

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**ANÁLISIS DE RIESGOS OPERATIVOS EN UNA
EMPRESA PETROQUÍMICA, UTILIZANDO AMEF DIFUSO**

POR

REYNA GUADALUPE LUNA LARA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

SEPTIEMBRE, 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**ANÁLISIS DE RIESGOS OPERATIVOS EN UNA
EMPRESA PETROQUÍMICA, UTILIZANDO AMEF DIFUSO**

POR

REYNA GUADALUPE LUNA LARA

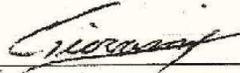
**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

SEPTIEMBRE, 2017

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Subdirección de Estudios de Posgrado

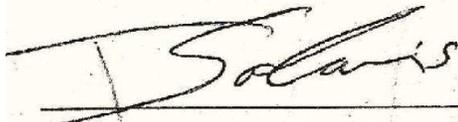
Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Análisis de riesgos operativos en una empresa petroquímica, utilizando AMEF Difuso», realizada por el alumno Reyna Guadalupe Luna Lara, con número de matrícula 1833262, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro .

El Comité de Tesis



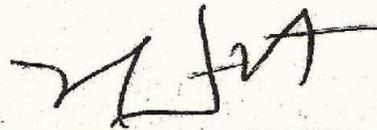
Dr. Giovanni Lizárraga Lizárraga

Asesor



Dr. Tomás Eloy Salais Fierro

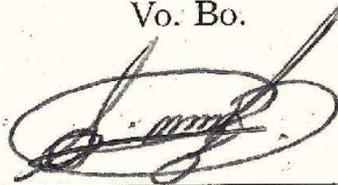
Revisor



MA. Manuel Farías Martínez

Revisor

Vo. Bo.



Dr. Simón Martínez Martínez

Sub Director de Estudios de Posgrado



*Por siempre confiar en que puedo lograr todo lo que me proponga sin importar que
tan difícil sea. ¡Mamá esto es para ti!*

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	XIII
Resumen	XIV
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivo General	2
1.3. Objetivos Específicos	2
1.4. Hipótesis	3
1.5. Justificación	3
1.6. Metodología	4
1.7. Estructura de tesis	4
2. Marco Teórico	6
2.1. Cadena de suministro en la actualidad	6
2.2. Importancia de la seguridad en la cadena de suministro	8
2.3. Estándares de seguridad	10

2.3.1.	C-TPAT	11
2.3.2.	OEA	12
2.4.	Riesgo en la toma de decisiones	14
2.4.1.	Riesgos y tipos	15
2.4.2.	Importancia del estudio de riesgos	16
2.4.3.	ISO 28 000 Seguridad en la cadena de suministro	17
2.4.4.	ISO 31 000 y la gestión de riesgos	19
2.5.	Caso de Estudio	21
2.5.1.	Servicio al cliente	21
2.5.2.	Sistema de Gestión de Salud, Seguridad y Medio Ambiente	22
2.5.3.	Planta Monterrey	23
2.5.4.	Importancia del análisis de riesgos operativos en el caso de estudio	26
3.	Metodología	28
3.1.	Análisis de modo y efecto de falla	28
3.1.1.	Historia	30
3.1.2.	Tipos	31
3.1.3.	Importancia	32
3.1.4.	Beneficios	33
3.1.5.	Procedimiento para desarrollar el AMEF	34

3.2. Lógica difusa	37
3.2.1. Origen de lógica difusa	37
3.2.2. ¿Qué es lógica difusa?	38
3.2.3. Conjuntos difusos y función de pertenencia	38
3.2.4. Reglas en operaciones de conjuntos difusos	43
3.2.5. Procesos de fusificación	45
3.2.6. Tipos de inferencia	46
3.2.7. Inferencia sugeno	47
3.3. AMEF difuso	48
4. Análisis de Resultados	51
4.1. AMEF	51
4.1.1. Bancal de entrada	52
4.1.2. Bancal Medio	57
4.1.3. Línea de recubrimiento	58
4.1.4. Bancal de Salida	65
4.2. Lógica difusa	69
4.2.1. Primer experimentación	70
4.2.2. Segunda experimentación	71
4.2.3. Resultados obtenidos	74
5. Conclusiones	78

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Proceso de gestión de riesgos	20
2.2. Zonas en la línea de producción	26
3.1. Función de Pertenencia	40
3.2. Función Triangular	41
3.3. Función Trapezoidal	41
3.4. Función S	42
3.5. Función Gausiana	42
3.6. Función Gama	43
3.7. Proceso de fusificación	46
3.8. Sistema Sugeno	48
4.1. Relación Proceso - NRP	68
4.2. Porcentaje de riesgos en los bancales	69
4.3. Ejemplo de primer experimentación	70
4.4. Ejemplo de segunda experimentación	71

4.5. Proceso difuso inicial	72
4.6. Funciones de membresía con respecto a severidad	72
4.7. Funciones de membresía con respecto a ocurrencia	72
4.8. Funciones de membresía con respecto a detección	73
4.9. Resolución de reglas difusas en proceso sugeno	74
4.10. Priorización de riesgos con base en reglas de inferencia	75
4.11. Medición difusa de riesgos en bancal de entrada	75
4.12. Medición difusa de riesgos en bancal medio	76
4.13. Medición difusa de riesgos en línea de recubrimiento	76
4.14. Medición difusa de riesgos en el bancal de salida	77
4.15. Priorización de riesgos con base en lógica difusa	77

ÍNDICE DE TABLAS

3.1. Cuadro de clasificación según severidad de la falla.	35
3.2. Cuadro de clasificación según la probabilidad de ocurrencia	35
3.3. Cuadro de clasificación según la probabilidad de no detección	36
4.1. Riesgos en Bancal de Entrada (1)	53
4.2. Riesgos en Bancal de Entrada (2)	54
4.3. Riesgos en Bancal de Entrada (3)	55
4.4. Riesgos en Bancal de Entrada (4)	56
4.5. Riesgos en Bancal de Entrada (5)	57
4.6. Riesgos en Bancal medio	58
4.7. Riesgos en Línea de recubrimiento (1)	59
4.8. Riesgos en Línea de recubrimiento (2)	60
4.9. Riesgos en Línea de recubrimiento (3)	61
4.10. Riesgos en Línea de recubrimiento (4)	62
4.11. Riesgos en Línea de recubrimiento (5)	63
4.12. Riesgos en Línea de recubrimiento (6)	64

4.13. Riesgos en Línea de recubrimiento (7)	65
4.14. Riesgos en Bancal de salida (1)	66
4.15. Riesgos en Bancal de salida (2)	67

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme más bendiciones de las que creo merecer y poner a las personas correctas en el momento indicado para no desistir de este reto.

A mi madre por su apoyo incondicional y siempre hacerme ver el lado bueno de las cosas...¡Mamá te amo!

Gracias papá por haberme hecho dudar en un inicio, logrando que tomara una decisión trascendental en mi vida.

Antonio, gracias por siempre estar conmigo, por amarme tanto cuando la tesis era mi pesadilla. ¡Mi alfa y omega! Te amo.

Lic. Ramiro Gonzalez, gracias por siempre creer en mi. ¡Usted es copartícipe en este logro!.

Al comité de tesis conformado por el Dr. Giovanni Lizárraga por haber sido mi tutor además de apoyar en la realización de esta investigación así como el Dr. Tomás Salais quien como revisor realizó aportaciones significativas a mi trabajo. M.A Manuel Farías, gracias por incentivar y participar en mi investigación, usted fue el mejor profesor que tuve en la maestría.

Gracias CONACYT por haber sido el medio para iniciar esta maestría así como el apoyo económico que recibí, logrando que esta meta el día de hoy culmine exitosamente.

RESUMEN

Reyna Guadalupe Luna Lara.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro .

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: ANÁLISIS DE RIESGOS OPERATIVOS EN UNA EMPRESA PETRO-
QUÍMICA, UTILIZANDO AMEF DIFUSO.

Número de páginas: 86.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: La investigación busca elaborar una priorización de riesgos operativos que afectan la seguridad, en el proceso de manufactura de una empresa petroquímica, utilizando una metodología basada en AMEF Difuso.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Al haber concluido la investigación se generó información pertinente y concreta al determinar los procesos más vulnerables en los cuales deben ser enfocadas estrategias de mitigación. Además la empresa obtuvo una priorización de riesgos basada en la sinergia de ambas herramientas, lo cual le ayuda a conocer el nivel de seguridad con que cuenta actualmente.

Firma del asesor: _____

Dr. Giovanni Lizárraga Lizárraga

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Es determinante conocer la línea de investigación que se abordará en el presente trabajo. Para ello el capítulo de introducción contiene el planteamiento del problema en cuestión, así como el objetivo general y los objetivos específicos que deberán cubrirse. Además la necesidad de justificar ampliamente la importancia de la investigación para ser factible en un ámbito comercial que se mantiene en un cambio constante y requiere nuevas oportunidades de mejora.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Anteriormente la importancia de analizar el riesgo en las cadenas de suministro no era considerado relevante, ya que todo radicaba en el objetivo principal de formar eslabón por eslabón la sincronía operativa que brindara eficiencia al comercializar entre diversas partes. No obstante, actualmente es un área de gran interés para la toma de decisiones ante interrupciones inesperadas en los procesos que interrelacionan a los miembros.

Por lo cual se pretende inducir a una estrategia proactiva donde la misma cadena considere factible la interacción de una herramienta cualitativa, así como cuantitativa para el análisis de riesgos, puesto que mantenerse de manera reactiva

podría solucionar de manera inmediata, mas no se dedica el tiempo para cambiar una alteración desde su origen, bajo la proeza de reducir o eliminar su incidencia.

La presente investigación maneja el contexto actual que se vive a través de la cadena de suministro en la que una empresa del sector petroquímico está involucrada y desea mantenerse protegida para evitar futuros costos logísticos, que detengan la producción debido a procesos inseguros, lo cual ocasionaría un deterioro en la imagen de la empresa considerada la mejor en el ramo.

El interés en el estudio de riesgos operativos que alteran la funcionalidad de la empresa como integrante de la cadena de suministro, busca coadyuvar en la mitigación y control de efectos negativos en la operatividad, estableciendo medidas a través de diferentes herramientas de estudio; obteniendo competitividad empresarial y mayor seguridad, al desarrollar un análisis que genere información detallada sobre puntos críticos que deben ser atendidos sin que afecten recurrentemente a la operación.

Disminuir dichas situaciones es de vital importancia, para una empresa especializada en recubrimiento industrial de tubería, donde los riesgos operativos son de vital importancia y análisis constante, motivo por el cual será el caso de estudio en esta investigación.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una priorización de riesgos operativos que afectan la seguridad, en el proceso de manufactura y la operatividad de una empresa petroquímica.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los riesgos operativos encontrados en el proceso.

- Determinar el nivel de ocurrencia y afectación.
- Priorizar los riesgos operativos más importantes en la línea de producción.
- Precisar el nivel de seguridad de la empresa.

1.4 HIPÓTESIS

Al realizar una análisis de riesgos con base a la metodología de Análisis difuso de modo y efecto de falla, se podrá determinar una priorización de riesgos en el proceso de manufactura así como el nivel de seguridad que se tiene en la empresa.

1.5 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad las cadenas de suministro necesitan mantener la seguridad en cada uno de sus eslabones, no solo por el hecho de cumplir con estándares normativos, sino más bien, para aumentar el nivel de confiabilidad de una empresa ante sus competidores como la mejor en el ramo, desde su producción hasta la correlación con los miembros de la cadena. En vista de dicha situación, conocer los riesgos que afectan su vulnerabilidad puede evitar costos logísticos innecesarios.

El análisis de riesgos es de suma importancia, ya que permite diagnosticar con efectividad las situaciones inestables que se pueden llegar a presentar, complementando el proceso de gestión de riesgos, el cual refuerza el nivel de seguridad con que operan las entidades y se consolida la cadena de suministro.

La realización de esta investigación se debe a que la empresa requiere un análisis más detallado del nivel de priorización, en cuanto a los riesgos operativos que se presentan durante el proceso de manufactura al recubrir tubería de manera industrial. Por lo cual se propone una sinergia de enfoque tanto cualitativo como cuan-

titativo, aportando las bases para la comprensión del problema, brindando nuevas oportunidades de mejora.

1.6 METODOLOGÍA

La problemática expuesta, requiere un enfoque proactivo y útil para el entorno empresarial, donde la seguridad es uno de los pilares más importantes para la compañía. Es por ello que se realizó una evaluación de actividades rutinarias durante el proceso, para destacar en cuales riesgos operativos se incurria mediante la herramienta análisis de modo y efecto de falla (AMEF).

Para complementar y comprobar la utilidad de la herramienta propuesta como AMEF Difuso. Se prosiguió con la aplicación de lógica difusa a los resultados obtenidos previamente en el AMEF; con ello se pudo constatar la fiabilidad y certeza de la sinergia entre herramientas cualitativas y cuantitativas, aunado a la información obtenida de la revisión de literatura, generando resultados óptimos para el caso de estudio.

1.7 ESTRUCTURA DE TESIS

En la investigación se presentan los aspectos de introducción como parte fundamental, donde se desarrolla la pertinencia del tema en relación al caso de estudio. Siendo conformados principalmente por la problemática expuesta, los objetivos que deberán cumplirse, además de la hipótesis que deberá ser comprobada, a través de la investigación. Así mismo, el capítulo de antecedentes brindará la información relevante para conceptualizar el tema, comprender su importancia y detallar los aspectos más relevantes en cuanto a seguridad y su relación con el caso de estudio, que se ha tomado para comprobar y detallar el proceso de gestión de riesgos ante la utilización de las herramientas.

Para la comprobación de las herramientas seleccionadas, el capítulo de metodología menciona la importancia de ejecutar una técnica cualitativa, complementándose con un método cuantitativo, para el caso de estudio y su posible solución de acuerdo a las investigaciones que anteriormente se han realizado. Sin embargo, los resultados obtenidos se encontrarán en el capítulo del mismo nombre y especificando los procesos analizados, la metodología implementada y los efectos que impactaron en la resolución del caso de estudio. Para dar por terminada la investigación, en el apartado de conclusiones se comentará la información obtenida, puntos de referencia para futuras investigaciones y el impacto de resolver el problema planteado.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

Es importante contextualizar el tema de seguridad en la cadena de suministro, debido a que la investigación propone brindar información relevante que coadyuve en el mejoramiento de la misma como eslabón. En este capítulo se presenta la revisión de la bibliografía respecto al tema de riesgos operativos y su relación con la cadena de suministro; además del caso de estudio, información relevante de la empresa y el proceso de manufactura que se analizará, para detallar las situaciones vulnerables y su afectación en el producto final.

2.1 CADENA DE SUMINISTRO EN LA ACTUALIDAD

Actualmente la globalización ha propiciado un crecimiento comercial que ha interrelacionado las actividades entre los diversos participantes que conforman una cadena de suministro. Para ello, Chopra y Meindl (2008) comentan: «Una cadena de suministro está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente».

Es decir, una cadena de suministro consiste en la interacción no solo del fabricante con el proveedor, sino también en cada uno de los participantes que desarrollan actividades como transporte, distribución, almacenaje, venta a detalle e inclusive el

cliente, comportándose como un todo, a través del proceso de transformación del producto.

La cadena de suministro abarca la planificación y gestión de todas las actividades involucradas en el abastecimiento, compras, conversión y todas las actividades que administra la logística. Además, incluye la coordinación y colaboración con los involucrados, que pueden ser proveedores, intermediarios proveedores de servicios de tercerización y clientes (Council Supply Chain Management Professionals, 2010).

Con ello se puede determinar que una cadena de suministro comprende en su totalidad las actividades que se efectúan desde la obtención de materias primas, el proceso de fabricación hasta la obtención del producto por parte del consumidor final. No solo administra las acciones de cada eslabón, sino que genera la integración con el proveedor del proveedor a través de la aportación de valor hasta el cliente del cliente, provocando un proceso integrado a lo largo de la cadena que permita medir la velocidad de respuesta, obtener visibilidad y establecer un flujo de información efectivo que funcione como un mecanismo con sinergia absoluta.

Por su parte Mentzer (2004) reafirma lo anterior con su concepto de cadena de suministro, la cual define como: «Un conjunto de tres o más empresas conectadas o relacionadas con flujos de productos, servicios, finanzas e información desde el suministro hasta el cliente final».

Kaminsky y P. Simchi-Levi (2007) menciona que: «La cadena de suministro es un sistema dinámico que evoluciona con el tiempo. De hecho, no solo la demanda del cliente y capacidades de los proveedores cambian con el tiempo, así como las relaciones de la cadena de suministro que también evolucionan constantemente».

Al desarrollar un flujo eficiente de información a través de la cadena de suministro, se pueden unir las diferentes áreas, mediante un objetivo principal, fortalecer el funcionamiento de manera conjunta, aportando actividades específicas que proporcionen información a un siguiente eslabón que deberá proseguir con la transformación de los bienes y es indispensable en el momento de hacer una cadena de suministro.

Retomando las aportaciones de Chopra y Meindl (2008) es importante mencionar que: «El objetivo de una cadena de suministro debe ser maximizar el valor total generado». Ya que, dicho valor brinda la diferencia entre lo que vale el producto final para el cliente y los costos en que la cadena incurre.

Por lo cual además de buscar afinidad entre las actividades que cada uno de los eslabones desarrolla, la cadena de suministro requiere aportar valor al producto. Aunque, entre las diversas acciones que realizan los actores de dicha cadena, tiende a ser más inherente y compleja en cuanto a los aspectos de seguridad, que puede volverla vulnerable ante posibles interrupciones.

