

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Historia

Desde que el ser humano vive en sociedad se ha visto en la necesidad de cuidar de su forma de vida. Cuando el ser humano alcanzo un grado de industrialización notable, no sólo necesito preocuparse acerca de las enfermedades, guerras y hambre, sino también de las nuevas fuerzas que empezaba a controlar y las sustancias con las que trabajaba.

En el principio se preocupaba solamente de enfermedades con el avance tecnológico algunos de estos problemas fueron resueltos, pero con el avance vinieron otros problemas, el manejo de sustancias y equipos peligrosos.

Los primeros ejemplos de tragedias acaecidas por las nuevas tecnologías fueran aquellas ocasionadas por la máquina de vapor, aparato que marco la revolución industrial, en 1866 en Gran Bretaña 74 calderas de vapor explotaron dejando muertos 77 personas.

Esto se vio reducido en 1900, después de que la Asociación de Usuarios de Vapor de Manchester revisara, diferentes calderas los accidentes bajaron a solamente 14 explosiones y 8 muertos. (Fullwood, 2000).

Con toda nueva tecnología descubierta y aprovechada vienen los accidentes y fallas en los equipos, a través de los errores aprendemos y regulamos su operación, construcción y mantenimiento.

Sin embargo este tipo de aprendizaje puede resultar muy costo económicamente y en términos de vidas humanas. Además pueden existir equipos en los que no este permitido aprender a través de los errores como en el caso de la energía nuclear.

Por eso el ser humano a evolucionado en este estudio de los accidentes y comenzó a diseñar estructuras y equipos basados en otros campos para satisfacer reglamentaciones previas y previniendo de riesgos desde el principio del diseño de nuevos equipamientos y procedimientos. Todo equipo y procedimiento debe minimizar los riesgos. (Stone, 1991)

Con estos conocimientos en mente el ser humano desarrollo dentro de la Ingeniería una nueva rama; el manejo de riesgos.

3.1.1. *Definición de Riesgo*

Una de las definiciones de riesgo es:

“La combinación de las probabilidades de que un evento indeseado ocurra y las consecuencias de su ocurrencia resulten en un evento no deseado” (Stone, 1991)

Que se puede representar por la ecuación:

$$\mathbf{Riesgo=Probabilidad * Consecuencias..... (Ec. 3.1)}$$

El riesgo puede observarse manera cualitativamente o cuantitativamente. Cualitativamente, se puede hablar de cuando existe una fuente que puede causar peligro o daño, cuando no existen medidas de seguridad y existe la posibilidad de que ocurra una perdida o alguien resulte lastimado. Así mismo el riesgo esta relacionado a todo aquello que pueda ser identificado como: riesgoso, dañino, tóxico, peligroso, o incluso la muerte.

Cuantitativamente es la posibilidad existente, en que se puede producir un riesgo y los daños que este puede acarrear si se presenta, el riesgo involucra dos variables que se pueden medir, consecuencia y probabilidad (Taylor, 1994). Algunos eventos pueden ser más probables que otros, pero una consecuencia única de una serie de eventos no puede ser predicha.

3.1.2. *Análisis de Riesgos*

A través de los años en las ingenierías se ha buscado incrementar la seguridad y minimizar los riesgos. Hoy en día la seguridad se integra dentro de los diseños de los procesos y equipos de la industria, en forma de un margen para ciertos requerimientos calculados, sin embargo siempre existe el error humano y el análisis de riesgos es una herramienta para que en caso de la falla de estos márgenes, se tenga una idea de las acciones preventivas a tomar.

Según Kaplan para minimizar el riesgo es necesario hacerse algunas preguntas iniciales, indicadas en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Preguntas iniciales para la realización de un análisis de riesgo

1. ¿Que puede salir mal y como puede ocasionar un exposición un peligro?
2. ¿Qué tan probable es que esto suceda?
3. Si sucede, ¿Qué consecuencias puede traer?

La solución de estas tres preguntas juntas más otras interrogantes que emergen del mismo proceso de una búsqueda de la seguridad originan, el análisis de riesgos.

En análisis de riesgos debe llevarse acabo usando una metodología que tome en cuenta las incertidumbres en el modelado, comportamientos, predicciones e interacciones de los componentes en un sistema, y los impactos en el sistema y en sus alrededores.

Dependiendo del contexto del proyecto al que se le realiza el análisis de riesgos, se debe conocer que existen ciertos eventos inciertos o condiciones que si llegan a ocurrir, pueden tener un efecto positivo o negativo en un objetivo del proyecto.

Generalmente los resultados de los análisis de riesgos pueden ser representados en gráficas x-y; consecuencias (x: dinero, lastimados, perdidas humanas) contra eventos (y: probabilidades, excedencias, frecuencias, excedencias de frecuencias). (Ayuub, 2003)

A través de estos análisis y gráficas se continúa la búsqueda de una ingeniería más segura, la seguridad como la mínima presencia de riesgos.

En el análisis de riesgos existen muchas metodologías para realizar estos estudios, los cuales pueden ser desde simples y realizables con “sentido común”, hasta modelos matemáticos y probabilísticos muy detallados. (Greenberg, 1991)

Hessian define los elementos de un análisis de riesgos exitoso en la Tabla 3.2

Tabla 3.2 Elementos para un análisis de riesgo exitoso

• Creíble
• Organizado
• Minucioso(debe concernir al lector)
• Relevante
• Factible física y económicamente
• Basado en tecnología existente (con posibilidad a actualizaciones)
• Publicable

3.2. Metodologías para el Análisis de Riesgos

El riesgo que viene asociado con todo tipo de proyectos puede resultar en pérdidas del presupuesto, sanciones económicas por violar reglamentos gubernamentales, retrasos en las entregas de los proyectos, pérdida de vidas humanas.

Es por eso que en muchas de las industrias actualmente, los Asociaciones, Gobiernos, determinan el tipo de análisis de riesgos, con los que deben contar los procedimientos y tener en cuenta las acciones que deben efectuarse para evitar cualquier tipo de pérdidas.

Las metodologías deben utilizar experiencias de todo el personal de los proyectos, proyectos similares, datos de bancos, análisis anteriores, entre otros muchos elementos que pueden integrarse dependiendo del proyecto analizado.

Una serie de pasos propuesto por Ayuub, para la realización de un análisis de riesgo se lista en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Pasos para la realización de un análisis de riesgos

3. Definir el sistema y los objetivos del análisis.
4. Identificar los peligros, determinar los escenarios de fallo, las fuentes de peligro.
5. Colectar información de los ciclos de trabajo del proyecto.
6. Escoger entre un análisis cualitativo y un cuantitativo.
7. Escoger y aplicar una metodología.
8. Controlar la integridad del sistema a través de los resultados obtenidos por la metodología aplicada.

Las metodologías pueden clasificarse de acuerdo a como se determina el riesgo, por un análisis cualitativo o cuantitativo.

Los análisis cualitativos usan el juicio y a veces la opinión de un experto para evaluar la probabilidad y los valores de las consecuencias. Este enfoque subjetivo puede ser suficiente para calcular los riesgos de un sistema, dependiendo de los recursos disponibles. Este tipo de análisis se basa en valores categóricos para entradas y salidas de información.

Las variables se definen categóricamente de tal forma como: medio, bajo y alto riesgo, también como valores binarios (1 y 0) (SPS, 2006). Este tipo de métodos se recomienda para

instalaciones de trabajo simples, o donde la exposición de los trabajadores, el inventario o el ambiente es baja a los riesgos (CREA, 2002).

La desventaja de este tipo de análisis es que al ser de tipo subjetivo los resultados pueden presentar diferencias en cuanto a los valores reportados o percepción de los riesgos dependiendo de la persona encargada de realizar el estudio (Ayuub, 2003).

Tabla 3.4 Ventas y desventajas de un análisis cualitativo

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Sencillos de realizar. • Poco costosos. • Utilizan la experiencia de los ingenieros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subjetivos. • Los resultados varían dependiendo de la persona encargada de realizar el análisis.

Los análisis cuantitativos, demuestran sus resultados en análisis probabilísticos y métodos estadísticos, así como en bases de datos que identifican valores numéricos de probabilidades y valores para consecuencias en los análisis de riesgos.

Estos análisis establecen escalas numéricas para valores de entrada y salida, expresando con valores las probabilidades de que ocurra un evento no deseado en un determinado periodo de tiempo o de producción.

Los modelos pueden involucrar uno más de las acciones de la Tabla 3.5 (SPS, 2006):

Tabla 3.5 Formas de elaborar un análisis cuantitativo

• Preguntas precisas acerca de la actividad y los resultados.
• Desarrollar modelos matemáticos que vinculen la actividad y los resultados.
• Obtener evidencias pertenecientes al modelo.
• Asignar valores cuantitativos al modelo.
• Calcular resultados.
• Analizar los resultados.

Los resultados obtenidos de estas acciones son utilizados como una medida de la seguridad del proyecto, así como aumentar la precaución para prevenir potenciales daños y desarrollar medidas para prevenirlos. (CREA, 2002). Algunas de las ventajas se describen en la Tabla 3.6 (Ayuub, 2003)

Tabla 3.6 Comparativo de ventajas y desventajas para métodos cuantitativos de riesgo.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Se tienen diversas opciones para reducir los riesgos y se desea determinar cual es la efectividad de cada una de estas. • Cuando la exposición a riesgos de trabajadores, activos de la compañía o el medio ambiente es muy alta y las medidas de reducción de riesgo deben ser evaluadas. • Cuando nuevas tecnologías son desarrolladas y no se tiene información histórica disponible. • Se desea crear consciencia en la fuerza laboral con respecto a los riesgos que corren. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requieren una gran cantidad de recursos económicos • Requieren gran cantidad de información técnica para el proyecto analizado. • El tiempo de ejecución y de obtención de resultados es más extenso

La selección entre un método y otro depende en gran medida de la información a de los peligros que existen en las instalaciones o procesos, así como el grado de análisis que se desea realizar para tomar las decisiones con la mejor información disponible.

