

Sumario

SUMARIO	1
ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS	3
A. CARACTERÍSTICAS DE LAS TÉCNICAS PHA	5
A.1. PrHA	6
A.2. What-if	8
A.3. Checklist.....	10
A.4. Relative Ranking	12
A.5. Safety Review	14
A.6. What-if/checklist.....	15
A.7. FMEA.....	17
A.8. HAZOP	19
A.9. FTA (Fault Tree Analysis).....	21
A.10. ETA (Event Tree Analysis).....	23
A.11. HRA (Human Reliability Analysis).....	24
A.12. CCA (Cause and Consequence Analysis)	25
B. ESPECIFICACIONES PARA APLICAR LAS TÉCNICAS PHA	27
C. GUÍA GRÁFICA PARA SELECCIONAR Y APLICAR TÉCNICAS PHA	57
C.1. Introducción	57
C.2. Técnicas PHA utilizadas.....	58
C.3. Estudios PHA.....	61
C.3.1. Peligros y consecuencias con los que se utilizan las técnicas PHA	61
C.3.2. Importancia de entender la secuencia de un accidente	62
C.3.3. Importancia de realizar estudios PHA durante todo ciclo de vida	63
C.3.3.1. Modelo de ciclo de vida utilizado.....	63
C.3.3.2. Posibles estudios PHA que se pueden realizar a lo largo ciclo de vida	64
C.3.4. Cuando hay que realizar un estudio PHA.....	65
C.4. Factores considerados para la selección de técnicas PHA	67
C.4.1. Etapa del ciclo de vida del proceso a estudiar	68
C.4.2. Resultados buscados y generados	69
C.4.3. Información y documentación técnica necesaria y disponible	71
C.5. Método para seleccionar técnicas PHA	75
C.6. Sistema de gestión de estudios PHA.....	83



C.6.1. Preparación previa.....	84
C.6.1.1. Definición del estudio	84
C.6.1.2. Equipo necesario	85
C.6.1.3. Obtener y preparar la información disponible	87
C.6.1.4. Planificación del trabajo del estudio.....	89
C.6.2. Realización del estudio.....	90
C.6.2.1. Identificación de los peligros asociados a un proceso/sistema.....	91
C.6.2.2. Herramientas informáticas que facilitan la realización del estudio.....	94
C.6.3. Documentar los resultados	96
C.6.3.1. Informe final.....	96
C.6.4. Hacer el seguimiento de las recomendaciones	98
C.6.4.1. Justificación y priorización de las recomendaciones	99
C.6.4.2. Sistema para hacer el seguimiento del estado de las recomendaciones	100
C.6.5. Gestión y evaluación de los cambios introducidos	101
C.6.5.1. Revalidación del estudio	102
C.6.5.2. Realización de un nuevo estudio	102
C.6.6. Control de calidad del estudio PHA	103
C.6.7. Consejos.....	105
C.7. Especificaciones para aplicar cada técnica PHA.....	106
C.7.1. Equipo necesario.....	107
C.7.2. Estimación del tiempo necesario	109
C.7.3. Explicación esquemática de cómo aplicar cada técnica.....	111
C.7.4. Cómo documentar los resultados obtenidos	114
D. APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA SELECCIONAR TÉCNICAS PHA	117
E. PRESUPUESTO	123
F. EVALUACIÓN AMBIENTAL	129
BIBLIOGRAFÍA	131
Referencias bibliográficas	131
Bibliografía complementaria.....	134



Índice de tablas y gráficos

TABLAS

Tabla C.1.1. Posibles usuarios de la guía _____	57
Tabla C.3.1. Peligros y consecuencias que consideran los estudios PHA _____	61
Tabla C.3.2. Estudios PHA se pueden hacer a lo largo ciclo de vida _____	64
Tabla C.3.3. Plazos de entrega de los elementos que establece el RD 1254/1999 _____	66
Tabla C.4.1. Factores considerados para la selección de técnicas _____	67
Tabla C.4.2. Técnicas PHA más utilizadas en cada etapa ciclo de vida _____	68
Tabla C.4.3. Resultados que pueden proporcionar las técnicas PHA _____	69
Tabla C.4.4. Información específica de ciertas etapas ciclo de vida _____	72
Tabla C.4.5. Información requerida por cada técnica _____	74
Tabla C.4.6. Cantidad de información necesita cada técnica _____	74
Tabla C.6.1. Actividades básicas del sistema de gestión estudios PHA propuesto _____	83
Tabla C.6.2. Componentes típicos equipo PHA _____	86
Tabla C.6.3. Información técnica que puede estar disponible _____	88
Tabla C.6.4. Propiedades de los materiales útiles para identificación de peligros _____	91
Tabla C.6.5. Fuentes de consulta de propiedades _____	92
Tabla C.6.6. Bases de datos de accidentes _____	92
Tabla C.6.7. Ejemplo de matriz de interacción _____	93
Tabla C.6.8. Principales paquetes de software de seguridad de procesos _____	95
Tabla C.6.9. Elementos esenciales del informe final de un estudio PHA _____	96
Tabla C.6.10. Responsables implementación recomendaciones _____	98
Tabla C.6.11. Ejemplo de seguimiento del estado de las recomendaciones _____	100
Tabla C.6.12. Influencia de los cambios sobre validez estudio PHA _____	101
Tabla C.6.13. Objetivos de una revalidación estudio _____	102



Tabla C.6.14. Cambios que justifican realizar un nuevo estudio _____	102
Tabla C.6.15. Evaluación del estudio PHA _____	103
Tabla C.6.16. Evaluación actuación del líder _____	104
Tabla C.6.17. Consejos para realizar un estudio PHA _____	105
Tabla C.7.1. Estimación composición equipo para aplicar técnicas PHA _____	108
Tabla C.7.2. Comparación del tiempo requiere cada técnica PHA _____	109
Tabla C.7.3. Estimación del tiempo que requiere cada técnica PHA _____	110
Tabla C.7.4. Explicación esquemática de cómo aplicar las técnicas PHA _____	113
Tabla C.7.5. Cómo documentar los resultados generados por las técnicas PHA _____	116
Tabla D.1. Ventanas gráficas de la aplicación informática _____	119
Tabla E.1. Planificación actividades del proyecto _____	123
Tabla E.2. Presupuesto del proyecto _____	127

GRÁFICOS

Gráfico C.1. Nivel de complejidad de los sistemas donde se aplican las técnicas PHA ____	60
Gráfico C.2. Secuencia de un accidente _____	62
Gráfico C.3. Modelo de ciclo de vida utilizado _____	63
Gráfico C.4. Relación entre la información disponible y ciclo de vida _____	71



A. Características de las técnicas PHA

Este apartado se presenta en este anexo debido a la extensión limitada que tiene que tener la memoria y al hecho de que no su lectura no es necesaria para entender el contenido de la memoria, sino para profundizar en el conocimiento de las técnicas PHA sobre las que esta versa.

Para presentar la información de manera ordenada, se ha decidido desarrollar los siguientes puntos para cada una de las técnicas PHA:

- **Introducción y orígenes o antecedentes:**

Se describe cómo surgió la técnica y cual ha sido su evolución hasta la actualidad. También se describe, de forma muy general, en que consiste la misma.

- **Principales aplicaciones en la actualidad:**

Se enumeran las aplicaciones en las que actualmente se utilizan de forma más habitual.

- **Propósito:**

Se detalla su propósito principal, el cual define el tipo de aplicaciones en las que se utiliza.

- **Resultados:**

Se describen los resultados que normalmente proporcionan.

- **Conclusiones:**

Se describen las principales ventajas y desventajas que presentan.



