntesis, para poder alcanzar la meta de calidad como mínimo con el 95% de Seguridad, se hace necesario analizar los procesos y estudiar si su implementación supone una mejora en los resultados, en los equipos en servicio de la empresa.

²⁷ En el Sistema de Operaciones Terrestres en el TMB La Intendencia equivale a la Gerencia de Tanques.

2.11 AUDITORÍA EN LA GESTIÓN DE CONFIABILIDAD EN LA SEGURIDAD

²⁸Los Autores Whittington y Pany, señalan que la “Auditoría es el control autónomo, que puede ser interno o externo, que se realiza a todas las actividades de una organización”.

De acuerdo con los autores citados, se desprende que en particular, la Confiabilidad de la Seguridad, consiste en medirla por auditorias o evaluaciones sistemáticas en el funcionamiento de los componentes de los Tanques, para saber si con los planes establecidos, y si éstos son efectivos y adecuados en la práctica para alcanzar las metas y objetivos de la empresa.

Por lo general, las auditorias son efectuadas por personas profesionales independientes, por lo que sus informes de investigación se realizarán en las áreas o departamentos de la empresa. Por lo que para lograr una adecuada evaluación, es necesario investigar los componentes de la Seguridad siguiente:

- La funcionalidad y efectividad de la organización.
- Planificación, programación, ejecución y control de los planes operativos.
- La documentación de los informes sobre los resultados de cada mes.
- Metodología de seguimiento del trabajo operativo.
- Análisis sobre productividad de cada actividad.
- Documentación de la gestión de mantenimiento, planeamiento y control de tareas.
- Evaluación de Riesgo y Confiabilidad de la Seguridad de los Tanques en el TMB

La Coordinación integral es el factor clave para lograr la participación de las personas encargadas del programa de Seguridad compartida.

2.11.1 La Funcionalidad y Efectividad de la Organización

²⁸Whittington R, Pany K. Principios de Auditoría. México: McGraw Hill; 2005.

La investigación en la funcionalidad de la organización proporciona información acerca de la estructura que conforman las diversas áreas, las asignaciones de responsabilidades y autoridad a los jefes con sus colaboradores, para conseguir las metas y objetivos, que mediante el análisis y estudio por métodos de auditoría se determinará si éstos cumplen o no las finalidades establecidas.

2.11.2 Planificación, Programación, Ejecución y Control de los Planes Operativos.

La planificación de las actividades de Confiabilidad de Seguridad, consiste en coordinar con los encargados o jefes de cada unidad o área de trabajo, que realicen las tareas laborales con la previsión de evitar posibles riesgos industriales, laborales, y/o ambientales, ya sea que se hubieren programado o imprevistas sobre la base de los requerimientos de cumplimiento de los estándares establecidos para realizar el trabajo y de esa manera tratar de satisfacer las necesidades de los usuarios o equipos. De ésta manera, se pretende la ejecución y control de los planes operativos, se realizan bajo el direccionamiento de la planificación y programación con lo cual se pretende evitar los descuidos e improvisación que implique generar riesgos en la confiabilidad de la seguridad: industrial, a la calidad de vida y/o ambiental.

2.11.3 Seguimiento en la Ejecución de las Tareas de Trabajo

- a) Trabajo productivo en los Tanques en uso
- b) Trabajo de Mantenimiento.
- c) Coordinación del conjunto de las actividades para alcanzar los objetivos de Confiabilidad en la Seguridad: Industrial.

Con la planificación y programación de las actividades en los tres campos antes señalados, se procede a hacer el seguimiento, tanto en la designación de los grupos de trabajo o cuadrillas, como a entregar el cronograma de control a los Supervisores. En la designación de los grupos de trabajo, es adecuado revisar los cronogramas de trabajos proyectados y no proyectados, además de las posibles emergencias en la dotación de personal.

En síntesis, la auditoría en la gestión de los tres campos de trabajo señalados, se debe esperar el cumplimiento de los estándares de la calidad y una visión clara del nivel de confiabilidad de la Seguridad en el Sistema de Operaciones en el TMB. Además, con los reportes de los supervisores y de la auditoría, se debe esperar obtener información relevante de las tareas planeadas, ejecutadas, fallas de los equipos o componentes de los tanques en servicio, entre otros, la cual es una base para ser analizada mediante los indicadores de la disponibilidad.

2.12 LAS FUNCIONES DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO.

En concordancia a la teoría desarrollada y de la normatividad internacional, en la industria petrolera, el Área de Mantenimiento en el mantenimiento de los sistemas para potenciar a la Seguridad, necesariamente debe efectuar las tareas o funciones siguientes:

a) Planificación.

Planificar, es función principal de la gerencia de la organización en la que se determinan los objetivos a cumplir, de qué y cómo hacer las tareas para alcanzarlos con los recursos que se disponen. Sin una planificación adecuada, no es posible que se realicen las demás funciones, como son organización

La relación entre planificación y control es estrecha; porque el control es la verificación de la forma en que se cumplan los planes, además que incorpora las medidas correctivas y de esa manera retroalimenta a la planificación.

b) Programación.

Programar, son las actividades de programación siguientes:

- **Coordinación de Programas.** Información sobre los trabajos a realizar que requieren describirse en un cronograma de actividades y tiempo o fechas específicas en realizarse, como es la reparación de equipos, la existencia de los materiales requeridos para el trabajo.

- **Asignación de Recursos.** Los antecedentes relacionados a la cantidad de trabajo a efectuar, la prioridad de ejecución, las holguras definidas para la ejecución del trabajo, la disponibilidad de equipos y herramientas, instalaciones para ejecutarlos, etc.

c) Ejecución.

Ejecutar, son las actividades a efectuarse.

- **Trabajos planificados a ejecutarse.** Es la información sobre el plan de trabajo definido, las tareas de las variables a controlar durante la ejecución, los cambios de componentes a efectuarse, la imputación de mano de obra, entre otros.
- **Trabajos no planificados y emergencias.** Antecedentes del equipo o instalación a intervenir; imputación de mano de obra, descripción del trabajo a ejecutar, entre otros.

d) Control.

El propósito del control es verificar que la actividad específica o de mantenimiento se realice de acuerdo con lo programado y con los estándares de calidad establecidos en las planificaciones y los análisis de los resultados debe cubrir todos los requerimientos de la actividad, como los siguientes:

- Porcentaje de ejecución del programa de mantenimiento.
- Eficiencia de servicio de los equipos incluidos en el programa.
- Tiempos perdidos por fallas imprevistas.
- Distribución de la mano de obra en la ejecución del programa.
- Evaluación del personal en el cumplimiento de sus funciones.
- Incidencia del mantenimiento en el costo de la unidad de producto.
- Consumo de repuestos y nivel de inventario.
- Gastos de mantenimiento por líneas de producción o equipos.

e) Evaluar

Evaluar es la acción que permite comprobar la eficacia y resultados del control. En los sistemas tradicionales de mantenimiento, siempre existió el control y la evaluación, los que estaban limitados por el procedimiento. En la actualidad, la informática ha potenciado esas limitaciones.

En síntesis, el conjunto de las funciones: planificar, programar, ejecutar, controlar y evaluar, constituyen las herramientas de la Gerencia de Operaciones para dirigir las tareas de mantenimiento de los sistemas o equipos que permita alcanzar las metas y objetivos de la Seguridad Industrial, y a la vez un manejo reducido del nivel de riesgo en la realización de las tareas laborales y conservación ambiental.

2.13 ÍNDICES DE DISPONIBILIDAD EN LA GESTIÓN DE SEGURIDAD.

Los índices permiten medir el grado de cumplimiento de los objetivos planeados para un período dado, y para detectar tendencias específicas, con la finalidad de evaluar los resultados obtenidos en relación a las metas esperadas. Esto permite introducir los correctivos necesarios y para contrarrestar las desviaciones negativas detectadas, y de esa manera tratar de alcanzar los objetivos de: a) Trabajo productivo en los Tanques en servicio; b) Trabajo de Mantenimiento; c) Índices de Disponibilidad. Con estos tres índices, se puede medir el nivel de calidad de la coordinación del conjunto de las actividades para alcanzar las metas de Confiabilidad en la Seguridad: Industrial, Humana y Ambiental.

Los índices se clasifican en tres grupos: a) Índices de Gestión; b) Índices de Mano de Obra; c) Índices de Disponibilidad.

2.13.1 Índices de Gestión

Los índices de gestión son los que permiten:

- Identificar los factores claves de producción.
- Establecer cifras que indique medición del desempeño de equipo o persona.
- Determinar un registro de datos para comparar los datos obtenidos con lo planeado.

- Comparar los resultados en cifras con los estándares en el cumplimiento de objetivos
- A los jefes o encargados tomar las decisiones correctivas sobre desviaciones negativas
- Efectuar un control por objetivos y adecuarlos a cada circunstancia para mejorar.

2.13.2 Índices de Mantenimiento

Al emprender cualquier actividad es necesario definir los índices que cuantifique la eficacia y eficiencia de las variables de cada actividad para poder interpretar el nivel de calidad en la que se llevado a cabo el mantenimiento. De esa manera se puede evaluar el grado de cumplimiento los objetivos que se pretendía en la actividad correspondiente.

2.13.3 Índices de Disponibilidad

La Disponibilidad (D) se define como la probabilidad de que un sistema, equipo, tanque o máquina, este en capacidad para producir o prestar un servicio, en un periodo de tiempo total operando, o sea que no esté fuera de operación. La disponibilidad se expresa por medio del índice:

Disponibilidad $D = T_o / T_o + T_a$

To: Tiempo total de operación.

Ta: Tiempo fuera de operación.

En general, los períodos de tiempo nunca incluyen paradas fuera de operación, porque no se sabe con exactitud cuando habrá fallas del sistema o máquina.

a) Disponibilidad de Tiempo Medio entre Fallas (Tm)

$$D_m = TMEF / TMEF + TMDR$$

Donde:

TMEF: tiempo medio entre fallas

TMDR: tiempo medio de Reparación

La Dm se refiere al tiempo que transcurre entre la aparición de una falla y otra, para un componente, sistema o equipo.

b) Tiempo Medio entre Fallas (TMEF)

En un análisis de mayor significación, el Índice Medio entre Fallas, el cálculo del TMEF se realiza en horas, como se indica en la siguiente expresión:

TMEF = Total horas de Operación de Equipo / Total horas fuera de Operación

c) Tiempo Medio de Reparación (TMDR)

Es el tiempo medio que el personal de operaciones utiliza para reparar y restablecer un sistema o equipo que se encuentra fuera de operación por falla. Este índice se expresa como sigue:

TMDR = Total de horas de intervenciones correctivas / Total de horas fuera de servicio

Este índice debe ser lo más pequeño posible, para evitar que se originen pérdidas por estar el sistema fuera de operaciones.

2.13.4 Confiabilidad

La confiabilidad es la probabilidad del 0.95 de 1 a lo menos, que un determinado equipo, sistema o instalación, esté en funcionamiento para dar cumplimiento en los objetivos de operaciones, bajo una condición específica, y durante un tiempo determinado.

Lo anterior implica, que la medida de tiempos entre fallas (TMEF) caracteriza el nivel de confiabilidad del sistema o equipo.

2.13.5 Mantenibilidad

La Mantenibilidad (M), es la probabilidad de que un equipo en estado de falla sea restablecido a una condición específica, dentro de un período de tiempo dado, y usando recursos específicos. Esto implica, que la media de tiempos de reparación (TMDR) caracteriza la mantenibilidad.

$$M = TMEF / TMEF - TMDR$$

2.13.6 Efectividad Total de los Equipos

La Efectividad Total de los Equipos (ETE), es un índice que se utiliza para definir la “Eficacia Total de los Equipos”, con lo que se engloban tres parámetros relacionados con un solo índice, en el funcionamiento de los equipos de producción o prestación de servicio. Esto se expresa:

$$ETE = Disponibilidad * Rendimiento * Calidad$$

a) Rendimiento.

El Rendimiento contempla la pérdida de eficiencia de un sistema, equipo o máquina, expresado en una disminución de su capacidad de producción o servicio frente a la capacidad real esperada.

$$\text{Rendimiento} = \text{Cantidad Total de Unidades} / \text{Tiempo de operación} * \text{Capacidad real}$$

$$\text{Rendimiento} = \text{Producción Real} / \text{Producción Planeada}$$

b) Calidad.

La calidad es el índice de las pérdidas por fabricación defectuosa de los productos o servicios, sea al fabricar unidades que indirectamente son desechadas, como las que tienen que ser reparadas en la corrección defectuosa. Esto se expresa:

Calidad = Cantidad de unidades válidas / Cantidad total de unidades fabricadas .

Calidad = Producción Real – Producción Rechazada / Producción Real

c) Disponibilidad.

Se encuentra desarrollada más arriba.

2.14 EL MANTENIMIENTO EN LA SEGURIDAD INDUSTRIAL DE EQUIPOS

²⁹El Mantenimiento de sistemas o equipos, unidades de producción o servicios, se los define como “Acción eficaz para mejorar aspectos operativos relevantes de un establecimiento, tales como funcionalidad, seguridad, productividad, confort, imagen corporativa, salubridad e higiene.

De la afirmación del autor citado, se desprende que el Mantenimiento, otorga la posibilidad de racionalizar costos de operación. Esto implica el establecer propósitos específicos y una misión para el Área de Mantenimiento mediante el mantenimiento de los equipos, unidades de producción o servicios:

2.14.1 Propósitos del Mantenimiento

El Área de Mantenimiento de la organización es la encargada de reunir la información tanto de la inspección como de la evaluación sobre la programación de los sistemas o equipos en servicios, para efectuar la coordinación en la realización de las tareas de mantenimiento periódico y extraordinario, que permita la consecución de los propósitos siguiente:

²⁹ Dhillon B. Engineering Maintenance a Modern Approach. USA: CRC Press; 2002.

- Optimización de la disponibilidad de los sistemas o equipos para la producción o servicios.
- Minimización de los costos en los equipos por la intervención de mantenimiento eficaz.
- Coordinación eficaz de los recursos humanos para efectuar un mantenimiento óptimo.
- Maximización de la vida útil de los equipos como aporte del mantenimiento oportuno.

2.14.2 Misión del Área de Operaciones Terrestres en el Mantenimiento

El Área de Operaciones Terrestres de la organización mediante el mantenimiento tiene la misión, de garantizar el óptimo funcionamiento de los sistemas o equipos industriales, mediante programas de prevención de fallas, reparación de daños y mejoramiento continuo para proporcionar los tres propósitos fundamentales:

- Disponibilidad óptima de los activos o equipos de la producción.
- Conservación óptima de los activos fijos de la organización.
- Administración óptima de los recursos y medios de las tareas de mantenimiento.

En síntesis, el Área de Operaciones Terrestres de la organización debe cumplir unos propósitos y una misión mediante el mantenimiento óptimo para garantizar el máximo de confiabilidad de la Seguridad Industrial de los sistemas o equipos, y en particular de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos o petróleo. Este mantenimiento puede ser mantenimiento correctivo y/o preventivo, dependiendo de la situación del sistema, unidad productiva o equipo

2.15 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

³⁰El Mantenimiento Correctivo, denominado también “Mantenimiento Reactivo”, porque las acciones se efectúa después que ocurre un daño, una falla o, avería o error en sistema o equipo.

De la conceptualización del autor citado, se desprende que el Mantenimiento Correctivo o Reactivo, es la reparación o reposición de piezas o partes. Sin embargo, si no se presenta ninguna falla o error, el Mantenimiento Correctivo será nulo, y en tal caso, se deberá esperar que se presente un defecto para tomar medidas correctivas de las fallas o errores que ocasionan el problema.

El Mantenimiento Correctivo, en general puede ser de gran aportación al Sistema de Producción o Servicios de la Organización o Empresa, para evitar las consecuencias siguientes:

- Paradas no previstas en el proceso de la producción o prestación de servicios, lo que equivale a disminuir las horas en el trabajo operativo.
- Retrasos en la cadena y/o ciclos productivos con afectaciones en la recepción, almacenamiento y despacho, tanto para clientes como para el cumplimiento de las metas y objetivos de la empresa.
- Incrementar de presupuesto en costos no previstos por reparaciones y repuestos no programados.
- Improvisación en la determinación de presupuestos especiales para enfrentar la emergencia y corregir las fallas o errores en los sistemas o equipos.

2.15.1 Categorías de Mantenimiento Correctivo

Según el autor citado (22) existen cuatro categorías de Mantenimiento Correctivo:

- **Reparación de la Falla.** Cambio de un elemento de un equipo para continuar con su funcionamiento.
- **Salvataje.** Recuperación de elementos de un equipo y utilización en otro equipo.

³⁰ Dhillon B. Engineering Maintenance a Modern Approach. USA: CRC Press; 2002.

- **Reconstrucción.** Restaurar un elemento a su estado original en apariencia y esperanza de vida.
- **Overhaul.** Reparación total de lo que no es adecuado.

2.15.2 El Proceso de un Mantenimiento Correctivo

El Proceso de un Mantenimiento Correctivo, es de cinco pasos:

1. Reconocimiento específico de las fallas.
2. Localización de las fallas en las partes relacionadas.
3. Diagnostico de aspectos técnicos y presupuesto.
4. Reparación o corrección de errores; y,
5. Revisión y evaluación de eficiencia.

En síntesis, como medida de prevención de riesgo a partir de la Evaluación de Riesgo de cada sistema, unidad productiva o equipo, y luego Planificar y Controlar el Mantenimiento Correctivo para que el resultado constituya una ventaja favorable, y porque es la alternativa de contar con presupuesto para solucionar fallas o errores imprevistos, con lo que se evitarán costos asociados en los sistemas o equipos por la para no esperada.

2.16 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

³¹El Mantenimiento Preventivo es una actividad “Programada de Inspecciones, tanto del funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse acabo en forma periódica en base a un plan establecido”.

La conceptualización del actor citado, permite detectar fallas repetitivas, aumentar la vida útil de los activos o equipos, disminuir los puntos muertos por las paradas de los sistemas, disminuir costos de reparaciones, identificar debilidades en determinados componentes o piezas, entre otros aportes.