3.2.1. Métodos Cualitativo

Los métodos aquí descritos no son los únicos, pero son de los más utilizados, en la Tabla 3.7 señala cuales son estos.

Tabla 3.7 Análisis de Riesgos Cualitativos

• Listas de Verificación (Checklist)
• Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA)
• ¿Que pasa si? (What if?)
• Árboles de decisión

3.2.1.a. Checklist o Listas de Verificación

El checklist es una serie de preguntas acerca de la organización de la planta, operaciones, mantenimientos y otras áreas de importancia. Históricamente su principal función era crear listas de control, para mejorar la seriedad de los trabajadores y su desempeño durante varias etapas de los proyectos, para asegurarse que cumplen con las reglamentaciones y estándares de la industria a la que pertenece el proyecto. (Hessian, 1991).

Cada elemento de la lista puede ser examinado o verificado físicamente, el resultado debe ser anotado en la lista de control. Este método es el más simple para la identificación de peligros o riesgos.

Se realiza creando una lista de control, que describe el estado en que se encuentra un proyecto. El desarrollo y profundidad de las listas de control depende considerablemente del tipo de proyecto analizado. La lista identifica peligros, deficiencias en los diseños, escenarios de accidentes asociados con los equipos. Las listas de control pueden ser utilizadas para evaluar procesos existentes o en desarrollo (CCPS, 1992).

Este tipo de análisis requiere de información complementaria acerca del proceso o de la planta, las listas deben ser creadas una por cada diferente etapa del ciclo de vida del proyecto y la información necesaria para cada lista varía de una a otra. La información recomendada por Hessian se presenta en la Tabla 3.8.

Las listas de verificación pueden ser aplicadas en cualquier punto del ciclo de vida de un proyecto. Se ejemplifica en la Tabla 3.9.

Las listas de verificación pueden ser utilizadas por ingenieros menos involucrados con el desarrollo de la herramienta, y pueden llenarlas ya sea en una copia física o con números en una computadora portátil.

Los resultados de este análisis son de carácter totalmente cualitativo, y generalmente produce respuestas como “sí”, “no” o “necesita más información”.

Un ejemplo tomado de Hessian de una lista verificación se encuentra en la Tabla 3.10

Tabla 3.8 Elementos para la realización de un checklist

Información Necesaria	Descripción
Operaciones de la planta	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimientos de operación. • Arranques y paros. • Procedimientos de inspección y mantenimiento. • Manuales de entrenamiento de los operadores. • Manuales y especificaciones de los proveedores. • Planos. • Historiales del desempeño de los equipos. • Descripciones de los controles, procedimientos de emergencia. • Reportes de problemas.
Diseño de la Planta	<ul style="list-style-type: none"> • Diagramas de tuberías e instrumentación. • Diagramas eléctricos. • Diagramas de controles lógicos. • Balances de Masa y energía. • Criterios para el diseño y operación. • Criterios para el establecimiento de temperaturas, presiones y materiales de construcción.

Tabla 3.9 Aplicación de checklist en el ciclo de vida de un proyecto

Etapa	Descripción
<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo y conceptualización 	Se pueden utilizar para identificar peligros potenciales, diseños de seguridad y áreas que tal vez requieran un estudio mayor posteriormente.
<ul style="list-style-type: none"> Construcción 	Verificar estándares de calidad, pruebas de la calidad y conformidad conforme al diseño.
<ul style="list-style-type: none"> Arranque o inicio 	Las listas ayudan al operador para alinear y preparar el proceso para dar inicio así como para probar la eficiencia del sistema.
<ul style="list-style-type: none"> Operación Normal 	Asegurarse que la planta se opera acorde con los procedimientos establecidos y que el personal en la planta realiza calibraciones periódicas.
<ul style="list-style-type: none"> Paros 	Las listas para estas operaciones deben incluir los procedimientos preeliminarios al paro para el mantenimiento, especificaciones si operaciones peligrosas han de ser realizadas. Acciones laterales si el proceso es en continuo

Tabla 3.10 Ejemplo de una lista de verificación

Lista de Verificación Operaciones Generales
1. Inventario de Control <ul style="list-style-type: none"> a. ¿Hay sustancias peligrosas almacenadas en algún lugar lejano? b. ¿El inventario local se encuentra en un nivel mínimo aceptable? c. ¿Existen detectores y alarmas para la detección de derrames o fugas?
2. Área de producción <ul style="list-style-type: none"> a. ¿Existen sustancias peligrosas almacenadas de manera adecuada durante el proceso? b. ¿Las áreas de almacenamiento se encuentran protegidas de tráfico u operaciones adyacentes? c. ¿La instrumentación del proceso ha tenido mantenimiento periódicamente?
3. Descargas de Intermediarios y Subproductos <ul style="list-style-type: none"> a. ¿Todas las sustancias peligrosas están correctamente identificadas? b. ¿Todas las descargas son monitoreadas? c. ¿Existen controles para prevenir descargas no controladas?

Las ventajas y desventajas de este análisis se encuentran en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Ventas y desventajas de una lista de verificación

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Es el método más sencillo de utilizar. • Fáciles de utilizar por el personal de un proyecto. • Requiere mínimo entrenamiento para su aplicación. • Las instrucciones se encuentran claramente definidas. 	<ul style="list-style-type: none"> • No jerarquiza los resultados. • Sólo identifica un problema ala vez, no sirve cuando un evento es resultado de la interacción de dos o más eventos. • No permite imaginación o intuición para resolver los problemas. • Se limita la efectividad a la efectividad de aquel que realizó la lista.

3.2.1.b. *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)*

El método de análisis de efectos y modos de fallo, examina individualmente los componentes que pueden fallar en el sistema y observar su efecto en el mismo, se enfoca especialmente a fallas en equipos físicos (hardware). Esto puede ser desde la perdida de una función en el equipo, funcionamientos no deseados, condiciones fuera de tolerancia o fallas como fugas. Este es un método cualitativo inductivo fácil de aplicar y directo (O'Mara, 1991).

Se documenta generalmente en forma tabular siguiendo un desarrollo progresivo. El valor de esta metodología depende de cómo responda o dependa el sistema o proyecto a la falla generada (Fullwood, 2002).

Este método utiliza en gran medida en diagramas de instrumentación y tuberías (P&ID), diagramas de sistemas eléctricos en línea (EOL), y si esta disponible una descripción del sistema.

También son de ayuda manuales de proveedores, entrenamiento y procedimientos de operación. Con todos estos elementos es necesario determinar el nivel de detalle con el que se desea realizar el estudio y esto producirá resultados más o menos detallados.

El método consiste en aplicar hacer fallar cada uno de los componentes y observar su efecto en el sistema desde lo mas general hasta lo particular, evaluación por evaluación de cada componente, completando el anterior antes de empezar uno nuevo.

Un estudio FMEA generalmente engloba la información de la Tabla 3.12

Tabla 3.12 Elementos para la realización de un FMEA

Elemento	Descripción
<ul style="list-style-type: none"> Identificación del componente y el sistema que afecta. 	<p>Debe ser un título descriptivo.</p> <p>Debe estar numerado para ser identificado en los diagramas de la planta.</p> <p>Debe indicar a que parte de los subsistemas o sistema pertenece.</p>
<ul style="list-style-type: none"> El modo de fallo seleccionado: la causa de la falla 	<p>Descripción de la falla, debe ser concisa y debe incluir la naturaleza de la falla. La falla debe ser realista, las fallas deben ser ordenadas según la probabilidad de ocurrencia.</p>
<ul style="list-style-type: none"> El efecto de la falla en los subsistemas o el sistema. 	<p>Es la columna más importante y debe ser evaluada multidisciplinariamente, no sólo considerar las fallas mecánicas que ocasionara, sino también eléctricas, efectos en los parámetros de control del proceso.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Método de detección: diagnósticos disponibles. 	<p>Debe asegurarse que todos los instrumentos que puedan ofrecer información acerca de las fallas estén disponibles y sean capaces de detectar el mayor número de información que otorgue el fallo.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Respuesta del sistema o el operador: comentarios informativos. 	<p>Si los controles automáticos son capaces de reparar la falla sin pérdidas de funcionamiento en el sistema debe ser documentado. Debe procesarse objetivamente las habilidades del operador para responder ante la falla, ya sea porque esta suceda muy rápidamente o sea difícil de controlar para el operador.</p>

Las ventajas y desventajas de este método se expresan en la Tabla 3.13

Tabla 3.13 Ventajas y desventajas del FMEA

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> Poco tiempo de realización del estudio. Revela rápidamente fallas graves cuando se realiza adecuadamente. Fácil de interpretar por el personal de trabajo. Fácil construcción a nivel de componentes. 	<ul style="list-style-type: none"> Sólo identifica un problema a la vez, no sirve cuando un evento es resultado de la interacción de dos o más eventos. No desarrolla suficiente información para una base uniforme para una cuantificación de efectos del sistema. Para una alta efectividad requiere un alto grado de experiencia por quienes lo realizan.

3.2.1.c. Árboles de decisión

Esta herramienta es un modelado lógico que se utiliza para determinar los ¿Qué? y ¿Cómo? De un evento indeseado a ocurrir. Fue desarrollado por los Laboratorios Bell en 1960 para la producción de los misiles Polaris.

Los árboles de decisión pueden utilizarse para contabilizar las fallas en un componente o en el desempeño de los trabajadores para determinar que tan seguido puede ocurrir un evento.

Estos métodos requieren de un conocimiento básico o intermedio de algebra booleana, así como de conocer los diferentes simbologías para la construcción de estos árboles.

Los elementos de decisión deben de ser contruidos de manera sistemática con el objetivo de poder realizar decisiones en el proceso. Estos árboles sirven para representar el espectro de posibles resultados provenientes de las decisiones, y puede representar los posibles secuencias precursoras para que un evento no deseado se efectué.