Desde luego es importante comentar que las cadenas de suministro evolucionan constantemente, adecuándose al tipo de industrias y los requerimientos del cliente; Guerrero (2016) señala que: «La estrategia de una empresa debe tener en cuenta cada parte del flujo de la cadena de suministro, con ello se pretende apoyar el esfuerzo conjunto de todos los miembros para mejorar la calidad del servicio y garantizar el éxito de las operaciones».

2.2 IMPORTANCIA DE LA SEGURIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTRO

La seguridad en las cadenas de suministro actuales se ha posicionado como uno de los temas más importantes. El crecimiento comercial ha tenido sus consecuencias, ya que las cadenas de suministro globales son y tienden a ser inherentemente más complejas. Mayor complejidad implica mayor fragilidad, ya que se involucra a un número mayor de agentes con un rango más amplio de responsabilidades (Wood *et al.*, 1995).

Debido al creciente cambio que se suscita en las cadenas de suministro, la seguridad dentro de la misma cobra gran importancia al regular situaciones con tendencia

a presentar un riesgo para la cadena en sí. Desde los hechos lamentables del 11 de septiembre en 2001, además de catástrofes naturales que han azotado el continente asiático, que evidentemente han alterado las economías y cadenas de suministro mundiales, se ha establecido que la seguridad ante posibles hechos disruptivos, requiere un estudio que conlleve a una evaluación, así como el aumento de medidas que protejan a los miembros de la cadena.

La gestión de seguridad también se puede considerar en aspectos como finanzas, producción, gestión de información, instalaciones de embalaje, almacenamiento, así como transferencia de bienes entre distintas localizaciones, (Revista Seguritecnia, 2012).

Con lo cual se puede comprender la vulnerabilidad que las empresas constantemente están expuestas, así como la importancia de prestar atención en el aspecto de seguridad, no solo como medida de protección, sino más bien como estrategia de valor que le permita ser resiliente ante situaciones de incertidumbre.

Ante la necesidad de evaluar y mantener la seguridad en las cadenas de suministro, las consultoras han cobrado cierto valor para las empresas que desean tercerizar los servicios de protección en sus procesos a través de la cadena. En los documentos redactados por (BSIGroup, 2013) y (NADGlobal, 2014) se concuerda que la seguridad de la cadena de suministro combina prácticas tradicionales de gestión que permite proteger a las empresas de amenazas como piratería, terrorismo o robo. Además de proponer un desarrollo económico seguro a través de medidas internacionales de protección como: NEEC, C-TPAT, BASC, OEA, ISO 28 000.

Retomando las aportaciones mencionadas en (Revista Certificación y Negocios, 2013) se muestra un estudio que de acuerdo con la Universidad de Stanford donde se encuentran los beneficios de invertir en el análisis de la seguridad en la cadena de suministro:

- Inspecciones de los clientes pueden reducir en un 48 %.

- La dirección automatizada de importaciones aumenta un 43 %.
- Los tiempos de transito se reducen un 29 %.
- La entrega a tiempo a los clientes incrementa un 30 %.
- Los robos disminuyen un 38 %.
- El inventario se reduce un 14 %.

2.3 ESTÁNDARES DE SEGURIDAD

Mediante la implementación de medidas de seguridad, se pueden obtener diversos beneficios, además de solo proteger las interacciones y procesos entre los actores de la cadena.

Investigadores como Correa y Gómez (2010) se han referido a la seguridad en la cadena de suministro basada en la norma ISO 28 000 para sectores sensibles que requieren estrategias de competitividad. Situando a las cadenas de suministros como indicadores en el medio empresarial nacional e internacional, debido a su impacto en la productividad y competitividad de sectores productivos de los países.

No obstante, muchas de las empresas desconocen o ignoran medidas preventivas que pueden disminuir costos innecesarios por situaciones vulnerables que comprometen el funcionamiento eficaz de sus procesos, así como las interacciones con demás actores que conforman la cadena. Reconocer dichas situaciones vulnerables propicia una nueva visión y la detección de procesos que pueden ser optimizados, al mismo tiempo que aseguran la continuidad de la producción.

2.3.1 C-TPAT

Organismos como el C-TPAT promueven la seguridad de los procesos entre socios comerciales. Se refiere a la Alianza Aduanas-Comercio Norteamericanas contra el Terrorismo (C-TPAT), la cual busca salvaguardar la industria del comercio en el mundo de los terroristas, el mantenimiento de la salud económica de los EUA y sus vecinos. La asociación desarrolla y adopta medidas de mayor seguridad, pero no tienen un efecto negativo en el comercio, sólo es un difícil acto de equilibrio (C-TPAT, 2016).

C-TPAT nace debido a los lamentables ataques terroristas en 2001 contra EUA; de modo que reglamentar la colaboración exportadora e importadora brinda beneficios, tales como:

1. Reducción en las inspecciones de aduanas norteamericanas: cuando se importa carga, se asigna un valor de riesgo no revelado para cada envío; la evaluación de factores de riesgo como: país de origen, proveedor, tipo de producto etc.

Cuando una compañía con certificación C-TPAT importa carga, se descuenta punto del valor de riesgo. Esto resulta en la carga de importación que se colocan en una categoría preferida. Incluso si se selecciona el envío a ser inspeccionado, el proceso es más rápido.

Todo esto se traduce en una reducción de las tasas de inspección, aduanas, tasas de carga, el aumento de la velocidad del mercado y un efecto positivo inmediato en la rentabilidad de las empresas apegadas a las prácticas dictadas por el organismo regulador de seguridad. Las entradas archivadas por el nivel II de C-TPAT con certificados de importadores estadounidenses tiene de 3 a 5 veces menos probabilidades de ser seleccionador para un examen basado en la seguridad, mientras que el nivel III C-TPAT son 9 veces menos probable de ser seleccionados para revisión aduanera.

2. Privilegio en línea: los remolques no tendrán que esperar tanto tiempo en línea

en un sitio de examen para contenedores, así como la reducción de tiempo y costo en conseguir la carga liberada por la aduana.

3. Acceso prioritario: en el caso de una emergencia nacional o acto terrorista, lo que se traduce en el cierre del aeropuerto, la tierra o mar de entrada; C-TPAT tendrá acceso prioritario a EUA una vez que el puerto vuelva a abrir, debido al beneficio de su certificación.
4. Comercio libre y seguro: despacho rápido a través de las fronteras de EUA y Canadá mediante carriles reservados.
5. Beneficios adicionales: mantener una relación comercial con clientes americanos certificados a C-TPAT, incremento de competitividad, disminución de probabilidad en la interrupción de la cadena de suministro, visibilidad en la misma, así como el mejoramiento de importación en cargas desde el exterior y el transporte de las mismas.

2.3.2 OEA

En México se implementó un marco regulador en materia aduanera, tal como lo hace C-TPAT, era conocido como NEEC (Nuevo Esquema de Empresas Certificadas); sin embargo, Duarte (2015) comenta: «El nombre que otorgó México para el programa que certifica la seguridad en la cadena de suministro de una empresa que participa en el comercio exterior, es decir, el Nuevo Esquema de Empresa Certificada (NEEC), será homologado oficialmente a Operador Económico Autorizado (OEA)».

Complementando esta información y su reciente modificación el (SAT, 2015) OEA, es un programa que busca fortalecer la seguridad de la cadena logística del comercio exterior a través de la implementación de estándares mínimos en materia de seguridad internacionalmente reconocidos en coordinación con el sector privado y que otorga beneficios a las empresas participantes.

Las empresas que deseen pertenecer al OEA deben cumplir ciertos requisitos, los cuales se pueden englobar en tres principios de cumplimiento:

- Fiscal.
- Aduanero.
- Seguridad.

OEA, es la certificación que cuenta con mayor número de beneficios, 46 en total. Los beneficios más representativos son:

- Atención personal.
- Carriles preferenciales para el despacho de mercancías.
- Priorización en el despacho aduanero.
- Simplificación y facilidades administrativas.
- No suspensión del padrón de importadores.
- Reconocimiento mutuo con otros países.

La empresa que decida obtener la certificación de la OEA en México necesita cumplir con los estándares mínimos, que son:

- Planeación de la seguridad en la cadena de suministro.
- Seguridad física.

- Controles de acceso.
- Socios comerciales.
- Seguridad en procesos.
- Gestión aduanera.
- Seguridad de los vehículos de carga, contenedores, remolques y semirremolques.
- Seguridad personal.
- Seguridad de la información y documentación.
- Capacitación en seguridad.
- Manejo e investigación de incidentes.

Evidentemente apearse a la normatividad de certificaciones como las antes mencionadas, requieren un estricto enfoque y estudio permanente de prácticas que busquen incrementar la seguridad y reducir en mejor manera los riesgos operativos que se presentan tanto en su cadena de suministro, como en sus procesos productivos.

2.4 RIESGO EN LA TOMA DE DECISIONES

El creciente cambio dentro de las cadenas de suministro, propician nuevas investigaciones sobre la seguridad y optimización de procesos, para volverlas más confiables y eficientes. Closs y McGarrell (2004) comentan que: «la aplicación de políticas, procedimientos y tecnología con el objetivo tanto de proteger los bienes (productos,

instalaciones, equipo, información y personal.) Del robo, daño o terrorismo, como de prevenir la introducción de contrabando de personas, armas, narcóticos y productos ilegales a través de cadenas de suministro honorables». Citado en Cedillo (2011).

Debido a esta situación realizar un análisis de riesgos operativos que conforman la cadena, se vuelve una herramienta efectiva. Cabe mencionar que la base para el funcionamiento de una cadena de suministro es la interacción efectiva entre cada uno de sus miembros, es ahí donde los cambios y tendencias en las cadenas de suministro pueden generar oportunidades de interrupción.

2.4.1 RIESGOS Y TIPOS

Desde luego se debe partir desde conceptos básicos que constituyen esta investigación. De acuerdo con Ardila *et al.* (2014) «cualquier evento o suceso que implique una amenaza potencial en el desempeño de las operaciones de una organización, se conoce como riesgo». De cualquier manera, solo una buena gestión se lleva a cabo a través de una evaluación del riesgo y del desarrollo de estrategias para controlarlos y mitigarlos.

Desde luego al hablar de riesgos es necesario determinar los tipos en que se pueden ubicar, para determinar su complejidad, es por ello que de acuerdo con (Centro Latinoamericanos de Innovación en Logística CLY , 2010) la clasificación de los riesgos en la cadena de suministro es la siguiente:

- Riesgos operacionales: surgen a partir de las operaciones propias de una organización.

Riesgos inherentes a las operaciones.

Riesgos asociados a las decisiones de directivos.

- Riesgos dentro de la cadena de suministro: surgen a raíz de las interacciones

entre miembros de la cadena de suministro.

Riesgos derivados de los proveedores.

Riesgos derivados de los clientes.

- Riesgos externos: son externos a las cadenas de suministros y provienen de las interacciones de estas con su entorno.

Riesgos globales.

Mientras que Cedillo (2011) define los riesgos en: ¡1) Riesgos, amenazas y catástrofes resultado de eventos naturales; 2) Riesgos, amenazas y catástrofes derivadas de acciones humanas generadas por errores o descuidos; y 3) Actividades criminales y de terrorismo.

Identificar y conocer los riesgos posibles, amerita una responsabilidad importante dentro de la organización, ya que se puede distinguir al problema raíz y por consiguiente abordar las posibles soluciones y estrategias de mitigación.

2.4.2 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE RIESGOS

Desde hace tiempo, las industrias año con año implementan nuevas estrategias de crecimiento comercial. No obstante, poco ha considerado el factor de análisis y evaluación de riesgos internos y externos, como un punto clave en el logro de objetivos globales. Las cadenas de suministro atraviesan tendencias que las mejoran constantemente, aunque, no se considera el mantenimiento de la seguridad entre las interacciones, puesto que tienen un efecto reactivo ante situaciones críticas, en lugar de ser proactivos ante sectores que han logrado posicionarse de manera favorable en la producción nacional.

Existen agentes externos que pueden detener de manera considerable las operaciones de toda una cadena de suministro, originando altos costos, que no se tenían

contemplados, así como interrupciones dentro de la producción que retrasa desde lanzamientos de un nuevo producto hasta cumplimientos de órdenes de compra imprescindibles. Ante ello es necesario detectar oportunidades que trasciendan al minimizar los posibles daños, que se mantiene latentes en las cadenas de suministro.

Un claro ejemplo de interrupciones significativas a una cadena de suministro, siendo el caso de Toyota, la cual tuvo que suspender la producción de sus tres fábricas tailandesas debido a las fuertes lluvias, debido a las inundaciones que azotaron al país asiático en 2011, ocasionándole una pérdida de 1.735 millones de euros, representado en un 54 % de beneficios económicos. Por consecuente la firma estuvo a la baja y General Motors destronó al líder asiático como líder mundial del sector automotriz (Fernández, 2011).

Un claro ejemplo es el caso Volkswagen, quien fabricó varias versiones de su «dispositivo de ocultamiento», un software para alterar las pruebas de emisiones de gases de sus vehículos, este hecho sucedió durante 7 años para cuatro tipos de motores. A raíz de este suceso se pensó en reducir el número de empleados como un esfuerzo para compensar los costos derivados del escándalo sobre las emisiones de gas en sus vehículos, (CNNExpansion, 2015).

Por lo cual, este tipo de eventos incurren en riesgos operativos latentes por errores de verificación de procesos que conjugan personal y maquinaria. Evidentemente este caso causo pérdidas económicas y de posicionamiento de la marca en el mercado, por la falta de previsión en la seguridad.

2.4.3 ISO 28 000 SEGURIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTRO

En el ambiente comercial, se requiere un marco regulatorio que permita una coordinación efectiva ante las múltiples actividades y obligaciones a las que se enfrentan las compañías. Motivo por el cual las normas ISO toman un papel de suma importancia, no solo como un requerimiento a nivel global y de correlación entre dis-

tintas empresas, sino más bien por las especificaciones que contienen bajo la premisa de orientar de la mejor manera el cumplimiento de la normatividad comercial y el eficiente tráfico de mercancías.

Pauw (2012) comenta que: «debido al crecimiento exponencial del comercio internacional, cada vez resulta mucho más complejo gestionar la seguridad de la cadena de suministro». Es por ello que las normas ISO 28 000 regulan la armonización de los esfuerzos globales para ayudar a las organizaciones para reducir los riesgos y preparar a las organizaciones ante situaciones de crisis, consiguiendo una recuperación rápido una vez ocurrido el incidente.

En su mayoría los operadores logísticos requieren conocer y certificarse en normas ISO 28 000, ya que se vuelve una inversión en la efectividad a través de su cadena de suministro, lo cual otorgará beneficios a medio plazo. Siendo la seguridad una oportunidad para crear procesos estables, además de una gestión de riesgos efectivos.

ISO 28 000 es aplicable y útil para todo tipo de empresa independientemente del giro comercial que tenga. La consultora (LRQA México , 2016) menciona algunos de los beneficios que se obtienen al trabajar bajo dicha norma, los cuales son:

- Puede ayudar a todos los sectores de la industria a evaluar los riesgos de seguridad, aplicar los controles y tomar las medidas necesarias para mitigar o manejar las amenazas y riesgos.
- Se deriva de los mismos principios que la norma ISO 9001, por lo que es fácil de integrar con otras normas como la ISO 14001 y OHSAS 18001.
- Es reconocido mundialmente como la mejor práctica de seguridad en la cadena de suministro, para todos los tipos y tamaños de organizaciones dentro de todas las industrias.

Desde luego el cumplimiento de la ISO 28 000 es el preámbulo en cuanto a materia de riesgos en la cadena, puesto que la continuidad de dicho tema conlleva a la norma ISO 31 000, la cual se utiliza como herramienta de evaluación de riesgos.

2.4.4 ISO 31 000 Y LA GESTIÓN DE RIESGOS

Continuando con la normatividad ISO la número 31 000 se enfoca principalmente en el proceso de gestión donde se analizan los riesgos dentro de las operaciones, con la finalidad de mitigar los daños ante interrupciones.

De acuerdo con Martínez y Cásares (2011) «los principios para la gestión del riesgo buscan establecer el enfoque cultural e ideológico con que se deben gestionar los riesgos en toda organización». Es importante establecer mecanismos de comunicación internos y externos con las partes interesadas, así como identificar las necesidades de todo tipo de recursos y su posible revisión de manera efectiva, realista e incrementando valor para las empresas que las implantan.

Para mantener y cumplir con disposiciones oficiales dentro de la gestión del riesgo las normas ISO 31 000, juega un papel indispensable, no solo por hecho de certificar las actividades de seguridad en la empresa, sino más bien por la especificación de la metodología ante el cumplimiento de los procesos de gestión de riesgos dentro de la cadena de suministro. De acuerdo con ISO (2011) «los riesgos que afectan a las organizaciones pueden tener consecuencias en términos de rendimiento económico y reputación profesional, así como del medio ambiente, la seguridad y los resultados sociales». Por lo tanto, la gestión del riesgo ayuda efectivamente a las organizaciones para llevar a cabo sus actividades en un ambiente lleno de incertidumbre.