A.1. PrHA

Introducción y orígenes o antecedentes:

Técnica también conocida como HAZID (Hazard Identification Analysis), que fue creada por el departamento de defensa de EEUU para visualizar los peligros de los nuevos diseños de los sistemas militares [MIL-STD-882B y MIL-STD-1574]. Actualmente se utiliza para identificar peligros en una gran variedad de industrias, por ejemplo se recomienda como técnica para la evaluación de peligros de instalaciones químicas y petroquímicas. [1]

Principales aplicaciones en la actualidad:

- a) Identificar peligros, debido a sus orígenes militares, se suele utilizar para revisar las áreas del proceso donde se puede liberar energía de una forma incontrolada.
- b) Revisar el diseño antes de desarrollar los P&ID del proceso.
- c) Tomar decisiones sobre la selección del emplazamiento de la instalación.
- b) Hacer una clasificación de los peligros que determine sobre que áreas del proceso es conveniente realizar estudios PHA más detallados.

Propósito:

Evaluar los peligros en las primeras etapas del ciclo de vida de un proceso para tener una visión general de las áreas de mayor peligro, donde puede ser conveniente realizar estudios posteriores más detallados.

Resultados:

Los resultados son cualitativos y se tabulan en una tabla que contiene para cada peligro considerado:

- Las causas del peligro.
- Las consecuencias o efectos principales.
- La categoría del peligro, con lo que se realiza una clasificación cualitativa que se puede usar para priorizar las recomendaciones.
- Las acciones correctivas y medidas preventivas recomendadas.

Conclusiones:

Las conclusiones sobre esta técnica se pueden sintetizar nombrando las principales ventajas y desventajas de su aplicación:



Ventajas:

- Sirve como base para estudios más detallados: identifica las áreas de peligro que deben evaluarse de forma más detallada cuando este disponible más información.
- Ayuda a tener un proceso con seguridad inherente: los peligros identificados en la fase conceptual pueden eliminarse del diseño o introducir nuevas medidas de seguridad.
- Es una forma altamente efectiva, en relación con su coste, para identificar peligros en las etapas iniciales del ciclo de vida de una instalación industrial.

Desventajas:

- Se centra sólo en los peligros más importantes debido a la poca información que suele haber disponible cuando se utiliza.



A.2. What-if

Introducción y orígenes o antecedentes:

Es seguramente una de las técnicas PHA más utilizadas y menos estructuradas [2]. Se la puede considerar como una forma simplificada de FMEA. [3]

Es una técnica que proporciona la posibilidad de identificar peligros potenciales con facilidad. Se basa en plantear situaciones de fallo del proceso a estudiar y preguntar cual sería el resultado si sucediesen.

Principales aplicaciones en la actualidad:

- a) Se aconseja su utilización cuando el riesgo percibido no es lo suficientemente elevado como para requerir una técnica más detallada. [4]
- b) Se usa normalmente en las primeras etapas del ciclo de vida del proceso, aunque al ser una técnica muy flexible se puede usar en cualquier fase del ciclo de vida de un proceso con un nivel de detalle que se puede variar de forma sencilla.
- c) Es muy efectiva para investigar un incidente ocurrido en una instalación porque se puede centrar en los aspectos de interés sin tener que evaluar las partes no afectadas por el incidente.
- d) Instalaciones donde normalmente se utiliza: [5]
 - Instalación bajo el agua.
 - Operaciones de sondeo.
 - Estación de bombeo.
 - Instalación con muchas etapas.
 - Compresor de gas.
 - Instalaciones de carga de líquidos.
 - Instalación de inyección de agua.

Propósito:

Identificar los peligros y situaciones potenciales de accidente asociados a una instalación industrial, con el objetivo de recomendar alternativas que puedan controlar las consecuencias de los mismos.

Resultados:

Son cualitativos y se presentan en forma de tabla, la cual contiene para cada pregunta con el formato que pasaría si los siguientes campos:



- Consecuencias o peligros que pueden aparecer si se cumplen las condiciones enunciadas en la pregunta.
- Medidas de seguridad existentes para evitar las consecuencias.
- Recomendaciones para reducir las consecuencias.

Conclusiones:

Las conclusiones sobre esta técnica se pueden sintetizar nombrando las principales ventajas y desventajas que presenta su aplicación:

Ventajas:

- La técnica es muy flexible y se puede usar en cualquier fase del ciclo de vida de un proceso (una vez hechas las preguntas se pueden usar en cualquier fase del ciclo de vida del proceso con pequeñas modificaciones).
- Es fácil de utilizar, se aplica de forma rápida, permite utilizar la imaginación y conocimiento del grupo.

Desventajas:

- Técnica poco estructurada, por lo que puede proporcionar resultados pobres si el personal que la usa no tiene experiencia.



A.3. Checklist

Introducción y orígenes o antecedentes:

Técnica muy simple para identificar peligros [6], [7], [8]. Consiste en un listado de preguntas, en forma de cuestionario, que se pueden basar en la información de los códigos actuales relevantes, estándares [7], [8] que valoran, a través de un examen detallado de la experiencia en la operación y los incidentes ocurridos en procesos similares, el grado de cumplimiento de los procedimientos o normas establecidas,

Principales aplicaciones en la actualidad:

- a) Se usa principalmente para evaluar diseños específicos, que cumplen los estándares, códigos y en los que una compañía o industria tiene mucha experiencia.
- b) Se puede utilizar en cualquier fase del ciclo de vida, pero es más eficiente cuando se utiliza en la fase de diseño conceptual, ya que identifica los peligros que han ocurrido anteriormente en la operación de procesos similares, de manera sencilla y rápida.
- c) Puede evaluar el trabajo de construcción y verificar si cumple con las especificaciones.
- d) Instalaciones donde normalmente se utiliza: [5]
 - Pozos petrolíferos.
 - Batería de tanques de almacenamiento.
 - Gaseoductos, oleoductos.

Propósito:

Garantizar que se cumplen las prácticas estándar, a través de la identificación de peligros conocidos, de deficiencias de diseño y de consecuencias de accidentes asociados al equipo y operación del proceso.

Resultados:

Los resultados son cualitativos e incluye:

- Una lista de respuestas a las preguntas estándar de la checklist, las cuales se basan en diferencias o deficiencias.
- Algunas veces genera una lista de peligros identificados y las acciones sugeridas para resolverlos.



Conclusiones:

Las conclusiones sobre esta técnica se pueden sintetizar nombrando las principales ventajas y desventajas que presenta su aplicación:

Ventajas:

- Se puede personalizar a las necesidades de los clientes.
- Es muy útil para garantizar que no se pasan por alto los problemas básicos de procesos estandarizados.
- Normalmente es más barata de aplicar que otras técnicas PHA que requieren más personal.
- Es fácil de aprender a usar.

Desventajas:

- Desarrollar una buena checklist requiere mucha experiencia y tiempo.
- Los resultados son cualitativos y consisten en describir con un sí o un no el estado de un elemento.
- La evaluación que realiza será tan completa como lo sea la lista utilizada.
- No es fácil preparar una checklist para un proceso nuevo, ya que se basan en la información que proporciona la experiencia previa.
- No identifica peligros que son resultado de la interacción de diferentes componentes.



A.4. Relative Ranking

Introducción y orígenes o antecedentes:

Es una técnica que se desarrolló para actividades con corriente dominante de sustancias químicas y que permite realizar un análisis estructurado que proporciona una clasificación numérica de los principales peligros asociados a un proceso.

Los métodos de Relative Ranking más usados son:

- El F&EI (Dow Fire and Explosion Index) para evaluar la existencia e importancia de los peligros de fuego y explosión en áreas de la instalación del proceso.
- El Mond Index para evaluar la toxicidad de los materiales del proceso.
- Substance Hazard Index (SHI) para hacer una clasificación de los materiales peligrosos.
- Material Hazard Index (MHI) para determinar las cantidades umbral de materiales peligrosos.
- Chemical Exposure Index (CEI) sobre los factores que pueden influir en los efectos de los escapes de material.