También puede ser utilizado para observar los elementos que ocasionaron un accidente. Los resultados de este tipo de análisis se expresa en reducir los árboles a sus mínimas expresiones para poder determinar y priorizar los componentes críticos y aquellas causas que pueden causar un malfuncionamiento en ellos.

La Tabla 3.14 indica cuando se puede utilizar los árboles de decisión.

Tabla 3.14 Motivos por los cuales utilizar árboles de decisión

• Se sospecha que un evento es ocasionado por más de un evento.
• Cuando un evento no se deseado puede ser evitado por mas de una acción.
• Cuando existen gran interacción entre los sistemas.
• Cuando se necesita la frecuencia con el que un evento se lleva acabo.

Las ventajas y desventajas de este método se listan en la Tabla 3.15

Tabla 3.15 Ventajas y desventajas de los árboles de decisión

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Permiten visualizar la interacción de dos o más eventos. • Da resultados jerarquizados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere conocimiento previo en otras áreas y un grado de especialización mas elevado. • Alto costo de elaboración. • Puede necesitar iteraciones para proveer resultados.

3.2.1.d. ¿Que pasa si...? (What if?)

Este método es de los más sencillos para realizar un análisis de riesgos. Esta técnica no requiere de métodos cuantitativos especiales, en él se identifican peligros, situaciones peligrosas, accidentes con consecuencias indeseables. El método utiliza información de entrada especifica para el sistema para generar una lista preguntas en forma de lista de control.

Un equipo especializado prepara esta lista de preguntas, denominadas preguntas What if, que deben ser resueltas en forma colectiva. Las preguntas generan posibles tablas de accidentes, sus consecuencias, márgenes de seguridad y mitigación, sin embargo los accidentes no se jerarquizan o evalúan.

Un análisis de What if debe incluir el estudio sistemático de los puntos listados en la Tabla 3.16

Tabla 3.16 Elementos par ala elaboración de un análisis What if?

• Procesos actualizados de la industria química.
• Procedimientos de operación.
• Procedimientos de mantenimiento.
• Descripción del trabajo del operador.
• Diagramas del Proceso.
• Diagramas de instrumentación y tuberías.
• Inventarios de químicos resguardados en el lugar.
• Otros documentos acerca del diseño de la planta.
• El estudio debe ser realizado por un equipo multidisciplinario.
• La lista de preguntas a resolver deben ser preparadas con anterioridad.
• Las preguntas deben ser preparadas en conferencia o independientes.

Este análisis debe ser llevado acabo por un equipo multidisciplinario, las preguntas deben ser resueltas con el mínimo de ayuda externa, los resultados deben ser mostrados en forma tabular. Las ventajas y desventajas de este método se encuentran en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17 Ventajas y desventajas del análisis What if?

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • No necesita de técnicas especializadas. • Puede realizarse en cualquier momento en el proyecto. • Poco costoso. • Los resultados se presentan de forma tabular. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de un equipo de personas. • Depende fuertemente del trabajo en equipo, intuición e imaginación. • Subjetivo no es sistemático. • Resultados cualitativos, pero sin jerarquización numérica. • Los resultados pueden ser incompletos.

3.2.2. **Métodos Cuantitativos**

Algunos de los métodos cuantitativos utilizados se listan en la Tabla 3.18 aunque no son los únicos existentes en la industria.

Tabla 3.18 Métodos Cuantitativos

• Estudios de Operabilidad y Riesgos (HAZOP)
• Índice Dow de Explosiones e Incendios
• Índice Mond de Explosiones, Incendios y Toxicidad

3.2.2.a. **HAZOP o Estudios de Operabilidad y Riesgos**

Un estudio HAZOP es una metodología simple para la identificación de riesgos. Es un programa que permite al usuario un pensamiento creativo para la identificación de riesgos y problemas de operación.

El HAZOP envuelve una examinación sistemática, metódica, de documentos de diseño que describan un proceso o proyecto, esta herramienta fue desarrollada por la industria de procesos químicos y estandarizado por la Internacional Chemical Industries (ICI).

El método tiene que ser llevado a cabo por un equipo multidisciplinario para identificar los riesgos y problemas de operación que puede resultar de un accidente. Las desviaciones de los valores de diseño de parámetros clave se estudian, utilizando palabras clave de flujos, temperaturas, y otras variables de proceso inherentes para la operabilidad y seguridad del proceso.

Los usos de este estudio del HAZOP son listados por Sherrod en la Tabla 3.19

Tabla 3.19 Uso del HAZOP

<ul style="list-style-type: none"> • Proveer una acción con el conocimiento de dónde pueden existir peligros potenciales, para proveer una forma de hacer recomendaciones potenciales para el diseño de plantas y modificaciones a los procedimientos.
<ul style="list-style-type: none"> • Proveer información relacionada con la seguridad acerca de cada parte de la planta, que es de gran utilidad para futuras modificaciones.
<ul style="list-style-type: none"> • Proveer bases jerarquizadas para posteriores análisis de riesgos.

Para esta metodología es importante definir el término riesgo y operabilidad, siendo el primero de ellos cualquier cosa (reacción química, malfuncionamiento de una máquina u error del operario) que puede llevar a que sucede un evento no deseado, el segundo término corresponde a cualquier cosa que provoque que el operador improvise en sus acciones.

Un análisis de este tipo puede resultar en una pérdida de tiempo si la información del proceso no se encuentra actualizada o si los requerimientos básicos de seguridad son ignorados. Los integrantes de un equipo HAZOP según Fullwood deben asegurarse que los puntos de la Tabla 3.20 sean completados.

Tabla 3.20 Puntos para el análisis HAZOP

<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar el sistema o proceso que se analizara.
<ul style="list-style-type: none"> • Asegurar que todas las áreas de conocimiento necesarias se encuentran representadas por el equipo.
<ul style="list-style-type: none"> • Proveer toda la información necesaria que se requiera para realizar el análisis.
<ul style="list-style-type: none"> • Identificar como resolver todos los problemas técnicos.
<ul style="list-style-type: none"> • Asegurarse que las sesiones HAZOP son documentadas.
<ul style="list-style-type: none"> • Proveer experiencia en el área que representan.
<ul style="list-style-type: none"> • Resolver los problemas que se asignen.

La realización de un estudio HAZOP pueden provenir debido a un accidente o incidente que dejara daños sustanciales o porque una agencia gubernamental o institucional así lo requiera para la operación de un proceso.

El método se basa en palabras guía del proceso que se desvíen de las operaciones normales del proceso.

Algunas de las palabras “guía” básicas de este método así como la desviación de su operación se listan en la Tabla 3.21

Tabla 3.21 Palabras “guía”, operación y significado

Palabra Guía	Desviación de Operación			Significado
Sin	Sin flujo Flujo inverso Sin reacción			Negación de intención
Incremento	Incremento de flujo Incremento de presión Incremento de temperatura Incremento de velocidad de reacción			Aumento cuantitativo
Reducción	Reducción de flujo Reducción de presión Reducción de temperatura Reducción de velocidad de reacción			Decremento cuantitativo
Otras	Arranque Apagado Alivio	Instrumentación Muestreo Corrosión	Mantenimiento Erosión Terremoto	Sustitución completa

Para comenzar con este análisis es necesario tener alguno o todos los elementos de la Tabla 3.22 (Sherrod).

Tabla 3.22 Elementos para la elaboración de un análisis HAZOP

<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que todo esta construido como en los diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID).
<ul style="list-style-type: none"> • Verificar los límites establecidos por los (P&ID).
<ul style="list-style-type: none"> • Listar los documentos necesarios <ul style="list-style-type: none"> ○ P&ID ○ Diagramas de flujos de proceso. ○ Descripción del proceso. ○ Manuales de operación y procedimiento. ○ Información de los materiales procesados. ○ Especificaciones de los equipos y materiales.
<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos esperados para la revisión para analizar cada hoja de P&ID.
<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la técnica de documentación.
<ul style="list-style-type: none"> • Listar las abreviaciones y acrónimos utilizados.

Después de tener todos los elementos necesarios básicos es necesario establecer una agenda HAZOP los elementos básicos que debe tener una agenda HAZOP se listan en la Tabla 3.23 (Early)

Tabla 3.23 Ejemplo de agenda HAZOP

<ul style="list-style-type: none"> • Introducir a los miembros de los equipos.
<ul style="list-style-type: none"> • Indicar cual es la metodología HAZOP a los integrantes del equipo.
<ul style="list-style-type: none"> • Investigar y determinar las propiedades de materiales altamente riesgosos (AHM).
<ul style="list-style-type: none"> • Identificar los riesgos.
<ul style="list-style-type: none"> • Definir el propósito o meta del estudio HAZOP.
<ul style="list-style-type: none"> • Establecer la escala de frecuencias y eventos críticos de los materiales peligrosos.
<ul style="list-style-type: none"> • Definir los escenarios posibles de la dispersión de sustancias químicas peligrosas y modelos que los representen.
<ul style="list-style-type: none"> • Descripción del proceso.
<ul style="list-style-type: none"> • Método para documentar las sesiones HAZOP.
<ul style="list-style-type: none"> • Reuniones del equipo HAZOP, para discutir y completar el análisis.
<ul style="list-style-type: none"> • Reporte interno
<ul style="list-style-type: none"> • Reporte HAZOP, debe estar completo y debe incluir las acciones que se pueden seguir.

Cuando se tiene definidos todos los elementos anteriores esencialmente el AHM, se debe definir el campo de acción del estudio, así como la meta. En base a estas propiedades se deben establecer la escala de criticalidad y frecuencia.