Por otra parte, la ISO 31 000:2009 habla del proceso de gestión de riesgos, el cual se puede describir como el establecimiento de una situación específica, que prosiga con la identificación de riesgos, que genere un análisis y evaluación, desencadenando en estrategias de mitigación de riesgos, que de manera efectiva puedan

disminuir el nivel de incidencia, a través del monitoreo constante de los procesos analizados (ver figura 2.1)

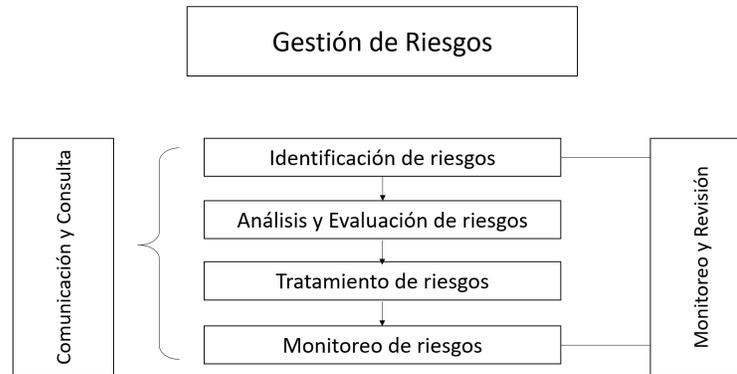


Figura 2.1: Proceso de gestión de riesgos (ISO, 2011)

En esta investigación se contempla la importancia de la etapa de análisis y evaluación de riesgos. Dado que es más factible determinar la incidencia y los factores que propician los riesgos específicos sobre el eslabón de la cadena que se pretenderá analizar. Además de brindar la posibilidad de implementar una herramienta cualitativa que aporte una clasificación de las interrupciones que se encuentran en los procesos seleccionados.

Es de suma importancia tomar en cuenta que la elección de la herramienta cualitativa debe cumplir con propósitos específicos de acuerdo con la empresa y procesos seleccionados, tales como:

- Evitar sesgos de información.
- Facilite la colaboración con los directivos.
- Debe ser compatible con los requerimientos de la empresa.
- Genere la ponderación y administración de los riesgos encontrados.

Martínez (2002) comenta que «un análisis de riesgos, no solo consiste en una observación detallada y sistemática, debido a que principalmente es una propuesta metodológica, que permite el conocimiento de los riesgos y sus fuentes o causas (peligros), las consecuencias potenciales, remanentes y la probabilidad de que esto se presente».

2.5 CASO DE ESTUDIO

La empresa presta servicios de energía global orientada al crecimiento, especializada en productos y servicios basados en tecnología para los sectores de oleoductos y petroquímicos, así como para otros mercados industriales. La compañía, del cual forma parte el caso de estudio ha establecido una posición dominante en sus mercados a través de un enfoque inquebrantable en el crecimiento global, la ejecución perfecta, la innovación tecnológica y la excelencia organizacional.

La empresa que ha sido tomada como caso de estudio, es líder mundial en el desarrollo y fabricación de soluciones de revestimiento de tuberías para las industrias de petróleo, gas y agua. Con una historia de experiencia probada que se remonta a los años 1930, siendo la opción preferida de los principales clientes de la industria de la energía en todo el mundo. Más de 400,000 km de tuberías en todo el mundo han sido protegidos utilizando la tecnología y servicios. Especializándose en el desarrollo de soluciones para sus clientes, cuenta con el equipo más grande de experimentados y dedicados profesionales de recubrimiento de tuberías en la industria.

2.5.1 SERVICIO AL CLIENTE

El personal dedicado de la empresa está disponible para ayudar con el apoyo y ejecución del proyecto para asegurar su satisfacción. La compañía brinda apoyo completo en las siguientes áreas:

- Especificaciones de revestimiento y desarrollo de normas.
- Adquisición de materia prima y garantía de calidad.
- Entrega y almacenamiento de tubos desnudos y recubiertos.
- Diseño de ingeniería para la garantía de flujo.
- Revestimiento de tuberías según los estándares industriales y las especificaciones del cliente aplicables.
- Análisis logístico para el suministro óptimo de tuberías recubiertas.
- Transporte de tubería recubierta según los requerimientos del cliente.
- Soluciones de fuente única empaquetadas incluyendo ingeniería, adquisición, recubrimiento y entrega de tuberías.
- Soluciones de extremo a extremo, incluyendo juntas de campo y revestimientos personalizados.
- Mejora continua en el rendimiento del sistema de gestión de salud, seguridad y medio ambiente.

2.5.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE SALUD, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

La empresa se ha comprometido a proporcionar un lugar de trabajo seguro y saludable para todos los empleados, visitantes y vecinos. Además, la protección del

medio ambiente ocupa un lugar destacado en todas las decisiones comerciales. El compromiso de la compañía con la seguridad de los empleados se promueve a través de la filosofía de Libre de Incidentes y Lesiones. El Sistema de Gestión de Salud, Seguridad y Medio Ambiente de la compañía está diseñado para proporcionar orientación e instrucciones consistentes a las operaciones globales. Este sistema cumple o excede todas las normas internacionales y puede ser considerado «el mejor de su clase».

2.5.3 PLANTA MONTERREY

Planta Monterrey es líder especializado en recubrimientos en tuberías para las industrias del petróleo y el gas. Su *core business* son los sistemas de aislamiento y recubrimiento para protección contra la corrosión y aplicaciones de recubrimiento de peso en tuberías terrestres y marinas desde 2" hasta 48". Siendo el FBE, Tricapa sus mejores procesos.

La instalación de Planta Monterrey, México, está estratégicamente ubicada cerca del Golfo de México, la más nueva región productora de gas del país. Esta ubicación efectivamente sirve a clientes locales e internacionales que operan en la zona proporcionando ahorros logísticos y de transporte. La instalación también se encuentra en la ruta principal de entrega de tuberías entre tres instalaciones de fabricación de tubos de acero.

Como miembro de la cadena de suministro Planta Monterrey depende de la fabricación de tubería que realiza su socio estratégico, el cual prové la tubería que será recubierta de acuerdo a las especificaciones del cliente, bajo un plan maestro de producción donde se especifica la cantidad, propiedades y el tipo de recubrimiento a realizar. Evidentemente el trabajo conjunto al productor de tubería ha llegado a ser una sinergia que a través de los años ha mantenido los altos índices de productividad en la región.

La empresa cuenta con más de 90 trabajadores, quienes están distribuidos entre las oficinas y la planta de producción. Se cuenta con 4 zonas específicas para situar obreros de acuerdo a su capacitación, adiestramiento y experiencia, sin embargo cada cierto tiempo rotan de posición, no solo por el hecho de disminuir la complacencia operativa, sino más bien para incentivar a la realización de nuevas actividades y capacitación según requiera el obrero para cubrir la posición.

Las zonas ubicadas en la planta son:

1. Bancal de entrada.

- El pettibone, el cual es el transporte utilizado para la movilidad de la tubería, entrega el tubo para que inicie el proceso de limpieza a través del bancal, donde es tratado con granalla, un material especialmente utilizado para el retiro de oxidación, suciedad y pulido del tubo en su interior, así como el ácido, los cuales limpian y adaptan de textura al tubo. Enseguida se coloca un cople para evitar que exista un choque entre tubos durante el proceso, debido a que trabaja como un anillo de ajuste al tubo. En el bancal existe personal en los controles del conveyor para ajustar los movimientos que las llantas transportadoras realizaran para que el tubo continúe en la línea.

2. Bancal medio.

- Después de haber sido adaptado gracias a la granalla que no es más que un material que moldea la capa del tubo, produciendo pequeños orificios con la finalidad de que la resina pueda impregnarse con facilidad. El bancal medio inspecciona por primera vez la apariencia del tubo, es justo en esta parte donde se puede regresar un tubo al proveedor, debido a que venga dañado, este lleno de corrosión o en su caso la granalla no haya sido de gran ayuda para modificar la textura del tubo. El personal maneja los controles para movimientos del conveyor mientras que otra hace el retiro de coples y una más realiza ayuda manual al movimiento del tubo.

3. Línea de recubrimiento.

- En esta área el tubo pasa a través del conveyor para que las mangueras con la resina puedan recubrir el tubo; mientras que, se encuentra un operario que en el espacio antes de entrar a la línea debe poner cinta especial en el filo del tubo, justo en el área donde cubría el cople: esto se debe a que debe quedar una parte sin recubrir para que más adelante en la línea el cople sea puesto de nuevo bajo la condición de maniobras.

4. Bancal de salida.

- Al haber recubierto el tubo, en dicha área se hace la inspección de calidad, para determinar si el grosor de la resina, así como su cobertura es la deseada de acuerdo a las especificaciones. En caso de que pueda tener algunos detalles el departamento de calidad los arregla con resina disponible en pequeñas cantidades. En situaciones complejas y críticas el tubo puede ser rechazado al no contar con las propiedades necesarias y entonces el tubo pasa al área de aislamiento donde será analizado después haber sido cortado y el laboratorio de calidad en conjunto con producción detallan el origen de la anomalía.

Para comprender mejor el proceso de manufactura que se realiza en Planta Monterrey, la figura 2.2 muestra el proceso que se lleva a cabo y las zonas antes mencionadas.

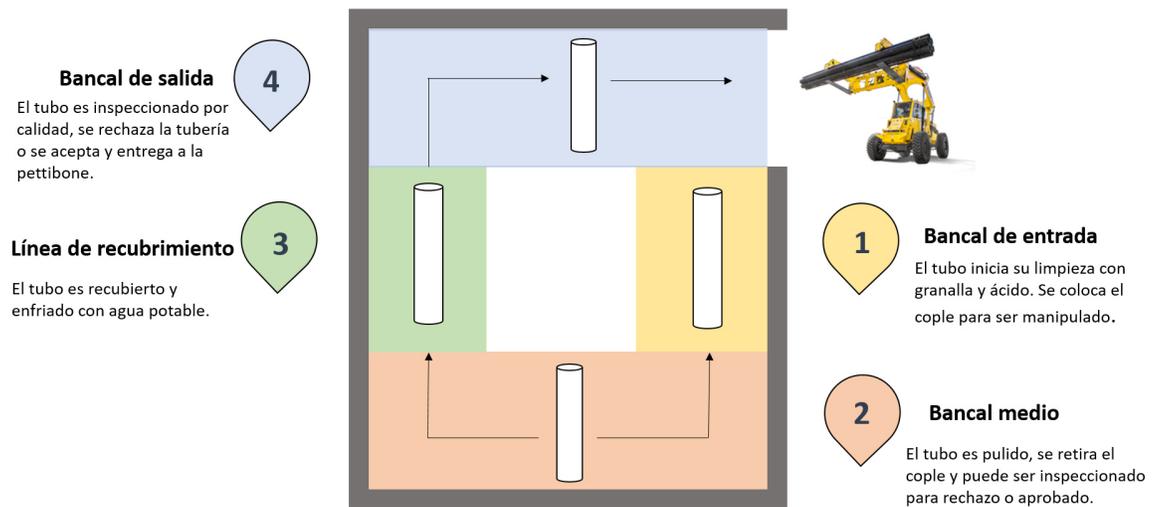


Figura 2.2: Zonas en la línea de producción

Es importante destacar que la información brindada por la empresa, es específica al momento de la comprensión del problema, ya que, todo radica en la disminución y control de situaciones vulnerables que afecten el proceso y personal en las 4 zonas respectivas a la línea de producción.

2.5.4 IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE RIESGOS OPERATIVOS EN EL CASO DE ESTUDIO

Anteriormente se trabajaba bajo un esquema reactivo, donde se tenía conocimiento de las situaciones vulnerables que afectaban al proceso de producción. Aunque, la importancia que actualmente se presenta en la seguridad en cadenas de suministro globales para compañías multinacionales, enfocadas en reducir los riesgos y ser resilientes, tiende a ser un factor decisivo. Para la empresa tomada como caso de estudio, el sistema de seguridad, higiene y medio ambiente es un pilar fundamental, el cual provee la automatización del proceso de manufactura y su relación entre

hombre - máquina.

Al ser una actividad industrial que posee un alto nivel de riesgos, requiere que se trabaje en sinergia producción y el área de seguridad, lo cual puede generar nuevas estrategias y controles de medición que mejoren las políticas de seguridad y por ende la imagen de la empresa vaya a la alza. Como ya se mencionó la empresa es la mejor en el ramo de recubrimiento industrial de tubería, es por ello que la necesidad de una priorización de riesgos operativos se vuelve un propósito trascendental para establecer los lineamientos de seguridad y una mejora en la estructura operativa.

En la literatura revisada, se encontró que algunos autores promueven el análisis de riesgos en las empresas que son parte importante de las cadenas de suministro, bajo la proeza de llegar a ser un factor proactivo y trabajar de manera segura al conocer y determinar las primeras fases del proceso de gestión de riesgos mencionado en la ISO 31000, que además de ser una normatividad mundial, propone una estandarización de medidas de seguridad en busca de reducir la vulnerabilidad del comercio mundial.

Al haber concluido la revisión de literatura, es necesario determinar que herramientas deben utilizarse para solucionar la problemática expuesta; en el siguiente capítulo se expondrá cuales fueron los métodos seleccionados para continuar con la investigación.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

La metodología empleada en la presente investigación, ha sido seleccionada con base a la necesidad de ampliar el análisis de riesgos presentado en el caso de estudio, puesto que conlleva utilizar factores reales, pero busca ahondar más en el tema de manera cuantitativa y disminuir la vaguedad que se presenta en la situación actual de la empresa.

Emplear una herramienta cualitativa brinda la posibilidad de contemplar de manera abierta el problema raíz, las vertientes en que se encuentra, así como las opiniones de diversos actores; sin embargo, los resultados carecen de certeza en cuanto a la medición de la seguridad con respecto a su papel como miembro de la cadena de suministro.

De modo que complementar con una herramienta cuantitativa, que pueda otorgar una mayor certeza a los resultados previos otorga fiabilidad numérica al momento de cotejarlos con la priorización de los riesgos operativos que se estén evaluando.

3.1 ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

Utilizar herramientas cualitativas brinda la posibilidad de enfocar las opiniones de quienes conviven con el problema en cuestión, aportando las causas raíces del

mismo; de cualquier manera, las causas deben ser orientadas a una solución práctica donde se logre encontrar un nivel de medición como resultado.

El análisis de modo y efecto de falla logra aportar un resultado cualitativo, llegando a ser integral en lo que corresponde a un problema dentro del proceso o aquello que aumenta la vulnerabilidad del mismo.

De acuerdo con Reyes (2007) «el AMEF, resulta ser un registro sistemático y disciplinado de observaciones y consideraciones, orientadas a identificación y evaluación de fallas potenciales de un producto o proceso, junto con el efecto que provocan éstas, con el fin de establecer prioridades y decidir acciones para reducir las posibilidades de rechazo y, por el contrario, favorecer la confiabilidad del producto o proceso».

Por otra parte, Aguilar *et al.* (2010) destacan que: «el AMEF permite lograr un entendimiento global del sistema, debido a que al obtener un resultado también quedan definidas acciones o tareas, lo cual permite diseñar una estrategia aplicando criterios de riesgo para cada activo o equipo considerado en la evaluación y el grado de criticidad encontrado».

Es decir, la herramienta debe tener conocimiento exacto del proceso de manufactura que el producto lleva a cabo, tanto por el diseño, como por las actividades que conforman la línea de producción. En este caso, puede comprenderse como el medio que estimula la participación del personal involucrado.

El análisis de modo y efecto de falla, es una metodología analítica usada para garantizar que los problemas potenciales han sido considerados y gestionados durante todo el desarrollo del producto y del proceso dentro de la planeación avanzada de la calidad del producto (Gallegos, 2016).

3.1.1 HISTORIA

Si bien es cierto, la herramienta no es un método innovador en la actualidad, debido a que desde su aparición el siglo pasado ha mantenido una trascendencia y mejora continua aplicada a diversas áreas de estudio, no solo por su funcionalidad, sino que logra proveer un análisis multidisciplinario que segmenta el proceso o producto para comprender ampliamente la situación y poder generar nuevas expectativas, cambios e inclusive análisis posteriores.

Los primeros estudios formales del AMEF se llevaron a cabo en la industria aeroespacial a mediados de 1960, centrándose en problemas de seguridad; sin embargo, en poco tiempo esta herramienta se convirtió en pieza clave para mejorar la seguridad especialmente en las industrias de procesos químicos (McDermott *et al.*, 2008) .

Evidentemente el análisis siempre ha sido en búsqueda de fallos potenciales, establecer un lenguaje común que puede ser utilizado en productos o procesos. Fue entonces que la industria automotriz adaptó dicha técnica cualitativa para uso como herramienta de mejora en la calidad del producto.

Por otra parte los inicios del AMEF en 1949 por las fuerzas armadas de los Estados Unidos de América, mediante un procedimiento que permitiera conocer la finalidad de un análisis de modo y efecto de falla así como la criticidad. El objetivo era lograr clasificar las fallas de acuerdo al impacto en el éxito de la misión así como la seguridad del personal. Fue entonces que a mediados de 1960 el AMEF tuvo gran aceptación en la industria aeroespacial y en 1970 Ford Motor Company introdujo dicha herramienta al sector automotriz bajo la premisa de aumentar la seguridad y mejorar la producción aunado al diseño (Carlson, 2014).

Ambos autores señalan que fue en la industria aeroespacial donde surgió y se desarrolló el análisis de modo de efecto ya falla, como una herramienta sumamente útil y que a través del tiempo ha sido aplicada en áreas como salud, alimentos, qui-

micos, software y todos aquellos que tanto en el proceso como en su diseño requieren un análisis certero.

3.1.2 TIPOS

Martínez (2004) comenta que: «existen diversos tipos de análisis de modo y efecto de falla, según sea el caso del producto, servicio y hasta la misma empresa. Esto llega a ser una elección importante, debido a que para lograr aplicar el tipo de AMEF, se tuvo que seleccionar el objeto de análisis». Algunos tipos son:

- AMEF de diseño: asocia a los modos de falla en los productos y componentes, antes de que sean manufacturados, estos deben ser siempre completados correctamente con un prototipo construido.
- AMEF de proceso: se refiere al análisis de modo de efecto y falla en un proceso de ensamble o manufactura.
- AMEF de proyecto: dirige su objetivo a la detección de fallas que pudieran parar un programa principal.
- AMEF de sistema: funciona de acuerdo a los modos de falla para los niveles de función de sistemas y subsistemas en el cual el concepto de producto se evalúa a temprana etapa.

