4.- RECURSOS Y MÉTODOS

4. 1 Recursos humanos

Un grupo de trabajo multidisciplinario integrado por ingenieros industriales, químicos, mecánicos, cuyas especialidades son elegidas en función del sistema al que se desee evaluar, todos ellos expertos en su área de trabajo y encargados de realizar el análisis de riesgos.

4. 2 Recursos materiales

Una sala de juntas para llevar a cabo las reuniones en las cuales se analizará el sistema en estudio, este espacio será utilizado únicamente por los expertos así como por el secretario y el líder facilitador sin excepciones, dichas reuniones tendrán la duración que se haya pactado previamente con los expertos.

De igual forma se necesitarán los siguientes materiales de apoyo: proyector, pantalla de proyección, laptop, plumas, formatos y tablas de evaluación que se entregarán a los integrantes del grupo, además de información técnica actualizada que sirva de punto de partida como se muestra en la Tabla 4.1

Tabla 4.1 Información técnica del sistema

Hoja de seguridad (MSDS)	Amoniaco anhídrido
Datos termodinámicos de las sustancia química	Temperatura de ebullición Peso Molecular Calor de combustión neto Calor de reacción Presión de explosión
Planos del proceso	Ubicación de válvulas Ubicación de las trampas de diablos Cruce con ductos Pasos hidrológicos Pasos Aéreos Pasos Carreteros
Condiciones de Operación	Fecha de inicio de construcción Fecha de inicio de operación Presión Temperatura Flujo Controladores Longitud

Tabla 4.1 Información técnica del sistema (cont.)

Datos de diseño de los equipos	Tipo de tubería Diámetro interno Diámetro externo Presión Temperatura Desgaste por corrosión
Historial de accidentes	Estadística de fugas Estadística de tomas clandestinas Estadística de golpes mecánicos
Datos demográficos	Poblaciones cercanas a las instalaciones Densidad poblacional Actividades económicas más relevantes
Datos geográficos	Tipo de suelo
Datos climatológicos	Temperatura Máxima Temperatura Mínima Temperatura Promedio Humedad Fauna Flora

Fuente: Tabla elaborada con la recopilación de información de PEMEX y elaborada por el autor Joshua Gutiérrez

Es importante mencionar que el tiempo estimado para la búsqueda de la información es de uno a tres días. En caso de no existir datos como de accidentes, datos geográficos, demográficos entre otros, se debe de hacer una esfuerzo por encontrar los datos más parecidos al sistema que se evaluará para tener noción del entorno del sistema y de esta manera evaluarlo lo más cercano a la realidad.

Para llevar acabo la evaluación, se requerirá un equipo tipo PC y los Software SCRI-FMEA versión 1.1, Word, Excel y Power Point versión 2003 respectivamente.

4. 3 Metodología

El método para poder lleva a cabo el FMEA es esquematizado por la Figura 4.1 en la cual se aprecia de manera general diferentes etapas de esta metodología y de forma subsecuente se procederá a detallar cada una de ellas así como sus subdivisiones.

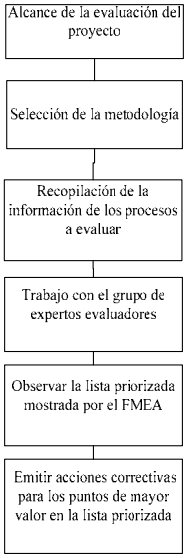

Figura 4.1 Diagrama de flujo del proceso FMEA

4. 3. 1 Alcance de la evaluación del proyecto

Establecer con el solicitante del análisis desde un principio la profundidad y el detalle del estudio, es esencial para delimitar la dimensión, localización, especificaciones preliminares y nivel de detalle, del sistema sujeto a estudio. Es necesario que el cliente defina sus necesidades o definirlas conjuntamente con él, ya que en ocasiones carece del conocimiento necesario para poder tomar una decisión.

Se puede partir de la base, que se debe cumplir con la NOM-028-STPS-2004 como mínimo; denominada: organización del trabajo seguridad en los procesos de sustancias químicas. Dicha norma tiene como objetivo “Establecer los elementos para organizar la seguridad en los procesos que manejan sustancias químicas, a fin de prevenir accidentes y proteger de daños a los trabajadores e instalaciones de los centros de trabajo.”(NOM 028 STPS, 2004).Estos alcances del proyecto están principalmente delimitados por el cliente.

4. 3. 2 Selección de metodología

Se seleccionó el FMEA después de analizar otras metodologías como Hazop, What if, Check list, entre otras, ya que con ésta se pueden analizar los posibles modos de falla en un proceso, siendo un modo de falla, la desviación de la condición normal de operación de un sistema y que se identifica como una condición fuera de tolerancia tal como: la disminución de una función, fugas, deformidad, operación errónea, etc. Se considera que con esta metodología se pueden identificar modos de falla en base a la experiencia del personal de campo y producción, por lo que el análisis puede ser más amplio y profundo.