Un ejemplo común de la escala crítica y de frecuencias se ejemplifica en la Tabla 3.24 (Fullwood)

Tabla 3.24 Escala de Criticalidad

I	Catastrófico	<ul style="list-style-type: none"> • Muerte en el lugar o causa del evento no deseado. • Daños o pérdidas mayores a \$1,000,00
II	Severo	<ul style="list-style-type: none"> • Lesiones múltiples. • Daños o pérdidas entre los \$100,000 y \$1,000,000
III	Moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Lesiones sencillas. • Daños o pérdidas entre los \$100,000 y \$1,000,000
IV	Leve	<ul style="list-style-type: none"> • Sin lesiones • Daños o pérdidas menores a \$10,000
Frecuencias		
A	Ocurre más de una vez al año.	
B	Ocurre entre 1 y 10 años.	
C	Ocurre entre 10 y 100 años.	
D	Ocurre entre 100 y 10,000 años.	
E	Ocurre menos de una vez cada 10,1000 años.	

Con este tipo de tablas se prepara una matriz de riesgos para definir su escala en base a que tan aceptables o cuan mínimamente se puede aceptar un hecho. Un ejemplo básico de una matriz de riesgos puede ser la representada en al Tabla 3.25, los valores deben ser asignados por el equipo HAZOP en base a la gravedad y la experiencia.

Tabla 3.25 Matriz de Riesgos

		Frecuencia				
		A	B	C	D	E
Criticalidad	I	1	1	1	2	4
	II	1	2	3	2	4
	III	2	3	4	4	4
	IV	3	4	4	4	4

Una vez construida la tabla es necesario determinar y definir las acciones para mitigar o corregir los eventos no deseados la tabla debe ser realizada por el equipo HAZOP, un ejemplo se presenta en la Tabla 3.26.

Tabla 3.26 Escalas y acciones de un análisis HAZOP

Escala	Descripción	Acción necesaria
1	Inaceptable	Debe ser corregida con ingeniería o controles administrativos, en un periodo menor a 6 meses.
2	Indeseable	Debe ser corregido con ingeniería o controles administrativos en un periodo menor a 12 meses.
3	Aceptable con control	Debe verificarse que los controles y procedimientos están siendo hechos correctamente.
4	Aceptable tal como es	No necesita corrección

Una vez determinados estos valores, el equipo HAZOP hace un recorrido por toda la planta o procesos para auditarla y comenzar el análisis. Una vez con este recorrido el equipo realiza el HAZOP segmento a segmento por toda la planta evaluándola, y reportando los valores en un programa HAZOP. Una vez terminada la evaluación se realiza un reporte interno que incluya los elementos de la Tabla 3.27.

Tabla 3.27 Elementos del reporte interno HAZOP

• Identificación HAZOP.
• Lista de miembros del equipo.
• Referencias documentales utilizadas.
• Formas utilizadas durante la revisión.
• Lista de riesgos preeliminados identificados.
• Matriz de riesgos y su base.
• Formas de riesgos de categoría 1.
• Formas de riesgos de categoría 2.

Una vez realizado el reporte interno es necesario elaborar el reporte final, que debe incluir la información necesaria para demostrar los pasos básicos que se siguieron. En algunos casos y lugares las leyes, o agencias gubernamentales o institucionales piden a las compañías realizar y auditar estudios HAZOP cada 5 años, o en tiempos menores según el tipo de instalación y proceso.

Algunos de los elementos básicos que debe tener un reporte HAZOP se listan en la Tabla 3.28.

Tabla 3.28 Elementos mínimos de un reporte HAZOP final

Elemento	Contenido
<ul style="list-style-type: none"> Propósito y campo de acción definido. 	Debe ser una oración que determine el propósito y campo.
<ul style="list-style-type: none"> Miembros clave presentes. 	Lista de participantes, evaluación así como su participación.
<ul style="list-style-type: none"> Documentación disponible. 	Debe ser la documentación que fue la base para la revisión en equipo. Así como referencias externas utilizadas.
<ul style="list-style-type: none"> Formatos utilizados. 	Deben ser formatos estandarizados, con preguntas claves así como sus respuestas, para cada segmento analizado.
<ul style="list-style-type: none"> Cuestionarios minuciosos. 	Todos los segmentos deben tener un formato contestado y lleno.
<ul style="list-style-type: none"> Identificaciones preliminares de riesgos. 	Lista de todos los riesgos preliminares encontrados durante el estudio.
<ul style="list-style-type: none"> Evaluación Crítica. 	Debe incluir la base utilizada para la matriz de riesgos.
<ul style="list-style-type: none"> Documentación utilizada. 	Toda la información usada así como la documentación asimilada.
<ul style="list-style-type: none"> Procedimientos analizados. 	Lista de todos los procedimientos con fecha, revisión, y número.
<ul style="list-style-type: none"> Materiales altamente peligrosos (AHM), y datos de seguridad utilizados. 	Lista de todos los elementos, propiedades de las sustancias peligrosas.
<ul style="list-style-type: none"> Instrumentaciones analizadas. 	Lista y revisión de todos los efectos adversos en los instrumentos analizados.
<ul style="list-style-type: none"> Información actualizada. 	Deben incluir fechas, versiones de los documentos utilizados.
<ul style="list-style-type: none"> Investigaciones de causa minuciosas. 	Debe incluir todos los elementos críticos identificados, así como la investigación para la aplicación de acciones de mitigación.
<ul style="list-style-type: none"> Elementos adicionales. 	Lista de abreviaciones, acrónimos y otros términos técnicos utilizados.

Esta metodología como todas las anteriores posee ventajas y desventajas las cuales se listan en la Tabla 3.29 (Fullwood).

Tabla 3.29 Ventajas y desventajas de un análisis HAZOP

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> Ofrece un análisis detallado de todo el proceso. Pocos cuestionamientos del proceso pueden ser hechos si se incluye toda la información necesaria. Es requerido por muchas instancias gubernamentales e institucionales. 	<ul style="list-style-type: none"> Alto costo de operación. Se requiere un gran equipo. Se necesita mucho tiempo para su elaboración desde un día hasta 54 días, dependiendo de la complejidad del análisis. Las sesiones HAZOP son largas y cansadas.

3.2.2.b. Índice Dow de Explosiones e Incendios.

El índice DOW para riesgos de fuego y explosión fue diseñado por la DOW Chemical Company en 1987, con la finalidad de calcular el máximo número de días probables en que una Unidad de proceso quede fuera de operación. Este método sirve principalmente en etapas posteriores de diseño, cuando ya se conocen los equipos, sustancias químicas a utilizar y las condiciones de operación.

Para llevar a cabo este tipo de análisis es necesario contar mínimo con la información de la Tabla 3.30.

Tabla 3.30 Información necesaria para un análisis de Índice DOW

• Un diagrama completo de la planta o de la unidad a estudiar.
• Diagramas del proceso o del funcionamiento de la unidad.
• Datos de los costos de la planta o de la unidad analizada.
• Formatos, gráficas actualizados de la edición más reciente de: Dow Fire and Explosion Hazard Classification Guide.

Las principales contribuciones del índice DOW se muestran en la Tabla 3.31

Tabla 3.31 Principales Propósitos del índice DOW

• Cuantificar el daño esperado, proveniente de posibles fuentes de incendio y explosión en términos reales.
• Identificar el equipo o equipos que pueden contribuir a la creación o aumento de un incidente.
• Comunicar el potencial de fuego y explosión a la gerencia.

El índice DOW se calcula como

$$IFE = F3 * FM \dots \dots \dots (Ec. 3.2)$$

Donde;

F3: Factor de Riesgo de la Unidad.

FM: Factor Material.

$$F3 = F1 * F2 \dots \dots \dots (Ec. 3.3)$$

Dónde;

F1: Factor de riesgos generales del proceso.

F2: Factor de riesgos especiales del proceso.

El índice DOW es resultado del cálculo del Factor Material por Unidad de Proceso, considerando primero aquellas que se identifiquen como las de mayor impacto o contribuyan más al riesgo de fuego o explosión. Para el uso del índice DOW se sigue el siguiente procedimiento.

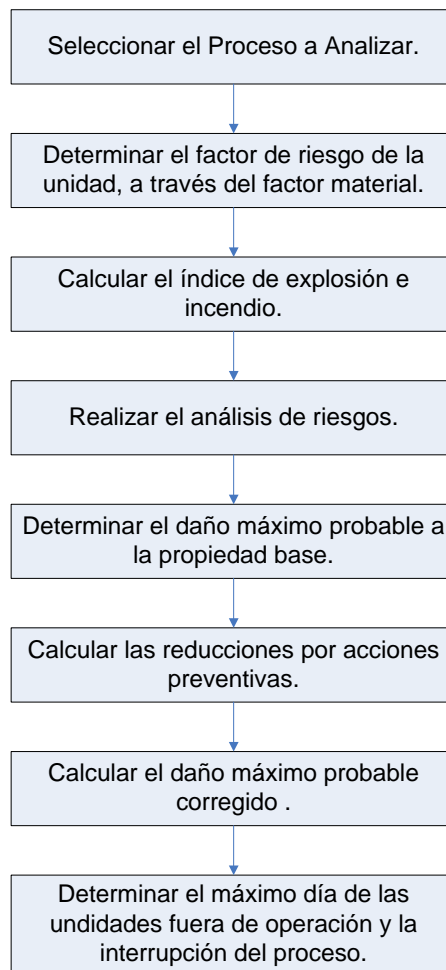


Figura 3.1 Diagrama de bloques en la realización de un estudio de Índice de DOW

En este análisis una Unidad de Proceso pueden ser secciones de proceso tales como: unidades de alimentación, almacenamiento, precalentamiento, reacción entre otras o se puede considerar equipos específicos tales como reactores, tanques, columnas de destilación etc.... El análisis DOW debe aplicarse a todas aquellas unidades en donde exista un gran impacto en el riesgo de incendio o explosión según el material utilizado en la unidad.

El factor material es el valor más importante en el índice de DOW ya que este es una medida de la intensidad de energía liberada por un compuesto químico, mezcla o sustancia y es el punto de partida para el cálculo del índice de fuego y explosión. El factor material se obtiene a través de la reactividad y flamabilidad de las sustancias.