Para el caso de estudio se ha seleccionado el análisis de modo y efecto de falla en proceso, debido a que se desea una evaluación sobre el impacto de los riesgos operativos durante el proceso de manufactura en la línea de producción, contemplando las situaciones críticas donde el concepto hombre – máquina, llega a ser una operación importante tanto para la seguridad del personal como para la consecución de un producto terminado.

ISOTOOLS (2013) refiere que: «el AMEF de proceso, tiene como objetivo identificar y evaluar aspectos como los requisitos del proceso de producción, determinar los riesgos de fallos en el proceso, en el producto y sobre los clientes, calcular las causas potenciales de los posibles errores, además de controlar los puntos del proceso que son considerados críticos, prestando atención y focalizando acciones para reducir las probabilidades de error».

Mientras que Winchell (1996) aporta que: «el AMEF en procesos es una herramienta analítica sumamente útil para reducir la probabilidad de las causas asociadas al proceso, enfocándose principalmente en los modos y efecto de fallo en el proceso de manufactura, efectos en el cliente por fallo al servicio, causas de fallos potenciales en el proceso, clasificación de posibles fallos proporcionando una justificación para acciones correctivas».

El caso de estudio, pretende obtener información sobre su proceso de manufactura y la vulnerabilidad encontrada a través del análisis de riesgos detectados; es por ello, que realizar el AMEF de proceso, puede ser en primera instancia la herramienta que pueda emitir una categorización de riesgos a través del *NPR* (Número Prioritario de Riesgo) que al final del proceso sea encontrado.

3.1.3 IMPORTANCIA

Dicha herramienta, logra tener un enfoque al cliente para disminuir la incidencia de fallas en un proceso; no obstante, al definir «cliente» se piensa en el «consumidor final», aunque el cliente también puede llegar a ser otro eslabón de la cadena, que sigue transformando el producto. Debido a esta situación es necesario disminuir las fallas en actividades específicas, ya sea rutinarias o extraordinarias.

Algunos reportes de (SPC Consulting Group , 2012) y (First Consulting Group , 2013) coinciden en que la herramienta es una metodología utilizada para identificar los problemas potenciales que afecta el desempeño del proceso, causando deficiencias

importantes. El AMEF requiere controles para poder detectar maquinaria o procedimiento de trabajo, de esta forma se puede prevenir la ocurrencia de los mismos.

3.1.4 BENEFICIOS

Martínez (2004) hace referencia a que el AMEF es una herramienta sistematizada de actividades diseñada para:

1. Identificar las causas potenciales del proceso en manufactura o ensamble e identificar las variables de proceso que se desean controlar para reducir la ocurrencia o detectar las condiciones de falla.
2. Reconocer y evaluar la falla potencial de un producto o proceso en sus efectos.
3. Identificar acciones que eliminan o reducen la posibilidad de presentarse una falla.
4. Documentar el proceso.
5. Analizar la confiabilidad del sistema.

Escalante (2008) comentan que algunos beneficios de utilizar el AMEF son:

- Reducción de costos internos debido a retrabajos por no hacerlo bien la primera vez.
- Reducción de quejas y costos por garantías.
- Aumento de la satisfacción del cliente.
- Confianza en que los productos de la compañía son producidos basados en métodos de producción robustos y confiables.

Abordar un problema donde la incertidumbre es alta, requiere la comprensión del problema raíz en un inicio, donde todos los participantes aporten soluciones factibles, mediante el análisis del proceso de manufactura y la sinergia que tienen departamentos de calidad, mejora continua y seguridad. Optar por un análisis de modo de efecto y falla, permite que la información que se obtiene día a día durante la producción, así como los cambios de línea llegue a ser trascendental para los supervisores y gerentes de área. Es ahí, donde el riesgo y la toma de decisiones por actividades rutinarias deben ser evaluadas, manteniendo la seguridad tanto de operadores como del proceso.

3.1.5 PROCEDIMIENTO PARA DESARROLLAR EL AMEF

La herramienta puede llegar a ser muy útil para analizar el producto, proceso o la actividad en específica. Debido a que provee soluciones de diferentes enfoques que sean realizadas a corto plazo o proponga un cambio importante y aumente la efectividad.

Para ello es necesario determinar un procedimiento a seguir, en (Escalante, 2008) y (Martínez, 2004) se menciona que el proceso para un análisis de modo y efecto de falla consiste en cinco pasos:

1. Seleccionar a un equipo de trabajo para realizar lluvia de ideas sobre el problema detectado, bajo la premisa de brindar soluciones que aumenten el nivel de efectividad.
2. Elaborar un diagrama de flujo del proceso que se analizará.
3. Obtener los datos de fallas, con base en una asignación de tareas, análisis de riesgos propios de la empresa.
4. Analizar la información mediante herramientas como diagrama de Ishikawa, simulación, entre otras; buscando estimar severidad, ocurrencia y detección.

5. Obtener el NPR y evaluar las acciones.

De acuerdo con Gilioli y López (2001) El primer objetivo de la técnica es asignar, a cada punto analizado, un NRP que prioriza la acción preventiva. Para ello es necesario detectar los riesgos presentes en el proceso que será analizado. Mientras que establecer la clasificación de severidad, tal como se muestra en la tabla 3.1, es importante debido a que se tiene la finalidad de valorar la severidad de la falla encontrada (Reyes *et al.*, 2012).

Tabla 3.1: Cuadro de clasificación según severidad de la falla.

Severidad	Criterio	Valor de S
Ínfima	El defecto sería imperceptible por el usuario	1
Escasa	El cliente puede notar una falla menor	2 - 3
Baja	El cliente nota la falla y le produce cierto enojo	4 - 5
Moderada	La falla produce disgusto e insatisfacción el cliente	6- 7
Elevada	La falla es crítica, origina un alto grado de insatisfacción	8 - 9
Muy elevada	La falla implica problemas de seguridad	10

Para continuar con la evaluación de la probabilidad de forma intuitiva, en cuanto a la ocurrencia del modo de falla, se presenta en la tabla 3.2

Tabla 3.2: Cuadro de clasificación según la probabilidad de ocurrencia

Ocurrencia	Criterio	Valor de O
Muy escasa	Defecto inexistente en el pasado	1
Escasa	Muy pocas fallas en el pasado	2 - 3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente	4 - 5
Frecuente	La falla se ha presentado con cierta frecuencia	6 - 7
Elevada	La falla se ha presentado muy frecuentemente en el pasado	8 - 9
Muy elevada	Es seguro que la falla se producirá	10

Por último la probabilidad de no detección indica la probabilidad de que la causa y/o modo de falla llegue al cliente, de acuerdo a la tabla 3.3

Tabla 3.3: Cuadro de clasificación según la probabilidad de no detección

No detectado	Criterio	Valor de D
Muy escasa	El defecto es obvio y fácilmente detectado por los controles existentes	1
Escasa	El defecto raramente podría escapar a algún control secundario	2 - 3
Moderada	El defecto es una característica de fácil detección	4 - 5
Frecuente	El defecto es de difícil detección; con frecuencia llega al cliente	6 - 7
Elevada	El defecto es improbable de detectar	8 - 9
Muy elevada	El defecto puede ser muy difícil detectar con mucha probabilidad llegará al cliente.	10

Cabe mencionar que anteriormente se comentó sobre la importancia de utilizar el análisis de modo y efecto de falla como el medio para la obtención de un número que le permita categorizarlo en una escala, dicho número viene dado por calcular el NPR con el fin de priorizar la causa potencial de la falla y tomar acciones correctivas. Se obtiene de la siguiente forma:

$$\text{NPR} = S * O * D$$

Es aquí donde la utilidad de la herramienta se hace presente y se puede emitir resultados en el proceso de gestión de riesgos, prosiguiendo con acciones correctivas y de nueva cuenta se evalúan las actividades.

3.2 LÓGICA DIFUSA

De acuerdo con Pérez y B. (2007): «la lógica difusa, provee una herramienta para preservar el concepto de vaguedad en vez de eliminarlo mediante la imposición arbitraria de sentencias ciertas o falsas provenientes de la lógica bivalente».

Esta misma, busca romper paradigmas establecidos donde se requiere un razonamiento natural, tratando de crear aproximaciones matemáticas que coadyuven a la solución de ciertos tipos de problemas, obteniendo resultados precisos a partir de datos imprecisos.

3.2.1 ORIGEN DE LÓGICA DIFUSA

El origen de Lógica difusa se remonta a los esfuerzos de Aristóteles y de los filósofos griegos que lo precedieron, debido a que establecían una teoría de lógica y más tarde las matemáticas propusieron las leyes del pensamiento. Después precedió Platón quien puso las bases de lo que se conocería como lógica difusa, indicando que había una tercera región más allá de verdadero y falso, donde estos extremos se unían. Así continuaron otros estudiosos como Hegel, Marx, Egel y Likasiewicz quien propuso una alternativa sistemática a la lógica bivalente de Aristóteles (Pérez y B., 2007).

La lógica difusa, se remonta a sus orígenes hace unos 2500 años atrás, puesto que los filósofos griegos ya trabajaban con la idea de que existían distintos grados de veracidad y de falsedad.

Durán y T. (2010) comentan que Zadeh era un ingeniero en la Universidad de Berkeley, California, el cual denominó a esta lógica borrosa como principio de incompatibilidad, describiéndolo como: «conforme la complejidad de un sistema aumenta, nuestra capacidad para ser precisos y construir instrucciones sobre su comporta-

miento disminuye hasta el umbral más allá del cual, la precisión y el significado son características excluyentes».

3.2.2 ¿QUÉ ES LÓGICA DIFUSA?

En las aportaciones de (Díaz *et al.*, 2014) así como (Díaz *et al.*, 2002) se concuerda que la lógica difusa como un formalismo matemático, que pretende emular la habilidad que tienen algunas personas para tomar decisiones correctas a partir de datos vagos e imprecisos y que están expresados lingüísticamente. Además, de permitir tratar información imprecisa, en términos de conjuntos difusos que se combinan en reglas para definir acciones.

La lógica difusa es una técnica de la inteligencia computacional que permite trabajar con información con alto grado de imprecisión, en esto se diferencia de la lógica convencional que trabaja con información bien definida y precisa (D’Negri y De Vito, 2006).

Por lo tanto, la lógica difusa o lógica borrosa utiliza expresiones inciertas o imprecisas. Es de suma importancia determinar que lo difuso, impreciso, borroso o hasta cierto punto vago no puede considerarse como lógica, debido que el objeto de estudio debe expresar la falta de definición a lo que se estudia.

3.2.3 CONJUNTOS DIFUSOS Y FUNCIÓN DE PERTENENCIA

Supo (2003) menciona que: «el objetivo de la lógica difusa es ofrecer los fundamentos para efectuar el raciocinio aproximado con proposiciones imprecisas, usando la teoría de conjuntos como herramienta principal».

Para comprender de la mejor manera el desarrollo de esta herramienta tan ambiciosa que busca encontrar respuestas donde no hay un precedente exacto, es

necesario conocer los elementos que la conforman. Retomando las aportaciones de Díaz *et al.* (2014): «se denomina a la lógica difusa como un formalismo matemático que pretende emular la habilidad que se tiene para tomar decisiones correctas al manejar la información», siendo:

- Conjuntos difusos: contempla la pertinencia parcial de un elemento a un conjunto, es decir, cada elemento presenta un grado de pertenencia a un conjunto difuso que puede tomar cualquier valor entre 0 y 1.

$A: X [0,1] \rightarrow$ Cuanto más cerca esté $A(x)$ del valor 1, mayor será la pertenencia del objeto x al conjunto A .

- Función de pertenencia: depende del criterio aplicado en la resolución de cada problema y varían según el punto de vista del usuario. La única condición que debe cumplir es que tome valores entre 0 y 1, con continuidad.

Según Arredondo (2014): «en la función de pertenencia o membresía es el valor asignado por $\mu F(x)$ corresponde al grado en el cual el valor x tiene el atributo F . Visto de otra manera la función $\mu F(x)$ nos indica cual es el grado de pertenencia de x atributo F ». De modo que a través de un set difuso pueda representarse en la figura 3.1:

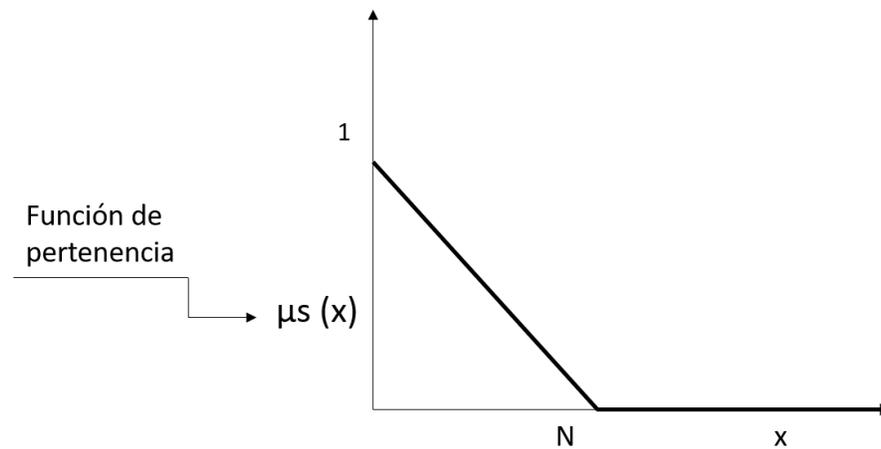


Figura 3.1: Función de Pertenencia

Subconjunto $\{S \subset X : 0 \leq S \leq N\}$ Intervalo de valores entre cero y uno (inclusive) $\mu_s : X \rightarrow [0,1], 0 \leq \mu_s(x) \leq 1$ $\mu_s(x) = 0$ si x es 0% miembro de $S, \dots \mu_s(x) = 0.10$ si x es 10% miembro de $S, \dots, \mu_s(x) = 0.20$ si x es 20% miembro de $S, \dots \mu_s(x) = 0.10$ si x es 100% miembro de S .

De acuerdo con Andrade (2006): «para cualquier función de pertenencia es recomendable el uso de funciones simples, debido a que se busca simplificar los cálculos y no perder la exactitud, para ello existen diferentes funciones de pertenencia, entre las más comunes se encuentran»:

- Función Triangular

Definido por sus límites inferior (a) y superior (b) y el valor modal (m), de modo que $a \leq m \leq b$, como se muestra en la figura 3.2

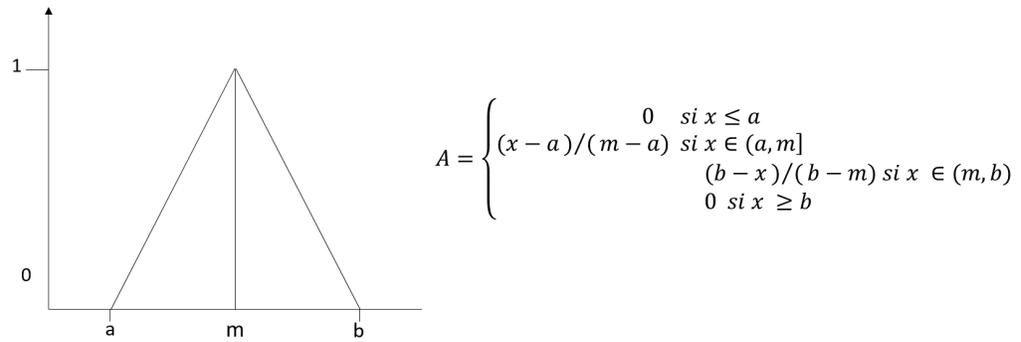


Figura 3.2: Función Triangular

- Función Trapezoidal

Definida por sus límites inferior (a) y superior (d) y los límites de su soporte, b y c, inferior y superior respectivamente, como se muestra en la figura 3.3

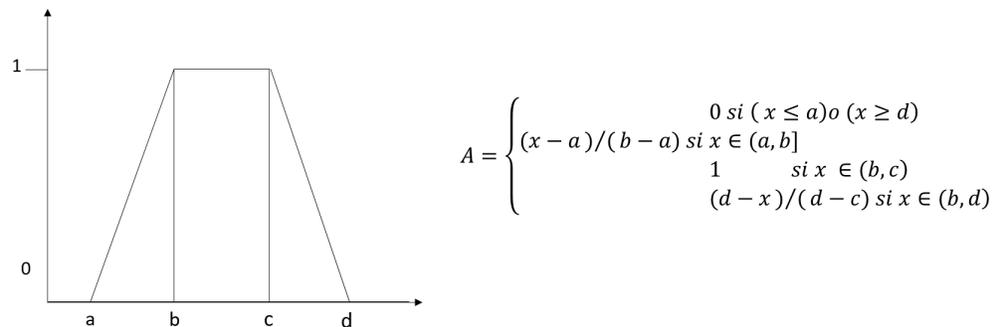


Figura 3.3: Función Trapezoidal

- Función S

Definida por sus límites inferior (a) y superior (b), y el valor m o punto de inflexión, tal que $a \leq m \leq b$. No obstante, el crecimiento es más lento cuando mayor sea la distancia $a - b$. Tal como se muestra en la figura 3.4