4. 3. 3 Elección del grupo de expertos

Para llevar a cabo esta metodología se requiere integrar un grupo de expertos de diferentes disciplinas que cuenten con amplia experiencia laboral en el campo de estudio y se involucren en el análisis de riesgo, el grupo evaluador es reclutado por la persona encargada de realizar el análisis de riegos en base a recomendaciones y disposición del personal, por lo general el reclutamiento se realiza dentro de la misma empresa o departamento, aunque no siempre será así, esto ocurrirá cuando no existan personal capacitado para efectuar el análisis entonces se buscarán expertos en otro sitio, donde se llevan a acabo acciones similares.

El grupo evaluador puede trabajar y quedar organizado de acuerdo con la Tabla 4.2, en la cual se describen las habilidades con las que deben contar los integrantes:

Tabla 4.2 Conformación del grupo de trabajo

ROL DE LA PERSONA	*HABILIDADES*
Líder Facilitador: Experto en los Estudios de Análisis de Riesgos.	Poseedor de conocimientos detallado de la tecnología General, Adquisiciones, Operaciones, Mantenimiento, Seguridad Industrial, Salud Ocupacional y Protección Ambiental de los Procesos a estudiar, junto con un buen conocimiento de Evaluación de Riesgos, Análisis de Consecuencias, Ingeniería de Confiabilidad, etc. No es necesario que cuente con conocimiento detallado de la Planta o Instalaciones a estudiar.
Secretario del Equipo (Documentador) Experto en las Prácticas y Manejo de Software de los Estudios de Análisis de Riesgos.	Conocedor de la Tecnología General, Operaciones, Mantenimiento, etc. de los Procesos a estudiar, junto con un buen conocimiento de los aspectos de evaluación de Riesgos, Análisis de Consecuencias, etc., aunque no al mismo nivel que el Líder Facilitador.
Ing. de Inspección Técnica. Ing. de Instrumentos. Ing. Electricista. Ing. Civil. Ing. Mecánico. Ing. de Operación. Ing. de Diseño.	Ingenieros Especialistas en Mantenimiento (Mecánico Estático, Mecánico Dinámico, Instrumentista, Electricista, Civil), Operación, Proceso, Materiales y Seguridad Industrial, para este caso Expertos en Estudios de Análisis de Riesgos, Análisis de Consecuencias, al mismo nivel que el Secretario.

Fuente: Manual de PEMEX (2004) Reestructurado por el autor Joshua Gutiérrez

4. 3. 3. a Integración del grupo de trabajo con expertos.

El grupo de trabajo está jerarquizado como se sugiere en la Figura 4.2 con el fin de realizar el análisis de una manera ordenada y evitar que algún experto asuma el rol de líder, pudiendo sesgar resultados de manera involuntaria, es por esto que el líder facilitador será quien organice y coordine al grupo de trabajo promoviendo la participación de todos los expertos de una manera eficiente. Esta forma de jerarquización se le menciona al grupo antes de iniciar el trabajo.

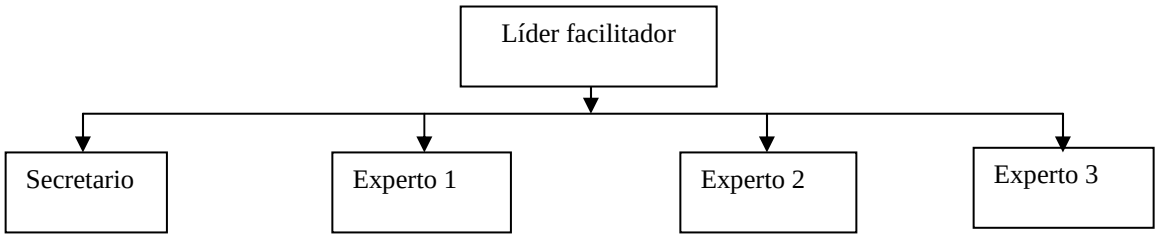

Figura 4.2 Organigrama del grupo de trabajo

4. 3. 4 Investigación documental

Se recopila información documental actualizada, que sirva para poder visualizar de la manera más completa todos los factores que interactúan con el sistema de estudio así como información del mismo sistema, esta información abarca áreas como se muestra en la Figura 4.3 para posteriormente concentrar la información y ser mostrada a los expertos para que tengan noción del sistema y su entorno. La búsqueda se realizará en manuales de operación, mantenimiento, normas, publicaciones, etc.