2.16.1 Metodología

La Metodología consiste en el diseño e implementación de un programa de Mantenimiento Preventivo a los sistemas o equipos, los que se los somete a inspecciones periódicas de su

³¹Dhillon B. Engineering Maintenance a Modern Approach. Usa: CRC Press; 2002.

funcionamiento, materiales y elementos que los integran, tales como lubricación, prevención, limpieza y regulaciones para evitar que se originen fallas.

a) **Criterio de continuidad de Mantenimiento.** La condición de costo en la continuidad es:

$$(CF) (ACPBD) (A) > (CPMS) \text{ Donde:}$$

CF: Cantidad de Fallas.

ACPBD: Promedio de Costo por Falla.

A: Factor propuesto de 70% del total de costos de las fallas.

>: Mayor que

CPMS: Costo Total del Sistema de Mantenimiento Preventivo

b) **El Programa de seis pasos de Mantenimiento Preventivo.**

El Mantenimiento Preventivo óptimo se puede logra mediante un programa de seis pasos:

1. Identificar el área o las áreas para obtener resultados de calidad por el manejo del programa.
2. Identificar las necesidades de los equipos para establecer el Programa de Mantenimiento.
3. Establecer la frecuencia de Mantenimiento con base en la experiencia de los operadores y/o recomendaciones de los fabricantes o expertos proveedores.
4. Preparar el Programa con actividades diarias y periódicas a realizar, con la aprobación de los Supervisores de Mantenimiento y Gerencia de Operaciones.
5. Establecer un horario de Mantenimiento Preventivo anual con la descripción de las actividades a realizar a través de un calendario o cronograma.
6. Exponer, comunicar y aplicar el Programa de Mantenimiento en las áreas de la empresa

³²Según el autor citado, la gerencia de operaciones y el personal colaborador gana experiencia con los proyectos pilotos, que garantiza la existencia del Programa de Mantenimiento.

En síntesis, el propósito del Mantenimiento Preventivo, es prevenir averías o desperfectos en el estado inicial y corregirlas en tiempo oportuno evitando costos asociados por para, mantener los equipos y sus instalaciones en operación a niveles adecuados de seguridad y eficiencia óptima. La ventaja del Mantenimiento Preventivo disminuye costos de mantenimiento correctivo y aumenta la disponibilidad de los equipos, lo que permite mayor desarrollo de la Gerencia de Operaciones en el Área de Mantenimiento. La desventaja, es que al inicio se incrementan las inversiones en equipos y mano de obra especializada en mantenimiento preventivo.

2.17 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO CON MÍNIMOS RIESGOS

Las estrategias surgen en la Gerencia de Operaciones Industriales para evitar el aburrimiento del trabajo repetitivo en la organización. Cuando el trabajo diario es por largo tiempo, como consecuencia, se inician los errores o fallas por desmotivación del personal en la realización de las tareas, por lo que la solución es crear “sistemas imaginativos” para transformar las tareas repetitivas en un trabajo que genere satisfacción y compromiso en los colaboradores.

Para llevar a cabo el Mantenimiento Correctivo o el Mantenimiento Preventivo, se lo hace mediante planes operativos diferentes con trabajos repetitivos, que tienen incidencia negativa en la desmotivación en el personal. Una combinación de los dos sistemas puede ser la “Estrategia óptima” para conseguir la conservación y mantenimiento de los activos productivos o equipos de cualquier empresa. De este modelo de estrategia surgen el Mantenimiento Predictivo, Mantenimiento Proactivo, Mantenimiento Productivo Total y el Mantenimiento centrado en la Confiabilidad

³² Dhillon B. Engineering Maintenance a Modern Approach. USA: CRC Press; 2002.

2.17.1 Mantenimiento Predictivo en la Confiabilidad de la Seguridad Industrial

El Mantenimiento Predictivo consiste en predecir la posible falla antes que esta se origine. Se trata de adelantarse mediante la deducción a la falla o al momento en que el equipo o componente deja de funcionar en condiciones óptimas. Esto se puede conseguir con la utilización de herramientas y técnicas de monitoreo de los elementos más sensibles mediante la observación con la medición de índices de rendimiento.

Las herramientas y técnicas a través del monitoreo de los componentes o indicadores de un sistema o equipo, permiten a la gerencia de operaciones ir recopilando datos y realizar un seguimiento de desgaste o falla potencial, y de esa manera determinar o predecir el punto aproximado de cambio o reparación de la pieza o elemento iniciador de la pérdida de eficiencia productiva del equipo o maquinaria.

El Mantenimiento Predictivo también se lo conoce como Mantenimiento Basado en la Condición (MBC) o en inglés: CBM- condición Based Maintenance. Por medio del MBC la Gerencia de Operaciones busca determinar la probabilidad de fallas de los sistemas o equipos. Esto consiste en monitorear las condiciones de funcionamiento o comportamiento del equipo y sus partes componentes, con lo que determinan los índices ideales de prevención de fallas, tanto en el aspecto técnico como económico. Con esta información, se puede diseñar y aplicar el programa de mantenimiento basado en pronóstico de ocurrencia de fallas o vida remanente.

a) Ventajas del Mantenimiento Predictivo.

El Mantenimiento Predictivo optimiza y especializa la gestión del personal de mantenimiento y reduce el tiempo de parada al conocer aproximadamente que componentes o parte en cada equipo falla, con lo que se va recopilando los datos que permiten determinar la probabilidad de fallas de los equipos y del sistema de operaciones en su totalidad.

b) Desventajas del Mantenimiento Predictivo

La implementación del Mantenimiento Predictivo requiere de una gran inversión inicial en equipamiento de herramientas o equipos analizadores de metales, vibraciones y sensores que tienen alto costo, además del personal técnico especializado para el monitoreo y recopilación de datos hasta en convertirlos en información con reporte a la gerencia de operaciones. Sin embargo, es una inversión que se justifica en lo técnico y económico..

2.17.2 Mantenimiento Proactivo

El Mantenimiento Proactivo, se dirige a la detección y corrección de causas que generan el desgaste y que conducen a la falla del componente o pieza del equipo o máquina. Esto es porque la durabilidad de los componentes de un sistema o equipo, dependen de los indicadores de causa de fallas, mantenidos dentro de los límites aceptables, con la utilización de una práctica de “detección y corrección” de las desviaciones.

Límites aceptables, significa que los indicadores de causas de fallas están dentro de un rango de severidad operacional que conduce a una vida en servicio aceptable del componente del equipo.

Los costos de un Mantenimiento Proactivo, son similares y complementarios a los del Mantenimiento Predictivo. Lo importante, es que una vez que sean localizado las causas que generan desgaste, no se debe permitir que continúen presentes en la maquinaria, porque en caso contrario, su desempeño y vida útil se reducirán, lo que implicará pérdidas a la empresa.

2.17.3 Mantenimiento Productivo Total (MPT)

Es un Mantenimiento que integra al operador del equipo o máquina, como respuesta frente al avance de las teorías de calidad total, que propone la modalidad de participación del operario en toda la cadena de producción. Por lo tanto, debe ser el mismo operario que maneja las máquinas el que efectúe el mantenimiento primario o elemental, que incluye la

limpieza y lubricación. Con la experiencia que va adquiriendo a través del tiempo puede ir tomando más tareas y de esa manera hacerse responsable hasta del mantenimiento total.

a) Ventajas del MPT.

Integra la participación a toda la organización en los trabajos de mantenimiento, con lo que se consigue potenciar la seguridad en el funcionamiento de los equipos con un mínimo de riesgos por fallas, muy cerca de la idea de calidad total y mejora continua-

b) Desventajas del MPT.

En una empresa industrial ya formada, se requiere de un cambio de cultura para que pueda tener éxito el MPT. No puede ser introducido por imposición, requiere del liderazgo gerencial y del convencimiento por parte del personal de la organización, especialmente de las autoridades que aún creen en el sistema de administración de mando y control como la norma gerencial.

En síntesis, el MPT este es un Sistema de Mantenimiento orientado a lograr: cero accidentes, cero defectos y cero averías, de los equipos en servicio o producción industrial, donde la participación de los operarios se manifiesta en operaciones técnicas y de eyección o gerencia del equipo a su cargo y en colaboración solidaria con las demás personas que se relacionan en el área de trabajo.

2.18 ELEMENTOS DE MANTENIMIENTO QUE POTENCIAN LA SEGURIDAD

Un Sistema de Mantenimiento eficaz y eficiente, se inicia con la identificación de los elementos que comprenden la instalación industrial o equipo en servicio, su localización y manejo técnico en el funcionamiento. Esto implica, el conocimiento de una serie de parámetros para poder gestionar el mantenimiento de manera efectiva.

2.18.1 Inventario y Catastro.

El inventario correlaciona cada sistema o equipo con su área de aplicación, función, centro de costos y posición física o geográfica en el área de producción y a la vez asistir al personal de la gerencia para el dimensionamiento de los equipos de operación y mantenimiento, calificación necesaria al personal, definición de instrumentos, herramientas y máquinas, además de la proyección del plan de construcción y distribución de los talleres de apoyo.

Con la identificación de los equipos que componen la instalación, los registros se complementan con las demás informaciones, las que deben ser suficientes y amplias para dar respuestas a consultas de especificaciones, fabricación, adquisición, traslado, instalación, operación y mantenimiento. A este conjunto de información se la conoce como catastro, que se lo puede definir como el registro de mayor cantidad de datos posibles de los equipos, a través de pantallas estandarizadas o fórmulas, que archivados de forma conveniente, posibilitan el acceso rápido a cualquier información, sin que sea necesario recurrir a fuentes de consulta, entre los principales datos se encuentran los elementos siguientes:

- Manuales y Catálogos.
- Planos de los Equipos o Sistemas.
- Recomendaciones de los fabricantes.
- Costos asociados.
- Valores nominales Tensión / corriente. Dimensiones.

2.18.2 Instrucciones de Mantenimiento y Recomendaciones de Seguridad

Con el propósito de estandarizar los medios operativos que generan la confiabilidad en los tanques y equipos componentes en servicio, mediante las actividades programadas del mantenimiento, es adecuado establecer Instrucciones de Mantenimiento, con las que se pretende orientar la ejecución de tareas de mantenimiento en esas actividades para evitar que se omitan tareas, sea por desconocimiento u olvido

2.18.3 Los Archivos con Recomendaciones de Seguridad

Como Instrucción de inicio, existen los archivos de recomendaciones de Seguridad, las que están asociadas a la naturaleza del equipo y que tiene como propósito, evitar acciones o actos inseguros durante la ejecución de tareas de mantenimiento en condiciones inseguras o con ciertos riesgos.

2.18.4 Informes de Falla

Los registros de información precisa sobre las fallas es una de las funciones más importantes, reportada por los supervisores de: operaciones, mantenimiento y de control de los Tanques en servicio, en la identificación de fallas que sea una amenaza en la reducción de la Seguridad, para evitarla se requiere de la información siguiente:

- Una descripción precisa del componente o la parte que falla del sistema o tanque.
- La opinión del supervisor respectivo acerca de los factores causales de la falla.
- Definición precisa del problema por la falla identificada.

En la formalización del proceso de análisis de fallas, para que sea un aporte al fortalecimiento de Seguridad, se sugiere crear documentos especiales, para que constituyan el Sistema de Informes de Fallas. En este informe de falla, debe ser dividido de acuerdo a los responsables de dicha información, la que será clasificada de la manera siguiente:

- **Informe del Iniciador.** Esta parte del informe de falla, es de responsabilidad de quién detecto la falla, que bien podría ser del operador o supervisor de sistema o tanque.
- **Informe del Reparador.** Este informe de falla, es de responsabilidad de quién está a cargo de la reparación del sistema o de solucionar el problema de un componente del tanque, y puede ser de responsabilidad de un operador, supervisor, de un mantenedor mecánico o eléctrico, en el cual además de indicar cuales fueron las causas de la falla y trabajo realizado emitirá un registro de los requerimientos o medios utilizados.

- **Informe del Analista.** Esta es la parte que corresponde al planificador, en el análisis de la causa de la falla para lograr emitir recomendaciones para tratar de evitar la reiteración de dicha falla.

2.18.5 Órdenes de Trabajo

La orden de trabajo, es el documento utilizado para registrar los trabajos de operaciones, mantenimiento y análisis de falla.

La fuente de datos de las actividades realizadas por el personal de operaciones o de mantenimiento deben incluir el tipo de actividad, prioridad, falla o el defecto encontrado y cómo se efectuó la reparación, duración, los recursos humanos y materiales empleados, y otros datos con los cuales se debe evaluar la eficiencia de la restauración de la Seguridad, y las implicaciones con los costos asociados y la variación de la programación. Sin embargo, las Órdenes de Trabajo varían de acuerdo con el tipo de empresa, en relación a la actividad, organización, cantidad de mano de obra y equipos que posee.

2.18.6 Disponible Mano de Obra

Se entenderá por Disponible Mano de Obra (o personal) dentro de las operaciones y mantenimiento, a la cantidad de horas trabajadas normales y horas extras de los empleados, menos la cantidad de horas no presentes por motivos de fuerza mayor como vacaciones, por enfermedad, servicio en otras unidades de la empresa, capacitación externa, accidente o cualquier otro modo autorizado o no, que haya originado la ausencia del personal.

En la recolección de datos de la disponibilidad de personal, para la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo o reparaciones, ya sea que se efectúe por una unidad interna de la empresa o por contratistas, se requiere del diseño de un formulario para recopilar los datos técnicos del equipo en funcionamiento, por la gerencia de la unidad operativa u órgano administrativo correspondiente del sistema o tanque en servicio, a partir de las tarjetas u otro sistema de control utilizado en el área de la Empresa.

En el caso que el órgano administrativo, disponga de un sistema específico, para el registro de estos datos y que el sistema esté correlacionado con el de mantenimiento, estos pueden ser transferidos directamente de un sistema para otro.

2.18.7 Datos de Operación

Para permitir el procesamiento de información relativa a los informes de gestión de equipos y costos, debe ser previsto el registro de los datos provenientes de operación, que debe constar básicamente en horas de funcionamiento de los equipos por período de control, pérdida o reducción debido al mantenimiento, además de la referencia a cada intervención normalmente hecha a través de la indicación de la cantidad de ordenes de trabajo.

Estos registros deben ser hechos por los propios operadores, esta información puede ser obtenida directamente de los bancos de datos de operación.

2.19 LA SEGURIDAD ANTICORROSIVA VÍA MANTENIMIENTO DE TANQUES

³³La corrosión por rendijas, es una de las amenazas a la que se enfrentan los metales, en particular las planchas de acero al carbono, como el material del fondo de los tanques de almacenamiento de petróleo en el TMB.

De acuerdo con la fuente citada, se desprende que la corrosión es el principal factor causal del incremento de riesgo en el fondo de todos los tanques, situación que se agrava debido a que más del 1.2% de agua con lodo se asienta una vez que el petróleo es almacenado. Esto implica, que el equipo asignado para extraer el agua y lodo, aun en pequeña cantidad, no está cumpliendo con la función, fallo que podría ser causada por diseño.

- a) La corrosión interna y localizada, se produce cuando se acumulan pequeños volúmenes de solución en agujeros, juntas, solapas, entre otros. La

³³ Seminario Internacional de Protección de Metales Escuela Politécnica Nacional 2008 Quito.

presencia de pequeños canales o separaciones entre dos metales o un metal pueden dar origen a este tipo de corrosión.

- b) La rendija una vez que aparece, rápidamente puede hacerse lo suficientemente ancha para que permita el ingreso de líquido. Cuando es lo suficientemente angosta es generadora de un daño a corto y mediano plazo para generar riesgo amenaza a las planchas de acero del fondo del tanque.

En síntesis, los agujeros por pequeños que parezcan para cualquier tipo de planchas, sean de acero al carbono, planchas inoxidable, entre otras, son particularmente susceptibles a fallos por corrosión de metales. La solución se inicia por la identificación, pero en el fondo de un tanque de petróleo, se tiene que recurrir a los conocimientos científicos y técnicos de la actividad de mantenimiento industrial.

SÍNTESIS GENERAL DEL CAPÍTULO II

- a) La Seguridad Industrial de cada Tanque en servicio, en su condición de variable dependiente, requiere de la Evaluación de Riesgos, tanto interna como externa, efectuada por especialistas.

- b) El conocimiento y análisis de la Seguridad, se centró en los componentes del Tanque, en el como se debe administrar las tareas de seguridad y mantenimiento, especialmente de los elementos o componentes más sensibles de un sistema o tanque, cuando es utilizado en la recepción, almacenamiento y despacho de hidrocarburos o petróleo, como es el caso del TMB.

CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO TEÓRICO.

Del desarrollo de los componentes de la Gestión de Riesgos, sí se verifica que la Evaluación de Riesgo, es una variable independiente que puede potenciar a la Seguridad Industrial, especialmente en el almacenamiento de petróleo crudo en el Terminal Marítimo de Balao.

CAPÍTULO III

INVESTIGACIÓN METODOLÓGICA

3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La Investigación consiste en el desarrollo de los componentes siguientes:

3.1.1 Tipo de Investigación

La Investigación se considera de Campo, porque los datos se toman en el lugar donde se encuentran situados los diez tanques de almacenamiento de petróleo crudo, en el Sistema de Operaciones Terrestre del Terminal Marítimo Balao. Es Explorativa porque se analiza en su trayectoria cada uno de los elementos y accesorios que se encuentran instalados en cada tanque. Es Analítica y Descriptiva, porque se analiza el proceso de la ingeniería en la construcción de cada parte del tanque, y se describen las características de las funciones en el cumplimiento o no por fallas identificadas en los componentes o partes de cada tanque en servicio.

3.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO

Identificar los niveles de Riesgos en el Fondo y la Fundación de los Tanques del TMB, mediante la observación, resultados de Inspecciones y Entrevista realizada al Supervisor de Mantenimiento Terrestre del Terminal Marítimo de Balao “TMB”

3.3 UNIVERSO DE INVESTIGACIÓN

El Universo de análisis se compone de los diez Tanques de Almacenamiento en servicio, y en particular, el Fondo y la Fundación o base donde se encuentra asentado cada tanque cilíndrico en el Sistema Operaciones Terrestres del TMB.