Los valores que puede adquirir el Factor Material varían entre 1 y 40 y existen listas de materiales ya especificadas para el índice DOW, si se utiliza una sustancia no listada existen diferentes procedimientos para el calculo del Factor Material.

El cálculo del factor Material toma en cuenta los métodos de la Tabla 3.32

Tabla 3.32 Cálculo del Factor Material

Sustancias	Método
Gases, Líquidos ó Sólidos	a) Usar las normas de la Asociación Nacional de Protección contra Fuego de Estado Unidos de Norteamérica (NFPA) 49 y 235. Encontrar Nf (riesgo de inflamabilidad) y Nr (riesgo de reactividad). b) Usar las propiedades termodinámicas de calor de combustión o calor aparente de combustión del material.
Polvos	<ul style="list-style-type: none"> • Se basa en la máxima velocidad de incremento de presión alcanzada, definida como la velocidad de aumento de presión de explosión para el intervalo de tiempo de ese aumento.
Mezclas de Compuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtiene a través de los datos de la mezcla (punto de flama, temperatura adiabática de descomposición

En el cálculo de Riesgos Generales del Proceso se incrementa la magnitud de un probable incidente por lo que deben ser revisados en relación con la unidad evaluada y evaluar los factores adecuados. Las unidades o procesos y los elementos que se deben analizar se listan en la Tabla 3.33. Cada uno de los elementos analizados se les asigna un valor numérico establecido en la metodología del Índice DOW y al final el resultado para F1 es la sumatoria de todos los factores en los riesgos generales de proceso.

En el cálculo de Riesgos Especiales del Proceso se incrementa la magnitud de un probable incidente por lo que deben ser revisados en relación con la unidad evaluada y evaluar los factores adecuados. Las unidades, procesos y elementos que se deben analizar se listan en la Tabla 3.34. Cada uno de los elementos analizados se les asigna un valor numérico establecido en la metodología del Índice DOW y al final el resultado para F2 es la sumatoria de todos los factores en los riesgos especiales de proceso.

Tabla 3.33 Elementos del Índice DOW para riesgos generales de proceso

Unidad/Proceso	Elementos
Reacciones exotérmicas	<ul style="list-style-type: none"> • Reacciones de Hidrogenación, Hidrólisis, isomerización, Sulfonación, Neutralización. • Reacciones de Alquilación, Estereificación, Oxidación, polimerización. • Reacciones de Halogenación. • Reacciones de Nitración
Reacciones endotérmicas	<ul style="list-style-type: none"> • Reacciones Endotérmicas en general. • Reacciones que necesiten una fuente de calor para sostener la reacción, y sea proporcionada por combustibles.
Manejo y Transferencia de Materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Carga y descarga de líquidos inflamables o gas LP, actividades de conexión o desconexión. • Uso de centrifugas, reacciones batch, o mezclado en batch.
Bodegas y patios de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Líquidos inflamables • Sólidos combustibles
Unidades de Procesos Cerradas	<ul style="list-style-type: none"> • Si existen colectores o filtros para polvos explosivos. • Se contienen líquidos inflamables.
Acceso con equipo de emergencia al Área de Proceso	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe llegar a la unidad del proceso con equipo de emergencia y combate de incendio al menos por 2 vías distintas.
Drenaje	<ul style="list-style-type: none"> • Un drenaje inadecuado produce perdidas por fuego cuando se produce un derrame de inflamables.

Tabla 3.34 Elementos del Índice DOW para riesgos especiales de proceso

Unidad/Proceso	Elementos
Temperatura del proceso	<ul style="list-style-type: none"> • Si la temperatura del proceso o condiciones de manejo de materiales, se encuentran sobre el punto de flama de los materiales utilizados. • Si la temperatura del proceso o condiciones están sobre el punto de ebullición de los materiales. • Materiales con baja temperatura de autoignición o pirofóricos.
Baja Presión	<ul style="list-style-type: none"> • Cualquier proceso en que la entrada de aire al sistema pueda ser un riesgo.
Presión	<ul style="list-style-type: none"> • Unidades de proceso que operan a alta presión y tienen dispositivos de alivio.
Baja temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando el equipo esta elaborado en acero al carbón a temperaturas de transición.
Cantidad de material inflamable	<ul style="list-style-type: none"> • Líquidos inflamables o combustibles en etapas del proceso. • Líquidos o gases de almacenamiento. • Sólidos combustibles de almacenamiento.
Corrosión y Erosión	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe considerar corrosión interna y externa.
Fugas, Juntas y Empaques	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los problemas que se puedan relacionar con fugas, en empaques y juntas.
Equipo calentado con fuego directo	<ul style="list-style-type: none"> • Localización de equipos calentados con fuego directo, válvulas de alivio en cada uno de ellos, utilizando la distancia entre los equipos y la unidad de proceso evaluada.

Para determinar el Riesgo de Factor de la Unidad F3, es el producto del factor de riesgos generales del proceso F1 y los riesgos especiales del proceso F2. El factor de riesgo de la unidad, es la medida del daño probable y posee valores entre 1 a 8.

El índice DOW de Fuego y Explosión (IFE), es la probabilidad del daño de un fuego o explosión al área determinada por el radio de exposición y se calcula multiplicando el factor material por el factor de riesgo de la unidad. El resultado de esta operación da valores desde 1 hasta más de 158, y según la DOW Chemical Company la Tabla 3.35 lista el riesgo según el valor del IFE.

Tabla 3.35 Valores del Índice de Fuego y Explosiones

IFE	Tipo de Riesgo
1-60	Ligero
61-96	Moderado
97-127	Intermedio
128-158	Grave
Más de 158	Severo

Una vez calculado el IFE se calcula el Daño Máximo Probable a la Propiedad Base (DMPP), que consisten en el valor de reemplazo del equipo dentro del área de exposición del siniestro.

Una vez realizados todos los cálculos del DMPP se realizan y se observan los factores de corrección correspondientes a medidas de control de perdidas, estas medidas se listan en la Tabla 3.36

Tabla 3.36. Factores de corrección para el IFE

Medidas	Elementos
Control de Proceso	<ul style="list-style-type: none"> • Energía de emergencia para servicios esenciales. • Sistemas de enfriamiento automáticos de emergencia. • Control de explosiones. • Paro de emergencia. • Controles por computadora del proceso. • Uso de gas inerte para bloquear vapores inflamables. • Instrucciones de Operación de las unidades.
Aislamiento de material	<ul style="list-style-type: none"> • Válvulas de control remoto, que aislen tanques de almacenamiento o de proceso. • Descargas a vertederos y trincheras capaces de manejar un mínimo del 75% del contenido del proceso. • Interlock que prevenga la mezcla de material no deseado o incorrecto.
Protección contra Incendio	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de fugas, si se cuenta con detectores de vapores. • Tanques recubiertos con doble envolvente capaces de contener las cargas totales del tanque. • Suministro de agua a presión para contra incendio. • Sistemas especiales de polvo seco, CO₂, temperatura e ionización. • Sistemas de rociadores secos o húmedos.

Una vez obtenidos los resultados de los controles contra perdida se calcula el DMPP actual corregido, al multiplicar el resultado de los controles contra perdidas. Finalmente se

calcula el máximo número de días probables fuera de operación (MDDFO). El MDDFO es una función del DMPP, el valor se obtiene a través de graficas de correlación de ambas funciones.

Obtenidos todos los datos se concentran los resultados en forma de reporte de Análisis de Seguridad de Proceso que debe incluir el Factor de Riesgo, Factor Material, IFE, Factor de daño, DMPP, Factor de corrección, DMPP actual y MDDFO.

Una vez completado este análisis, el analista y la empresa deben estar precavidos de las perdidas potenciales reales del proceso o unidad analizada. Sin embargo este proceso no es tan exhausto o detallado como el HAZOP y sólo toma en cuenta la unidad analizada y no las consecuencias con las unidades aledañas.

3.2.2.c. Índice Mond de Explosiones, Incendio y Toxicidad.

El desarrollo de esta herramienta proviene de la división Mond de la Imperial Chemical Industries en 1979, a través del uso del índice DOW ya que puede ser utilizado de manera analítica para la evaluación de un proceso.

Sin embargo la división Mond agregó consideraciones acerca de toxicidad. Un elemento muy importante del índice Mond es que realiza preguntas acerca de los potenciales peligros en etapas iniciales del diseño de procesos. El índice de Mond es muy útil si se desea reducir el valor del índice para el mayor ahorro de costos con la menor inversión posible.

El siguiente esquema es útil al definir los pasos a seguir par ala realización del análisis del Índice de Mond.

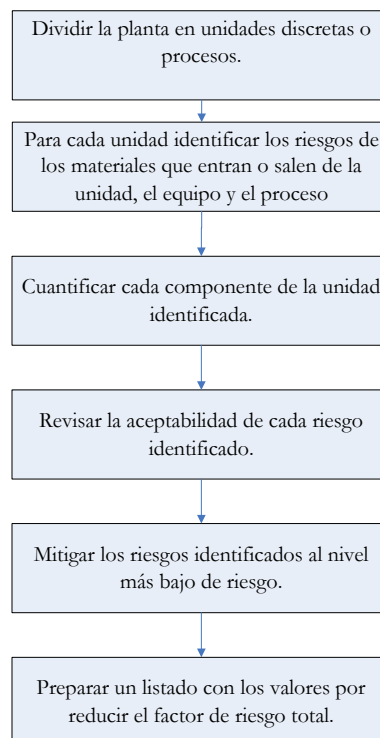


Figura 3.2 Diagrama de bloques del análisis de Índice Mond de Explosiones, Incendio y Toxicidad

Primero se debe dividir la planta en secciones para facilitar la realización de los cálculos, generalmente se prefiere que la sección se encuentre separada del resto de las

instalaciones por diques, barreas contra fuegos o por la presencia de un riesgo material. Los tipos más comunes de secciones se presentan en la Tabla 3.37.