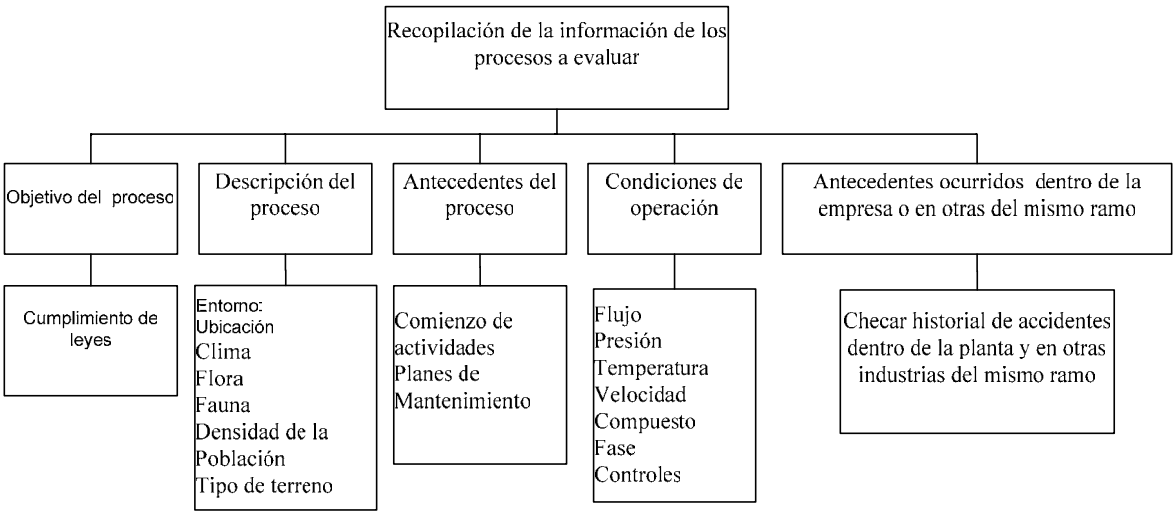

Figura 4.3 Distribución de la información a recopilar

Al no existir una cantidad específica de información actualizada para realizar un análisis de riesgo, se intentará recopilar la mayor cantidad de información del sistema para que éste pueda ser evaluado de una forma más cercana a la realidad, sin hacer suposiciones por parte de los expertos, provocando esto, el añadir o no información relevante del entorno y del sistema.

En la Figura 4.4 se menciona el trabajo que se realizará con los expertos y posteriormente se describirán detalladamente cada uno de los pasos.

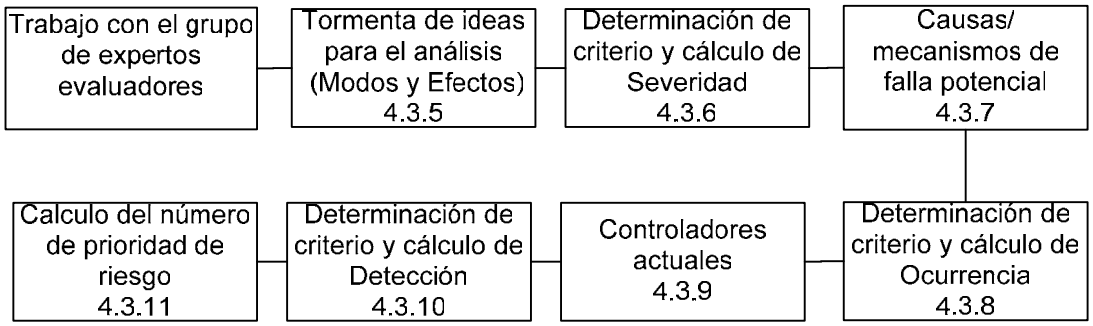

Figura 4.4 Flujo de evaluación

4. 3. 5 Tormenta de ideas para el análisis

Objetivo.- Realizar dos tormentas de ideas, la primera para identificar los modos potenciales de falla y la segunda para identificar los efectos de falla potencial correspondientes a cada uno de los modos de falla.

Entradas.- Será necesario contar con la presencia de todo el grupo de expertos en la sala de juntas previamente designada, así como con las Tablas 4.3, 4.4, la Figura 4.5 y la información recolectada del sistema y su entorno.

Salidas.- Identificación de los modos y los efectos de falla potencial así como el Formato 4.5 lleno en las respectivas columnas.

Figura 4.5 Formato establecido para realizar FMEA

Modo de Falla	Efectos	SEV	Causas	OCU	Controles	DET	RPN	Recomendaciones
Modo de falla (2)								
Modo de falla (3)								
Modo de falla (4)								
Modo de falla (5)								
Modo de falla (6)								
Modo de falla (7)								
Modo de falla (8)								
Modo de falla (9)								
Modo de falla (10)								
Modo de falla (11)								
Modo de falla (12)								
Modo de falla (13)								
Modo de falla (14)								
Modo de falla (15)								
Modo de falla (16)								
Modo de falla (17)								
Modo de falla (18)								

Fuente: Programa SCRI FMEA

Procedimiento.-El facilitador conjuntamente con el grupo de expertos, proceden a efectuar la primera tormenta de ideas, correspondiente a la identificación del modo de falla potencial. El modo de falla potencial es la desviación de la condición normal de operación de una actividad o un producto que podría ocurrir y que puede responder a la pregunta ¿Cómo puede fallar el proceso en el cumplimiento de las especificaciones? o qué objetaría el cliente (entendiéndose por cliente al usuario final de esa fase o producto).

