



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

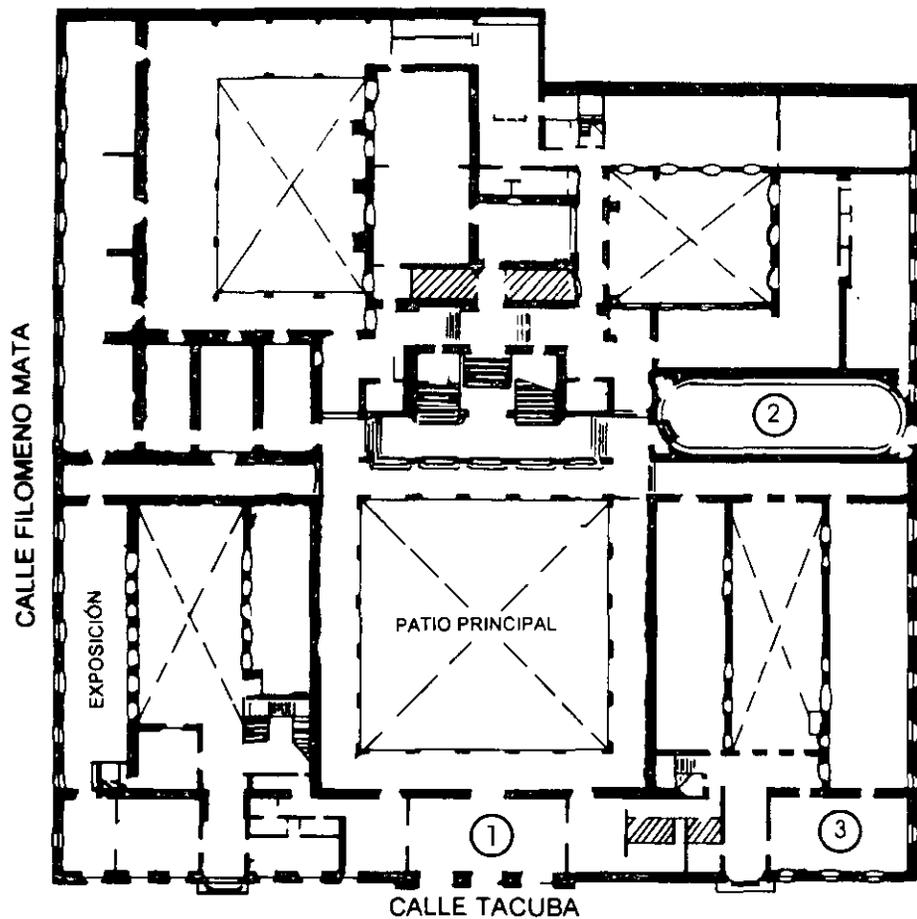
Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

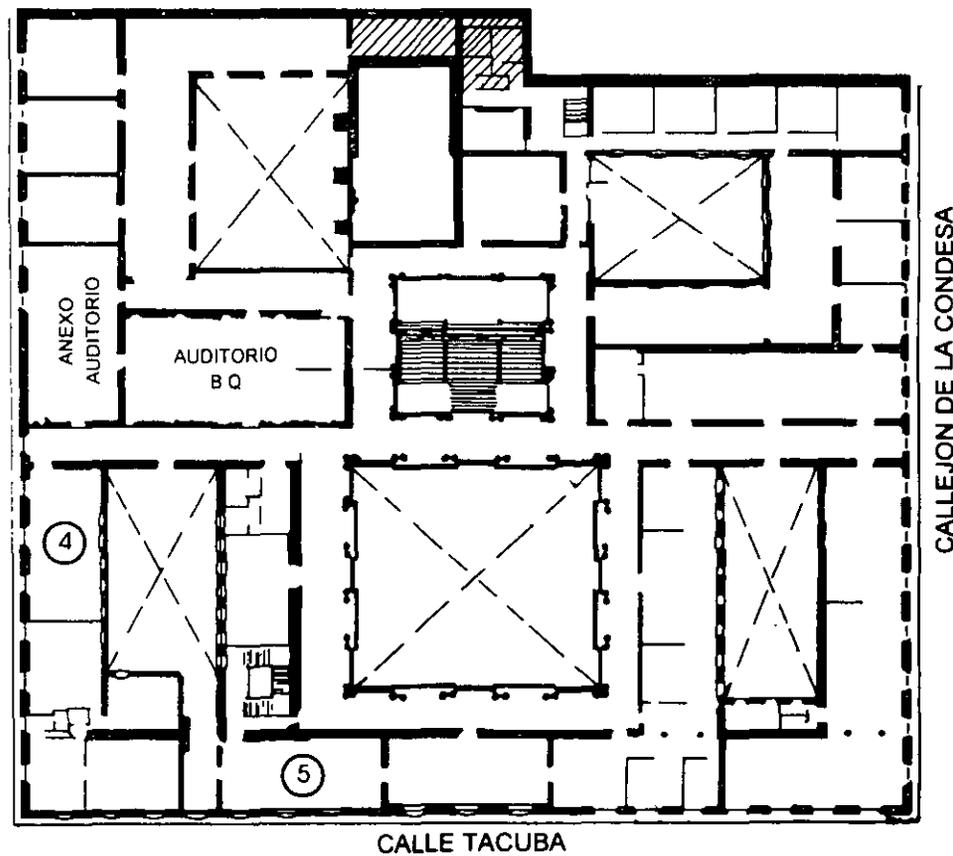
Atentamente

División de Educación Continua.

PALACIO DE MINERIA

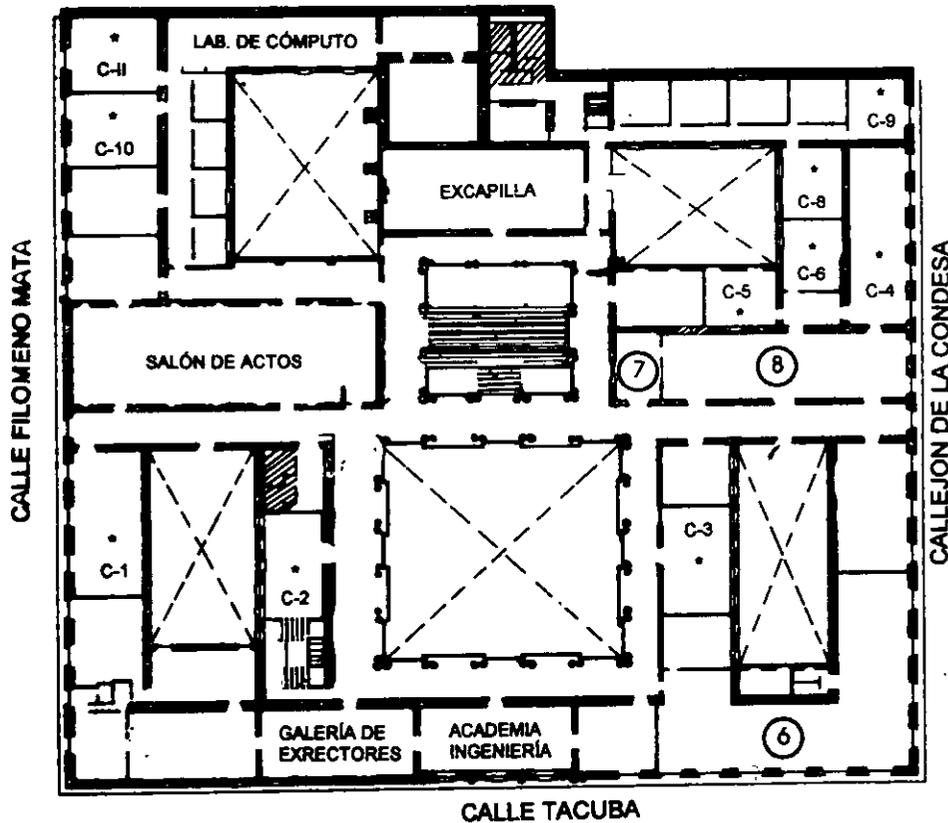


PLANTA BAJA



MEZZANINNE

PALACIO DE MINERÍA



GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
3. LIBRERÍA UNAM
4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
6. OFICINAS GENERALES
7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
8. SALA DE DESCANSO

SANITARIOS

* AULAS

1er. PISO



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.
CURSOS ABIERTOS

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA





**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO INTERNACIONAL EN
RIESGO AMBIENTAL**

**MODULO II
CA 085**

**CAUSAS DE RIESGOS INDUSTRIALES
GRAVES**

**EXPOSITOR: ING. MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ GALVÁN
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO DEL 2002**

III. CAUSAS DE RIESGOS TECNOLOGICOS

1. INTRODUCCION

Las Causas de Riesgos industriales graves son de muy diversas clases, sin embargo, es posible hacer una clasificación atendiendo a su origen o bien por su naturaleza; de acuerdo con su origen, las causas de Riesgos industriales graves pueden clasificarse por:

- Errores humanos
- Fallas eléctricas
- Fallas mecánicas
- Riesgos químicos (sustancias)
- Riesgos radioactivos
- Transporte

Atendiendo a la naturaleza de las causas de Riesgos Industriales, se pueden clasificar en:

- Ambientales
- Diseño
- Fabricación
- Ensamble
- Operación
- Actos mal intencionados

Las categorías anteriores de causas de falla de acuerdo a su naturaleza con relación a un componente o sistema elemental que pertenezca a un conjunto de sistemas elementales interactuando, a una facilidad o grupo de sistemas, resultan del análisis de incidentes ocurridos en facilidades industriales, y tiene significado para:

- Facilitar el análisis de fallas reales ayudando a identificar algunas de sus características.
- Servir como una guía para la predicción de dichas fallas, llamando la atención de analistas hacia las categorías de fallas.

2. RIESGOS POR ERRORES HUMANOS

2.1 Introducción

El hombre siempre está presente en las instalaciones industriales, ya sea en el diseño o en su operación, por lo que es correcto hablar de sistemas hombre-máquina, en el cual lo humano es un componente del sistema.

Los errores humanos pueden ser identificados en todas las etapas del ciclo de vida del sistema, por ejemplo, errores en:

- planeación
- diseño
- cálculo

- fabricación
- construcción
- montaje, instalación
- alambrado, cableado
- ensamble
- pruebas
- operación
- mantenimiento

Se puede definir a un operador (humano) como cualquier individuo, equipo u organización humana cuya función es la de efectuar una acción o llevar a cabo una misión en el curso de las diferentes fases del ciclo de vida de un sistema.

Se estima que entre el 20 y 50% del mal funcionamiento en el campo de la industria aeronáutica, espacial, electronuclear, etc., se deben a errores humanos, lo que demuestra la importancia del factor humano en las fallas de sistemas.

La creciente complejidad de los sistemas industriales, los vuelve cada vez menos compatibles con las capacidades y límites de los operadores; algunas características de diseño no adecuadas han sido fuentes importantes de errores humanos en la operación.

2.2 Revisión Histórica

En la década de los años 1950's apareció una nueva disciplina con el nombre de "ergonomía" en Europa y con el nombre de "factores humanos" en EUA que cubre el área de rangos de factores humanos desde la adaptación a operadores de salas de control o estaciones de trabajo, a través de:

- entrenamiento
- análisis de cargas de trabajo o tareas
- otros

El accidente de la planta de potencia nuclear de la isla de tres millas (Theree Mile Island, TMI), aumentó el interés por la importancia del factor humano; en éste accidente hubo una combinación de fallas de diseño, averías de equipos y errores humanos. La comisión que estudió este accidente estableció que:

"lo que la industria nuclear y la Nuclear Regulatory Commission subestimaron es que la gente que opera la planta son ellos mismos un importante sistema de seguridad de respaldo".

Después del accidente de TMI han aumentado las evaluaciones probabilísticas de riesgos en plantas nucleares que incluyen evaluaciones de confiabilidad humana ECH (Human Reliability Assessment, HRA), con desarrollos metodológicos dirigidos a:

- volver los métodos de ECH más confiables y más exhaustivos;
- modelar el comportamiento del operador, particularmente para la predicción de diagnósticos y errores estratégicos;

- mejorar los datos cualitativos y cuantitativos sobre los cuales pueden basarse estos modelos.

Se han llevado a cabo muchas investigaciones sobre la ECH, entre las que destacan:

- el de Rasmussen de Dinamarca sobre la variabilidad del comportamiento humano sobre las causas y mecanismos de los errores humanos;
- el concepto de redundancia humana, introducido por Electricité de France EDF, en términos tanto de personal como de equipo para el diagnóstico de incidentes o accidentes.

2.3 Comportamiento del Operador Humano (OH)

De acuerdo con un esquema de la forma de funcionamiento del operador humano, se describirán:

- los principales aspectos del comportamiento humano que pueden ayudar a la explicación de errores;
- la clasificación de las tareas llevadas a cabo por los operadores en sistemas industriales grandes;
- la definición de los errores humanos y sus principales características.

2.3.1 Funcionamiento del operador humano

A pesar de que el funcionamiento del operador humano es aún un sujeto de estudio, sin embargo, dicho funcionamiento humano, mientras está realizando una tarea, puede ser descrito esquemáticamente de acuerdo a varias fases:

- Adquisición de información.- Se logra por los aparatos sensores humanos de los cuales los receptores incluyen los ojos, oídos, miembros, el cuerpo entero, etc.; la percepción no es una copia simple de la información externa en la mente del operador, sino que intervienen mecanismos sutiles con frecuencia inconscientes de selección e inhibición. El colocar un instrumento frente al operador no garantiza que la información que provee es recibida.
- Procesamiento de información.- La información reunida se procesa en la mente; se pueden identificar varios tipos de procesamiento, como por ejemplo, proceso lógico (diagnóstico de un accidente), cálculo de parámetro (evolución predecible), nuevo parámetro aplicando reglas matemáticas.
- Toma de decisiones.- El procesamiento de información lleva al operador a seleccionar decisiones, por ejemplo:
 - a) No llevar a cabo ninguna acción, sino permitir que el sistema evolucione.
 - b) Llevar a cabo acciones correctivas para reducir la brecha entre valores reales y valores deseados de los parámetros observados.La decisión se hace de acuerdo a modelos cognocitivos predefinidos así como a metas seleccionadas por el operador, como por ejemplo, metas:
 - i. De disponibilidad: el operador da prioridad a la disponibilidad del sistema.
 - ii. De seguridad: el operador da prioridad a la seguridad.
 - iii. Personales: por ejemplo, el operador da prioridad a terminar su tarea tan rápido como sea posible.

- Respuesta física.- La producción del operador por la cual lleva a cabo sus tareas (apropiadamente o no), usando, por ejemplo, manos, voces, pies.

El funcionamiento del operador humano incluye actividades:

- sensoriales
- mentales
- físicas

En realidad el funcionamiento humano es mas rico y mas complejo, ya que existe una interrelación constante entre los niveles sensoriales, mentales y físicos; dos aspectos de esta representación que deben tomarse en cuenta en detalle son:

- el arreglo secuencial de las actividades sensoriales, mentales y físicas;
- el papel jugado por la actividad mental consciente o refleja en la conformación del comportamiento.

Se considera que hay tres clases mayores de funcionamiento o comportamiento humano, que se distinguen principalmente por la importancia relativa de la actividad mental consciente o refleja, que son:

- comportamiento basado en la habilidad.- Este es prácticamente automático, en donde el operador actúa mecánicamente.
- comportamiento basado en reglas.- Este incluye la actividad mental consciente y consiste de una ejecución coordinada de tareas de acuerdo a lo aprendido o con reglas o procedimientos escritos; éste comportamiento no demanda selecciones complejas entre varias opciones.
- comportamiento basado en el conocimiento.- Este se presenta en situaciones menos familiares, basado en actividades mentales conscientes complejas buscando resolver problemas y planes de tareas.

2.3.2 Algunas Características Sobresalientes

El comportamiento del operador es muy diferente al del equipo diseñado u operado, caracterizándose por la:

- inteligencia y capacidad para innovación e invención;
- facultad de adaptabilidad;
- extrema sensibilidad de algunos de sus receptores sensoriales.

Algunas características conectadas a estas cualidades especiales que es necesario conocer para comprender mejor los mecanismos de errores humanos son las siguientes:

- Variabilidad.- Las personas nunca pueden llevar a cabo la misma acción dos veces en absolutamente idéntica forma, siendo el comportamiento humano mucho muy variable. La variabilidad implica un cierto % de acciones que caen fuera de tolerancia, la cual puede ser la base de errores humanos, aunque se puede tolerar algún grado de variación en muchas tareas; el error humano aparece cuando las variaciones de comportamiento humano exceden los límites de tolerancia.

- Necesidad de información y capacidad predictiva.- La ausencia de información se siente incómoda por la mente humana, y la respuesta es buscar información por todos los canales sensoriales disponibles.
- La Capacidad de compensar por variaciones en tareas difíciles incrementando la carga de trabajo son introducir variaciones de comportamiento. Un incremento en la dificultad no siempre produce disminución de comportamiento del operador.
- Esfuerzo.- Se distinguen dos conceptos o situaciones:
 - i. Situación tensa.- Es una situación en la cual el sujeto percibe una brecha entre los requerimientos de la situación y su disposición a cumplirla.
 - ii. Esfuerzo.- Es un ensamble de reacciones psicológicas a una situación de tensión.

El esfuerzo tiene repercusiones psicológicas: toma la forma de un sentimiento de tensión y tiene impactos-significativos en el comportamiento. En situaciones extremas pueden llevar a paralizar al operador.

2.3.3 Clasificación de Tareas

Las tareas llevada a cabo por un operador en sistemas industriales grandes pueden clasificarse en la siguiente forma:

- Tareas simples.-Corresponden a acciones formando parte de operaciones secuenciales que requieren muy poca decisión, por ejemplo, ir a abrir una válvula manual.
- Tareas complejas.- Corresponden a operaciones secuenciales que están bien definidas pero que requieren tomar decisiones por ejemplo, diagnosticar un accidente.
- Tareas que requieren vigilancia.- Corresponden a detección de señales o alarmas; la probabilidad de error esta afectada por la longitud de espera, el grado de motivación; el tipo de señal, su frecuencia y tipo de acción que debe emplear cuando se reconoce.
- Tareas de verificación.- Corresponden a la investigación y verificación de procesos multivariantes en donde deben hacerse las acciones de decisiones.
- Tareas de post-incidentes o post-accidentes (o emergencias).- Pueden variar considerablemente desde una respuesta automática aprendida hasta la búsqueda de una nueva estrategia; en éstas tareas la probabilidad de error aumenta muy rápido cuando el incidente es suficientemente serio que el operador esta en un estado de tensión elevada.

La clasificación anterior de tareas es útil para una primera conceptualización de los errores humanos asociados.

2.3.4 Errores Humanos

Se define al error como una desviación de una acción, una secuencia de acciones o una estrategia que se piensa es óptima y sirve como referencia.

El error resulta de un mal-funcionamiento en el nivel de actividad sensorial, mental o física del operador.

Desde el punto de vista del sistema, el error no necesita tomarse en cuenta hasta que produce una acción inapropiada sobre el sistema; los efectos de tal acción se conocen

como modos de error. Con frecuencia los errores humanos son dependientes: un error humano puede llevar a otros.

La ergonomía ha puesto énfasis en el papel de las situaciones de trabajo en los errores humanos; se ha definido una lista de factores que modelan el comportamiento (FMC) que afectan la actividad humana y forma las posibles fuentes de error, distinguiéndose los factores siguientes (Tabla III-1).

- externos (contexto de trabajo, equipo)
- internos (entrenamiento, condición física).
- de esfuerzos, resultantes de fuentes fisiológicas o psicológicas.

TABLA III-1.- ALGUNOS "FACTORES QUE MODELAN EL COMPORTAMIENTO" (FMC) HUMANO EN LOS SISTEMAS HOMBRE-MAQUINA.

"FMC" EXTERNOS		"FMC" DE STRESS	"FMC" INTERNOS
Características situacionales FMC generales a uno o más trabajos en una situación laboral	Características de Tareas y Equipos FMC específicos a Tareas en un Trabajo.	Stress psicológicos. FMC que afectan directamente el estres mental.	Factores del organismo. Características de gente resultantes de influencias internas y externas.
Características arquitectónicas. Calidad del ambiente. <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura, humedad, calidad de aire y radiación. • Iluminación. • Ruido y vibración • Grado de limpieza general Horas de trabajo/recesos de Trabajo Rotación de turnos Disponibilidad/adecuación de equipo especial, herramientas y accesorios. Forma de parámetros. Estructura organizacional (p.e., autoridad, responsabilidad, canales de comunicación). Acciones por supervisores, compañeros, representantes sindicales y personal regulatorio. Premios, reconocimientos, beneficios.	Requerimientos percibidos. Requerimientos de motor (velocidad, resistencia, precisión). Relación control-display. Requerimiento anticipatorios. Interpretación. Toma de decisiones. Complejidad (carga de información). Estrechas de tareas. Frecuencia y repetitividad. Criticidad de tarea. Memoria de corto y largo término. Requerimientos de cálculo. Retroalimentación (conocimiento de resultados). Actividades dinámicas Vs etapa por etapa. Estructura y comunicación de equipo. Factores de interfase hombre-máquina.	Rapidez del inicio. Duración del estres. Velocidad de tarea. Carga de tarea. Alto riesgo de daño. Amenazas (de falla, pérdida de trabajo) Trabajo monótono, degradante o sin significado. Periodos largos de vigilancia sin eventos. Conflictos acerca del comportamiento en el trabajo. Reforzamiento ausente o negativo. Privación de sensibilidad Distracciones (ruido, deslumbramiento, movimiento, parpadeos, colores) Sugestión o humor inconsistente.	Experiencia/entrenamiento previo. Estado de práctica corriente o habilidad. Personalidad e inteligencia variables. Motivación y actitudes. Estado emocional. Estres (mental o fisico). Conocimiento de estándares de conocimiento requerido. Diferencias de sexo. Condición fisica. Actitudes basadas en influencia de familia y otras personas o agencias externas. Identificaciones de grupo.
La herramienta simple mas importante para la mayoría de las tareas: Instrucciones de Trabajo y Tareas Procedimientos requeridos, (escritos o no escritos). Precauciones y advertencias. Métodos de trabajo. Políticas de planta (prácticas de taller)	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de equipo motor. • Equipo de prueba, fabricación. • Equipos, ayudas de abajo, herramientas. • Accesorios. 	Estres psicológico: FMC que afectan directamente el estres fisico. Duración del estres. Fatiga. Dolor o inconformidad. Hambre o sed. Temperatura extrema. Insuficiencia de oxígeno. Vibración. Constricción de movimiento. Falta de ejercicio fisico. Disrupción de ritmo cardiaco.	

La influencia de éstos factores explican la gran diversidad de causas de errores humanos en la interfase hombre-máquina. Un cierto número de mal-funcionamiento humano puede explicar estos errores, entre los que se encuentran los siguientes:

- saturación.- El operador humano es incapaz de absorber una sobrecarga de información que le llega de parámetros y su variación, y en estos casos no puede hacer un análisis global;
- pérdida de vigilancia.- El operador humano ya no busca reunir la información pertinente, sino que piensa en otras cosas, las abandona o se detiene en problemas insignificantes y no se entera que los parámetros evolucionan peligrosamente o reacciona demasiado tarde;
- incredulidad.- El operador humano no cree en la información que se le transmite;
- esfuerzo.- El operador humano reconoce inmediatamente la seriedad del accidente y del riesgo pero la tensión psicológica lo lleva a reaccionar muy tarde o tomar acciones inapropiadas.

Los mecanismos sugeridos de mal-funcionamiento de operadores humanos en sistemas industriales grandes son los siguientes:

- la actividad mental consciente se activa pero consiste de validación de una hipótesis intuitiva sobre un subconjunto de información incompleta.
- la actividad mental consciente se activa y se tiene la información adecuada pero el procesamiento de ésta información es incorrecta.
- la ejecución incorrecta de la tarea puede deberse a desarrollo insuficiente o defectos en el modelo usado por el operador.

Para comprender y predecir estos mecanismos de error se requiere lo siguiente:

- un análisis completo de la actividad mental implicada en una tarea dada;
- conocimiento de los modelos usados por el operador para representar la realidad.

2.4 Conceptos Principales

Cuando la brecha, margen o tolerancia entre el comportamiento real de un operador y el comportamiento definido como apropiado excede "límites aceptables" bajo "condiciones dadas", entonces existe un error.

Los "límites aceptables" pueden ser explícitos o implícitos, o volverse explícitos después de que se manifieste el error, y pueden definirse de acuerdo a:

- las características de la acción prescrita, definida por juicio profesional o por procedimientos formales;
- las consecuencias del error humano, especialmente sobre el sistema.

Las "condiciones dadas" excluyen los intentos malévolos y significan:

- condiciones operacionales bajo las cuales el operador debe cumplir sus tareas;
- las actitudes requeridas del operador, comprobando estar apto física e intelectualmente para llevar a cabo sus tareas.

2.5 Fases en la Evaluación de la Confiabilidad Humana (ECH)

Las fases que comprende la evaluación de la confiabilidad humana (ECH) son las siguientes:

- identificación de errores potenciales humanos;
- selección de errores significativos;
- análisis detallado de errores significativos;
- integración con el modelo del sistema;
- cuantificación;
- presentación del método usado y sus resultados;
- observaciones.

En paralelo con la ECH también se debe estudiar el sistema con el que interactúan las personas; los dos estudios, estrechamente relacionados constituyen el ensamble hombre-máquina, conocido como estudio completo.

2.5.1 Identificación de los errores potenciales humanos

La primera fase del estudio es investigar acciones imprevistas (por procedimientos, reglas o prácticas de operación) que podrían haber sido efectuadas por el operador, y que pueden ser benéficas o perjudiciales.

Para guiar la investigación es útil usar las clasificaciones de errores dadas anteriormente:

- no ejecución de una acción requerida;
- incorrecta ejecución de una acción requerida;
- acción extraña;

Para encontrar los errores de los primeros dos tipos se deben identificar las acciones requeridas, consultando procedimientos de operación, pruebas periódicas y mantenimiento.

Se deben examinar con detalle los procedimientos mas importantes pero sin despreciar las acciones que parecen secundarias, que también pueden dar lugar a errores serios.

La búsqueda de errores del tercer tipo (acciones extrañas) es mas delicada, y deben buscarse en el comportamiento de operadores en situaciones análogas, por ejemplo, en instalaciones similares reales, retroalimentación y en simuladores.

Para asegurarse que la ECH es completa se deben usar varios métodos que tienen traslapes parciales pero que cada uno puede proveer nuevos elementos; estos métodos incluyen:

- examen de procedimientos;
- retroalimentación de experiencia de operación;
- resultados de pruebas en simuladores;
- ECH's previas;
- estudios de análisis de sistemas (AMFE, árboles de causas y consecuencias).

2.5.2 Selección de errores significativos

No es posible ni útil hacer un análisis detallado de todos los errores potenciales de la fase anterior; la selección depende del nivel de detalle elegido para la ECH y su ensamble. La importancia de un error depende de varios parámetros:

- sus consecuencias, si el error solo lleva directamente a un evento indeseable o debe combinarse con otros errores o averías;
- la probabilidad de averías u otros errores con las cuales el error debe combinarse con objeto de traer el evento indeseable;
- la probabilidad de error en si misma.

Dependiendo del grado de selección deseada se usan uno o varios de éstos parámetros para clasificar los errores.

Al final de esta fase se tendrá una lista de errores que se juzgan útiles para ser analizados en detalle.

2.5.3 Análisis detallado de errores significativos

En ésta etapa se reúne toda la información que permita estimar la probabilidad de cada error; este análisis cualitativo no solo es preliminar para hacer cuantificaciones, sino que permite obtener:

- factores que pueden contribuir a la ocurrencia de errores;
- puntos débiles en la interacción hombre-máquina.

La introducción subsecuente de probabilidades es simplemente una forma de jerarquizar errores, y así facilitar la elección entre mejoramientos posibles que pueden hacerse en el sistema hombre-máquina.

Se debe proceder a hacer un análisis ergonómico de cada acción que podría estar afectada por lo errores bajo consideración; para cada acción debe observarse:

- las características de la acción, por ejemplo, complejidad, tiempo disponible, tiempo necesario, integración en una secuencia, etc.
- las características de la interfase hombre-máquina:
 - i. Calidad del diseño del equipo
 - ii. Calidad de los procedimientos escritos, en forma y contenido.
 - iii. Legibilidad de los registros: equipos de medición, alarmas, etc.
 - iv. Arreglos de controles, etiquetado y distribución de controles en el tablero de control o en el material.
 - v. Medios de comunicación.
 - vi. Otros.
- características del ambiente como calor, ruido, iluminación, dificultades en el acceso, peligrosidad del área de trabajo, ropa de protección requerida, etc.
- características organizacionales como distribución de tareas, reglas administrativas (consignación de materiales, uso de procedimientos o de herramientas, chequeos, etc.).
- formas de restablecer errores como medios de detección (alarmas, verificaciones), tiempos límites y medios de intervención, etc.

- consecuencias de los errores.

Esta lista es conforme a la Tabla III-1, Factores que Modelan el Comportamiento (FMC) en los sistemas hombre-máquina.

Con objeto de dar seguimiento en las mejores condiciones

de la visita es muy útil tomar fotografías detalladas.

El nivel de detalle del análisis se elige en función de los objetivos de la ECH y de los modelos de cuantificación que se usen. Al final de esta fase se tendrán:

- nuevas posibilidades de error descubiertas, que deben agregarse a la lista original.
- identificados puntos débiles en la interacción hombre-máquina.
- reunida la información necesaria para hacer cuantificaciones.

2.5.4 Integración con la Modelación del Sistema

El sistema puede modelarse con los métodos de árbol de causas o de fallas, y ya que la ECH está interconectada con el estudio del sistema, no se puede cuantificar independientemente, es decir, la integración de la ECH en el árbol de causas o fallas debe perfeccionarse.

Se debe también estudiar la dependencia entre los mismos errores y entre los errores y las fallas de la arquitectura, siendo éste un punto tan importante como delicado:

- importante porque la dependencia es un factor de peso en la cuantificación, y porque los errores humanos altamente entrelazados con frecuencia dependen de errores o averías previas;
- delicado porque la experiencia muestra que estas dependencias son difíciles de predecir.

Esto indica que puede ser indispensable llevar a cabo análisis similares para buscar causas de fallas comunes, debiéndose buscar puntos comunes entre errores como:

- acciones usando la misma información
- acciones usando los mismos medios de control
- acciones con el mismo razonamiento
- el mismo diagnóstico

Los árboles de causas deben modificarse de acuerdo con las dependencias que se hayan encontrado.

2.5.5 Cuantificación

Una vez introducidos los errores en los árboles, ya no se distinguen de las averías de equipos, y se les deben asignar probabilidades y calcular los árboles con los métodos usuales.

Después de que se ha cuantificado todo el estudio, se recomienda evaluar la sensibilidad de los resultados a las modificaciones en la probabilidad de errores humanos en los de mayor peso.

Las incertidumbres altas asignadas por modelos comunes significan que un resultado final será poco significativo si nos es acompañado por un estudio de sensibilidad o un factor de error.

2.5.6 Presentación del planteamiento usado y sus resultados

Los errores humanos depende de tantos factores que una ECH necesita de mucha clasificación de información, hipótesis y juicios, que deben hacerse explícitos en el informe final si se quiere hacer verificable la ECH..

Cada informe debe incluir para cada hipótesis de árbol cuantificado, los modelos e información cualitativa obtenida, así como sus fuentes.

2.5.7 Observaciones

La sucesión lineal de fases descrita es esquemática, porque la ECH es un proceso iterativo con varios pasos hacia adelante y hacia atrás en las fases.

La ECH está situada en la intersección de tres dominios de conocimientos:

- confiabilidad, porque la ECH está muy ligada con el estudio de sistemas y deben integrarse en su modelación.
- ergonomía, porque la ECH incluye análisis detallado de tareas y de interfase hombre-máquina.
- ingeniería de sistemas (eléctricos, mecánicos, termohidráulicos, etc.); la ECH requiere comprender:
 - i. El porque de cada acción.
 - ii. Restricciones de tareas (límites de tiempo, etc.).
 - iii. Consecuencias de errores.

2.6 Modelos de Cuantificación

Los modelos de cuantificación permiten equiparar una probabilidad de un error como una función de las características de la situación o los factores que modelan el comportamiento FMC; los factores que con frecuencia se toman en cuenta son:

- la complejidad de la acción
- el tiempo disponible
- el diseño de la interfase
- la fatiga del operador
- la experiencia y entrenamiento del operador

Algunos de estos modelos son los siguientes.

2.6.1 TESEO (Tecnica Empirica Stima Errori Operatori)

En este modelo, desarrollado en Italia, la probabilidad de error $P(E)$ esta representada en la siguiente forma:

$$P(E) = K1 \times K2 \times K3 \times K4 \times K5$$

en donde:

K1 = complejidad de la acción;

K2 = tiempo disponible;

K3 = experiencia y entrenamiento del operador;

K4 = emociones del operador, de acuerdo a la gravedad de la situación;

K5 = interfase hombre-máquina y ambiente.

Los valores de K_i se dan en tablas del siguiente tipo:

Complejidad de la acción	K1
Acción simple, habitual	0.001
Acción habitual, pero con atención	0.01
Acción no-acostumbrada	0.1

2.6.2 THERP (Technique for Human Error Rate Prediction)

Esta técnica varía con el tipo de tarea considerada:

- elaboración de un diagnóstico
- comportamiento de acciones de operación o mantenimiento

En el primer caso, cuando se presenta un incidente, el operador debe:

- efectuar una diagnosis;
- inferir las acciones que deben tomarse;
- llevar a cabo las acciones necesarias.

Este modelo da la probabilidad de falla de diagnosis $P(E)$ en función del tiempo disponible $F_i(t)$ para hacerla, se expresa por:

$$P(E) = F_i(t)$$

En función de $F_i(t)$ se cubren diferentes formas de fallas de diagnosis (ausencia de diagnosis, errónea), para las siguientes características de la situación, cuando son:

- favorables;
- promedio;
- desfavorables.

Es decir, se pueden tomar en cuenta globalmente otros factores diferentes al tiempo.

La aplicación de estas curvas presupone que:

- la situación se detecta definitivamente como anormal;
- la selección de las acciones se llevan a cabo inmediatamente que se hace la diagnosis;
- la diagnosis detecta la elección del procedimiento, que a su vez detecta la acción.

El modelo se adapta a diversos intervalos de tiempos necesarios para hacer la diagnosis, desde 1 minuto hasta varias horas.

En el segundo caso de comportamiento en acciones programadas (operación o mantenimiento) el método es algo diferente, empezándose por dividir la tarea en operaciones elementales como:

- leer un indicador
- presionar un botón
- abrir una válvula, etc.

Después se construye una estructura de árbol de fallas especificando las tareas en cuestión, y este diagrama representa las combinaciones posibles de errores entre las operaciones elementales.

La probabilidad de cada error elemental $P(E)$ se estima en la siguiente forma:

$$P(E) = P1 \times K \times P2$$

en donde:

$P1$ = probabilidad básica en función de las características de la operación y de la interfase hombre-máquina

K = coeficiente de corrección que toma en cuenta la fatiga del operador.

$P2$ = probabilidad de no-restablecimiento del error de acuerdo a los factores disponibles de restablecimiento.

Se tienen valores en tablas de probabilidades de por ejemplo:

- omisión;
- lectura equivocada;
- error en la selección de un indicador o de un control;
- detección de un error o anormalidad;
- respuesta a una alarma;
- coeficiente de fatiga o estrés.

Las características situacionales no aparecen explícitas en las Tablas y se deben tomar en cuenta de manera global: límite superior si las condiciones son desfavorables y límite inferior si son favorables. En las Tablas III-2 y III-3 se muestran dos ejemplos.

Una vez estimadas las probabilidades de errores elementales se calcula el árbol de fallas, y un modelo cuantitativo permite introducir las dependencias.