Tabla 3.37 División mas común de secciones en una planta

• Almacenamiento de materias primas.
• Sección de alimentación.
• Sección de reacción.
• Destilación de productos.
• Almacenamiento intermedio y de productos.
• Tratamiento de productos, materia prima.
• etc....

Con la planta dividida en secciones es posible establecer los riesgos individuales de cada sección, y evitar que varios equipos se encuentren caracterizados por el equipo más peligroso entre ellos, evitando así que se incurran en gastos mayores para reducir el valor del índice. Una parte importante del proceso es definir las secciones cuidadosamente evitando que algún equipo pase los límites entre secciones.

Con los límites definidos se procede a listar el material de cada sección de la planta, así mismo se listan las reacciones u operaciones utilizadas. Se selecciona de entre todos los materiales el que represente mayor riesgo para la unidad, el material con mayor riesgo generalmente se basa en el grado de inflamabilidad de un material combinado con los demás.

La determinación del Factor Material es el primer paso para el cálculo del Índice de Mond, se deben observar los materiales y después de establecer el material con mayor riesgo realizar el cálculo basado en este material.

El Factor Material se define como la medida de fuego, explosión o energía potencial liberada por el material clave a una temperatura de 25°C y presión atmosférica.

Para el cálculo del Factor Material existen las siguientes divisiones de materiales mostradas en la Tabla 3.38 los valores para cada uno de estos elementos se encuentran en la Tabla 4.2

Tabla 3.38 Elementos para el cálculo del Factor Material

Material	Elementos
Materiales normalmente flamables	<ul style="list-style-type: none"> Calor neto combustible en aire a 25°C
Materiales poco flamables	<ul style="list-style-type: none"> Aun cuando el material tenga poca flamabilidad o se consideren no flamables, en situaciones de transporte no debe considerarse como cero, en su lugar se hace referencia a los calores de formación y sus productos de combustión.
Materiales no combustibles	<ul style="list-style-type: none"> Si el material no da calor de combustión con oxígeno.
Materiales inflamables con diluyentes	<ul style="list-style-type: none"> Se utiliza el FM del componente más combustible.
Combinaciones de materiales que pueden reaccionar	<ul style="list-style-type: none"> Combinación de materiales en el que la cantidad de calor que se libere excede el valor de combustión del material flamable.
Materiales que tienen potencia de explosión o descomposición.	<ul style="list-style-type: none"> Se debe establecer si el calor neto de combustión neto es mayor o menos que el calor liberado durante la explosión o descomposición.

En el Índice de Mond existen riesgos especiales del proceso que se deben tomar en cuenta, ya que los se sabe que en unidades especiales se han de tener medidas preventivas para neutralizar riesgos, deben de omitirse en la estimación inicial de las secciones de la planta, sistemas como interlocks, analizadores de gas, sistemas de venteo etc....

En etapas posteriores del análisis se toman en cuenta todas estas medidas y se asignan factores para ellas.

Para el cálculo de Riesgos Especiales del Material que tiene por objeto tomar en cuenta las propiedades especiales del material clave o cuando se mezcla con otros materiales como catalizadores en al sección.

El criterio para usar los Factores Especiales del Material, deben tomarse en cuenta las circunstancias del uso del material clave. Los factores especiales para un material pueden variar dependiendo de las unidades en las que se utilicen.

La Tabla 3.39 muestra los elementos a contabilizar en los Factores de Riesgo Especiales de Material y las condiciones en que se utilizan, los valores que pueden ser asignados a cada uno de los elementos y condiciones se encuentran en la Tabla 4.3.

Tabla 3.39 Elementos para el cálculo de Factores de Riesgos Especiales de Material

Factores de Riesgo Especiales	Condiciones
Materiales oxidantes	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando en la sección se utiliza un material que sea capaz de liberar oxígeno bajo condiciones de fuego. Debe relacionarse la cantidad de material oxidante con respecto al material clave y su poder oxidante.
Materiales que reaccionan con agua para producir gas combustible.	<ul style="list-style-type: none"> • A los materiales que en estado normal o a elevadas temperaturas de fuego reaccionan con agua para liberar gas combustible.
Características de Mezclado y Dispersión	<ul style="list-style-type: none"> • El grado de riesgo representado por el material clave está en función de si se trata de un gas denso o ligero, líquido inflamable, gas licuado inflamable, material viscoso etc...
Sujetos a calentamiento espontáneo	<ul style="list-style-type: none"> • Todos aquellos materiales que puedan desarrollar efectos de calentamiento durante el almacenamiento o uso, deben ser incluidos.
Polimerización Espontánea	<ul style="list-style-type: none"> • Para materiales que se pueden polimerizar espontáneamente con rápido desprendimiento de calor, cuando se sobrecalientan por fuego o contaminación bajo condiciones normales de almacenamiento.
Sensibilidad a la Ignición	<ul style="list-style-type: none"> • La sensibilidad del material clave a la ignición con aire como oxidante.
Sujetos a descomposición explosiva	<ul style="list-style-type: none"> • Una descomposición explosiva se define como una reacción acompañada por la liberación de grandes cantidades de gases calientes que sucede con rapidez suficiente para ser visible a un espectador.
Sujetos a detonación gaseosa	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales que pueden dar lugar a detonación gaseosa bajo las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> ○ Condiciones normales de proceso. ○ Con el equipo específico involucrado. ○ Cuando es necesario depende de instrumentación.
Propiedades explosivas de la fase condensada.	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades propulsoras y detonantes explosivas de la fase condensada del material clave. Cuando el material tiene propiedades deflagrantes o de propulsión.

También deben tomarse en cuenta los riesgos generales que existen en el proceso, y que son del tipo básico con respecto a la operación que se efectuó en la unidad seleccionada.

En la Tabla 3.40 se especifican los riesgos generales del proceso y los elementos que la componen, los valores asignados a cada una de estas posibilidades de encuentran en la Tabla 4.4

En el cálculo de Riesgos Especiales del Proceso incrementa la magnitud de un probable incidente por lo que deben ser revisados en relación con la unidad evaluada y evaluar los factores adecuados.

Los riesgos especiales del proceso se listan a continuación en la Tabla 3.41, los valores asignados a los riesgos especiales del proceso se listan en la Tabla 4.5

También se deben tomar en cuenta los riesgos por cantidad arreglo de equipos cuando se maneja material inflamable.

Dentro de los factores por arreglo de equipos se toma en cuenta el diseño de las estructuras que incluyen factores que no se pueden prever en un análisis preliminar.

Hasta este punto el Índice Dow y Mond son muy parecidos en cuanto a la forma de separar los procesos y estudiarlos pero es en el punto acerca de los Riesgos de Toxicidad donde varía, y es que los riesgos de la salud pueden variar en el grado como en la forma en que se presentan.

Algunos son identificables cuando el proceso no funciona correctamente, mientras que otros se pueden presentar de manera continua como resultado de fugas en juntas, empaques, venteos etc... otros riesgos para la salud pueden producirse por asfixiantes tales como nitrógeno, metano, dióxido de carbono, etc...

Tabla 3.40 Elementos para el cálculo de Factores de Riesgos Generales de Proceso

Riesgos Generales del Proceso	Elementos
Manejo y cambio físico	<ul style="list-style-type: none"> • El almacenamiento de materiales inflamables, provisto de protección adecuada. • Material que se almacena esta caliente y tiene una fase acuosa separada, y/o el recipiente de almacenamiento está calentado a vapor. • Operaciones de proceso de manejo y cambio físico, que se llevan acabo en sistemas cerrados con tuberías instaladas permanentemente. • Procesos de centrifugado, mezclado batch, filtraciones.
Reacciones continuas simples	<ul style="list-style-type: none"> • Reacciones endotérmicas y las exotérmicas que se efectúan en soluciones diluidas de manera que el solvente se pueda absorber. • Reacciones exotérmicas. • Proceso que incluyen sólidos, mezclado, transportación neumática, tolvas etc...
Reacciones batch simples.	<ul style="list-style-type: none"> • Se utilizan valores de reacciones continuas más factores adicionales, dependiendo de la velocidad de reacción.
Multiplicidad de reacciones o diferentes operaciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Se deben utilizar factores extra por el riesgo de contaminación de una reacción a otra o por bloqueo de sólidos.
Transferencia de materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Se deben considerar riesgos adicionales con métodos específicos de llenado, vaciado o transferencia de materiales. <ul style="list-style-type: none"> ○ Tuberías permanentemente instaladas. ○ Tuberías flexibles con conexión y desconexión. ○ Compuertas, tapas o salidas inferiores. ○ Operación con tubería flexible y uso de venteo simultaneo.
Recipientes transportables	<ul style="list-style-type: none"> • Si los tambores, tanques desmontables, pipas, carros tanques, cilindros. <ul style="list-style-type: none"> ○ Tambores llenos. ○ Tambores llenos en vehículos transportables. ○ Tambores vacíos fuera de vehículos. ○ Uso de pipas o trailers. ○ Carros tanque.