Como guía para evaluar esta primera sección se puede utilizar un conjunto de palabras o palabra como se muestran en la Tabla 4.3 que servirán como punto de partida, para identificar los modos de falla potencial. Estas palabras guía se utilizan asociando algún componente o característica del sistema que pudiese o no fallar, con una o varias palabras, arrojando de esta manera un posible modo de falla.

Es importante mencionar que el grupo evaluador debe respetar todas las ideas que surjan sin abochornar a nadie y sin menospreciar alguna de ellas, ya que todos los modos potenciales de falla son importantes y alguno de ellos, que aparentemente no tienen importancia, pueden conducir a la detección de verdaderos riesgos, que de otra manera pudiesen pasar desapercibidos.

Tabla 4. 3 Palabras guía para los modos de falla

Doblado	Agujero omitido
Afilado	Daño en el manejo
Agrietado	Sucio
Agujerado fuera del lugar	Superficie rugosa
Agujerado poco profundo	Deforme
Superficie demasiado suave	Circuito abierto

Fuente: Elaborada por el autor Joshua Gutiérrez

Una vez identificados los modos de falla potencial y escritos en la Figura 4.5, se procede a recopilar éstos en Excel siguiendo el formato de la Figura 4.5 o en SCRI FMEA, para que de esta forma se puedan tener de una manera ordenada y llevar un orden estructurado.

Para realizar la segunda tormenta de ideas de preferencia en la misma sesión y proceder a la identificación de efectos de falla, se pueden tomar como guía las palabras de la Tabla 4.4 como un comienzo y se procede a seguir llenando la Figura 4.5 previamente ordenando los modos de falla.

La metodología para el uso de estas palabras de efectos potenciales es asociar cada modo potencial de falla con una o varias palabras guía para que de ésta manera se obtengan los posibles efectos de cada modo de falla potencial.

Tabla 4.4 Palabras guía para los efectos de falla potencial

No se puede fijar	No ajusta
No cabe	Pone en peligro al operador
No encara	No puede barrenar
No se conecta	Fugas
Daños en los equipos	Inestable
Operación intermitente	Corrimiento
Operación errática	Esfuerzo excesivo

Fuente: Elaborada por el autor Joshua Gutiérrez

Una vez identificados los efectos de los modos de falla potencial y escritos en la Figura 4.5, se procede a recopilar éstos en Excel siguiendo con el formato de la Figura 4.5 o en SCRI FMEA, para que de esta forma se puedan tener de una manera ordenada y concreta.

4. 3. 6 Determinación de criterio y cálculo de severidad

Objetivo.- Determinar el criterio con el que se evaluará la severidad y subsecuentemente se procederá a clasificar cada efecto de falla detectado.

Entrada.- Es necesario contar con la información de efectos de falla previamente identificados en la sección 4.3.5.

Salida.- Criterio de severidad así como el formato de la Figura 4.5 lleno en la columna correspondiente con los valores asignados.

Figura 4.5 Formato establecido para realizar FMEA

Modo de Falla	Efectos	SEV	Causas	OCU	Controles	DET	RPN	Recomendaciones
Modo de falla (2)								
Modo de falla (3)								
Modo de falla (4)								
Modo de falla (5)								
Modo de falla (6)								
Modo de falla (7)								
Modo de falla (8)								
Modo de falla (9)								
Modo de falla (10)								
Modo de falla (11)								
Modo de falla (12)								
Modo de falla (13)								
Modo de falla (14)								
Modo de falla (15)								
Modo de falla (16)								
Modo de falla (17)								
Modo de falla (18)								

Fuente: Programa SCRI FMEA

Procedimiento.- Determinar la severidad que consiste en asignar una calificación relativa de acuerdo a la seriedad o importancia del efecto del fallo. La severidad es una clasificación relacionada con el efecto.

Esta determinación se realiza utilizando el criterio de la Tabla 4.5, la cual se muestra adelante, en donde se sugieren los siguientes rangos, que van del 1 al 10, siendo los más importantes el 9 y 10 ya que pueden poner en riesgo al factor humano o bien incumplir con las regulaciones oficiales.

Se debe tener en cuenta, que para poder disminuir el nivel de severidad tiene que haber un cambio en el diseño del sistema, subsistema o del proceso.