Principales aplicaciones en la actualidad:

- a) Se suele utilizar para tener una visión general de los peligros e identificar las opciones con menor peligro.
- b) Seleccionar las partes del proceso que necesitan estudios más detallados.
- c) Estandarizar la política de gestión del riesgo de una compañía que tenga plantas en diferentes lugares.
- d) Comparar distribuciones de equipo, alternativas de diseño.
- e) No se recomienda su uso en la industria de extracción de petróleo y gas.

Propósito:

Hacer una clasificación de las áreas del proceso y/o de las operaciones del mismo, comparando las características de las sustancias químicas, las condiciones del proceso y los parámetros de operación. Otro objetivo puede ser determinar si las características peligrosas del proceso son suficientemente significativas para realizar un estudio posterior.

Resultados:

Dependen del tipo de técnica utilizada para hacer la clasificación. Pueden incluir una lista de procesos, equipos, operaciones o actividades ordenados por su nivel de peligrosidad.



Conclusiones:

Las conclusiones sobre esta técnica se pueden sintetizar nombrando las principales ventajas y desventajas que presenta su aplicación:

Ventajas:

- Se puede utilizar antes de que los P&ID estén disponibles.
- Indica las principales áreas de peligro.

Desventajas:

- Se limita a los peligros de fuego, explosión y exposición a sustancias químicas.
- Normalmente requiere ser utilizada con otra técnica PHA.
- No tiene en cuenta los problemas medioambientales ni el factor humano.



A.5. Safety Review

Introducción y orígenes o antecedentes:

Primera técnica utilizada para evaluar peligros. Consiste en una revisión detallada de un proceso existente, en la que se identifican los procedimientos de operación que necesitan ser revisados, las modificaciones en el proceso o en el equipo que pueden introducir nuevos peligros y el equipo mantenido de forma inadecuada.

Se centra en las situaciones de peligro grave y complementa a otras técnicas PHA como Checklist y What-if.

Principales aplicaciones en la actualidad:

- a) Se suele utilizar para realizar una revisión de una instalación antes de su puesta en funcionamiento.
- b) En instalaciones o sistemas ya existentes se usa para revisar los procedimientos de operación y/o los cambios introducidos.

Propósito:

Garantizar que una instalación se está operando y manteniendo según los estándares de diseño.

Resultados:

Son cualitativos e incluyen:

- Lista de de deficiencias identificadas.
- Lista de áreas de problema.
- Lista de acciones recomendadas y justificaciones de las mismas, adicionalmente puede contener una lista que ayuda a realizar el seguimiento del estado de la implementación de las acciones.

Conclusiones:

Las conclusiones sobre esta técnica se pueden sintetizar nombrando las principales ventajas y desventajas que presenta su aplicación:

Ventajas:

- Se puede adaptar de forma fácil para evaluar áreas específicas.

Desventajas:

- Puede ser cara y su aplicación necesitar mucho tiempo porque normalmente requiere que otras técnicas identifiquen previamente los peligros.
- Su utilización en instalaciones muy grandes puede ser cara y compleja.



A.6. What-if/checklist

Introducción y orígenes o antecedentes:

Técnica que combina la creatividad del what-if con el análisis sistemático de checklist, así de este modo se compensan las carencias de la utilización de cada una de ellas por separado. Primero se utiliza la what-if para identificar peligros y escenarios de accidente y después se utiliza una o más checklists para cubrir los huecos del brainstorming, estas checklists difieren de las utilizadas por sí solas porque son más generales y se centran en las fuentes de los peligros y accidentes.

Principales aplicaciones en la actualidad:

- a) Debido a su flexibilidad, se puede utilizar en cualquier etapa del ciclo de vida del proceso.
- b) Normalmente se utiliza para identificar y analizar los peligros más comunes y/o generales del proceso (es capaz de evaluar un accidente en un nivel de detalle inferior al de otras técnicas como HAZOP) y las áreas que requieren estudios posteriores.

Propósito:

Identificar los principales peligros y escenarios de accidente que pueden ocurrir en un proceso o actividad para evaluar, de forma cualitativa, los efectos de estos accidentes y determinar si las medidas de seguridad son adecuadas, y en caso de que no lo sean, hace recomendaciones para mejorar la seguridad de la operación del proceso.

Resultados:

Son cualitativos y se presentan en una tabla que contiene para cada situación potencial de accidente los siguientes elementos:

- Efectos de la misma.
- Medidas de seguridad existentes.
- Recomendaciones para realizar acciones correctivas.

Conclusiones:

Las conclusiones sobre esta técnica se pueden sintetizar nombrando las principales ventajas y desventajas que presenta su aplicación:

Ventajas:

- Su aplicación es fácil y rápida.
- Un estudio bien estructurado y realizado por un equipo experimentado puede identificar problemas nuevos.



- *Desventajas:*
- La calidad de los resultados depende en gran medida de la experiencia de los miembros del equipo que realiza el estudio.
- No identifica todos los peligros, por lo que se tienen que realizar estudios PHA posteriores para no tener una falsa sensación de seguridad.



A.7. FMEA

Introducción y orígenes o antecedentes:

Técnica creada por el U.S Department of Defense para visualizar los peligros de los nuevos diseños de sistemas militares [MIL-STF-1629] y cuyo enfoque se centra en los componentes del equipo del proceso o sistema [9]. Ha tenido un uso limitado en la industria química de procesos europea debido a su complejidad y al hecho que no identifica los problemas originados por combinaciones de cambios o fallos. [10]

Principales aplicaciones en la actualidad:

- a) Se recomienda su utilización para sistemas cuya operación presente un nivel de peligrosidad inferior al requerido por HAZOP. [1]
- b) Se usa para identificar los posibles modos de fallo (formas en las que el equipo y los sistemas de respuesta a los fallos pueden fallar) del equipo de un sistema o proceso con consecuencias no deseadas [11], [12], [13]. Esto la convierte en una herramienta ideal para determinar los cambios que se tienen que realizar para mejorar el diseño del sistema.
- c) Se utiliza en estudios de fiabilidad mecánica de bombas, compresores, para estudiar equipos que tienen componentes eléctricos, y en la industria nuclear para identificar fallos de componentes de los circuitos del reactor.

Propósito:

Identificar los modos de fallo del equipo del proceso o sistema para poder evaluar las consecuencias potenciales asociados a cada uno de ellos. Normalmente genera recomendaciones para aumentar la fiabilidad del equipo y mejorar la seguridad del proceso.

Resultados:

Son cualitativos, normalmente se documentan en forma de tabla, la cual incluye los siguientes campos de información para cada componente del equipo del proceso o sistema estudiado:

- Identificación del equipo: Se relaciona el equipo en cuestión con los planos del sistema y su localización.
- Descripción del equipo: incluye el tipo de equipo, configuración de operación y otras características de servicio (presión elevada, temperatura elevada) que pueden influir sobre los modos de fallos y sus consecuencias.
- Modos de fallo: se consideran todos los posibles modos de fallo del equipo después de estudiar las condiciones normales de operación del mismo.
- Efectos para cada modo de fallo: se describen los efectos inmediatos en el lugar del fallo y



los efectos esperados del fallo sobre el resto del equipo.

- Medidas de seguridad existentes que pueden evitar los efectos de cada modo de fallo: descripción de las medidas de seguridad o procedimientos asociados al sistema que pueden reducir la probabilidad de que ocurra un fallo o las consecuencias del mismo.
- Acciones para corregir los efectos de cada modo de fallo: listado de sugerencias de acciones correctivas para reducir la probabilidad de los efectos asociados a cada modo de fallo.