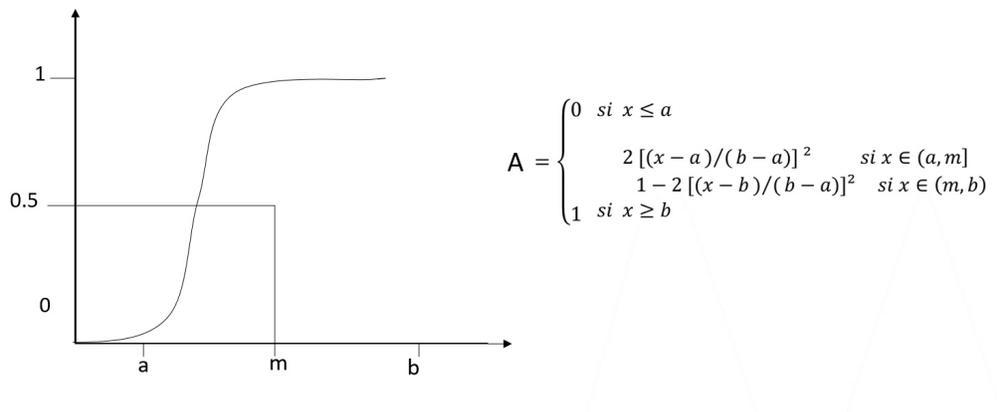


Figura 3.4: Función S

- Función Gaussiana

Definida por su valor medio m y el valor $k \geq 0$. Cuanto mayor el k , más estrecha es la campana. Como se muestra en la figura 3.5

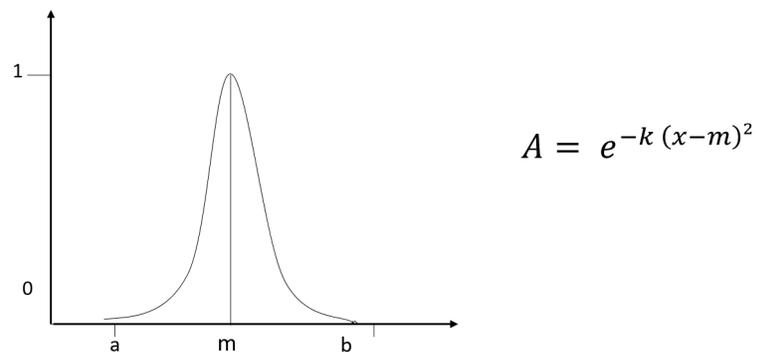


Figura 3.5: Función Gaussiana

- Función Gama

Definida por su límite inferior (a) y el valor $k \geq 0$. De acuerdo con la figura 3.6

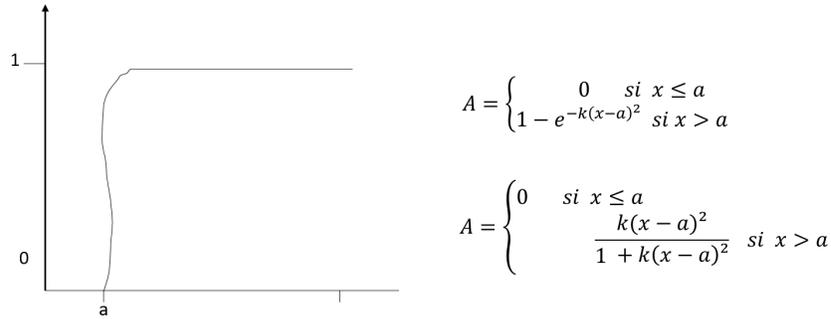


Figura 3.6: Función Gama

3.2.4 REGLAS EN OPERACIONES DE CONJUNTOS DIFUSOS

Retomando las aportaciones mencionadas en (Díaz *et al.*, 2014) y (Andrade, 2006) las operaciones con conjuntos difusos son:

- Unión: $A \cup B \Rightarrow \mu_{A \cup B}(x) \equiv \max[\mu_A(x), \mu_B(x)]$
- Intersección: $A \cap B \Rightarrow \mu_{A \cap B}(x) \equiv \min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$
- Complemento: $\bar{A} \Rightarrow \mu_{\bar{A}} \equiv 1 - \mu_A(x)$

Por lo tanto, las funciones que definen la unión y la intersección de conjuntos difusos pueden generalizarse, en el cumplimiento de restricciones. Al cumplir dicha condición se puede obtener un Conorma Triangular (T-Conorma) y Norma Triangular (T-Norma). Cabe mencionar que en la mayoría de las aplicaciones de la lógica

difusa se usan como T-Conorma siendo el operador máximo y como operador mínimo T-Norma.

Desde luego, en cuestiones de lógica difusa donde se implica un razonamiento mayor por la información y aspecto a considerar, es necesario determinar reglas que permitan comprender los valores dados. Para ello autores como (Cedillo *et al.*, 2013) y (Pérez, 2011) mencionan un concepto importante en lógica difusa es «si entonces», donde la parte *si* de la regla se llama antecedente y la parte «después» de la regla se llama consecuente, definiéndose como:

- $\mu (A \text{ y } B) \equiv \min (\mu A \mu B)$
- $\mu (A \text{ o } B) \equiv \text{máx} (\mu A \mu B)$
- $\mu (\text{Not } A) \equiv 1 - \mu A$

Cabe mencionar, que es de gran ayuda establecer el conocimiento en el razonamiento utilizando variables lingüísticas, una variable lingüística es aquella cuyos valores son palabras o sentencias en un lenguaje natural o artificial. De esta forma una variable lingüística sirve para representar cualquier elemento que sea demasiado complejo, o del cual no se tenga una definición concreta (González, 2011).

3.2.4.1 VARIABLES LINGÜÍSTICAS

Una variable lingüística está caracterizada por una quintupla $(X, T(X), U, G, M)$ donde:

- X es el nombre de la variable
- $T(x)$ es el conjunto de términos de X; es decir, la colección de sus valores lingüísticos (o etiquetas lingüísticas)
- U es el universo del discurso (o dominio subyacente)

- G es una gramática libre de contexto mediante la que se generan los términos $T(X)$ como podrían ser «muy alto», «no muy bajo» etc.
- M es una regla semántica que asocia a cada valor lingüístico de X su significado $M(X)$ ($M(x)$ denota un subconjunto difuso en U)

Los símbolos terminales de las gramáticas incluyen:

- A. Términos primarios: «bajo», «alto» etc.
- B. Modificadores: «muy», «más», «menos», «cerca de» etc.
- C. Conectores lógicos: normalmente NOT, AND y OR

Se definen los conjuntos difusos de los términos primarios y, a partir de estos se calculan los conjuntos difusos de los términos compuestos.

La evaluación de las reglas de operación determina el nivel de activación de las salidas a partir del valor de verdad de las premisas de cada una de las reglas.

3.2.5 PROCESOS DE FUSIFICACIÓN

De acuerdo con Maza (2009): «a través del control difuso se puede resolver una variedad de complejas aplicaciones sobre el control, proponiendo un método para construir controles no lineales mediante información heurística». Tal como se muestra en la figura 3.7.

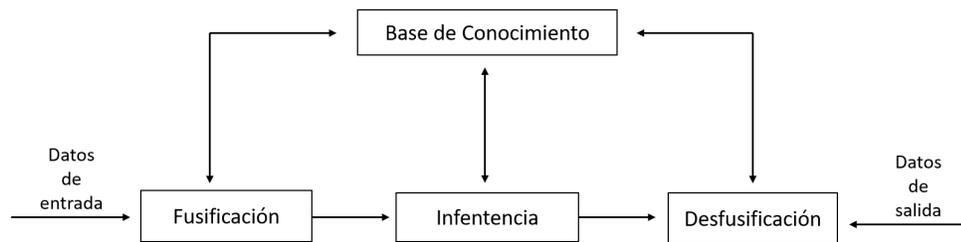


Figura 3.7: Proceso de fusificación

La base de conocimiento contiene la información asociada con el dominio de la aplicación y los objetivos del control. Reuniendo las reglas lingüísticas de control, para la toma de decisiones, que será la forma que adopte el sistema y su forma de actuar.

Para comenzar es necesario que el proceso de fusificación tenga como objetivo convertir los valores reales en valores difusos, asignando grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos que con anterioridad fueron definidos utilizando las funciones de pertenencia.

Siguiendo con el proceso, la inferencia genera un mapeo para asignar a una entrada y una salida utilizando lógica difusa. Este proceso de inferencia provee las bases para la toma de decisiones que el sistema proveerá, involucrando funciones de pertenencia y reglas generadas en la base del conocimiento.

3.2.6 TIPOS DE INFERENCIA

La inferencia difusa puede definirse como el proceso de obtener un valor de salida para un valor de entrada empleando la teoría de conjuntos difusos. Los dos tipos de inferencia más comunes son: el modelo de Mamdani y el de TSK (Takagi,

Sugeno y Kang) (González, 2011).

3.2.7 INFERENCIA SUGENO

Maguiña (2010) comenta que en lugar de trabajar con una salida borrosa, Takagi, Sugeno y Kang propusieron un nuevo modelo basado en reglas donde el antecedente está compuesto de variables lingüísticas y el consecuente se representa como una función lineal de las variables de entrada.

1. Cálculo de la parte SI de las reglas: el cálculo del lado izquierdo de las reglas borrosas en estos sistemas es el mismo que en los sistemas Mamdani; al aplicar el operador de implicación escogido se obtiene un grado de pertenencia o activación a_j para cada una de las reglas disparadas.
2. Cálculo de la parte ENTONCES de las reglas: en el lado derecho de estas reglas se obtiene el respectivo valor de salida mediante la combinación lineal de las entradas:

$$v_j = f(u_1, u_2 \dots u_n)$$

Donde el subíndice en la variable de salida v_j se refiere al número de la regla disparada. En la figura 3.8 se muestra la configuración básica de un sistema tipo Sugeno.

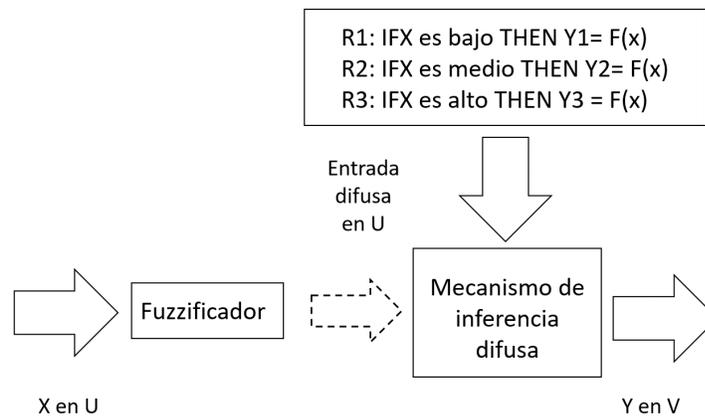


Figura 3.8: Sistema Sugeno

3. Salida en sistemas Sugeno: la salida de un sistema borroso TSK que usa una base de conocimiento con M reglas se obtiene como la media ponderada de las salidas individuales v_j ($i = 1, \dots, M$) proporcionadas por las reglas disparadas, como sigue:

En esta expresión $v_j = f_j(u_1, u_2, \dots, u_n)$ es la salida de cada regla borrosa disparada, y α_j es el nivel de activación o disparo que resulta de la inferencia para cada una de ellas.

$$\frac{\sum \alpha_j * f_j(u_1, u_2, \dots, u_n)}{\sum w_j}$$

3.3 AMEF DIFUSO

La metodología propuesta está conformada por dos herramientas, siendo el análisis de modo y efecto de falla el evaluador y la lógica difusa el determinante. El objetivo de utilizar ambas, es buscar un resultado mucho más confiable, que pueda

generar resultados factibles en el proceso de gestión de riesgos y principalmente determinar el nivel de seguridad que presenta el caso de estudio como parte del eslabón de la cadena de suministro.

La investigación tiene como base los estudios previos realizados por Reyes *et al.* (2012) quienes sustentan la propuesta argumentando que el propósito principal al aplicar esta herramienta es asegurar que todos los modos de falla potenciales sean considerados y se tomen las disposiciones adecuadas para eliminarlos.

Comprobar una metodología teórica en un caso práctico y real, que requiere complementar la información de seguridad interna en el proceso de manufactura, resulta un reto interesante, debido a que las empresas actualmente buscan soluciones concretas y útiles.

Algunas aportaciones concuerdan en que ambas herramientas logran una sinergia factible para reducir la incertidumbre. El AMEF, se utiliza ampliamente para en el análisis de riesgos para evaluar diversos procesos de negocio, complementandose con el algoritmo difuso propuesto, permite a los expertos utilizar variables lingüísticas para determinar los factores de gravedad, ocurrencia y detección (Haq *et al.*, 2015).

La investigación pretenden indagar en la factibilidad de complementar una herramienta cotidiana y poco certera con un método cuantitativo como un catalizador de resultados efectivos.

En investigaciones realizadas por (Emad y Fatemeh, 2015) se confirma que la aplicación de la metodología propuesta es viable, con base en su aportación de un estudio utilizando AMEF Difuso aplicado en la administración de riesgos, determinando la integración del método cualitativo de evaluación del riesgo, en conjunto la lógica difusa, debido a que aportó un método preciso que proporciona una solución para la debilidad, ante la comparación de los métodos anteriores.

Utilizar lógica difusa para resolver problemas en los que las descripciones de

parámetros son subjetivas, vagas e imprecisas; por lo cual se consideró una herramienta que manipule los términos lingüísticos utilizados para la gravedad, ocurrencia y detección, con la finalidad de evaluar los riesgos asociados a cada modo de fallo (Despina *et al.*, 2011).

Motivo por el cual se podría entender la metodología propuesta en los siguientes pasos:

1. Evaluar la situación de las situaciones vulnerables en el proceso de manufactura.
2. Analizar los riesgos encontrados.
3. Aplicar la herramienta AMEF para la obtención del NPR.
4. Utilizar el programa MatLab.
5. Establecer el proceso de fusificación.
6. Seleccionar el método sugeno.
7. Cotejar los resultados.
8. Determinar el nivel de seguridad de la empresa.

Aliakbar y Farzaneh (2013) comenta que: «Las ventajas de utilizar el método de priorización con lógica difusa se pueden reformular como: la posibilidad de obtener la similitud en los resultados reduciéndose considerablemente. Los resultados obtenidos en este método, son mucho más precisos y prácticos para su uso en la toma de decisiones y finalmente el mencionado sistema permite evaluar las situaciones correctamente».

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al haber desarrollado las herramientas propuestas, se han obtenido resultados, que en primera instancia arrojan la evaluación y análisis de las situaciones consideradas «riesgo» a través de las cuatro zonas, establecidas en el proceso de recubrimiento industrial de tubería.

Se inició con el análisis de modo y efecto de falla, para determinar el enfoque cualitativo y la obtención de información relevante que será complementaria para la utilización de las reglas difusas de la siguiente herramienta.

4.1 AMEF

En las siguientes tablas se presentan los resultados de acuerdo al proceso y los criterios que se analizaron, los cuales son:

- Número: es el código asignado para el proceso realizado.
- Proceso: conjunto de operaciones realizadas.
- Modo potencial de falla: expone la manera en que puede llegar a presentarse una falla.

- Efecto potencial de falla: estima el impacto que puede llegar a ocasionar el modo de fallo en el proceso.
- S (Severidad): número asignado de acuerdo nivel de severidad que se presente.
- Causa potencial de fallo: explica el posible origen que haya provocado el modo de fallo.
- O (Ocurrencia): número asignado de acuerdo al nivel de frecuencia presentado.
- Controles actuales: contempla las medidas que se toman, para prevenir un impacto mayor en el proceso.
- D (Detección): número asignado con respecto al nivel de detección.
- NPR: nivel de priorización de riesgo.

4.1.1 BANCAL DE ENTRADA

Se compone de la recepción del tubo, limpieza, aplicación de granalla y ácido para texturizarlo y prepararlo para la primer inspección. En especial la tabla 4.1 presenta dos procesos, donde se realiza el análisis del AMEF. Los riesgos encontrados se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 4.1: Riesgos en Bancal de Entrada (1)

AMEF		
Número	002	020
Proceso	Recibo de tubería.	Bancal de entrada cargado de tubería.
Modo Potencial de Falla	Recibir tubería con identificación incorrecta o ilegible.	Tubería, dañada (golpes, daño en el bisel, etc.)
Efecto Potencial de Falla	Defectos en la identificación de tubería	Rechazo de tubería por daños
S	10	3
Causa Potencial de Falla	No inspección visual al recibir la tubería	Dañada en el proceso de fabricación / transporte o almacenaje
O	3	3
Controles Actuales	Inspección visual en bancal de entrada	Inspección visual en la entrada del bancal de entrada
D	3	8
NPR	90	72

En la tabla 4.2 se analiza un solo proceso así como el modo potencial de falla, sin embargo éste conlleva a dos efectos de falla, por lo cual es necesario mencionarlos.

Tabla 4.2: Riesgos en Bancal de Entrada (2)

AMEF		
Número	020	
Proceso	Bancal de entrada cargado de tubería	
Modo Potencial de Falla	Transporte de tubo inadecuado en conveyor	
Efecto Potencial de Falla	Paro de planta	Tubería sale de conveyor
S	10	6
Causa Potencial de Falla	Fallas mecánicas	Velocidad incorrecta del conveyor
O	3	6
Controles Actuales	Realización de Mantenimiento Preventivo	Monitoreo de velocidad con cronómetro
D	3	3
NPR	90	108

Algunos de los procesos como se muestran en la tabla 4.3 solo tiene un modo de falla, pero dos causas diferentes del fallo, es por ello que se le asignan dos diferentes ponderaciones, puesto que al haberlos analizado de manera técnica así como la observación realizada al momento de la evaluación, se encontraron dos aspectos a considerar.