3.3.1 Personas Involucradas en las Operaciones del TMB

Tabla 3.1. Universo de Involucrados

Objetivo: Conocer las Fallas generadoras de Accidentes y Eventos no deseados por los sectores involucrados.	
SECTOR INVOLUCRADO	UNIVERSO
- Directivos	2
- Trabajadores	100
- Contratistas	150
- Expertos en Seguridad	3
TOTAL	255
Fuente: Diseño de Investigación de campo. Elaboración: Propia	

3.4 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL TANQUE

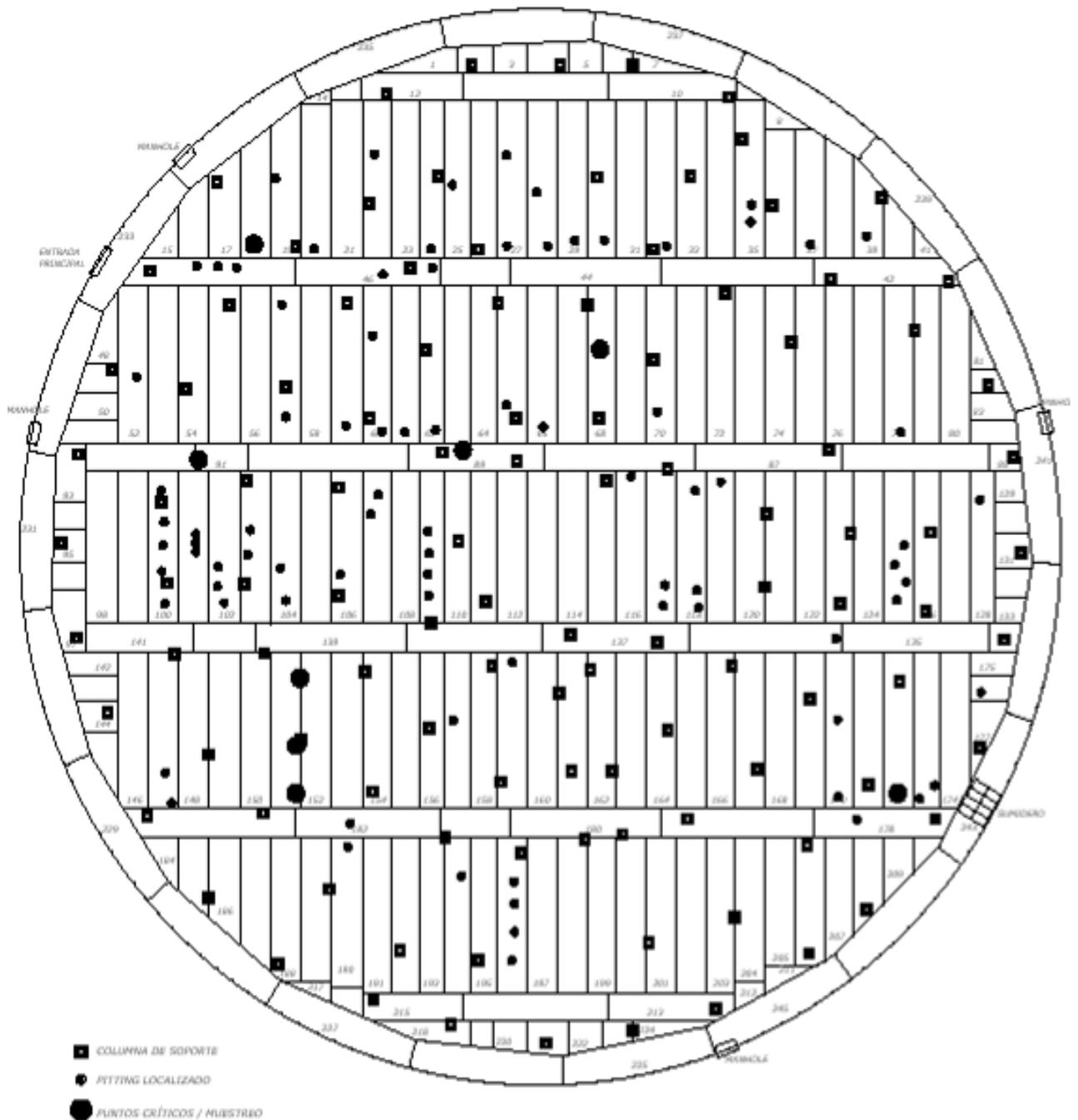
Figura No 3.1 INSPECCIÓN TANQUE 322003



Fuente: Archivos Fotográficos TMB

Los resultados obtenidos en el campo de las instalaciones, se resumen a continuación:

FIGURA No 3.2 FONDO DEL TANQUE
FONDO DEL TANQUE: 322003 FECHA: 20-02-2009



FONDO

Fuente: Archivos TMB.

3.5 ANÁLISIS DE TANQUES EN OPERACIONES EN PLANTA INDUSTRIAL

La Investigación de Campo se inicia con la observación de los componentes o partes con el propósito de evaluar el funcionamiento de los diez Tanques, como subsistema dentro del Sistema de Operaciones Terrestres de Almacenamiento de Petróleo crudo en el Terminal Marítimo de Balao.

Los componentes del Tanque de acero cilíndrico vertical son los descritos en el Capítulo II.

3.6 REALIZACIÓN DE LA INSPECCIÓN DEL TANQUE 322003

La realización de la Inspección del Tanque 322003 se inició con la autorización de la autoridad correspondiente según consta del Memorando No 049-PCO-GRN-VIT-2009 de fecha 25 de febrero del año 2009 Terminal Marítimo Balao.

Consta por el Oficio No 065-OTE-OTB-2009, los resultados obtenidos en la Inspección por barrido continuo con el equipo FALCON 2000, realizada al Fondo del Tanque de Almacenamiento 322003 del Terminal Marítimo de Balao, durante el periodo comprendido del 10 al 13 y del 18 al 20 de febrero año 2009.

Objetivo: Determinación del estado actual de las planchas del Fondo del Tanque 322003, ubicado en las instalaciones del Terminal Marítimo de Balao, Ciudad de Esmeraldas.

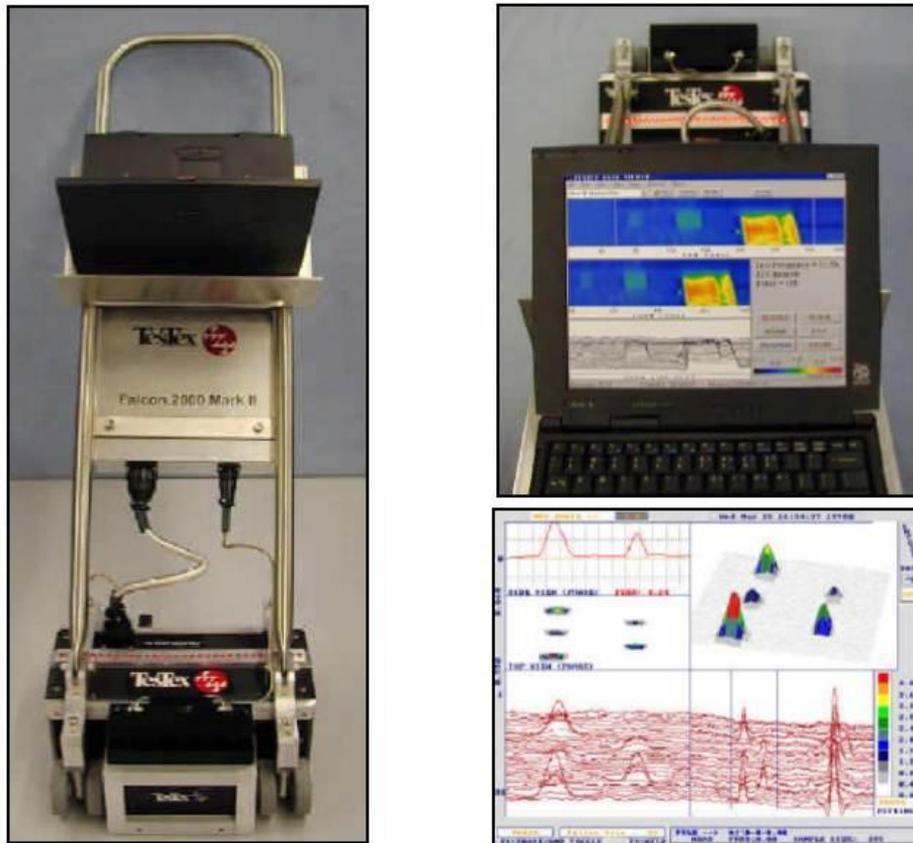
3.7 TECNOLOGÍA UTILIZADA EN LA INVESTIGACIÓN DE FONDO DEL TANQUE

Se utilizó en la inspección el Equipo adquirido por Inspección Técnica FALCON 2000 MARK II para el fondo de tanques con equipo completo HAWKEYE para cordones de soldadura, desarrollado por la empresa TESTEX de los EE UU.

Este equipo cuenta con la tecnología basada en los principios de la Técnica Electromagnética de Baja Frecuencia. Esta herramienta de inspección está diseñada para la visualización en tiempo real, en un computador portátil, del resultado del eco

electromagnético emitido por sus 32 transductores, el que se obtiene por barrido continuo de las planchas de acero del fondo del tanque de almacenamiento sin recubrimiento.

Figura 3.3. EQUIPO DE INSPECCIÓN FALCON 2 000 MARK II



Fuente: Informe de Inspección 2009

Por las características de la tecnología electromagnética, éste equipo principalmente proporciona información de carácter cualitativo por sobre datos cuantitativos, por lo tanto la información visual y porcentual que entrega, corresponde a la localización de probables anomalías por deformación, laminación, inclusiones, pérdida de espesor y pittings o picaduras de las planchas de acero investigadas. Una investigación completa debe utilizar, la inspección ultrasónica puntual de las posibles afectaciones localizadas para corroborar la existencia de las mismas y obtener el dato exacto.

3.8 RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN REALIZADA

Los resultados obtenidos en la inspección realizada en el Tanque 322003 son los que a continuación se detallan:

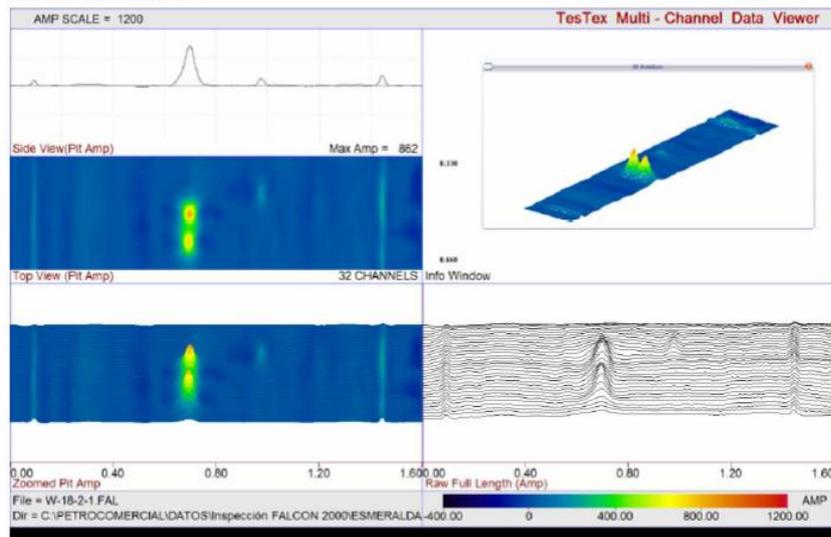
- La inspección por barrido continuo de las planchas del fondo del tanque revela la presencia de picaduras (pitting) en algunas planchas, distribuidas en toda la estructura: la mayoría revela una pérdida de espesor de hasta el 20% promedio, lo que indica un nivel de corrosión moderada.
- En las planchas No 18, 68, 91, 89 y 172 se detectaron afectaciones con pérdida de espesor superior al 20%, las que deben verificarse con un equipo ultrasónico de medición de espesores puntuales según el diagrama obtenido y que se indica en la Figura 3.2
- El cordón de soldadura a lo largo de la unión entre planchas No 151 y 152 se observa el deterioro del revestimiento y partes del levantamiento en el área de la columna de soporte, lo que se indica en el diagrama adjunto. Existe abombamiento de pintura en las planchas No 101 y 157 según el diagrama adjunto Figura 3.2
- La inspección de los cordones de soldadura se realizó en el área circundante a sumidero, por considerarla crítica para la operación del tanque. El equipo utilizado HAWKEYE no mostró lecturas de defectos en las mismas a las que se tuvo acceso físico, ni se observaron defectos pasantes.
- No se encontraron áreas con corrosión generalizada.

Se presenta el diagrama de distribución de las planchas en la Figura 3.2.

También se presenta la información gráfica del barrido generado por el equipo FALCÓN 2 000 de las localizaciones más relevantes en las planchas No 18, 69, 91, 89 y 172, adjunta en el Reporte gráfico 3.8.1.

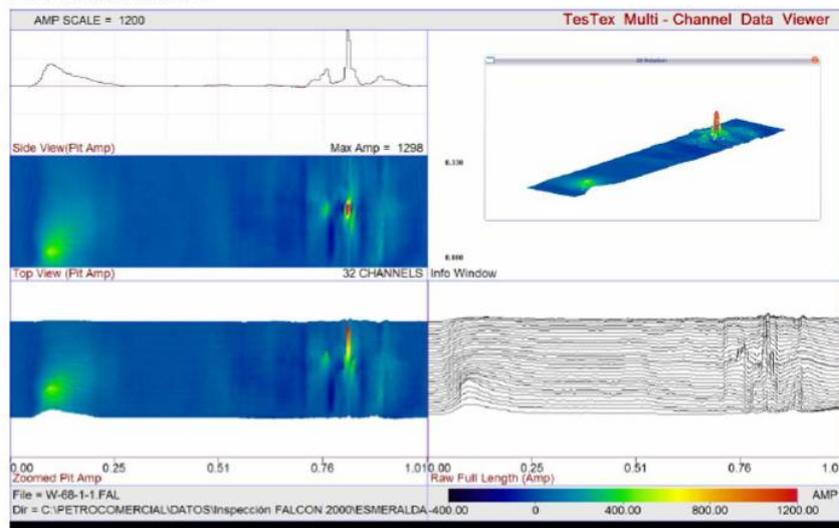
3.8.1. Reporte Gráfico de la Inspección por Barrido Continuo Falcón 2000

PLANCHA No.18 :



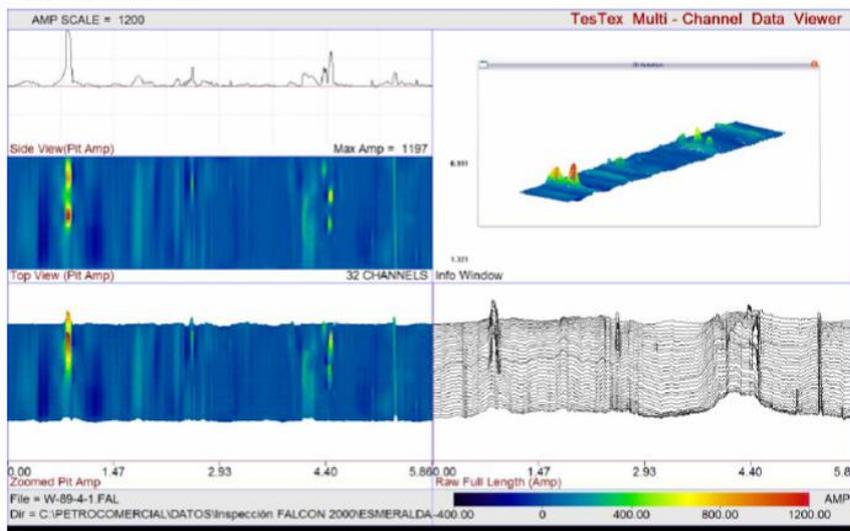
Fuente: Informe de Inspección 2009.

PLANCHA No.68 :



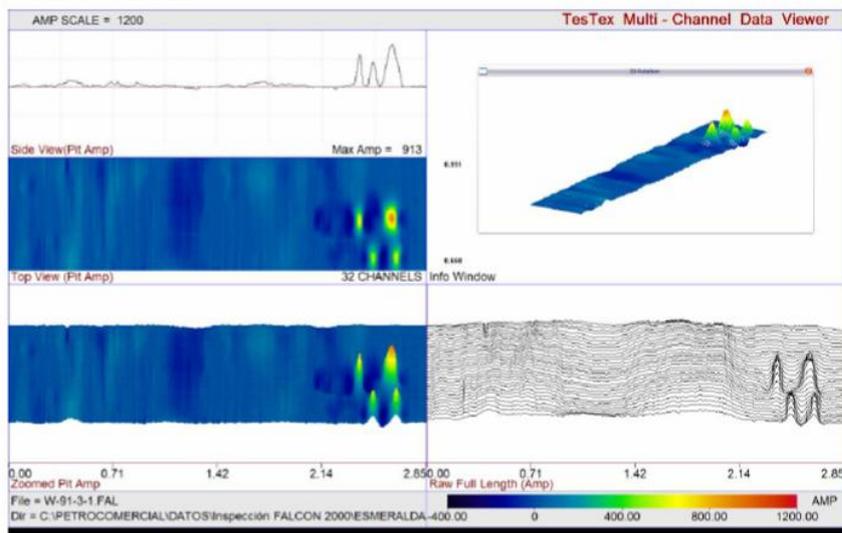
Fuente: Informe de Inspección 2009.

PLANCHA No.89 :



Fuente: Informe de Inspección 2009.

PLANCHA No.91 :



Fuente: Informe de Inspección 2009.

3.9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el informe respectivo, se concluye lo siguiente:

- Las planchas del Tanque 322003 se encuentran en condiciones aceptables. En las planchas No 18, 68, 91, 89 y 172 se recomienda un análisis minucioso de los puntos señalados mediante un equipo ultrasónico de medición de espesores y, de ser el caso, la reparación con masilla metálica en los puntos afectados.
- La pintura del fondo del tanque inspeccionado se encuentra en general, en buenas condiciones. Sin embargo, se requiere la reparación puntual de las novedades indicadas en las planchas No 101, 151, 152 y 157
- Sobre el sumidero existe una estructura metálica que impide el acceso al interior, por lo que no es posible una inspección adecuada de los cordones de soldadura. De la inspección minuciosa realizada en el área circundante tanto de las planchas, como de los cordones a los que se tuvo acceso, se concluye que éstos se encuentran en buenas condiciones; pero, en el área referida no se pudo inspeccionar y no se descarta algún tipo de defecto en esa área específica.