Tabla 4.5 Criterio de severidad del efecto

Efecto	Criterio: Severidad del Efecto Esta clasificación se da cuando un modo de falla potencial resulta en un defecto en el cliente final o en la planta. Se debe considerar siempre primero al cliente final. Si ambos ocurren, utilice la mayor de las dos severidades		Severidad
	Efecto en el cliente	Efecto en la línea de producción	
Peligroso sin advertencia	Clasificación de severidad muy alto, cuando un modo de falla potencial afecta la seguridad del cliente y/o involucra el no cumplimiento con las regulaciones oficiales. La falla ocurre sin advertencia.	O puede poner en peligro al operador (máquina o ensamble). La falla ocurre sin advertencia.	10
Peligroso con advertencia	Clasificación de severidad muy alto, cuando un modo de falla potencial afecta la seguridad del cliente y/o involucra el no cumplimiento con las regulaciones oficiales. La falla ocurre con advertencia.	O puede poner en peligro al operador (máquina o ensamble). La falla ocurre con advertencia.	9
Muy Alto	Vehículo/artículo inoperable, pérdida de la función primaria.	O 100% del producto tiene que ir a chatarra (desperdicio) o el producto tiene que ir al departamento de reparación con un tiempo de reparación mayor a una hora.	8
Alto	Vehículo/artículo operable, pero a un nivel reducido de rendimiento. Cliente muy insatisfecho.	O el producto puede tener que ser separado en varias clases y una porción (menos del 100%) va a chatarra (desperdicio), o el producto tiene que ir al departamento de reparación con un tiempo de reparación entre media hora y una hora.	7
Moderado	Vehículo/artículo operable, pero los elementos de comodidad/conveniencia inoperables. Cliente insatisfecho.	O una porción (menos del 100%) va chatarra (desperdicio) sin necesidad de separar en varias clases o el producto tiene que ir al departamento de reparación con un tiempo de reparación menor a media hora.	6
Bajo	Vehículo/artículo operable, pero a un nivel de rendimiento reducido en comodidad/conveniencia. Cliente algo insatisfecho.	O 100% del producto tiene que ser retrabajado o el producto tiene que ser reparado fuera de línea pero sin ir al departamento de reparación.	5
Muy Bajo	Equipo fuera de especificación en Ajuste y Acabado / Chillido y Zumbido. Defecto notado por la mayoría de los clientes (más del 75%)	O el producto tiene que ser separado en clases sin ir a chatarra desperdicio) y una porción (menos del 100%) requiere de trabajo.	4
Menor	Equipo fuera de especificación en Ajuste y Acabado / Chillido y Zumbido. Defecto notado por el 50% de los clientes.	O una porción (menos del 100%) del producto tiene que ser retrabajado, sin ir a chatarra, en la línea pero fuera de la estación de trabajo.	3
Muy Menor	Equipo fuera de especificación en Ajuste y Acabado / Chillido y Zumbido. Defecto notado por el cliente selectivo (menos del 25%)	O una porción (menos del 100%) del producto tiene que ser retrabajado, sin desperdicio, en la línea pero en la estación.	2
Ninguno	No hay efectos perceptibles	O ligera inconveniencia en la operación o en el operador, o sin efecto.	1

Fuente: Manual de FMEA (2004).

Los valores de la severidad serán designados en base a los efectos en el proceso, estos valores serán clasificados por el grupo de expertos de manera que todos los integrantes estén de acuerdo con el valor. En caso de que el fallo afecte a la siguiente fase del proceso en

estudio o el grupo desconozca el área siguiente, se debe solicitar la participación del personal experto en el siguiente proceso.

Estos valores se anotarán en la hoja de Excel que sigue el formato de la Figura 4.5 o en el SCRI FMEA, el cual como se mencionó anteriormente ya tiene los datos de modo de efecto de fallos y sus efectos en forma ordenada.

4. 3. 7 Causas/mecanismos de falla potencial

Objetivo.- Listar todas las causas posibles de falla o mecanismo de falla potencial por cada modo de falla potencial.

Entradas.- Es necesaria la información sobre los modos de falla potencial identificados en la sección 4.3.5.

Salida.- Identificación de las causas de falla potencial, formato de la Tabla 4.5 lleno respectivamente en su columna.

Figura 4.5 Formato establecido para realizar FMEA

Modo de Falla	Efectos	SEV	Causas	OCU	Controles	DET	RPN	Recomendaciones
Modo de falla (2)								
Modo de falla (3)								
Modo de falla (4)								
Modo de falla (5)								
Modo de falla (6)								
Modo de falla (7)								
Modo de falla (8)								
Modo de falla (9)								
Modo de falla (10)								
Modo de falla (11)								
Modo de falla (12)								
Modo de falla (13)								
Modo de falla (14)								
Modo de falla (15)								
Modo de falla (16)								
Modo de falla (17)								
Modo de falla (18)								

Fuente: Programa SCRI FMEA

Procedimiento: Los mecanismos de falla potencial serán escritos por los especialistas en un formato como se observa en la Figura 4.5 para su posterior recopilación en una hoja de Excel siguiendo el formato de la Figura 4.5 o SCRI FMEA.

Las causas de falla potencial se deben definir en términos concretos, para que puedan ser corregidas o controladas, todo esto con la finalidad de encontrar en la medida de lo posible la

causa raíz, en particular las que tienen rangos de severidad de 9 y 10. A continuación en la Tabla 4.6 se describen causas típicas de falla a manera de ejemplo.