Conclusiones:

Las conclusiones sobre esta técnica se pueden sintetizar nombrando las principales ventajas y desventajas que presenta su aplicación:

Ventajas:

- Realiza una revisión sistemática y detallada de cada componente del equipo mecánico y eléctrico.
- Para equipo de ingeniería equivale al estudio HAZOP de los P&IDs, con la ventaja de requerir un equipo más reducido que este.

Desventajas:

- Sólo identifica los modos de fallo individual (cada fallo se considera que ocurre de manera independiente, sin relación con los otros fallos del sistema, excepto por los efectos que producen).
- Sólo se describen las consecuencias relacionadas con los fallos del equipo y no los daños que se pueden originar si el sistema no se opera correctamente.
- No considera los errores humanos en la operación y las consecuencias sobre el medio ambiente.
- Es difícil identificar todos los modos de fallo del equipo, sobretodo del equipo nuevo, el cual tiene menos documentación disponible.



A.8. HAZOP

Introducción y orígenes o antecedentes:

Técnica desarrollada por el Imperial Chemical Industries (ICI) en 1974 y que se ha convertido en la técnica PHA más utilizada en la industria química de procesos para identificar y evaluar los peligros de forma cualitativa. Como resultado de esto, existe numerosa bibliografía sobre su aplicación [14], [15], [16], [17], al mismo tiempo que su uso se recomienda por numerosa legislación e instituciones de ingeniería. Desde su aparición, ha sido modificada en numerosas ocasiones para aumentar su efectividad y fiabilidad. [3], [18], [19]

Es un examen formal y sistemático, que se centra esencialmente en un proceso o sistema de una instalación industrial [3], que identifica, de forma cualitativa, los peligros, fallos y problemas de operabilidad, y evalúa las consecuencias de una mala operación.

Principales aplicaciones en la actualidad:

Sus resultados se pueden usar como:

- a) Entrada de información de un estudio cuantitativo de riesgo.
- b) Base para realizar cambios en el diseño.
- c) Base para desarrollar instrucciones y procedimientos de operación.
- d) Base para desarrollar estándares de gestión y de control de calidad.

Propósito:

Revisar cuidadosamente un proceso y su operación, con el objetivo de determinar si las desviaciones del mismo pueden conducir a consecuencias no deseadas y de este modo poder identificar los peligros del proceso y los problemas de operación del mismo.

Resultados:

Los resultados son cualitativos y se documentan en una tabla que contiene para cada nodo o sección del proceso:

- La desviación.
- La causas que provoca la desviación.
- Efectos de la desviación.
- Medidas de seguridad presentes para evitar las consecuencias.
- Acciones correctivas a implementar para evitar las consecuencias.



Conclusiones:

Las conclusiones sobre esta técnica se pueden sintetizar nombrando las principales ventajas y desventajas que presenta su aplicación:

Ventajas:

- La técnica es muy minuciosa y puede identificar gran variedad de peligros y de problemas de operación.
- Puede generar procedimientos de operación más seguros.

Desventajas:

- Requiere mucha información y personal para su realización.
- Requiere un equipo multidisciplinar y un líder muy experimentado.
- No tiene en cuenta la probabilidad de los sucesos o de las consecuencias.
- Asume que el diseño del proceso y los estándares del equipo son correctos.
- No es apropiada para tratar los problemas derivados de la distribución de la planta industrial.



A.9. FTA (Fault Tree Analysis)

Introducción y orígenes o antecedentes:

Técnica desarrollada en los años 60 por Bell laboratories durante el proyecto del misil Polaris, inicialmente se aplicaba a la industria aeroespacial, para extenderse más tarde a la industria química de procesos [11], [12], [20], [21]. Es una herramienta analítica que utiliza un razonamiento deductivo para determinar la probabilidad de ocurrencia de un suceso no deseado. [20], [22], [23]

Se centra en un accidente particular o fallo principal de un sistema (top event, los cuales son situaciones específicas de peligro que han sido identificadas anteriormente a través de otras técnicas PHA, como HAZOP, what-if) y proporciona un modelo gráfico (utiliza símbolos de la lógica Booleana (puertas AND, OR)) que muestra las combinaciones de fallos del equipo y errores humanos (causas) que pueden producir el fallo principal del sistema (top event).

Principales aplicaciones en la actualidad:

- a) La suelen utilizar los encargados de tomar decisiones como herramienta de comunicación, ya que puede estimar la probabilidad de que ocurra un determinado suceso o accidente que otra técnica PHA ha señalado como importante,
- b) Es muy apropiado para sistemas altamente instrumentados y redundantes, como los sistemas de alarma y de cierre.

Propósito:

Identificar las combinaciones de fallos del equipo y errores humanos que pueden provocar un accidente.

Resultados:

Produce un modelo lógico de los fallos del sistema, el cual utiliza puertas lógicas para describir los fallos del equipo y los errores humanos que se pueden combinar para causar un fallo principal del sistema. El número de modelos para un proceso complejo depende de cómo se seleccionó el suceso iniciador.

Normalmente se soluciona cada modelo lógico para generar una lista de las secuencias mínimas de fallos que pueden provocar el suceso iniciador, estas listas se pueden ordenar cualitativamente por el número y tipos de fallos de cada una. La inspección de estas listas revela la debilidad del diseño/operación del sistema para lo que se sugieren alternativas para mejorar la seguridad.



Conclusiones:

Las conclusiones sobre esta técnica se pueden sintetizar nombrando las principales ventajas y desventajas que presenta su aplicación:

Ventajas:

- Es una técnica estructurada y metódica que proporciona una descripción gráfica de las causas de un peligro.
- Ayuda a identificar los elementos más críticos que provocan un peligro y/o accidente, sobretodo si el resultado es numérico.

Desventajas:

- Su aplicación requiere personal muy especializado.
- Su principal limitación reside en la dificultad para asignar valores numéricos a las probabilidades [24], [25] ante lo que varios autores han propuesto soluciones [24], [26].



A.10. ETA (Event Tree Analysis)

Introducción y orígenes o antecedentes:

Técnica que muestra gráficamente las posibles consecuencias de un accidente provocado por un suceso iniciador (un fallo específico del equipo o error humano). Dichas consecuencias se definen a través del establecimiento de las relaciones entre el suceso iniciador y los sucesos posteriores (secuencia de un accidente) que conducen al accidente, teniendo en cuenta la respuesta de los sistemas de seguridad y de los operadores.

Principales aplicaciones en la actualidad:

- a) Se utiliza para analizar procesos complejos que tienen sistemas de seguridad de varios niveles.
- b) Se utiliza para diseñar los sistemas de alarma de las plantas de la industria química de procesos ya que facilita la comprensión de todas las formas en las que pueden surgir las condiciones peligrosas y el conocimiento de la probabilidad con la que pueden ocurrir los sucesos.

Propósito:

Identificar las combinaciones de fallos que pueden provocar un determinado accidente y la secuencia de consecuencias o accidentes que este puede provocar.

Resultados:

Diagramas en forma de árbol de los fallos o errores (se representan con puertas lógicas) que conducen a un accidente, las secuencias del accidente (las cuales describen las consecuencias posibles de los accidentes en términos de secuencia de sucesos que siguen al suceso iniciador).

Los resultados se utilizan para identificar la debilidad del diseño y de los procedimientos de operación y normalmente proporcionan recomendaciones para reducir la probabilidad y consecuencias de los accidentes potenciales analizados. Si se usa este método para evaluar una secuencia de accidente, proporciona una lista con las secuencias mínimas.

Conclusiones:

Las conclusiones sobre esta técnica se pueden sintetizar nombrando las principales ventajas y desventajas que presenta su aplicación, las cuales son muy parecidas a las de FTA.

Su mayor limitación reside en el hecho de que no pueden detectar incidentes que ocurren cuando las funciones del equipo son requeridas, pero el requerimiento es erróneo. [3]



A.11. HRA (Human Reliability Analysis)

Introducción y orígenes o antecedentes:

Evaluación sistemática de los factores que influyen sobre la actuación de los operadores, personal de mantenimiento, técnicos y otro personal de la planta, como las características físicas, medioambientales de la instalación.