3.10 RESULTADO DE LA ENTREVISTA REALIZADA AL SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO DEL TMB

Entrevista efectuada al Ing. Danny Mestanza, Supervisor de Mantenimiento del Sistema de Recepción, Almacenamiento y Despacho de petróleo crudo en el TMB, el 6 de noviembre año 2011 en las instalaciones de los Tanques en servicio. Esta entrevista trata de la identificación de la existencia de alto nivel de riesgo como problema, y de la aceptación de la propuesta de implementación de la Metodología Análisis Modal de Causa y Efecto “AMFE, como la solución para potenciar a la Seguridad en el TMB.

I. El Problema existente. Elementos Sensibles al RIESGO que reducen la SEGURIDAD

1. CONSULTA. Cuáles son los elementos o componentes sensibles del sistema de Operaciones en los que se identifica riesgo o inseguridad para la instalación y las personas relacionadas con el proceso?

RESPUESTA: Entre los elementos sensibles que involucran alto riesgo de afectación ambiental y personal, están el techo y fondo de los tanques de almacenamiento, tuberías y válvulas, en especial los dos primeros por la posibilidad de fuga. Por eso al momento nos encontramos afrontando la inspección periódica y el mantenimiento correctivo de los tanques 1, 3, 4, 5 y 6. Esto se traduce en pérdida de eficiencia y capacidad operativa y los correspondientes costos operativos por multas, retrasos y costos de oportunidad.

2. CONSULTA. El nivel de Riesgo con amenaza de catástrofe (incendio y derrame de petróleo crudo), **en la Recepción, Almacenamiento y Despacho**, con daños en el Sistema de Operaciones Terrestre ¿Con que seguridades cuenta el sistema de control para la protección de las operaciones en tierra?.

RESPUESTA: En la actualidad se está finalizando la instalación del nuevo sistema contra incendios con tecnología detección temprana; además, se cuenta con el sistema existente

CARDOX CO₂, lo cual reduce el nivel de riesgo por posible catástrofe por incendio. En estos dos últimos dos años el TMB ha realizados grades esfuerzos en reducir riesgos modernizando los componentes de los Tanques y del sistema.

Con respecto al derrame de petróleo no se cuenta con el nivel de impermeabilización adecuado de las áreas circundantes, no obstante se está atacando a la fuente, es decir los tanques de almacenamiento, cambiando las planchas del piso y medición semestral de horizontalidad y verticalidad.

3. CONSULTA. Cómo considera el aporte de la Gerencia respecto al estado del sistema de almacenamiento y las fallas que afectan la seguridad?

RESPUESTA. Existe la conciencia de la importancia a nivel de toda la Gerencia sobre el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de almacenamiento. De esta manera facilitan y gestionan la adquisición de suministros y equipos, realización de inspecciones y coordinación de operaciones para evitar el menor efecto operativo posible, a fin de garantizar la continuidad de las condiciones ambientales y de seguridad para el personal y la Empresa.

4. CONSULTA. Cuál es la respuesta de la Intendencia y Gerencia frente a la normativa RAOHE de impermeabilización de los cubetos de los tanques de almacenamiento?

RESPUESTA. En mi criterio es imposible el cumplimiento de esta normativa pues en nuestro caso, el sistema de almacenamiento data de hace más de 20 años; por lo cual, en las características constructivas y normativas de la época no preveía dicha impermeabilización. Además estamos hablando de una superficie cercana a los 3 km de longitud donde el proceso resultaría de alto costo. Es preferible mantener el control sobre la posible fuente de contaminación e intervenir en la misma.

5. CONSULTA. Se ha producido eventos en los que se ha comprometido la seguridad y las condiciones ambientales en el área de almacenamiento? Cuál fue la respuesta del personal? Hubo afectación al personal?

RESPUESTA. Si, pese a los controles e inspecciones periódicamente realizadas, afrontamos dos fallas de menor escala en la base estructural de los tanques 322001 y 322003 separadamente. Nuestro personal de operaciones actuó inmediatamente, transfiriendo mediante las líneas de carga el producto contenido en cada tanque al momento del fallo; mientras que el personal de medio ambiente actuó en la limpieza y remediación de las área afectadas. No se registró accidentes ni afectaciones al personal en ninguno de los dos eventos.

6. CONSULTA. Utiliza algún modelo basado en probabilidad para evitar los Riesgos en el Sistema de Operaciones Terrestres?

RESPUESTA. El manejo y la prevención del sistema de operaciones, está basado en la experiencia y recomendaciones de los fabricantes y distribuidores de equipos y suministros. A esto se suma las recomendaciones del personal técnico disponible en la Empresa. No disponemos de modelos basados en probabilidad.

II. PROPUESTA PARA MEJORAR LA SEGURIDAD: Implementación del AMFE en el TMB

7. CONSULTA. Como consideraría Usted, la implementación de un sistema para monitorear el estado de cada componente del sistema de operaciones terrestres del TMB?

RESPUESTA. Definitivamente constituye una ventaja en cuestión de aprovechamiento de tiempo y recursos. Actualmente el 70% de los equipos involucrados en el sistema de control de operaciones tienen la capacidad de ser monitoreado en tiempo real. No obstante no están asociados a un programa o subsistema que realice reportes de prevención de riesgos.

8. CONSULTA. Cómo considera la propuesta de usar Metodología Computarizada para disminuir el grado de Inseguridad, Accidentes Industriales, Laborales y Ambiental en el Sistema de Operaciones Terrestres?

RESPUESTA. El uso de nueva metodología definitivamente es una ventaja, pues permite el mejor aprovechamiento de los recursos, disminución de tiempos de parada y tiempos muertos. No obstante, debe involucrar el adelantamiento y mejoramiento tecnológico de varios componentes del sistema, previa su implementación.

9. CONSULTA. Como considera el aporte de monitoreo permanente por computador de la base del Tanque para evitar fugas de sustancias?

RESPUESTA. Sin duda constituiría un mecanismo de aporte y reducción de costos para el proceso de mantenimiento. Es necesario hacer notar que las fugas no ocurren normalmente en las superficies grandes sino en los puntos de unión o de soldadura.

10. CONSULTA. El **diseño y Uso de un Modelo de Probabilidad con Análisis Modal de Causas y Efectos “AMFE” para evitar los Riesgos** en el Sistema de Operaciones Terrestre dado el peligro de fugas de Petróleo Crudo ¿Usted considera esta propuesta cómo?

RESPUESTA. El Sistema AMFE, es una buena opción, aunque requiere de inversiones. Sin embargo, es un esfuerzo, que vale la pena porque se afianzará la Seguridad y se reduciría el nivel de riesgo.

3.11 CONCLUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA ENTREVISTA

De los resultados de la Entrevista al Ing. Danny Mestanza, Supervisor de Mantenimiento del Sistema de Recepción, Almacenamiento y Despacho de petróleo crudo en el TMB, valida la presente investigación sobre el problema y las hipótesis formuladas. Las respuestas registradas sobre los temas consultados, son representativas de las autoridades del TMB, dado que el entrevistado tiene a su cargo el mantenimiento entre otras funciones. Además que las respuestas registradas en la entrevista, tienden en general a coincidir con los resultados de la Inspección efectuada al Fondo del Tanque No 322003.

3.12 CONCLUSIÓN GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO

De los resultados de la Investigación de Campo realizada, se obtienen las conclusiones siguientes:

- Se demuestra que existe afectaciones en el fondo del tanque 322003, generador de alto nivel de riesgo que reduce la Seguridad en el Sistema de Operaciones del TMB.
- En el tanque No 322004 existen daños similares en el fondo. En el tanque No 322006 por daños en el piso se encuentra en estudio; y según datos de mantenimiento, en los tanques no 322001 y 322002 también existe sospechas de daños pero aún siguen en servicio. Es decir, el problema existe en los Tanques de Almacenamiento.
- Los resultados obtenidos en la investigación de campo, son una evidencia que se ha dado cumplimiento con los objetivos e hipótesis formulados en la investigación
- Existen amenazas de riesgos sobre posibles derrames de petróleo por filtraciones o fugas debido a las averías o agujeros identificados en el Fondo de los Tanques, por lo que es pertinente el diseño de una propuesta de solución a dicho problema.

En general se concluye que, en los diez Tanques del Sistema de Operaciones Terrestres existen daños en el Fondo de cada Tanque, como factores causales de amenazas de fuga en todos, por lo que se recomienda, el diseño implementación de un Sistema de Evaluación de Riesgos, y en particular de la Metodología de Análisis Modal de Causas y Efectos “AMFE”.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS PARA POTENCIAR LA CONFIABILIDAD DE LA SEGURIDAD MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE ANÁLISIS MODAL DE FALLA Y EFECTO (AMFE)

4.1 INTRODUCCIÓN

El Almacenamiento del Petróleo Crudo será la etapa de control de calidad en el Tanque, que permite el proceso de análisis del producto y mejoramiento del proceso mediante la eliminación de agua, con el propósito de alcanzar los estándares de calidad en el Sistema de Comercialización. Esto implica la realización de tareas que generan valor económico al petróleo, pero que a la vez, el proceso de cada tarea con lleva un nivel de riesgo industrial, en los componentes o elementos del Tanque, lo cual genera la necesidad de un proceso gerencial, con la capacidad de planear, organizar, dirigir, integrar y controlar la ejecución de cada tarea. El solo hecho, de almacenar el petróleo en un Tanque, permite la separación de la sustancia hidrocarburífera que por su menor peso se ubica por encima del agua y ésta sobre residuos de lodo, aspectos conocidos de las propiedades físicas y químicas.

4.2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad de las Operaciones Industriales de los Tanques de Almacenamiento de Petróleo crudo, que es transportado por el SOTE desde Lago Agrio hasta el TMB en la Provincia Esmeraldas, se requiere de una Metodología de Gestión de Riesgos para garantizar la alta confiabilidad de la Seguridad Industrial como base de sostenimiento de un bajo nivel de riesgo contra la vida de las personas y de daños ambientales.

Como ya se mencionó en el estudio teórico, los Tanques son los medios eficientes que constituyen activos imprescindibles para el Almacenamiento de la Industria Petrolera,

tanto en la extracción como en el proceso de análisis del crudo para medir el grado del cumplimiento de los estándares de calidad de las Normas API y los materiales están regulados por las normas ASTM y además, deben adecuarse a las Normas de Seguridad dadas por NFPA (Nacional FIRE Protection Association).

Es a partir de los componentes de un Tanque de Almacenamiento de Petróleo Crudo, con capacidad interior de 322.000 barriles, donde se procede a efectuar el estudio del nivel de Riesgo y Confiabilidad de la Seguridad en el proceso de cada tarea mediante la utilización de la herramienta denominada Análisis Modal de Fallo y Efecto conocida con la sigla AMFE. A través del estudio, se delinearán los conceptos básicos del AMFE para fines de tareas de manejo industrial como es el mantenimiento de equipos, con la implicación directa de la protección humana y ambiental en toda el área de influencia en las Operaciones Terrestres del TMB.

Para el estudio del nivel de Riesgo en el Funcionamiento de los Equipos Industriales, mediante el uso del AMFE, previamente se requiere de:

- Listado y codificación de equipos.
- Listado de las funciones de los equipos y sus especificaciones.
- Análisis Modal de Fallo y Efecto (AMFE) y Correctivos AMFE.

4.3 FUNDAMENTACIÓN

La propuesta se fundamenta en la aceptación del 90% de los involucrados y en los requerimientos tecnológicos necesarios para que la Seguridad Industrial sea óptima, de calidad y excelencia, como aporte en la minimización de los riesgos en el funcionamiento de los sistemas o equipos y subsistemas de cada Tanque en servicio.

4.4 OBJETIVOS

4.4.1 Objetivo General

Establecer la Metodología con los medios necesarios para implementar la Gestión de Riesgo con los componentes de: Identificación, Evaluación y Priorización de los riesgos, que permita la Seguridad Industrial óptima en el funcionamiento de los Tanques en servicio en las actividades de Recepción, Almacenamiento y Despacho de petróleo crudo en el TMB.

4.4.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar los componentes de la Metodología de Gestión de Riesgos.
- Describir el listado de las funciones de los equipos con sus códigos y sus especificaciones.
- Análisis Modal de Fallo y Efecto (AMFE) y Correctivos AMFE.

El objetivo del AMFE se debe comenzar tan pronto como sea posible. Por definición el AMFE es una metodología orientada a maximizar la satisfacción de cliente mediante la reducción del riesgo existente en el Fondo de los Tanques de almacenamiento.

4.5. GESTIÓN DE RIESGOS PARA POTENCIAR LA SEGURIDAD EN EL TMB

El desarrollo de la Metodología de Gestión de Riesgos, es una respuesta adecuada en el establecimiento de mecanismos de aplicación permanente para la Evaluación de Riesgos en los Componentes Sensibles de los Tanques de Almacenamiento de las Operaciones Terrestres para la Seguridad Industrial, Humana y Ambiental en el TMB.

La aplicación del AMFE provoca un ejercicio de prevención de posibles fallos en un proceso o producto, con el que se consigue una participación mayor de todas las personas involucradas, con el consiguiente incremento del potencial activo y creativo. Así se

consigue una mayor satisfacción del cliente, al menor coste y desde la primera unidad producida, incluso cuando aún no se disponga de toda la información

4.5.1 Desarrollo de la Metodología AMFE

La Gestión de Riesgos, permite “**Identificar, Evaluar y Priorizar los Riesgos**” en cada uno de los Tanques en servicio. Con esto se pretende establecer un modelo de planeamiento y control integrado con tecnología de información (TI) continúa, como base en el Análisis Modal Fallos y Efectos “AMFE”, con tres instrumentos de control independientes:

- c) Gravedad. (G)
- d) Frecuencia. (F)
- e) Detección. (D)

Con estos tres instrumentos se establece el Método AMFE, medio tecnológico con el que se podrá efectuar el seguimiento y monitoreo continuo en el fondo del tanque en servicio. Con los datos obtenidos del monitoreo, la Dirección o el Área de Mantenimiento podrá conocer el grado de riesgo en el funcionamiento de cada Tanque en servicio, información que podrá ser comunicada a todos los involucrados en la Seguridad Industrial. Esto es, el AMFE, podría ser el aporte en la medición del nivel riesgo, mediante sus índices de nivel de riesgos del conjunto de componentes de cada Tanque en servicio.

4.5.1.1 Descripción de los componentes del Tanque

El Tanque en condición de unidad (TK) de Almacenamiento de Petróleo del Terminal Marítimo de Balao, como Sistema a ser analizado en su funcionamiento y detección de fallas, con sus componentes o subsistemas, se encuentran adjuntos en el anexo A.

4.5.1.1.1 El Tanque de Almacenamiento de Petróleo

El Tanque de Almacenamiento está equipado con varios Subsistemas o Equipos, los que cumplen una función específica y a su vez interactúan con el Sistema para efectuar las tareas para alcanzar las metas y cumplir con los objetivos planeados.

TABLA 4.1 Subsistemas Componentes del Tanque de Almacenamiento con su Código

SUBSISTEMA	CÓDIGO
Unidad del Tanque	TA
Mezclado	MX
Drenaje del Techo de agua lluvia	SW
Drenaje del Tanque agua de formación	TD
Control de Flujo (Válvulas)	VA
Techo Flotante	FR

Fuente: Norma ISO 14224

Elaborado por: Andrea Santillán Sánchez.

La codificación indicada en la Tabla 4.1 se basa en la Norma ISO 14220.

4.5.1.2 Las funciones de los equipos o subsistemas

Para que el Sistema pueda cumplir con su propósito de funcionamiento eficiente, cada uno de los subsistemas que lo componen deben desarrollar sus funciones adecuadamente. Además, también se hace necesario, que funcionen los equipos o elementos esenciales de cada subsistema. Sin embargo, por la complejidad que implican la gran cantidad de equipos, se detallan sólo máquinas, que se denomina “Equipos Significativos”, descritos en tres listados:

- Listado del Equipo en su conjunto.
- Subsistemas que componen a un Sistema.
- Lista de cada uno de los Equipos Significativos de cada Subsistema.

4.5.1.3 Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE).

4.5.1.3.1 Aspectos generales

El AMFE es una herramienta que permite identificar, analizar, evaluar la prevención de las posibles fallas y efectos que podrían originarse en un producto / servicio o en un proceso de un equipo. El AMFE también es utilizado en las actividades de mantenimiento de equipos industriales y de sistemas en su conjunto.

La evaluación mediante AMFE, puede realizarse por una de las dos maneras posibles: por datos históricos; y, por modelos estadísticos, matemáticos, simulación de ingeniería concurrente e ingeniería de confiabilidad, con la que se puede identificar y definir las fallas (Stamatis 1989). Sin embargo, por uso de una metodología para tanques, se utilizará el método histórico con el propósito de recopilar el conocimiento de los involucrados en el proceso del almacenamiento de petróleo en el TMB.

4.5.1.3.2 Definición del AMFE

El AMFE es un Modelo de Ingeniería Industrial, utilizado para definir, identificar y eliminar fallos conocidos o potenciales, que configuran un problema generador de errores, desde el diseño, proceso y operación de un Sistema, antes que se presente una afectación al producto/servicio o cliente.

El AMFE, describe de una manera ordenada pasos a paso y de manera sistemática, el proceso de identificación, evaluación y prevención de las deficiencias de los equipos y subsistemas de un sistema, con el que se produce un bien o servicio

4.5.1.3.3 Las Características principales del AMFE

Las características principales del AMFE son:

- **Carácter Preventivo.**

El AMFE permite anticiparse a la ocurrencia del subsistema o proceso en la producción de producto / servicio, dado el establecimiento de mecanismos preventivos en el funcionamiento de los equipos.

- **Sistematización.**

El enfoque estructurado que se sigue en la utilización del AMFE, asegura que todas las posibilidades de fallas sean consideradas y controladas antes de su ocurrencia.

- **Participación.**

La aplicación de un AMFE es un trabajo de equipo entre el grupo humano, dado los conocimientos comunes en toda el área involucrada del Sistema en funcionamiento.

4.5.1.4 El AMFE de Producto y Proceso

- a) El AMFE de Producto o Servicio.** Por las características sistémicas sirve como herramienta de optimización en su diseño.
- b) El AMFE de Proceso.** Es una herramienta de optimización en el Subsistema, porque puede detectar fallas antes del paso a operaciones en el proceso que permite la obtención del producto o servicio.