Cabe señalar que la identificación de las causas de un sistema, principalmente es identificada por la experiencia laboral de cada uno de los expertos.

Tabla 4.6 Causas típicas de causas de falla potencial

Torque impropio mayor o menor	Soldadura impropia-tiempo, presión, corriente eléctrica
Medición imprecisa	Tratamiento de calor impropio-tiempo, temperatura
Venteo o abertura inadecuada	Lubricación inadecuada o sin lubricación
Parte omitida o mal colocada	Localizador gastado
Herramienta desgastada	Raspadura en localizador
Herramienta rota	Disposición impropia de la máquina
Programación impropia	

Fuente: elaborada por el autor Joshua Gutiérrez

4. 3. 8 Determinación de criterio y cálculo de ocurrencia

Objetivo.- Se determina el criterio con el que se evaluará la ocurrencia y subsecuentemente se procederá a clasificar cada causa o mecanismo de falla potencial.

Entrada.- Es necesaria la información sobre cada una de las causas o mecanismos de falla potencial identificadas en la sección 4.3.7.

Salida.- Criterio de ocurrencia así como el formato de la Figura 4.5 lleno en la columna correspondiente con los valores asignados.

Figura 4.5 Formato establecido para realizar FMEA

Modo de Falla	Efectos	SEV	Causas	OCU	Controles	DET	RPN	Recomendaciones
Modo de falla (2)								
Modo de falla (3)								
Modo de falla (4)								
Modo de falla (5)								
Modo de falla (6)								
Modo de falla (7)								
Modo de falla (8)								
Modo de falla (9)								
Modo de falla (10)								
Modo de falla (11)								
Modo de falla (12)								
Modo de falla (13)								
Modo de falla (14)								
Modo de falla (15)								
Modo de falla (16)								
Modo de falla (17)								
Modo de falla (18)								

Fuente: Programa SCRI FMEA

Procedimiento.- La ocurrencia es la probabilidad de que un evento ocurrirá por lo que el valor que se le asigne será relativo en la que se utiliza una escala del 2 a 10 donde 10 es el más probable de ocurrir como se, sugiere en la Tabla 4.7.

Cabe señalar que para disminuir su grado de probabilidad de ocurrencia tiene que haber un cambio en el diseño o en el proceso.

Tabla 4.7 Tabla de ocurrencia

Probabilidad de Falla	Clasificación
Muy alto: fallas persistentes	10
Alto: fallas frecuentes	8
Moderado: fallas ocasionales	6
Bajo: relativamente pocas fallas	4
Remoto: falla improbable	2

Fuente: elaborada por el autor Joshua Gutiérrez

Los valores de ocurrencia por cada causa o mecanismo de falla, son asignados por los expertos buscando la unanimidad basándose en los datos estadísticos recopilados en un inicio, para posteriormente ser anotados por el secretario en la hoja de Excel la cual sigue el formato de la Figura 4.5 o SCRI FMEA, para llevar un orden estructurado.

Aunque la metodología FMEA está diseñada para detectar posibles fallas, la ocurrencia tiene un valor subjetivo, sin embargo es conveniente utilizar datos estadísticos reales disponibles de un proceso similar o del que está en estudio en caso de haber información histórica. Cabe señalar que de no contar con datos estadísticos se puede determinar la ocurrencia por heurística, pero los resultados se verán seriamente sesgados.

4. 3. 9 Controles actuales del proceso

Objetivo.- Se identifican los controles del proceso en estudio que ayudan a controlar, prevenir o detectar las fallas del sistema.

Entrada.- Es necesaria la información de los posibles modos de fallas previamente identificadas en la sección 4.3.5. Los controladores pueden ser datos estadísticos, evaluación en operaciones subsecuentes o mecanismos a prueba de errores, éstos se pueden clasificar en preventivos cuya finalidad es prevenir o reducir la ocurrencia de fallo y de detección de fallas que llevan a acciones correctivas.

Salida.- Identificación de controles actuales así como el formato de la Figura 4.5 lleno en la columna correspondiente.

Figura 4.5 Formato establecido para realizar FMEA

Modo de Falla	Efectos	SEV	Causas	OCU	Controles	DET	RPN	Recomendaciones
Modo de falla (2)								
Modo de falla (3)								
Modo de falla (4)								
Modo de falla (5)								
Modo de falla (6)								
Modo de falla (7)								
Modo de falla (8)								
Modo de falla (9)								
Modo de falla (10)								
Modo de falla (11)								
Modo de falla (12)								
Modo de falla (13)								
Modo de falla (14)								
Modo de falla (15)								
Modo de falla (16)								
Modo de falla (17)								
Modo de falla (18)								

Fuente: Programa SCRI FMEA

Procedimiento.- Para que los controladores sean identificados, el líder facilitador designa a un integrante experto en este tema para que dirija con él esta sección y para que los expertos vayan analizando los controladores que tiene el sistema para prevenir o identificar las fallas.