2.6.3 HCR (Human Cognitive Reliability)

Este método desarrollado por el EPRI (Electric Power Research Institute), estima la probabilidad de ausencia de respuesta a una incidencia P (E) en la siguiente forma:

$$P(E) = F_i \frac{t}{T^{1/2}} (1 + k_1) (1 + k_2) (1 + k_3)$$

en donde:

- t = Tiempo disponible para elegir y ejecutar la respuesta;
- T^{1/2} = Estimación del tiempo medio necesario;
- k1 = Una función de la competencia del operador;
- k2 = Una función de la fatiga;
- k3 = Una función de las características de la interfase-máquina.

Los factores K se dan en tres tablas, y dependiendo de la complejidad del proceso de respuesta elegida puede usarse una de las tres curvas F_i proporcionadas:

- Una curva corresponde al caso en el cual la respuesta elegida puede ser hecha automáticamente definida como comportamiento basado en la habilidad.
- Una segunda curva cubre los casos que requieren comportamiento basado en reglas;
- La tercera curva se usa cuando son necesarios la reflexión y el análisis (comportamiento basado en el conocimiento).

2.6.4 Modelos de Simulación

Los modelos anteriores fueron diseñadas específicamente para ECH.

En estos modelos se estudia el comportamiento humano por medio de computadoras y se cuantifican los errores humanos.

Las cuatro etapas que siguen a un incidente se desagregan en sus operaciones básicas:

- detección
- procesamiento de información
- acción
- corrección de error

TABLA III-2 .- PROBABILIDADES DE ERROR HUMANO
 Probabilidad estimada de errores de omisión por parte de instrucción cuando el uso de procedimientos escritos está especificado.

Núm.	Omisión de parte	Probabilidad
	Quando el procedimiento con previsiones de chequeo se usa correctamente.	
1	Lista corta, ≤ 10 partes	0.001
2	Lista larga, > partes	0.003
	Quando se usa procedimiento sin previsiones de chequeo o	

Núm.	Omisión de parte	Probabilidad
	cuando se usa incorrectamente previsión de chequeo.	
3	Lista corta, ≤ 10 partes	0.003
4	Lista larga, > 10 partes	0.01
5	Cuando procedimientos escritos están disponibles y deben ser usados pero no se usan.	0.05

TABLA III-3 .- PROBABILIDAD DE ERROR HUMANO (PEH)
Estimado por errores de selección de válvulas operadas localmente.

Núm.	Error potencial	Probabilidad
	Error de selección en cambio o restauración de una válvula operada localmente cuando se manipula.	
1	Etiqueta claramente y sin ambigüedad, separada de válvulas que son similares en todo lo siguiente: tamaño y forma, estado, o presencia de etiquetas.	0.001
2	Etiquetada claramente y sin ambigüedad, parte de un grupo de dos o más válvulas que son similares en uno de lo siguiente: tamaño y forma, estado, o presencia de etiquetas.	0.003
3	Etiquetada sin claridad o con ambigüedad, separada de válvulas que son similares en todo lo siguiente: tamaño, y forma, estado y presencia de etiquetas.	0.005
4	Etiquetada sin claridad o con ambigüedad, parte de un grupo de dos o más válvulas que son similares en uno de lo siguiente. tamaño y forma, estado, o presencia de etiquetas	0.008
5	Etiquetada sin claridad o con ambigüedad, parte de un grupo de dos o más válvulas que son similares en todo lo siguiente: tamaño y forma, estado y presencia de etiquetas.	0.01

A cada operación se le asigna una distribución de tiempo de ejecución; esta distribución puede modificarse considerando ciertas situaciones características (tipo de señal, tipo de procedimiento, etc.).

Los errores se introducen durante la etapa de acción con una cierta probabilidad de ocurrencia.

Las probabilidades y distribuciones se emiten por las experiencias de operación y pruebas de simuladores.

Este modelo tiene numerosas limitaciones:

- no representa un proceso de conocimiento complejo
- enfoca errores solo a nivel de acción
- toma en cuenta solo a un limitado número de factores

Sin embargo, sus principios básicos de usar datos de experiencias de operación y pruebas de simuladores le dan un valor importante.

2.7 Datos

Un análisis de los modelos de cuantificación revela que uno de los principales problemas de las ECH son la falta de datos observados sobre el comportamiento humano reunidos en conjuntos reales o experimentales, por lo que su predicción con frecuencia es algo especulativa.

Para resolver esta dificultad se usan varios métodos para reunir datos cualitativos y cuantitativos, como:

- retroalimentación de operación;
- simuladores;
- juicio de expertos;
- experimentos de laboratorio;
- bancos de datos.

2.7.1 Recolección de datos.

2.7.1.1 Retroalimentación de operación

El método más natural de recolección de datos es estudiar lo que pasa en sistemas análogos en existencia, p.e.

- Se pueden hacer pruebas para identificar tiempos de intervención e información cualitativa.
- Inventariar y analizar incidentes de operación (muy usado en el campo aeronáutico y nuclear).

Se hace un resumen del informe de todos los incidentes bajo un criterio pre-establecido, ya sea que su causa sea material o humana y se analizan en detalle los más significativos.

Esta es una fuente de valiosa información para las ECH, p.e.

- Tipos de errores
- Modos de razonamiento
- Tendencias de operadores
- Obtención de datos cuantitativos (principalmente tiempos de reacción)

No obstante lo anterior, este método tiene importantes defectos:

- Muchos errores no llevan a un incidente, por lo tanto nunca se registran.
- Con frecuencia es difícil determinar el número de oportunidades a las cuales el número de errores debe ser igualado para calcular frecuencias.
- No se tiene acceso directo a información puesto que no se hacen observaciones en tiempo real, y los datos pueden ser alterados por protagonistas, voluntariamente o no.
- Afortunadamente los incidentes serios son raros; la retroalimentación de operación da varios elementos sobre la conducta durante situaciones de accidente.

Para resolver la primera de éstas dificultades, en el campo aeronáutico se ha organizado una colección de todos los eventos que pueden provocar un incidente, se hace un informe sumario espontáneamente por el individuo involucrado o por un observador, aún si no hubo consecuencias importantes.

Los otros defectos de la colección de incidentes pueden superarse usando otros medios, en particular simuladores.

A pesar de estas deficiencias en relación con la ECH, el uso de retroalimentación de la experiencia es esencial, porque el comportamiento humano está unido altamente al contexto.

Las observaciones hechas en un contexto real son indispensables para calibrar los otros métodos usados.

- Simuladores
- Estudios de laboratorios
- Juicio de expertos

2.7.1.2 Simuladores

Los simuladores están compuestos de dos partes:

- Una imitación (frecuentemente a escala de 1:1) de todo o parte de la sala de control; los operadores pueden actuar sobre los controles y seguir la evolución de los parámetros sobre los indicadores.
- Una computadora mueve la imitación, calculando la evolución de parámetros como una función de las condiciones definidas al inicio (p.e. una rotura simulada) y las maniobras hechas por los operadores.

Estos simuladores tiene las siguientes características principales:

- Reproducen la conducta normal y en accidente.
- Son herramientas esenciales de entrenamiento (en industrias nuclear y aeronáutica)
- Se obtienen datos del comportamiento de un operador.

La organización de campañas de pruebas periódicas de personal de turno en simuladores, incluye lo siguiente:

- Cada turno esta compuesto por dos operadores, un supervisor de turno y un consultor técnico de turno.
- En cada campaña se simulan varios accidentes.
- Se explican los objetivos al personal y se les pide que actúen de la manera mas realista posible.
- No se les indica el tipo de accidente simulado.
- Se garantiza el anonimato y la retroalimentación de los resultados de la campaña.
- La simulación dura desde una a varias horas.

- Durante la prueba se filma a los operadores, se registran las palabras intercambiadas y varios valores físicos que caracterizan el estado del equipo.
- Cada uno de los operadores es seguido por un observador que anota principalmente los momentos en que se hacen los errores y acciones.
- Otro observador sigue los diálogos y comportamiento del supervisor y consejero de turno.
- Después de la simulación se entrevista al personal para conocer que dificultades se encontraron y escuchar sus observaciones sobre la prueba, la sala de control y los procedimientos usados.
- El diálogo anterior también permite a los observadores asegurarse que comprendieron correctamente la evolución de la prueba y el comportamiento del personal.

A través del análisis de estas pruebas se puede obtener información sobre la calidad de:

- La sala de control
- Procedimiento
- Organización
- Entrenamiento
- Información sobre las ECH como: tiempo de diagnosis, tiempo de ejecución, y tipos y mecanismos de error.

Por encima de todo, los simuladores son una excelente fuente de datos, en la medida en que permiten:

- Estudiar accidentes que nunca han pasado en la realidad.
- Dominar ciertos factores de comportamiento.
- Realizar observaciones finas, en tiempo real y en retrospectiva (grabación de videos).
- Determinar el número de oportunidades de error, calculando sus probabilidades.

Por contraparte, las desventajas de los simuladores son:

- Costo; cada hora de simulador es muy cara, y con frecuencia la prioridad se le da al entrenamiento.
- Metodología; la situación de los operadores durante la simulación no es muy representativa de la realidad, aún si se simula muy bien la operación de la planta. En particular, el personal espera ser confrontado con una accidente, lo cual debe tomarse en consideración cuando se interpreten los resultados, aconsejándose para este caso llevar a cabo comparaciones sistemáticas de incidentes reales y sistemáticas

2.7.1.3 Juicios de expertos

Los juicios expertos se han usado ampliamente para elaborar modelos corrientes para llenar la brecha dejada por otras fuentes de datos.

Se han desarrollado métodos para mejorar su confiabilidad, dando criterios para:

- La selección de expertos
- Establecer procedimientos de juicio
- Medios de verificación

El número de expertos por consultar depende de la precisión deseada, aunque en general asciende a un máximo de ocho.

2.7.1.4 Experimentos de Laboratorio

Los experimentos de laboratorio permiten estudiar tareas muy específicas con gran precisión, pero esta especificidad presenta dificultades para el uso directo de sus resultados por los ECH, sin embargo, se han usado experimentos de este tipo para validar modelos de ECH. Los resultados obtenidos son consistentes con los resultados de pruebas de simuladores.

2.7.2 Banco de Datos

La información hecha con la ayuda de los métodos mencionados debe ser procesada y agrupada en bancos de datos, con objeto de que sea utilizable.

Algunos tipos de bancos de datos proporcionan sólo información cualitativa, por ejemplo, descripción estandarizada de errores. La información de diferentes fuentes se agrupa en forma homogénea, sin someterla a análisis estadístico.

El valor de un sistema de este tipo es que permite a los varios usuarios llevarlas a sus tratamientos específicos de interés.

En la Tabla III-4, se muestran las principales características para describir un error en un sistema de clasificación estandarizado para reportar errores que puede servir como estructura para un banco de datos.

Las características (cerca de 100 en total) son alimentadas al banco de datos vía un programa de entrada que proporciona al usuario la elección de varias opciones disponibles bajo el encabezado de la Tabla III-4.

Como los especialistas deben tener acceso inmediato a los datos cuantitativos necesarios, se han diseñado varios bancos de datos de confiabilidad humana para lograr este objetivo. Con frecuencia estos bancos tienen un método muy analítico, por ejemplo:

- Probabilidad de error para acciones básicas como "leer un manómetro" o "presionar un botón", de los bancos del American Institute for Research AIR o del American Navy.
- Altamente específicos para un tipo de actividad, como el Aerojet bank para el mantenimiento del sistema de propulsión del cohete Titan II.
- Se apoyan fuertemente en el juicio de expertos, como la base de datos del THERP.

**TABLA III-4.- DESCRIPCION NORMALIZADA DE ERRORES HUMANOS.
 PRINCIPALES CARACTERISTICAS REGISTRADAS PARA CADA ERROR**

Característica	Descripción
Identificación	Planta, tipo, fuente de datos, fecha.
Descripción	Descripción del error a estilo libre.
Número de oportunidades	

Característica	Descripción
Estado del (reactor, caldera, etc.)	Plena carga, paro frio.
Transitorio iniciador.	Tipo de incidente durante el cual se produjo el error.
Actividad	Actividad de la persona que hizo el error (operación, prueba, mantenimiento)
Localización	Local donde se produjo el error.
Modo de error	Modo (no-realizado, mal-realizado) y operación afectada (control, diagnóstico, etiquetado, etc.)
Mecanismo psicológico	Mecanismo básico (no-percibido, error de lógica, . . .) y mecanismo global (imagen inadecuada de meta).
Equipo (hardware) afectado	Números de identificación de componentes del sistema afectado.
Interfase	Error cometido usando que elemento de interfase hombre-máquina (display o despliegue, control, procedimientos)?
Calidad de interfase	Características de la interfase.
Interfase requerida	El operador supuso usar un elemento de interfase (procedimiento)? Si fue así, que hizo?
Dependencia	Dependencia del error en relación con otros errores.
Factores dinámicos	Estaba distraído el operador? Algún cambio previo favoreció el error?
Características de la operación	Complejidad, número de operaciones en paralelo, restricciones de tiempo, frecuencia de la operación.
Ambiente	Temperatura, nivel de sonido, dificultades de acceso.
Estatus del operador	Departamento, función.
Características del operador	Nivel de activación, motivación, número de horas de trabajo previas al error, experiencia, entrenamiento
Consecuencias reales	Consecuencias para el equipo, seguridad y producción.
Consecuencias potenciales	Igualas categorías que anterior.
Detección	Momento de detección, departamento y función del detector, circunstancias y medios de detección.
Verificación requerida	Esta prescrita por reglas de procedimiento una verificación de la operación en que tuvo lugar el error? Si es así, estuvo bien hecha la verificación?
Recuperación (corrección)	Si fue corregido el error. cuándo? Si no, era corregible de hecho?
Acciones de remedio	Acciones tomadas para prevenir la repetición del error.

2.7.3 Rango de Valores

Los siguientes datos son los rangos de valores generalmente encontrados en la estimación de probabilidades de error humano.

Las probabilidades de error por acción generalmente se encuentran entre 1 y 10^{-5} , con un valor común de 10^{-3} correspondiente a una acción de dificultad moderada, con la siguiente distribución general:

- De 5×10^{-5} a 5×10^{-3} para actos "automáticos".
- De 5×10^{-4} a 5×10^{-2} para actos "basados en reglas".
- De 5×10^{-3} a 5×10^{-1} para actos "basados en conocimiento".

Las probabilidades dependen grandemente de la naturaleza de la tarea, p.e., para tareas de respuestas a señales que sólo requieren vigilancia, se tiene las siguientes probabilidades de error P, en función del tiempo disponible de respuesta:

t (min.) --- 1 ----- 5 ----- 10 -----> 10
 P 10⁻¹ --- 10⁻² --- 10⁻⁴ --- de 10⁻⁵ a 10⁻⁴

Para tareas de diagnosis complejas, las probabilidades P de error son mucho más grandes, encontrándose lo siguiente:

t (min.) --- 1 --- 5 --- 10 ----- 20
 P --- 1 --- 2 x 10⁻¹ --- 10⁻¹ --- 10⁻²

Las probabilidades dependen también de las características de la situación, en particular, la tensión (stress) tiene considerable impacto sobre el comportamiento, habiéndose encontrado una probabilidad de acción peligrosa o inútil de 0.15.

En experimentos llevados a cabo por la armada de EUA se encontró que el 30% de sujetos expuestos a un ataque simulado, ignorando que era simulacro, eran incapaces de llevar a cabo acciones que les permitieran quitar el peligro.

En la Tabla III-5, se muestran las probabilidades de error, de tareas simples, de una evaluación probabilística de riesgo EPR para un estudio de seguridad de reactor en EUA.

Los valores de la Tabla anterior demuestran la gran variabilidad de probabilidades de error de acuerdo a la situación, por lo que se debe tener cuidado de no emplearlo sin verificar primero su condición precisa de uso.

TABLA III-5.- PROBABILIDADES DE ERRORES HUMANOS, UTILIZADAS EN ESTUDIOS DE SEGURIDAD DE REACTORES NUCLEARES EN EUA.

PROBABILIDAD DE ERROR HUMANO	ACTIVIDAD
3 X 10 ⁻³	Errores de omisión, en donde la parte omitida esta incluida en un procedimiento en lugar que en la parte final, como el anterior.
3 X 10 ⁻²	Errores de aritmética simple con autochequeo, pero sin repetir el cálculo re-haciéndolo en otra hoja de papel.
10 ⁻¹	Cuando el operador acciona el interruptor equivocado de una válvula operada por motor (VOM) y no nota que la lámpara indicadora de la VOM ya está en el estado deseado y solamente cambia el estado de la VOM sin observar que seleccione el interruptor equivocado.
N 1.0	Igual que el anterior, excepto que el estado del interruptor incorrecto no está en el estado deseado.

N 1.0	Si un operador falla para operar correctamente una de dos válvulas o interruptores acoplados muy cerca en una etapa de procedimiento, también falla para operar correctamente otra válvula.
10 ⁻¹	El monitor o el inspector fallan en reconocer el error inicial del operador. Nota.- Con retroalimentación continua del error en el tablero de alarmas, este error no aplica.
10 ⁻¹	Personal de diferente turno de trabajo falla en checar la condición del equipo (hardware) a menos que sea requerido por lista de chequeo (check list) o por directiva escrita.
5 X 10 ⁻¹	Monitor falla en detectar posición no deseada de válvulas, etc. durante inspección general de rondín, suponiendo que no se usa lista de chequeo.
0.2 a 0.3	Error general, dado muy alto nivel de tensión (stress) en donde actividades peligrosas están ocurriendo rápidamente.
N 1.0	El operador falla en actuar correctamente en los primeros 60 segs. después de que inicia una condición de extremadamente alta de tensión, p.e., un grande LOCA (Loss of coolant accidente) accidente de pérdida de enfriamiento.
9 X 10 ⁻¹	El operador falla en actuar correctamente en los primeros 5 min después del inicio de una condición de tensión extremadamente alta.
10 ⁻¹	El operador falla en actuar correctamente después de los primeros 30 min en una condición de alto stress (tensión).
10 ⁻²	El operador falla en actuar correctamente después de las primeras varias horas en una condición de alto stress.
X	Después de 7 días de una gran LOCA, hay recuperación completa al régimen normal de error X para cualquier tarea.
10 ⁻⁴	Selección de operar un interruptor (switch) en lugar de otro (no incluye error de decisión del operador que mal interpreta la situación y cree que el interruptor es la elección correcta).
10 ⁻³	Selección de un interruptor (o par) disimilar en forma o localización al interruptor deseado (o par) suponiendo no error de decisión, p.e. el operador actúa el interruptor manual grande en lugar del pequeño.
3 X 10 ⁻³	Error humano general de comisión, p.e. lectura equivocada de etiqueta y por lo tanto selección equivocada de interruptor.
10 ⁻²	Error humano general de omisión en donde no hay despliegue (display) en la sala de control del estado de la parte omitida, p.e. falla en regresar manualmente válvula de prueba operada a la configuración apropiada después de mantenimiento

3. RIESGOS POR LA ELECTRICIDAD

3.1 Conocimientos necesarios

La investigación de los riesgos o peligros involucrados con la electricidad y rayos requiere de:

- Un conocimiento básico de la electricidad;
- Los efectos de la electricidad relacionados con los peligros, incidentes y accidentes;
- El funcionamiento normal y anormal de los componentes y sistemas eléctricos.

La electricidad utilizada en los hogares, comercios, servicios e industrias se genera y se transmite a los usuarios por compañías Eléctricas cuyas actividades y prácticas están gobernadas por Leyes, Códigos y Normas especialmente desarrollados para regular la:

- generación;

- transmisión;
- seguridad;
- comportamiento.

Los usuarios de electricidad la utilizan en sistemas de bajo voltaje; estos sistemas también deben cumplir con códigos y normas específicos en lo concerniente a la seguridad y comportamiento.

Para el análisis de los riesgos de la electricidad se deben comprender varios términos eléctricos, entre los que se encuentran los siguientes.

Voltaje.- Es una medida de la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos cualquiera, expresada en unidades de volts (V). Es importante hacer énfasis en que el voltaje en cualquier punto específico siempre debe medirse con respecto a algún otro punto.

Corriente.- El flujo de corriente en un conductor, medido en amperes (A), está relacionado al régimen de flujo de la carga eléctrica (coulombs/segundo) en el conductor. Las colisiones mecánicas entre los portadores de carga y la estructura molecular del conductor producen calor; este calor producido en un conductor está relacionado con el cuadrado de la corriente y la resistencia del conductor y se conoce como efecto joule (I^2R).

Resistencia (R), Impedancia (Z), Ley de ohm. La resistencia o impedancia al flujo de la corriente se mide en ohms; por lo general se usa el símbolo de la letra griega como abreviación de la palabra ohm.

En circuitos de corriente directa o corriente alterna con solamente carga resistiva, el flujo de la corriente se obtiene dividiendo la diferencia de potencial (voltaje) en el circuito entre la resistencia; a esta relación se le conoce como ley de ohm. ($I = V/R$)

En circuitos de corriente alterna con cargas inductivas y/o capacitivas, se usa la impedancia total en la ley de ohm para determinar el flujo de corriente.

Frecuencia.- La corriente y voltaje suministrados por la compañía son alternas: se alterna entre amplitudes de picos negativos y positivos (senoidalmente) en forma regular a 60 ciclos/seg. La unidad de ciclo/seg., se conoce con el nombre de hertz, abreviada Hz.

Potencia y Energía.- La potencia en un circuito, que se mide en watts (W), está relacionada con el producto de la corriente efectiva en el circuito por el voltaje efectivo a través del circuito.

Para corriente directa de flujo estable, el valor efectivo de la corriente o el voltaje es constante; los medidores de corriente directa muestran el promedio de la corriente.

Para corriente alterna, el valor efectivo de la corriente o el voltaje es el valor medio de la raíz cuadrada (mrc), o bien el valor pico dividido entre la raíz cuadrada del número 2 (para forma senoidal); los medidores de corriente alterna están calibrados para mostrar la media de la raíz cuadrada (mrc).

La energía, en sistemas mecánicos y eléctricos, se mide en diferentes unidades, siendo las más usuales:

- el joule (J)
- el watt-hora (w-h) o kilowatt - hora (kw -h)
- la kilocaloría (kcal) o Caloría (Cal)
- la unidad térmica británica (BTU)

Un watt es equivalente al consumo de energía de un joule/seg.

La unidad de potencia usada en motores y máquinas más usual es el horse power HP o caballo potencia; un HP es igual a 746 watts.

Cuando la corriente se expresa en amperes y el voltaje en volts, la potencia esta dada en watts. Para una determinada potencia, mientras más alto es el voltaje, menor es la corriente. Esta circunstancia se aprovecha en las líneas de transmisión para usar altos voltajes, aún cuando estos requieran un aislamiento mayor.

Falla.- El término falla se aplica a una avería parcial o total en el aislamiento o continuidad de un conductor; también se usa para las condiciones físicas que causan que un dispositivo, componente o elemento falle. Un corto circuito es un paso de corriente no intentado anormal entre dos puntos de diferente potencial, por ejemplo, entre dos conductores; un corto circuito entre un conductor y tierra o un conductor aterrizado se conoce como falla a tierra.

Arco eléctrico.- Los arcos eléctricos pueden causar o ser causados por fallas de equipos y fuegos, y también son parte importante en accidentes de contactos de líneas de potencia.

Dependiendo del tamaño y disponibilidad de energía, el arco eléctrico puede ser una fuente de ignición de fuego a corrientes tan bajas como 15 A; la temperatura de un arco eléctrico a estos niveles de corriente es de 2000° a 4000°C, y pueden causar daños si tienen suficiente disponibilidad de energía.

La rotura de la resistencia del aire que puede iniciar un arco eléctrico depende de la forma de los electrodos y de la forma de onda del voltaje aplicado; un valor típico es de 30 kv por cm.

Una propiedad fundamental de los arcos eléctricos es que no importa que tan pequeña es la separación de aire entre dos conductores, no puede haber rotura a través de una separación de aire si el voltaje es abajo de 300 V, pero una vez iniciado el arco sólo se requieren 20 V por cm. para sostenerlo. Los arcos de voltaje son prácticamente independientes de los arcos de corriente y dependen primariamente de la longitud del arco.

Los gases calientes de un incendio pueden permitir un arco a través del aire a voltajes muy por abajo de 30,000 v/cm

3.2 Efectos fisiológicos de la electricidad

Los efectos fisiológicos de choques eléctricos varían desde choques tan pequeños que casi no se perciben hasta choques que producen daños severos a la piel y aún la muerte.

Para evaluar los casos de daños eléctricos, los parámetros eléctricos importantes son la magnitud y forma de onda eléctrica, como corriente alterna, corriente directa, pulso, o descarga de rayos.

Es necesario conocer la impedancia aproximada del cuerpo humano para estimar en forma precisa la corriente de choque cuando se conoce la diferencia de voltaje, aplicando la ley de ohm.

Cuando un individuo toca dos puntos con diferentes niveles de voltaje completa un circuito eléctrico entre dos puntos. La corriente resultante depende de la magnitud de la impedancia total del circuito que es una serie de combinaciones entre los puntos de contacto de:

- el contacto de la piel del cuerpo, y
- la impedancia del cuerpo volumétrico.

La impedancia volumétrica depende de la cantidad y tipo de piel del cuerpo en el paso de la corriente; en los voltajes alternos, es la impedancia en lugar de la resistencia del circuito, la que determina la magnitud de la corriente. La impedancia de contacto de la piel incluye la impedancia de la piel y la impedancia de contacto en la interfase en la piel.

El voltaje, frecuencia, duración de la corriente, área de la superficie de contacto, presión de contacto, condición de la piel y nivel de humedad, todos influyen en la impedancia de contacto de la piel. Esta varía en forma amplia desde miles de ohms con piel seca y área de contacto pequeña, hasta valores despreciables cuando la integridad de la piel está afectada con laceraciones o por efectos del calentamiento de la corriente.

Las resistividades en el interior del cuerpo humano por huesos, fluidos y varias pieles, varían en forma muy amplia.

La impedancia del cuerpo humano es primariamente resistiva, con un valor mínimo de aproximadamente 500 ohms entre cualquiera de dos miembros de extremidades. Este valor podría corresponder a una resistividad promedio para el cuerpo, similar a un semiconductor o agua salada, o cerca de 1 ohm-metro.

La resistencia mínima de 500 ohm podría indicar que la máxima corriente posible para choque de miembro a miembro como mano a mano o mano a pie, podría ser de 240 mA para un choque a 120 V. Es importante observar que debido a la impedancia de contacto de la piel, la corriente real nunca alcanza este valor alto; adicionalmente, si en el paso de la corriente hay guantes, zapatos u otra ropa, se tiene impedancia adicional y la corriente potencial disponible se reduce más.

Usando los valores previos de resistividad, la resistencia más baja directamente a través del pecho es del orden de 50 a 100 ohms.

Las impedancias totales típicas de miembro a miembro con áreas de contacto grandes, dependen del voltaje aplicado:

- 1,750 ohms a 25V
- 1,125 ohms a 120V
- 750 ohms a 700V
- 650 ohms arriba de 1000V.

Estos valores (medidos en pruebas) indican que el valor de 500 ohms es conservador.

El umbral de percepción para un contacto de la punta de un dedo a 60 Hz es aproximadamente de 0.2 mA

Un nivel de corriente algo más alto que el umbral de percepción se conoce con el nombre de nivel de corriente de dejar-ir (let-go); este nivel es importante porque con una corriente de ésta magnitud fluyendo en la mano y brazo de un individuo, la mano involuntariamente

se cierra y agarra el contacto electrificado que tocó la mano o los dedos. Si no se rompe el contacto, puede decrecer la resistencia de contacto debido a la transpiración, desgarramiento de la piel o agarramiento más fuerte permitiendo que corriente más grande y letal pase a través del cuerpo.

Los choques a niveles de corriente de dejar-ir son bastante dolorosos aunque por lo general no son letales, sin embargo, si no se rompe el contacto, entonces la resistencia de contacto de la piel de la persona puede decrecer e incrementarse a un nivel letal y causar la muerte.

Se ha determinado que un valor seguro es de 6 mA para corriente de dejar-ir, porque el choque a este nivel no congela al individuo en el circuito energizado.

Asfixia.- La asfixia ocurre cuando el paso continuo de corriente a través de la cavidad del pecho causa que se contraigan continuamente los músculos del pecho interfiriendo con la respiración; esta corriente es menor que el nivel que podría causar fibrilación ventricular, pero suficientemente grande para contraer los músculos de forma que el individuo no pueda respirar o dejar-ir del circuito.

Paro respiratorio.- Los choques eléctricos con una corriente que pase a través del centro respiratorio pueden resultar en un paro respiratorio. El centro respiratorio en la médula del cerebro-tronco está en la base del cráneo, ligeramente arriba de una línea horizontal de atrás de la garganta, de forma que choques de la cabeza a un miembro o entre dos brazos podrían causar un paro respiratorio.

Fibrilación ventricular.- La fibrilación ventricular es una contracción no sincronizada y descoordinada de las fibras del músculo ventricular del corazón, en contraste con su contracción rítmica y coordinada.

Con la fibrilación ventricular, el corazón parece que tiembla en lugar de latir, cesa la circulación de la sangre, lo que es una situación de verdadera amenaza para la vida.

La fibrilación ventricular puede ser causada por un choque eléctrico en donde el paso de la corriente es a través del pecho, como entre dos brazos o entre un brazo y una pierna a través del pecho.

Debido a que al empezar la fibrilación ventricular cesa la circulación de la sangre, las personas pierden la conciencia en 10 segs. y se empieza a tener daños irreversibles en el cerebro a los 3 o 6 minutos a menos que se inicie resucitación cardio pulmonar.

Por extrapolaciones, a partir de experimentos con animales, en posibles aplicaciones humanas, el valor de corriente de 60 Hz para choques con paso de corriente I a través del pecho que produzca fibrilación ventricular, esta dada por la siguiente expresión:

$$I = \frac{100}{t} \text{ mA}$$

en donde la duración del choque t , esta en segundos, y

$$0.2 \text{ s} < t < 2 \text{ s}$$

Los límites seguros de corriente propuestos son los siguientes:

- 500 m A para choques con duración de menos de 0.2 segs.
- 50 m A para choques con duración mayor de 2 segs.

Asístola.- La asístola ocurre cuando un corazón esta en pausa cardiaca y no late; ésta condición puede ser causada por corrientes altas de choque, arriba de 1 A.

Debido a que las altas corrientes están asociadas con altos voltajes, las asístolas (a diferencia de la fibrilación ventricular) son con frecuencia la causa de muerte por accidentes involucrando circuitos de potencia de 1,000 V o mayores. A diferencia de la fibrilación ventricular, la asístola en algunos casos puede convertirse a un ritmo normal de corazón.

3.3 Tierras de sistemas y equipos eléctricos

La mayoría de los sistemas eléctricos están aterrizados, es decir, uno de los conductores normales de corriente esta conectado al suelo.

Las partes metálicas expuestas de equipos que no transportan corriente con frecuencia están conectadas a un conductor de tierra y al suelo.

Los objetivos de aterrizar los conductores de circuitos y sistemas eléctricos, así como los materiales conductores que encierran los conductores eléctricos o equipos, o bien que forman parte de dichos equipos, son los siguientes:

- limitar los voltajes en los sistemas eléctricos debidos a ondas por rayos;
- limitar los voltajes debidos a contactos no-intencionales con líneas de voltajes más altos;
- estabilizar los voltajes a tierra durante maniobras operativas en los sistemas eléctricos;
- limitar los voltajes a tierra de materiales conductores que encierran conductores eléctricos o equipos o que forman parte de estos;
- facilitar la operación de dispositivos de sobrecorriente en caso de fallas a tierra.

Si un sistema de distribución no está aterrizado sólidamente, una falla a tierra de un conductor energizado no puede ser detectado hasta que ocurra una segunda falla.

Un contacto entre un conductor energizado y la parte metálica expuesta de un equipo o estructura no aterrizada no puede detectarse y los dispositivos de protección no pueden limpiar la falla. El voltaje de la parte metálica expuesta se eleva con relación a tierra hasta el voltaje del conductor energizado, y la superficie metálica expuesta energizada representa un riesgo de accidente.

El aterrizar sistemas, circuitos y equipos al suelo en forma correcta no es una tarea fácil, ya que el suelo esta compuesto de materiales de mala conductividad comparados con los conductores metálicos que tienen muy baja resistividad.

La resistividad es una propiedad intrínseca que determina la resistencia de una muestra de material para una forma y tamaño dados; la resistencia de cualquier muestra de material es directamente proporcional a la resistividad.

La resistividad de un suelo alrededor de un electrodo de tierra varia, dependiendo de la naturaleza del medio, desde agua salada hasta roca, con un rango de 1 a 10.000 Ω de resistividad del agua salada y que es 107 veces mayor que la del cobre.

A pesar de la relativamente alta resistividad, la resistencia a la corriente del suelo es sustancialmente cero una vez que la corriente esta en el suelo, debido a la muy grande área de la sección transversal del suelo.

La resistencia de una conexión de tierra al suelo es primariamente la resistencia del suelo en la inmediata vecindad del electrodo de tierra en donde la corriente sale del electrodo de tierra para entrar al suelo.

Para aterrizar sistemas y equipos, se recomiendan electrodos de tierra de áreas grandes de contacto con el suelo, es decir, que tengan baja resistencia a tierra, por ejemplo:

- una tubería metálica para agua, con 3 m. o más de contacto directo con el suelo;
- un marco metálico de un edificio eléctricamente aterrizado;
- un electrodo enterrado cuando menos 5 cm. en concreto, localizado cerca del fondo de una cimentación o base de concreto en contacto directo con el suelo;
- un anillo de tierra, circulando un edificio o estructura;
- otras estructuras o sistemas metálicos locales bajo tierra;
- electrodos de varillas o tubos de cuando menos 2.50 m de longitud;
- electrodos placa que expongan cuando menos 0.2 m² de superficie al exterior al suelo.

Se recomienda que la resistencia a tierra de electrodos sea de 25 Ω o menos.

La medición de la resistencia a tierra de los electrodos por lo general requiere equipo especial; el método usual para hacer estas mediciones se conoce como el método de tres terminales.

Es necesario seleccionar correctamente el tamaño o calibre de los alambres o cables de los varios conductores que componen el sistema de tierras, con objeto de ayudar a cumplir el propósito primario del sistema de tierras que es el de proveer una baja

impedancia al paso de la corriente eléctrica a tierra, y minimizar la caída de voltaje durante condiciones de falla en las cubiertas metálicas de equipos.

Desde el punto de vista de seguridad, la importancia de un sistema efectivo de tierras, es la prevención de daños serios o muerte, limitando la cantidad de corriente disponible que pase a través del cuerpo durante una condición de falla.

3.4 Fuego o incendios por electricidad

La electricidad puede producir fuego que de origen a incendios; por lo general el origen de éstos fuegos son los arcos eléctricos.

El inicio de un arco eléctrico significa que se vence la resistencia dieléctrica del aire; el valor de ésta resistencia depende de la forma de los electrodos y de la forma de onda del voltaje aplicado, sin embargo, se puede tomar como un valor típico el de 30 kV-cm. para que se inicie un arco eléctrico. Una vez iniciado el arco, sólo se requieren 20V por cm. para sostenerlo.

El fuego de otra fuente puede carbonizar o fundir el aislamiento, y la diferencia de voltaje entre conductores puede iniciar un arco a 120 V ó menos aún cuando los conductores no se toquen; los gases calientes o el aislamiento carbonizado proveen el paso para la corriente de falla para iniciar el arco. Debido a que los conductores no se tocan durante el arco, hay una caída de voltaje en éste que hace que la corriente de falla sea menor que cuando los conductores están en contacto directo; esto incrementa el tiempo necesario para que opere el dispositivo de protección de sobrecorriente del circuito permitiendo un arqueo considerable.

El aislamiento plástico de PVC (Poly vinyl chloride) usado como aislamiento de alambres se quema cuando se expone a la flama, pero se auto-extingue si se quita la flama, aunque puede quedar carbonizado, fragilizado y desprenderse. Una flama no se propaga a lo largo del conductor si se aplica al aislamiento en un punto del conductor.