Tabla 3.41 Elementos para el cálculo de Factores de Riesgos Especiales de Proceso

Riesgos Especiales del Proceso	Elementos
Baja presión	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando los procesos operan a presión al vacío, el aire o contaminantes pueden entrar al sistema de proceso. No se debe incluir si el aire no representa un riesgo en el proceso. • Procesos a casi presión atmosférica con materiales inflamables y presenten un riesgo por el peligro de explosión. • Procesos que operan a alta vacío con materiales inflamables.
Alta presión	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando se opera un proceso a presión más alta que la atmosférica. Los riesgos de incendio aumentan si aumenta la presión de la sección y por lo tanto el riesgo de una explosión.
Riesgos de juntas y empaques	<ul style="list-style-type: none"> • Una unidad de proceso puede contener partes donde el sellado de juntas o flechas se efectuó. Estas partes pueden causar problemas si se tiene ciclos de temperatura o presión. <ul style="list-style-type: none"> ○ Construcción soldada para la mayoría de las uniones. ○ Uniones bridadas ○ Sellos de bomba que pueden presentar fugas. ○ Problemas mayores de sello en el proceso.
Baja temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Dónde se utilice acero al carbón y las temperaturas de operación en rangos de: <ul style="list-style-type: none"> ○ 10°C a 10°C operación normal. ○ -10°C a -25°C operación normal. ○ Menor a -25°C operaciones anormales.
Alta temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • La operación a alta temperatura presenta un doble efecto, aumenta los riesgos inherentes del manejo de materiales inflamables y la resistencia del equipo de la unidad se puede ver afectada.
Riesgos de corrosión y erosión	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosión/erosión <ul style="list-style-type: none"> ○ Corrosión menor a 0.1mm/año. ○ Corrosión menor a 0.5mm/año. ○ Corrosión cercana a 1mm/año. ○ Corrosión mayor a 1mm/año. ○ Riesgo de tensión o agrietamiento.

Para la toxicidad de polvos, gases y vapores se clasifican según la Time Weighted Threshold Limit Values (TLV), que se basa en 7 u 8 horas de trabajo por día y 40 horas de trabajo por semana, existen químicos que tienen que conservarse por debajo de valores del TLV debido a su alta peligrosidad y se identifican estos materiales en la UK Health & Safety Executive Guidance y otras normas gubernamentales internacionales.

Los riesgos continuamente presentes debido a fugas y otros causados por el mantenimiento normal u operaciones de proceso, deben asignarse a los valores TLV medidos en el tiempo.

Para el análisis de la toxicidad se utilizan los valores del TLV para asignar los factores correspondientes para el Índice.

Los elementos para el análisis de factores de toxicidad se indican en la Tabla 3.42, los valores para cada uno de los elementos se encuentra en la Tabla 4.8

Tabla 3.42 Elementos para el cálculo de Factores de Toxicidad

Riesgo de Toxicidad	Elementos
Valor del TLV	<ul style="list-style-type: none"> • TLV de 0.001 ppm • TLV >.001 ppm y hasta 0.01ppm • TLV >.01 ppm y hasta 0.1ppm • TLV >.1 ppm y hasta 1ppm • TLV >1 ppm y hasta 10 ppm • TLV >10 ppm y hasta 100 ppm • TLV >100 ppm y hasta 1000 ppm • TLV >1000 ppm y hasta 1% • TLV mayor a 1%
Forma del Material	<ul style="list-style-type: none"> • Si el material se presenta en el proceso bajo condiciones normales de operación como un líquido o un gas. • Si el material se almacena bajo condiciones criogénicas. • Si el material se presenta en el proceso como partículas sólidas o polvos. • Si el material se almacena bajo condiciones gaseosas con una densidad relativa de 1.3 con relación al aire.
Riesgo de exposición corta	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe considerar el nivel permisible por un periodo corto de 15 minutos relativo al TLV y determinar el factor de excursión (FE). <ul style="list-style-type: none"> ○ FE=1.25 ○ FE>1.25 y hasta 2 ○ FE>2 y hasta 5 ○ FE>5 y hasta 15 ○ FE>15 y hasta 100 ○ FE>100
Absorción por la piel	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe añadir un factor si el material se puede absorber por la piel.

Una vez calculados todos los Riesgos de los factores individuales, se totalizan en varios subgrupos que después se incluyen en el Índice Global “D”, que se calcula según la ecuación 4.9 y se estandariza de la siguiente manera como muestra la Tabla 3.43

Tabla 3.43 Rangos y Grado del valor del Índice de Riesgo Global

Rango del Índice Global D	Grado Total del Riesgo
0-20	Suave
20-40	Ligero
40-60	Moderado
60-75	Moderadamente alto
75-90	Alto
90-115	Extremo
115-150	Muy extremo
150-200	Potencialmente catastrófico
Más de 200	Muy catastrófico

Para el cálculo del potencial del fuego se considera útil para la predicción del tiempo en el cual un fuego puede esperarse que dure. La Tabla 3.44 muestra las categorías cantidades de fuego y duración de horas esperadas, el índice de carga de fuego se calcula con la ecuación 4.10.

Tabla 3.44 Rangos y Grado del valor del índice Carga de Combustible

Cantidad de Fuego F (BTU/ft²)	Categoría	Duración del fuego-horas	Comentarios
0-50,000	Ligero	¼-1/2	
50,000-100,000	Bajo	½-1	Casas
100,000-200,000	Moderado	1-2	Fábricas
200,000-400,000	Alto	2-4	Fábricas
400,000-1,000,000	Muy alto	4-10	Edificios ocupados
1,000,000-2,000,000	Intenso	10-20	Bodegas de hule
2,000,000-5,000,000	Extremo	20-50	
5,000,000-10,000,000	Muy extremo	50-100	

El cálculo de potencial de explosión o carga de combustible “E”, se calcula con la ecuación 4.13 el índice E con riesgo de explosión interno en la planta y las categorías asignadas a los valores del Índice E se establecen en la Tabla 3.45.

Tabla 3.45 Rangos y Grado del valor del Índice de Explosión Interna

Explosión Interna de la Unidad	Grado
0-1	Ligero
1-2.5	Bajo
2.5-4	Moderado
4-6	Alto
Arriba de 6	Muy alto

Además de explosiones internas se puede calcular con base a un gran número de estudio de escapes de sustancias inflamables, explosiones por área dando lugar al Índice de Explosión Área “A” que se calcula con la ecuación 4.14, los rangos para el resultado de la ecuación se encuentran en la Tabla 3.46.

Tabla 3.46 Rangos y Grado del valor del Índice de Explosión Área

Explosión Área	Grado
0-10	Ligero
10-30	Bajo
30-100	Moderado
100-500	Alto
Arriba de 500	Muy alto

Se debe calcular también el Índice Unitario de Toxicidad, “U”, como indica la ecuación 4.10 las categorías y los valores a los que corresponden se integran en la Tabla 3.47

Tabla 3.47 Rangos y Grado del valor del Índice Unitario de Toxicidad

Índice Unitario de Toxicidad U	Grado
0-1	Ligero
1-3	Bajo
3-6	Moderado
6-10	Alto
Arriba de 10	Muy alto

Con la cantidad de material y el Índice Unitario de Toxicidad, se calcula el Índice del máximo Incidente tóxico “C”, como indica la ecuación 4.12, las categorías y valores a los que corresponden se integran en la Tabla 3.48.

Tabla 3.48 Rangos y Grado del valor del Índice del Máximo Incidente Tóxico

Índice incidente Máximo Tóxico C	Grado
0-20	Ligero
20-50	Bajo
50-200	Moderado
200-500	Alto
Arriba de 500	Muy alto

Con todos los índices calculados es posible observar la magnitud de riesgo global en una planta, la división Mond desarrolló una fórmula en el que se manejan los factores del:

Índice Global “D”

Índice de Carga de Combustible “F”

Índice Unitario de Toxicidad “U”

Índice del Máximo Accidente Tóxico “C”

Índice de Explosión Interna “E”

Índice de Explosión Área “A”

Con estos índices se calcula el Índice “R” que es el Factor Global de Riesgo y las categorías del Índice R se designan en la Tabla 3.49.

Tabla 3.49 Rangos y Grado del valor del Índice del Factor Global de Riesgo

Factor Global de Riesgo	Categoría
0-20	Suave
20-100	Bajo
100-500	Moderado
500-1,100	Alto (grupo 1)
1,100-2,500	Alto (grupo 2)
2,500-12,500	Muy alto
12,500-65,000	Extremo
Más de 65,000	Muy Extremo

Al resultado de los factores anteriores si se desea observar el efecto de las medidas de prevención y seguridad, que se pueden o se encuentran instaladas en el proceso, el valor de los factores debe ser corregido por las medidas de prevención y seguridad. Los elementos que pueden influir en la disminución de los índices se establecen en la Tabla 3.50, según la metodología del Índice de Mond

Una vez calculados los factores de cada uno de estas actividades de seguridad y prevención es necesario recalculer algunos de los índices anteriores, para observar el efecto de la seguridad y prevención en ellos.

En este punto es donde aquel que realiza el análisis debe evaluar las opciones de seguridad y preventivas que pueden disminuir el resultado de los índices para hacer la unidad más segura.

Tabla 3.50 Factores de Seguridad y Preventivos

Factores de Seguridad y Preventivos	Elementos
Sistemas de contención	<ul style="list-style-type: none"> • La reducción de riesgos como consecuencia de cualquier mejora en los diseños estándar de los recipientes a presión y sistemas de tubería
Control de Proceso	<ul style="list-style-type: none"> • Las alarmas y/o sistemas de paro de seguridad activados por condiciones anormales específicas en el proceso.
Actitudes de Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • La actitud de la gerencia hacia normas de seguridad, cuando se tiene un énfasis correcto, puede contribuir significativamente a la reducción de la frecuencia de accidentes.
Protección contra Fuego	<ul style="list-style-type: none"> • Es la medida más importante para reducir el riesgo, es el asegurarse que las estructuras y los recipientes de la unidad estén provistos de protección efectiva contra el fuego.
Aislamiento de materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Contar con válvulas de corte operadas a control remoto, válvulas para el exceso de flujo, sistemas de relevo son medidas que pueden controlar un incidente en su inicio.
Combate contra incendio	<ul style="list-style-type: none"> • Son todos los sistemas de inundación y esparcido con agua, una respuesta rápida en el inicio de un incidente aumenta las posibilidades de extinguirlo sin mucho daño a los bienes.

Los beneficios del Índice Mond con respecto al Índice DOW es que se pueden jerarquizar las unidades en función del Riesgo, es un método más detallado debido a un mayor número de parámetros de riesgo.