Los controladores se encuentran en los manuales de seguridad u operación, pero no siempre es así, es por eso que también se recurre a los expertos porque son los que tienen amplio conocimiento en este rubro, ya que con los controladores desempeñan su trabajo. Los controladores serán anotados en la celda correspondiente a cada modo de fallo dentro de la hoja de Excel la cual sigue el formato de la Figura 4.5 o dentro del SCRI FMEA.

4.3.10 Determinación de la tabla y cálculo de detección

Objetivo.- Se determina el criterio con el que se evaluará la detección y subsecuentemente se procederá a clasificar los controladores del sistema que ayudan a prevenir o detectar los modos de fallos.

Entrada.- Los controladores que fueron identificados previamente en la sección 4.3.9.

Salida.- Criterio de ocurrencia así como el formato de la Figura 4.5 lleno en la columna correspondiente con los valores asignados.

Figura 4.5 Formato establecido para realizar FMEA

Modo de Falla	Efectos	SEV	Causas	OCU	Controles	DET	RPN	Recomendaciones
Modo de falla (2)								
Modo de falla (3)								
Modo de falla (4)								
Modo de falla (5)								
Modo de falla (6)								
Modo de falla (7)								
Modo de falla (8)								
Modo de falla (9)								
Modo de falla (10)								
Modo de falla (11)								
Modo de falla (12)								
Modo de falla (13)								
Modo de falla (14)								
Modo de falla (15)								
Modo de falla (16)								
Modo de falla (17)								
Modo de falla (18)								

Fuente: Programa SCRI FMEA

Procedimiento.- La detección de las causas de modo de falla que llevan a acciones correctivas y también se les asigna una clasificación relativa del 1 al 10 siendo 10 la que menos se pueda detectar; para disminuir su valor, se tienen que mejorar los controles del proceso planeado.

Los criterios sugeridos de evaluación se muestran a continuación en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8 Detección de las causas de modo de falla

Detección	*Criterio*	*Tipos de inspección*			*Rango sugerido de métodos de Detección*	*Criterio*
		1	2	3		
Casi imposible	Absoluta certidumbre de no detección				No puede detectar o no se revisa	10
Muy remota	Los controles probablemente no la detecten				El control se logra solamente con revisiones al azar o indirectos	9
Remota	Los controles tienen poca oportunidad de detección				El control se logra solamente con inspección visual	8
Muy Baja	Los controles tienen poca oportunidad de detección				El control se logra solamente con doble inspección visual	7
Baja	Los controles pueden detectar				El control se logra con métodos de cartas de control tales como las de SPC (Control Estadístico del Proceso)	6

Tabla 4.8 Detección de las causas de modo de falla (cont.)

Detección	*Criterio*	*Tipos de inspección*			*Rango sugerido de métodos de Detección*	*Criterio*
Moderada	Los controles pueden detectar				El control se basa en medición de variables después de que las partes han dejado la estación o se realizan pruebas de Pasa/No Pasa en el 100% de las partes una vez que han dejado la estación.	5
Moderadamente Alta	Los controles tienen buena oportunidad de detección				Detección de error en operaciones subsecuentes o medición realizada en organización y verificación de la primera pieza.	4
Alta	Los controles tienen buena oportunidad de detección				Detección del error en la estación de trabajo o detección de errores en operaciones subsecuentes por múltiples capas de aceptación: suministro, selección, instalación, verificación. No se puede aceptar discrepancias en las partes.	3
Muy alta	Los controles casi ciertamente detectarán				Detección de error en la estación de trabajo (medición automática con opción de paro automático) No se puede aceptar discrepancias en las partes.	2
Casi cierta	Los controles ciertamente detectarán				No se pueden hacer partes discrepantes porque el artículo tiene un diseño de proceso/producto a prueba de errores.	1

Fuente: Manual de FMEA (2004)

Donde los tipos de inspección son:

1.- A prueba de fallas

2.- Medición

3.- Inspección manual

Los controladores previamente identificados, son evaluados acorde a los tipos, criterios y rangos mostrados en la Tabla 4.8, en donde los expertos identifican que tipo de inspección tiene el controlador, para esto los expertos en forma conjunta asignan un tipo de inspección acorde al tipo de controlador, y en base a esto identifican los criterios más adecuados para que de este modo se les asigne un valor y se determine el nivel de detección de cada controlador, para esto el grupo de expertos se apoyará en la información recopilada previamente y en la experiencia. Los valores de detección serán anotados en la hoja de Excel la cual sigue el formato de la Figura 4.5 para cada controlador o en el SCRI FMEA.

4. 3. 11 Número de prioridad de riesgo

Objetivo.- Se determina el criterio para la matriz y se calcula el número de prioridad de riesgo (RPN) así como el riesgo neto.

Entrada.- Es necesario contar con los valores de: severidad, ocurrencia, y detección obtenidos de las secciones 4.3.6, 4.3.8 y 4.3.10 respectivamente.