Con frecuencia el aluminio se encuentra fundido después de un fuego, el cobre con poca frecuencia, y el acero casi nunca se encuentra fundido; la razón de éstos fenómenos son las temperaturas de fusión de estos materiales que son como sigue:

- aluminio 660°C
- cobre 1.083°C
- acero 1.535°C

Un arco eléctrico con temperaturas en el rango de 2000°C a 4000°C para corrientes de 2 a 20 A puede fundir cualquiera de los metales anteriores, sin embargo, el arco debe tener suficiente energía para fundir la masa de metal, puesto que es el contenido de calor en el arco y no sólo la temperatura lo que causa la fundición. Una chispa de baja corriente puede tener alta temperatura, pero no tiene la energía requerida para elevar la temperatura del metal hasta el punto de fusión.

En algunas ocasiones se encuentran placas delgadas de acero que presentan agujeros que parecen causados por fusión en fuego, sin embargo, estos agujeros por lo general se

deben a oxidación rápida del acero cuando esta sujeto al fuego con temperaturas más bajas que la de fusión del acero.

Los conductores de aluminio transportan corrientes eléctricas también como los conductores de cobre, y cualquier problema con los conductores de aluminio por lo general ocurre en el punto terminal o en las conexiones.

Si las terminales o conexiones de aluminio no se seleccionan correctamente para la aplicación o no están bien instalados, una terminal o conexión apretada puede aflojarse con el tiempo; la terminal o conexión floja puede sobrecalentarse y causar daños al equipo o fuego, aún cuando lleve la corriente de régimen o menor.

El aflojamiento gradual de terminales se produce por la expansión y contracción del conductor de aluminio causada por el calentamiento I^2R y el enfriamiento conforme la corriente se conecta y se desconecta.

Adicionalmente cualquier óxido en el aluminio puede incrementar la resistencia de contacto de la terminal y producir un incremento del calentamiento I^2R en la conexión.

Para asegurar una instalación segura se deben limpiar apropiadamente las terminales y conductores de aluminio, y aplicar la presión correcta o par en las terminales o conductores.

Por lo general las muescas o mellas en conductores sólidos o algunas hebras partidas de conductores tramados no son fuente de sobrecalentamiento importante de riesgo, porque el incremento de temperatura en el lugar del daño es mínimo ya que cualquier aumento de calor que se produzca se aleja del resto de la masa del conductor, de forma que se limita la elevación de temperatura en la sección transversal reducida.

Los fuegos eléctricos tienden a originarse en las salidas o en los equipos alimentados desde una salida, definiéndose a ésta como: un punto en el sistema de alambrado en el cual se toma corriente para alimentar el equipo.

Los fuegos pueden iniciarse en receptáculos, cajas de salida, cables de conexión de aparatos, alumbrado de techo y otros dispositivos alimentados desde las salidas. Estos lugares son mucho más probables de originar fuegos que los lugares a lo largo de un tramo continuo de conductor.

El aislamiento del conductor no se quema sino es en fuego, de forma que el sobrecalentamiento del equipo eléctrico no puede encender el aislamiento de un conductor; el aislamiento no actúa como una candela y llevar fuego a otra área como combustible inflamable.

Las corrientes grandes de falla pueden sobrecalentar las terminales o empalmes mas cerca de la fuente de potencia que el sitio de la falla, pero la operación del dispositivo de protección de sobrecorriente del circuito puede limitar el sobrecalentamiento. Por definición, las fallas de alta resistencia tienen baja corriente de falla, por lo tanto no deben sobrecalentar el aislamiento del conductor, terminales o empalmes flujo arriba del circuito desde la falla.

3.5 Protección de edificios, equipo y personal contra rayos

AUTORES:
ING. MARTINIANO AGUILAR RODRÍGUEZ
ING. BERNARDO AGUILAR CALVO

Los rayos pueden causar lesiones y muerte a personas y animales, así como daños considerables a la propiedad.

Cuando los principios físicos básicos se aplican apropiadamente la protección contra rayos puede ser muy efectiva, pero es necesario conocer las características eléctricas de los rayos así como del posible paso de la corriente a la tierra.

Cuando ciertos tipos de nubes y condiciones atmosféricas están presentes, es posible que se separen las cargas en un trueno de la nube; aún cuando el mecanismo de éste proceso no se conoce completamente, se sabe que la parte baja de una nube por lo general tiene una carga negativa, mientras que la parte superior es positiva. Estas cargas negativas inducen una carga positiva y un campo eléctrico en la superficie de la tierra.

Bajo ciertas condiciones, el fenómeno anterior produce descargas eléctricas (rayos) con ciertas características especiales en lo referente a inicio, dirección de descargas, ramificaciones, guías escalonadas, etc. Estas descargas tienen un pico medio de corriente de 30,000 A.

3.5.1 La atracción de los rayos.

Con excepción de las estructuras altas como torres de radiodifusoras o edificios de más de 60 m de alto que se encuentran bajo una nube, el conducto escalonado del rayo se inicia descendiendo de la nube cargada; un objeto en la tierra no inicia un golpe de rayo o lo atrae, sino solo caen rayos que podrían haber golpeado en su cercanía o vecindad.

En estructuras altas, la guía escalonada puede iniciarse desde la estructura y viajar a la nube superior, de forma que el rayo se dispara por la estructura que esta en la tierra.

3.5.2 Niveles isoceráunicos

El nivel isoceráunico de una localización específica sobre la tierra significa la indicación del número de "días de tormentas de truenos" por año en esa localización.

Un día de tormenta de truenos se define como un día en que, cuando menos un trueno se escucha, y no hay diferencia si hay muchos truenos o sólo es uno el que se escucha.

Un rayo produce trueno por las ondas de choque creadas por el repentino calentamiento del aire con el paso del rayo; se han reportado temperaturas pico hasta cerca de 30,000°C.

Debido a que el trueno rara vez se escucha a más de 25 km. de distancia de su carrera, el escuchar el trueno indica que el rayo fue dentro de esa distancia desde el observador.

El nivel isoceráunico es útil en la determinación de regiones del país en donde los rayos pueden ser un problema debido a su frecuencia.

3.5.3 Cono o Zona de Protección

Un objeto alto tiende a atraer los rayos que podrían haber pegado en su vecindad; se considera que hay un cono de protección alrededor del objeto, por ejemplo, un poste alto metálico enterrado puede proteger a otro objeto de un golpe de rayo si está dentro del volumen cónico cuya altura es el poste y la base es un circuito en la tierra con centro en el poste y radio igual al alto del poste.

Dentro del volumen del cono, el rayo tiende a pegar en el poste en lugar de algún objeto que se encuentre dentro de este volumen. Este cono de protección no es perfecto y existen casos de objetos dentro del cono que han sido golpeados por rayos.

Usando el concepto de cono de protección, se obtiene que la probabilidad que un objeto sea golpeado por un rayo es proporcional al cuadrado de su altura sobre el área que lo rodea. El área es proporcional al cuadrado de la altura que es el radio.

Los objetos o personas y animales dentro de la zona de protección pueden ser dañados o lesionados aún si no son golpeados directamente; este daño es causado por quemado lateral o corriente de tierra.

Cuando pega un rayo puede desarrollarse un gran voltaje a tierra a lo largo del paso debido a corrientes de pico grandes y a una violenta elevación de la corriente.

Los picos de corriente de los rayos causan altos voltajes a tierra debido a la resistencia en su paso como la resistencia del objeto golpeado y la resistencia de la conexión a tierra; el régimen rápido de elevación de la corriente produce voltajes a tierra debido a la inductancia en el objeto golpeado.

Cuando el objeto golpeado por un rayo tiene alto voltaje con respecto a tierra puede ocurrir un relámpago lateral sobre un objeto cercano en la tierra.

Las corrientes en la tierra pueden causar grandes diferencias de voltaje a lo largo de la superficie del suelo y pueden causar daño o lesiones a objetos o personas y animales en su cercanía.

Las personas en el exterior abierto pueden ser muertas o lesionadas por un golpe directo de rayo o por las corrientes de tierra cercanas al golpe del rayo. Los lugares que son especialmente probables de recibir un golpe de rayo son bajo los árboles o en pequeños cobertizos sin protección contra rayos.

3.5.4 Muerte y Lesiones Relacionadas con el Teléfono

Aunque no es común, las personas pueden morir o lesionarse mientras usan el teléfono interior, por un rayo durante una tormenta, en caso de no contar con una protección adecuada.

Las líneas telefónicas que entran a los edificios deben tener una protección en el lugar de entrada; la intención de la protección es limitar el voltaje a tierra que puede ocurrir en el alambrado interno del teléfono o auricular, por rayos, o por ondas de voltaje por contactos de las líneas telefónicas con líneas de alto voltaje de potencia.

Las líneas telefónicas de entrada conectan el protector a un electrodo de tierra telefónico a través de un tubo de gas o block de carbón con una bujía (spark gap). Es muy importante que la tierra del teléfono este unida al electrodo de tierra de potencia y tubería hidráulica metálica.

3.5.5 Protección de Estructuras Contra-Rayos

La protección de edificios contra rayos se provee por un sistema de conductores aterrizados en la estructura que proporcionan un paso de baja resistencia a tierra para la corriente de golpe del rayo. Los conductores de rayos llevan la corriente de este sin peligro a tierra, y sólo atraen rayos que de cualquier forma habrían pegado en la estructura.

Sin los conductores de rayos, los que pegan en un edificio tienen que encontrar su propio paso a tierra a través de estructuras malas conductoras, haciendo daños considerables. La potencia desarrollada es I^2R , y cuando la corriente I es muy grande y la resistencia R es relativamente grande, habrá una disipación de potencia grande que puede causar daños considerables.

Un sistema moderno de protección contra rayos consiste de los siguientes subsistemas:

- Terminales al aire, que son las varillas que se colocan arriba de la estructura para interceptar los rayos;
- Conductores de rayos y conductores de bajada que son los que transportan la corriente interceptada del rayo desde las terminales al aire hasta los electrodos de tierra;
- Los electrodos de tierra, que conectan al sistema de protección contra rayos al suelo;
- Enlace apropiado, que conecta con las tierras de potencia, telefónica y sanitaria. El enlace del sistema de protección contra rayos con los otros sistemas de tierras y la liga de los conductores de rayos con cualquier objeto cercano aterrizado es esencial.

En caso de requerirse protección de aparatos eléctricos contra ondas de voltaje, se puede utilizar alguno de los siguientes tipos:

- Filtros para atenuar los transitorios, por ejemplo, capacitores de onda;
- Barras diversificadoras para apartar los transitorios como electrodos (spark gap), tubos de gas o tiristores;
- Grapas de voltaje tipo diversificadoras, como un diodo zener o un varistor.

3.6 Riesgos por electricidad estática

La electricidad estática es muy común en hogares, establecimientos industriales y en la naturaleza; existe en pequeñas cantidades cuando la gente se peina el pelo, en grandes cantidades en chispas de maquinaria y en cantidades gigantescas en la forma de rayos.

En pequeñas cantidades, la electricidad estática es inofensiva, pero en cantidades moderadas y en presencia de materiales flamables, puede iniciar fuegos.

Para entender como las cargas estáticas eléctricas se desarrollan y acumulan y las condiciones que las vuelven peligrosas, es necesario conocer los siguientes conceptos básicos.

- Carga eléctrica.- Es la cantidad fundamental de electricidad y se mide en unidades llamadas Coulombs (Q); la carga se presenta en dos formas: positiva y negativa, y ambas pueden crear chispas que causen fuego. Las cargas negativas están presentes en los electrones de todos los átomos y las positivas en el núcleo de todos los átomos. La mayoría de los objetos comunes son eléctricamente neutros porque sus cargas negativas y positivas en igual cantidad se anulan o equilibran, sin embargo, este arreglo neutral puede alterarse fácilmente cuando se juntan dos objetos y si además se friccionan; al separarse uno tiene carga neta negativa y el otro carga neta positiva. Las series triboeléctrica, como la mostrada a continuación, pueden ayudar a conocer cual objeto tendrá carga positiva y cual negativa.

Más positiva

Piel de conejo

Vidrio

Nylon

Lana

Piel de gato

Algodón

Seda

Lucita

Dacrón

PVC

Polietileno

Balón de hule

Teflón

Más negativa

- Fuerzas eléctricas.- Las cargas eléctricas ejercen fuerzas una sobre otra: son de atracción cuando son de signo contrario, y son de repulsión cuando son del mismo signo. Las fuerzas y cargas eléctricas no pueden verse, pero sus efectos son obvios (el levantamiento de pedacitos de papel con un peine cargado eléctricamente).
- Conductores y aisladores.- Un material que permite que la carga eléctrica se mueva libremente a través de él o sobre su superficie se conoce como conductor, incluyendo todos los metales como cobre, acero, aluminio, etc. El cuerpo humano también es un buen conductor y además el agua (de electricidad estática).

Los materiales que no permiten el libre movimiento de cargas eléctricas a través de ellos o sobre su superficie, se conocen como aisladores o no-conductores; algunos materiales aisladores comunes incluyen al hule, vidrio, cera, papel y la mayoría de los plásticos.

La resistencia en ohms o conductancia en siemens de un material puede ser determinada mediante una prueba; éstas dos medidas están relacionadas reciprocamente: una es inversa de la otra.

La resistencia R puede también definirse con la resistividad P, que está relacionada por la formula:

$$\text{Resistencia} = P \frac{L}{A} \text{ en ohm} \cdot \text{m}$$

en donde:

L = longitud de la muestra bajo prueba

A = área de la sección transversal de la muestra

La conductividad se define como la recíproca de la resistividad:

$$\text{Conductividad} = \frac{1}{\text{Resistividad}}, \text{ en siemens/m}$$

3.6.1 Mecanismo de Ignición

Para que la electricidad estática pueda causar un fuego o una explosión, se requiere que se satisfagan simultáneamente las cuatro condiciones siguientes:

- a.- Un método para generar carga estática.- El estado natural de la materia es de eléctricamente neutra. La posibilidad de generación de electricidad estática está presente, siempre que materiales vayan juntos y después se separen, por ejemplo, bandas transportadoras en movimiento, materiales en polvo soplados a través de tubería y vapor a presión escapando de un recipiente con fuga.

Otro método de carga es por inducción, por ejemplo, al acercar una carga al extremo de una varilla, esta re-arregla sus cargas resultando con cargas positivas y negativas en sus extremos, aunque en este caso la carga neta no varíe y más bien puede ser temporal.

En la realidad, el movimiento de la gente y de partes de maquinaria produce cargas de inducción y al hacerlo en forma repetitiva se obtienen grandes cantidades de carga.

Hay dos formas de expresar la generación de cantidad de cargas; una es midiendo la rapidez a la cual se separan las cargas o se colectan por el generador, en coulombs/seg. (amperes), y la otra es midiendo el voltaje máximo o presión eléctrica que pueda desarrollarse.

- b.- Almacenamiento de carga.- Cuando se genera carga, esta puede ser disipada inmediatamente, o bien almacenada; el almacenamiento puede ser en un aislador o en un conductor aislado.

Conforme se agrega carga se produce voltaje o presión eléctrica; la carga Q y el voltaje V son directamente proporcionales, y están relacionados por la siguiente fórmula:

$$Q = CV$$

en donde C es la capacitancia, medida en unidades llamadas farads.

La magnitud de la capacitancia depende de la geometría de las partes (tamaño y forma). En la fórmula anterior Q está en coulombs, V en volts y C en farads.

Para muchas situaciones de ingeniería se pueden emplear valores aproximados de capacitancia, por ejemplo:

Pequeñas herramientas de mano	10 a 20 pF
Cubeta de 12 litros	30 a 50 pF
Tambo de 200 litros	50 a 100 pF
Cuerpo humano	100 a 300 pF

pF es un pico Farad equivalente a 10^{-12} Farads.

- c.- Energía de ignición.- Si se continua agregando carga a un cuerpo, el voltaje se continua elevando y eventualmente puede liberarse una chispa. Para que ésta chispa cause ignición debe poseer una energía mínima, un valor exacto que depende del material por incendiar.

La energía E liberada en la descarga de una chispa esta dada por:

$$E = \frac{1}{2} C V^2, \text{ en joules}$$

en donde C esta en Farads y V en volts.

La energía almacenada por un capacitor, está almacenada en el campo eléctrico producido por el capacitor.

Existe una situación análoga para un inductor que almacena energía en su campo magnético, que está dada por:

$$E = \frac{1}{2} L I^2$$

Aunque en principio esta energía almacenada pueda producir una chispa y causar un fuego o explosión, este tipo de corriente quedan fuera del dominio de la electricidad estática.

- d.- Mezclas flamables.- Muchas mezclas de gases como aire-acetileno y oxígeno-hidrógeno pueden incendiarse fácilmente; similarmente, capas de polvo sobre la superficie y nubes de polvo dispersas en el aire también pueden incendiarse.

Los valores de energía mínima de ignición consignados han sido cuestionados porque estos valores varían con el material de los electrodos, el espaciamiento y el tamaño, sin embargo, son los únicos datos que se tienen y que a continuación se consignan.

Energía mínima de ignición de vapores, en mJ

Gasolina de aviación	0.2 mJ
----------------------	--------

Etileno	0.07 a 0.08 mJ
Hidrógeno	0.011 a 0.017 mJ
Metano	0.28 a 0.39 mJ
Propano	0.16 a 0.25 mJ

Energía mínima de ignición de nubes de polvo, en mJ

Aluminio	50 a 280 mJ
Polvo negro	320 mJ
Cola de hueso	140 mJ
Moronas de chocolate	100 mJ
Polvo de corcho	35 a 45 mJ
Polvo de jabón	60 a 960 mJ
Polvo de madera	20 a 40 mJ

Los valores anteriores se consideran conservadores lo que permite un margen de seguridad razonable.

3.6.2 Mitigación de Cargas Estáticas

Hay varias formas de eliminar o mitigar los efectos de la producción de cargas estáticas indeseables o peligrosas; si un método parece impráctico para una situación, se debe considerar otro.

Ocasionalmente se pueden usar simultáneamente dos o más métodos de mitigación con buenos resultados.

Antes de discutir los detalles de los métodos de mitigación de los efectos de la electricidad estática, se debe establecer una buena regla de seguridad y su corolario:

- Cuando no puede absolutamente eliminarse una situación peligrosa, debe hacerse que dicha situación sea un evento muy improbable.

Debido a que es muy raro poder eliminar completamente la electricidad estática, con frecuencia se debe tratar con variables, por ejemplo, cuando se enfrenta a la posibilidad de una chispa en una atmósfera flamable, primero debe trabajarse para hacer la chispa improbable, y enseguida deben hacerse esfuerzos para hacer que la atmósfera flamable sea improbable. Para este propósito debe considerarse la ventilación o adición de gases inertes. El corolario de ésta regla es que:

- Si dos eventos independientes son cada uno improbables, la combinación de ambos eventos es muy improbable.

Los métodos para mitigar los efectos de las cargas estáticas son las siguientes.

- Humedad.- Si un área de humedad relativa se conserva a alto nivel, algunos materiales absorben suficiente vapor de agua del aire para volverlo ligeramente conductor; ésta humedad puede ser suficiente para llevar lejos las cargas estáticas tan rápido como se generan. Hay materiales que absorben humedad fácilmente como papel, cartón, vidrio, etc., y otros que no lo hacen como el teflón y otros plásticos.

- **Generación de iones.-** La adición de iones al aire, causa que este se vuelva conductor; los iones pueden ser fácilmente producidos por fuentes de alto voltaje, flamas y algunas fuentes radioactivas.

Una concentración suficiente de iones en el aire permite que las corrientes de descarga fluyan a través del aire y se prevenga la acumulación de carga estática.

Si una región de carga positiva no deseada se expone a una corriente de iones, se atraerán los iones negativos y se obtendrá neutralización, y entonces los iones positivos se repelerán. Una vez que se ha logrado la neutralización ya no hay más atracción, es decir, hay un mecanismo retroalimentador autolimitado.

Si un ionizador se lleva cerca de un conductor aterrizado puede ocurrir una corriente corona o una chispa, razón por la cual los ionizadores normales no deben usarse en atmósferas flamables.

- **Control directo de la conductividad.-** A veces pueden hacerse, cambios químicos directos si no interfieren con otras propiedades del proceso, por ejemplo, la ropa hecha de nylon, rayon y poliester se carga fácilmente, pero esta tendencia puede ser reducida haciendo al material más conductor. Se ha tratado con fibras metálicas como aditivos de tramado en la ropa, y esta aún se siente buena y lavable, pero con la carga grandemente reducida.

Otro método, usado con algunos plásticos, es la adición de carbón para incrementar la conductividad, variando la resistividad del material sobre rangos extremadamente amplios; mientras más baja es la resistividad menos es la carga.

También se puede usar una tira de plástico conductor, que actúa como un alambre de cobre drenando lejos las cargas no-deseadas.

Otra forma es usando inmersión y sprays para cubrir las superficies, siendo en algunos casos el mismo material agregado al conductor; también se usan materiales absorbedores de agua.

- **Aterrizamiento.-** Si se producen cargas en un conductor aislado, se debe aterrizar el conductor lográndose llevar las cargas al suelo; aún pasos a tierra con relativamente alta resistencia son adecuados para sacar la mayoría de las cargas estáticas, siendo por lo general efectivo un millón de ohms o menos.

Cuando se trabaja con aparatos electrónicos sensitivos o en las operaciones de fabricación de dispositivos de estado sólido, puede ser deseable aterrizar al personal, pero esta conexión debe tener una resistencia mayor de 25,000 ohms.

- **Descargas pasivas.-** Cualquier punto afilado o agudo emite un efecto corona o iones si el voltaje se eleva a más de unos miles de volts, por lo que algunas veces se conectan puntos o escobillas de alambre al equipo para evitar la formación de carga estática, descargando conforme se eleva el voltaje. La ventaja de este arreglo es que no se necesita una fuente de potencia externa, pero la desventaja es que nunca se alcanza

una descarga completa, además del peligro que representa para el personal los puntos afilados.

3.6.3 Instrumentos para Medición de Electricidad Estática

Los aparatos comerciales normales de medición de corriente, voltaje, resistencia y otros parámetros eléctricos no son muy adecuados para medir campos y voltajes de electricidad estática. Estos instrumentos comerciales normales usan una batería interna de 1.5 V para organizar pequeñas corrientes para medición de resistencia, y este pequeño voltaje puede ser "engañado" por una pequeña contaminación.

Las mediciones de resistencias para la electrostática deben hacerse con voltajes de prueba de cuando menos 500 V; con voltajes más altos puede obtenerse información más precisa.

Los voltmetros electrostáticos proveen un medio sin contacto de medir el potencial electrostático en la superficie de materiales aislantes, conductores o semiconductores.

Un medidor de campo mide el campo electrostático, en volt/m, en el sitio de un ensayo especialmente aterrizado; la separación de la probeta a la superficie debe ser controlada cuidadosamente para mediciones precisas.

Las resistencias de campos electrostáticos son de varios cientos de kilovolts por metro con separaciones grandes.

4. RIESGOS POR FALLAS MECÁNICAS

4.1 Antecedentes

A pesar de que la preocupación por la confiabilidad de componentes mecánicos es muy antigua, no fue hasta la década de los años de 1950 cuando se realizaron los primeros estudios al respecto.

El objeto de dichos estudios fue el de la predicción correcta de la confiabilidad de componentes mecánicos, desde la etapa de diseño, especialmente de los componentes o partes estructurales

Antes de los 1950's, la ingeniería usaba el concepto de "margen de seguridad", sin embargo, esta previsión es ineficiente para prevenir fracturas, y adicionalmente con frecuencia lleva a pesos y costos excesivos especialmente en la industria espacial.

También se comprendió que los conceptos como esfuerzo y resistencia sólo podían ser definidos estadísticamente, con lo que nació el método probabilístico usado para calcular la confiabilidad de componentes mecánicos modelando los esfuerzos y resistencia de componentes.

La construcción de grandes estructuras mecánicas (reactores, plataformas marinas) que con frecuencia son únicas o en pequeño número y cuyas fracturas pueden tener serias consecuencias, requieren el uso de métodos probabilísticos para predecir su

confiabilidad. Como éstas estructuras son muy pocas y deben cumplir altos estándares de calidad, es virtualmente imposible usar estadísticas.

En estas condiciones el único medio de evaluar la confiabilidad es desarrollar modelos probabilísticos de su comportamiento mecánico, mediante una nueva disciplina llamada fracturas mecánicas probabilísticas. La descripción de esta disciplina se hará en la siguiente forma:

- principios generales;
- confiabilidad de componentes calculada usando la teoría de esfuerzo-resistencia;
- método estadístico y mecánica probabilística de fracturas en relación con el fenómeno de fatiga;
- descripción del método general recomendado para evaluar la disponibilidad como se aplica a la mecánica de fracturas probabilística.

4.2 Principios Generales

Los componentes mecánicos tienen numerosos modos de falla:

- desgaste;
- atoramiento;
- deformación;
- grietas;
- fracturas; etc.

Los mecanismos con frecuencia son complejos e involucran numerosos parámetros como esfuerzos mecánicos, corrosión, calor, etc.

La ingeniería mecánica se preocupa con las causas de deformación, grietas o fracturas de componentes mecánicos.

Por lo general la ingeniería mecánica usa el margen de seguridad MS definido en la siguiente forma:

$$MS = \frac{\text{resistencia}}{\text{esfuerzo aplicado}} = \frac{R}{T} \equiv > 1$$

Algunas veces se aplica un factor multiplicador de seguridad MS, para determinar la resistencia del material a partir de la resistencia a la cedencia.

La resistencia no puede ser encontrada determinísticamente debido a que los materiales:

- son heterogéneos;
- tienen dimensiones imprecisas;
- tienen diferentes métodos de fabricación.

Su resistencia sólo puede ser representada por una distribución; esto también se aplica para los esfuerzos que varían de acuerdo al ambiente o uso de los componentes mecánicos. En la Fig. III-3, se muestran esquemáticamente distribuciones del esfuerzo y

de la resistencia, observándose que bajo ciertas circunstancias el esfuerzo puede ser más grande que la resistencia lo que produce la fractura del componente mecánico.

Por lo anterior, puede decirse que la confiabilidad de un componente mecánico está determinada por la probabilidad de que la resistencia sea más grande que el esfuerzo.

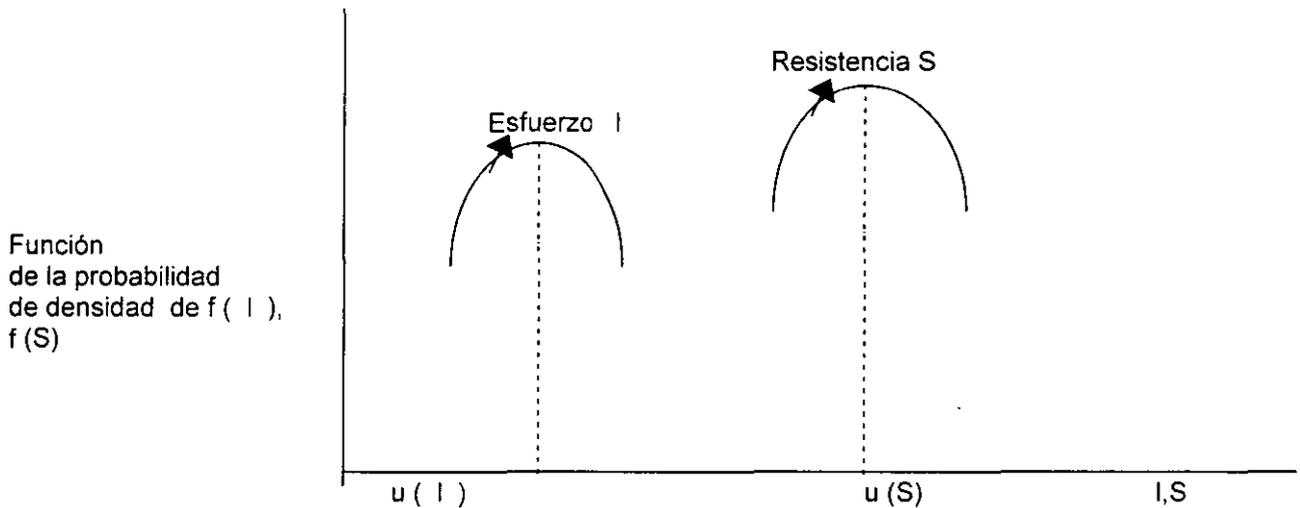


FIG. III-3.- ESFUERZO I Y RESISTENCIA S: METODO PROBABILISTICO

Si se calcula el margen de seguridad del valor promedio de la distribución, entonces cuando la extensión de la distribución varía, la confiabilidad puede variar mucho para el mismo margen de seguridad, es decir:

- un margen de seguridad relativamente alto puede ser emparejado con una mala confiabilidad;
- una buena confiabilidad puede relacionarse con un bajo margen de seguridad.

De acuerdo con lo anterior, el cálculo probabilístico es el único medio de relacionar el margen de seguridad con el nivel de confiabilidad, y el margen de seguridad puede definirse a partir de estas distribuciones.

4.3 Esfuerzo y resistencia

La evaluación de la confiabilidad R consiste en calcular la probabilidad P que la resistencia S exceda efectivamente el esfuerzo aplicado I durante toda la misión considerada:

$$R = P (I < S)$$

Considerando las funciones de probabilidad de densidad $f_1(I)$ y $f_2(S)$ de la Fig. III-4, la probabilidad de tener una resistencia S más grande que I es:

$$P(S > l_1) = \int_{l_1}^{\infty} f_2(S) dS$$

Por lo tanto, la confiabilidad R se escribe como:

$$R = \int_{-}^{+} f_1(l) \left[\int_{l_1}^{\infty} f_2(S) dS \right] dl$$

Dada una resistencia inicial S2, puede mostrarse que:

$$R = P(S > l) = \int_{-}^{+} f_2(S_2) \left[\int_{-}^{S_2} f_1(l) dl \right] dS_2$$

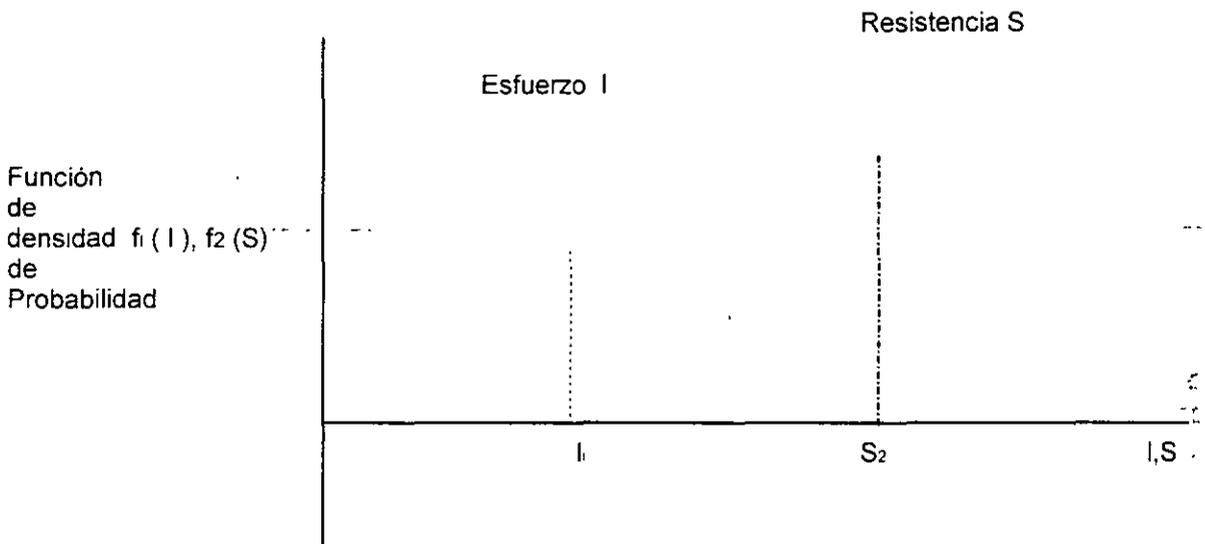


FIG. III-4.- EVALUACION DE LA CONFIABILIDAD

Para resolver ésta ecuación existen varios métodos como:

- gráfico;
- resolución por Monte Carlo;
- solución analítica.

4.4 Fatiga

La aplicación periódica de carga causa cambios en las propiedades del material, y este fenómeno, conocido como fatiga puede resultar en fractura del componente mecánico a esfuerzos que con frecuencia son más bajos que el esfuerzo de cedencia del material.

Esta fractura origina una grieta que se extiende progresivamente hasta que la sección transversal restante ya no puede soportar la carga aplicada y falla el elemento.

El método probabilístico de este fenómeno involucra:

- un tratamiento estadístico
- mecánica de fracturas probabilística.

Si se aplica a una probeta de prueba un esfuerzo cíclico periódico (senusoidal) de una amplitud máxima I y frecuencia constante, ocurrirá una fractura después de un número de ciclos N .

Cuando se varía el esfuerzo I , el resultado es una curva conocida como curva I - N o curva de duración o resistencia mostrada en la Fig. III-5; por lo general se observan tres diferentes dominios en esta curva:

- una sección de deformación plástica correspondiente a esfuerzos altos. La fractura ocurre después de un pequeño número de ciclos y es precedida por una deformación plástica significativa;
- una sección de fatiga o de duración limitada, en donde la fractura ocurre después de un número limitado de ciclos que se incrementan conforme disminuye el esfuerzo;
- una sección de duración ilimitada o sección de seguridad bajo pequeño esfuerzo en donde la fractura sólo ocurre después de un gran número de ciclos.

La fatiga es un fenómeno aleatorio evidenciado por la variación de las características de la resistencia a la fatiga de componentes aparentemente idénticos.

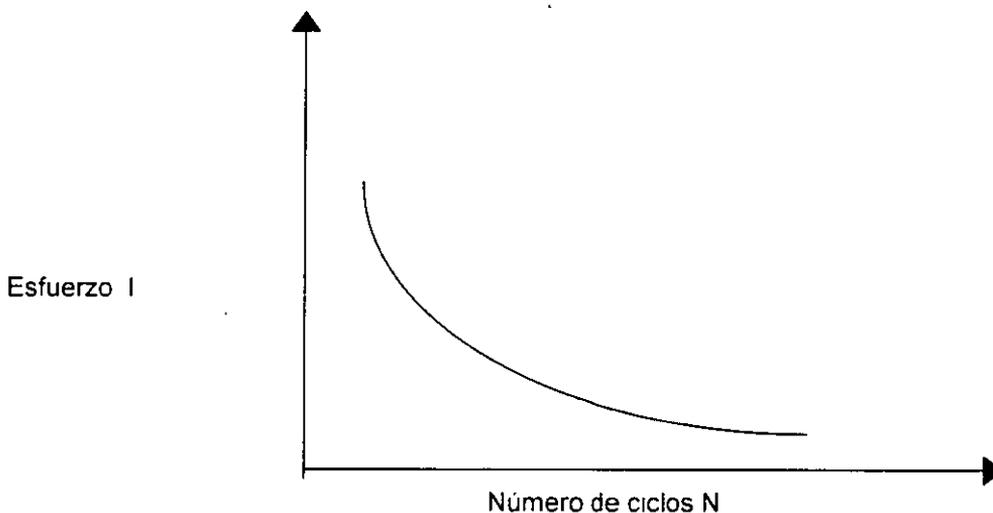


FIG. III-5.- CURVA I - N , O DE DURACION

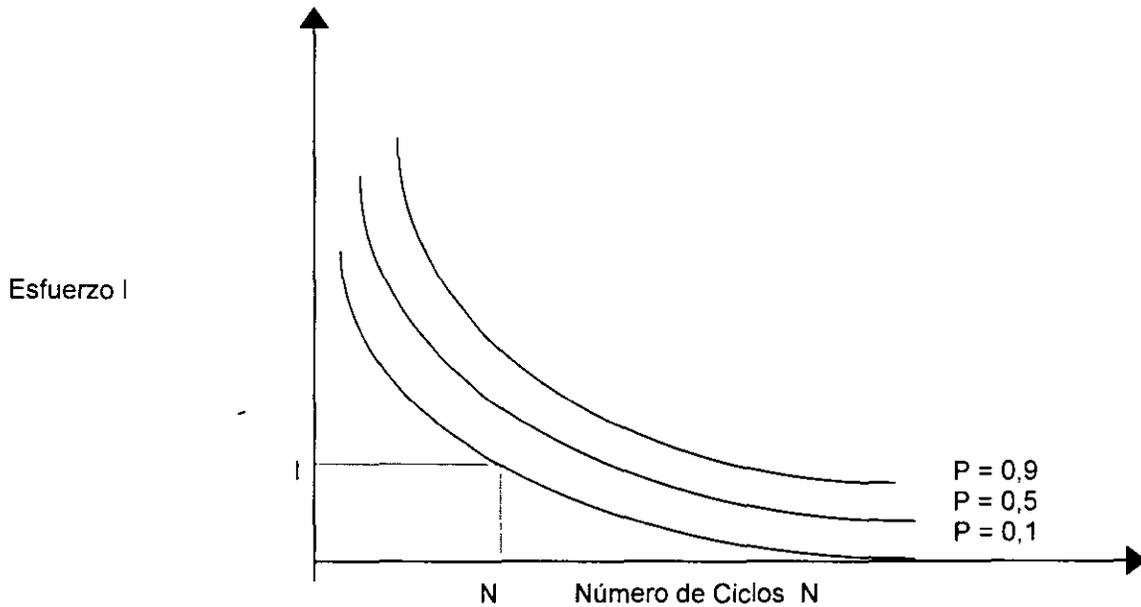


Fig. III-6.- CURVA I - N, DE DURACION

La aleatoriedad del fenómeno de fatiga se estima por la variedad de curvas I - N obtenidas (Fig. III-6), es decir, el punto (N, I) indica que el componente sujeto al esfuerzo I tiene una probabilidad P de romperse al final de N ciclos.