Tabla 4.3: Riesgos en Bancal de Entrada (3)

AMEF		
Número	020	
Proceso	Bancal de entrada instalación de coples	
Modo Potencial de Falla	Instalación de coples inadecuada	
Efecto Potencial de Falla	Caída de cople	
S	8	8
Causa Potencial de Falla	Cople dañado	Mal ajuste de cople
O	4	2
Controles Actuales	Inspección visual y mecánica de los coples antes de su utilización	Capacitación del operador para la actividad y evaluación por parte del supervisor
D	3	6
NPR	96	96

En la tabla 4.4 se analizaron dos procesos, de acuerdo al AMEF. Es importante mencionar que los procesos que no requieren un análisis a profundidad es porque se encuentran detallados y no presentan algún otro tipo de modo, efecto o causas adicionales.

Tabla 4.4: Riesgos en Bancal de Entrada (4)

AMEF		
Número	040	050
Proceso	Granallado.	Tratamiento de ácido (Limpieza)
Modo Potencial de Falla	Incorrecto granallado del tubo	Manchas en el tubo
Efecto Potencial de Falla	Grado de limpieza incorrecto	Rechazo del tubo
S	8	8
Causa Potencial de Falla	Mal ajuste del granallado	Concentración incorrecta del ácido
O	1	3
Controles Actuales	Mantenimiento de rutina (Autónomo) por producción.	Procedimiento Local
D	6	3
NPR	48	72

Para el caso de la tabla 4.5 se analiza un proceso pero con dos diferentes efectos, lo cual requiere más de una ponderación y la aplicación de la evaluación en su desarrollo.

Tabla 4.5: Riesgos en Bancal de Entrada (5)

AMEF		
Número	160	
Proceso	Cepillado	
Modo Potencial de Falla	Contaminación del tubo con el material residual del cepillado	
Efecto Potencial de Falla	Retrabajo	Defecto visual sobre el recubrimiento (Rechazo)
S	6	10
Causa Potencial de Falla	Ajuste inadecuado de manga protectora	Mal ajuste de guarda
O	4	1
Controles Actuales	Inspección visual y mantenimiento de rutina	
D	4	10
NPR	96	10

4.1.2 BANCAL MEDIO

En aquí donde después de haber realizado la limpieza del tubo, es posible determinar si cumple con las propiedades y la textura para ser recubierto, en caso contrario, puede ser rechazado y el proceso es interrumpido. Los riesgos encontrados se presentan en la tabla:

En la tabla 4.6 existe un proceso a evaluar, aunque persisten dos modos de

fallo que necesitan especificar el análisis tal como se muestra en la tabla.

Tabla 4.6: Riesgos en Bancal medio

AMEF		
Número	060	
Proceso	Inspección en bancal medio	
Modo Potencial de Falla	Tubería excede el tiempo de permanencia en mesa de inspección.	Transporte del tubo inadecuado (Conveyor)
Efecto Potencial de Falla	Rechazo de tubería	Daño en la superficie del tubo presentando defectos en el recubrimiento
S	10	6
Causa Potencial de Falla	Condiciones ambientales (temperatura y humedad)	Velocidad incorrecta del conveyor
O	2	1
Controles Actuales	Monitoreo de temperatura y humedad.	Monitoreo de velocidad
D	1	3
NPR	20	18

4.1.3 LÍNEA DE RECUBRIMIENTO

La parte importante y mayor precisión, es el recubrimiento; debido a que si las fallas en su elaboración persisten, solo pueden ser observadas en bancal final y el tubo podría ser rechazado, lo cual invalidaría todo el proceso. Evidentemente esta zona en el proceso, requiere un menor número de operadores que interactúen con el producto, pero mayor capacitación al momento de operar de forma «hombre -

máquina». Los riesgos encontrados se presentan en las siguientes tablas:

En la tabla 4.7 los dos procesos analizados obtuvieron especificaciones detalladas y se continuo con el análisis de acuerdo a la metodología.

Tabla 4.7: Riesgos en Línea de recubrimiento (1)

AMEF		
Número	001	030
Proceso	Recubrimiento multicapa	Horno precalentador, y preparación de superficie
Modo Potencial de Falla	Conocimiento insuficiente de todo el personal	Tubo fuera de especificación de temperatura
Efecto Potencial de Falla	Incremento de tiempos muertos, incidentes de seguridad, fallas/defectos.	Manchado de tubería
S	10	8
Causa Potencial de Falla	Capacitación inadecuada	Falla en el funcionamiento eléctrico del Horno
O	2	5
Controles Actuales	Desarrollo de multihabilidades Actividades internas	Mantenimiento preventivo
D	3	3
NPR	60	120

La tabla 4.8 muestra el análisis de proceso y los dos diferentes efecto de falla que presentan, continuando con su análisis y asignación de ponderaciones.

Tabla 4.8: Riesgos en Línea de recubrimiento (2)

AMEF		
Número	070	
Proceso	Calentamiento/Línea de recubrimiento/ Túnel, de enfriamiento (conveyor)	
Modo Potencial de Falla	Ajuste inapropiado de temperatura, de acuerdo a parámetros	
Efecto Potencial de Falla	Rechazo de tubería	Interrupción en el proceso de recubrimiento
S	10	8
Causa Potencial de Falla	Personal no capacitado	Termómetro no calibrado
O	2	1
Controles Actuales	Entrenamiento interno	Calibración periódica por parte del departamento de Control de Calidad
D	3	1
NPR	60	6

La tabla 4.9 analiza un proceso y su relación con dos modos de fallo que presenta, debido a ello además de la ponderación se evalúan sus causas y demás aspectos.

Tabla 4.9: Riesgos en Línea de recubrimiento (3)

AMEF		
Número	070	
Proceso	Calentamiento/Línea de recubrimiento/ Túnel, de enfriamiento (conveyor)	
Modo Potencial de Falla	Caída de cople	Contaminación externa del tubo
Efecto Potencial de Falla	Paro de línea y posible rechazo de la tubería recubierta	Rechazo de tubería
S	10	8
Causa Potencial de Falla	Cople dañado, ajuste inapropiado o fuera de especificación	Mala limpieza de cople y tubo
O	2	5
Controles Actuales	Re-diseño de coples, mantenimiento de coples antes y durante la producción	Entrenamiento al personal, en colocación y retiro de cinta
D	3	3
NPR	60	120

Los dos procesos presentados en la tabla 4.10 son específicos y no requieren mayor detalle en el análisis.

Tabla 4.10: Riesgos en Línea de recubrimiento (4)

AMEF		
Número	090	100
Proceso	Aplicación de FBE.	Aplicación de Adhesivo en polvo para tricapa.
Modo Potencial de Falla	FBE defectuoso (poroso, grumos, protuberancias)	Presencia de humedad en el adhesivo
Efecto Potencial de Falla	Rechazo de tubería	Rechazo de tubería
S	10	10
Causa Potencial de Falla	Temperatura elevada del tubo	Almacenamiento inadecuado (Condiciones ambientales) y/o traslado inadecuado
O	4	2
Controles Actuales	Monitoreo permanente por parte de operadores, con equipo de calibrado y termómetro	En las pruebas de adherencia el equipo de calidad, debe estar presente
D	1	2
NPR	40	40

La tabla 4.11 desarrolla el análisis de un proceso con sus dos diferentes modos de fallo, específicamente para detallar la información y obtener medidas más precisas al momento de evaluarlo.

Tabla 4.11: Riesgos en Línea de recubrimiento (5)

AMEF		
Número	120	
Proceso	Colocación/retiro,de cinta sobre cople	
Modo Potencial de Falla	Aplicación incorrecta de la cinta	Desplazamiento de cinta fuera de área de cutback
Efecto Potencial de Falla	Retrabajo por defecto en recubrimiento	Posible rechazo (cintazos) tubos en cuarentena
S	3	10
Causa Potencial de Falla	Operador nuevo, operación critica de habilidad	Baja temperatura en la tubería ocasionando tiempo prolongado en el gelado de la resina
O	2	3
Controles Actuales	Entrenamiento interno	Entrenamiento interno
D	9	4
NPR	54	120

En la tabla 4.12 solo se menciona y evalua un solo proceso, debido a que es concreto en sus modos, efectos y causas de fallo.

Tabla 4.12: Riesgos en Línea de recubrimiento (6)

AMEF	
Número	120
Proceso	Colocación/retiro,de cinta sobre cople
Modo Potencial de Falla	Retiro incorrecto de cinta
Efecto Potencial de Falla	Lesión del operador por uso de herramienta de corte
Severidad	8
Causa Potencial de Falla	Herramienta inadecuada, falta de práctica, descuido del operado
Ocurrencia	1
ControlesActuales	Concientización al personal sobre las medidas de seguridad
Detección	9
NPR	72

Mientras que en la tabla 4.12 en análisis comprende dos procesos concretamente.

Tabla 4.13: Riesgos en Línea de recubrimiento (7)

AMEF		
Número	120	130
Proceso	Colocación/retiro, de cinta sobre cople	Tunel de enfriamiento.
Modo Potencial de Falla	Retiro incorrecto de cinta.	Enfriamiento inadecuado de tubería con recubrimiento FBE
Efecto Potencial de Falla	Lesión del operador por uso de herramienta de corte	Tubería marcada por las llantas de conveyor
S	8	10
Causa Potencial de Falla	Herramienta inadecuada, falta de práctica, descuido del operado	Sistema de enfriamiento de las conchas,obstruido
O	1	3
Controles Actuales	Concientización al personal sobre las medidas de seguridad	Mantenimiento del sistema y depósito de agua para enfriamiento de llantas
D	9	4
NPR	72	120

4.1.4 BANCAL DE SALIDA

Por último en bancal de salida el tubo ha sido inspeccionado al ser recubierto y esta listo para ser embarcado. Los riesgos encontrados se presentan en las siguientes tablas:

En la tabla 4.14 se analiza un proceso que directamente tiene un efecto de falla

pero se relaciona de dos diferentes causas de falla, es por ello que la ponderación se observa en dos aspectos.

Tabla 4.14: Riesgos en Bancal de salida (1)

AMEF		
Número	160	
Proceso	Cepillado final	
Modo Potencial de Falla	Resíduos de recubrimiento	
Efecto Potencial de Falla	Retrabajo	
S	8	8
Causa Potencial de Falla	Descuido del operador	Mala capacitación
O	2	1
Controles Actuales	Capacitación al operador en actividades de pulido	
D	1	1
NPR	16	8

La tabla 4.15 especifica el análisis en dos de sus procesos sin la necesidad de contemplar detalles, debido a que su evaluación y diferentes aspectos son concretos en el proceso.

Tabla 4.15: Riesgos en Bancal de salida (2)

AMEF		
Número	170	190
Proceso	Bancal de salida colocación de tapas	Descarga de tubería para embarque
Modo Potencial de Falla	Tapas y /o no colocadas en tubería	No retirar tubo de bancal de salida
Efecto Potencial de Falla	Retrabajo	Paro de línea (acumulación de tubería)
S	6	10
Causa Potencial de Falla	Tapas y/o protectores, no disponibles, dañadas o fuera de dimensiones	Pettibone no disponible
O	4	1
Controles Actuales	Inspección visual y verificación del inventario	Supervisor avisa a embarques cuando no se haya movido la tubería
D	2	1
NPR	48	10

Al determinar las situaciones vulnerable y los modos de fallo presentados en las tablas anteriores, es posible concluir que los 17 procesos encontrados como riesgos operativos generan una relación con el NPR. Cabe destacar que en la utilización del AMEF, además de obtener severidad, ocurrencia y detección, se encuentra que todo NPR mayor a 100 es considerado un riesgo «alto». En la figura 4.1 se expresan los procesos y su NPR, tomando en cuenta que el límite es 100.

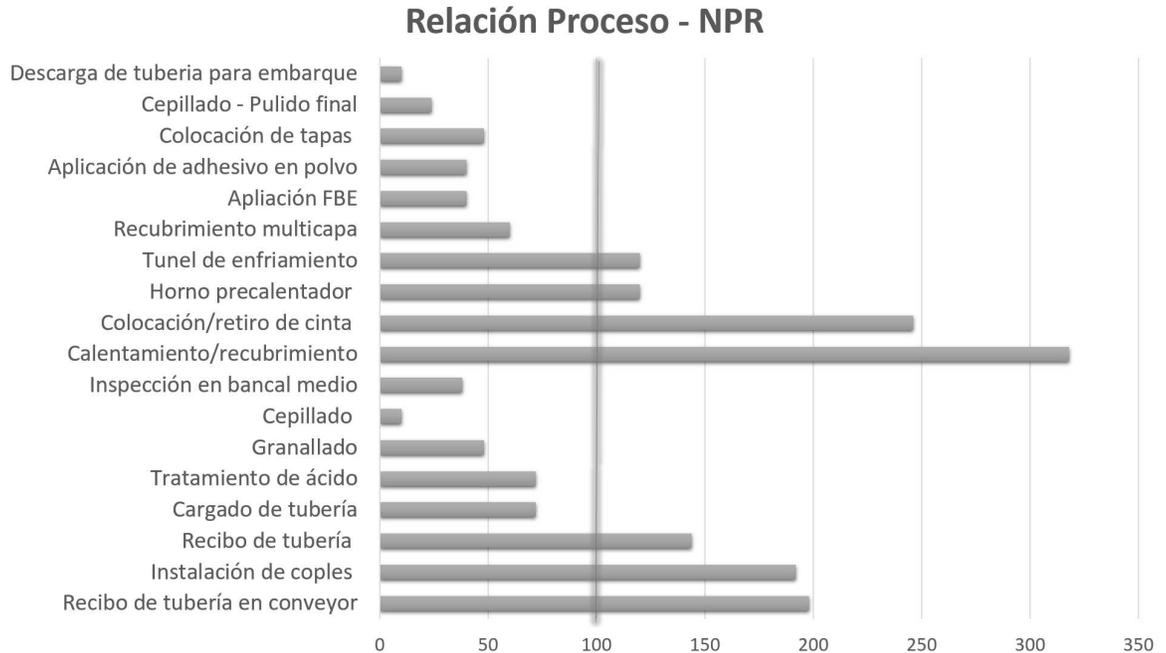


Figura 4.1: Relación Proceso - NRP

En el análisis de las cuatro zonas se obtiene la distribución de porcentajes en riesgos que incurre cada bancal, tal como la muestra la figura 4.2.

Es importante destacar que aunque el bancal de entrada y la línea de recubrimiento tengan un 39%, no significa que la interacción de «hombre - máquina» sea mayor; sino más bien, que la complejidad de las actividades en cada proceso que los conforma propicia una vulnerabilidad tanto al proceso como a la seguridad del factor humano.

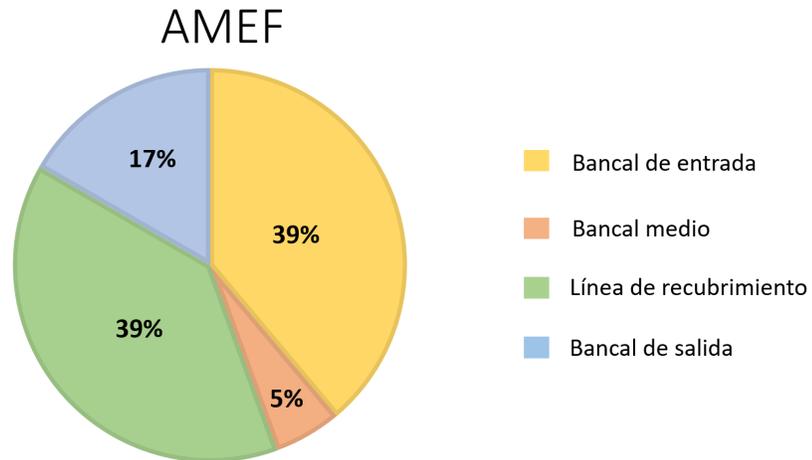


Figura 4.2: Porcentaje de riesgos en los bancales

El AMEF es importante para analizar cada proceso así como el riesgo que vulnerabiliza la línea de producción; sin embargo, brinda una ponderación parcial para obtener el NRP el cual asume la cantidad potencial de riesgo que contiene. Debido a esta situación la investigación requiere que esta herramienta funja como un catalizador de participación operativa que brinde información confiable y precedente para proseguir con la herramienta cuantitativa.

4.2 LÓGICA DIFUSA

Al obtener los datos relevantes, se continua con la utilización del software Matlab, el cual brinda la posibilidad de seleccionar entre los métodos Mandani o Sugeno. Como anteriormente se comentó, el método seleccionado ha sido Sugeno, debido a que no requiere un proceso de defusificación a raíz de las reglas de inferencia que fija y sirve como consecuente para la obtención de resultados.

4.2.1 PRIMER EXPERIMENTACIÓN

Se comenzó con una primer experimentación determinando los datos referidos en la figura 4.3. La importancia de realizar una primer experimentación es conocer como se comporta la herramienta con el universo y los términos seleccionados; el hecho de evaluar las reglas puede proveer la información relevante tanto para la mejora de la experimentación así como la calidad de la misma.

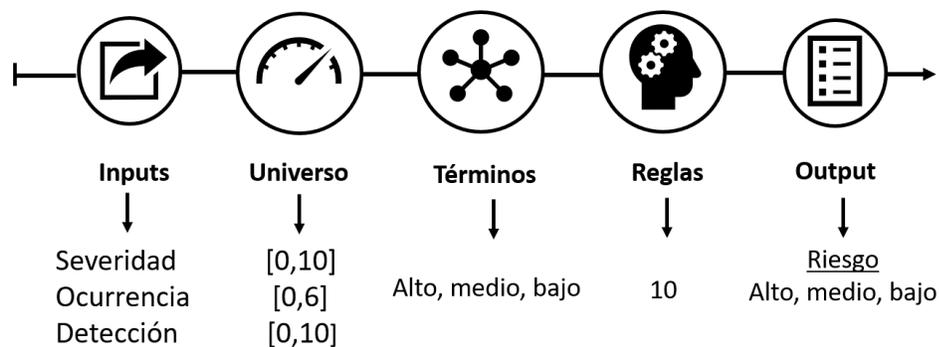


Figura 4.3: Ejemplo de primer experimentación

Al realizar la experimentación se obtiene un sesgo de información considerable, debido a que la categorización de riesgos en las escalas propuestas denotan una certeza muy baja; no es posible considerar un riesgo con NRP de 10 a comparación de un riesgo con NRP de 40. Probablemente los términos así como el número de reglas que abarcaban las posibilidades de riesgo, llegaron a ser determinantes en el sesgo de información, debido a esta situación se obtuvo un conocimiento sobre la herramienta y la terminología necesaria para obtener los resultados esperados.