Salida.- Matriz de riesgo utilizada como criterio, así como el formato de la Figura 4.5 lleno en la columna correspondiente del RPN.

Figura 4.5 Formato establecido para realizar FMEA

Modo de Falla	Efectos	SEV	Causas	OCU	Controles	DET	RPN	Recomendaciones
Modo de falla (2)								
Modo de falla (3)								
Modo de falla (4)								
Modo de falla (5)								
Modo de falla (6)								
Modo de falla (7)								
Modo de falla (8)								
Modo de falla (9)								
Modo de falla (10)								
Modo de falla (11)								
Modo de falla (12)								
Modo de falla (13)								
Modo de falla (14)								
Modo de falla (15)								
Modo de falla (16)								
Modo de falla (17)								
Modo de falla (18)								

Fuente: Programa SCRI FMEA

Procedimiento.-El cálculo del número de prioridad de riesgo (RPN) se obtendrá mediante la Ec.5.1, de igual forma se utilizará la Ec. 5.2 para calcular el riesgo neto.

$$\boxed{RPN = S \times O \times D} \qquad \textit{Ec.5.1}$$

$$\boxed{\text{Riesgo neto} = S \times O} \qquad \textit{Ec.5.2}$$

Procedimiento donde:

S= severidad, determinada de la Tabla 4.5, rango 1-10

O= ocurrencia determinada de la Tabla 4.7, rango 2-10

D= detección determinada de la Tabla 4.8, rango 1-10

La operación de la Ec. 5.1 se realiza dentro del programa SCRI FMEA de forma automática al haber proporcionado previamente los tres datos de severidad, ocurrencia y detección proporcionándonos el RPN y de esta forma el grupo de expertos podrá priorizar los modos de falla más susceptibles a fallo.

El valor RPN nos indica el número de prioridad de los modos de fallo más importantes.

Para la operación realizada con la Ec. 5.2 contamos con la Tabla 4.9 que muestra bajo que puntos se pueden jerarquizar los números del riego neto calculados. En una hoja de Excel, estos cálculos son realizados por el encargado de realizar el análisis .En donde en el eje "*x*" tenemos la severidad y en el eje "*y*" la ocurrencia de los eventos, esto con el fin de ubicar numéricamente los modos potenciales más críticos.

Tabla 4.9 Matriz de Jerarquización RPN

Severidad — Detectabilidad — Ocurrencia

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
F10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
F9	90	180	270	360	450	540	630	720	810	900
F8	80	160	240	320	400	480	560	640	720	800
F7	70	140	210	280	350	420	490	560	630	700
F6	60	120	100	240	300	300	420	400	540	600
F5	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
F4	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400
F3	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
F2	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
F1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

N	Color	Desc	Min	Max
1		Prioridad Baja	0	90
2		Prioridad Moderada	90	180
3		Prioridad Media	180	380
4		Prioridad Alta	380	700
5		Prioridad Máxima	700	1000

Fuente: programa SCRI FMEA (2004)

Cabe señalar que estos rangos de valores de esta matriz propuesta fueron completamente subjetivos, aunado a esto, la matriz se puede modificar para que alguna coordenada en específico pueda tener un valor determinado, estas modificaciones se podrán realizar arbitrariamente por el grupo evaluador siempre y cuando exista una justificación par este cambio.

4. 3. 12Matriz de riesgo

Existe una segunda opción para determinar la prioridad de los números de RPN en función de letras, esta matriz es mostrada a continuación.

Tabla 4.10 Matriz de Riesgo

Severidad

Ocurrencia	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
F10	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
F9	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
F8	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C
F7	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C
F6	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C
F5	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C
F4	A	B	B	B	B	B	C	C	C	C
F3	A	A	B	B	B	B	B	C	C	C
F2	A	A	A	B	B	B	B	B	C	C
F1	A	A	A	A	A	B	B	B	B	C

N	Color	ID	Desc
1		A	Prioridad Baja
2		B	Prioridad Moderada
3		C	Prioridad Alta

Fuente: programa SCRI FMEA (2004)

Esta matriz es otro ejemplo de cómo es puede clasificar los valores en una matriz de riesgo y adecuarla a las necesidades del proceso.

4. 3. 13 Acciones recomendadas

Finalmente el grupo evaluador, guiado por el facilitador, emite recomendaciones priorizadas de mejora que formarán parte del reporte final. Una vez identificados, evaluados y priorizados los

modos de falla, sus efectos y causas, se procede a sugerir acciones por orden de importancia correctivas o preventivas, encaminadas a minimizar en la medida de lo posible, el fallo que haya reflejado alta severidad y alto RPN.

Se hace hincapié que cuando la severidad de un factor de fallo es 9 o 10 se requiere asegurar que el riesgo sea dirigido mediante los controles de diseño existentes o mediante acciones correctivas o preventivas del proceso ya que la seguridad del personal y el cumplimiento de las normas son primordiales.