De acuerdo al esfuerzo, la probabilidad de fractura durante una prueba cuya duración está limitada a un número N de ciclos, está determinada por la intersección de una vertical con las diferentes curvas.

Para un esfuerzo dado, la función de distribución acumulativa de un número N de ciclos a la fractura, esta dada por la intersección de una horizontal con las diferentes curvas.

Para el común de los materiales y con escalas logarítmicas, la curva I-N es virtualmente lineal entre los ciclos 10³ y 10⁶.

La vida del material puede ser virtualmente considerada como infinita con bajo límite de duración; la distribución de I es normal también como del log N en el dominio de altos esfuerzos.

Cuando se conocen las curvas I-N se puede determinar la confiabilidad de un componente mecánico sujeto a esfuerzos cíclicos o sea la probabilidad de que no ocurra una fractura antes de N_i ciclos en la siguiente forma:

$$P(\log N_i) = \int_{-\infty}^{\log N_i} f(\log N) d(\log N)$$

Por lo general los esfuerzos de fatiga resultan de una combinación de esfuerzos estáticos y variables, utilizándose la siguiente clasificación:

- esfuerzo invertido.- Las cargas cambian de dirección alternativamente: cargas de signos opuestos y con valores extremos iguales;
- esfuerzos repetidos.- Las cargas son siempre en la misma dirección y varían entre cero y un valor positivo o negativo;
- esfuerzos irregulares.- Las cargas varían arriba o abajo de un promedio de valor no-cero positivo y negativo.

Por lo general cualquier esfuerzo periódico puede ser considerado el resultado de una carga estática o constante I_m y un esfuerzo alternativo de amplitud I_a .

El diagrama $I - N$ que da la variación de la resistencia contra el número de ciclos es aplicable a todos los tipos de esfuerzos; todo lo que se necesita es fijar un esfuerzo medio y estudiar las variaciones en amplitud de los esfuerzos alternativos de acuerdo al número de ciclos para la fractura.

Cualquier número de esfuerzos al que esté sometido un espécimen de acero, si la diferencia máxima (diferencia algebraica entre la máxima y la mínima carga) permanece abajo de un cierto valor de umbral, la fractura inducida por la fatiga no ocurre.

Las variaciones en la diferencia de umbral cuando el esfuerzo es la combinación de un esfuerzo, el puramente alternativo y un esfuerzo constante I_m , ambos actuando en la misma dirección ya sea de tensión, compresión, flexión, o torsional, pueden representarse graficando los valores del límite de duración o la resistencia alternativa S_a para un número dado de ciclos sobre el eje "y", y los valores correspondientes "X". Una representación válida parece ser una parábola.

Los valores adoptados son de distribución en lugar de determinísticos; las distribuciones que gobiernan la resistencia se consideran normales para las diferentes relaciones de S_a/S_m .

Cuando el componente mecánico esta sujeto a esfuerzos periódicos senoidales con valores medios no prolongados de cero, se requiere un nuevo método para conocer como se daña su estructura. Este método está basado en la teoría de daño, y tiene un aspecto físico y uno descriptivo:

- el aspecto físico trata con los cambios en las propiedades físicas de los materiales fatigados;
- el aspecto descriptivo trata con la descripción cuantitativa de la duración de los materiales sujetos a varios esfuerzos.

Se ha propuesto (Miner) una regla simple de daño basada en la siguiente hipótesis:

- la aplicación de n_i ciclos a un nivel dado de esfuerzo I_i , para el cual el número promedio de ciclos antes de la fractura es N_i , causa un incremento en el daño igual a n_i/N_i , y la fractura ocurre cuando:

$$\sum_i \frac{n_i}{N_i} = 1$$

Es decir, si durante una fracción n_i/N_i-Z de la vida de un material se le sujeta a un cierto nivel de esfuerzo I_1 , su duración remanente a otro nivel I_2 es:

$$\frac{n_2}{N_2} = 1 - Z$$

Por lo general esta regla es imprecisa ya que no toma en cuenta el orden en el cual los niveles de esfuerzos se siguen uno a otro, sin embargo, su principal ventaja es su gran simplicidad.

Otra regla de daño propuesta considerando el hecho que la resistencia a la fatiga es una distribución, se expresa como sigue:

$$\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} =$$

en donde:

= una variable normalmente distribuida con desviaciones media y estándar de 1 y 0,3 respectivamente.

4.5 Mecánica de fracturas probabilísticas

Por lo general la habilidad de los materiales para resistir la fractura es más baja por varias órdenes de magnitud que su resistencia teórica, la cual esta basada en la energía de cohesión de sus rejillas de cristales. El bajo valor se debe a la presencia de grietas o imperfecciones de los materiales.

Bajo ciertas condiciones los defectos se propagan por efecto de las cargas, es decir, en una estructura sujeta a fatiga un defecto cuyo tamaño no es crítico puede volverse crítico por su baja propagación bajo el efecto de variaciones de esfuerzos.

De acuerdo a la teoría de mecánica de fracturas, una falla catastrófica ocurre cuando $K_1 > K_{1c}$, en donde:

- K_1 es el factor de intensidad de esfuerzo, que es una medida del nivel de esfuerzo en el componente mecánico, tomando en cuenta la grieta;
- K_{1c} es la tenacidad, que es la habilidad del material a resistir la repentina propagación de una grieta.

En este caso se aplica una ley general: "la fractura ocurre cuando el esfuerzo es más grande que la resistencia".

Los valores K_{1c} pueden ser determinados de pruebas realizadas sobre especímenes estandarizados.

El tamaño crítico de un defecto también puede deducirse, y la falla catastrófica ocurre cuando el tamaño de un defecto excede el tamaño crítico.

Los valores de $K1$ y $K1c$ no son determinísticos, sino que están gobernados por distribuciones.

La fatiga por corrosión u otros factores produce el crecimiento de la grieta, y la velocidad de propagación se considera una función de la variación del factor de intensidad de esfuerzo durante los ciclos.

Los resultados de pruebas muestran que abajo de un cierto límite del rango de intensidad de esfuerzo, las grietas detienen su propagación; en ciertos casos puede determinarse un tamaño de grieta permisible al cual no se propagará de su defecto inicial en una estructura sujeta a fatiga.

Los principios anteriores pueden utilizarse para calcular la predicción de la confiabilidad de una estructura compleja, sin embargo, se deben conocer en detalle las siguientes características:

- la distribución del defecto inicial.- Todas las características, (tamaño, profundidad) del defecto inicial originado en el proceso de manufactura y presente antes que se use la estructura;
- condiciones de carga de la estructura.- Inventariado de todas las cargas que la estructura tiene que soportar y que causan fatiga,
- condiciones de inspección de la estructura (después de su fabricación o cuando se pone en servicio).- Se deben realizar pruebas no destructivas para detectar y medir defectos en las partes más vulnerables de la estructura; como las técnicas de detección no son perfectas, debe tomarse en cuenta una probabilidad de detectar defectos.

Hay tres métodos para calcular la probabilidad de fractura de la estructura por propagación de grietas y la posible falla de la estructura:

- Método analítico.- Consiste en determinar la mejor representación de distribución de los datos experimentales recolectados de cada parámetro expresado probabilísticamente, y enseguida realizar un cálculo analítico basado en las funciones definidas; los datos de entrada incluyen:
 - i. Amplitud de las variaciones de esfuerzo
 - ii. Número de ciclos correspondientes
 - iii. Distribución inicial de la longitud del defecto
 - iv. Tenacidad del material.
- Método Monte Carlo.- El cálculo se hace en la misma forma que el analítico, pero el Monte Carlo permite el uso de cualquier forma de datos de entrada; su principal desventaja es el mucho tiempo de computación, de forma que no puede usarse para cálculos involucrando un gran número de parámetros aleatorios.
- Método de histogramas.- En este caso, todos los cálculos algebraicos se realizan con variables expresadas como histogramas, y el resultado es también un histograma. El método consiste en realizar las operaciones requeridas entre los bloques de

histogramas que definen los parámetros y entonces aplicar al resultado una probabilidad igual al producto de las probabilidades pesada de cada bloque.

El análisis de la confiabilidad estructural no es una tarea fácil debido al gran número de factores involucrados; algunos de estos factores son los siguientes:

- la calidad y características del material;
- la arquitectura de la estructura;
- las técnicas de soldadura;
- las pruebas pre-operacionales (prueba hidrostática para recipientes a presión);
- inspecciones pre-operacionales;
- distribución estadística de la tenacidad;
- la variación de la tenacidad contra la temperatura u otros factores;
- la distribución inicial de defectos;
- carga bajo condiciones de servicio de la estructura (normal, incidente, accidente, etc.);
- crecimiento de defectos que inducen fatiga;
- inspecciones en servicio;
- reparaciones de la estructura.

La mecánica de fracturas probabilística debe desarrollarse más y ponerla a prueba antes de generalizar su uso.

4.6 La disponibilidad de sistemas mecánicos

Los métodos de análisis predictivo son aplicables a los sistemas mecánicos o sistemas con componentes mecánicos en la medida en que son identificados dichos componentes.

Los análisis de modos de falla y efectos son eficientes para identificar modos de falla, relevantes y sus efectos (esfuerzos) en componentes mecánicos.

En general se deben determinar los esfuerzos aplicados a los diferentes componentes.

4.7 Conceptos de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad

a) Confiabilidad

El término CONFIABILIDAD (R) se define como probabilidad de que una parte de la arquitectura de un equipo o sistema satisfaga sus requerimientos de comportamiento para un intervalo de tiempo especificado bajo ciertas condiciones operacionales.

En la definición anterior de confiabilidad se enfatizan cuatro elementos:

- probabilidad;
- requerimientos de comportamiento;
- tiempo;
- condiciones de uso

La probabilidad es la posibilidad de que un evento pueda o no pueda ocurrir, es un término cuantitativo expresado como un valor entre cero y uno (unidad).

Requerimientos de comportamiento indica que criterio debe existir, que claramente especifique, describa o defina lo que se considere sea operación satisfactoria.

El tiempo representa una medida de un periodo durante el cual puede esperarse un comportamiento satisfactorio.

Condiciones operacionales representan las condiciones ambientales bajo las cuales se espera que la parte funcione.

La determinación de la confiabilidad involucra la comprensión de conceptos pertenecientes a regimenes de falla como una función de la edad o antigüedad.

Un régimen de falla es una medida del número de mal funciones ocurridas por unidad de tiempo.

Cuando se estudian las características de falla de una parte o sistema, de arquitectura compleja, sobre su periodo de vida y en el caso de muestras grandes de su población, se tienen consideraciones separadas a tres periodos discretos (Fig. III-7) que incluyen:

- Periodo de quemado, fallas tempranas o infancia. El régimen de fallas X es alto y se debe principalmente a fallas de diseño o defectos de calidad como se observa en la Fig. III-7.
- Periodo de vida útil, fallas al azar o aleatorias o periodos de madurez. El régimen de fallas es el más bajo de la vida útil del componente, y las fallas se deben principalmente a defectos de confiabilidad. La confiabilidad R , tiene una buena aproximación a la forma exponencial siguiente, en función del tiempo t :

$$R(t) = e^{-xt}$$

Siendo

$$X = \frac{1}{TMEF} = \text{constante} = \text{régimen de fallas}$$

en donde.

TMEF = Tiempo Medio Entre Fallas

- Periodo de desgaste, fallas por desgaste o envejecimiento. El régimen de fallas X en este caso son altas y ocurren al final de vida útil del componente en forma creciente, originadas principalmente por desgaste o envejecimiento.

Para lograr el crecimiento de la confiabilidad existen tres elementos esenciales que son:

- detección y análisis de fallas de la arquitectura
- retroalimentación y rediseño de áreas problema
- implementación de acciones correctivas y nuevas pruebas.

En la Fig. III-8, se muestran los componentes del sistema de fallas de los tres periodos discretos mostrados en la Fig. III-7.

b) Mantenibilidad

Se define a la MANTENIBILIDAD como la probabilidad de que una parte de la arquitectura de un equipo se retenga o se restaure a una condición especifica de operación, dentro de límites permisibles de tiempo, utilizando:

- equipo de prueba disponible;
- facilidades;
- personal;
- refacciones;
- procedimientos prescritos.

La predicción de la mantenibilidad, como en el caso de la predicción de la confiabilidad, es un proceso analítico de estimación de parámetros que describen ésta probabilidad.

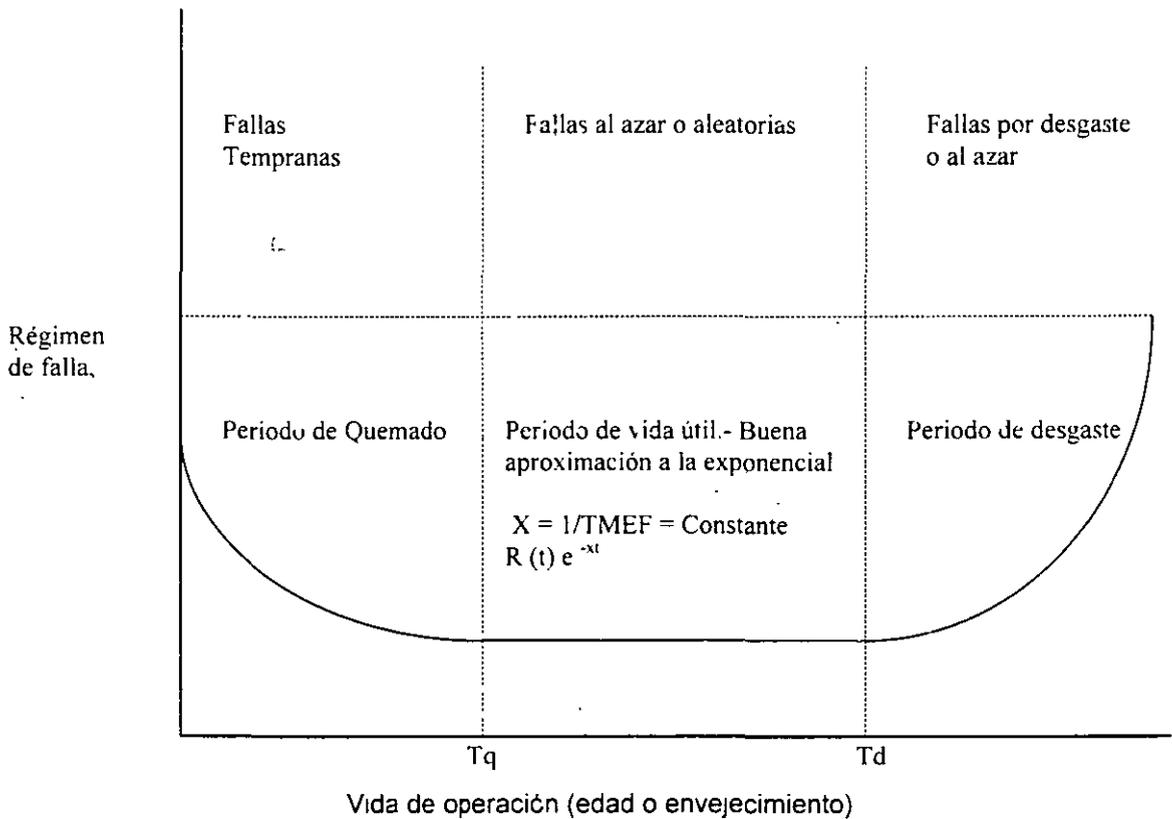
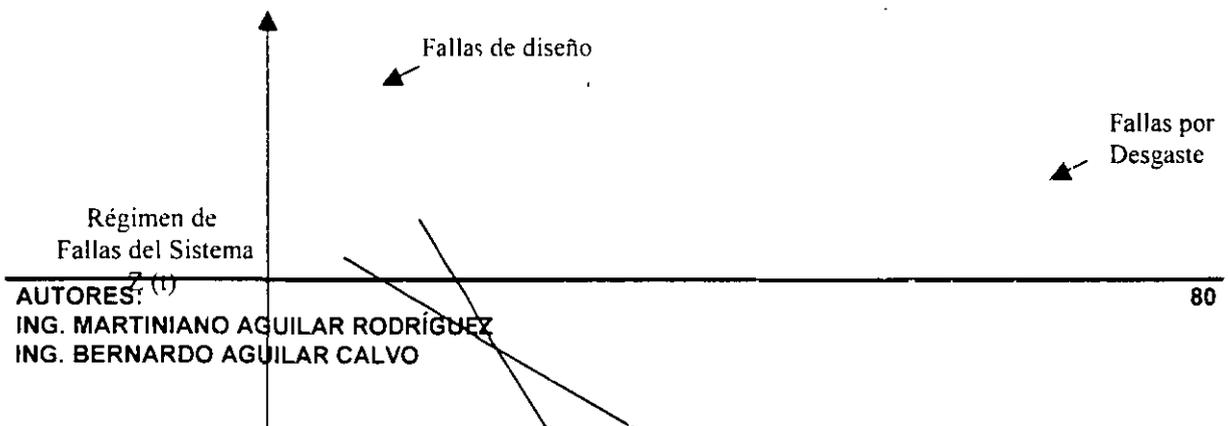


FIG. III-7.- CURVA CARACTERISTICA DE VIDA



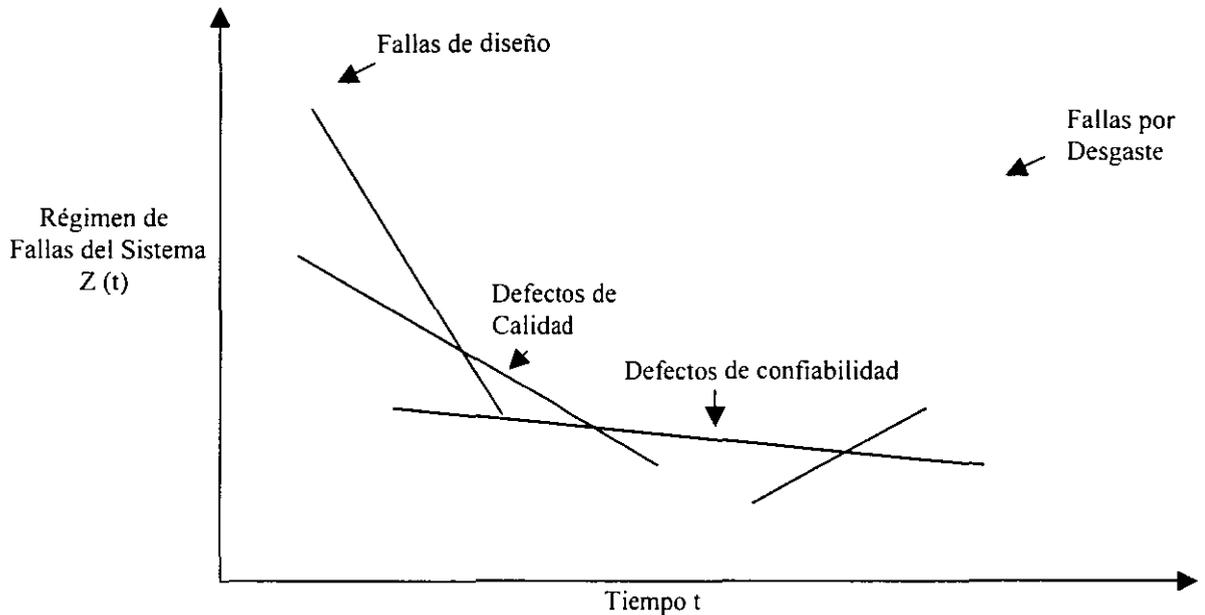


FIG. III-8.- COMPONENTES DEL SISTEMA DE FALLAS

Conceptualmente, la reparación de una parte de la arquitectura, después de ocurrida una falla, necesita la iniciación de tareas de mantenimiento correctivo que resultan en el intercambio de una parte reemplazable del ensamble

Con objeto de lograr una "reparación" completa, se necesita realizar varias actividades tanto antes como después del intercambio real, éstas actividades pueden subdividirse en los siguientes elementos de tiempo para:

- Localización
- Aislamiento
- Desensamble
- Intercambio
- Reensamble
- Alineamiento
- Verificación o chequeo

c) Disponibilidad

DISPONIBILIDAD (D) es la probabilidad de que la arquitectura de un sistema o componente esté en servicio cuando es requerido.

La disponibilidad provee una medida combinada sencilla de la operación confiable de un sistema y su habilidad para ser mantenida eficientemente.

La disponibilidad (D) se define matemáticamente como:

$$D = \frac{\text{tiempo total en servicio}}{\text{tiempo total en servicio} + \text{tiempo total fuera de servicio}}$$

En la Fig. III-9, se muestra la distinción entre disponibilidad intrínseca y operacional, mostrando sus ciclos operacionales y los varios elementos de tiempo.

En la Fig. III-10, se muestra la interrelación de la disponibilidad y la confiabilidad con el tiempo.

En la Fig. III-11, se muestran valores de disponibilidad D en función de la confiabilidad (TMEF) y la mantenibilidad ($1/TMPR$)

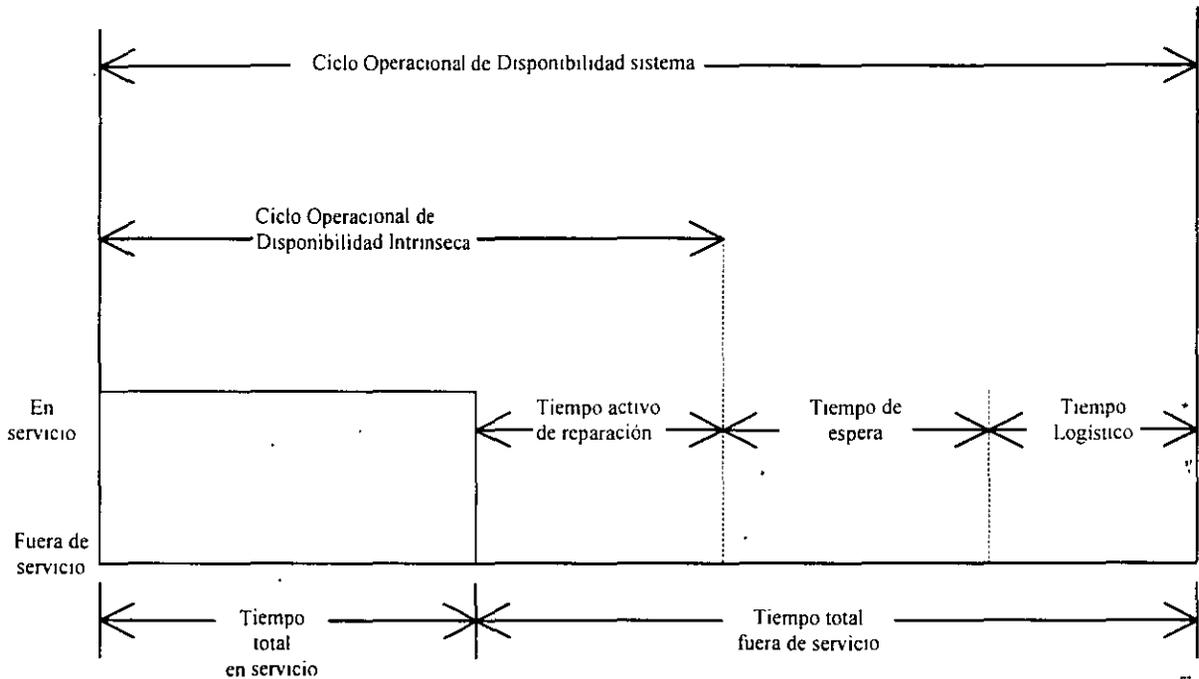


FIG. III-9.- CICLOS OPERACIONALES DE DISPONIBILIDAD INTRINSECA Y DE SISTEMA

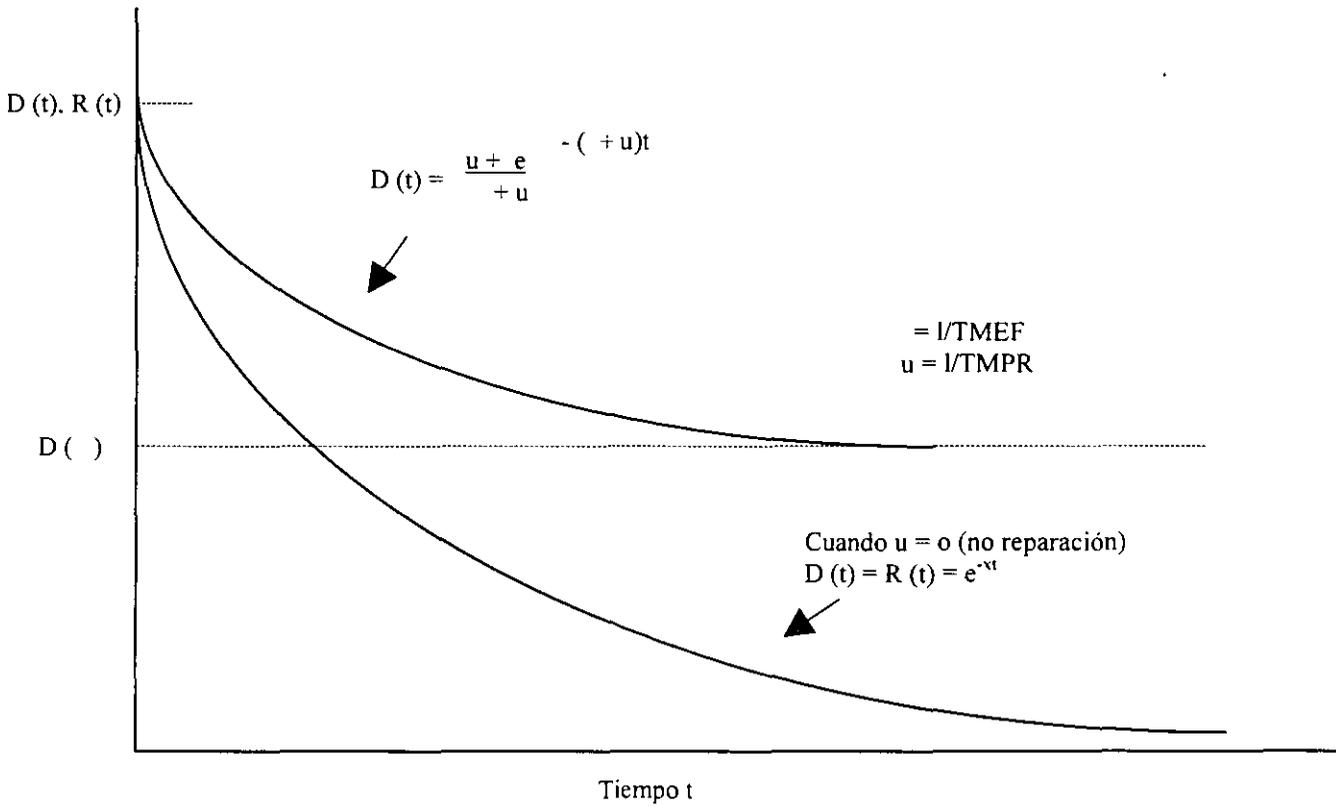


FIG. III-10.- DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD DE UN ELEMENTO SENCILLO

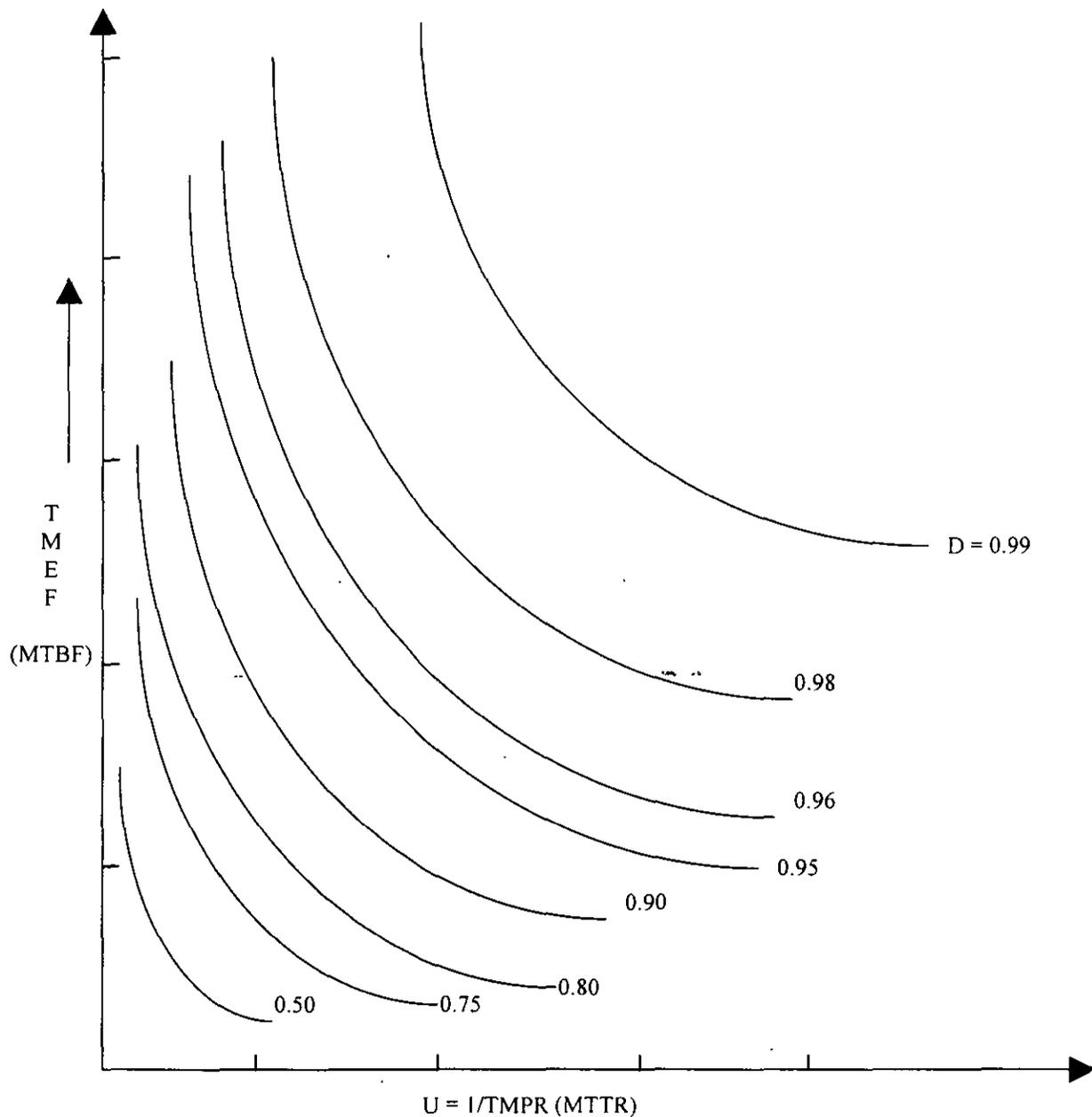


FIG. III-11.- DISPONIBILIDAD "D" COMO UNA FUNCION DEL TMEF Y TMPR

4.8 Ejemplo de determinación de probabilidad de falla

ANÁLISIS ESFUERZO-RESISTENCIA (FACTOR DE SEGURIDAD E INTERFERENCIA)

La teoría de la confiabilidad esta basada en la premisa de que una parte dada tiene ciertas propiedades físicas de resistencia que si se exceden resultan en una falla. Esta propiedad igual que todas las propiedades de materiales no homogéneos varían de un espécimen a otro, es decir para una parte o material particular un estimado del valor medio y de la dispersión de la propiedad de resistencia pueden encontrarse mediante pruebas.

Los esfuerzos de operación impuestos a una parte también varían. Estos esfuerzos varían con el tiempo en una parte particular, de parte a parte en un diseño particular y de ambiente a ambiente. Un estimado del valor medio y del valor de dispersión de un esfuerzo de operación puede determinarse mediante pruebas, análisis o experimentos.

En la mayoría de los casos tanto el esfuerzo aplicado y la resistencia de una parte pueden ser descritas con suficiente precisión para propósitos de predicción de la confiabilidad por una curva de distribución normal.

La Fig. III-12-a, muestra la distribución de una curva de densidad esfuerzo-resistencia para una parte que tiene baja confiabilidad y/o inadecuado margen de diseño. El área sombreada indica que el esfuerzo excede a la resistencia por un cierto porcentaje de tiempo con falla resultante. En contraste, la Fig. III-12-b muestra la separación de la distribución esfuerzo-resistencia indicativa de un factor de seguridad de diseño alto (margen de diseño adecuado) y alta confiabilidad.

Un factor de seguridad FS puede definirse por la relación de las distribuciones medias de resistencia y esfuerzo de una parte:

$$FS = \frac{U_t}{U_s} = \frac{\text{distribución media de esfuerzo}}{\text{distribución media de resistencia}}$$

La probabilidad de falla PF puede relacionarse al FS considerando la distribución normal de esfuerzo y resistencia.