Es importante destacar que esta experimentación brinda un nuevo enfoque al necesitar incluir más términos para la obtención de resultados confiables, así como el conocimiento de la relación «reglas de inferencia - términos».

4.2.2 SEGUNDA EXPERIMENTACIÓN

Continuando con la segunda experimentación agregando nuevos términos más enfocados determinar certeramente los niveles de riesgos encontrados en el AMEF en la figura 4.4 se muestra el proceso de realización de la experimentación donde se agregaron términos lingüísticos más precizos, siendo: Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo.

Lo relevante de realizar una segunda experimentación es analizar el comportamiento al incluir dos términos más, con lo cual se busca reducir el sesgo de información al poder ubicarla en rangos mucho más específicos que logren generar reglas de inferencia determinantes para obtener los resultados esperados.

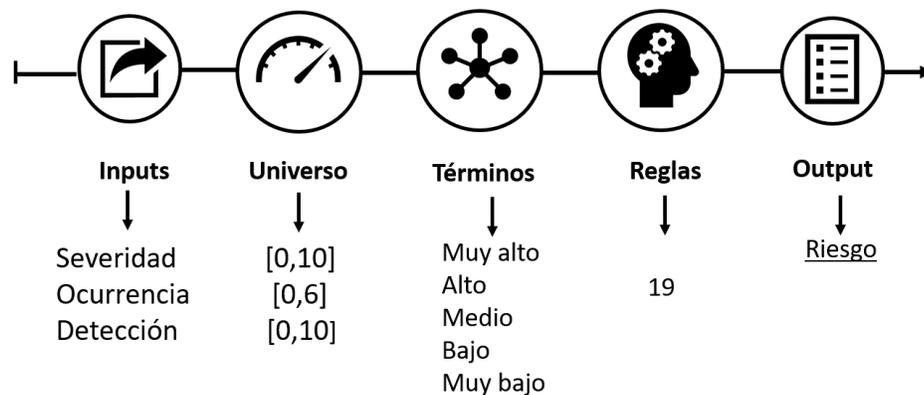


Figura 4.4: Ejemplo de segunda experimentación

La interfaz con que se inicia el proceso difuso es tal y como se muestra en la figura 4.5 Encontrando que en la parte de *inputs* están variables como severidad, ocurrencia y detección; así como el *output* que es el riesgo.

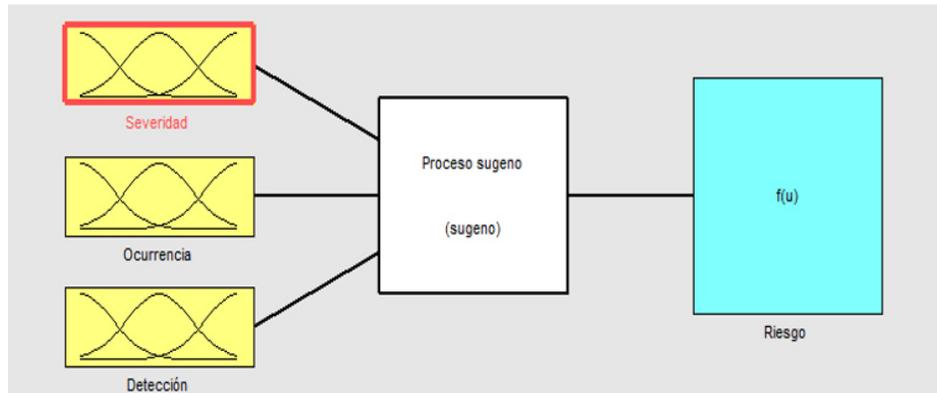


Figura 4.5: Proceso difuso inicial

Después proseguimos con la introducción de funciones de memebresía a cada uno de los *inputs*, iniciando con severidad los términos se muestran en la figura 4.6

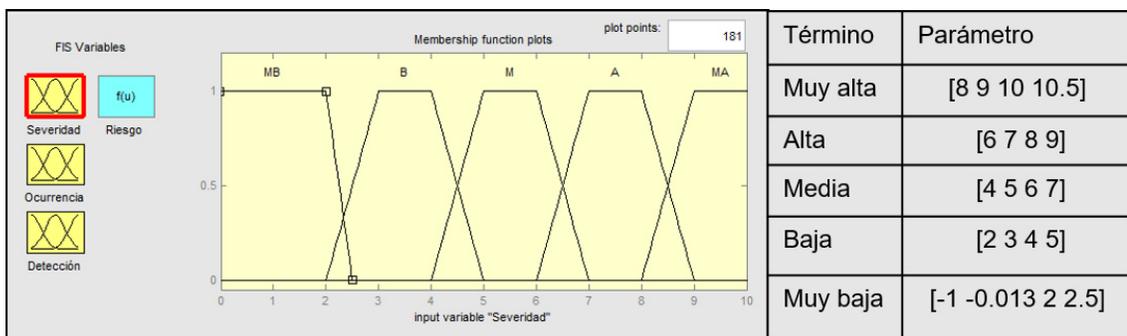


Figura 4.6: Funciones de memebresía con respecto a severidad

Los términos de ocurrencia, así como sus funciones de memebresía se encuentran en la figura 4.7

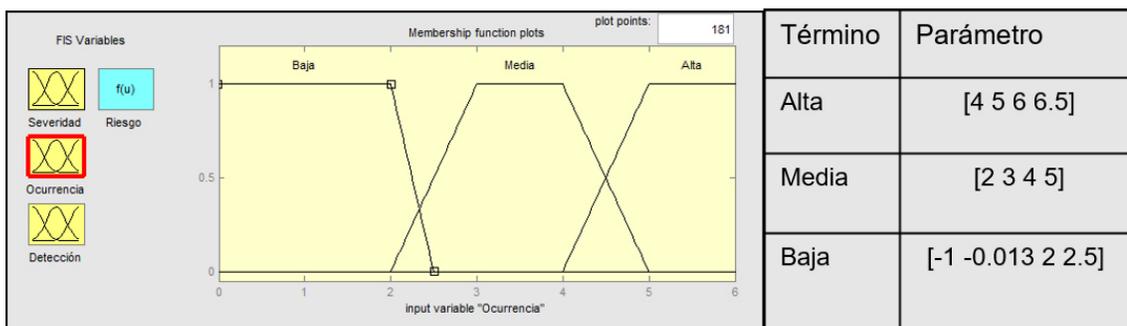


Figura 4.7: Funciones de memebresía con respecto a ocurrencia

Los términos con respecto a detección, así como sus funciones de membresía se encuentran en la figura 4.8

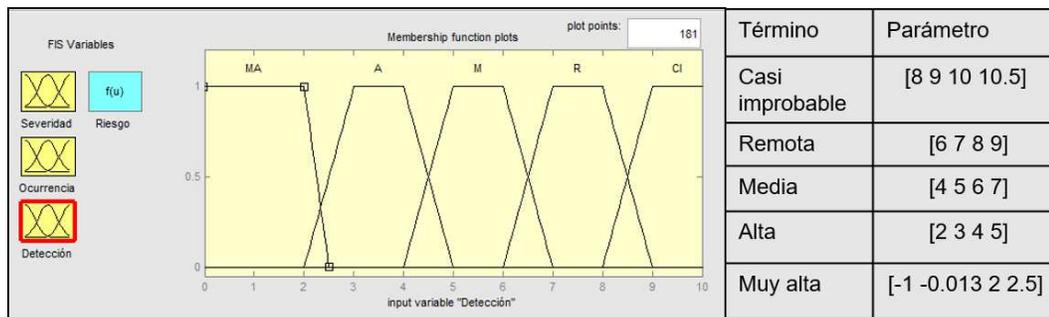


Figura 4.8: Funciones de membresía con respecto a detección

Al haber introducido los datos correctos con respecto a las tres variables de entrada, las cuales ayudaran a continuar con el proceso, es posible observar el comportamiento difuso que tienen los términos que han sido orientados a la búsqueda de los resultados para determinar la certeza de riesgo con respecto a los tres inputs con relación a las reglas de inferencia.

En Matlab se continua con la determinación de reglas, en el caso del experimento 2 se determinaron 19 reglas con respecto a los 17 procesos de riesgos encontrados en el AMEF, la relación existente entre los procesos y las reglas, se refiere a la ponderación de severidad, ocurrencia, detección y el NPR; no obstante solo 11 reglas cumplen directamente con el AMEF mientras que las 8 restantes se realizarán con base en observaciones y aportaciones de personal con experiencia en áreas de producción así como mejora continua.

En la figura 4.9 se muestra el resultado de las 19 reglas y su comportamiento con respecto a la medición de severidad, ocurrencia, detección y el output riesgo.

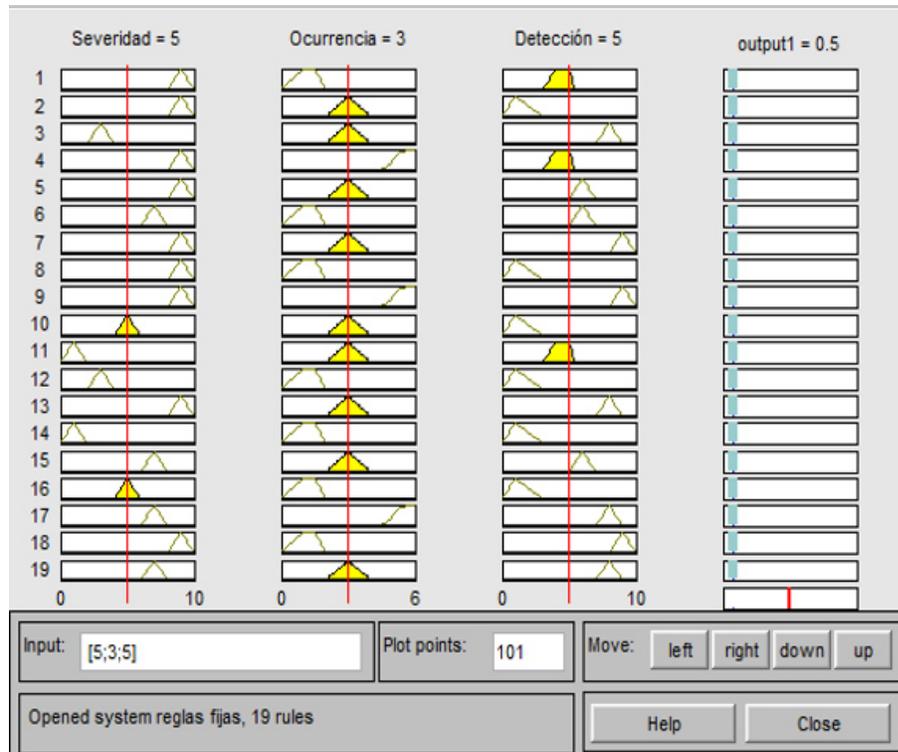


Figura 4.9: Resolución de reglas difusas en proceso sugeno

4.2.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Al haber concluido la utilización de Matlab, es necesario analizar los resultados encontrados, para lograr una interpretación mucho más clara y concisa. En el caso de la investigación se logró observar que los procesos de riesgo con respecto a las reglas de inferencia establecidas, se representan en la figura 4.10 describen el nivel de riesgo referente a la tabla «riesgo - valor», debido a que de los 17 procesos riesgosos, solo 4 llegan al nivel 10 siendo de categoría «muy alta».

Uno de los puntos importantes de la interacción de estos resultados, es que se pueda unificar la información de AMEF para complementarse con lógica difusa aportando un nivel de certeza considerable y orientar los esfuerzos o las acciones pertinentes para mitigar los procesos más vulnerables.

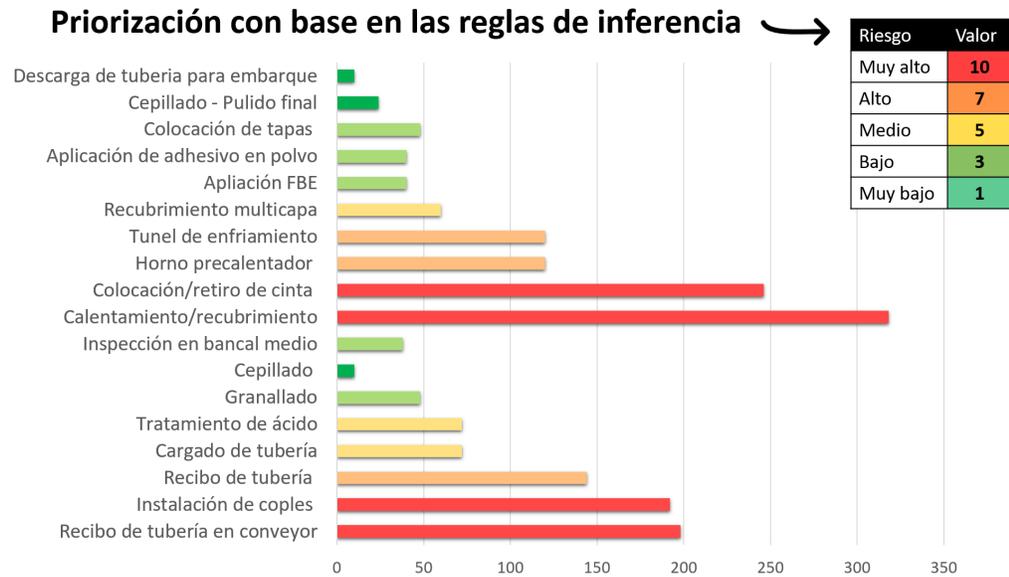


Figura 4.10: Priorización de riesgos con base en reglas de inferencia

El análisis certero con base en lógica difusa que la presente investigación propuso, determinó la medición en una escala [0, 1] en cuestión con los riesgos encontrados en los procesos de cada zona del proceso de manufactura.

En la figura 4.11 muestran los resultados obtenidos en el bancal de entrada.

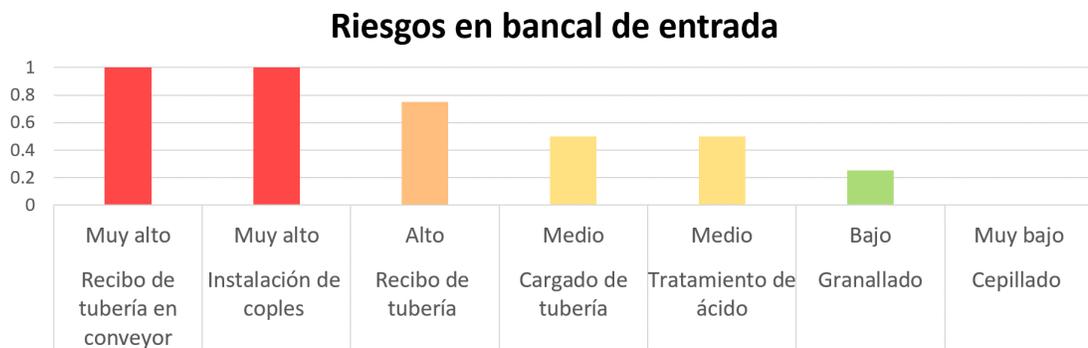


Figura 4.11: Medición difusa de riesgos en bancal de entrada

La figura 4.12 muestra los resultados obtenidos en el bancal medio.

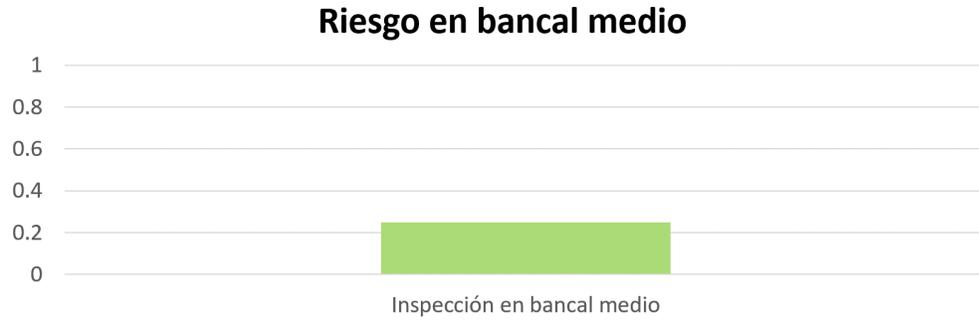


Figura 4.12: Medición difusa de riesgos en bancal medio

La figura 4.13 muestra los resultados obtenidos en la línea de recubrimiento.

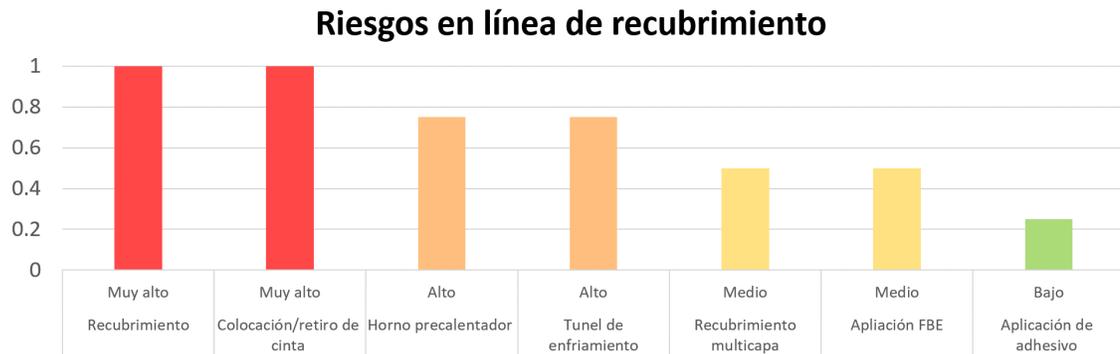


Figura 4.13: Medición difusa de riesgos en línea de recubrimiento

La figura 4.14 muestran los resultados obtenidos en el bancal de salida.