Se aclara que el proceso en la realización, es idéntico para los dos tipos de AMFE.

4.5.1.5 Los Objetivos y Alcance del AMFE

Las reglas básicas en la interpretación y aplicación del AMFE, en todos los equipos de los subsistemas en que puede ser utilizado. Además de las operaciones, puede ser utilizado, en el mantenimiento de todos los equipos de los subsistemas o sistema general.

a) **Propósito del AMFE**

- Identificar los modos de fallo conocidos o potenciales.
- Identificar las causas y efectos de cada modo de fallo, por medio de la evaluación.
- Priorizar los modos de fallo identificados de acuerdo al número de prioridad de riesgo (NPR) o frecuencia de ocurrencia, gravedad y grado de facilidad para detectar.

4.5.1.6 **Responsabilidades en la Evaluación con el AMFE**

4.5.1.6.1 **Persona Responsable o Grupo de Trabajo del Estudio**

- Seleccionar o comprobar que el grupo es el adecuado para la utilizar el AMFE.
- Elegir un Coordinador
- Establecer mecanismos para seguir las reglas del procedimiento para la correcta, interpretación, diseño y utilización del AMFE.
- Proponer acciones correctivas, evaluación de la eficiencia y establecer el seguimiento.

4.5.1.6.2 **Coordinador de los Grupos o Personas**

- **Guiar el Grupo de Trabajo.** Sobre la base metodológica y conceptualización para la utilización del AMFE.
- **Coordinar el Grupo de Trabajo.** De acuerdo al modelo organizativo.
- **Dirección de Calidad.** Asesorar a los integrantes del grupo de trabajo, de acuerdo a los conocimientos esenciales de la interpretación y utilización del AMFE.

4.5.1.6.3. **Los Clientes/ Usuarios que Atiende el AMFE**

- a) **Cliente Externo.** Es el usuario final.
- b) **Cliente Interno.** Es la fase proceso u operación.

En la aplicación del AMFE, se justifica por el tipo de cliente.

4.5.1.6.4 Producto que es Atendido con el AMFE.

El producto puede ser una pieza, un conjunto de piezas, el resultado final obtenido en el proceso, o incluso el mismo proceso. Lo importante es poner el límite a lo que se pretende analizar y definir la función a realizar, lo que se denomina identificación del elemento y determinar de qué subconjunto / subproducto está compuesto el producto.

4.5.1.6.5 Seguridad de Funcionamiento.

La seguridad de funcionamiento como concepto integrador, porque además de la confiabilidad de respuesta a sus funciones básicas se incluye la conservación, la disponibilidad y la seguridad ante posibles riesgos de daños, tanto en condiciones normales en el régimen de funcionamiento como en casos ocasionales.

4.5.1.6.6 Fallo

Se dice que un producto / servicio o un proceso falla, cuando no lleva a cabo en forma satisfactoria, la prestación que de él se espera en su funcionamiento.

4.5.1.6.7 Modo Potencial de Fallo

El Modo Potencial de Fallos, se define como la forma en que una pieza o conjunto, pudiera fallar potencialmente en el momento de satisfacer el propósito de diseño/proceso, los requisitos de rendimiento y/o las expectativas del cliente. Este puede ser el caso de rotura, deformación, dilatación, entre otros.

En la identificación de riesgos en el Subsistema, consiste en hacer una lista de cada modo de fallos potenciales para la operación en particular, para identificar los posibles modos de fallo, es necesario considerar que estos pueden caer dentro de una de la clasificación siguiente:

1. Fallo Total.
2. Fallo Parcial.

3. Fallo Intermedia.
4. Fallo Gradual.
5. Sobrefuncionamiento.

4.5.1.6.8 Efecto Potencial de Fallo

Se trata de describir las consecuencias no deseadas del fallo que se puede observar o detectar, y siempre deberían indicarse en términos de rendimiento o eficacia del producto/proceso. Se debe describir los síntomas tal como lo haría el cliente o usuario.

Si un modo de fallo potencial tiene muchos efectos, al momento de evaluar, se elegirán los más críticos o graves.

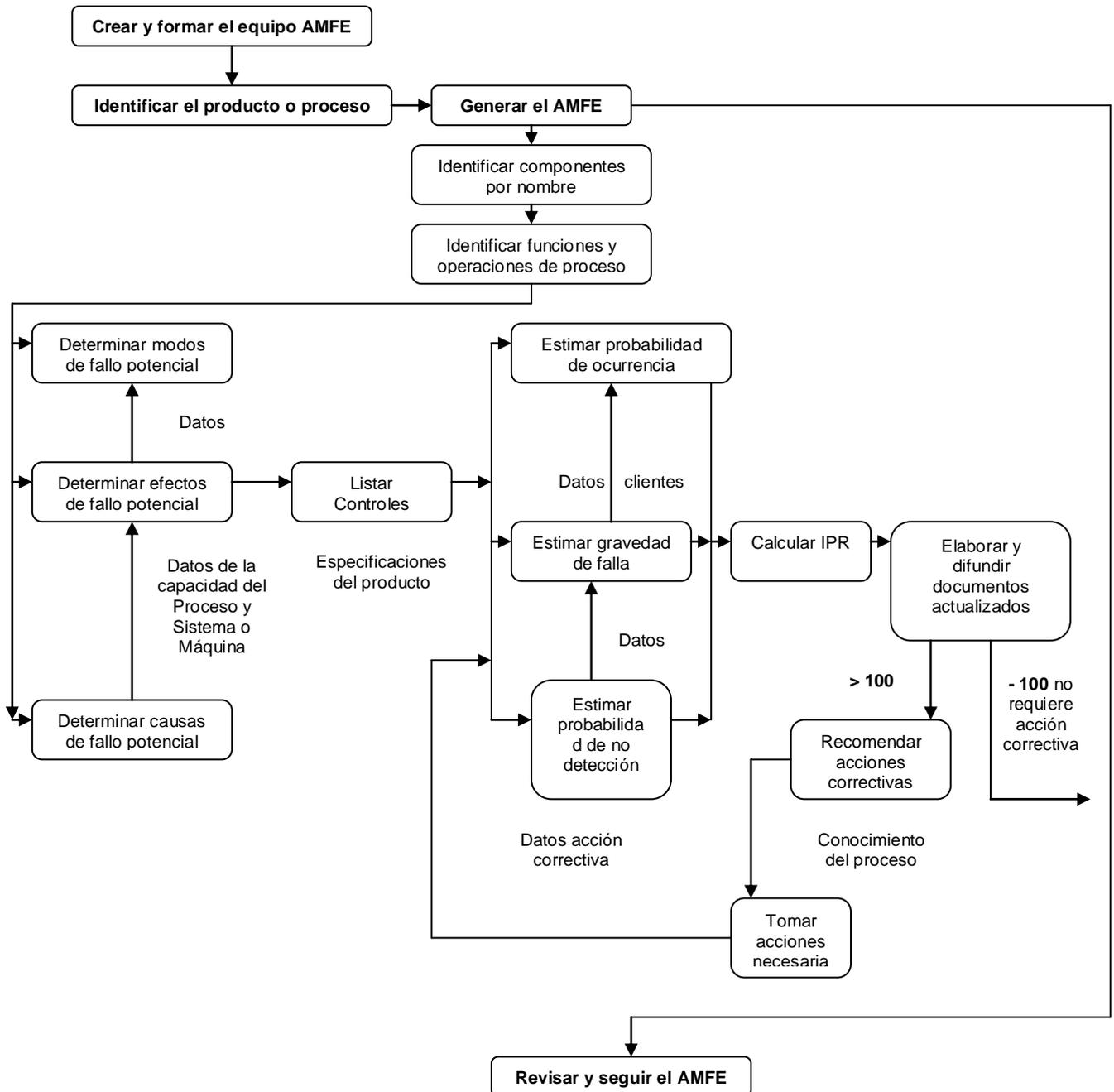
4.5.1.6.9 Causas Potenciales de Fallos.

La causa o causas potenciales del modo de fallo están en el origen del subsistema y constituyen el inicio de una debilidad del diseño, donde cuya consecuencia es el propio modo de fallo.

En una observación del funcionamiento de un subsistema, es necesario relacionar con amplitud posible todas las causas de fallo concebibles que puedan asignarse a cada modo de fallo. Las causas deben relacionarse en la forma más precisa posible para que los esfuerzos puedan dirigirse adecuadamente. Normalmente, un modo de fallo puede ser provocado por dos o más causas encadenadas.

4.5.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA AMFE

FIGURA 4.1 PROCESO AMFE



4.5.2.1 Creación y Formación del Equipo AMFE

El Equipo de Trabajo estará compuesto por personas que dispongan de conocimientos profesionales y experiencia amplia del producto/servicio, y/o proceso objeto del AMFE.

Se designará un Coordinador para el grupo con dominio técnico del AMFE, el mismo que se encargará de la organización de las reuniones. Por lo tanto, ser el encargado de guiar al grupo en la realización del trabajo.

4.5.2.2 Identificar el Tipo de AMFE, su Objeto y Límite.

Se identificará de forma precisa el producto o parte del producto, el servicio o el proceso objeto de estudio, delimitando el campo de aplicación del AMFE. Este objeto de estudio no debe ser demasiado amplio, pero con la posibilidad de subdivisión y la realización de varios AMFE.

Para el cumplimiento de este paso, se requiere un conocimiento básico común a todos los integrantes del grupo, objeto de estudio. En el caso de un AMFE de proceso, se recomienda un diagrama de flujo, que clasifique los datos para todos los participantes.

4.5.2.3 Generar AMFE.

4.5.2.3.1 Estructura del Análisis Modal de Fallo y Efecto “AMFE”.

A continuación se describen los pasos para la aplicación del Método AMFE de forma genérica, tanto para diseños como para procesos. Esto se indica en la Tabla 4.2

Tabla 4.2. Análisis Modal de Fallo y Efecto

ANÁLISIS MODAL DE FALLO Y EFECTO													
SISTEMA							SUBSISTEMA						
Operación o Función	Falla Funcional	Código de Fallo	Modo de Fallo	Efectos de Fallo	Consecuencias	Causas Fallo	G	F	D	IPR	Estad	Cód. Tarea	Observaciones
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)

Fuente: Nota Técnica de Prevención NTP 679

Los números de cada una de las casillas corresponden con los pasos de aplicación del método AMFE.

Paso 1. Operación o Función.

Es la función o las funciones que el subsistema debe cumplir dentro del sistema principal, por lo que en los pasos siguientes se detallan cada una de las funciones que el subsistema realiza dentro del sistema.

Para el desarrollo de los conocimientos del presente trabajo de investigación, el Sistema será el Tanque de Almacenamiento de Petróleo, pero el subsistema va cambiando de acuerdo a la subdivisión mencionada anteriormente.

Es necesario un conjunto preciso y completo de las funciones del objeto de estudio para identificar los Modos de Fallas potenciales, o bien tener una experiencia de productos o procesos semejantes.

Paso 2. Falla Funcional.

Se trata de identificar las posibles formas en las cuales la función de un subconjunto puede ser afectada en su desempeño normal. Una función puede tener una o varias fallas funcionales.

La falla funcional se define como el estado en el tiempo, en el cual el equipo o sistema, no puede alcanzar el estándar de ejecución esperado y que tiene como consecuencia que el equipo o sistema no pueda cumplir su función o la cumpla de forma ineficiente.

Paso 3. Código de Fallo.

Consiste en asignar un código a cada una de los fallos funcionales en un subsistema.

Tabla 4.3. Codificación de Fallo Funcional en un Subsistema o Tanque

Codificación de Fallo Funcional en un Subsistema o Tanque	
CÓDIGO	SUBSISTEMA
TA:	Sistema o Tanque de Almacenamiento.
BSFE:	Base de Subsistema de Fallo y Efecto.
F:	Fallo identificado.
NF:	Número de Fallo.

Paso 4. Modo de Fallo.

Un Modo de Fallo. Significa que un elemento o sistema no satisface o no funciona de acuerdo con la especificación, o simplemente no se obtiene lo que se espera de él.

El fallo. Es una desviación o defecto de una función o especificación. Con ésta definición, un fallo puede que sea detectado inmediatamente por el cliente.

Para cada función definida en el paso 2, se deben identificar todos los posibles fallos. Esta identificación es un paso crítico, por lo que es necesario utilizar todos los datos que puedan ayudar en la tarea:

- AMFE anteriormente realizados para producto / servicios o procesos similares.
- Estudios de confiabilidad.
- Datos y análisis sobre reclamaciones de clientes tanto internos como externos.
- Los conocimientos de los expertos mediante la realización de Tormenta (lluvia) de Ideas o procesos lógicos deducción.

La identificación correcta de los modos de fallos es el factor básico para la determinación adecuada de las actividades de mantenimiento a realizar, por esta razón se debe tener en cuenta los aspectos siguientes:

- Nivel de fallo.
- Causas de fallos funcionales.
- Modos de fallos con sus respectivos niveles de ocurrencia que deben ser registrados.

Paso 5. Efectos evidenciados por Fallo.

Consiste en describir los fallos en el caso de ocurrencia de un evento no deseado con la consecuencia de filtración o derrame de crudo, por rotura o deformación del subsistema de la base de acero del Sistema o Tanque. En general los efectos, son manifestaciones negativas en el rendimiento deficiente o prestaciones del Sistema, como es el inicio de tareas especiales de emergencia en evacuación para la reparación, lo que implica incurrir en costos asociados no previstos en el presupuesto de la gerencia industrial. Sin embargo, en la evaluación de los riesgos por fallos de un Sistema o Tanque, se deberá ordenar los efectos según la amenaza de los riesgos identificados.

La descripción del efecto de fallo debe incluir si la ocurrencia del modo de fallo se hace evidente a partir de una señal sonora o lumínica o de ambas. En lo posible, en la descripción del efecto de fallo, se debe incluir si la aparición del modo de fallo se evidencia por efectos físicos, tales como ruidos fuertes, humo, escape de vapor, olores inusuales o derrames de líquido en el piso.

Los aspectos de prueba de una descripción de los efectos de un modo de fallo son:

- Que evidencia hay de que ocurrió un fallo.
- Como afecta a la seguridad y al rendimiento en el ambiente laboral.
- De qué manera afecta a la producción o las operaciones. Es decir, si es necesario detener el proceso; si impacta o no a la calidad: al servicio, al cliente, o si se origina daños a otros sistemas.
- Ocurren daños físicos ocasionados por el fallo.
- El cómo se puede reparar el fallo identificado.

Paso 6. Clasificación de las consecuencias por Fallos.

Las consecuencias se clasifican en los cuatro tipos siguientes:

- **Modos de Fallos con consecuencias ocultas o no evidentes.**

Este tipo de fallos no ejerce ningún efecto directo, pero si exponen al equipo a otro tipo de fallos, donde las consecuencias pueden ser muy graves. Estas consecuencias, están asociadas a elementos de seguridad, tales como a fallos: hidráulicos, mecánicos, neumáticos, o mal diseño de estos y en sistemas automatizados por mala programación de control.

- **Modos de Fallos con consecuencia contra la Seguridad Humana y Ambiental.**

Las consecuencias por fallos contra la Seguridad Humana y Ambiental, son eventos que pueden ocurrir y manifestarse mediante agresiones inesperadas con amenazas a la salud o a la vida de las personas y daños ambientales al sobrepasar las normas municipales, o ISO internacionales.

- **Modos de Fallos con Consecuencias Operativas.**

Un modo de fallo tiene consecuencias operacionales evidentes que surgen de fallos evidentes en las funciones del equipo o subsistema y que afectan a la producción, a la fabricación, a la calidad de producto, al servicio al cliente, a los costos operacionales asociados además de los costos directos de reparación.

- **Modos de Fallos con Consecuencias no Operacionales.**

Los fallos no operacionales surgen a partir de funciones identificables que no afectan de forma importante a la seguridad, al ambiente y operaciones en el trabajo. En la práctica, las afectaciones son de tipo económicas en el incremento de costos directos de la reparación.

Paso 7. Causa de Fallo.

La causa potencial de fallo. Se define como indicio de una debilidad del diseño o proceso cuya consecuencia es el modo de fallo. Las causas relacionadas deben ser más concisas y completas posibles, para que las acciones correctoras y/o preventivas puedan ser orientadas hacia las causas pertinentes.

En las causas típicas de fallo se señalan los siguientes:

- Fallo en el Diseño: Porosidad, uso de material incorrecto, sobrecarga, entre otros.
- Fallo en el Proceso: Daño en la manipulación, utillaje incorrecto, sujeción, etc.

En el desarrollo de este paso, se recomienda la utilización de los Diagramas Causa – Efecto, Diagramas de Relaciones o cualquier otra herramienta de análisis de relaciones de causalidad.

Es necesario relacionar con la mayor amplitud posible todas las causas de fallo concebibles que pueda asignarse a cada modo de fallo. Las causas deberán relacionarse de la forma más concisa y completa posible para que los esfuerzos se puedan dirigir adecuadamente. En general, se considera que un modo de fallo puede ser provocado por dos o más causas encadenadas.

Como un paso adicional, se debe establecer o identificar los sistemas de controles actuales diseñados para prevenir las posibles causas de fallo. Esta información se obtiene del análisis del sistema y procesos de control de producto/servicios o procesos, similares al objeto de estudio.

Paso 8. Índice de Gravedad (G): Sistema de Control (grado de insatisfacción del cliente)

La Evaluación del Índice de Gravedad, se realiza en una escala del 1 a los 10 puntos, en la que se describe el grado de insatisfacción del cliente, por la degradación de la función o las prestaciones, y en base a una “Clasificación de Gravedad”, que se indica en la tabla de datos siguientes:

Tabla 4.4. Clasificación de la Gravedad del Modo de Fallo con Repercusión en el Cliente

GRAVEDAD	CRITERIO DE INTERPRETACIÓN	VALOR	PROBABILIDAD
Muy Baja Repercusiones imperceptibles.	No es razonable esperar que esta falla de pequeña importancia origine efecto real sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente no se dará cuenta de la falla.	1	1/10 000
Bajas Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles imperceptibles.	Este tipo de fallo originaria un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observará un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente sostenible.	2 - 3	1/5000 – 1/2000
Moderada defectos de relativa importancia.	Esta falla origina cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema.	4 - 6	1/1000 – 1/200
Alta	La falla puede ser crítica y verse inutilizado el rendimiento del sistema. Origina un grado de insatisfacción elevado al cliente.	7 - 8	1/100 – 1/50
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o parecidos	9 – 10	1/20 – 1/10

Fuente: Nota Técnica de Prevención NTP 679

Elaboración: Propia

Dada una de las causas potenciales correspondientes a un mismo efecto se evalúan con el mismo índice de Gravedad.