En las relaciones paramétricas de PF a FS, si la desviación estándar I de las relaciones de valores medios se conocen y conectan por una línea recta, los puntos de intersección dan la relación entre la probabilidad de falla PF y el factor de seguridad FS, por ejemplo:

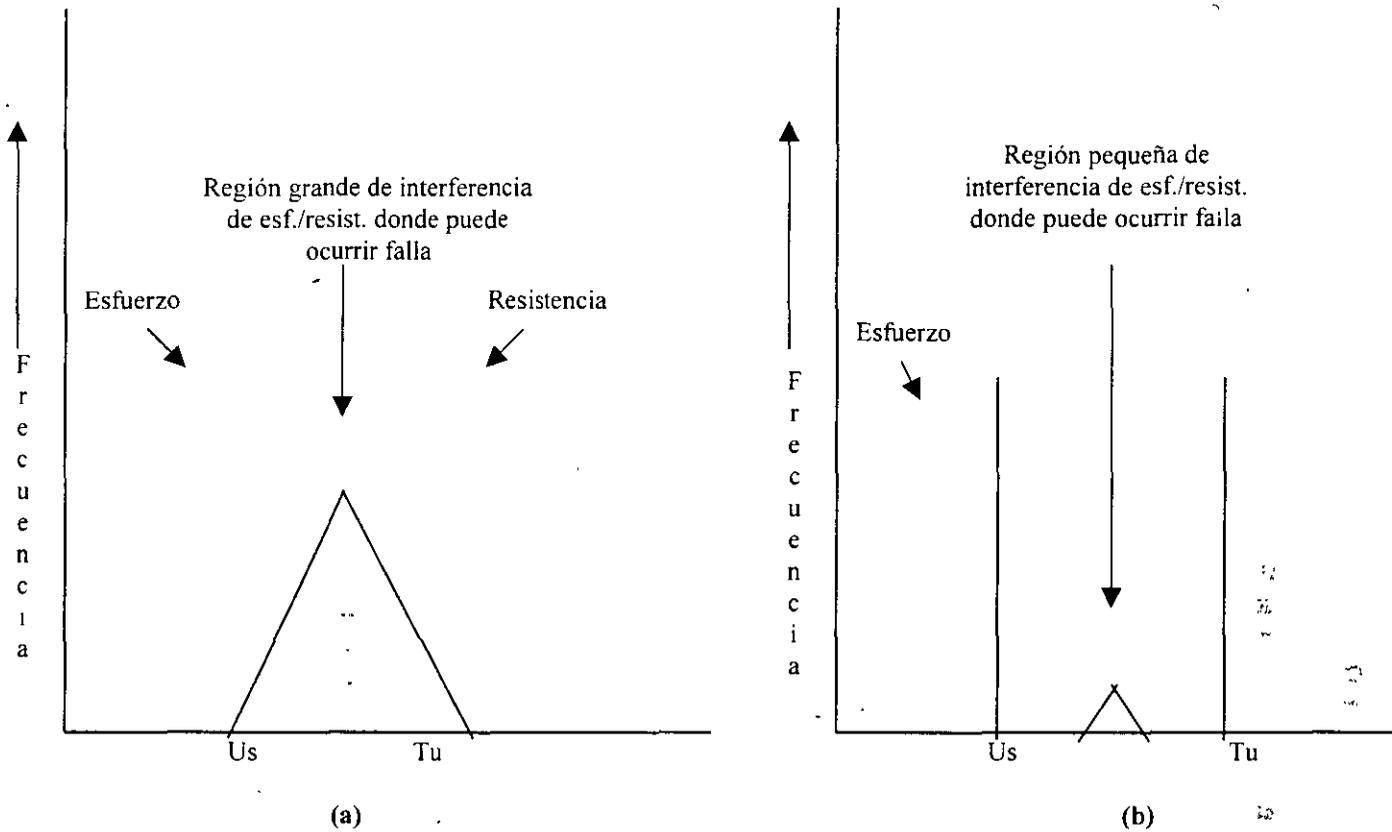
Is es 20% de Us; $\frac{I_s}{U_s} = 0.20$ (punto A)

It es 10% de Ut; $\frac{I_t}{U_t} = 0.10$ (punto B)

Se construye una línea de A a B; si FS es 1.6, entonces:

$P_F = 10^{-2} = 0.01$
 o bien $R = 0.99$

Es decir una estimación gruesa de la confiabilidad se puede obtener usando la relación anterior si los datos de análisis de diseño sobre las cargas y resistencias medias están disponibles.



5. RIESGOS POR SUSTANCIAS QUIMICAS

Algunas sustancias químicas pueden causar los siguientes efectos sobre la salud humana:

- náuseas
- pérdida de apetito
- vértigo
- dolor de cabeza
- muerte inmediata
- daños genéticos
- nacimientos con defecto
- cáncer.

Adicionalmente algunas sustancias químicas causan miedo que puede tener o no una base real; esto se debe a que el miedo a los efectos sobre la salud de las sustancias químicas está basado en percepciones que distorsiona la realidad del riesgo.

El temor del público a los químicos ha marcado la necesidad de muchos planeadores para aprender como evaluar y controlar el uso del suelo involucrando los químicos en su:

- transportación
- uso
- almacenamiento
- disposición
- procesamiento, producción.

Las políticas gubernamentales acerca de los químicos y nuestra percepción de los impactos sobre la salud de los químicos están fuertemente influenciados por dos aspectos científicos fundamentales.

- que tanto se conoce sobre la peligrosidad de los químicos;
- que tan importante es la contaminación química como causa de cáncer.

Antes de analizar estos aspectos es necesario revisar algunos principios químicos.

Todas las cosas que vemos tocamos y probamos son químicos o con mayor probabilidad una mezcla de muchos químicos diferentes; igualmente lo mismo puede afirmarse que se trata de elementos físicos y las afectaciones a la humanidad y seres vivos son todos fenómenos biológicos, con lo cual se enlazan tres disciplinas: química, física y biología.

Adicionalmente hay muchas sustancias en el ambiente que no pueden ser detectadas con los sentidos, y sólo se ha logrado encontrarlos con instrumentos científicos sofisticados.

El número de diferentes sustancias químicas sobre y en la tierra es desconocido, pero con seguridad son muchos millones.

Durante los pasados 125 años los científicos han creado cientos de miles de compuestos que no ocurren en la naturaleza, y continuarán aumentando el almacén de químicos en la tierra, aunque muchos de éstos químicos sintéticos nunca salgan de los laboratorios de investigación científicos.

Tanto por razones históricas como científicas, los químicos han dividido el universo de elementos químicos en compuestos:

- orgánicos
- inorgánicos

La base original para clasificar los químicos como "orgánicos" fue la hipótesis, conocida como falsa (desde la mitad del siglo XIX), que los químicos orgánicos podían producirse sólo por organismos vivos.

Los científicos modernos clasifican a los químicos como "orgánicos" si estos contienen el elemento carbono C, aunque existen algunos considerados inorgánicos como el CO, CO₂, CaCO₃.

El carbono tiene la notable y casi única propiedad de que sus átomos se pueden combinar con otros en muchas diferentes formas y junto con varios otros elementos (hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, cloro, bromo, flúor y varios más) pueden crear un enorme número de arreglos moleculares diferentes; cada arreglo crea un químico único.

Se conocen varios millones de químicos orgánicos distintos, se encontrarán muchos más que ocurren naturalmente o que se crearán sintéticamente en laboratorios.

Toda la vida (al menos sobre la tierra) depende de los compuestos de carbono y probablemente no podría haberse desenvuelto si el carbono no tuviera ésta única y extraordinaria propiedad de enlace o ligamento, a pesar de que los químicos han verificado muchas miles de veces que la creación de químicos orgánicos no depende de la presencia de un organismo viviente.

Todas las otras cosas se conocen como inorgánicas. En adición al carbono hay 90 elementos en la naturaleza y varios más que han sido creados en laboratorios; los varios arreglos y combinaciones de los inorgánicos, que algunos ocurren naturalmente y otros ocurren como resultado de síntesis química, significando que:

- De alguna forma sea aislado de su fuente hasta un estado de relativa pureza;
- Se han medido o evaluado sus propiedades físicas como: temperaturas a las cuales se funde, hierve y degrada, los tipos de solventes en los cuales se disuelve, etc.
- Se ha establecido su arquitectura molecular.

Esta última parte presenta el reto científico más grande; la comprensión de la estructura o arquitectura química incluye:

- número de átomos en una molécula
- tipo de átomos en una molécula
- arreglo de átomos en una molécula

Es de suma importancia porque la estructura determina como los compuestos sufren cambios a otros compuestos en las reacciones químicas, y también como interactúan con los sistemas biológicos que algunas veces producen efectos benéficos (nutrientes y agentes medicinales) y otras veces producen efectos dañinos.

Para las sustancias químicas se usan símbolos de letras para representar los átomos y líneas para indicar las uniones químicas que analizan y mantienen juntos los átomos, en realidad cada unión es un par de electrones interactuando.

El más simple de todos los compuestos orgánicos que ocurre en forma natural es el gas metano, que en dos dimensiones tiene la siguiente estructura:



En realidad las moléculas de metano son tri-dimensionales con el átomo de carbono en el centro de un tetraedro y un átomo de hidrógeno en cada una de las cuatro esquinas.

Un fenómeno interesante, importante y común en la química orgánica es el isomerismo (mismo peso, pero diferente estructura química) estructural.

Las estructuras de los compuestos inorgánicos se representan por los mismos tipos de convencionalismos de los compuestos orgánicos aunque hay algunas diferencias importantes en la naturaleza de la unión química que enlazan los átomos.

Los organismos vivos contienen o producen químicos orgánicos por millones; el químico más abundante sobre la tierra es la celulosa, una molécula gigante que contiene miles de átomos de C (carbono), H (hidrógeno) y O (oxígeno).

La celulosa es producida por todas las plantas y es su componente estructural esencial; químicamente la celulosa es un carbohidrato (que no es digestible por los humanos), que junto con las proteínas, gases y ácidos nucleicos son los componentes primarios de la vida.

Otras fuentes naturales importantes de químicos orgánicos son los llamados combustibles fósiles: gas natural, petróleo y carbón, depositados en la tierra por el decaimiento de plantas y animales, quedando y conteniendo miles de productos de degradación. La mayoría de éstos son compuestos simples conteniendo sólo carbono e hidrógeno, conocidos como hidrocarburos.

Las fuentes más grandes de químicos a que está expuesta la gente en forma regular y directa son los componentes naturales de las plantas y animales que se consumen como alimentos; el número de químicos a que estamos expuestos a través de los alimentos es inmenso, por ejemplo:

- una taza de café contiene cerca de 200 diferentes químicos orgánicos, que son componentes naturales del grano de café extraídos al agua; algunos imparten color, otros sabor, otros aroma, etc.;
- la papa tiene cerca de 100 diferentes componentes naturales, algunos tóxicos. Algunos químicos encontrados y las cantidades presentes en la papa varían con las diferentes variedades y aún con las diferentes condiciones de cultivo y almacenamiento.

La consolidación de la teoría estructural y el descubrimiento de la utilidad y viable comercialización de químicos sintéticos, dieron nacimiento al mundo químico moderno que mediante aplicaciones industriales han introducido al comercio a decenas de miles de químicos orgánicos.

La situación anterior ha dado origen al crecimiento de la ciencia de la toxicología en respuesta a comprender como éstas nuevas sustancias pueden afectar la salud de los obreros que trabajan en su producción y uso, y el resto de la población que puede estar expuesta a ellos.

Los químicos han aprendido miles de diferentes formas de manipular grupos de átomos en compuestos orgánicos para crear nuevos arreglos, y también han encontrado como desarrollar secuencias de transformaciones químicas individuales que pueden llevar a moléculas a un arreglo estructural deseado.

Desde finales del siglo XIX y hasta la segunda guerra mundial, el carbón fue el material inicial o materia prima para la industria química inorgánica.

Cuando el carbón se calienta en ausencia de oxígeno se crean coque y subproductos volátiles conocidos como alquitrán o bien de carbón, de donde se aíslan toda clase de químicos orgánicos como benceno, tolueno, xilenos, etilbenceno, naftaleno, creosotas, arvilinas y muchos otros.

La industria química orgánica también extrae de otros productos naturales como grasas animales, aceites vegetales y subproductos de madera.

La industria química orgánica se movió hacia el petróleo como fuente de materia prima durante los años 1940's, conociéndose como petroquímica que utiliza y crea miles de químicos industriales útiles.

Algunos de éstos químicos se usan como solventes; muchos de los hidrocarburos encontrados en el petróleo como la gasolina y el keroseno, y los químicos individuales que hacen estas dos mezclas son útiles como solventes no acuosos capaces de disolver sustancias que no son solubles en agua, sin embargo, como son altamente flamables, la solución fue convertir los hidrocarburos en sustancias conteniendo cloro reemplazando átomos de hidrógeno por átomos de cloro con lo cual se reduce considerablemente la flamabilidad, conociéndose como hidrocarburos clorinados, que en la actualidad están prohibidos por el daño que causan a la capa de ozono. La reducción del riesgo de fuego y explosiones llevó a incrementar el riesgo de daño ambiental.

Entre los miles de productos fabricados por la industria química orgánica e industria relacionada se incluyen:

- medicinas, la mayoría de las cuales son químicos orgánicos de mucha complejidad;
- colorantes;
- químicos agrícolas, incluyendo sustancias usadas para eliminar plagas (insecticidas, fungicidas, herbicidas, raticidas, y otros cidas);
- jabones y detergentes;
- fibras sintéticas y hules;
- papeles químicos;
- plásticos y resinas de muchas variedades;
- adhesivos;
- sustancias usadas en el procesamiento preservación y tratamiento de alimentos (aditivos de alimentos);
- aditivos para agua potable;
- refrigerantes;
- explosivos;
- materiales de limpieza y pulido;
- cosméticos;
- textiles químicos.

La gente está expuesta en mayor o menor grado a muchos de estos químicos, por ejemplo:

- las medicinas que usamos
- durante la fabricación por:
 - i. la materia prima

- ii. productos intermedios
- iii. sub-productos

El desarrollo de nuevos químicos ha sido muy impresionante en los últimos años, y se espera que esta tendencia continúe en el futuro.

La A C S (American Chemical Society) registra nuevas sustancias químicas a una velocidad de 70 por hora, de los cuales entran al comercio 500 cada año.

Los esfuerzos del hombre por extraer de la tierra inorgánica materia útiles son complejos e incluye una mezcla de tecnologías de materiales, químicas y de minería. por ejemplo:

- materiales de sílice derivados de la piedra: vidrio, cerámica, arcilla, asbestos, etc.;
- metales obtenidos de minerales y procesados como: hierro, cobre, aluminio, níquel, plata, mercurio, plomo, zinc, etc.;
- materiales no metálicos como: cloro, bromo, sal (cloruro de sodio), cal (carbonato de calcio), ácido sulfúrico, fosfatos, etc.;
- compuestos de metales.

Todas estas sustancias químicas inorgánicas, que tienen cientos de diferentes usos, llegan, entran y se mueven en el ambiente con el cual estamos en contacto ya sea intencional o inadvertidamente

Nuestra supervivencia así como la de todas las plantas y animales depende de sustancias químicas como:

- agua
- nutrientes en los alimentos
- oxígeno en el aire
- bióxido de carbono (las plantas)

También son esenciales para la vida ciertos minerales inorgánicos como por ejemplo: calcio, hierro, zinc, cobre, etc.

El agua, oxígeno y bióxido de carbono son químicos inorgánicos simples; la mayoría de los nutrientes son compuestos orgánicos de mucha complejidad, por ejemplo, proteínas, carbohidratos, grasas y vitaminas.

Cuando tomamos agua no sólo nos exponemos a las moléculas de H₂O sino también a otros químicos que dependen de la fuente del agua, por ejemplo minerales, algunos de los cuales son esenciales para la salud pero otros no se conoce el papel que tienen; también contiene algunos químicos orgánicos que migran de las plantas o microorganismos del suelo, además de los químicos agregados al agua para lograr ciertos efectos técnicos como la desinfección.

Cuando respiramos aire no sólo obtenemos el oxígeno que necesitamos, sino también inhalamos nitrógeno, bióxido de carbono y otros gases naturales, además de químicos industriales, cuya cantidad depende del lugar donde se respire.

Las plantas y animales que consumimos como alimentos, en forma natural contienen miles de químicos que no tienen un papel nutricional y a los cuales nos exponemos cuando los comemos junto con los nutrientes. También estamos expuestos a los procesos de manipulación de alimentos, por ejemplo para hacerlos más agradables o para conservarlos como el, ahumado, la forma de cocinarlos y los métodos de fermentación usada para hacer pan, bebidas alcohólicas, quesos, etc.; todas estas formas de manipulación de alimentos causan cambios químicos complejos que no están presentes en los productos agrícolas crudos.

También la manipulación del material genético de alimentos de plantas y animales con objeto de producir variedades e híbridos con características mejoradas influye en los tipos de químicos que consumimos. Aunque durante mucho tiempo poco se conocía acerca de la genética y, las consecuencias de la manipulación genética de materiales, en la actualidad se sabe que cuando se crea una nueva variedad híbrida se producen cambios en la composición química de los frutos.

Muchos de las sustancias químicas anteriormente mencionadas, en muy pequeñas fracciones son esenciales para nuestra salud, hay también rangos de exposición que si no son benéficos para la salud probablemente tampoco tengan efectos perjudiciales, sin embargo, todas las sustancias químicas (hechas por el hombre y las de origen natural) dentro de ciertos rangos de exposición pueden perjudicar la salud. Este hecho lleva al concepto más importante en toxicología.

“Todas las sustancias químicas son tóxicas bajo ciertas condiciones de exposición”.

Lo importante es conocer cuales son las condiciones de exposición con efectos tóxicos, para tomar medidas que limiten la exposición humana y se pueda evitar la toxicidad.

Toxicidad significa la producción de cualquier tipo de daño, permanente o temporal, a la estructura o funcionamiento de cualquier parte del cuerpo.

Los términos relacionados con las exposiciones químicas incluyen los siguientes:

- **Ambiente.** Los químicos llegan a las personas a través de medios; por medio se entiende a los vehículos que llevan los químicos y que logran estar en contacto con el cuerpo. La dieta, aire, agua, suelo o polvo son los principales medios del ambiente a través de los cuales las exposiciones químicas tienen lugar;
- **Trayectoria de exposición.** Con frecuencia es de interés conocer la trayectoria de un químico viajando para alcanzar el medio que en última instancia crea la exposición; típicamente toma la forma de una descripción del movimiento de una sustancia química a través de varios medios ambientales. Algunas trayectorias son cortas y simples, pero la mayoría son complejas, por ejemplo, el plomo agregado a la gasolina (medio 1) se emite al aire (medio 2) cuando se quema la gasolina, algunos aerosoles de plomo se depositan en el suelo (medio 3) usado para cultivo de cereales. Algo de plomo se disuelve en agua (medio 4) y se mueve a través de las raíces de las plantas de los cuales acumulándose en los granos de cereal (medios 5) que se utilizan para alimentar ganado lechero y algo del plomo se excreta en la leche (medio 6). La leche es el medio que crea la exposición humana al plomo.

El conocimiento de la trayectoria de exposición es una parte crítica del análisis necesario para unir las piezas del patrón de exposición humana;

- Rutas de exposición. La ruta de exposición se refiere a las vías en que se mueven las sustancias químicas desde el medio de exposición hacia el interior del cuerpo; las tres principales rutas de las sustancias químicas en el ambiente son: la ingestión (ruta oral), inhalación, y contacto de piel o contacto dermal.
- Dosis. Para determinar si hay daños a humanos y en que extensión por una exposición química, es necesario conocer la dosis creada por la exposición, por ejemplo, una aspirina típica que contiene 325 miligramos (mg) de medicina, si se toma 4 al día (1300 mg) por un adulto que 65 kg de peso del cuerpo (p.c.), la dosis es:

$$\frac{1300}{65} = 2 \text{ mg/kg p.c./día}$$

Para un niño de 20 kg. de peso de cuerpo (pc) la dosis será:

$$\frac{1300}{20} = 65 \text{ mg/kg p.c./día}$$

- Concentraciones. Es la cantidad de químicos en una cantidad dada del medio; el término técnico que describe esta relación es la concentración que algunas veces también se le llama nivel. Las concentraciones de sustancias químicas se expresan típicamente en unidades similares de acuerdo al medio en la siguiente forma:

Medio agua	miligramos de sustancias químicas por litro de agua (mg/l)
Medio alimento	miligramos de químicos por kg de alimento (mg/kg)
Medio aire	miligramos de sustancia química por metro cúbico de aire (mg/m ³)

En el caso del agua los miligramos por litro (mg/l) se acostumbra expresarlo en partes por millón (ppm) que son equivalentes.

- Muestreo del ambiente. Otra incertidumbre en la comprensión de las concentraciones ambientales surge por el problema del muestreo; en la práctica, mucho del muestreo ambiental se hace sin un plan bien pensado en cuyo caso no se puede asegurar el grado en el cual el todo esta representado por la parte. Con la estadística se pueden proyectar planes de muestreos que si se siguen permiten conocer el grado de confianza, pero esto es todo lo que puede obtenerse.

Antes de considerar los efectos tóxicos de las sustancias químicas es necesario conocer como estas entran, se mueven alrededor y en el interior, y salen del cuerpo humano.

Como se mencionó anteriormente, las sustancias químicas en el ambiente pueden entrar en el cuerpo humano a través de las siguientes tres vías:

- por la boca y ser llevados dentro del tracto gastrointestinal;
- inhalados por la nariz y boca, si están en forma de vapor, gases o junto con partículas muy finas de polvo, y en esta forma entrar a los conductos de aire que llevan a los pulmones;
- por la piel ya sea disueltas o no en algún medio

Primeramente las sustancias químicas entran en íntimo contacto con los fluidos, tejidos y células que componen los tres pasajes anteriores dentro del cuerpo, lo que puede resultar o no en daños a los tejidos y células. Si ocurre algo adverso en los tejidos de estas vías de entrada, se le denomina toxicidad local.

En la mayoría de los casos las sustancias químicas entran a la corriente sanguínea después de que son absorbidas:

- a través de las paredes del tracto gastrointestinal;
- por los pulmones;
- a través de las capas que componen la piel.

Una vez en la corriente de sangre, las sustancias químicas pueden distribuirse en el cuerpo y alcanzar los tejidos y células de los muchos órganos y sistemas del cuerpo, ocurriendo lo siguiente:

- en la mayoría de los casos sufren cambios moleculares, reacciones químicas en las células de los órganos del cuerpo, especialmente en el hígado;
- pueden ser metabolizadas. El metabolismo se lleva a cabo por enzimas (moléculas grandes de proteínas) que están presentes en las células.

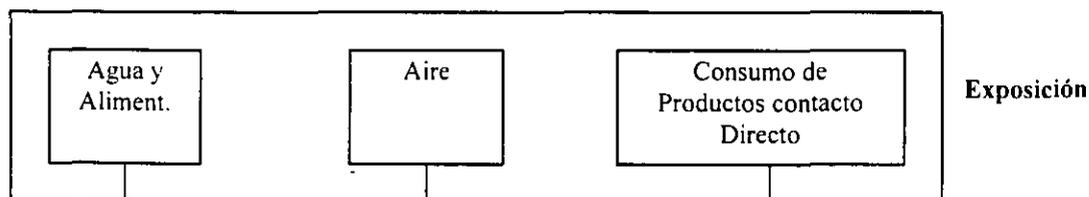
Después las sustancias químicas y sus metabolitos (productos del metabolismo) se excretan del cuerpo, típicamente en:

- la orina
- con frecuencia en las heces y el aire exhalado
- algunas veces a través del sudor y la saliva

El proceso de absorción, distribución, metabolismo y excreción (ADME) determina:

- la naturaleza del daño tóxico producido por la sustancia química;
- la parte del cuerpo donde ocurre el daño;
- la severidad del daño;
- la probabilidad de que el daño pueda ser reversible.

También las sustancias en el medio ambiente que son esenciales para la vida y salud del organismo (nutrientes, oxígeno, agua) están sujetas al proceso ADME, en la misma forma que las sustancias químicas tóxicas.



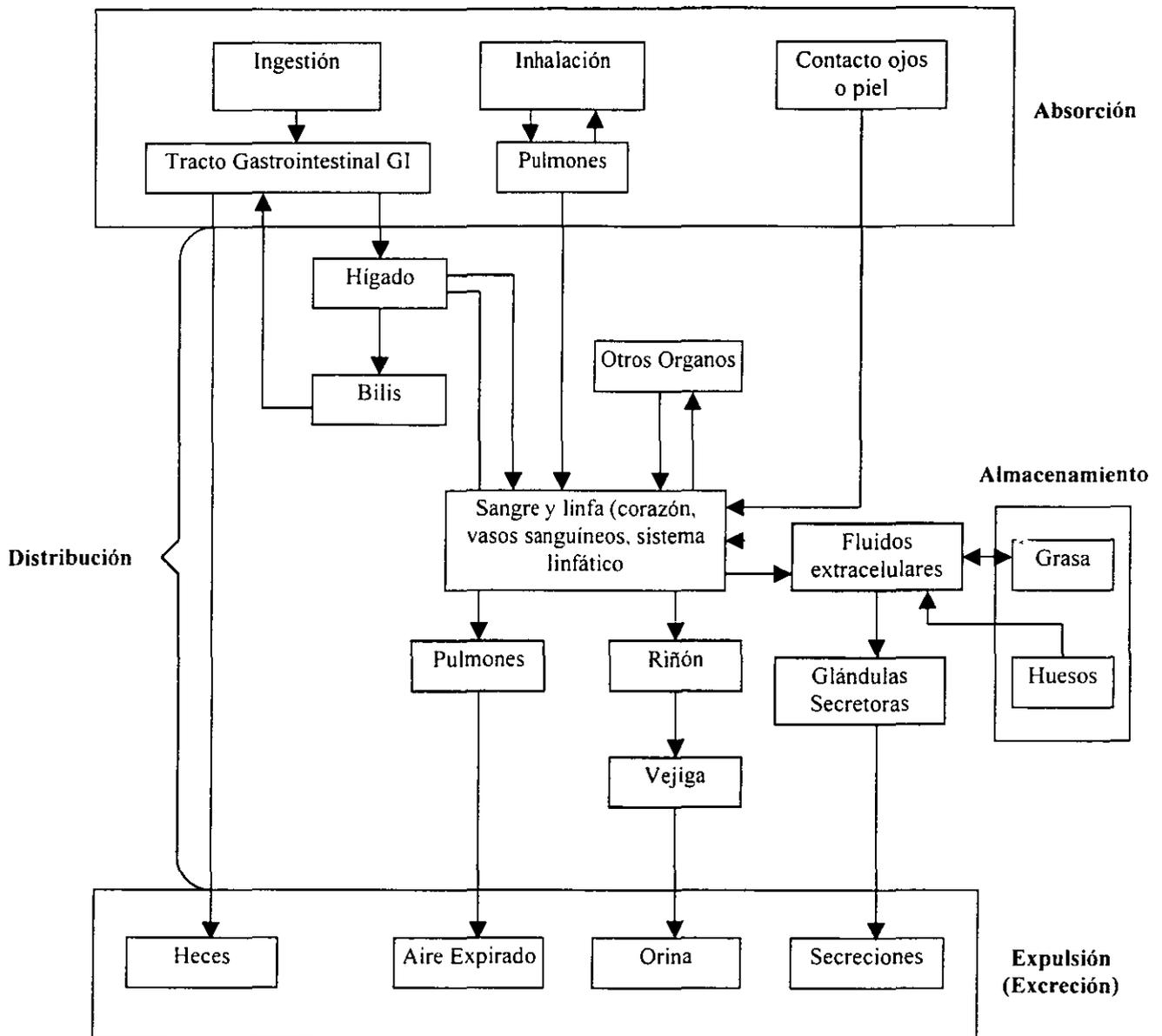


FIG. III-14.- FORMA EN QUE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS, ENTRAN, SE ABSORBEN, DISTRIBUYEN Y SE EXCRETAN DEL CUERPO HUMANO

En la Fig. III-14, se muestra en forma esquemática las interrelaciones entre ciertos órganos y sistemas del cuerpo humano, que son esencialmente para la comprensión del ADME; las flechas muestran los pasos que siguen las sustancias químicas cuando entran al cuerpo, se mueven en él y finalmente se excretan.

También es necesario conocer el tipo de daño que las sustancias químicas y sus metabolitos pueden producir conforme se mueven en el cuerpo y como la extensión del daño está influenciado por las circunstancias de exposición.

Para evaluar el riesgo de toxicidad que ocurre por una sustancia química específica se requiere al menos de tres tipos de información:

- los tipos de toxicidad que las sustancias químicas pueden producir (sus valores y formas de daños que ocasionen);
- las condiciones de exposición (dosis y duración) bajo las cuales las toxicidades químicas pueden producirse.
- las condiciones (dosis, regulación y duración) bajo las cuales la población de gente cuyo riesgo está siendo evaluado y podría estar expuesto a la sustancia química.

No es suficiente conocer uno o dos de ellos; no se pueden establecer conclusiones útiles acerca del riesgo a menos que se comprendan las tres informaciones.

6. RIESGOS RADIOACTIVOS

6.1 Introducción

En ésta parte se presenta una discusión de las bases generales de la interacción de la radiación ionizante con la materia y los efectos ambientales de los radionuclidos; también se resaltan:

- los desechos radioactivos como un contaminante;
- los impactos de la radiación ionizante en el ambiente natural y en la salud pública;
- resumen de las opciones disponibles para los ingenieros ambientalistas para tratar y estabilizar los desechos radioactivos.

6.1.1 La Radiación

De acuerdo con la dirección y deflexión en un campo magnético, las radiaciones de los minerales de uranio fueron clasificadas, por los Curie's y sus contemporáneos, en tres tipos:

- alfa
- beta
- gamma

En general, las emisiones de un núcleo radioactivo se caracterizan como radiaciones ionizantes, porque las colisiones entre éstas emisiones y un átomo o molécula ioniza este átomo o molécula. Los rayos o partículas alfa, beta y gamma pueden ser más caracterizados por su movimiento en un campo magnético o eléctrico, como se muestra en la Fig. III-15.

Los problemas significativos asociados con la gestión de desechos radioactivos requiere un entendimiento básico de las emisiones y emisores de radiaciones alfa, beta y gamma y el entendimiento del efecto de neutrones.

Las emisiones alfa y beta son clasificadas típicamente como partículas, mientras que las emisiones gamma consisten de radiaciones electromagnéticas (ondas).

Las **radiaciones alfa**, son identificadas como físicamente idénticas a un núcleo de átomo de helio, despojado de sus electrones planetarios permaneciendo con sólo 2 protones y 2 neutrones, son emitidos por núcleos de átomos radiactivos selectos, con una energía

cinética entre 4 y 10 MeV ($1 \text{ eV} = 1.603 \times 10^{-12} \text{ erg}$, $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$). Una hoja de papel es suficiente protección contra estas partículas que no atraviesan la piel humana.

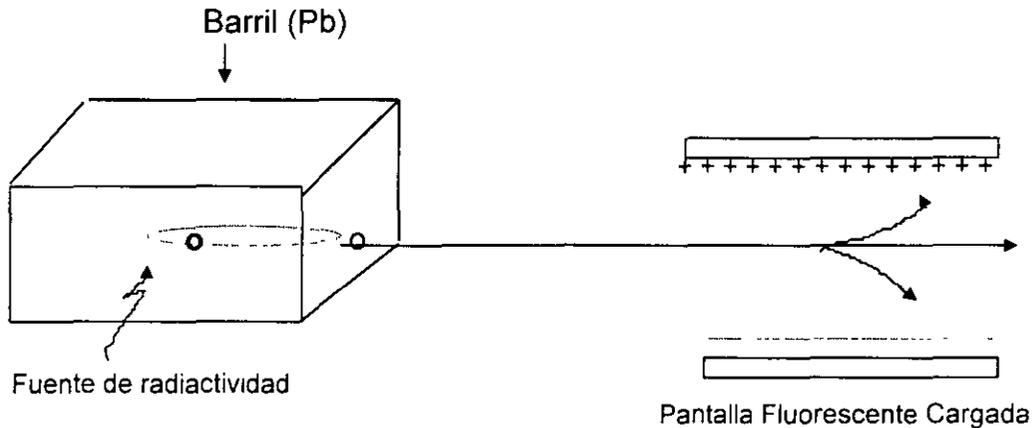


FIG III-15.- MEDICION CONTROLADA DE RADIACION ALFA (), BETA (B) Y GAMMA ()

Las **radiaciones beta**, son electrones que también son emitidas por el núcleo de un átomo radiactivo a una velocidad cercana a la de la luz y con una energía entre 0.2 y 3.2 MeV. Estas partículas pueden detenerse con una lámina delgada de metal, p.e., papel de aluminio.

Las **radiaciones gamma**, se identifican como invisibles, rayos electromagnéticos emitidos por núcleos de átomos radioactivos; éstos rayos son parecidos a los rayos X médicos en que están compuestos de fotones. Debido a su carga neutra, los fotones gamma colisionan aleatoriamente con los átomos de los materiales por los que pasan. Estas radiaciones son las más penetrantes y para detenerlas se requieren gruesas paredes de concreto (50 cm), agua (4.0 m), plomo (5 cm), aluminio (21 cm).

Cuando se emite radiación ionizante de un núcleo, la naturaleza del núcleo cambia: se forma otro elemento y también hay un cambio en la masa.

Los rayos X son similares a los gamma, pero originados fuera del núcleo atómico.

Los neutrones son partículas neutras componentes de los núcleos, emitidas con diversas energías; para detenerlos se requiere una pared de concreto de 1.50 m, o bien 10 cm de agua.

6.1.2 Unidades para la Medición de la Radiación.

Se han desarrollado unidades estándar para medir la radiación y su impacto en los materiales.

El daño a la piel humana está directamente relacionado con la cantidad de energía depositada en la piel por las emisiones alfa, beta y gamma; ésta energía, en la forma de ionización y excitación de moléculas, resulta en daños por calor a la piel o aún quemado por radiación. Por esta razón, muchas de las unidades usadas para medir la radiación están relacionadas con unidades de energía.

Un **curie** (Ci) es una medida de la radioactividad total o fuerza de la fuente y es igual a 3.7×10^{10} desintegraciones/seg. - la radioactividad del elemento Radio, el régimen de decaimiento se mide en curies.

Un **rad** (radiation absorbed dose) es la cantidad de radiación ionizante que lleva a la absorción de 100 ergs/gramo de material absorbido.

El **Roentgen** fue por muchos años una unidad estándar de exposición correspondiente a una cantidad de rayos gamma que depositan 87.7 ergs/gramo en aire a presión y temperatura estándar.

La **dosis equivalente**, medida en **rem** (Roentgen equivalent man). Es una unidad de medida de la absorción de energía en los tejidos, por la radiación ionizante; dirige la siguiente afirmación: todos los tipos de radiación ionizante no producen efectos biológicos idénticos por una cantidad dada de energía sobre una piel humana. El **mrem** es la milésima parte del rem.

6.1.3 Medidores de Radiación.

Han sido desarrollados dispositivos para medir la dosis de radiación, régimen de dosificación o cantidad de material activo que está presente. Los cuatro métodos ampliamente usados en el campo son los siguientes:

Contadores son diseñados para marcar el movimiento de partículas sencillas a través de un volumen definido.

Las **cámaras de ionización** básicamente consisten en un par de electrodos cargados que colectan iones formados dentro de sus respectivos campos eléctricos.

Las **películas fotográficas** se oscurecen si se exponen a la radiación y son indicadores útiles de la presencia de radioactividad.

Los **detectores termoluminiscientes** (DTL) son cristales como el NaI que pueden ser excitados a niveles altos de energía electrónica por la radiación ionizante.

6.2 Efectos sobre la salud

Cuando las partículas alfa y beta, y la radiación gamma penetran en células vivas o cualquier otra materia, transfieren su energía a través de una serie de colisiones con los átomos o núcleos del material que las recibe. Muchas moléculas son dañadas en el proceso como rompimiento de enlaces químicos y pérdida de electrones (ionización).

Los efectos biológicos de estas penetraciones pueden ser agrupados como somáticos y genéticos.

Los efectos somáticos son los impactos sobre los individuos directamente expuestos a la radiación e incluyen:

- daños al sistema circulatorio;
- carcinogénesis;

- disminución en la función orgánica debido a la muerte de células.

Los efectos somáticos ocurren debido a los daños de la radiación ionizante al material genético de las células y pueden causar rompimiento de cromosomas. Los efectos genéticos no son evidentes en el individuo recibiendo la radiación, pero son transferidos a los hijos y descendientes del individuo.

Las enfermedades por la radiación (rotura del sistema circulatorio, náuseas, pérdida de pelo) y la muerte resultante, son efectos agudos somáticos que ocurren después de muy alta exposición, como por una bomba nuclear o una terapia intensiva de radiación.

El accidente en Chernobyl de la planta de generación nuclear en la antigua URSS un 1986, dio como resultado cerca de 30 muertes de efectos agudos durante los 2 meses después del evento; éstos individuos recibieron radiación gamma en todo su cuerpo estimada en una dosis de aproximadamente 400 rads.

Bajas dosis de radiación, pero arriba de 100 rads, pueden producir vómito, diarrea y náuseas en los humanos, la pérdida de pelo por lo general se observa dentro de las 2 semanas después de que el individuo ha sido expuesto a 300 rads o más. La radiación ionizante presenta un buen ejemplo de los efectos diferentes de dosis altas agudas y dosis bajas crónicas.

Los efectos en la salud de una dosis dada de radiación dependen de un gran número de factores, por ejemplo:

- magnitud de la dosis absorbida;
- tipo de radiación;
- potencia de penetración de la radiación;
- sensibilidad de los órganos y células que la reciben;
- régimen al cual se envía la dosis;
- proporción del cuerpo humano/órgano/célula expuesta.