Principales aplicaciones en la actualidad:

Identificar y evaluar los errores humanos, que han sido declarados como importantes por otras técnicas PHA (HAZOP, FMEA), que pueden causar accidentes.

Propósito:

Identificar los errores humanos potenciales para poder determinar las causas de los mismos.

Resultados:

Lista de los posibles errores humanos que pueden aparecer durante la operación normal o de emergencia del proceso, factores que contribuyen a dichos errores y las modificaciones para reducir la probabilidad de los mismos (cambios en el equipo y en los procedimientos para corregir las deficiencias identificadas).

También incluye una descripción detallada de las tareas del operador en forma de lista o gráfico, que puede usarse para establecer procedimientos, políticas de formación. Adicionalmente, puede incluir la identificación de las interfaces del sistema afectadas por errores particulares y una clasificación de éstas basándose en su probabilidad de ocurrencia.

Conclusiones:

Las conclusiones sobre esta técnica se pueden sintetizar nombrando las principales ventajas y desventajas que presenta su aplicación:

Ventajas:

- Proporciona un análisis detallado de los procesos complejos.
- Permite realizar predicciones limitadas del error humano (se asignan probabilidades a los errores humanos identificados y esto proporciona una probabilidad global).

Desventajas:

- Depende de la disponibilidad de información sobre índices de fallo humano, conduciendo a posibles errores en el cálculo de la probabilidad.
- Requiere personal experimentado y mucho tiempo para su realización.



A.12. CCA (Cause and Consequence Analysis)

Introducción y orígenes o antecedentes:

Técnica que combina el razonamiento deductivo del FTA y el razonamiento inductivo del ETA, obteniéndose como resultado, una técnica que relaciona las consecuencias de los accidentes y las causas de los mismos.

Principales aplicaciones en la actualidad:

Se usa como herramienta de comunicación, ya que el diagrama causa-consecuencia muestra de manera gráfica y sencilla las relaciones entre las consecuencias y las causas de los accidentes.

Propósito:

Identificar las causas y consecuencias de los accidentes potenciales.

Resultados:

Diagramas que representan las secuencias mínimas de causas que provocan un accidente y descripciones cualitativas de las consecuencias de los mismos.

Conclusiones:

Las conclusiones sobre esta técnica se pueden sintetizar nombrando las principales ventajas y desventajas que presenta su aplicación:

Ventajas:

- Puede utilizarse para evaluar una amplia gama de fallos.
- Proporciona una representación gráfica de la secuencia de sucesos que siguen a un accidente.

Desventajas:

- Se suele usar cuando la lógica del fallo que provoca el accidente analizado es bastante simple.





B. Especificaciones para aplicar las técnicas PHA

Una vez que se ha establecido el criterio para seleccionar la técnica PHA más adecuada y el sistema de gestión para realizar estudios PHA, el siguiente paso del trabajo es ofrecer especificaciones que ayuden a completar y adaptar dicho sistema a cada una de las técnicas PHA.

En el anexo C (guía para la selección y aplicación de técnicas PHA), se presenta la información de este apartado de una forma más gráfica.

Dichas especificaciones se agrupan en función de la etapa del sistema de gestión de estudios PHA a la que afectan:

1. Preparación previa a la aplicación de la técnica:

- Estimación del equipo necesario para realizar el estudio.
- Estimación del tiempo necesario para realizar el estudio.

2. Aplicación de la técnica:

Se ofrece una explicación esquemática de cómo aplicarla, la cual se complementa con un ejemplo real de aplicación.

3. Documentación de los resultados generados

Se ofrece un ejemplo gráfico del formato de las tablas que se suelen utilizar para presentar los resultados.

En lo referente al equipo y al tiempo necesario para aplicar las técnicas PHA, sólo se ha podido encontrar entre la numerosa bibliografía consultada, una serie de estimaciones que se muestran en este apartado. Esta situación de falta de exactitud en estos cálculos se debe principalmente a:

a) La influencia de los siguientes factores sobre el tiempo necesario para aplicar una técnica:

- La complejidad del proceso o sistema a estudiar.
- El número y variedad de tipos de peligros a analizar.
- Etapa del ciclo de vida del proceso a estudiar.

A pesar de lo cual, se adjunta una estimación, con carácter orientativo, del tiempo medio que se necesita para aplicar cada una de las técnicas. Dicha información, extraída de una guía publicada por el CCPS [27], tiene en cuenta los siguientes puntos para realizar las estimaciones:

- Se han considerado dos tipos de sistemas en función de la complejidad o tamaño del mismo:



Sistema simple/pequeño:

Por ejemplo, un sistema de almacenamiento y descarga de sustancias químicas que está formado por una estación de descarga, las líneas de transferencia, bombas y tanque de almacenamiento.

Sistema complejo/grande:

Por ejemplo, un proceso químico formado por un sistema de alimentación, una sección de reacción, separación y recuperación del producto, sistema de regulación de presión y sistemas asociados de control y tuberías.

- La aplicación de cada técnica se ha dividido en tres fases:

Preparación: incluye la recopilación de información, definición del alcance del estudio, planificación de las sesiones de trabajo del equipo.

Evaluación: actividad real de análisis que está asociada a la técnica PHA, para algunas técnicas incluye la construcción y desarrollo de un complejo modelo de fallo lógico.

Documentación: apuntar los resultados significativos de las reuniones y desarrollar el informe final del estudio.

- Para las técnicas que utilizan un equipo para su realización, el equipo técnico participa básicamente en la etapa de evaluación, mientras que el líder y el secretario técnico participan en todas las etapas del estudio.

b) La influencia de los siguientes factores hace muy difícil el poder determinar, de forma estándar o general, el tamaño de los equipos que las aplican:

- La complejidad del proceso o sistema a estudiar.
- La etapa del ciclo de vida del proceso en el momento de realizar el estudio.



PrHA

A) Equipo necesario:

Requiere un equipo pequeño, puede ser realizado por 2 personas con conocimiento en los sistemas de seguridad del proceso. También lo pueden realizar personal menos experimentado, pero el estudio no será tan detallado y exhaustivo porque se utiliza el criterio personal del analista.

B) Estimación del tiempo necesario:

Se adjunta una estimación del tiempo necesario para utilizar esta técnica:

	Preparación	Evaluación	Documentación
Sistema sencillo	4-8 horas	1-3 días	1-2 días
Sistema complejo	1-3 días	4-7 días	4-7 días

En las etapas de preparación y documentación la mayoría del trabajo lo realiza el líder.

En la etapa de evaluación el líder y el equipo técnico trabajan el mismo tiempo.

C) Explicación esquemática de cómo aplicarla:

Una vez definido el alcance del estudio, se realiza el análisis de cada zona o área del proceso con el objetivo de identificar los peligros y evaluar las causas y efectos de los posibles accidentes relacionados con estos para poder asignar una categoría de peligro a cada situación de accidente. Por último se recomiendan medidas correctivas y/o preventivas.

Para tener una idea más clara de ese proceso, se adjunta un **ejemplo real de aplicación**:

Un diseño conceptual de un sistema de alimentación que transfiere H_2S de un depósito de almacenamiento a una unidad de proceso. Sólo se conoce el material utilizado, la toxicidad e inflamabilidad del H_2S y el peligro que representa el escape del mismo. Los analistas hacen el siguiente listado de las causas para el escape:

- Escape o ruptura del depósito presurizado de almacenamiento.
- El proceso no consume todo el H_2S .
- Escape o ruptura en la línea de alimentación de H_2S .
- Escape durante la conexión del cilindro al proceso.