Paso 9. Índice de Frecuencia (F)

La Evaluación de este índice se realiza en una escala del 1 al 10 en base a una “Tabla de Ocurrencia”, la que se describe en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Clasificación de la Frecuencia /Probabilidad de Ocurrencia de un Modo de Fallo

FRECUENCIA	CRITERIO DE INTERPRETACIÓN	VALOR	PROBABILIDAD
Muy Baja Improbable	Este fallo se relaciona a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero suele presentarse.	1	1/10000
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonable esperar que en la vida del sistema se presente, aunque es poco probable que suceda.	2 – 3	1/5000 – 1/2000
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o parecidos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4 – 5	1/1000 – 1/200
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o procesos que han fallado más de vez o más.	6 – 8	1/100 – 1/50
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o parecidos	9 – 10	1/20 – 1/10

Fuente: Nota Técnica de Prevención NTP 679

Elaboración: Propia

Para la Evaluación del índice F, se tendrá en cuenta todos los controles actuales utilizados para prevenir que no se produzca la Causa Potencial del Fallo.

Para reducir el índice de frecuencia, hay que emprender una de las acciones siguientes:

- Cambiar el diseño, para reducir la probabilidad de que la causa de fallo pueda producirse.
- Incrementar o mejorar los sistemas de prevención y/o control que impide que se produzca la causa de la fallo.
- La recomendación que se da para reducir el índice de frecuencia de una causa es atacar directamente la raíz de la causa.

Paso 10. Índice de Detección (D)

Para Evaluar cada causa de fallo mediante el Índice D, la probabilidad de detectar dicha causa y el modo de fallo resultante antes de llegar al cliente con valoración en

una escala de 1 al 10 en base a una “Tabla de Detección”, como la 4.6 que se indica a continuación.

Tabla 4.6. Clasificación de la Facilidad de la Detección del Modo de Fallo

TABLA 4.6. CLASIFICACIÓN DE LA FACILIDAD DE LA DETECCIÓN DEL MODO DE FALLO		
DETECCIÓN	CRITERIO DE INTERPRETACIÓN	Escala/Med Valoración
Muy Alta	El defecto es obvio. Fallo fácil de detectar por los controles existentes. Afecta a todos los involucrados por costos asociados	9 - 10
Alta	El defecto con duda, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad. Amenaza de Riesgo.	8,9 – 7
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Es posible efectuar el control en el servicio o producción. Incremento de costos por el control de la fallo.	6,9 – 5
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	4,9 – 3
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final.	2,9 – 1

Fuente: Nota Técnica de Prevención NTP 679

Elaboración: Propia

Para obtener el índice de D se supone que la Causa de Fallo ha ocurrido y se evaluará la capacidad de los controles actuales para detectar dicha falla o el Modo de Fallo resultante.

De otro lado, cuanto más difícil sea detectar el fallo existente y más se tarde en detectarlo, más importante pueden ser las consecuencias respectivas.

Para mejorar el Índice D será necesario mejorar el sistema de control de detección, aunque por regla general aumentar los controles signifique un aumento de costo, que es el último medio al que se debe recurrir para mejorar la calidad.

Es coherente, que una alta capacidad de detectar fallos por el sistema de control, corresponderá una alta calificación. En el caso contrario, una baja capacidad de

detección, implicará una baja calificación por los involucrados o consultados en los controles existentes.

Los tres índices anteriormente mencionados son independientes y para garantizar la homogeneidad de su evaluación, éstas serán realizadas por el mismo grupo de análisis

Índice de Prioridad de Riesgo (IPR)

En cada uno de los modos de fallo, el Índice de Prioridad de Riesgo de la causa de fallo (IPR), se calcula, multiplicando los índices de: Gravedad (G), de Frecuencia (F), y de Detección (D)

$$\text{IPR} = G * F * D \quad \text{Este valor oscila entre 100 y 1 000.}$$

El valor resultante del IPR oscila entre 1 y 1 000 correspondiendo a 1 000 el mayor potencial de riesgo. Esto es porque el producto de los tres índices como máximo alcanzan 1 000. Un criterio de decisión es cuando el IPR es mayor a 100, adicional a las tareas correspondientes al ítem, se deben incluir acciones correctivas AMFE. Sin embargo, cuando los valores de G, F o D son altos, también se debe poner atención en bajar estos índices porque implican riesgo. En la utilización de un criterio de calidad total, el IPR debe variar entre 1 a 1 000 puntos, con un criterio de decisión que por sobre 50 puntos en adelante existe riesgo que implica amenaza, y entre más se incremente el IPR mayor será el nivel de riesgo y menor el grado de seguridad en el sistema de operaciones. Por lo tanto, si el IPR sobrepasa los 50 puntos, significa que se deben tomar medidas correctivas o reparaciones al Tanque o componente generador de fallos.

El índice 1 000 corresponde a la probabilidad mayor de riesgo. Esto significa, que el riesgo es total, porque la probabilidad (P) de riesgo es igual a 1 y cero de seguridad. Cuando los índices de las variables G, F, D son altos, el IPR será alto y será un indicador de la existencia de riesgo potencial.

Dependiendo del nivel de tolerancia aceptado por las normas de calidad, el IPR es un indicador para la Gerencia Industrial para disponer acciones correctivas y coordinar

acciones con el Área de Mantenimiento con el fin de prever o reducir el nivel de riesgo del equipo industrial.

Paso 11. Estado

Hace referencia a los resultados obtenidos en el IPR, determinado si requiere o no acción correctiva para una causa de fallo, siendo normal si el IPR es menor a 100 y presentando un alto riesgo para el funcionamiento del sistema si el IPR es igual o mayor a 100 en cuyo caso se requiere de una acción correctiva,

Paso 12. Código de Tarea

El Código se ubica en un cuadro diseñado especialmente para cada una de las causas de fallo. Este código tiene por finalidad el ayudar a encontrar con facilidad la tarea de mantenimiento correspondiente a cada una de las causas de fallos. Esto se muestra en el cuadro siguiente.

Paso 13. Observaciones.

Este cuadro se utiliza con el fin de mejorar la interacción entre los diferentes subsistemas cuando la ocasión lo amerita, así como el relacionar el cuadro AMFE con los correctivos AMFE como se detalla más adelante.

Con la finalidad de cumplir estos objetivos para el primer caso se localiza en este cuadro las observaciones que permitan a través de los códigos de fallo, ubicar de forma rápida y sencilla en otros subsistemas las causas raíces que provocan modos de fallos en los subsistemas analizados, y el segundo caso dichas observaciones hacen referencia al código de fallo del cuadro de correctivos AMFE.

TABLA 4.7 AMFE BASADO EN EL MÉTODO DEL ÁRBOL DE FALLAS

SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO						SUBSISTEMA: CUERPO (BODY)							
FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	CÓDIGO DE FALLO	MODO DE FALLO	EFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS	CAUSAS DE FALLO	G	F	D	IPR	ESTADO	CÓD. TAREA	OBSERVACIÓN
Almacenar el producto	Superficie en mal estado	TA-BSFE-F001	Corrosión	Disminución del espesor de las planchas	Operativa	Medio ambiente agresivo	9	2	3	54	Alto riesgo	TA-BSFE-T101	Hacer correctivo para disminuir la gravedad TA-BSFE-C111
					Operativa	Mala aplicación de la protección catódica	10	2	2	40	Alto riesgo	TA-BSFE-T102	Hacer correctivo para disminuir la gravedad TA-BSFE-C121
				Pitting en zonas de transferencia de materia	Operativa	Mala aplicación del recubrimiento	9	2	2	36	Normal	TA-BSFE-T103	
			Recubrimiento	Descascamiento, desprendimiento	Operativa	Utilización del recubrimiento no adecuado	9	2	2	36	Alto riesgo	TA-BSFE-T104	Hacer correctivo para disminuir la gravedad TA-BSFE-C141
				Tiempo de vida menor									

Pitting: Corrosión por picaduras puntuales en metal.

4.5.2.3.2 Estructura de los Correctivos AMFE

Una vez realizado el Cuadro AMFE, se procede a realizar otro que se lo denomina Cuadro de Correctivos AMFE; el cual se efectúa para los componentes o elementos que tienen un valor del IPR mayor a 100.

Tabla 4.8. Correctivos AMFE											
ANÁLISIS MODAL DE FALLO Y EFECTO											
SISTEMA						SUBSISTEMA					
Operación o Función	Fallo Funcional	Código de Acción correctiva	Modo de Fallo	Efectos de Fallo	Acción Correctiva	Responsable	G	F	D	IPR	Código de Tarea
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)

Fuente: Nota Técnica de Prevención NTP 679
Elaboración: Propia

En esta nueva Tabla 4.8, se redefinen las acciones de rediseño del producto, rediseño del proceso o asunto de inspecciones, con la finalidad de reducir los índices de gravedad, frecuencia o detectabilidad, que conlleven a una reducción significativa del IPR, con lo que se pretende mejorar el nivel de confiabilidad del funcionamiento del Sistema o Equipo.

A continuación, se indican los pasos necesarios para la elaboración de los Correctivos AMFE. Estos pasos siguen la secuencia indicada en la Tabla de Correctivos que se presenta en la Tabla 4.8

Paso 1. Operación o Función.

Es la misma que la establecida para el Cuadro AMFE

Paso 2. Falla Funcional.

Es la misma que la establecida para el Cuadro AMFE

Paso 3. Código de Acciones Correctivas.

El código se ubica en la columna del cuadro de acciones correctivas, y debe tomarse para los casos que se desea reducir los índices críticos.

Paso 4. Modo de Fallo.

Es la misma que la establecida para el Cuadro AMFE

Paso 5 Causas de Fallo.

Es la misma que la establecida para el Cuadro AMFE

Paso 6. Acción Correctiva.

Las acciones correctivas, se debe seguir un orden de prioridad en su elección por conveniencia, que en general es el siguiente:

- Cambio de diseño del producto, servicio o proceso general.
- Cambio en el proceso de fabricación.
- Incremento del control o de la inspección.

Es importante tratar de optar por la mejor eficiencia del proceso y minimización de costos de todo tipo. En general, es más económico reducir la probabilidad de ocurrencia de fallo que dedicar recursos a la detección de fallos.

Paso 7. Responsabilidad

En este paso se deben indicar los responsables, ya sea del área o departamento, de las acciones correctivas propuestas y si se estima adecuado señalar las fechas de la implementación de dichas acciones.

Pasos 8, 9 y 10, son iguales a los Pasos de la Tabla 4.7 AMFE BASADO EN EL MÉTODO DEL ÁRBOL DE FALLAS

Paso 11. Índice de Prioridad de Riesgo (IPR)

Como consecuencia de las acciones correctivas implementadas, los valores de los índices de detección (D), frecuencia (F) y de gravedad (G) habrán disminuido, reduciéndose, por tanto, el índice de Prioridad de Riesgo. Los nuevos valores de D, F, G e IPR se reflejarán en las columnas 8, 9, 10 y 11.

Si a pesar de la implementación de las acciones correctoras, no se cumplen los objetivos definidos en algunos modos de fallo, es necesario investigar, proponer el implementar nuevas acciones correctivas, hasta conseguir que el IPR sea menor que el definido en los objetivos. Una vez conseguido que los IPR de todos los modos de fallo estén por debajo del valor establecido, se da por concluido el AMFE.

Paso 12. Código de Tareas

Este código de tarea para cada una de las acciones correctivas se ubica en la tabla siguiente.

Codificación de Código de Tareas	
Código	Subsistema
TA	Sistema de Tanque de Almacenamiento
BSFE	Base de subsistema de Fallo y Efecto
TM	Tarea Mantenimiento
X	Número de Fallo
YY	Número de Tarea

Elaboración: Propia

4.5.2.3 Revisar y Seguir el AMFE

El AMFE se revisará periódicamente, evaluando nuevos índices de Gravedad, Frecuencia y Detección y recalculando el IPR, para determinar la eficacia de las Acciones Correctivas.

4.5.2.4 Implementación de la Metodología AMFE

El AMFE es una herramienta útil para la priorización de los problemas potenciales, marcándolos por el IPR la pauta a seguir en la búsqueda de acciones que optimicen el diseño de un producto/servicio el proceso planificado para su obtención.

- **Los aspectos prioritarios en la actuación son:**
 - a) Aquellos en que el IPR es adecuado.
 - b) Aquellos en que el índice de Gravedad es muy elevado aun cuando el IPR se mantenga dentro de los límites normales.
- Las acciones que surgen como consecuencia del análisis del resultado del AMFE pueden ser orientados a:

1. Reducir la Gravedad de los Efectos del Modelo de Fallo.

Es un objetivo de carácter preventivo que requiere la revisión del producto/servicio. Es la solución deseada pero en general, la más complicada.

Cualquier Índice de Gravedad que sea alto debe llevar consigo un análisis pormenorizado para asegurarse de que el impacto no llega al cliente o usuario.

2. Reducir la Probabilidad de Ocurrencia.

Es un objetivo de carácter preventivo que puede ser el resultado de cambio en el producto/servicio o bien en el proceso de producción o prestación.

En el caso en que se produzca el fallo, aunque este no llegue al cliente o su Gravedad no sea alta, siempre se incurre en deficiencias que generan un aumento de costos de transformación.

3. Aumentar la Probabilidad de Detección.

Es un objetivo de carácter correctivo y en general, debe ser la última opción a desarrollar por el grupo de trabajo, porque de esa manera no se ataca las causas del problema. Requiere del proceso de control existente.

4.5.2.5 Descripción de las Tareas de Mantenimiento “AMFE”

Determinados los modos de fallo del sistema que se analiza y clasificados según su criticidad, el siguiente paso es determinar las medidas preventivas que permiten evitar o minimizar sus efectos.

Las medidas preventivas que se pueden tomar las siguientes:

- Tareas de Mantenimiento.
- Mejoras.
- Formación del Personal.
- Modificación de instrucciones de operación.
- Modificación de instrucciones de Mantenimiento.

Se obtiene un conjunto de tareas de mantenimiento que evitarán estos fallos, además se obtiene todo un conjunto de otras medidas, como un listado de modificaciones, un plan de formación, una lista de procedimientos de operación necesario. Todo esto, con la garantía de que tendrá un efecto de gran importancia en la mejora de resultados de una instalación.

4.5.2.5.1 Tareas de mantenimiento

Las tareas de mantenimiento se establecen de forma sistemática y tienen como objetivo el poder predecir, prevenir o corregir fallos.

Esta es aplicable para ciertos equipos sencillos y para algunos elementos complejos con muchos fallos dominantes, y de hecho, esto puede ser lo mejor para fallos que tengan consecuencias sin importancia, pero en el caso de que las consecuencias sean significativas hay que tomar acciones para prevenir los fallos o por lo menos reducir las consecuencias.

4.6 METODOLOGÍA PARA ALTA CONFIABILIDAD EN LA SEGURIDAD

Con los Procedimientos y Técnicas que se indican se pretende alcanzar sobre el 95% de Confiabilidad en la Seguridad, en la realización de las Operaciones Industriales del TMB. Esto implica, que el 5% restante corresponde al nivel de Riesgo admisible, y que es el intervalo donde se deben hacer los esfuerzos por mejorar las acciones para evitar eventos no deseables, y de esa manera efectuar la Evaluación de Riesgo como herramienta para

potenciar la Seguridad. En el lenguaje de la Matemática-Estadística, significaría que las actividades en las Operaciones Industriales Terrestres en el TMB, se efectúan con la probabilidad $P(S) = 0.95$ de Seguridad y un Riesgo (R) aceptable de $Q(R) = 0.05$ de Riesgo, donde $P(S) + Q(R) = 1$

4.6.1 Causas de Fallos a Identificar en el Fondo del Tanque

La gestión de identificación de debilidades o factores causales que implican nivel de riesgo en los componentes de un Tanque, los que pueden ser iniciadores de fallos de crudo en posibles fugas en el fondo, son los que deben ser considerados en el momento de la decisión de reparación o reemplazo. Estos factores causales de fallos son:

- Picaduras (Pitting).
- Asentamientos no uniformes localizados en el fondo del Tanque que implique tendencia.
- Drenaje inadecuado en el fondo del Tanque.
- Corrosión de las uniones por soldaduras en las zonas afectadas.
- Historial de agrietamiento de las uniones por soldaduras.
- Columnas de soporte del techo u otros soportes soldados al fondo sin la tolerancia adecuada al movimiento normal del Tanque.
- Drenaje inadecuado en el fondo del Tanque.
- Cualquier soporte de un componente que implique pérdida de la eficiencia del Tanque.
- Compactado no homogéneo de la base del fondo donde se asienta el Tanque.
- Sumideros sin soportes adecuados en el Tanque.

4.6.2 Detección de Fugas en el Fondo del Tanque como Control de Riesgo

Cuando la decisión es reemplazar el fondo de un Tanque, es conveniente instalar un sistema de detección de fallos con el fin de canalizar cualquier fuga hacia una localización donde pueda ser observada desde el exterior del Tanque.

El uso de sistemas de monitoreo o detección de fugas del fondo, tales como: fondos dobles o membranas impermeables y tubos de detección de fugas instaladas debajo del fondo del Tanque, son de utilidad informativa si satisfacen los requerimientos de evaluación periódica entre inspecciones internas.

4.7 PROCEDIMIENTO PARA EVALUACIÓN DE LA BASE DEL TANQUE

4.7.1 Identificación de los Aspectos Principales a ser Evaluados

Los aspectos causales principales de deterioro de la función del Tanque son: asentamiento, erosión, agrietamiento y deterioro de la base de concreto, por calentamiento, ataque por agua bajo el fondo, ataques por heladas, ataques por alcalinos y ácidos. Esta identificación de elementos que tienden a reducir la eficiencia de la función del Tanque, requiere de inspección periódica.