En general los efectos en la salud humana por recibir diferentes dosis de radiación anual son los siguientes:

- 25,000 mrem/año.- No hay efecto clínico; solo efectos aleatorios.
- 50,000 mrem/año.- Pequeños cambios en la composición sanguínea.
- 100,000 mrem/año.- Náuseas y fatiga.
- 200,000 mrem/año.- Los mismos efectos anteriores, pero más acentuados.
- 300,000 mrem/año.- Náuseas y vómitos.- 20% de muertes en un mes y recuperación del resto en 3 meses.
- 400,000 mrem/año.- 50% de muertes en un mes y recuperación del resto.
- 600,000 a 1'000,000 mrem/año.- Muerte segura.

6.3 Fuentes de desechos radioactivos

Hay un número de fuentes de desechos radioactivos:

- ciclo del combustible nuclear;
- fabricación y uso radiofarmacéuticas;

- investigación y aplicación biomédica;
- usos industriales.

El comportamiento de los radionuclidos se determina por sus propiedades físicas y químicas; estos radionuclidos pueden existir como gases, líquidos sólidos y pueden ser solubles o insolubles en agua u otros solventes.

A partir de 1980 la NRC (Nuclear Regulatory Commission) de EUA clasificó los desechos radioactivos en las siguientes categorías:

- minería del Uranio y colas de molinos;
- desechos transuránicos (TRU);
- material de subproductos;
- desechos de bajo nivel (DBN). Incluye los que no están en las otras cuatro categorías anteriores, y se han designado varias clases: A, B y C.

Los DBN no son necesariamente menos radioactivos que los Desechos de Alto Nivel, y aún pueden tener actividad específica más alta (curies/gramo); la característica distintiva de los Desechos de Bajo Nivel es que virtualmente no contienen emisores alfa.

6.3.1 Otras fuentes de desechos radioactivos

El incremento del amplio uso de radioisótopos en investigación, medicina e industria ha creado una larga lista de fuentes potenciales de otros desechos radioactivos.

Las fuentes de desechos radioactivos van desde un gran número de laboratorios que usan pequeñas cantidades (pocos isótopos) a grandes laboratorios de investigación y médicos en donde diferentes isótopos se producen, usan y desechan en grandes volúmenes.

Desde el punto de vista de la **transportación por aire**, todas las facilidades para manejo y disposición de desechos nucleares caen dentro de dos categorías generales:

- las que tiene una descarga a la atmósfera planeada y predecible;
- las que cualquier descarga puede ser puramente accidental.

La **transportación por agua** ocurre donde quiera que los radionuclidos en la superficie o bajo la superficie del suelo, erosionan o se filtran o un curso de agua o donde quiera que ocurran precipitaciones de la atmósfera.

Los isótopos radioactivos también pueden moverse **desde el suelo** a la cadena de alimentación humana. Los mecanismos de nutrición de las plantas virtualmente no tienen forma de filtrar un elemento que sea radioactivo.

La variedad de características químicas mostradas por los materiales radioactivos permiten que sean transportados a través del medio ambiente por un número de pasos diferentes, que hace el manejo de dichos desechos especialmente problemático.

6.3.2 Problemas principales

Los principales problemas de Riesgos por Radioactividad se tienen en las Plantas Nucleoeléctricas (PNE).

El mayor Riesgo o peligro en una PNE resulta de la formación de productos radioactivos durante la fisión de átomos.

Bajo condiciones normales de operación, las PNE solo liberan muy poca cantidad controlada de productos radioactivos, sin embargo, no deben dejarse de considerar los accidentes que causan liberación de grandes cantidades de productos radioactivos y que crean Riesgos significativos a la población vecina.

La liberación de grandes cantidades de productos radioactivos, puede ocurrir si se funde el núcleo del reactor, por lo tanto, la seguridad nuclear está dirigida totalmente a prevenir la ocurrencia de tales accidentes, mediante:

- La dotación de numerosos sistemas de seguridad a la PNE.
- La mitigación de sus efectos en caso de ocurrencia.

6.4 Las Plantas Nucleoeléctricas (PNE)

6.4.1 Principales características de operación de una PNE

El principio general de operación de una PNE es él mismo que el de una Planta Termoeléctrica y esta basado en los dos elementos siguientes:

- Una fuente de calor (en la PNE un reactor nuclear) para evaporar el agua.
- Una fuente de vapor (generador de vapor) para mover una turbina acoplada a un generador eléctrico de potencia.

La PNE está hecha esencialmente de lo siguiente:

- Un edificio del reactor que comprende una estructura de concreto llamada contenedor debido a su función de protección.
- Un edificio que contiene el equipo nuclear auxiliar.
- Un edificio para acomodar los medios para la generación de potencia eléctrica.

Dentro del Contenedor se encuentra el reactor nuclear que cuenta entre otras partes con lo siguiente:

- La vasija o recipiente del reactor conteniendo el núcleo en donde tiene lugar la fisión de los átomos de Uranio-235 que liberan calor. El núcleo es enfriado con agua normal que circula por el exterior del recipiente en circuitos.
- Los cambiadores de calor (generadores de vapor) en donde el sistema primario de agua transfiere su calor al sistema secundario.

6.4.2 Seguridad de la PNE

La Seguridad de la PNE se logra por medio de la siguiente:

- Un mínimo de cubiertas, llamadas "barreras" que separan el combustible del público.

- Sistemas elementales que deben operar en el evento de un mal funcionamiento.

Una PNE del tipo RAP (Reactor de Agua a Presión) está provista con una serie de tres barreras.

- La cubierta o camisa que contiene las pastillas de combustible.
- Recipiente o vasija del reactor (acero de 15 a 20 cm. de espesor).
- El contenedor primario (concreto armado de 1.5 m de espesor aprox., forrado internamente con una placa de acero de 1 cm de espesor aprox.).
- Contenedor secundario o edificio del reactor (concreto armado de 1.2 a 1.5 m mantenido con ligera depresión).

Algunos de los sistemas elementales que tienen funciones de seguridad "(safety-related-systems)" son los siguientes:

- Sistema de disparo del reactor, hecho de un grupo de varillas de control, diseñado para detener la reacción de fisión.
- Sistema de agua de alimentación auxiliar que actúa en el evento de pérdida del sistema de agua de alimentación normal.
- Sistema de inyección de seguridad que inyecta agua fría boratada en el sistema primario cuando baja la presión en éste sistema.

6.4.3 La fusión del núcleo del reactor

La fusión del núcleo del reactor puede resultar, por ejemplo, por la prolongada ausencia de enfriamiento del núcleo.

El combustible nuclear continua liberando calor después de que se ha parado la reacción nuclear.

Si éste calor no es removido por un medio de enfriamiento como agua, la temperatura del combustible se eleva hasta que se funde.

Los productos radioactivos podrian ir al sistema primario de agua y al aire del edificio del reactor.

La forma en que éstos productos por último se dispersan en el ambiente, depende mucho de las condiciones atmosféricas. Estos productos pueden tener los siguientes efectos:

- Muerte inmediata de individuos expuestos a dosis muy altas de radiación.
- Muerte por cáncer de habitantes expuestos a dosis altas de radiación.
- Desalojo de población de las áreas contaminadas.

6.4.4 Evaluación Probabilística de Riesgo (EPR)

La primera EPR (Reporte Rasmussen) de una PNE tuvo los siguientes resultados:

- La probabilidad de que se funda el núcleo de un reactor nuclear, fue estimada en alrededor de 5×10^{-5} /año, y sus consecuencias al ambiente menores (menos de una muerte).

- El peligro de riesgo al ambiente y a la población es muy pequeño.

El reporte Rasmussen fue evaluado en el llamado reporte Lewis, que criticó numerosos aspectos, especialmente encontró fallas con incertidumbres en la evaluación que fue considerada subestimada.

La NRC (Nuclear Regulatory Commission) de EUA rechazó posteriormente el reporte Rasmussen, aunque adoptó sus recomendaciones, concluyendo que hubo fuentes conservadoras y no-conservadoras en el estudio y no fue capaz de contestar a la pregunta ¿Fue el riesgo subestimado o sobrestimado? Entre éstas fuentes, pueden citarse las siguientes:

- Falla en tomar en cuenta la recuperación del error humano durante el accidente.
- Falla de exhaustividad del estudio de la secuencia del accidente.
- La forma de tratar las causas de falla comunes.
- La propagación de inconsistencias de incertidumbres en los cálculos.

6.4.5 La Guía para la EPR

La NRC, el DOE (Department of Energy) y el EPRI (Electric Power Research Institute) emitieron una Guía para la aplicación del método de la EPR, dirigido a:

- Describir el procedimiento para las organizaciones que deseen realizar dichos análisis.
- Presentar los métodos disponibles que fueron adaptados a la industria nuclear.

La Guía para la aplicación de métodos de la EPR identifica tres niveles principales:

- 1er Nivel.- Análisis e identificación de las secuencias del accidente, dirigido a evaluar la probabilidad de fusión del núcleo.
- 2º Nivel.- Análisis del proceso físico de fusión del núcleo y los modos de falla del contenedor.
- 3er Nivel.- Análisis del transporte de productos radioactivos en el ambiente y sus consecuencias.

Un análisis que cubra solo los primeros dos niveles se conoce como Evaluación Probabilística de Seguridad, EPS.

6.4.6 Metas de seguridad cuantificadas

Se han propuesto y usado numerosas metas de seguridad cuantificadas para la tarea de decisiones tanto en el diseño como en la operación de los sistemas industriales.

Estas metas se definen bajo las tres consideraciones siguientes:

- Elección de la meta basada en observaciones estadísticas.- Dada la estadística del accidente se busca en el futuro un mejor récord; se llega a la meta ajustada dividiendo el dato estadístico entre un coeficiente que represente la ganancia en seguridad.
- Elección de la meta basada en razonamiento económico.- El riesgo se compara con la utilidad (con frecuencia evaluada en términos financieros) para el individuo o para la comunidad como un todo, pudiendo considerarse los pros y contras de cada actividad

humana. Este tipo de consideración se caracteriza por recomendaciones como: "tan bajo como sea razonablemente posible o logable".

- Elección de la meta basada en el riesgo individual o colectivo aceptable.- Los niveles de riesgo aceptables pueden determinarse estudiando los riesgos individuales o colectivos incurridos por la sociedad, a partir de los cuales se fija la meta de seguridad.

6.4.7 Objetivos de seguridad de PNE

La NRC propuso objetivos de seguridad cualitativos y cuantitativos para establecer las bases de regulaciones de seguridad que:

- Ayuden al público a entender y aceptar los riesgos.
- Ayuden a tomar decisiones en el diseño y operación de PNE:

Los objetivos de seguridad cualitativos son los siguientes:

- El público en la vecindad de las instalaciones debe estar adecuadamente protegido contra consecuencias potenciales.
- El riesgo colectivo a la vida y a la salud por la operación de una PNE debe ser comparable o menor a los riesgos por generación de técnicas alternas y factibles.

Los objetivos de seguridad cuantitativos son los siguientes:

- La probabilidad de muerte inmediata de un individuo en la vecindad del sitio debida a accidentes de una PNE no debe exceder de 1/1000 de las probabilidades de muerte inmediata acumulativa por otros accidentes.
- La probabilidad de muerte inducida por cáncer en el individuo que puede resultar de la operación de una PNE no debe exceder de 1/1000 de la probabilidad de muerte inmediata acumulativa imputable a cáncer inducido por otras causas.
- Los beneficios para la sociedad de una reducción adicional en la mortalidad deben ser comparados con el ahorro radiológico y costo financiero sobre la base de 1000 dólares ahorrados por hombre-rem.
- La probabilidad de un accidente en una PNE resultante en una fusión del núcleo debe permanecer normalmente por abajo de 10^{-4} /reactor-año.

7. TRANSPORTE DE MATERIALES Y DESECHOS PELIGROSOS

El transporte de materiales y desechos peligrosos tiene regulación y ordenamientos diferentes a los aplicados en lugares fijos, razón por la cual solamente se incluyen en este trabajo algunos conceptos generales.

Los desechos peligrosos se transportan en camiones, carros de ferrocarril y barcos; la transportación de desechos peligrosos presenta los mismos peligros y está regulado en la misma forma que la transportación de otros materiales peligrosos como la gasolina:

Hay cuatro elementos básicos en la estrategia de control para el movimiento de los desechos peligrosos desde el generador:

- a) Transportista.- Lo mas importante sobre los transportistas de desechos peligrosos incluye: entrenamiento del operador, cobertura en seguro y registro especial de los vehículos de transporte.
- b) Documentación del desecho peligroso.- Sirve para varios propósitos y organizaciones: autoridades (federales y estatales), generador y receptor del desecho.
- c) Etiquetado y rotulado.- Antes de que un desecho se transporte del sitio de generación, cada contenedor debe ser etiquetado, y rotulado el vehículo de transportación.
- d) Reportes de accidentes e incidentes.- En las regulaciones de transportación, "incidente" involucra daños al empaque del desecho sin involucrar al vehículo; "accidente" involucra al vehículo que lleva el desecho así como a éste mismo.

8. AMBIENTALES

Los riesgos ambientales son eventos relacionados con el ambiente interior o exterior de la facilidad, pero en cualquier caso, fuera del sistema elemental estudiado.

Los riesgos ambientales representan las fuentes potenciales mas comunes de fallas dependientes; los medios de protección contra estos tipos de fallas son implementados durante los estudios de diseño de un componente o sistema.

El nivel de protección de un sistema o componente debe ser de acuerdo a las condiciones en que el sistema realiza su misión y de acuerdo a la importancia de su misión para la seguridad de la unidad a la cual pertenece.

Los Riesgos ambientales son tan numerosos y diversificados que deben ser subdivididos; en una planta nuclear de potencia hay, p.e., condiciones:

- Normales internas o externas.
- Naturales extremas.
- De accidente generadas interna o externamente.

Los análisis sistemáticos de factores relacionados con afectaciones ambientales sobre la confiabilidad de componentes, por lo general se realiza en dos fases:

- Selección de factores con probable impacto sobre los componentes y los valores umbral arriba de los cuales este impacto empieza a observarse.
- Evaluación del rango de variaciones de los factores antes mencionados bajo todas las condiciones de operación de la facilidad; el diseñador es quien mejor define éstos parámetros en las especificaciones técnicas. Si los umbrales antes mencionados pueden excederse, se deben tomar medidas fuertes de protección contra el factor mencionado.

De acuerdo a sus causas genéricas, las causas de falla ordinarias pueden clasificarse en la siguiente forma:

- Ambiente normal generado interna o externamente (polvo, suciedad, humedad, temperatura, vibración, atmósfera corrosiva, radiación ionizante...).
- Ambiente natural extremo:
 - Condiciones meteorológicas extremas (nieve, viento...)
 - Terremotos

- Inundaciones
- Ambiente generador de accidentes internamente:
 - Condiciones ambientales resultantes de un accidente
 - Chicoteo de tubería
 - Misil
 - Inundación local
 - Fuego
 - Explosión
- Ambiente generador de accidentes externamente:
 - Caída de avión
 - Colapso de presa, inducido por inundación.
 - Explosión
 - Fuego

9. ERRORES DE DISEÑO.

Son errores hechos durante los estudios de diseño (principios de operación, componentes utilizados, definición de procedimientos de prueba y operación, etc.), del componente o sistema elemental, los cuales perjudican las funciones de estos.

Estas son las causas de falla más difíciles de identificar, puesto que están estrechamente relacionadas con las limitaciones del "saber-como" (know-how). Se refieren tanto a componentes como a sistemas elementales y pueden asumir varios aspectos como se describen a continuación.

a) Componente o sistema elemental mal adaptado a su misión. Debido a que la condición exacta de una misión específica no fue suficientemente conocida, un componente o sistema elemental puede ser incapaz de cumplir sus funciones satisfactoriamente.

Por lo general, este tipo de error se detecta durante las pruebas preoperacionales o periódicas.

Desafortunadamente, hay ejemplos en donde las condiciones exactas de la misión no pueden ser simuladas durante las pruebas, a veces por la pérdida de dinero, de tiempo o porque las condiciones reales no pueden ser reproducidas. Los ejemplos más típicos son los sistemas diseñados para limitar las consecuencias de accidente que dañen severamente las facilidades industriales o el ambiente.

El accidente de pérdida de enfriamiento en una planta nuclear de potencia pertenece a esa categoría de accidente con una probabilidad de ocurrencia extremadamente baja por los medios implementados para prevenir su ocurrencia. La simulación a plena escala de éste tipo de accidentes esta fuera de discusión y se espera no experimentarlo nunca.

El único método disponible para verificar si el sistema diseñado para satisfacer éste tipo de situación está bien adaptado a su misión, es simular las condiciones del accidente con un programa de computadora el cual es mejorado alimentándolo con datos obtenidos durante pruebas en ciertas fases de la secuencia del accidente.

- b) Configuración del sistema elemental con causas de falla comunes potenciales. La configuración de un sistema elemental o de sus conexiones con otros sistemas, por ejemplo el sistema auxiliar vital, puede ser tal que la falla de un componente puede inducir falla del sistema completo o de varios sistemas.
Este riesgo puede ser cancelado por un nivel de redundancia aparentemente satisfactorio y solo puede ser identificado después de un evaluación de confiabilidad detallada, esto es, un sistema elemental que cumple varias funciones, es con frecuencia el origen de dichas fallas.
- c) Pruebas periódicas inadecuadas o perjudiciales. Las pruebas periódicas están esencialmente dirigidas a mantener la disponibilidad de un sistema elemental o componente de respaldo (standby) en un nivel satisfactorio. Estas pruebas solo se realizan porque el equipo puede deteriorarse mientras no trabaja, sin embargo, su diseño puede llevar a causas de falla comunes.
Por ejemplo, la prueba periódica de un sistema de fluido, durante la cual la posición o estado de las válvulas dentro del sistema puede ser cambiada para el propósito de la prueba, puede ser perjudicial (error humano: falla en regresar a la válvula a su posición apropiada).
Una prueba periódica puede ser también perjudicial porque puede ser causa de desgaste de varios componentes idénticos simultáneamente.
- d) Componente o sistema elemental no operable fácilmente. Cuando el diseño de un sistema es tal que no puede ser fácilmente operado o monitoreado por el operador, la probabilidad de errores de operación aumenta, por lo tanto, es un requisito el diseño simple de la configuración del sistema (sin demasiados componentes) y su fácil operación.
El diseño de un sistema cuya función es controlar un accidente, es decir enfrentarse a un evento raro, es realmente un problema. El diseñador puede elegir entre automatizar enteramente la operación del sistema, dejando solo una parte totalmente pasiva al operador o automatizar parcialmente el sistema con el operador realizando algunas acciones dentro de tiempos prescritos.
- e) Sistema elemental o componente difícil de mantener. Si el diseño de un sistema elemental es tal que el acceso al mismo es difícil y las operaciones de etiquetado, desensamble y re-ensamble son problemáticas, la probabilidad de errores de operación se incrementan.
Por lo anterior, las condiciones de mantenimiento correctivo o preventivo, así como las condiciones de operación deben ser estudiadas cuidadosamente con el enfoque de minimizar la probabilidad de errores humanos, tanto como sea posible.
- f) Inadecuada optimización de diseño con relación a causas de falla comunes. Las medidas de protección contra causas de fallas pueden resultar ya sea directamente o preparar las bases para otras fallas, por ejemplo:
- Las restricciones contra chicoteo para limitar los movimientos de tubería en un sistema de fluidos durante condiciones de accidente pueden ir contra los niveles de libertad requeridos en los movimientos de la tubería durante las condiciones normales de operación.
 - Colocando las líneas redundantes de un sistema relacionado con seguridad (safety-related) en bunkers separado en una planta nuclear de potencia se ha considerado la mejor garantía contra los peligros ambientales, sin embargo, este tipo de protección ha incrementado la vulnerabilidad del sistema el mal funcionamiento de la ventilación; este sistema de ventilación se ha convertido en un sistema auxiliar vital de los sistemas relacionados con la seguridad. Los bunkers están también en conflicto con la facilidad de acceso.

El análisis crítico del diseño debe ayudar a optimizar la protección contra causas de falla comunes y a evitar dar a una protección más importancia que a otras en detrimento a una protección que cree condiciones favorables para una causa de falla común sin el conocimiento del diseñador.

- g) Omisión o equivocación en los estudios de diseño. El estudio del control de calidad por lo general es para, entre otras cosas, limitar la ocurrencia de éste tipo de errores. Las causas de falla comunes que no se toman suficientemente en cuenta o que simplemente se olvidan en la fase de diseño, merecen especial atención. Estas fallas pueden estar relacionadas a las condiciones de la misión del sistema en el evento del accidente.

Por ejemplo, la resistencia sísmica de un sistema relacionado con la seguridad de un planta nuclear de potencia o de uso de sus sistemas auxiliares vitales debe estar provisto de ella en el diseño del sistema y de sus elementos soporte. Una posible omisión solo puede ser detectada checando los cálculos puesto que una simple prueba después no puede revelarla.

Hay varias formas de controlar la calidad de los estudios realizados para detectar las fallas de protección:

- Checando el diseño con relación a los dispositivos realizados para detectar no puede ser detectada en una etapa posterior.
- Buscando por protecciones omitidas en la facilidad (preferiblemente en los diagramas de la facilidad).
- Checando la adecuación del diseño durante las pruebas preoperacionales con respecto a todas las otras protecciones.

10. FABRICACION

Son errores durante la fabricación de componentes del sistema elemental.

Con frecuencia los errores de manufactura llevan a causas de falla comunes que afectan varios componentes del mismo tipo. Se deben examinar con mucho detalle dos tipos de errores de manufactura.

- Los errores que consisten en la falla en cumplir con especificaciones técnicas de manufactura.- Los controles de calidad de los productos manufacturados deben organizarse de forma de minimizar la frecuencia de dichos errores; se deben incluir no solo controles para checar que las especificaciones relacionadas con los materiales y tolerancias dimensionales para los componentes se cumplen, sino también pruebas de los niveles funcionales de comportamiento requerido en los bancos de prueba o en las fábricas.
- Errores tecnológicos.- Estos errores pueden crear un punto débil en el diseño de un tipo dado de componente, que no detectados por pruebas de conformidad, solo pueden ser detectados durante pruebas de fábrica, en bancos de pruebas o en el sitio.

Sin embargo, un gran número de dichos errores pueden ser eliminados antes que se lance la producción si los diagramas detallados de componentes se inspeccionan a tiempo por especialistas en estos componentes. Esta inspección ayuda a optimizar las pruebas de fábrica, en pruebas de bando o del sitio con objeto de facilitar el descubrimiento de puntos débiles posibles en un componente.

Relacionado con componentes probados que son comprados por sus buenos registros de operación, la atención debe enfocarse a los que parecen ser cambios menores que pueden permanecer sin observar o que demandan mejoramiento en series previas aunque no hay evidencia de prueba. Este tipo de mejoramiento es una fuente usual de causa de falla común.

11. MONTAJE, ENSAMBLE

Son errores cometidos en el curso del ensamble del componente (en la fábrica, en el sitio) y durante las pruebas pre-operacionales realizadas en el componente y en el sistema elemental

Con frecuencia los errores de ensamble llevan a causas de fallas comunes que afectan varios componentes idénticos; estos errores pueden deberse a:

- no acatamiento a buenas prácticas de ingeniería
- no acatamiento a reglas de limpieza.
- no acatamiento a especificaciones técnicas.
- defectos de soldadura en varios componentes.
- pruebas preoperacionales inadecuadas.

12. OPERACION

Son errores cometidos durante la operación de componentes y sistemas elementales, que previamente se encontraron adecuados para el servicio.

Como ejemplo, a continuación se da una lista de experiencias de operación de una planta de potencia:

- Errores cometidos durante operación (normal, condiciones de incidente y accidente):
 - Acciones erróneas debidas a fallas de aplicación o aplicadas no apropiadamente, procedimiento, datos mal interpretados o procesos mal entendidos.
 - Alarmas no relacionadas o alarmas mal interpretadas como una falla del propio sistema de alarma.
 - Transmisión inadecuada de órdenes entre operadores.
 - Diagnósis equivocada durante incidentes o accidentes, etc.
- Errores cometidos durante inspecciones y pruebas:
 - Omisión de pruebas periódicas o comportamiento incorrecto de pruebas periódicas.
 - Errores de calibración o ajustes.
 - Uso de procedimientos de pruebas periódicas obsoletas o incompletas.
 - Negligencia u omisión resultando en que se deja al sistema en un estado diferente del estado especificado para el final de las pruebas, etc.
- Errores de mantenimiento.
 - Falla en cumplir con procedimientos de mantenimiento.
 - Uso de procedimientos de mantenimiento obsoletos o incompletos.
 - Negligencia u omisión resultante en que el sistema se deja en un estado diferente del estado en que debería estar al final de las operaciones de mantenimiento.

13. ACTOS MAL INTENCIONADOS

Toda instalación de riesgo mayor puede ser objeto de actos malintencionados o de sabotaje, por personal de la planta o por gente del exterior.

Al diseñar la instalación se debe tener presente la necesidad de tomar medidas de protección contra dichos actos, incluyendo la vigilancia del sitio o emplazamiento.

Aún cuando la protección contra estos actos es difícil y nunca será perfecta, es muy importante considerarla desde la etapa de diseño.

Definiciones de seguridad de los sistemas

Se dan las siguientes definiciones para el MIL-STD-882:

1. Daño. La pérdida parcial o total del equipo provocada por la falla de los componentes; la exposición del equipo al calor, fuego u otros ambientes, errores humanos y demás acontecimientos o condiciones imprevisibles.
2. Contingencia. Situación que es un requisito previo para un incidente.
3. Evento contingente. Algo que crea una contingencia.
4. Gravedad de la contingencia. La evaluación del peor percance concebible que pueda provocar una contingencia específica.
5. Incidente. Un acontecimiento o serie de acontecimientos no planeados que provocan muerte, lesiones, enfermedad laboral o bien, daños o pérdida del equipo o de la propiedad o del ambiente.
6. Riesgo. La expresión de la posibilidad de un incidente en cuanto a la gravedad o probabilidad de una contingencia.
7. Seguridad. Liberación de las condiciones que pueden provocar muerte, lesiones, enfermedad laboral, o bien daños o pérdida del equipo o de la propiedad o del ambiente.
8. Plan de programa de seguridad de los sistemas. Es una descripción de los métodos planeados para que los use el contratista con el fin de que éste ponga en práctica los requisitos ajustados de este estándar, incluyendo las responsabilidades, recursos, métodos de logro, marcas de referencia, profundidad del esfuerzo e integración con otras actividades de ingeniería y administración y los sistemas relacionados de la organización.

Requisitos de diseño para la seguridad de los sistemas

Los requisitos de diseño para la seguridad de los sistemas dependen de los requisitos específicos del contrato pertinente pero la siguiente es una lista de los requisitos de este tipo que se suelen aplicar:

1. Eliminar las contingencias identificadas o reducir su riesgo.
2. Aislar las sustancias, los componentes y las operaciones peligrosas.
3. Reducir al máximo la exposición del personal a las contingencias.
4. Reducir al máximo el riesgo por una contingencia ambiental excesiva.
5. Reducir al máximo el riesgo provocado por errores humanos.
6. Cuando las contingencias no se puedan eliminar, es necesario considerar otras opciones.
7. Cuando las contingencias no puedan eliminarse mediante otros enfoques, es necesario colocar avisos de advertencia o precaución.
8. Proteger las fuentes de energía, los controles y los componentes esenciales de los sistemas redundantes.
9. Reducir al máximo la amplitud de la lesión o el daño que pueda sufrir el equipo en caso de un incidente.
10. Diseñar funciones controladas o monitoreadas por medio de software con el fin de reducir al máximo el inicio de acontecimientos peligrosos o incidentes.

Tabla 4.1. Gravedad de la contingencia

Descripción	Categoría	Definición del incidente
Catastrófico	I	Muerte o pérdida del sistema.
Crítico	II	Lesiones graves, enfermedad laboral grave o daño importante al sistema.
Marginal	III	Lesiones menores, enfermedad laboral menor daño menor al sistema.
Insignificante	IV	Menos que una lesión o enfermedad de poca importancia o un daño menor al sistema.

Tabla 4.2. Probabilidad de contingencia

Descripción	Nivel	Artículo específico	Flotilla o inventario
Frecuente	A	Probabilidad de que ocurra con frecuencia.	Se experimenta continuamente.
Probable	B	Ocurrirá varias veces durante la vida del artículo.	Ocurrirá con frecuencia.
Ocasional	C	Es probable que ocurra en algún momento de la vida del artículo.	Ocurrirá varias veces.
Remota	D	Es poco probable pero puede ocurrir durante la vida del artículo.	Es poco probable pero es razonable esperar que ocurra.
Improbable	E	Tan poco probable que se puede suponer que no va a ocurrir.	Poco probable pero es posible que ocurra.

Precedencia del sistema de seguridad

El orden de precedencia para satisfacer los requisitos de seguridad del sistema aparece de la siguiente forma en el MIL-STD-882:

1. Diseñar para lograr el riesgo mínimo.
2. Incorporar dispositivos de seguridad.
3. Proporcionar dispositivos de advertencia.
4. Establecer los procedimientos y la capacitación.

Valoración del riesgo en la seguridad del sistema

Las decisiones concernientes a la resolución de los riesgos identificados se basan en la evaluación de los riesgos correspondientes e incluyen los siguientes elementos:

1. Gravedad de la contingencia. La Tabla 4.1, tomada del MIL-STD-882 define las categorías que se deben emplear para la gravedad de la contingencia.
2. Probabilidad de contingencia. La probabilidad de contingencia se puede clasificar mediante la Tabla 4.2, que proviene del MIL-STD-882.



3. Acción correctiva. Los artículos catastróficos o críticos deben eliminarse o bien deben reducirse sus riesgos hasta un nivel aceptable. En caso de que esto sea imposible o impráctico, se deben recomendar otras alternativas.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO INTERNACIONAL EN
RIESGO AMBIENTAL**

**MODULO II
CA 085**

**CAUSAS DE RIESGOS INDUSTRIALES
GRAVES**

ANEXO 1

ENSAMBLE, MONTAJE

**EXPOSITOR: ING. JACOBO NOFFAL NUÑO
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO DEL 2002**

Introducción.

La percepción y la actitud respecto a los accidentes en instalaciones industriales y en el transporte de materiales y residuos peligrosos que han provocado emisión súbita de gases al ambiente de sustancias químicas, explosiones que arrojan decenas, centenas y a veces miles de muertos dentro y fuera de las empresas, incendios y demás calamidades que de haber estudiado cuales fueron la causa raíz de estas, a través de la administración de riesgos, tal vez se pudieron haber evitado.

Sin embargo los riesgos persisten y los eventos pueden ser determinísticos, es decir, de pasar o no pasar. Una administración de riesgos se encarga de reducir y minimizar la frecuencia de accidentes, a través de programas de prevención, análisis de posibles situaciones que originen eventos catastróficos, preparación de respuesta a emergencias y demás.

La importancia dentro de las empresas se basa en la rápida recuperación del negocio a través del control de pérdidas. Un accidente ocurrido en una empresa tiene repercusiones a corto, mediano y largo plazo de manera tal que el desprestigio advierte un próximo cierre de plantas filiales debido a la baja en ventas por la imagen deteriorada que gana, es por ello que en desastres naturales o provocados tienen repercusiones en empresas e incluso en gobiernos, por lo que su importancia es del orden social, político y económico, además del ambiental.

Protección Ambiental.

Se han tenido casos reportados de desastres ecológicos derivados de accidentes industriales en instalaciones y por transporte de materiales y residuos peligrosos y estos han traído consecuencias desastrosas para el entorno de manera que el ecosistema no se podrá recuperar en muchos años, tales son los desastres como el reportado en Alaska por la colisión del buque tanque Exxon Valdez, en la localidad de Valdez Alaska, en donde se derramó petróleo crudo en una extensión comparable a la distancia que hay entre Nueva York a Miami, o bien, el desastre de Chernobyl que impactó desde Ucrania hasta Suecia. Los desastres ecológicos alteran ecosistemas, desaparecen especies e incluso modifican el clima dramáticamente, tal es el caso ocurrido en México después de los incendios forestales ocurridos en casi todo el territorio nacional que derivó en sequías e inundaciones que han dejado muertos y cuyas consecuencias se siguen sufriendo hasta la fecha.

La protección ambiental es tan importante como la protección civil difieren en ámbitos de competencia, pero en esencia la labor de protección es inseparable ya que no se puede separar a las personas del entorno en donde viven por que son

parte del mismo y cualquier afectación en el medio ambiente tarde o temprano lo sufrirá la población.

La gestión ambiental como la protección a la comunidad hasta hace pocos años se ha hecho en un tono meramente correctivo, siendo que la labor preventiva es un tema nuevo.

En países como Canadá y Estados Unidos de América el tono preventivo es algo cotidiano, aunque el riesgo es latente y no los exenta de eventos catastróficos.

En México la labor del Estado a través de la Secretaría, Estados y Municipios ha estado básicamente además del cumplimiento legal, en el reforzamiento de la prevención sobre la corrección, a través de diversos instrumentos como son la auditoría, el impacto ambiental, análisis de riesgos, como una labor de prevención y como labor de control están los reportes de emisiones, generación de residuos y registros de descarga entre otros documentos ambientales.

Importancia y Características de los Estudios de Riesgo.

Los estudios de riesgo se requieren generalmente durante el desarrollo de una manifestación de impacto ambiental y como este también tienen diferentes modalidades que van desde un informe técnico, análisis de riesgo, hasta un análisis detallado que incluya técnicas de simulación matemática con el objeto de plasmar en un caso extremo de accidente el daño máximo probable ante las peores condiciones, así como los radios de afectación en caso de explosiones, liberación de nubes tóxicas, bolas o albercas de fuego.

Un estudio de riesgo se puede presentar dependiendo la intención o el propósito que nosotros busquemos y puede ser un estudio de forma cualitativa o un estudio cuantitativo, siendo que para el primero se basa en experiencias y simulación de que ocurriría en caso de fallas en forma puntual, o bien lo que ocurriría dependiendo de una liberación accidental del material a cierta presión y temperatura, en donde se incluye las propiedades fisicoquímicas que determinarían el tamaño de la flama o el tiempo de liberación, siendo también una función las condiciones meteorológicas que se presenten en el momento del accidente.

Relación entre el riesgo y el Impacto Ambiental.

En el impacto ambiental se proyecta sobre las condiciones del medio en cuanto a su flora y fauna, adicional a las condiciones geológicas, geomórficas, topológicas, clima, hidrología, asentamientos humanos en concentración, niveles o estratos socioeconómicos, que y como afectaría la instalación de un determinado giro industrial en una zona seleccionada, en este estudio se incluye la cantidad de materia prima, en proceso y almacén que se va a utilizar para su transformación,

así como la cantidad de residuos que se van a generar y como será su manejo, a esta cantidad de material estimada en total por cada tipo de sustancia se le llama cantidad de reporte, y para ello existen cantidades de reporte que hacen a un determinado giro en peligroso y que requiera de un estudio para conocer las medidas de mitigación ante contingencias.

Un impacto ambiental estudia en sí los riesgos al medio ambiente y a las personas en conjunto por la instalación de una empresa y los riesgos que se analizan son para conocer que mecanismos se tienen para prevenir y como salvaguardar al medio ambiente y a las personas.

El problema que se presenta es que las empresas ya están instaladas a pesar de que se necesitaba hacer una valoración como la descrita anteriormente y vienen las consecuencias posteriores.

Actividades y Residuos Peligrosos.

Los riesgos dentro de las empresas están en relación directa a la actividad que desempeñan y a su duración, es decir, que si una empresa trabaja los tres turnos de ocho horas diarias tendrá una probabilidad mayor de presentar un accidente que una que trabaje sólo un turno, en cuanto a la cantidad de material peligroso de reporte con el que trabaje una empresa se designa de por sí, si esta actividad es catalogada como de alto riesgo o no. Al igual que si en sus procesos de transformación existe generación de subproductos que tengan características Corrosivas, Reactivas, Explosivas, Tóxicas, Inflamables y/o Biológico Infeccioso que en cantidad pudieran originar una actividad de alto riesgo. El problema que se presenta a menudo es si se conoce que se está generando o no residuos peligrosos con las características antes mencionadas.

Gestión Ambiental en Materia de Riesgo.