Entonces, se determinan los efectos de las causas, en este caso los daños originados por un escape importante. El siguiente paso es proporcionar un criterio para describir las medidas correctivas o



preventivas que pueden evitar los posibles escapes. Por ejemplo, el analista sugerirá al diseñador lo siguiente:

- Considerar un proceso que almacene un material menos tóxico que el H_2S .
- Considerar desarrollar un sistema que recoja y destruya el exceso del H_2S del proceso.
- Proporcionar un sistema de alerta de escapes de H_2S .

D) Ejemplo de cómo documentar los resultados obtenidos:

Ejemplo del formato típico de las hojas de trabajo que contienen la tabla con los resultados de esta técnica:

Área: _____		Fecha: _____		
Número. _____		Miembros equipo: _____		
Peligro	Causa	Efectos	Categoría de peligro	Medidas correctivas



What-if:

A) Equipo necesario:

Se recomienda que el equipo esté formado por 2 (proceso sencillo) - 6 (proceso complejo) personas con experiencia en el proceso objeto de estudio. En un proceso complejo es recomendable disponer de un secretario técnico, aunque en procesos pequeños es mejor que esa responsabilidad recaiga sobre el líder, y de un equipo técnico multidisciplinar formado por personal con experiencia en el diseño, operación y mantenimiento del proceso.

B) Estimación del tiempo necesario:

Se adjunta una estimación del tiempo necesario para utilizar esta técnica:

	Preparación	Evaluación	Documentación
Sistema sencillo	4-8 horas	4-8 horas	1-2 días
Sistema complejo	1-3 días	3-5 días	1-3 semanas

En las etapas de preparación y documentación la mayoría del trabajo lo realiza el líder.

En la etapa de evaluación el líder y el equipo técnico trabajan el mismo tiempo.

C) Explicación esquemática de cómo aplicarla:

Una vez definido el alcance del estudio, se realiza el análisis, el cual sigue los siguientes pasos:

- Dividir el proceso en nodos.
- Postular problemas y fallos preguntando que pasaría si...
- Para cada pregunta se evalúan sus consecuencias.
- Para cada pregunta se identifican las medidas de seguridad presentes que previenen la ocurrencia o mitigan las consecuencias.
- Para cada pregunta se recomiendan las acciones necesarias para reducir o eliminar sus consecuencias.

Para tener una idea más clara de ese proceso, se adjunta un **ejemplo real de aplicación**:

Un equipo tiene que investigar, utilizando la técnica what if, los peligros que puede presentar un reactor de fosfato de diamonio para el personal de la planta.

La primera pregunta considerada se basa en la posibilidad de que haya materiales que se pueden mezclar con el amoniaco y producir una situación de peligro. A continuación, se identifican las consecuencias de las combinaciones incorrectas de materiales y se identifican las medidas de seguridad que pueden prevenir estos escenarios. Por último, se recomiendan alternativas, como



utilizar otros materiales en lugar del fosfato de diamonio.

El equipo continua con las preguntas de este modo hasta que alcanzan la salida del proceso. Las respuestas a todas las preguntas what if se recogen en una tabla como la que se adjunta a continuación.

D) Ejemplo de cómo documentar los resultados obtenidos:

Ejemplo del formato típico de la hoja de trabajo que contiene la tabla con los resultados de esta técnica:

Área: _____	Fecha: _____		
Número. _____	Miembros equipo: _____		
Que pasaría si	Consecuencia/peligro	Medidas de seguridad	Recomendaciones



Checklist:

A) Equipo necesario:

Normalmente una sola persona con conocimiento en el proceso estudiado puede realizar una checklist, para procesos complejos puede ser necesario un pequeño equipo de 2-3 personas.

B) Estimación del tiempo necesario:

Se adjunta una estimación del tiempo necesario para utilizar esta técnica:

	Preparación	Evaluación	Documentación
Sistema sencillo	2-4 horas	6-12 horas	4-8 horas
Sistema complejo	1-3 días	3-5 días	3-6 días

En las etapas de preparación y documentación la mayoría del trabajo lo realiza el líder.

En la etapa de evaluación el líder y el equipo técnico trabajan el mismo tiempo.

Estimación del tiempo para cada elemento del equipo:

	Preparación	Evaluación	Documentación
Líder	1 hora	0.5 horas	0.25 horas
Miembro equipo	-	0.5 horas	-

C) Explicación esquemática de cómo aplicarla:

Una vez definido el alcance, se realiza el análisis:

- *Selección o desarrollo de la checklist apropiada:* se selecciona de los estándares internos, códigos, guías para la industria. Si no hay ninguna checklist disponible, se debe utilizar la experiencia del equipo y la información disponible para generar una.
- *Utilización de la checklist:* durante las inspecciones visuales y entrevistas con el personal de operaciones se compara el equipo del proceso y las operaciones del mismo con las que contiene la checklist utilizada, para de este modo encontrar las deficiencias.

Para tener una idea más clara de ese proceso, se adjunta un **ejemplo real de aplicación:**

Un proceso continuo donde una disolución de ácido fosfórico y una disolución de amoníaco se conducen a través de válvulas de control de flujo y se mezclan en un reactor. El amoníaco y el ácido reaccionan formando fosfato de diamonio, el cual no es peligroso, y se conduce desde el reactor hasta un tanque abierto de almacenamiento.



Si hay demasiado ácido fosfórico en el reactor (comparado con la cantidad de amoníaco), se origina un producto no deseado, pero la reacción es segura. Si los flujos del amoníaco y el ácido fosfórico aumentan a la vez, la cantidad de energía liberada se acelera y el reactor, por diseño, no es capaz de soportar el incremento de temperatura y presión resultante.

Si hay demasiado amoníaco en el reactor (comparado la cantidad de ácido fosfórico) el amoníaco que no reacciona se saldrá del tanque de almacenamiento y se liberará a las áreas de trabajo cercanas causando una exposición al personal, por lo que hay que poner detectores de amoníaco y alarmas en la zona afectada.

Se programa realizar un análisis del sistema utilizando una checklist estándar de la compañía, la cual se centra en el material, equipo y procedimientos.

D) Ejemplo de cómo documentar los resultados obtenidos:

Los resultados consisten en una lista con las preguntas estándar para cada parte del equipo del proceso (basadas en las deficiencias normales de éste) y las respuestas a las mismas.



Relative Ranking:

A) Equipo necesario:

Una única persona con conocimiento en la técnica puede realizar el estudio, pero para procesos complejos o cuando el número y tipo de peligros considerados es elevado pueden realizarlo un equipo de varias personas.

B) Estimación del tiempo necesario:

A pesar de que el tiempo necesario para su realización depende de la técnica utilizada para hacer la clasificación y el número de áreas de proceso y peligros evaluados, se adjunta una estimación del tiempo medio necesario para su aplicación:

	Preparación	Evaluación	Documentación
Sistema sencillo	2-4 horas	6-12 horas	4-8 horas
Sistema complejo	1-3 días	3-5 días	3-5 días

La estimación considera que una única persona realiza el análisis.

C) Explicación esquemática de cómo aplicarla:

Una vez seleccionado el enfoque y definido el alcance del estudio, se aplica la técnica:

Si se selecciona un método de relative ranking que esté publicado (por ejemplo F&EI), se deben seguir las instrucciones de la guía técnica del método en cuestión, las cuales pueden cumplimentarse con visitas al lugar y entrevistas que verifican la información y responden a preguntas sobre el proceso.