4.7.1.1 Decisión de Reparación o Reemplazo de Sectores Deteriorados.

Las reparaciones consisten en parches de concreto, anillo de concreto y pilotes, en los elementos donde se evidencie descascaramiento, grietas estructurales o deterioro general, las que deben ser separadas para prevenir la filtración de agua a la estructura de concreto y la corrosión de la lámina de acero de refuerzo.

Con los contenidos anteriormente desarrollados, se muestra claramente que el AMFE de proceso tiene como objetivo fundamental: ser una herramienta para satisfacer al cliente. De esta manera potencia a la Seguridad:

- a) Porque con el AMFE se precisa para cada modo de fallo los medios y procedimientos de detección para ser evaluado para encontrar una solución.
- b) Permite adoptar acciones correctivas y/o preventivas para suprimir las causas de fallo del diseño o proceso.
- c) Las acciones del AMFE deben ser dirigidas por una autoridad o gerente del área o de la organización, especialmente del TMB.

- d)** La Gestión de Riesgos se inicia con la identificación, luego con la evaluación, procede la priorización de los factores donde se deben actuar para finalizar con las acciones correctivas del AMFE.

CAPITULO V

RESULTADOS ESPERADOS DE LA PROPUESTA

5.1 RESULTADOS DE LA PROPUESTA

En base a las acciones de evaluación de riesgos, planificación y medidas correctivas se presentan los resultados de la propuesta en las tablas siguientes:

- a) Las tablas AMFE de los ocho componentes de mayor relevancia del Tanque.
- b) Las tablas AMFE correctivos de los siete componentes que deben ser mejorados o corregidos en los fallos identificados que generan riesgos y reducen seguridad en las operaciones de cada tanque.

5.1.1 TABLAS AMFE ALMACENAMIENTO
Tabla 5.1 Tanque de Almacenamiento Base (PISO) FONDO

TABLA AMFE													
SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO							SUBSISTEMA: BASE(PISO)						
FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	CÓDIGO DE FALLO	MODO DE FALLO	EFFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS	CAUSAS DE FALLO	G	F	D	IPR	ESTADO	CÓDIGO DE TAREA	OBSERVACIÓN
Soportar el peso del producto almacenado	Deterioro de la superficie	TA-BSFE-F001	Corrosión	Agujeros en las planchas del fondo	Operativa	Acumulación de agua en el fondo	10	3	6	180	Alto riesgo	TA-BSFE-TM101	Se debe realizar una acción correctiva TA-BSFE-AC101
				Agujeros en las planchas del fondo	Operativa	Mala aplicación del revestimiento	10	3	6	180	Alto riesgo	TA-BSFE-TM102	Se debe realizar una acción correctiva TA-BSFE-AC102
				Disminución de la vida útil del tanque	Operativa	Inadecuada protección catódica	10	3	2	60	Alto riesgo	TA-BSFE-TM103	Se debe realizar una acción correctiva TA-BSFE-AC103
			Soldadura	Operativa	Filtración de petróleo al fondo	9	2	5	90	Alto riesgo	TA-BSFE-TM104	Se debe realizar una acción correctiva TA-BSFE-AC104	
			Fractura	Operativa	Rotura de las planchas del fondo	10	2	6	120	Alto riesgo	TA-BSFE-TM105	Se debe realizar una acción correctiva TA-BSFE-AC105	

Tabla 5.2 Tanque de Almacenamiento Cuerpo

TABLA AMFE													
SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO						SUBSISTEMA: CUERPO							
FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	CÓDIGO DE FALLO	MODO DE FALLO	EFFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS	CAUSAS DE FALLO	G	F	D	IP R	ESTADO	CÓDIGO DE TAREA	OBSERVACIÓN
Almacenar el producto	Superficie en mal estado	TA-BCFE-F001	Corrosión	Disminución del espesor de las planchas	Operativa	Medio ambiente agresivo fondo	9	2	4	72	Alto riesgo	TA-BCFE-TM101	Se debe hacer correctivo para disminuir la gravedad TA-BCFE-AC101
				Pitting en zonas de transferencia de material	Operativa	Mala aplicación de la protección catódica	10	2	3	60	Alto riesgo	TA-BCFE-TM102	Se debe hacer correctivo para disminuir la gravedad TA-BCFE-AC102
			Recubrimiento	Descascaramiento, desprendimiento.	Operativa	Mala aplicación del recubrimiento	9	2	3	54	Normal	TA-BCFE-TM103	
				Tiempo de vida menor	Operativa	Utilización del recubrimiento no adecuado	9	2	2	36	Alto riesgo	TA-BCFE-TM104	Se debe hacer correctivo para disminuir la gravedad TA-BCFE-AC104

Tabla.5.3 Tanque de Almacenamiento: Escalera Voladiza

TABLA AMFE													
SISTEMA:	TANQUE DE ALMACENAMIENTO					SUBSISTEMA: Escalera Voladiza (STAIRWAY CANTILIVER)							
FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	CÓDIGO DE FALLO	MODO DE FALLO	EFFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS	CAUSAS DE FALLO	G	F	D	IPR	ESTADO	CÓDIGO DE TAREA	OBSERVACIÓN
Permitir el acceso hacia la parte superior del tanque para realizar las inspecciones y operaciones correspondientes	Deterioro en el acceso a la parte superior del tanque	TA-EVFE-F001	Corrosión	Agrietamiento y/o fractura en las juntas soldadas, cambios de sección	Seguridad industrial. Operativa	Concentración es de esfuerzos	7	1	4	28	Normal	TA- EVFE-TM101	
				Aumento de la velocidad de corrosión.	Seguridad industrial. Operativa	Mala utilización de un revestimiento	9	1	4	36	Normal	TA- EVFE-TM102	El índice de gravedad es alto por eso se debe hacer un correctivo TA-EVFE-AC102
				Disminución de espesores de los elementos.	Seguridad industrial.	Medio ambiente	8	1	4	32	Normal	TA- EVFE-TM103	
				Perforaciones y/o agrietamiento del elemento	Seguridad industrial.	Aislamientos de elementos.	9	1	4	36	Normal	TA- EVFE-TM104	El índice de gravedad es alto por eso se debe hacer un correctivo TA-EVFE-AC104
	Acelerar el proceso de corrosión de la estructura	TA-EVFE-F002	Revestimiento	Ampollado y pérdida de adherencia	Seguridad industrial.	Falta de penetración.	7	1	3	21	Normal	TA- EVFE-TM201	
				Delaminación entre capas y falta de adhesión de la pintura	Seguridad industrial.	Preparación superficial y aplicación incorrecta	7	1	3	21	Normal	TA- EVFE-TM202	

Tabla 5.4 Tanque de Almacenamiento: Escalera Rodante

TABLA AMFE																			
SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO						SUBSISTEMA: Escalera Rodante(STAIRWAY ROLLING)													
FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	CÓDIGO DE FALLO	MODO DE FALLO	EFFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS	CAUSAS DE FALLO	G	F	D	IPR	ESTADO	CÓDIGO DE TAREA	OBSERVACIÓN						
Permitir el acceso hacia la parte superior del tanque para realizar las inspecciones y operaciones correspondientes.	Inmovilidad de la escalera	FR-ERFE-F001	Desgaste	La elevación del techo forzada	Operativa	Porosidades en la superficie de la rueda.	9	2	3	54	Normal	TA-ERFE-TM101							
						Lubricación en las ruedas	9	2	4	72	Normal	TA-ERFE-TM102							
	Revestimiento dañado	FR-ERFE-F002	Corrosión	Aceleramiento en el proceso de corrosión y disminución del espesor del elemento.	Operativa	Mala aplicación de la pintura	8	1	3	24	Normal	TA-ERFE-TM201							
							Deterioro en las uniones de los elementos	FR-ERFE-F003	Fractura	Rotura o desprendimiento de los elementos.	Operativa	Falta de penetración y/o proceso no adecuado de soldadura.	8	1	4	32	Normal	TA-ERFE-TM301	
													Corrosión	Fractura o rotura de los elementos.	Operativa	No utilización de aislantes (rodela, arandelas).	9	1	3

Tabla 5.5 Tanque de Almacenamiento: Techo, Sello

CUADRO AMFE													
SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO						SUBSISTEMA: Techo, Sello							
FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	CÓDIGO DE FALLO	MODO DE FALLO	EFFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS	CAUSAS DE FALLO	G	F	D	IPR	ESTADO	CÓDIGO DE TAREA	OBSERVACIÓN
Evitar la fuga de vapores desprendidos del producto.	Disminución de los espesores de las planchas	TA-TSFE-F001	Corrosión	Disminución del espesor de las láminas del sello	Operativa	Acumulación de agua en las partes pandeadas.	7	2	4	56	Normal	TA-TSFE-TM101	
					Operativa	Medio ambiente corrosivo.	8	2	3	64	Normal	TA-TSFE-TM102	
				Agrietamiento	Operativa	Concentración es de esfuerzos.	8	2	4	64	Normal	TA-TSFE-TM103	
					Operativa	Cambios de sección o de forma.	8	2	2	48	Normal	TA-TSFE-TM104	
	Deterioro de la superficie y contacto directo con el medio ambiente.	TA-TSFE-F002	Revestimiento	Delaminación entre capas y falta de adhesión de la pintura.	Operativa	Preparación superficial y aplicación incorrecta.	9	1	4	36	Alto riesgo	TA-TSFE-TM201	Se debe realizar correctivo para disminuir el índice de gravedad. TA-TSFE-AC201
				Decoloración y pérdida de brillo.	Operativa	Selección inadecuada del sistema de recubrimiento	8	2	6	96	Normal	TA-TSFE-TM202	
	Escape de petróleo hacia la superficie del techo.	TA-TSFE-F003	Rotura	Presencia de petróleo en la superficie y contaminación ambiental.	Operativa Seguridad Industrial.	Atascamiento del sello al subir y bajar con el producto.	10	1	3	30	Alto riesgo	TA-TSFE-TM301	Se debe realizar correctivo para disminuir el índice de gravedad. TA-TSFE-AC302

Tabla 5.6. Tanque de Almacenamiento: Mezclador por Banda

TABLA AMFE													
SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO					SUBSISTEMA: Mezclador por Banda								
FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	CÓDIGO DE FALLO	MODO DE FALLO	EFFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS	CAUSAS DE FALLO	G	F	D	IP R	ESTADO	CÓDIGO DE TAREA	OBSERVACIÓN
Homogeneizar la mezcla de petróleo y sus sedimentos	No homogeniza el producto	TA-MXFE-F001	Falta de transmisión	Excesiva cantidad de sedimentos en el fondo del tanque	Operativa	Rotura de la banda	9	4	3	144	Alto riesgo	TA-MXFE-TM101	Se debe hacer correctivo TA-MXFE-AC101
						Falta de energía eléctrica	9	2	3	54	Normal	TA-MXFE-TM102	
						Cortocircuito	9	2	4	72	Normal	TA-MXFE-TM103	
	Ruido Anormal	TA-MXFE-F002	Vibraciones excesivas	Parada del equipo.	Operativa	Banda mal tensionada	7	5	4	140	Alto riesgo	TA-MXFE-TM201	Se debe hacer correctivo TA-MXFE-AC201
						Desalineamiento de motor eléctrico y eje de la hélice	9	2	5	90	Normal	TA-MXFE-TM202	
	Encendido de alarma en la sala de control por baja de nivel del producto en el tanque.	TA-MXFE-F003	Fugas leves de petróleo por la brida	Contaminación ambiental	Operativa Contra la seguridad	Desgaste y/rotura de empaque de la brida	9	3	3	81	Alto riesgo	TA-MXFE-TM301	
						Desgaste de espárragos por corrosión	8	2	4	64	Normal	TA-MXFE-TM302	
						Mal montaje entre el mezclador y el tanque	7	2	5	70	Normal	TA-MXFE-TM303	

Tabla 5.7 Tanque de Almacenamiento: Mezclador por Engranajes

TABLA AMFE													
SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO						SUBSISTEMA: Mezclador por Engranajes							
FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	CÓDIGO DE FALLO	MODO DE FALLO	EFFECTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS	CAUSAS DE FALLO	G	F	D	IPR	ESTADO	CÓDIGO DE TAREA	OBSERVACIÓN
Homogeneizar la mezcla	No homogeniza el producto	TA-MXEFE-F001	Falta de transmisión	Mezcla de producto no homogénea	Operativa	Rotura de engranes	8	2	3	48	Normal	TA-MXEFE-TM101	
						Falta de energía eléctrica	3	3	3	27	Normal	TA-MXEFE-TM102	
						Cortocircuito	3	2	2	18	Normal	TA-MXEFE-TM103	
	Ruidos anormal	TA-MXEFE-F002	Vibraciones excesivas	Contaminación sonora	Operativa	Velocidad Baja	8	4	2	64	Normal	TA-MXEFE-TM201	
						Mal acople (engrane y eje)	8	2	3	48	Normal	TA-MXEFE-TM202	
						Mal alineamiento de ejes (motor eléctrico y eje de la hélice)	8	2	4	64	Normal	TA-MXEFE-TM203	
						Engrase deficiente del rodamiento	9	4	4	144	Alto riesgo	TA-MXEFE-TM204	Se debe hacer correctivo TA-MXEFE-AC204
	Encendido de alarma en la sala de control por baja de nivel del producto en el tanque.	TA-MXEFE-F003	Fugas leves de petróleo por la brida	Contaminación ambiental	Operativa Contra la seguridad	Desgaste y/rotura de empaque de la brida	9	3	5	135	Alto riesgo	TA-MXETB-TM301	Se debe hacer correctivo TA-MXEFE-AC301
						Desgaste de espárragos por corrosión	8	5	4	160	Alto riesgo	TA-MXETB-TM302	Se debe hacer correctivo TA-MXEFE-AC302
						Mal montaje entre el mezclador y el tanque	7	2	5	70	Normal	TA-MXETB-TM303	

Tabla 5.8 Tanque de Almacenamiento: Drenaje del techo

TABLA AMFE													
SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO						SUBSISTEMA: Drenaje de techo (Agua Lluvia)							
FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	CÓDIGO DE FALLO	MODO DE FALLO	EFEKTOS DE FALLO	CONSECUENCIAS	CAUSAS DE FALLO	G	F	D	IPR	ESTADO	CÓDIGO DE TAREA	OBSERVACIÓN
Drenar el agua lluvia acumulado en el techo hacia los lados del tanque	El Sistema drena agua con pequeñas cantidades de petróleo	TA-SWFE-F001	Tubería en mal estado	Impacto Ambiental	Operativa. Contra la seguridad	Corrosión	9	2	6	108	Alto riesgo	TA-SWFE-TM101	Se debe hacer correctivo TA-SWFE-AC101
			Codos giratorios en mal estado	Esfuerzos elevados	Operativa	Lubricación	8	2	4	64	Normal	TA-SWFE-TM102	
				Disminución del tamaño de las esferas	Operativa	Abrasión	8	3	5	120	Alto riesgo	TA-SWFE-TM103	Se debe hacer correctivo TA-SWFE-AC103
			Fugas	Filtración del producto	Operativa. Contra la seguridad	Desgaste de empaques en las bridas de unión.	9	2	6	108	Alto riesgo	TA-SWFE-TM104	Se debe hacer correctivo TA-SWFE-AC104
	No drena el agua	TA-SWFE-F002	Taponamiento en el sumidero del techo	Acumulación de agua en el techo y una sobrepresión en el mismo	Operativa. Contra la seguridad	Limpieza	8	2	3	48	Normal	TA-SWFE-TM201	
			Válvula en mal estado	Acumulación de agua en la tubería y el techo del tanque	Operativa	Atascamiento de la válvula	8	2	3	48	Normal	TA-SWFE-TM202	

5.1.2 TABLAS AMFE CORRECTIVOS.

Mediante los siguientes cuadros con resultados se espera mejorar los índices “IPR” Índices de Prioridad de Riesgos, con los que se pretende potenciar a la Seguridad Industrial (95%), y como consecuencia reducir los niveles de riesgo a lo normal aceptable entre 0 al 5%. A continuación se muestran los resultados mediante sus índices esperados por las acciones correctivas.