El riesgo se trata en las empresas a través de diferentes departamentos o gerencias, dependiendo de la estructura organizacional de la empresa. puede ser dado como una rutina a través del estudio de cada actividad laboral dentro de la planta donde sea contemplado paso por paso los procedimientos de manufactura con el objetivo de reducir la posibilidad de un accidente mediante la asignación de equipo, capacitación y conscientización de que la seguridad es una actividad que concierne a todos en la planta.

En sistemas de Gestión Ambiental tipo ISO 14000 se toma en cuenta el rubro de Preparación para Respuesta a Emergencias en donde se toma en cuenta las brigadas y los tipos de comandos para saber que hacer en casos inesperados, como fuga, fuego, explosiones, huracanes, sismos, asaltos, etc.

Existe otro sistema de gestión muy especializado que consta de cerca de 18 elementos que considera el elemento humano, el plano ambiental de seguridad, y el de calidad como parte rentable en una empresa y en donde el análisis de riesgo (elemento 12) es fundamental este modelo se llama Sistema Integral de Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental (SIASPA).

Conceptos de Riesgo.

UNESCO: La posibilidad de pérdida, tanto de vidas humanas, como en sus bienes o en su capacidad de producción.

Evento peligroso

Liberación de Materiales y energía, pueden causar daño a trabajadores dentro de la planta, comunidad, ambiente.

Riesgo

Relación producto de la consecuencia y la frecuencia.

Consecuencia

Cantidad de algo que causa daño a personas o cosas a raíz de un evento peligroso.

Probabilidad

En cuantas ocasiones se puede esperar un evento.

Incidentes a evitar:

- Nubes de gases tóxicos.
- Nubes asfixiantes
- Incendio (Alberca, Bolas de Fuego, Chorro)
- Explosiones (Mecánicas/Químicas)
- Projectiles
- Derrame de líquidos
- Derrame de Corrosivos
- Emisiones de Polvo.

Incidentes más Publicados.

- Ludwigshafen
- Flixborough
- Romeoville
- San Juanico
- Bhopal
- Ufa
- Pasadena
- Chernobyl
- Halifax
- Seveso
- Mississauga
- Sandoz

Ludwigshafen

Lugar

Ludwigshafen

Fecha

Julio 1948

Producto

Dimetil Eter

Situación

Tanque sobrepresionado y alta temperatura debido al calor veraniego
La nube de vapor se inflamó en 6 segundos, después de que se prendió una antorcha de un soldador.

Consecuencias

Explosión equivalente a 60 Toneladas de TNT.

Daño

Destrucción total de un área de 230 X 170 m y daños en una extensión de 570 X 520 m, Pérdidas por 30 millones de Dólares.

Pérdidas Humanas

254 Muertos.

Flixborough

Lugar

Planta Petroquímica, Nypro, produce 70,000 toneladas anuales de Caprolactama, Flixborough, Inglaterra.

Fecha

Junio 1974

Producto

Ciclohexano

Situación

Falla enorme de un "by pass" de 20" alrededor de un reactor de ciclohexano. Aproximadamente 22 t se encontraban en la trayectoria explosiva. La fuente de ignición fue el calentador de fuego. La tubería seguramente falló en los fuelles de expansión de una conexión temporal que juntaba los dos reactores.

Consecuencias

Explosión de una nube de vapores equivalente a 15 Toneladas de TNT.

Daño

Destrucción total de la planta, \$ 48 millones de Dólares, 13 km. fuera del sitio, 2488 casas, tiendas y factorías. \$ 200 millones de Dólares de daño fuera del sitio.

Pérdidas Humanas

28 Muertos (18 en la sala de control).

RomeoVille

Lugar

Refinería RomeoVille, Estados Unidos de América.

Fecha

Julio 1984

Producto

Propano

Situación

Grieta en una torre de Monoetanol Amina (MEA) con una altura aproximada de 18 m. Se intentó aislar la alimentación a la torre pero una chispa inflamó los vapores causando que la torre de 34 m explotara.

Consecuencias

Explosión de una nube de vapor.

Daño

Destrucción total de la planta, \$ 48 millones de Dólares, 13 km. fuera del sitio, 2488 casas, tiendas y factorías. \$ 200 millones de Dólares de daño fuera del sitio.

Pérdidas Humanas

28 Muertos (18 en la sala de control).

San Juan Ixhuatepec

Lugar

Planta de Almacenamiento de Gas L.P., San Juan Ixhuatepec, México.

Fecha

Noviembre 1984

Producto

LPG

Situación

Explosión durante una operación de descarga, culminando en la explosión de 2 esferas de 1250 Toneladas y 4 cilindros de 625 Toneladas.

Consecuencias

Explosión de líquido y vapores embullados.

La segunda explosión causó una bola de fuego de 350 m.

Siguieron 12 explosiones en 90 minutos subsecuentes.

Daño

Destrucción total de la planta.

200 casas destruidas.

1800 casas dañadas

Pérdidas Humanas

542 Muertos, 4248 heridos.

Ufa, ex-URSSS.

Lugar

Ufa, URSSS.

Fecha

Junio 1989

Producto

Gas Natural Licuado

Situación

Una tubería a 800 m del ferrocarril tuvo una ruptura y se fugó gas, este se propagó hasta en 8 km., desde el origen. Horas después un par de trenes que viajaban en direcciones opuestas se dirigieron a la nube por lo que la inflamación tuvo lugar, descarrilando y chocando los trenes

Consecuencias

Explosión de nube de vapor.

Daño

2 trenes destruidos y árboles aplanados en un radio de 4 Km.

Pérdidas Humanas

645 Muertos.

Pasadena Texas.

Lugar

Pasadena, Texas.

Fecha

Octubre, 1989

Producto

Isobutano, Etino y carga de catalizador.

Situación

Durante el mantenimiento de rutina de un reactor de HDPE, el contenido fue liberado al ambiente. La nube se inflamó al minuto de su fuga.

Consecuencias

Explosión equivalente a 10 Kt de TNT.

Daño

2 unidades destruidas en su totalidad y 750 millones de dólares en daños materiales.

Pérdidas Humanas

23 Muertos y 130 heridos.

Halifax, Nueva Escocia, Canadá.

Lugar

Halifax, Nueva Escocia

Fecha

Diciembre, 1917

Producto

El barco belga "Imo" chocó contra el buque de cargo francés, "Mont Blanc, el cual transportaba mas de 2300 T de ácido pícrico, 200 T de TNT, 35 T de benzolina y 10 T de algodón de armas.

Situación

Incendio seguido por una explosión, siendo la más catastrófica antes de Hiroshima.

Consecuencias

Explosión catastrófica

Daño

Gran cantidad de barcos destruidos, 25000 quedaron sin refugio.

Pérdidas Humanas

1963 Muertos, 9000 heridos, 199 ciegos.

Chernobyl, Ucrania.

Lugar

Ucrania

Fecha

Abril 1986

Producto

Contenidos del reactor nuclear

Situación

El accidente ocurrió durante una prueba sobre la capacidad del generador turboagitador para propulsar bombas de agua, mientras el generador se paralizaba después de que se terminó el suministro de vapor.

Consecuencias

Explosión local, incendio y escape de productos extenso de productos nucleares.

Daño

Enormes impactos económicos y sociales incluyendo la evacuación de ciudades cercanas.

Pérdidas Humanas

31 Muertos. 75000 casos de cáncer los efectos aún continúan

Ubicación	Fecha	Incidente
Seveso, Italia	1978	Liberación de Dióxina a los pueblos de alrededor.
Mississauga, Canadá	1978	Accidente de ferrocarril despidiendo LPG y cloro
Sandoz, Alemania	1978	Incendio de bodega, despido de plaguicida al río Rhin causando grandes efectos ecológicos.

Convenio de la Organización Internacional del Trabajo sobre la Prevención de Accidentes Industriales Mayores

La conferencia de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) adoptó el 22 de junio de 1993 el convenio sobre la prevención de accidentes industriales mayores, la seguridad de utilización de productos químicos en el trabajo y las recomendaciones para prevención de accidentes industriales mayores publicados por la OIT, resalta la necesidad de adoptar medidas para prevenir accidentes mayores, reducir al mínimo los riesgos, consecuencias de accidentes, asimismo se destacan como causas de dichos accidentes los errores de administración, factores humanos, averías o deficiencias de una pieza, desviaciones con respecto a las condiciones normales de funcionamiento, injerencias externas y fenómenos naturales.

El convenio consta de 30 artículos en donde indica como objetivo la opción de instrumentar planes de aplicación por etapas de medidas, se definen términos básicos, plantea que los miembros deben establecer y aplicar una política nacional coherente relativa a la protección de los trabajadores, la población y el ambiente, contra los riesgos de accidentes mayores; la autoridad competente o un organismo reconocido por ella debe establecer un sistema para la identificación de las instalaciones expuestas a riesgos de accidentes según lo define el convenio con base en una lista de sustancias peligrosas o de categorías de las mismas, que incluya sus cantidades umbrales respectivas de conformidad con la legislación nacional o normas internacionales.

Se debe tomar disposiciones especiales para proteger las informaciones confidenciales que son transmitidas por los industriales a las autoridades, cuya revelación pudiera causar perjuicio a las actividades de un empleador siempre y cuando dicha confidencialidad no implique un peligro grave a los trabajadores, la población o el ambiente. Se plantea que los trabajadores deberán identificar y notificar a la autoridad competente toda instalación expuesta a riesgo de accidentes mayores sujeta a su control. Respecto a cada instalación, los empleadores deberán establecer y mantener un sistema documentado de prevención de riesgos de accidentes mayores. Los empleadores deberán redactar y transmitir a la autoridad un informe de seguridad de las instalaciones ya existentes o toda nueva instalación expuesta a riesgos de accidentes mayores, antes de que se ponga en funcionamiento. Los empleadores deberán revisar, actualizar y en su caso modificar, el informe de seguridad cuando ocurran modificaciones significativas en sus instalaciones o avance el conocimiento tecnológico. Los empleadores deberán informar a la autoridad tan pronto como ocurra un accidente mayor y dentro de un plazo y presentar a la misma un informe detallado en que se analicen las causas y consecuencias, así como las medidas adoptadas para atenuar sus efectos y prevenir accidentes similares con base en los informes de seguridad de las instalaciones, las autoridades competentes

emergencias en los que participen activamente los trabajadores de la planta y la comunidad.

Los grupos de la comunidad local y partes interesadas como ecologistas, comunicadores, dirigente religiosos y de instituciones educativas y cámaras empresariales que transmiten las inquietudes y puntos de vista de los sectores que representan.

deberán velar por que se establezca y actualice a intervalos apropiados y se coordinen con las autoridades y organismos interesados, los planes y procedimientos de emergencia que contengan disposiciones para proteger a la población y al ambiente fuera del emplazamiento en que se encuentra cada instalación. La autoridad debe difundir entre los miembros de la población expuesta los efectos de un accidente mayor, información sobre medidas de seguridad a adoptar y el comportamiento que esta deba seguir cuando ocurra un accidente mayor. Al mismo tiempo, debe dar alarma cuanto antes de que se produzca un accidente y si este ocurre en una zona fronteriza proporcionar a los estados afectados la información requerida en el convenio para apoyar las medidas de coordinación y cooperación. La autoridad debe elaborar una política global de emplazamiento que prevea una separación adecuada entre las instalaciones en proyecto que estén expuestas a riesgos de accidentes mayores y las áreas de trabajo. La autoridad competente deberá disponer de personal calificado que cuente con una formación y competencia adecuada y con el apoyo técnico y profesional para desempeñar funciones de inspección, evaluación, investigación y asesoría sobre los temas especificados en el convenio. La autoridad tiene derecho a suspender cualquier actividad que represente una amenaza inminente de accidente mayor. Las instalaciones expuestas a riesgos de accidentes mayores, los trabajadores y sus representantes deberán ser consultados mediante mecanismos de cooperación, con el fin de garantizar un sistema seguro de trabajo. Los trabajadores empleados en el emplazamiento de una instalación expuesta deberán observar procedimientos, prácticas relativas a prevención, el control y la respuesta de accidentes mayores.

Directiva de la Unión Europea concerniente a los Riesgos de Accidentes Mayores en Determinadas Actividades Industriales.

La comisión de la Unión Europea es la encargada de vigilar el cumplimiento de la directiva y su incumplimiento da lugar a procedimientos contra los países miembros que comprenden la emisión de una carta de señalamiento de las fallas, de ser el caso la presentación de esta en el cumplimiento ante la corte de justicia de esa organización. Las directivas deben quedar plasmadas en las legislaciones de los países miembros. La directiva del 24 de junio de 1982 "Relativa a los Riesgos de Accidentes Mayores de Determinadas Actividades Industriales" fue la primera en subgénero y se aprobó con el fin de evitar accidentes como el ocurrido en Seveso, Italia de 1976, la cual se la conoce como la Directiva Seveso, esta entró el 8 de enero de 1984 en el caso de instalaciones nuevas y en enero de 1985 en instalaciones existentes.

Directiva Seveso.

Esta se generó con el propósito de que los países miembros legislaran tomando en cuenta sus propios objetivos. El artículo V de esta directiva, obliga a los países miembros a contar con una legislación que requiera a los industriales estudiar los peligros que presentan sus actividades y someter los resultados de los estudios en un documento de síntesis que debe ser notificado a la autoridad competente designado para el efecto.

Las instalaciones a las que aplica dicho artículo comprenden:

Instalaciones donde se realicen procesos industriales (reacciones químicas, mezclas...definidas en el anexo Y) en los que se involucren cantidades suficientes de sustancias peligrosas. Los productos químicos y petroleros más peligrosos son enumerados en una lista que comprende 180 rubros. La suma de todas las cantidades de esos productos presentes en el sitio del establecimiento industrial es tomada en cuenta.

Anexo 1

1.-Instalaciones de producción o transformación de sustancias químicas orgánicas o inorgánicas.

Procedimientos de:

Alquilación.
Hidrólisis.
Oxidación.
Polimerización.
Sulfonación.

Nueva Directiva:

Aquí se toman en cuenta dos aspectos relevantes para el control de riesgos industriales, el compromiso de todas las capas de la sociedad en el espíritu de responsabilidad compartida y lo siguiente en el mejoramiento de procedimientos de cooperación entre la comisión y los países miembros.

90% de los accidentes en la Unión Europea fueron causados por errores de gestión en las empresas involucradas, ya sea por deficiencia en la organización, por formación inadecuada de trabajadores y supervisores o por no considerar la posibilidad de considerar errores humanos. La actuación se basa en la prevención, de la corrección, preferentemente en la fuente misma, de los ataques al ambiente y en el principio "el que contamina paga".

La propuesta se centra en la prevención de accidentes que ocurren con poca frecuencia pero cuyas consecuencias son muy importantes (Seveso y Bhopal). Se plantea la necesidad de enterar al público en caso de accidente grave, se propone sanciones a inspectores, en virtud de la necesidad de garantizar una aplicación práctica equivalente en toda la unión e impedir que haya establecimiento que presenten un riesgo inaceptable de accidente grave.

Las exenciones se aplican en los campos en los que existen disposiciones jurídicas iguales a las propuestas o en los que se tienen necesidades especiales respecto a los controles de accidentes graves como los gasoductos u oleoductos, transporte en las industrias extractivas.

Anexo 4

Criterios Indicativos

DL50 mg/Kg en peso (oral)	DL50 mg/Kg en peso (cutanea)	CL50 mg/L (inhalación)
5<=	10<=	0.1<=
>=5<=25	>=10<=50	>=0.1<=0.5

Sustancias que corresponden a la segunda línea de dicho cuadro y, que debido a sus propiedades físicas y químicas pueden provocar riesgos de accidentes mayores análogos a los que pueden generar los de la primera línea.

Otras sustancias tóxicas: Presentan valores de toxicidad aguda: $25 < DL50 \text{ (oral)} < 200$, $50 \leq DL50 \text{ (cutánea)} < 400$, $0.5 \leq CL50 \text{ (inhalación)} < 2$.

Sustancias Inflamables.

Gases Inflamables: En estado gaseoso a la presión normal y mezcladas con el aire se vuelven inflamables y cuyo punto de ebullición es igual o inferior a 20°C.

Líquidos Altamente Inflamables: Sustancia cuyo punto de ignición es menor a 21°C y cuyo punto de ebullición es superiora 20°C.

Líquidos Inflamables: Sustancia cuyo punto de ignición es menor a 55°C y permanecen en estado líquido bajo efecto el efecto de una presión, cuando existen ciertas formas de tratamiento, que como presión y temperatura elevadas pueden crear riesgos de accidente graves.

Sustancias Explosivas: Sustancias que pueden explotar bajo el efecto una llama o que son más sensibles a los choques frotamiento que el dinitrobenceno.

Propuesta de nueva Directiva.

Modificaciones a la Directiva de Seveso.

Las experiencias resultantes de la aplicación de la directiva de Seveso llevaron a proponer modificaciones se introducen 2 sustancias nuevas (oxígeno líquido y trióxido de azufre); se bajan los umbrales de reporte para ciertos productos (fosgeno, cloro y metilisocianato) y se elevan los de otras sustancias (polvos y derivados de cobalto y níquel); modifican la clasificación de nitrato de amonio.

La ampliación de los campos de aplicación que abarca los almacenes de productos peligrosos y un reforzamiento de las disposiciones concernientes a la obligación de informar al público.

Aminación por Amonio
 Carbonilación.
 Condensación
 Deshidrogenación
 Esterificación.
 Halogenación y fabricación de Halógenos
 Hidrogenación
 Hidrólisis
 Desulfuración
 Transformación y fabricación de derivados de azufre.
 Nitración y Fabricación de Derivados.
 Fabricación de Derivados de Fósforo.
 Formulación de plaguicidas y productos farmacéuticos
 Instalacionjes de tratamiento de sustancias químicas orgánicas o inorgánicas que utilizan procedimientos de: destilación, extracción, solvatación, deshidratación y mezclado.

- 2.- Instalaciones para destilación o refinado del petróleo y sus productos.
- 3.- Instalaciones destinadas a permitir la eliminación total o parcial de sustancias sólidas o líquidas por combustión o descomposición química.
- 4.- Instalaciones de producción o transformación de gas que produzcan energía, por ejemplo, gas licuado de petróleo, gas natural licuado o gas natural de síntesis.
- 5.- Instalaciones para la destilación seca de carbón y lignita.
- 6.- Instalaciones para producir metales o no metales por vía húmeda o mediante energía eléctrica.

El almacenamiento de sustancias definidas en el anexo 2.

Almacenamiento en Instalaciones Distintas a las Referidas en el Anexo 2 (almacenamiento Separado)

Categorías de Sustancias	Cantidades para la Aplicación de los Art 3 y 4 de la Directiva (Ton)	Cantidades para la Aplicación del Art 5 (Ton)
Gases Inflamables	50	300
Líquidos Altamente Inflamables	10000	100000
Acrilonitrilo	350	5000
Amoniaco	60	600
Cloro	10	200
Dióxido de Azúfre	20	500
Nitrato de Amonio	500	5000
Clorato de Sodio	25	250
Oxígeno Líquido	200	2000

Impacto, Riesgo, Verificación Normativa y Auditoría Ambiental.

Introducción:

Un aspecto importante dentro de la política de protección ambiental y conservación del equilibrio ecológico, lo ocupan las acciones encaminadas a prever, anticipar y controlar los daños que puedan ocasionar en el ambiente las diversas actividades públicas o privadas que se llevan a cabo en el proceso de desarrollo económico y social.

El ordenamiento ecológico de territorio, evaluación del Impacto Ambiental de Proyectos, Estudios de Riesgo y Acciones de Vigilancia e Inspección son instrumentos jurídico administrativos de gestión ambiental gubernamental, utilizados para aminorar, y en algunos casos evitar la continuación del deterioro y la degradación acelerada de ecosistemas provocados por la contaminación.

Impacto Ambiental.

Se define jurídicamente como modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o la naturaleza. Las actividades humanas son las que se someten a evaluación por parte del estado debido a que son las que mas han incidido negativamente en el ambiente.

Las evaluaciones de impacto ambiental, son estudios realizados para identificar, predecir y prevenir las consecuencias y/o efectos ambientales, que determinadas acciones, planes o proyectos pueden causar a la salud, el bienestar humano y el entorno natural.

Marco Jurídico.

Esta vertiente preventiva de la política ecológica se fortalece con la expedición de la LGEEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente) en 1988, al sistematizar la aplicación de los estudios de impacto ambiental con el establecimiento de Procedimiento de Impacto Ambiental (PIA) y los estudios de riesgo ambiental (ERA).

Procedimiento de Impacto Ambiental.

Esta una herramienta de planeación que se aplica en la protección del ambiente; es un instrumento que prevé el deterioro de la calidad del ambiente y es también una metodología que utiliza la política ambiental para evaluar los proyectos productivos y de desarrollo.

Un análisis que identifica alteraciones que un proyecto efecto o actividad puede producir en el ambiente, es junto con el ordenamiento y los estudios de riesgo una herramienta de planeación ambiental y por otro, es un procedimiento jurídico administrativo para la aprobación, rechazo o modificación del proyecto por parte de la autoridad.

La LGEEPA y su reglamento de impacto ambiental, señala que aquellos proyectos que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites señalados en las normas oficiales mexicanas y en reglamentos, emitidas por la federación para la protección del ambiente, deberán contar con autorización previa de las autoridades federales, estatales o municipales de acuerdo con sus respectivas competencias.

Las etapas para la autorización de un proyecto son las siguientes. Los promoventes deberán presentar ante la autoridad correspondiente un informe preventivo (IP) y/o una manifestación de impacto ambiental (MIA). El IP se presenta cuando se considera que la obra o actividad no causará desequilibrios ecológicos, ni rebasará los límites y condiciones señalados en los reglamentos, ni en las NOM.

Si el proyecto rebasa los límites y condiciones señaladas, entonces deberá presentar una MIA, la cual puede definirse como el documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o de atenuarlo en caso de que sea negativo. Se pueden desarrollar tres diferentes modalidades que van a depender de la magnitud del proyecto, de la zona donde se va a llevar a cabo y de la actividad que vaya a realizar:

Manifestación General.

Manifestación Intermedia.

Manifestación Específica.

La evaluación considera los siguientes elementos: ordenamiento ecológico; declaratorias de áreas naturales protegidas; los criterios ecológicos para la protección de flora y fauna silvestres y acuáticas, para el aprovechamiento racional de los elementos naturales y para la protección al ambiente; la regulación ecológica para los asentamientos humanos y los reglamentos y NOM vigentes en las distintas materias que regula la ley y demás ordenamientos locales en la materia. Una vez que la autoridad resuelve: a) aprobar el proyecto en los términos en que fue manifestado, b) aprobar el proyecto con condicionantes o c) rechazar el proyecto presentado. El fallo se oficializa por el INE a través de un dictamen, en el cual se incluyen; la autorización del documento de impacto ambiental, la procedencia de la acción por realizarse y dado el caso las medidas de mitigación para los impactos ambientales detectados, así como las condicionantes que minimicen el costo ambiental del proyecto.

Motivos para la Realización de Visitas de Inspección.

Contingencia Ambiental.

Resultante de un accidente en una industria que implica riesgo de afectación al ambiente; en el caso de la Zona Metropolitana de la CD de México, se verifica la participación de las empresas en el plan de prevención de contingencias ambientales de la ZMCM, en materia de contaminación atmosférica.

Revisión Jurídica.

Efectuada a las empresas que durante una contingencia ambiental negaron el acceso a sus instalaciones.

Denuncia Popular.

Atención a quejas o denuncias promovidas por los sectores de la sociedad civil afectados por alguna fuente de emisión de contaminantes.

Verificación.

Cómo resultado de conocer el avance o cumplimiento de las condiciones dictadas como medidas de corrección a irregularidades detectadas en una visita de inspección previa.

Inspección Industrial.

Visitas de inspección a la industria para verificar el cumplimiento de la verificación industrial.

Auditorías Ambientales

La auditoría ambiental es un instrumento de la PROFEPA que ha puesto en práctica debido a los resultados en la prevención y control de la contaminación en instalaciones industriales.

La auditoría ambiental es indispensable a las empresas del país consideradas de alto riesgo, con el objeto de identificar, controlar y evaluar aquellos procesos industriales que al operar lo hagan bajo condiciones de riesgo o que contaminan al ambiente.

zonas intermedias de salvaguarda, comité de análisis de aprobación de los PPA, lineamientos para la expedición de normas de seguridad y operación, consulta de los estudios de riesgo, medidas de prevención, como control, atención y seguridad en materia de riesgo ambiental. La normatividad se formula en el análisis de normas y reglamentos internacionales para el manejo de sustancias peligrosas en la industria del petróleo, petroquímica,, química y de pinturas, tintas y solventes, tomando en cuenta especificaciones y factores de seguridad y operación para el manejo, llenado, descarga y almacenamiento de tales sustancias. En particular se han tomado en consideración las especificaciones de la comisión interestatal de comercio y del departamento de transporte de los Estados Unidos, respecto a los recipientes y envases para almacenamiento y transporte de sustancias peligrosas.

Estudios de Riesgo Ambiental.

Para evaluar el riesgo de una actividad industrial, el INE solicita mediante un procedimiento de evaluación de impacto ambiental, la presentación de un estudio de riesgo ambiental (ERA). Con base en el análisis de las acciones proyectadas para el desarrollo de una obra o actividad, el INE da a conocer los riesgos en dichas obras o actividades que puedan representar para el equilibrio ecológico, el ambiente, así como las medidas técnicas de seguridad, preventivas o correctivas tendientes a evitar, mitigar, minimizar o controlar los efectos adversos al equilibrio ecológico en caso de un posible accidente, durante la ejecución u operación normal de la obra de la actividad de que se trate. Para ayudar a prevenir eventos o accidentes con repercusiones ambientales es necesario establecer el concepto de riesgo el cual involucra dos factores:

La magnitud del evento y sus efectos, cuantificados en una escala adecuada

La probabilidad de que se presente el evento correspondiente.

En cuanto a los accidentes industriales que afectan seriamente al ambiente, es importante recordar que los tres tipos fundamentales de accidentes a considerar son: Explosión, incendio y fuga o derrame de productos de alta peligrosidad.

Estos accidentes dependen de tres variables básicas: Presión, temperatura y concentración de diversas sustancias presentes, así como las condiciones de los recipientes, la construcción y diseños de los equipos y las características para transportar dichas sustancias.

Los accidentes pueden presentarse por causas naturales fortuitas o antropogénicas. Las medidas de prevención y mitigación de riesgos a aplicar en las diversas instalaciones industriales se pueden clasificar en medidas preventivas, de control y atención.

Medidas preventivas: Su objetivo es reducir en su origen los niveles posibles de riesgo a valores socialmente aceptables.

Medidas de control: Su objetivo es reducir los efectos negativos en el ambiente de accidentes, cuando se llegan a presentar

Medidas de atención: Medidas destinadas a reducir los daños a la población y al equilibrio ecológico, cuando el accidente ha tenido lugar.

Nivel aceptable de Riesgo implica considerar diversos factores:

Problemas del sitio de ubicación de la planta, escaso espaciamiento interno y arreglo general inadecuado, estructura fuera de especificación, evaluación inadecuada de materiales, problemas de proceso químico, fallas de equipo, falta de programa de seguridad tanto interno como externo. El riesgo total que presenta una instalación industrial, conjuga dos aspectos importantes:

Riesgo Intrínseco del Proceso Industrial y Riesgo de la Instalación.

En el primero dependen de los materiales que se manejen, de la modalidad energéticas utilizadas y la vulnerabilidad de los diversos equipos que integran el proceso, así como la distribución y transporte de materiales peligrosos, en el riesgo de la instalación depende de las características del sitio en que se encuentre ubicado, donde pueden existir factores que magnifique el riesgo, que puedan derivar en accidentes (condiciones meteorológicas, vulnerabilidad de la población aledaña, ecosistemas frágiles, infraestructura para responder a accidentes. Con base en lo anterior es necesario desarrollar y aplicar técnicas de análisis de riesgo ambiental, así como políticas de uso de suelo que eviten la coexistencia de zonas urbanas o ecológicamente sensibles y áreas industriales de alto riesgo, para prevenir daños de consideración en caso de presentarse emergencias ambientales, la necesidad de evaluar el riesgo ambiental surge de la importancia de preservar a los ecosistemas y a la población o a los bienes, circundantes a los sitios en donde se efectúan actividades riesgosas. El procedimiento consta de tres niveles: Informe preliminar de Riesgo, Análisis de Riesgo y Análisis detallado de riesgo. Tienen como objetivo contar con la información mínima y suficiente para identificar y evaluar en cada una de las fases que comprende un proyecto, las actividades riesgosas y con ello incorporar medidas de seguridad tendientes a evitar o minimizar los efectos potenciales en su entorno caso de accidente. El nivel del estudio dependerá de la complejidad de los procesos desarrollados o a desarrollar por la empresa.

Criterios Básicos en el Análisis de Riesgo.

Los aspectos básicos que se consideran son la detección de puntos críticos, su jerarquización, y la selección de opciones para reducir los riesgos. Primero

consiste en detectar los puntos críticos en los cuales se pueden presentar fallas susceptibles de impactar negativamente a las instalaciones y su entorno. Se utilizan listas de comprobaciones en instalaciones de bajo riesgo y tecnología muy conocida y estudios de riesgo y operabilidad para instalaciones complejas de alto riesgo y tecnología innovadora, el segundo aspecto consiste en que los riesgos identificados mediante el procedimiento como los antes implicados deberán jerarquizados y evaluados para determinar los efectos en caso de presentarse una contingencia y con ello poder seleccionar las opciones para su atención, aplicando un análisis costo beneficio que permita el desarrollo industrial, sin descuidar los aspectos de protección al ecosistema, al hombre y a sus bienes.

En la evaluación de riesgos, lo importante es establecer valores tope, ya que ellos permiten salvaguardar la salud y los bienes de los habitantes que viven alrededor.

Verificación Normativa e Inspección Ambiental.

Los programas de visitas de inspección se realizan a fin de lograr congruencia en el marco jurídico vigente y la actuación de los particulares en el desempeño de sus actividades.

A través de estas visitas se pretende constatar si los responsables de las fuentes emisoras contaminantes cumplen con lo señalado en los lineamientos indicados en la ley, sus reglamentos y las correspondientes NOMs.

El incumplimiento de obligaciones, que ponga en riesgo la salud u ocasione molestias a la comunidad puede determinar la clausura de la empresa inspeccionada. El cierre total de la planta se realiza, cuando se tenga que detener el proceso contaminante. El cierre parcial, cuando deteniendo una parte del proceso es suficiente para reducir la emisión contaminante, las empresas permanecen clausuradas hasta demostrar que han resuelto el problema que dio lugar al cierre.

La frecuencia para llevar a cabo las visitas de inspección esta limitado por el requerimiento de la ley, es decir, que no puede realizar una nueva inspección por el mismo asunto hasta que no se hubiera concluido el proceso legal de la visita anterior, en el caso en el que el asunto a verificar sea diferente, la empresa si puede ser visitada. En caso de autorizaciones de impacto ambiental, las obras o actividades que no cuenten con el, son motivo de clausura inmediata hasta la regularización de esta situación.

La verificación de licencia de funcionamiento y guías ecológicas se sanciona económicamente pudiendo requisar y ser devueltos a su país, los materiales y residuos peligrosos que intenten importarse sin permiso.

Riesgo Ambiental.

El desarrollo industrial y el creciente aumento demográfico contribuyen a que tanto la producción de sustancias químicas y materiales peligrosos como su uso masivo aumente la probabilidad de que ocasionen efectos adversos en la salud de la población y la integridad del ambiente; es decir, de que se produzcan riesgos. El manejo de los riesgos implica una forma de control, el cual se define como el mantenimiento del comportamiento de un sistema (producción, almacenamiento, transporte, transformación y disposición final). Los límites son y deben ser adaptados no solo a la naturaleza y magnitud del riesgo, también se calculan tomando en consideración los factores globales sociales, culturales, políticos, ecológicos, económicos y de otra índole, de los cuales depende el riesgo o sobre puede repercutir.

Marco Jurídico.

La LGEEPA introduce como uno de sus instrumentos el estudio de riesgo; en este se indicarse el daño potencial de una obra o actividad representa para la población, sus bienes y el ambiente, durante su ejecución y operación normal y en el caso de que se presenten un accidente, así como las medidas de seguridad u operación tendientes a evitar, mitigar, minimizar o controlar los daños. El título IV, capítulo IV, actividades consideradas como riesgosas dentro de la LGEEPA. de las innovaciones de la ley. En esta se señala como criterio para considerar riesgosa una actividad, el que comprenda acciones asociadas con el manejo de sustancias de propiedades inflamables, explosivas, tóxicas, radiactivas, reactivas,⁴³ biológico infecciosas, en cantidades tales que en caso de producirse su liberación sea por fuga o derrame de las mismas, o bien una explosión, puedan ocasionar afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

Reglamento, normas y listados en materia de riesgo ambiental.

En los listados publicados, se señalan como criterio para considerar riesgosa una actividad, lo señalados en la LGEEPA, como consecuencia de lo publicado en estos listados y como complemento de su regulación, el INE a través del comité consultivo nacional de normalización creó el subcomité de riesgo ambiental con la finalidad de crear las NOM de seguridad y operación que establezcan procedimientos mínimos a seguir de las industrias que almacenen, procesen, manejen o usen cualquier sustancia peligrosa, (materia prima, productos intermedios o finales).

El reglamento de la LGEEPA en actividades altamente riesgosas, considera los siguientes, criterios para determinación de actividades de alto riesgo, ámbito de competencia para su regulación, planeación y reordenamiento de dichas actividades, presentación, evaluación y resolución de los estudios de riesgo,

Plant security checklist

An HPI plant's inherent volatility makes it a prime prospect for sabotage. Does your facility incorporate all safeguards?

F. G. Spranza, SPRANZA, Inc., Tamarac, Fla.

The war with Iraq offered a view of what sabotage can do to hydrocarbon processing facilities. Of course, the havoc wreaked on Kuwaiti plants was unimpeded. In contrast, facilities in nonwar-zones have a fighting chance to keep everything intact, via a good security system.

Many items on the following checklist are obvious. But it is a rare plant that won't be missing some element. Indeed, a simple tour of your operation can produce an accurate picture of its present posture. Take the checklist along. You may be surprised at what it yields.

Note that the checklist goes well beyond physical security. It also covers security from fraud, waste, abuse and protection of information.

HPI-FACILITY SECURITY CHECKLIST

Physical security

- Is there a complete perimeter fence?
- Is the fence constructed of No. 9 gauge steel or greater?
- Is the fence in good repair, or are there gaps, holes and broken sections?
- Is there a minimum 50-foot clear zone for the fence on both sides to provide unobstructed visibility?
- Are access areas or entry points controlled, manned and locked when not in use?
- Are tank farms and storage areas included within the fenced and alarmed portion of the plant?
- Do effluent ponds, runoffs or exclusion lines provide access to the plant? Has care been taken to secure these areas? Are maintenance accessways kept locked when not in use? Are regular inspections made of the area?
- Do perimeter access points contain telephone call boxes, CCTV or other means to observe and monitor entrance and exit?
- Does the perimeter include sodium halogen (or other acceptable quality) lighting? Are there hardened or backup power lines to service these areas and ensure against interruption under a variety of hostile conditions?
- Are the fields of lighting and television overlapping or do dark spots exist within the perimeter bounds?
- Does the perimeter fence allow for topographical contours or are there bottom gaps between the fence and various land forms?
- Are appropriate alarm systems such as buried cable and fence movement or tamper lines used where high risk situations exist? If so, are they appropriately monitored by

trained personnel?

- Has the perimeter fence and lights kept up with plant expansion?
- Are routine inspections carried out of the fenceline, alarm junctions and fence lighting equipment? Are timely repairs made?
- Has care been taken to study the environment and effects of seasonal changes—such as snow or sand depth—with relation to the perimeter fence height, and location? Have items such as snow fences to prevent climbable drifts been placed in use where applicable?
- Are fence locks of high quality security grade? Are they inspected regularly, coded, numbered and rotated routinely?
- Are there predesignated response points for fire, police and security use? If so, are they hardened, sandbagged or protected in some manner? Do they contain appropriate communications, plant maps and informational items?
- Are there controllable access points for vehicle, rail and pedestrian traffic? Are they well lit, clear and designated?