Para tener una idea más clara de ese proceso, se adjunta un **ejemplo real de aplicación**:

La dirección de una corporación química con instalaciones localizadas a lo largo de EEUU ha adoptado recientemente un SGS y está planeando la ejecución de varios elementos de su programa, el cual incluye realizar estudios de evaluación de peligros de los procesos de la compañía. Debido a que tienen tantas plantas y gran variedad de sustancias químicas peligrosas, se decide utilizar la técnica relative ranking para establecer el orden en el que se tienen que realizar los estudios PHA. Debido a que los analistas de la compañía tienen poca experiencia con los estudios PHA, se decide modificar una versión del SHI utilizada en la industria química. Pero los analistas se dan cuenta que el SHI tiene varias deficiencias que pueden afectar a la realización de una clasificación adecuada de las sustancias utilizadas en las instalaciones de la compañía. Estas deficiencias son:



- SHI no tiene en cuenta las consecuencias de las diferentes cantidades de material que se puede liberar al aire.
- SHI no considera la proximidad de las instalaciones a los centros locales de población.
- SHI sólo considera la toxicidad de los materiales y algunos materiales de la compañía son inflamables.

D) Ejemplo de cómo documentar los resultados obtenidos:

Los índices de riesgo calculados para comparar las zonas analizadas se tabulan de la siguiente forma:

Zona/instalación	Sustancia peligrosa	Índice de riesgo	Posición en la clasificación

Eventualmente, se puede determinar el contribuyente más importante de los índices de riesgo para determinar si se deben realizar modificaciones del diseño o acciones correctivas para reducir los riesgos previstos de la instalación



Safety Review:

A) Equipo necesario:

El equipo normalmente estará formado por unas cinco personas que conocen los estándares de seguridad y los procedimientos de operación, por ello es necesario incluir personal de mantenimiento y de operaciones.

B) Estimación del tiempo necesario:

Se adjunta una estimación del tiempo necesario para utilizar esta técnica:

	Preparación	Evaluación	Documentación
Sistema sencillo	2-4 horas	6-12 horas	4-8 horas
Sistema complejo	1-3 días	3-5 días	3-6 días

En las etapas de preparación y documentación la mayoría del trabajo lo realiza el líder.

En la etapa de evaluación el líder y el equipo técnico trabajan el mismo tiempo

C) Explicación esquemática de cómo aplicarla:

- Definir los sistemas, procedimientos, operaciones y personal a evaluar.
- Revisar los peligros conocidos y la historia del proceso.
- Revisar todos los códigos aplicables, estándares.
- Programar entrevistas con los responsables de la seguridad de la operación del proceso.
- Revisar la información sobre informes de accidentes, inspecciones de equipo, auditorías de seguridad

Para tener una idea más clara de ese proceso, se adjunta un **ejemplo real de aplicación**:

En un gran complejo petroquímico con aproximadamente 30 años de operación, una evaluación de negocios indica que la unidad puede continuar operando de forma económica por otros 15- 20 años si se pueden mantener las condiciones de seguridad. Se encarga una safety review para evaluar la unidad, la cual indica que el equipo puede funcionar por otros 15 años porque la planta ha sido mantenida correctamente. Sin embargo, el equipo de la revisión identifica varios problemas que necesitan una evaluación adicional.

La capacidad de la unidad se ha aumentado a través de numerosas mejoras, pero el tamaño de las válvulas de seguridad de la unidad nunca se ha reevaluado. Los controles neumáticos originales aún están en servicio pero el interlock de seguridad nunca se ha reevaluado o actualizado a los estándares actuales de la compañía. Los estándares para el espaciado entre el equipo han



cambiado desde que la unidad se construyó y basándose en los nuevos estándares se violan muchas recomendaciones sobre las distancias.

La compañía acepta las recomendaciones del equipo de la revisión y lleva a cabo medidas correctivas:

Una revisión completa del diseño de las válvulas de seguridad, como resultado de la cual se instalan válvulas de seguridad adicionales. Una revisión del diseño del sistema de control e instrumentación, como resultado de la cual se instala un moderno sistema de control. Revisión del espaciado del equipo, estos problemas son más difíciles de corregir porque ciertos requerimientos de espaciado no se pueden llevar a cabo en la instalación, por ello se decide construir una sala de control lejos de la unidad como parte del sistema de control por computador.

D) Ejemplo de cómo documentar los resultados obtenidos:

Lista de deficiencias identificadas, áreas problemáticas, acciones recomendadas y justificaciones de las mismas.



What-if/checklist:

A) Equipo necesario:

Normalmente está formado por entre 4-6 miembros, dependiendo de la complejidad y la etapa del ciclo de vida del proceso a estudiar, entre los que destacan las figura del líder, del secretario técnico y del equipo técnico que aporta experiencia sobre el diseño, operación y mantenimiento.

B) Estimación del tiempo necesario:

Se adjunta una estimación del tiempo necesario para utilizar esta técnica:

	Preparación	Evaluación	Documentación
Sistema sencillo	6-12 horas	6-12 horas	4-8 horas
Sistema complejo	1-3 días	4-7 días	1-3 semanas

En las etapas de preparación y documentación la mayoría del trabajo lo realiza el líder y el secretario técnico.

En la etapa de evaluación el líder y el equipo técnico trabajan el mismo tiempo.

C) Explicación esquemática de cómo aplicarla:

Una vez definido el alcance, hay que seguir los siguientes pasos:

- Preparación: si el proceso es muy grande, se divide en subsistemas para tener un orden de aplicación del análisis. El líder debe obtener o desarrollar la checklist apropiada para el proceso en estudio.
- Desarrollar la lista de preguntas del tipo que pasaría si...
- Utilizar una checklist para cubrir los huecos del análisis what-if: una vez identificadas todas las preguntas de un área o etapa del proceso, se utiliza la checklist.
- Evaluar cada una de las preguntas: una vez desarrolladas todas las preguntas, se analizan las situaciones peligrosas de cada área o etapa del proceso, se determinan cualitativamente sus efectos potenciales, se hace una lista con las medidas de seguridad existentes y se recomiendan las alternativas o cambios necesarios para eliminarlas o reducirlas.

Para tener una idea más clara de ese proceso, se adjunta un **ejemplo real de aplicación**:

Para aumentar la producción, una compañía del sector químico ha instalado una nueva línea de transferencia entre un tanque de almacenamiento de 90 toneladas de cloro y un tanque de alimentación del reactor. En cada etapa, el operador debe transferir una tonelada de cloro al tanque de alimentación. La nueva línea permite hacerlo en una hora (con la línea antigua eran 3 horas). Se usará nitrógeno a alta presión para obligar la circulación del cloro a través de 2 km,



aproximadamente, de distancia. El tanque de almacenamiento y la nueva línea de alimentación operan a temperatura ambiente.

Para transferir el cloro los operadores utilizan una válvula de tres vías, abren la válvula 1 y verifican que el nivel en el tanque de alimentación está aumentando. Cuando se activa la alarma de nivel alto del tanque de alimentación, la cual señala que se ha transferido una tonelada de cloro, el operador cierra la válvula 1 y la válvula de tres vías.

Un equipo tiene que realizar un what-if/checklist de esta modificación del proceso con el objetivo de identificar los accidentes potenciales que pueden suceder y evaluar la idoneidad de las medidas de seguridad existentes. La parte del what-if genera una lista de preguntas, a continuación se usan dos checklist para complementar las preguntas del what-if.

D) Ejemplo de cómo documentar los resultados obtenidos:

Se documentan de la misma forma que para what-if.



FMEA:

A) Equipo necesario:

Un pequeño equipo con conocimiento de las funciones y los modos de fallo del equipo y sus componentes.

B) Estimación del tiempo necesario:

Se adjunta una estimación del tiempo necesario para utilizar esta técnica:

	Preparación	Evaluación	Documentación
Sistema sencillo	2-6 horas	1-3 días	1-3 días
Sistema complejo	1-3 días	1-3 semanas	2-4 semanas

Estimación para el conjunto del equipo.

Como media, en una hora se puede evaluar cada componente del equipo (en caso de evaluar componentes o equipos similares, el tiempo de evaluación es más reducido).