Tabla 5.9 CORRECTIVOS AMFE: Tanque de Almacenamiento: Base (piso)

TABLA DE CORRECTIVOS AMFE											
SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO						SUBSISTEMA: BASE (Piso)					
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	CÓDIGO DE ACCIÓN CORRECTIVA	MODO DE FALLO	CAUSAS DE FALLO	ACCIÓN CORRECTIVA	RESPONSABLE	G	F	D	IPR	CÓDIGO DE TAREA
Soportar el peso del producto almacenado	Deterioro de la superficie	TA-BSFE-AC101	Corrosión	Acumulación de agua en el fondo	Levantamiento del recubrimiento de la base	Técnico Líder en Mecánica	8	2	6	96	TA-BSFE-TM101
Soportar el peso del producto almacenado	Deterioro de la superficie	TA-BSFE-AC102	Corrosión	Mala aplicación del revestimiento	Reparación de las zonas afectadas.	Técnico Líder en Mecánica	7	2	6	84	TA-BSFE-TM102
Soportar el peso del producto almacenado	Deterioro de la superficie	TA-BSFE-AC103	Corrosión	Inadecuada protección catódica	Aumentar el número de inspecciones.	Inspector de Protección Catódica	8	2	2	32	TA-BSFE-TM103
Soportar el peso del producto almacenado	Deterioro de la superficie	TA-BSFE-AC104	Soldadura	Mala aplicación del fondo anticorrosivo	Reparación de las zonas afectadas	Técnico Líder en Mecánica	7	2	4	56	TA-BSFE-TM104
Soportar el peso del producto almacenado	Deterioro de la superficie	TA-BSFE-AC105	Fisuramiento	Asentamiento de las patas del techo a la base	Corrección de las zonas afectadas por los soportes de las patas del techo.	Técnico Líder en Mecánica	8	2	5	80	TA-BSFE-TM105

Tabla 5.10 CORRECTIVOS AMFE: Tanque de Almacenamiento: CUERPO-FONDO

TABLA DE CORRECTIVOS AMFE											
SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO						SUBSISTEMA: CUERPO					
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	CÓDIGO DE ACCIÓN CORRECTIVA	MODO DE FALLO	CAUSAS DE FALLO	ACCIÓN CORRECTIVA	RESPONSABLE	G	F	D	IPR	CÓDIGO DE TAREA
Almacenar el producto	Superficie en mal estado	TA-BCFE-AC101	Corrosión	Medio ambiente corrosivo	Aumento el número de inspecciones	Técnico Líder en Mecánica	8	2	3	48	TA-BCFE-TM101
Almacenar el producto	Superficie en mal estado	TA-BCFE-AC102	Corrosión	Mala aplicación de la protección catódica	Aumento el número de mediciones	Inspector de Protección Catódica	8	2	2	32	TA-BCFE-TM102
Almacenar el producto	Superficie en mal estado	TA-BCFE-AC104	Recubrimiento	Utilización del recubrimiento no adecuado	Selección del recubrimiento adecuado.	Inspector de recubrimiento	8	2	2	32	TA-BCFE-TM104

Tabla 5.11 CORRECTIVOS AMFE Tanque de Almacenamiento: ESCALERA VOLADIZA

TABLA DE CORRECTIVOS AMFE											
SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO						SUBSISTEMA: Escalera voladiza (STAIRWAY CANTILIVER)					
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	CÓDIGO DE ACCIÓN CORRECTIVA	MODO DE FALLO	CAUSAS DE FALLO	ACCIÓN CORRECTIVA	RESPONSABLE	G	F	D	IPR	CÓDIGO DE TAREA
Permitir el acceso hacia la parte superior del tanque para realizar las inspecciones y operaciones correspondientes.	Deterioro en el acceso a la parte superior del tanque	TA-EVFE-AC102	Corrosión	Mala utilización de un revestimiento	Aplicar de manera correcta el revestimiento	Técnico Líder en Mecánica	8	1	3	24	TA-EVFE-TM102
Permitir el acceso hacia la parte superior del tanque para realizar las inspecciones y operaciones correspondientes.	Deterioro en el acceso a la parte superior del tanque	TA-EVFE-AC104	Corrosión	Aislamiento de elementos	Aumento el número de inspecciones	Técnico Líder en Mecánica	8	1	3	24	TA-EVFE-TM104

Tabla 5.12 CORRECTIVOS AMFE Tanque de Almacenamiento: TECHO, SELLO

TABLA DE CORRECTIVOS AMFE											
SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO						SUBSISTEMA: TECHO, SELLO					
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	CÓDIGO DE ACCIÓN CORRECTIVA	MODO DE FALLO	CAUSAS DE FALLO	ACCIÓN CORRECTIVA	RESPONSABLE	G	F	D	IPR	CÓDIGO DE TAREA
Evitar la fuga de vapores desprendidos del producto.	Deterioro de la superficie y contacto directo con el medio ambiente.	TA-TSFE-AC201	Revestimiento	Preparación superficial y aplicación incorrecta.	Aplicar de manera correcta el revestimiento	Técnico Líder en Mecánica	8	1	4	32	TA-TSFE-TM201
Evitar la fuga de vapores desprendidos del producto.	Escape de petróleo hacia la superficie del techo.	TA-TSFE-AC302	Rotura	Atascamiento del sello al subir y bajar con el producto	Aumento el número de inspecciones	Técnico Líder en Mecánica	8	1	2	16	TA-TSFE-TM301

Tabla 5.13 CORRECTIVOS AMFE Tanque de Almacenamiento: MEZCLADOR POR BANDAS

TABLA DE CORRECTIVOS AMFE											
SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO						SUBSISTEMA: MEZCLADOR POR BANDAS					
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	CÓDIGO DE ACCIÓN CORRECTIVA	MODO DE FALLO	CAUSAS DE FALLO	ACCIÓN CORRECTIVA	RESPONSABLE	G	F	D	IPR	CÓDIGO DE TAREA
Homogeneizar la mezcla petróleo y agua decantada del fondo del tanque	No homogeniza el producto	TA-MXFE-AC101	Falta de transmisión	Rotura de la banda	Aumentar el número de inspecciones	Técnico Líder en Mecánica	8	3	4	96	TA-MXFE-TM101
Homogeneizar la mezcla petróleo y agua decantada del fondo del tanque	Ruido anormal	TA-MXFE-AC201	Vibraciones excesivas	Banda mal tensionada	Aumentar el número de inspecciones	Técnico Líder en Mecánica	7	3	3	63	TA-MXFE-TM201

Tabla 5.14 CORRECTIVOS AMFE Tanque de Almacenamiento: MEZCLADOR POR ENGRANAJES

TABLA DE CORRECTIVOS AMFE											
SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO						SUBSISTEMA: MEZCLADOR POR ENGRANAJE					
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	CÓDIGO DE ACCIÓN CORRECTIVA	MODO DE FALLO	CAUSAS DE FALLO	ACCIÓN CORRECTIVA	RESPONSABLE	G	F	D	IPR	CÓDIGO DE TAREA
Homogeneizar la mezcla	Ruido normal	TA-MXEFE-AC204	Vibraciones excesivas	Engrase deficiente del rodamiento	Aumento el número de inspecciones	Técnico Líder en Mecánica	8	3	3	72	TA-MXEFE-TM204
Homogeneizar la mezcla	Encendido de alarma en sala de control por baja de nivel del producto en el tanque	TA-MXEFE-AC301	Fugas leves de petróleo por la brida	Degaste y/o rotura del empaque de la brida	Cambiar los empaques de la brida cada Overhaul del tanque.	Técnico Líder en Mecánica	8	2	5	80	TA-MXEFE-TM301
Homogeneizar la mezcla	Encendido de alarma en sala de control por baja de nivel del producto en el tanque	TA-MXEFE-AC302	Fugas leves de petróleo por la brida	Desgaste de espárragos por corrosión.	Cambiar los espárragos de las brida cada Overhaul del tanque.	Técnico Líder en Mecánica	8	3	3	72	TA-MXEFE-T302

Tabla 5.15 CORRECTIVOS AMFE Tanque de Almacenamiento: DRENAJE DEL TECHO

TABLA DE CORRECTIVOS AMFE											
SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO						SUBSISTEMA: DRENAJE DEL TECHO (AGUA LLUVIA)					
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	CÓDIGO DE ACCIÓN CORRECTIVA	MODO DE FALLO	CAUSAS DE FALLO	ACCIÓN CORRECTIVA	RESPONSABLE	G	F	D	IPR	CÓDIGO DE TAREA
Drenar el agua lluvia acumulada en el techo hacia los lados del tanque.	El sistema drena agua con pequeñas cantidades de petróleo.	TA-SWFE-AC101	Tubería en mal estado	Corrosión	Realizar prueba hidrostática en el sistema.	Técnico Líder en Mecánica	9	2	5	90	TA-SWFE-TM101
Drenar el agua lluvia acumulada en el techo hacia los lados del tanque.	El sistema drena agua con pequeñas cantidades de petróleo.	TA-SWFE-AC103	Codos giratorios en mal estado.	Abrasión	Realizar prueba hidrostática en el sistema.	Técnico Líder en Mecánica	8	2	5	80	TA-SWFE-TM103
Drenar el agua lluvia acumulada en el techo hacia los lados del tanque.	El sistema drena agua con pequeñas cantidades de petróleo.	TA-SWFE-AC104	Fugas	Desgaste de empaques en la bridas de unión.	Realizar prueba hidrostática en el sistema.	Técnico Líder en Mecánica	9	2	4	72	TA-SWFE-TM104

5.2 SÍNTESIS DE GESTIÓN DE RIESGO PARA LA SEGURIDAD INDUSTRIAL.

La Gestión de Riesgos con la que se podría potenciar la Seguridad Industrial, Protección Humana y Ambiental, en los tanques de almacenamiento se resume en los resultados del Capítulo V mediante el desarrollado de los contenidos de dos relevantes aspectos:

- a) Los cuadros AMFE de los ocho componentes de mayor relevancia del Tanque.
- b) Los cuadros AMFE correctivos de los siete componentes que deben ser mejorados o corregidos, en las fallas identificadas que generan riesgos y reducen seguridad en las operaciones de cada tanque.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El requerimiento de establecer planes, procedimientos para el funcionamiento y Evaluación de Riesgo mediante una Metodología AMFE en los registros de los equipos industriales en la Industria de Hidrocarburos en el Ecuador; y, particularmente, en el Sistema de Operaciones Terrestres del Fondo de los Tanques de acero con Techo Flotante para efectuar en óptimas condiciones la Recepción, Almacenamiento y Despacho de petróleo crudo, en condiciones de alta confiabilidad en la Seguridad Industrial con mínimo riesgo de eventos no deseados.
- En el análisis y datos registrados se han identificado las principales causas por las que se podrían generar riesgos por falla en el fondo de cada uno de los componentes, se determina que la parte más crítica del Tanque es el fondo, ya que en este lugar se decanta el agua proveniente del petróleo, por este motivo es conveniente la evaluación continua por la Metodología AMFE y aplicar las medidas prevención de mantenimiento para disminuir este efecto en el fondo del tanque en servicio.
- Que la Superintendencia de Oleoducto desarrolle un Plan de Mantenimiento de Tanques de Almacenamiento basado en normas, guías, manuales y las necesidades planeadas por el TMB para dar soluciones adecuadas y eficientes a las actividades relacionadas con el mantenimiento preventivo y correctivo, como parte de la implementación de la Metodología AMFE.
- Que la Metodología AMFE es un medio de Evaluación de Riesgos con la capacidad en sus componentes para potenciar a la Seguridad Industrial. Esto podría permitir reducir al mínimo el nivel de riesgos, entre el 1 al 5%, con lo que se aportaría a dar

mayor seguridad, 90% y más, a la vida humana y protección ambiental, en lo relacionado con las operaciones de los tanques en el TMB.

- El AMFE desde el inicio significará que el mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, implicará mayor participación conjunta de todos los trabajadores que van a laborar en el TMB desarrollando la capacidad del factor humano para identificar, evaluar y priorizar los riesgos, incluso adelantándose a la posible ocurrencia.

6.2 RECOMENDACIONES

- Que las autoridades del Terminal Marítimo de Balao, implementen la Metodología Análisis Modal de Fallo y Efectos “AMFE”, aquí propuesta porque será un aporte significativo en la identificación, evaluación y priorización de los posibles fallos, generadores de amenazas, con el tratamiento en tiempo oportuno.
- Que, el AMFE permitirá el mantenimiento de equipos mejorando la seguridad y el desempeño de los trabajadores en su lugar de trabajo y un avance rápido en la reducción de los riesgos e incremento de la Seguridad en el TMB.
- Que los Directivos del TMB y Gerencia de Seguridad, Salud y Ambiente incentiven a todos sus trabajadores a seguir mecanismos activos y no reactivos con relación a la Gestión de Riesgos, mediante la formación continua de los mismos.
- Que, el AMFE servirá como una herramienta de apoyo para las inspecciones realizadas por parte de los especialistas en mantenimiento de tanques del TMB y de la misma manera en inspecciones realizadas por los Organismos de Control.
- Que las Autoridades del TMB conformen y establezcan un grupo de trabajo para la evaluación de riesgos mediante la Metodología AMFE quienes serán los responsables de reportar el estado de cada tanque y además trabajarán conjuntamente con el responsable de realizar el diagnóstico y mantenimiento de los mismos, permitiendo mantener informados de manera clara y concisa a la Gerencia.

- Será de vital importancia tomar en cuenta el Sistema de Operaciones Marítimas del TMB para aplicar la Metodología AMFE con la finalidad de potenciar a la seguridad industrial, humana y ambiental de las Instalaciones Costa Afuera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMFE: Análisis Modal de Fallos y Efectos. Diputación Foral de Bizkaia Departamento de Promoción Económica. Librería HOR DAGO. 1996.
- Casal J. Análisis de Riesgo en Instalaciones Industriales. Barcelona España: Alfa y Omega; 2001.
- Dhillon B. Engineering Maintenance a Modern Approach. USA: CRC Press; 2002.
- Dorfman M. Introducción a la Gestión de Riesgos y Seguros. 9ª ed. Englewood: Prentice Hall; 2007.
- Druker P. Los Desafíos de la Gerencias para el siglo XIX. Editorial Norma; 2006.
- Espejo J, Fischer L. Mercadotecnia. 4ª ed. México: McGraw Hill; 2006.
- Finley H. Principios de Optimización de Mantenimiento. Venezuela: Editorial Universitaria; 1995.
- Flyvbjerg B. “Del premio Nobel a la gerencia de proyecto: Consiguiendo riesgos derechos. “Diario de la gerencia de proyecto, vol. 37, no. 3, 2006.
- Freeman H M. Manual de Prevención de la Contaminación Industrial. New York: McGraw Hill; 1998.
- García Fernández R. Sistemas de Gestión de Calidad, Ambiente y Prevención de Riesgos Laborales. Club Universitario; 2006.
- Hubbard D. El Fracaso de la Gestión de Riesgos: ¿Por qué se ha roto y cómo solucionarlo?. Agosto 2009.
- IADC HSE. Directrices de Casos de Perforación Mar Adentro 3.2 Sección 4.7.
- Instituto de Gestión de Riesgos / AIRMIC / ALARMA una gestión de riesgos. Londres: Instituto de Gestión de Riesgos. 2002.
- ISO/DIS 31000. Gestión de Riesgos- Principios y Directrices sobre la Aplicación. Organización Internacional de Normalización. 2009.
- ISO/CEI 73/2009 Evaluación de Riesgos de la Organización Internacional.
- Kolluro K. Manual de Evaluación y Administración de Riesgos. New York: McGraw Hill; 1998.
- Koontz H. Administración una Perspectiva Global. México: McGraw Hill; 2007.
- Lozano Conejero A. Confiabilidad – Teoría y Práctica. Buenos Aires: Editorial Universitaria; 1969.

- Moteff J. Gestión de Riesgos y Protección de Infraestructura Crítica: Evaluar, Integrar y Gestionar las Amenazas, Vulnerabilidades y Consecuencias. Washington DC. Congress Report. 2005.
- Murray S. Estadística. Pg. 158. 2ª ed. España: McGraw Hill; 2006.
- Roehrig P. Gobierno para Gestionar el Riesgo de Outsourcing o Externalización Trimestral de Negocios. 2006.
- Ruiz Frutos C, García A.M, Delclós J, Benavides F.G. Salud Laboral: Conceptos y Técnicas para la Prevención de Riesgos Laborales. 3ª ed. España: Elsevier; 2007.
- Storch de García. Manual de Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Petroleras. Fundamentos, Evaluación de Riesgos y Diseño. McGraw Hill. New York 1998.
- Wittington R, Pany K. Principios de Auditoría. México: McGraw Hill; 2005.

ARTÍCULOS

- Ashley, Steven. "Failure analysis beats Murphy's Law: failure mode, effects, and criticality analysis is a reliability engineering method that helps product-development teams identify and prioritize the severity of potential functional failures of new designs." *Mechanical Engineering-CIME* Sept. 1993.
- Berke, Lanny. "Designing safer products: proactive hazard analysis. *Machine Design* 17 Mar. 2005.
- Extreme failure analysis: never again a repeat failure. *Hydrocarbon Processing* Apr. 2009.
- Failure mode and effects analysis. *Quality* May 2004.
- Goyal, Ram K. "FMEA, the alternative process hazard method: an older analysis tool finds new possibilities as an evaluation technique." *Hydrocarbon Processing* May 1993.
- Hazard analysis techniques for system safety." *SciTech Book News* Dec. 2005.
- Ho, Shin-Yann, and Sheng-Hsien Teng. "Failure mode and effects analysis: an integrated approach for product design and process control." *International Journal of Quality & Reliability Management* May 1996.
- Principles of risk analysis; decision making under uncertainty." *Reference & Research Book News* Dec. 2011.

- Risk analysis/problem prevention strategy. (New Products)." *33 Metalproducing* Jan.-Feb. 2002.
- Viscusi, W. Kip, and Richard J. Zeckhauser. "Deterring and compensating oil-spill catastrophes: the need for strict and two-tier liability." *Vanderbilt Law Review* Nov. 2011.

ANEXOS

ANEXO “A”

COMPONENTES DEL TANQUE

Estos componentes o elementos del tanque, son equipos en la mayoría de los casos, que en su funcionamiento deben cumplir una función a un nivel de eficiencia. Se los indica en forma de lista, en caso de ser necesario de requerir en síntesis para ubicar alguno de ellos, en particular el Fondo del Tanque, que es el componente que es materia de estudio de esta investigación. El contenido específico de estos componentes de la función que cumplen como parte del tanque, se encuentra desarrollada en el capítulo 2 del marco teórico.

- 1. Fundación**
- 2. Fondo del Tanque.**
- 3. Tapa Flotante**
- 4. Tubo cilíndrico.**
- 5. Sistema Contra Incendio**
- 6. Mezcladores**
- 7. Embocadura de Recepción y Despacho de Petróleo Crudo**
- 8. Techo Flotante.**
- 9. Flotadores.**
- 10. Sello del Techo del Tanque.**
- 11. Válvulas de Presión y Vacío.**
- 12. Venteo.**
- 13. Desfogue o Respiraderos.**
- 14. Soportes del Techo.**
- 15. Boca de Aforo.**
- 16. Tubo de Aforo.**
- 17. Plataforma de Aforo.**
- 18. Radar.**
- 19. Sistema de Drenaje del Agua Lluvia.**
 - 19.1. Válvula de Drenaje.**

- 19.2. Colectores.**
- 19.3. Tuberías Bajantes.**
- 19.4. Codo Giratorio o Swivel**
- 20. Sistema de Drenaje.**
- 21. Válvulas**
 - 21.1. Válvulas Principales.**
 - 21.2. Válvulas de Drenaje**
- 22. Actuador Eléctrico Automático de Válvulas.**
- 23. Viga de Viento o Borde**
- 24. Accesos de Inspección y Limpieza por Escaleras.**
 - 24.1. Rodante Interior.**
 - 24.2. Escalera Externa.**
 - 24.3. Manhole**
 - 24.3.1 Boca de Sendero o Manhole en el Techo.**
- 25. Cables a Tierra.**

ANEXO “B”

**FOTOGRAFÍAS DE LAS INSTALACIONES Y TANQUES DE ALMACENAMIENTO DEL TERMINAL
MARÍTIMO DE BALAO”**

Fotografía # 1

ÁREA DE TANQUES TERMINAL MARÍTIMO DE BALAO



Fotografía # 2
TALUDES EXTERIORES DEL ÁREA DE TANQUES



Fotografía # 3
FOTOGRAFÍA AÉREA DEL TERMINAL MARÍTIMO DE BALAO