Access control

- Are access points clearly designated? Well lit and monitored?
- Are access control points secured when not in use?
- Do access points contain adequate communications—either land line or radio?
- Are access points monitored by supervisory personnel?
- Are adequate access logs current, with useful information on visitors, deliveries and shipments?
- Are entry point personnel equipped with emergency instructions in the event of fire, terrorism, theft or other suspected criminal behaviors?
- Are entry points sheltered? Hardened where called for?
- Are entry points established in tank farms, supply areas, rail entryways and vehicle departure zones?
- Do administrative buildings contain visitor-greeting personnel?
- Are supply and storage areas equipped with monitoring personnel? Are appropriate logs entered daily?
- Has a key entry control point been designated as an alternative crisis-command post? Is it properly manned, outfitted and powered?
- Are employee parking and visitor-control regulations strictly enforced?
- Are all forms of traffic monitored? Recorded? Used in future security operations planning? Are regular surveys conducted to determine security needs?
- Are there designated no-load zones, priority areas and control in all portions of production, administration and supply?

Continued

- Do entry points, guard posts, reception desks and executive offices contain panic alarms?
- Are gate controls, flow valves and equipment control panels locked when not attended?
- Are catwalks clear and free of obstructions?
- Are emergency exits free of debris? Alarmed? Identified?
- Is safety equipment such as fire, oxygen and medical supplies regularly inspected? Cleaned? Rotated?
- Are emergency signs bilingual? Can each employee understand all emergency procedures that apply to that designated work area?
- In areas where seals are used, are they routinely checked for damage? Replaced?
- Are employees routinely reinstructed in safety and security procedures? Is this documented?
- Are key management and security personnel provided pagers, for emergencies?
- Are unused areas of the operation maintained under security?
- Are routine security checks made by all personnel?
- Are supervisors aware of appropriate emergency action plans? Which gates are to be opened and how?
- Are key power, alarm and communication junctions hardened? Alarmed? Monitored?

Operational security

- Is security a regular briefing topic at managerial meetings?
- Are security procedures promulgated among both guard force and key employees?
- Are all employees subjected to an incoming security briefing on employment?
- Are regular compound patrols conducted?
- Do patrol times vary?
- Are deliveries and pickups inspected, audited and verified?
- Are guards properly trained in the plant's unique environment?
- Are storage areas regularly monitored, results recorded and followup initiated where needed?
- Is a policy of proactive interdiction practiced by security and safety planners, to head off trouble before it arrives?
- Are visitor and employee vehicles subjected to random spot checks for contraband, stolen supplies, tools, etc?
- Are canine patrols used? Are they certified?
- Are guards properly licensed by the state, or in accordance with local jurisdiction?
- Are routine exogeneous patrols conducted by local constabulary, fire and civil defense officials? Are the results of routine inspections recorded for use by future planners?
- Is there a security committee made up of line and staff employees which meets on a regular basis to discuss concerns, problems and policy?
- Are posters, notices and reminders prominently displayed to serve as reminders to employees of their role in security? Slogans might include "eye on crime" and "security is everyone's job."

Fraud, waste and abuse

Fraud, waste and abuse programs are designed to locate, identify and resolve areas of excessive loss due to fraud in contracting or services rendered, wasteful prac-

tices and abuse of corporate equipment, assets or supplies.

- Are employees encouraged to report incidents of fraud, waste and abuse?
- Does management set a positive example?
- Are quarterly audits conducted of all supplies, records of delivery, accounting procedures, inventories, physical plant security programs and loss reports?
- Is there a manager designated to oversee the program?
- Is the program real or simply given lip service?
- Are all employees encouraged to participate?
- Are posters, contests, rewards and incentives offered to employees who remain security/safety conscious?
- Are regular surveys conducted of the plant, security and safety posture and physical surroundings on a regular basis? Are these data then forwarded to security planning boards for review and action?
- Are corporate assets, supplies and related items clearly identified, coded for recovery and entered into computerized files?
- Is there an FWA tip line for employees to phone in information? Are callers rewarded?
- Is employee feedback taken seriously and implemented where applicable?
- Are routine inspections conducted of trash, refuse heaps and disposable items to ensure they are authorized releases and that they cannot be reused in some other manner for/or to replace additional costs in other areas of use?
- Are safety violations properly documented and affected equipment inspected or replaced before further use?
- Are audits of materials, invoices and product movement conducted by more than one department?
- Are abuse reports mapped on a plant diagram and investigated for patterns, problem areas or personnel?
- Is there a system of positive reward and recognition for effectiveness and efficiency among plant personnel (for fraud prevention, waste reduction and security/safety)?

Administrative security programs

- Does the plant practice communication security when on the telephone? Is critical information discussed in the open?
- Are files left unlocked when not in use?
- Are personnel records, security plans, plant diagrams and construction drawings kept secured?
- Are delivery, pickup and maintenance schedules kept secure on a need-to-know basis?
- Are computers—both main frame and PC—equipped with access codes and anti-viral programs?
- Are all computerized data kept on backup files?
- Are networked computers with outside ports and agents checked periodically for taps, leaks and interception devices?
- All personnel offices, executive suites and conference rooms routinely swept for listening devices, transmitters and recorders?
- For overseas electronic communications, are encryption devices used to scramble both FAX and voice communication?
- Are copies, outdated files and memos properly shredded prior to disposal? Information is the key to vulnerability.

Continued

Is there adequate or existing training in the form of seminars, in-service and university level courses for crisis management personnel?

Is there a plantwide crisis management plan? Are regular meetings of the crisis staff held? Is the plan updated, current and reliable based on risk assessments, response times and available plant and local resources?

Is all guard training—both classroom and practicum—recorded? Reviewed? Updated?

Does the Security Department provide guidelines and training for clerical, managerial and executive level staff who deal with the media during crises?

Is suspicious inbound mail screened? Are questionable envelopes and packages held for proper disposal by trained security and law enforcement?

Are night-shift personnel properly excluded from priority areas where no need to enter exists?

Are all employees briefed on the dangers of, and special considerations to, working in a plant environment?

Are all employee security briefing records properly documented, updated and maintained?

Are theft and recovery reports expeditiously upchanneled?

Are recovery notifications followed up by appropriate inventory adjustments?

Are feedback channels used to consider labor complaints, employee suggestions and recommendations?

Are security operation plans current with regard to the topography, operation and planned expansion of the plant?

Are safety and security warning systems tested reg-

ularly to include those for natural disasters such as severe weather?

Are employees aware of shelter location(s) within the plant in the event of severe weather, natural disaster or exogenous insurgents, civil unrest and local political problems?

Have these shelter locations been properly stockpiled? Are they equipped with telecommunications and short wave radio?

Has a plant representative been selected to work with local police, fire and civil defense officials in the event of a crisis?

Has this individual received proper training (certification where required by state and federal regulations)?

Are critical notification rosters complete to include FBI, DOE, EPA and NWS?

Is there a system of planning and forecasting based upon data input from local and international conditions? Does it yield a risk profile, updated as events dictate and which supplies direct input to planners? Can planners use this information to adjust the plant security posture for both immediate and projected short-term potential crisis situations?

Security force

Are security personnel proprietary or leased?

Are they regularly trained? Evaluated?

Does the security force hold practical exercises in conjunction with other outside agencies?

Is security equipment—such as CCTV, vehicles, weapons, communications gear, surveillance opticals and



UOP-156



emergency response items—in working order?

- Are security personnel prescreened for working in a typical HPI environment?
- Do security officers receive additional professional training beyond their initial briefing at time of arrival?
- Is security equipment regularly maintained? Are adequate maintenance logs documented?
- Do guards know plant operations, requirements and special crisis-management operations?
- Are guard force personnel aware of special control points, their location, designation and use during crisis situations?
- Are ordinance lockers secure? Do their contents conform to acceptable standards of safety in design and use?
- Are security force members certified by the state? If so, are all personnel current and licensed?
- Does the security force provide input to planners in the form of exercise critiques? Comments and suggestions on improvement?
- Are guards equipped with checklists, plans and emergency operations procedures at all times while on duty?
- Is deployment plan(s) for emergency posting, data protection and threat recognition known and practiced by all force members?
- Is there a designated security planner or planning agency or consultant? If so, does that individual have access to, and maintain responsibility for, analysis of local topographical data, plant revision plans, risk profiles and threat projections for the operation?
- Does a program of security systems management exist? Does it use a "whole environment" approach to secu-

The author

Francis G. Spranza is CEO of SPRANZA, Inc., Tamarac, Fla., a consulting firm that designs, develops and implements programs for risk reduction and analysis, security planning and training for security systems management. He holds a BS degree in criminal justice from Loyola University and an MA degree in public administration from the University of Northern Colorado. Mr. Spranza is an adjunct professor of criminal justice at St. Thomas University in Miami, Fla. See also his article on terrorism in the July 1991 issue of HP, page 102, and on security systems, September 1981, page 331.

urity? Or is security relegated to operating in a vacuum, apart from mainstream plant operation and management?

- Does the security force reflect a professional, confident image?
- Are all security personnel EMT certified?
- Do security forces receive regular, certified training both in-service and at academic institutions?
- If guards are contract forces, are they augmented by corporate interdiction units? (Proprietary personnel)
- Are members of the security force licensed and/or certified to operate on-hand security equipment such as television, alarms (both perimeter and access control) and safety monitoring hardware?
- Is there an on-line system to receive law enforcement, EPA, National Weather Service and proprietary information that affects the plant's daily security posture?
- Are remote wellheads, storage facilities and perimeter borders regularly reconnoitered? Patrolled?
- Are security reports filed in a timely manner? Followed up routinely? ■

UOP FOR PROCESS CONTROL - IT'S ABOUT TIME.

In the time it takes you to read this paragraph, UOP's on-line process control equipment can measure and report concentrations of Hydrogen and measure octane number. Utilizing a unique proton-conducting technology, the Hydrogen monitor provides direct and specific Hydrogen analysis simply, quickly and reliably. The Monirex Hydrogen Monitor has been commercially proven in a variety of applications from refinery and petrochemical process control to power generation equipment efficiency improvement.

The Monirex Octane Monitor utilizes cool-flame technology to directly measure octane number. It is designed for accurate, continuous and real-time determination of octane number. Lower octane production targets result in higher gasoline yield at a lower cost and minimal octane giveaway. With repeatability of ± 0.1 RON in discrete operating ranges, the Monirex Octane Monitor permits tighter process control than the knock engine.

To find out how UOP can save you time and money, phone, write or fax UOP Monirex Systems, 25 East Algonquin Road, Des Plaines, IL 60017-5017, Phone: 708-391-2034, Fax: 708-391-2592.

Uop
Monirex Systems



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO INTERNACIONAL EN
RIESGO AMBIENTAL**

**MODULO II
CA 085**

**CAUSAS DE RIESGOS INDUSTRIALES
GRAVES**

ANEXO 2

CONSECUENCIAS

**EXPOSITOR: ING. MARIO GARCÍA MORALES
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO DEL 2002**

CONSECUENCIAS DE LOS RIESGOS INDUSTRIALES GRAVES

Las causas de riesgos industriales graves son de muy diversas clases, sin embargo es posible hacer una clasificación atendiendo a su origen o bien por su naturaleza, las causas de Riesgos Industriales Graves se pueden clasificar en:

- ✓ Factores Ambientales
 - ✓ Diseño
 - ✓ Fabricación
 - ✓ Ensamble
 - ✓ Operación
 - ✓ Actos mal intencionados
-

CAUSAS DE RIESGOS TECNOLOGICOS

Estos riesgos son tan numerosos y diversificados, que se subdividen en:

- 1.- **Ambiente normal, generado interna o externamente** (polvos, suciedad, humedad, temperatura, vibración, atmósfera corrosiva, radiación ionizante...).
 - 2.- **Ambiente natural extremo** (condiciones meteorológicas extrema como nieve, viento; terremotos, inundaciones).
 - 3.- **De accidentes generados interna o externamente.**
-

✓ Ambiente generador de accidentes internos:

- Condiciones ambientales resultantes de un accidente.
- Chicoteo de tubería.
- Misil.
- Fuego.
- Explosión.

✓ Ambiente generador de accidentes externos:

- Caída de avión.
 - Colapso de presa, inducido por inundación.
 - Explosión.
 - Fuego.
-

PROBLEMAS AMBIENTALES TÍPICOS DE PLANTAS INDUSTRIALES

Los problemas ambientales típicos, son de contaminación al medio ambiente circundante, por tres vías principales:

- ✓ Aire
 - ✓ Agua
 - ✓ Suelo
-

PROBLEMAS AMBIENTALES TÍPICOS DE PLANTAS INDUSTRIALES

Esta contaminación puede ser por:

- ✓ Polvos
 - ✓ Humanos
 - ✓ Neblinas
 - ✓ Gases
 - ✓ Químicos (varios)
 - ✓ Energía Térmica
 - ✓ Energía luminica
 - ✓ Ruido y vibraciones
- principalmente
-

CONSECUENCIAS DE LOS RIESGOS INDUSTRIALES GRAVES

- ✓ Incendios y Explosiones
 - ✓ Características de inflamabilidad
 - ✓ Efectos de incendios y explosiones
 - ✓ Explosiones confiadas y no confiadas
 - ✓ Incendio Flash
 - ✓ Ruptura de Recipientes
 - ✓ Bleves y esferas de fuego
 - ✓ Dardos de fuego
 - ✓ Escape de gases Tóxicos
-

EFFECTOS AMBIENTALES

- ✓ Impactos sobre la salud pública (efectos Humanos).
 - ✓ Disminución de las poblaciones de especies amenazadas o en peligro de extinción u otras especies valiosas (por ejemplo, especies de peces de valor comercial, especies que se utilizan para fines recreacionales).
 - ✓ Pérdida de bienes estéticos o de bienestar social (por ejemplo parques, turismo).
-

CONSECUENCIAS DE LOS RIESGOS INDUSTRIALES GRAVES

Relacionados con los riesgos principales cabe mencionar los dos siguientes:

- ✓ Escape de material inflamable, mezcla del material con el aire, formación de una nube de vapor inflamable y arrastre de la nube hasta una fuente de ignición, lo que provocará al lugar y posiblemente a zonas pobladas.
 - ✓ Escape de material tóxico, formación de una nube de vapor tóxica y arrastre de la nube, lo que afectará directamente al lugar y posiblemente a zonas pobladas.
-

CONSECUENCIAS DE LOS RIESGOS INDUSTRIALES GRAVES

Los riesgos industriales graves suelen estar relacionados con la posibilidad de incendio, explosión o dispersión de sustancias químicas tóxicas y por lo general entrañan el escape de material de un recipiente, seguido, en el caso de sustancias volátiles, de su evaporación y dispersión.

INCENDIOS Y EXPLOSIONES

- ✓ Los incendios se producen con más frecuencia que las explosiones y las emanaciones de sustancias tóxicas, se puede definir un incendio como la combustión no controlada y se forma inesperada de ciertos materiales. La combustión es el proceso de las reacciones exotérmicas autocatalizadas en las que participa un combustible en fase condensada, en fase gaseosa, o ambas.
 - ✓ Las explosiones se caracterizan por una onda de choque que puede producir un estallido y causar daños a los edificios, romper ventanas y arrojar materiales a varios cientos de metros de distancia.
-

•
•
•

FUEGO

El fuego se puede definir como la oxidación violenta de un material combustible con fuerte desprendimiento de calor.

QUÍMICA DEL FUEGO

Para que exista una reacción química capaz de producir fuego es necesaria la presencia de los siguientes componentes:

- .Combustible
- .Oxigeno
- .Calor
- .Reacción química en cadena.

-
-
-

COMBUSTION

La combustión es una reacción mediante la cual, en "condiciones especiales", una sustancia denominada combustible interactúa químicamente con otra denominada oxidante o comburente dando como resultado nuevas sustancias denominadas productos y desprendimiento de calor.

Productos de la combustión:

Cuando un combustible se incendia sufre cambios químicos, presentándose los cuatro productos de la combustión:

- 1.- Gases del fuego
- 2.- Flama
- 3.- Calor
- 4.- Humo

•
•
•

FUEGO

La reacción química en cadena da inicio en el momento que el oxígeno y el combustible frente al calor enciende la primera molécula que rodea al combustible (temperatura de ignición).

En todo incendio existe desprendimiento de humo, su color tiene los siguientes significados:

Color blanco o gris pálido, indica que el combustible está ardiendo libremente.

Color negro o gris oscuro, indica una combustión incompleta por falta de oxígeno o difícil desprendimiento de vapores.

Color amarillo, rojo, violeta o verde, indica generalmente que está desprendiendo gases tóxicos.

-
-
-

CLASIFICACIÓN DE INCENDIOS

Incendio clase "A"

Son aquellos en donde el combustible es sólido.

Incendio clase "B"

Se presenta en los líquidos, grasas y gases inflamables.

Incendio clase "C"

Son los que ocurren en equipos eléctricos que manejan corriente eléctrica viva.

Incendio clase "D"

Se da en metales combustibles que generan su propio calor como el potasio, magnesio, titanio, aluminio, fósforo.

MÉTODOS DE PROPAGACIÓN DEL FUEGO

La propagación del fuego es básicamente la transferencia de calor de un cuerpo a otro. Al existir combustión, el calor es conducido en línea recta en todas direcciones y se realiza por medio de las siguientes formas:

Radiación

Conducción

Convección

Contacto directo de la flama

Para que se deben contar con las siguientes condiciones:

- Existencia de un emisor y un receptor
- Diferencia de temperaturas entre emisor y un receptor

•
•
•

MÉTODOS DE PROPAGACIÓN DEL FUEGO

RADIACIÓN

Al haber una combustión, el calor es conducido en forma radiante en línea recta y en todas direcciones.

CONDUCCIÓN

Es la propagación o transmisión propia de los cuerpos sólidos a través de una zona de temperatura superior a otra inferior.

CONVECCIÓN

Es la transferencia del calor ocasionada por el movimiento del aire o del líquido. El aire calentado tiende a subir, mientras que el aire frío tiende a ocupar los niveles bajos de los lugares.

CONTACTO DIRECTO DE LA FLAMA

El fuego se extiende de un recipiente incendiado a otro no incendiado por venir del contacto directo de la flama



MÉTODOS DE ELIMINACIÓN DEL FUEGO

Es necesario eliminar o reducir uno de los Factores o elementos que producen el fuego para lograr su extinción, los principales métodos para combatir el fuego son:

- Enfriamiento.
- Sofocación.
- Separación.

•
•
•

MÉTODOS DE ELIMINACIÓN DEL FUEGO

Para determinar el método, es necesario conocer el tipo de fuego:

1. ENFRIAMIENTO.

Es método también llamado reducción de la temperatura, es el más utilizado para extinción del fuego, consiste en refrescar y controlar la temperatura. El agua es el agente extinguidor más absorbente del calor por volumen.

2. SOFOCACIÓN.

Es este método de extinción de incendios se trata de reducir el oxígeno. Se realiza cubriendo la superficie del material combustible con espuma o el agua ligera, bióxido de carbono

3. SEPARACIÓN.

La separación del combustible para extinguir un incendio es efectiva, pero no siempre es posible

= = = = = = = =

EFFECTOS DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES

Los efectos de los incendios son:

- ✓ Otro efecto letra que debe de tomarse en consideración al producirse un incendio es la disminución del oxígeno en la atmósfera debido al consumo de este en el proceso de combustión.
 - ✓ Son asimismo importantes los efectos sobre la salud originados por la exposición a los humos generados por los el incendio.
-

EFFECTOS DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES

Los efectos de los incendios son:

- ✓ Sobre las personas son quemaduras por exposición a las radiaciones térmicas. La gravedad depende de la intensidad del calor y la exposición.
 - ✓ Otro efecto letal que debe de tomarse en consideración al producirse un incendio es la disminución del oxígeno en la atmósfera debido al consumo de este en el proceso de combustión.
 - ✓ Son asimismo importantes los efectos sobre la salud originados por la exposición a los humos generados por los el incendio.
-

EFFECTOS DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES

- ✓ Las lesiones y los daños son ocasionados primeramente por la onda de choque de la explosión. Los efectos de esta onda varían según las características del material, su cantidad y grado de restricción de la nube de vapor.
 - ✓ Las explosiones confinadas son la que se producen dentro de algún tipo de contenedor o local cerrado, como pueden ser un recipiente, una tubería, o un edificio industrial.
-

INCENDIOS FLASH

- ✓ En esta categoría se registran los que resultan del calentamiento espontáneo e incontrolado de los materiales
-

RUPTURA DE RECIPIENTES

- ✓ Los recipientes de gases comprimidos o licuados representan altos niveles de liberación de energía potencial, por la concentración de material por compresión.
 - ✓ La rotura del recipiente libera esta energía, generalmente a gran velocidad y con violencia, acompañada de la emisión del gas en el espacio circundante y la impulsión violenta del recipiente o parte del mismo.
-

BLEVES Y ESFERAS DE FUEGO

BLEVE.- Se define como la explosión de los vapores de expansión de un líquido en ebullición. Este es un evento que puede ocurrir cuando un tanque o recipiente presurizado, que contiene un gas licuado, es sometido directamente a las llamas de un incendio externo. Las paredes del recipiente "no mojadas" por el líquido contenido aumentan rápidamente de temperatura por efecto del calor externo, pierden su sistema hasta el punto en que no pueda soportar la presión interna, produciéndose entonces su ruptura en forma violenta. Como consecuencia inmediata, se producen sobrepresiones debidas a la liberación súbita de la presión interna del tanque y la proyección de misiles o fragmentos metálicos procedentes de la rotura del recipiente.

BLEVES Y ESFERAS DE FUEGO

Bola de fuego.- Este tipo de escenario puede ocurrir como consecuencia del escape masivo de un gas inflamable, o de gas licuado presurizado, en circunstancias en las que se produce la ignición instantánea de la masa de gas.

La expansión de los gases calientes producidos por la combustión, origina una nube típica en forma de hongo, pero no se producen sobre presiones apreciables y su duración es normalmente reducida. El evento de BLEVE origina también una bola de fuego. Las consecuencias sobre los alrededores, se manifiestan por intensidades de radiación térmica elevadas.

EJEMPLOS DE INCENDIOS INDUSTRIALES IMPORTANTES

SUSTANCIA	CONSECUENCIAS			LUGAR Y FECHA
	Muertos	Heridos	Evacuados	
Metano	136	77		Ohio USA, 1944
Gas L.P.	18	90		Francia, 1966
Gas Natural	40			Nueva York, USA 1973
Metano	52			Meyehualco, México 1978
Gas L.P.	650	2500		Ixhuatepec, México 1984
Gasolina	4	15	30,000	Ixhuatepec, México 1996

EJEMPLOS DE FUGAS IMPORTANTES DE SUSTANCIAS TOXICAS

SUSTANCIA	CONSECUENCIAS	LUGAR Y FECHA
	Muertos Heridos Evacuados	
Fosgeno	10	Poza Rica, México 1950
Cloro	7	Alemania, 1952
Amoniaco	30 25	Cartagena Colombia, 1977
Isocianato de metilo	3000 250000	Bhopal India, 1984
Acido Sulfhidrico	8 29	Chicago, USA, 1978
Dioxina-TCCD	30 220,000	Sevesso, Italia, 1976

EJEMPLOS DE EXPLOSIONES INDUSTRIALES

SUSTANCIA	CONSECUENCIAS		LUGAR Y FECHA
	Muertos	Heridos	
Eter dimetílico	245	3800	Alemania 1948
Queroseno	32	16	Alemania, 1954
Isobutano	7	13	Louisiana, USA, 1967
Residuos de petróleo	2	85	Países Bajos, 1968
Propileno		230	Illinois, USA, 1972
Propano	7	152	Illinois, USA, 1974
CicloHexano	28	89	Reino Unido, 1974
Propileno	14	107	Países Bajos, 1975
Metano	5	15	Cactus, México, 1996

OBJETIVO

- Definir y Entender los riesgos de los materiales radiactivos así como las medidas de seguridad para su correcto manejo.

DEFINICIONES

- desechos radiactivos: cualquier material que contenga o esté contaminado con radionúclidos o concentraciones o niveles de radiactividad, mayores a las señaladas en la norma técnica correspondiente, y para lo cual no se prevé uso alguno.
- efectos estocásticos: son aquellos casos en los que la probabilidad de que el efecto se presente se considera como una función de la dosis, sin que exista una dosis umbral y pueden manifestarse tanto en el individuo expuesto como en su descendencia.
- efectos no estocásticos; efectos determinados: son aquellos casos en los que la severidad del efecto es función de la dosis y se presentan a partir de un valor umbral. Estos efectos se manifiestan en el individuo expuesto.

DEFINICIONES

- **fuelle de radiación ionizante:** cualquier dispositivo, material o sustancia que emita o sea capaz de generar radiación ionizante en forma cuantificable.
- **radiación ionizante:** es toda radiación electromagnética o corpuscular capaz de producir iones, directa o indirectamente, debido a su interacción con la materia
- **personal ocupacionalmente expuesto:** es aquel trabajador que en ejercicio y con motivo de su ocupación está expuesto continuamente a la radiación ionizante o a la incorporación de material radiactivo

ALFA: Son emitidas por átomos radioactivos con una energía cinética entre 4 y 10 MeV (una hoja de papel es suficiente protección contra estas partículas).

BETA: Son electrones que también son emitidos, por el núcleo de un átomo radiactivo, a una velocidad cercana a la de la luz y con una energía entre 0.2 y 3.2 MeV. Estas partículas pueden detenerse con una lamina delgada de metal (papel aluminio)

GAMMA: Estos se identifican como rayos electromagnéticos emitidos por núcleos de átomos radioactivos. Estas radiaciones son las más penetrantes y se pueden detener con paredes de concreto (50 cm), Agua (4.0 m), plomo (5 cm) y aluminio (21 cm).

UNIDADES DE MEDICION

- **UN CURIE (Ci)**, es una medida de la radioactividad total o fuerza de la fuente y es igual a 3.7×10^{10} desintegraciones/seg.
- **UN RAD (Radiation Adsorbed dose)**, es la radiación ionizante, que lleva a la absorción de 100 ergs/gramo de material absorbido.
- **EL ROENTGEN**, es una unidad standard de exposición correspondiente a una cantidad de rayos gamma, depositan 87.7 ergs/gramo en aire a presión y temperatura estándar.
- **DOSIS EQUIVALENTE**, medida en rem (Roentgen equivalent man). Es una unidad de medida de absorción de los tejidos por la radiación ionizante

MEDIDORES DE LA RADIACION

- **Contadores**: Son diseñados para marcar el movimiento de partículas sencillas, a través de un volumen definido.
- **Cámaras de ionización**, básicamente consisten en un par de electrodos cargados, que colectan iones formados dentro de sus respectivos campos eléctricos.
- **Películas Fotográficas**. se oscurecen si se exponen a la radiación.
- **Detectores termoluminiscentes (DTL)**. Son cristales como el NaI, que puede ser excitado a niveles altos de energía electrónica por la radiación ionizante.

EFFECTOS SOBRE LA SALUD

Los efectos Biológicos de estas penetraciones, pueden ser agrupados como somáticos y genéticos

- Los efectos somáticos son los impactos que sufren los individuos directamente expuestos a la radiación e incluyen: daños al sistema circulatorio, carcinogenesis y disminución de la función orgánica.
- Los efectos genéticos, Son transferidos a los hijos y descendientes del individuo.

DOSIS DE RADIACION VS EFECTOS A LA SALUD

25,000 mrem/año—no hay efecto clínico

50,000 mrem/año—Pequeños cambios en la comprensión sanguínea.

100,000 mrem/año— Nauseas y fatiga

200,000 mrem/año Los mismos efectos anteriores pero más acentuados

300,000 mrem/año—Náuseas y Vómitos -20% de muertes en un mes

600,000 a 1,000,000 mrem/año— Muerte segura

REQUISITOS PARA MANEJAR SUSTANCIAS RADIOACTIVAS

Contar con los siguientes documentos vigentes:

- las autorizaciones aplicables para: adquisición, importación, exportación, posesión, uso, transferencia, transporte, almacenamiento temporal, almacenamiento definitivo, y destino o disposición final de material radiactivo y dispositivos generadores de radiación ionizante emitidas por la dependencia correspondiente
- los permisos que correspondan de: construcción, modificación, cese de operaciones, desmantelamiento o cierre definitivo de instalaciones radiactivas y la licencia de operación emitidos por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias.
- los establecimientos de diagnóstico médico con rayos X deberán contar para su funcionamiento con licencia sanitaria expedida por la Secretaría de Salud.

REQUISITOS PARA MANEJAR SUSTANCIAS RADIOACTIVAS

- No podrá ser personal ocupacionalmente expuesto,
- los menores de 18 años;
- las personas que por prescripción médica, no reúnan las condiciones para el desempeño del trabajo o estén bajo tratamiento con radioisótopos.
- Las mujeres ocupacionalmente expuestas que se encuentren embarazadas, sólo podrán trabajar en condiciones donde la irradiación se distribuya lo más uniformemente posible en el tiempo y la probabilidad de que reciban una equivalente de dosis anual mayor a 15 mSv (1.5 rem) sea muy baja. Las mujeres ocupacionalmente expuestas que se encuentren en período de gestación o de lactancia, no deberán trabajar en lugares donde exista riesgo de incorporación de materiales radiactivos.

REQUISITOS PARA MANEJAR SUSTANCIAS RADIOACTIVAS

- Efectuar el reconocimiento, evaluación y control, al menos cada doce meses, o antes si se modifican los procesos o se sustituyen los materiales radiactivos o si ocurrieran desperfectos en los equipos, y registrar la información.

Tener actualizados los siguientes documentos:

- el estudio de análisis de riesgo potencial de acuerdo a las características radiológicas de cada fuente de radiación ionizante.
- el manual de procedimientos de seguridad radiológica, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento General de Seguridad Radiológica.
- el plan de emergencia de seguridad radiológica, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento General de Seguridad Radiológica.
- el programa específico de seguridad e higiene

REQUISITOS PARA MANEJAR SUSTANCIAS RADIOACTIVAS

Brindar capacitación y adiestramiento al personal ocupacionalmente expuesto, al menos cada doce meses en:

- principios de seguridad radiológica, aplicables al riesgo del uso de las radiaciones ionizantes.
- el manual de procedimientos de seguridad radiológica.
- el plan de emergencia de seguridad radiológica.
- el programa específico de seguridad e higiene.
- Practicar los exámenes médicos de ingreso y periódicos a todo el personal ocupacionalmente expuesto

REQUISITOS PARA MANEJAR SUSTANCIAS RADIOACTIVAS

- Proporcionar al personal ocupacionalmente expuesto, el equipo de protección personal de acuerdo a lo establecido a la Normatividad correspondiente, capacitarlo en su uso y asegurarse que sea utilizado.
- Proporcionar al personal ocupacionalmente expuesto, el equipo de detección de radiación ionizante, calibrado periódicamente, y del tipo, sensibilidad y características requeridas, capacitarlo en su uso y asegurarse que sea utilizado.
- Asegurarse que se cumpla con el sistema de limitación de dosis e informar al personal ocupacionalmente expuesto.

REQUISITOS PARA MANEJAR SUSTANCIAS RADIOACTIVAS

- **instalar vestidores para evitar la contaminación de ropa y objetos de uso común por el trabajador, y áreas específicas para la descontaminación del personal y de los componentes, herramientas y equipos.**
- **Asegurarse que los contenedores, dispositivos, recipientes y barreras de protección cumplan con las condiciones de seguridad establecidas**
- **Donde exista riesgo de contaminación radiactiva, instalar y mantener en funcionamiento los equipos e instrumentos de seguridad para la medición y control de la contaminación radiactiva en el centro de trabajo.**

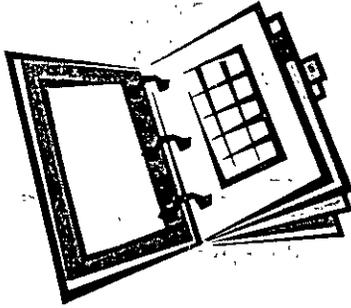
RECONOCIMIENTO

Es la identificación de las diferentes condiciones que puedan causar algún accidente u otro tipo de riesgo.

Debe contener al menos:

- **identificación del personal ocupacionalmente expuesto;**
- **identificación de la rotación y reubicación de trabajadores por áreas y turnos, cuando aplique;**
- **identificación de las fuentes de radiación ionizante empleadas en el proceso;**
- **identificación de las características físicas y químicas de las fuentes de radiación ionizante;**
- **inventario del equipo de medición de radiación ionizante;**
- **estado y tipo de los sistemas de control de las fuentes de radiación ionizante o equipos que las contengan, así como de otros dispositivos de protección física y radiológica.**

EVALUACIÓN



- Con base en los resultados obtenidos en el reconocimiento, definir el tipo de evaluación que habrá de realizarse, para determinar la magnitud de la dosis recibida por el personal ocupacionalmente expuesto o la contaminación en áreas de trabajo, mobiliario, equipo y materiales.
- Los límites de equivalente de dosis anual, no contemplan las dosis recibidas por exposición natural ni por diagnóstico o tratamiento médico.

CONTROL

- De acuerdo a los resultados de la evaluación, vigilar que no se rebasen los límites de incorporación de material radiactivo al trabajador ni los límites de equivalente de dosis para personal ocupacionalmente expuesto o para el público.
- A partir de los resultados de la evaluación de la contaminación en las áreas de trabajo, mobiliario, equipo y materiales que se utilicen en las instalaciones donde se emplee material radiactivo, deberá asegurarse que los valores de contaminación radiactiva no rebasen los límites establecidos (NOM-008-NUCL-1994).
- Asegurarse que los resultados de la evaluación de contaminación con material radiactivo en piel, no rebasen los límites establecidos.
- Los desechos radiactivos generados deben separarse conforme al proceso de tratamiento al que se someterán posteriormente, teniendo en cuenta que:

CONTROL

- en áreas de trabajo de aplicación de material radiactivo, deben distribuirse contenedores para la recolección de desechos, debidamente marcados e identificados. El material del contenedor no debe reaccionar con los desechos;
- en los contenedores se debe indicar el tipo de desecho para el cual estén destinados y estarán señalizados, de acuerdo con lo establecido en la NOM-026-STPS-1998;
- los contenedores para desechos sólidos deberán contar con un sistema para abrirse utilizando el pie, mientras que los utilizados para líquidos deben contar con tapa roscada;
- los desechos radiactivos líquidos deben ser separados en el punto de origen como: líquidos no acuosos, acuosos y aceites, sin mezclar las soluciones ácidas con las alcalinas.

CONTROL

- Aplicar la medida administrativa de tiempos y frecuencias de exposición del personal ocupacionalmente expuesto, para cumplir con el sistema de limitación de dosis.
- Establecer procedimientos para evitar la salida a zonas no controladas de personas y objetos que presenten contaminación superficial mayor a los límites establecidos en la NOM-008-NUCL-1994.
- Señalizar las zonas controladas de acuerdo a lo establecido en la NOM-026-STPS-1998 y NOM-156-SSA1-1996.
- Establecer procedimientos para controlar el acceso no justificado de trabajadores, materiales y objetos susceptibles de contaminación, a zonas controladas.
- Prohibir en zonas controladas el consumo de alimentos, bebidas y tabaco, el uso de cosméticos y sustancias para ser aplicadas en la piel, así como el empleo de pañuelos que no sean desechables.

PROGRAMA ESPECÍFICO DE SEGURIDAD E HIGIENE

Este programa deberá contener al menos:

- descripción de los antecedentes del centro de trabajo en el uso, manejo, almacenamiento y transporte de fuentes de radiaciones ionizantes;
- descripción de los procesos del centro de trabajo que impliquen el uso de fuentes de radiaciones ionizantes;
- las políticas, objetivos y metas de seguridad e higiene, en cuanto a radiaciones ionizantes;
- un sistema de comunicación y coordinación entre las diferentes áreas involucradas;
- descripción de los recursos administrativos y técnicos para el cumplimiento del programa específico de seguridad e higiene;

PROGRAMA ESPECIFICO DE SEGURIDAD E HIGIENE



- procedimientos para la investigación de accidentes;
- descripción de las actividades, métodos, técnicas y condiciones de seguridad e higiene en cuanto a radiaciones ionizantes, el procedimiento para su verificación y en su caso, los manuales de procedimientos