3.3. Industria de Distribución de Energía Eléctrica en México

En México la compañía encargada de las cuestiones de generación, distribución y transmisión de energía eléctrica es la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), dentro de estas tres grandes divisiones, la de interés para este trabajo es la de distribución de energía eléctrica.

La distribución de energía eléctrica consiste en la recepción de la energía en alta tensión y su distribución a los diferentes sectores industriales, comerciales y habitacionales. El proceso de distribución de energía eléctrica se ejemplifica en la Figura 3.3, dónde se observa los diferentes procesos en los cuales se transmite y distribuye la energía eléctrica a partir de una planta de generación. Existen en México varios niveles de distribución de energía eléctrica según la C.F.E., en su página de internet los voltajes a los cuales se distribuye la energía eléctrica son:

“La red de distribución esta integrada por las líneas de subtransmisión con niveles de tensión de 138, 115, 85 y 69 kilovolts (kV); así como, las de distribución en niveles de 34.5, 23, 13.8, 6.6, 4.16 y 2.4 kV y baja tensión. A septiembre de 2007, la longitud de estas líneas fue de 47,534 km y 612,651 km, respectivamente.”

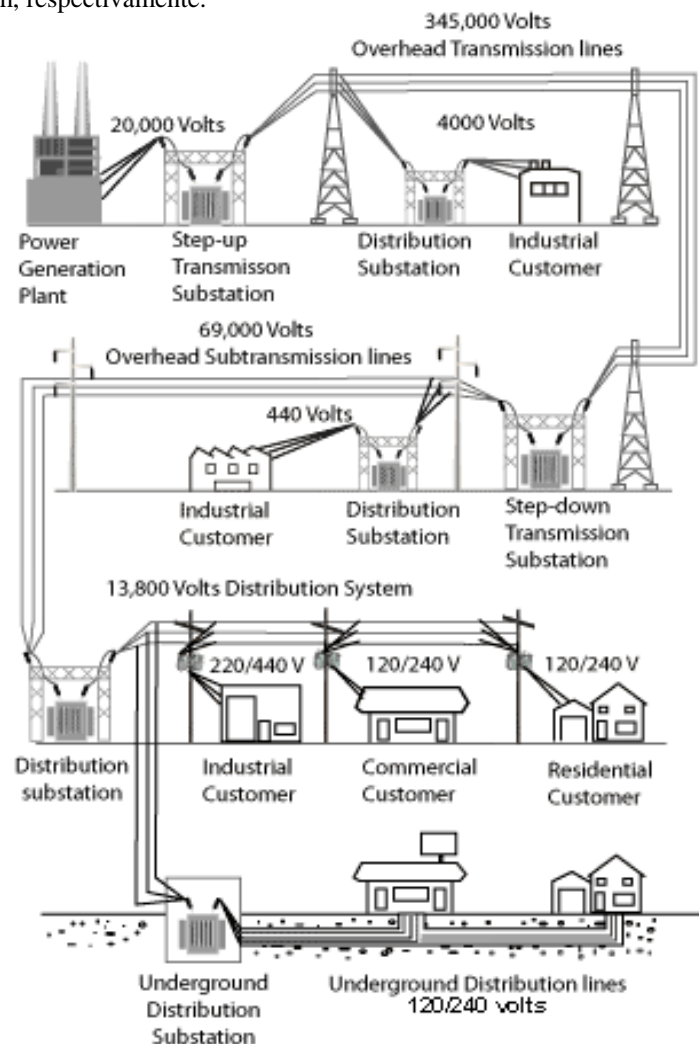


Figura 3.3 Diagrama de la Distribución de energía eléctrica

De las líneas de transmisión es necesario que la corriente eléctrica cambie su voltaje y tensión través de una subestación eléctrica, para después ser enviada por las líneas de distribución a los usuarios finales.

3.3.1. Subestación de Energía Eléctrica

Una subestación de energía eléctrica es el punto en el cual se hace el cambio de tensión y voltaje, desde un voltaje alto a un voltaje medio o bajo. Los principales equipos en una subestación de energía eléctrica son transformadores eléctricos, subestación eléctrica, cuarto de control, casa de baterías. Estos equipos sirven para transformar, distribuir, medir y controlar la energía eléctrica, recibida de las líneas de transmisión (I.C.E, 2007).

En México existen dos tipos de subestaciones de energía eléctrica para la distribución de la misma, las Subestaciones Blindadas en Hexafluoruro de Azufre y las Subestaciones Aéreas. El área en cuestión de trabajo, la división Centro Oriente de la C.F.E. en Puebla, existe hasta 2004, 72 subestaciones de distribución eléctrica, de las cuales 3 son del tipo Blindadas y las 69 restantes del tipo Aéreas. (C.F.E., 2004).

3.3.2. Tipos de Subestaciones Eléctricas

Como se mencionó anteriormente existen dos tipos de subestación eléctrica las blindadas y las aéreas, la principal diferencia entre ambos tipos de subestación son el área y volumen que ocupa cada una de las subestaciones, en general una subestación blindada ocupa entre un 3 y 8% del volumen de una subestación de tipo aérea, mientras que el área de trabajo corresponde entre 3 y 12% respectivamente, ambas subestaciones utilizando la misma tensión nominal y las mismas funciones.

Es necesario observar que en ciudades densamente pobladas o que se espera un crecimiento importante de la población es necesario utilizar el menor espacio disponible. En la Figura 3.4 se observa un comparativo de una subestación blindada (GIS) y un área (AIS).

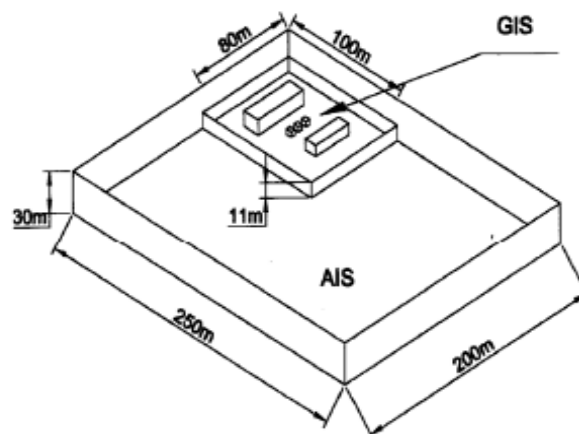


Figura 3.4 Subestación Blindada vs Subestación Aérea.

Otra de las diferencias entre ambas subestaciones corresponde al tiempo en el que se puede armar y poner en funcionamiento una subestación blindada de un área, ya que la subestación blindada puede enviarse de fábrica totalmente armadas y solo es necesarias

montarlas en el sitio de trabajo a diferencia de la construcción de las estructuras de la subestación aérea que tardan mas tiempo y es necesario armarlas en sitio. (Sosa, 2007)

Económicamente las subestaciones blindadas, son más baratas en comparación con las aéreas en cuestión de construcción y costos del lugar de instalación, sin embargo en costos de equipo las subestaciones blindadas son más costosas.

En operación ambas subestaciones constan con los mismos equipos en general lo que varia es la cantidad de materiales que en ellas existen y las presiones de trabajo en algunas de sus secciones. (Bolin, 2003)

Además de la diferencia en la construcción y volumen de los equipos en ambas subestaciones la principal diferencia se encuentran en el arreglo de la subestación, ya que en la blindada es un solo equipo que aísla las partes vivas de los cables de corriente eléctrico utilizando un gas dieléctrico en las subestaciones utilizadas en México y en la mayor parte del mundo el gas utilizado es el Hexafloruro de Azufre (SF_6) y en las subestaciones aéreas se utiliza en aire como el elemento aislante, sin embargo en ciertas secciones de la subestación también contiene gas de SF_6 , en menor concentración. Fuera de ese cambio los demás equipos en una subestación eléctrica de tipo blindada y aérea son iguales.(Sosa, 2007)

En ambos tipos de subestaciones se pueden encontrar sustancias químicas como gases dieléctricos en las subestaciones, aceites dieléctricos en los transformadores y en caso de la existencia de cuartos de baterías puede encontrarse baterías de tipo plomo-ácido generalmente.

3.3.3. Problemática de la Industria

En la industria de la distribución de energía eléctrica, especialmente en las subestaciones de distribución de energía eléctrica no existe una metodología de análisis de riesgos obligatoria por parte de las normativas gubernamentales. Así mismo en C.F.E. se desarrollan análisis internos en conjunto con Protección Civil, y son remitidos dichos análisis a las autoridades correspondientes, sin embargo análisis del tipo de Riesgo como el que se desarrolla realizar en este trabajo no son realizados.

Específicamente en los artículos 146 y 147 del Capitulo V de la Ley General del equilibrio Ecológico y Protección Ambiental, así mismo al Acuerdo por el que las Secretarías de Gobernación y Desarrollo Urbano y Ecología, debido a las sustancias utilizadas en una subestación de distribución de energía eléctrica no se encuentran en el listado de sustancias peligrosas, de las leyes anteriores, no se considera a las subestaciones de distribución de energía eléctrica como instalaciones de alto riesgo y por lo tanto no están obligados a presentar un estudio de Riesgo Ambiental ante la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (CFE, 2007)

Ante esta situación no se desarrollan estudios de riesgo para dichas instalaciones sin embargo por la naturaleza de los procesos en una subestación y las sustancias químicas que se pueden encontrar en ellas, existe un riesgo asociado a la naturaleza misma de las subestaciones.

Debido a la existencia de sustancias químicas en estas instalaciones es posible utilizar un análisis de riesgo que fue diseñado originalmente para instalaciones de la Industria Química, en este caso es la herramienta diseñada por la Imperial Chemical Industries, el Índice de Mond.

Se escoge esta herramienta debido a que es una metodología cuantitativa, ya se encuentra estandarizada a través de un formato bien establecido, así mismo añade un factor importante en comparación de otros índices, el peligro por toxicidad que existe en la unidad.