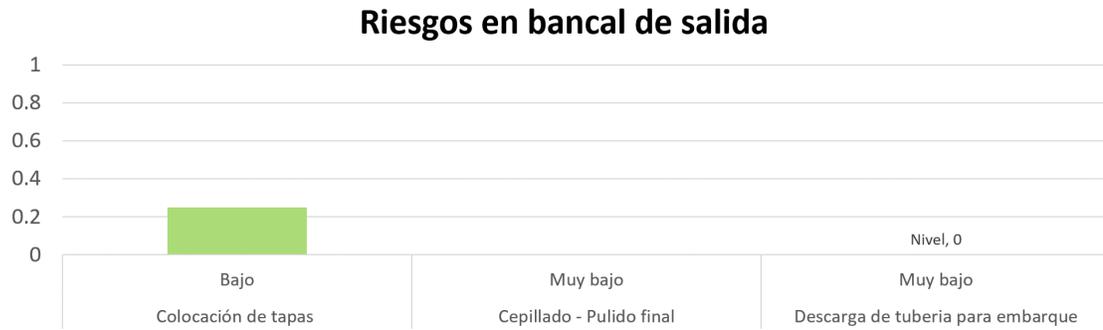


Figura 4.14: Medición difusa de riesgos en el bancal de salida

En la figura 4.15 se pueden observar los procesos de la línea de producción ordenados de acuerdo a su nivel de riesgo, destacando que 4 de ellos logran encontrarse en un nivel «muy alto». La información que se presenta además de coadyuvar en el proceso de gestión, prevé la orientación para destinar esfuerzos importantes en aquellos procesos más vulnerables tanto para el producto como para el factor humano.

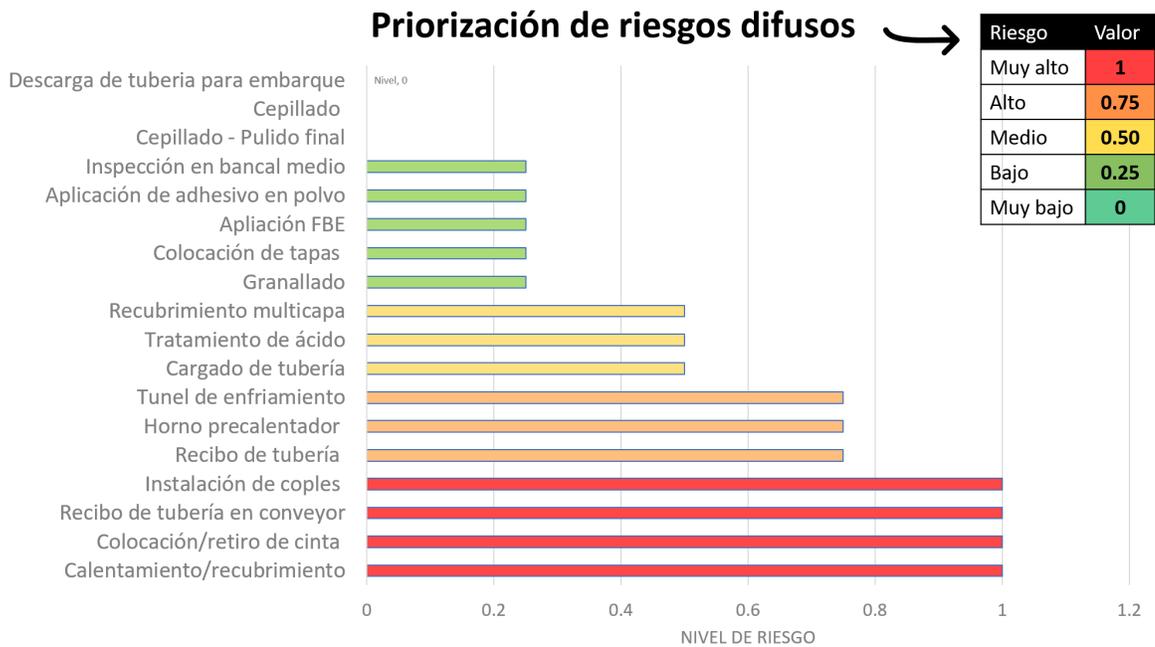


Figura 4.15: Priorización de riesgos con base en lógica difusa

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

En los últimos años las cadenas de suministro se han vuelto sumamente complejas debido al número de miembros que la conforman, es justo ese aspecto lo que requiere orientar investigaciones para salvaguardar la estabilidad operativa y permanecer funcionando de la mejor manera.

La presente investigación elaboró un análisis de riesgos operativos que afectan la seguridad en el proceso de manufactura de una empresa petroquímica, con el fin de priorizar los riesgos y a su vez determinar el nivel de seguridad con que cuenta la empresa, como parte de la cadena de suministro.

El estudio de la seguridad en un miembro de la cadena, logró proveer información de cada una de las actividades que conforman el proceso de recubrimiento, colaborando en el proceso de gestión de riesgos cumpliendo con las etapas de identificación y análisis; puesto que la empresa requería el conocimiento de la relación entre sus procesos operativos y la vulnerabilidad que afecta al producto así como al factor humano.

La metodología propuesta cumplió el objetivo de la investigación, debido a que generó información concreta en cada uno de los procesos que se efectúan en las zonas de limpieza, bancal medio, recubrimiento y bancal final que conforman la línea de producción; con esto el proceso de gestión puede ser completado con

una directriz enfocada a los riesgos con mayor impacto y con la necesidad de ser atendidos principalmente. Cabe mencionar que la información coadyuva a la toma de decisiones en cuanto a estrategias e inversión tanto de capacitación como medidas extraordinarias, para la seguridad del proceso.

Los resultados obtenidos son de gran importancia para el caso de estudio, debido a que en la empresa anteriormente solo se utilizaba el AMEF para el análisis del proceso de recubrimiento, dando la misma importancia a cada uno de los riesgos, sin poder categorizarlos con mayor certeza. Por lo cual, la lógica difusa arrojó información pertinente que contribuye en la toma de decisiones para el área de seguridad industrial.

Al finalizar esta investigación la empresa tomada como caso de estudio tiene la capacidad de evaluar su proceso de manufactura, con base en aquellos riesgos operativos que representan vulnerabilidad en el recubrimiento de tubería, así como la relación con el factor humano que interactúa directamente con el producto en la evaluación de un eslabón de la cadena de suministro.

Es importante destacar que los resultados se plantearán al corporativo, con la intención de ser aprobados y autorizar el análisis a las diferentes modalidades basándose en la metodología propuesta. Con ello se puede cubrir los procesos logísticos con que se cuenta una empresa petroquímica, así como la importancia de ser un miembro de la cadena de suministro que sabe administrar los riesgos implícitos en el proceso al cual se dedica.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, J., R. TORRES y D. MAGAÑA (2010), «Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad», *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, **25**(1), pág. 16.
- ALIAKBAR, A. y A. FARZANEH (2013), «Risk Prioritization Based on Health, Safety and Environmental Factors by Using Fuzzy FMEA», *International Journal of Mining, Metallurgy and Mechanical Engineering*, **1**(4), pág. 233.
- ANDRADE, S. (2006), *Simulador de un convertidor multinivel apilable controlado con lógica difusas*, Maestría, Facultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Americas de Puebla.
- ARDILA, W., D. ROMERO y F. GONZÁLEZ (2014), «Estrategias para la gestión de riesgos en las cadenas de suministros», *Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, **12**(1), pág. 5.
- ARREDONDO, T. (2014), «Introducción a la Lógica Difusa», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://profesores.elo.utfsm.cl/tarredondo/info/soft-comp/Introduccion%20a%20la%20Logica%20Difusa.pdf>.
- BSIGROUP (2013), «Seguridad en la Cadena de Suministro», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.bsigroup.com/es-ES/Seguridad-en-la-cadena-de-suministro/>.

- C-TPAT (2016), «C-TPAT Benefits», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://c-tpat.com/what-is-ctpat/c-tpat-benefits/>.
- CARLSON, C. (2014), «Understanding and Applying the Fundamentals of FMEAs», (versión 0.3), recurso libre, disponible en http://www.reliasoft.com/pubs/2014_RAMS_fundamentals_of_fmeas.pdf.
- CEDILLO, M. (2011), «Evaluación de riesgos en la cadena de suministro», *Instituto Mexicano del Transporte*, **1**(1), pág. 11.
- CEDILLO, M., G. LIZARRAGA, R. CAVAZOS y T. SALAIS (2013), «Self-assessment methodology for improving security in export-oriented supply chains», (versión 0.3), recurso libre, disponible en https://www.researchgate.net/publication/271503548_Self-assessment_methodology_for_improving_security_in_export-oriented_supply_chains.
- CENTRO LATINOAMERICANOS DE INNOVACIÓN EN LOGÍSTICA CLY (2010), «Clasificación de riesgos en la cadena de suministro», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.icesi.edu.co/blogs/bitacorariesgointegral1010/files/2010/11/gestion-de-riesgos-en-la-sch.pdf>.
- CHOPRA, S. y P. MEINDL (2008), *Administración de la Cadena de Suministro. Estrategia, planeación y operación*, tercera edición, Pearson Education, México, DF.
- CLOSS, D. y E. MCGARRELL (2004), «Enhancing security through the supply chain», *IBM Centre for the Business of Government.*, **1**(1), pág. 7.
- CNNEXPANSION (2015), «VW fabricó varios tipos de software para alterar emisiones», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.expansion.com/accesible/2011/12/13/empresas/1323804371.html>.

- CORREA, A. y R. GÓMEZ (2010), «Seguridad en la Cadena de Suministro basada en la norma ISO 28 001 para el sector de carbón, como estrategia para su competitividad», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/19715/20825> .
- COUNCIL SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS (2010), «CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://https://cscmp.org/supply-chain-management-definitions>.
- DÍAZ, C., , A. AGUILERA y N. GUILLÉN (2002), «Lógica difusa vs. modelo de regresión múltiple para la selección de personal», (versión 0.3), recurso libre, disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052014000400010&script=sci_arttext.
- DESPINA, D., A. MIHAI y A. TUDOR (2011), «Fuzzy Logic Used in FMEA Analysis», *The Romanian Review Precision Mechanics, Optics and Mechatronics*, **1**(39), pág. 37.
- DÍAZ, C., A. AGUILERA y N. GUILLEN (2014), «Lógica Difusa vs modelo de regresión múltiple para la selección de personal», *Ingeniare.*, **22**(04), pág. 3.
- D'NEGRI, C. y E. DE VITO (2006), «Introducción al razonamiento aproximado: lógica difusa», *Revista Argentina de Medicina Respiratoria*, **1**(4), pág. 5.
- DUARTE, E. (2015), «Ya no será NEEC sino OEA», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://t21.com.mx/logistica/2015/11/25/ya-no-sera-neec-sino-oea>.
- DURÁN, M. y B. T. (2010), «Lógica Difusa», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/08-09/10.pdf>.
- EMAD, R. y M. FATEMEH (2015), «Using fuzzy FMEA and Fuzzy logic un project risk management», *Iranian Journal of Management Studies*, **8**(3), pág. 391.
- ESCALANTE, E. (2008), *Seis-Sigma, Metodología y técnicas.*, primera edición, Editorial LIMUSA, México.

FERNÁNDEZ, A. (2011), «Las inundaciones de Tailandia afectan las cuentas empresariales», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.expansion.com/accesible/2011/12/13/empresas/1323804371.html>.

FIRST CONSULTING GROUP (2013), «Curso AMEF: Análisis de Modo y Efecto de Falla», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://firstconsultinggroup.mx/curso-amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla.html>.

GALLEGOS, J. (2016), *Tratamiento y resolución de las descripciones definidas y su aplicación en sistemas de extracción de información*, Maestría, Unidad Académica Tianguistenco. Universidad Autónoma del Estado de México.

GILIOI, R. y C. LÓPEZ (2001), «Using Failure Mode Effect Analysis (FMEA) to Improve Service Quality», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <https://www.pomsmeetings.org/Meeting2001/2001/cd/papers/pdf/Rotondaro.pdf>.

GONZÁLEZ, C. (2011), «Lógica Difusa: una introducción práctica», (versión 0.3), recurso libre, disponible en http://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf.

GUERRERO, M. (2016), «Estrategia empresarial debe incorporar cada parte de la cadena de suministro», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://noticiaslogisticaytransporte.com/logistica/22/08/2016/estrategia-empresarial-debe-incorporar-cada-parte-de-la-cadena-de-suministro/84276.html>.

HAQ, I. U., IZHAR, K. SHAH, S. ANWAR, M. T. KHAN, B. AHMED y S. MAQSOOD (2015), «Fuzzy Logic Based Failure Mode and Effect Analysis of automotive powertrain assembly», *Technical Journal, University of Engineering and Technology*, **20**(2), pág. 1.

ISO (2011), «ISO 31 000 – Risk management», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.iso.org/iso/home/standards/iso31000.htm>.

ISOTOOLS (2013), «ISO/TS 16949: Principales diferencias entre DFMEA y PFMEA», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.isotools.com.mx/isots-16949-automotriz-mexico/>.

KAMINSKY, S.-L. D. y E. P. SIMCHI-LEVI (2007), *Designing and Managing the Supply Chain*, tercera edición, McGraw-Hill College, México, DF.

LRQA MÉXICO (2016), «ISO 28 000 Para la Seguridad de la Cadena de Suministro», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.lrqamexico.com/certificaciones/ISO-28000-Seguridad-Cadena-Suministro/>.

MAGUIÑA, R. (2010), «Sistemas de inferencia basados en Lógica Borrosa: fundamentos y caso de estudio», *Revista de Ingeniería de sistemas e informática*, **7**(01), pág. 97.

MARTÍNEZ, C. (2004), *Implementación de un análisis de modo y efecto de falla en una línea de manufactura de juguetes*, Maestría, Facultad de Ingeniería, Mecánica y Eléctrica. Universidad Autónoma de Nuevo León.

MARTÍNEZ, J. (2002), *Introducción al análisis de riesgos*, primera edición, Limusa S.A de C.V, México.

MARTÍNEZ, M. y M. CÁSARES (2011), «El proceso de gestión de riesgos como componente integral de la gestión empresarial» Boletín de estudios económicos», (versión 0.3), recurso libre, disponible en https://www.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/catalogo_imagenes/grupo.cmd?p

MAZA, A. (2009), *Diseño de un sistema experto para enderezado de chasis en frío*, Licenciatura, Facultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Americas de Puebla.

- MCDERMOTT, R., R. MIKULAK y M. BEAUREGARD (2008), *The Basic of FMEA*, primera edición, CRC Press, USA.
- MENTZER, J. (2004), *Fundamentals of Supply Chain Management: Twelve Drivers of Competitive Advantage*, primera edición, SAGE, USA.
- NADGLOBAL (2014), «Seguridad en la Cadena de Suministro», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.nadglobal.com/seguridad-en-cadena-de-suministro>.
- PAUW, F. (2012), «Gestión de riesgos en la cadena de suministro», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.transporte3.com/noticia/7014/gestion-de-riesgos-en-la-cadena-de-suministro>.
- PÉREZ, I. y L. B. (2007), *Lógica difusa para principiantes: teoría y práctica*, primera edición, Universidad Católica André Bello, Venezuela.
- PÉREZ, L. (2011), «Logica Fuzzy: principios y aplicación», *Energia y Computación.*, **2**(1), pág. 6.
- REVISTA CERTIFICACIÓN Y NEGOCIOS (2013), «Importancia del Aseguramiento de la Cadena de Suministro ISO 28 000», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.revistacertificacion.cl/importancia-del-aseguramiento-de-la-cadena-de-suministro-iso-28000/>.
- REVISTA SEGURITECNIA (2012), «Seguridad en la Cadena de Suministro», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.seguritecnia.es/seguridad-aplicada/comercio-y-distribucion/seguridad-en-la-cadena-de-suministro>.
- REYES, M., M. RODRÍGUEZ, I. RODRÍGUEZ y A. ALVARADO (2012), «Análisis difuso del modo de falla», *Congreso Internacional de Investigación. Academia Journals, Cd. Juárez*, **4**(1), pág. 769.
- REYES, P. (2007), «Análisis de modo y efecto de falla», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.icicm.com/files/PFMEA.doc>.

- SAT (2015), «Apartado El Operador Económico Autorizado», (versión 0.3), recurso libre, disponible en http://www.sat.gob.mx/comext/nec/Paginas/apartado_L.aspx.
- SPC CONSULTING GROUP (2012), «AMEF Análisis del Modo y Efecto de Falla», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://spcgroup.com.mx/amef/>.
- SUPO, R. (2003), «Lógica Difusa», (versión 0.3), recurso libre, disponible en <http://www.unjbg.edu.pe/coin2/pdf/01040502003.pdf>.
- WINCHELL, W. (1996), *Inspection and Measurement in Manufacturing*, primera edición, Society of Manufacturing Engineers., USA.
- WOOD, D., A. BARONE y M. P. W. D. (1995), *International Logistics*, primera edición, Chapman and Hill, USA.