C) Explicación esquemática de cómo aplicarla:

Componente del equipo → modos de fallo → desviaciones que producen los fallos.

Se empieza con un componente del equipo y se determinan los posibles fallos que puede presentar. El estudio sigue la siguiente secuencia:

- Definición del sistema a estudiar: se identifican las condiciones bajo las que se hará el análisis, como son los sistemas, equipos, modos de fallo y condiciones de operación consideradas.
- Dividir el sistema en partes, considerando su función y localización.
- Identificar los modos de fallo para cada componente del equipo.
- Determinar las causas de cada modo de fallo.
- Identificar las medidas de seguridad existentes.
- Asignar un ratio de severidad, ocurrencia y detección para cada fallo.
- Determinar las acciones correctivas y realizar las recomendaciones adecuadas.

Para tener una idea más clara de ese proceso, se adjunta un **ejemplo real de aplicación**:

Para el sistema de alimentación del tanque de almacenamiento de fosfato de diamonio se realiza un FMEA para identificar los peligros que el equipo puede representar para el personal de la planta. Para cada componente del sistema se evalúa y se genera una tabla como la siguiente.



D) Ejemplo de cómo documentar los resultados obtenidos:

Formato típico de las hojas de trabajo que contienen la tabla con los resultados de esta técnica:

FECHA: _____				PÁGINA: _____ de _____		
PLANTA: _____				SISTEMA _____		
REFERENCIA: _____				MIEMBROS EQUIPO: _____		
Componente	Identificación	Descripción	Modos de fallo	Efectos	Medidas seguridad	Acciones correctivas



HAZOP:

A) Equipo necesario:

En general, para procesos complejos se utiliza un equipo de entre 6-8 personas, de entre los que destaca un líder experimentado, un secretario técnico y un equipo técnico con experiencia en diseño, ingeniería, operación y mantenimiento. Mientras que para procesos sencillos se utiliza un equipo de 3-4 personas.

A continuación se detalla la composición del equipo necesario para realizar un estudio HAZOP: [28]

Diseño nuevo:

- Ingeniero de proyectos o de diseño: normalmente un ingeniero mecánico el cual es el responsable de minimizar los cambios pero al mismo tiempo descubrir los peligros o problemas de operación.
- Ingeniero de procesos: normalmente el ingeniero químico que ha redactado las hojas de flujos.
- Ingeniero del diseño del sistema de control.
- Líder: un experto en HAZOP.
- Encargado de la puesta en funcionamiento: normalmente es un ingeniero químico que tiene la responsabilidad de poner en funcionamiento y operar la planta.

Planta existente o en operación:

- Encargado de la operación de la planta.
- Capataz del proceso: conoce lo que pasa realmente y no lo que se supone que tiene que pasar.
Ingeniero de la planta: responsable del mantenimiento mecánico, conoce las averías que pueden ocurrir.
- Ingeniero de control: responsable del mantenimiento e instalación de los instrumentos de control.
- Encargado de la investigación del proceso: encargado de investigar los problemas técnicos.
- Líder.

B) Estimación del tiempo necesario:

Se adjunta una estimación del tiempo necesario para utilizar esta técnica:

	Preparación	Evaluación	Documentación
Sistema sencillo	8-12 horas	1-3 días	2-6 días
Sistema complejo	2-4 días	1-3 semanas	2-6 semanas



En la etapa de preparación la mayoría del trabajo lo realiza el líder y el secretario técnico.

En la etapa de evaluación el líder y el equipo técnico trabajan el mismo tiempo.

En la etapa de documentación sólo trabajan el líder y el secretario técnico.

C) Explicación esquemática de cómo aplicarla:

El estudio sigue la siguiente secuencia:

Causa inmediata < desviación o suceso no deseado > consecuencias de la desviación.

Una vez definido el alcance, hay que seguir los siguientes pasos para cada uno de los nodos del sistema:

- Dividir el proceso o sistema en nodos o subsistemas, los cuales corresponden con cada línea de fluido de cada elemento crítico seleccionado.
- Preparar una lista de parámetros y variables a examinar (composición, temperatura, presión).
- Asignar las palabras guía a los parámetros y variables.
- A partir de las palabras guía, se generan las desviaciones significativas de las condiciones normales de operación y se realiza un repaso exhaustivo de los posibles funcionamientos anormales.
- A través del estudio de las desviaciones se identifican las causas de cada desviación.
- Identificar las consecuencias asociadas a cada causa.
- Identificar las medidas de seguridad o controles existentes que previenen las causas y/o consecuencias.
- Listado de acciones o recomendaciones a implementar.

Para tener una idea más clara de ese proceso, se adjunta un **ejemplo real de aplicación**:

Para el sistema de alimentación de un tanque de almacenamiento de fosfato de diamonio se realiza un HAZOP con palabras guía para identificar los peligros para el personal. A continuación, se muestra un ejemplo de la aplicación de HAZOP para la línea de ácido fosfórico y el reactor de fosfato de diamonio:

- *Sección del proceso*: Línea de alimentación de ácido fosfórico al reactor de fosfato de diamonio.

- *Palabra guía*: No.

- *Desviación*: No flujo.

- *Consecuencias*: (1) Escape del amoniaco que no ha reaccionado del tanque de almacenamiento de fosfato de diamonio al área cercana de trabajo, (2) pérdida de producción de fosfato de diamonio.

- *Causas*: (1) Fallo del indicador de flujo elevado, (2) el operador establece el controlador de flujo muy bajo, (3) la válvula de control B de ácido fosfórico está cerrada, (4) escape o ruptura de la línea.

- *Medidas de seguridad*: Mantenimiento periódico de la válvula B.



- *Acciones correctivas:*(1) Considerar añadir sistema de alarma o cierre para cuando el sistema presenta un flujo bajo de ácido fosfórico en el reactor, (2) garantizar que el mantenimiento y la inspección para la válvula B son adecuados, (3) considerar usar un tanque cerrado para el almacenamiento de fosfato de diamonio.

Este proceso se repite con otras combinaciones de palabras guía y parámetros del proceso para cada sección del diseño, registrando la información importante en una tabla como la que se adjunta a continuación.

D) Ejemplo de cómo documentar los resultados obtenidos:

El informe final de un estudio HAZOP debe contener: [29]

1. Resumen: objetivos y recomendaciones.
2. Introducción.
3. Alcance y objetivos.
4. Enfoque del estudio.
5. Descripción del proceso.
6. Resultados del estudio HAZOP.
7. Conclusiones y acciones.
8. Apéndices: descripción de la técnica, nodos y lista de planos.

Formato típico de las hojas de trabajo que contienen la tabla con los resultados de esta técnica:

Equipo: _____		Número de plano: _____			
Fecha reunión: _____		Número de revisión: _____			
Número de componente	Desviación	Causas	Consecuencias	Medidas seguridad	Acciones correctivas



FTA:

A) Equipo necesario:

Proceso sencillo: un único analista con experiencia y conocimiento en la utilización de la técnica puede realizar el estudio. Es conveniente que sea ayudado por personal con experiencia en la operación del proceso y el equipo estudiado a la hora de definir las entradas de las puertas lógicas y de revisar los modelos generados.

Proceso complejo: se recomienda la utilización de un pequeño equipo de personas con experiencia en la técnica, sobretodo cuando hay que realizar varios árboles de fallos diferentes, en tal caso, es conveniente que cada miembro se centre en un árbol y se utilice la interacción entre ellos para garantizar la consistencia de los modelos generados.

B) Estimación del tiempo necesario:

Se adjunta una estimación del tiempo necesario para utilizar esta técnica:

	Preparación	Construcción del modelo	Evaluación	Documentación
Sistema sencillo	1-3 días*	3-6 días*	2-4 días*	3-5 días**
Sistema complejo	4-6 días	2-3 semanas	1-4 semanas	3-5 semanas

* En las etapas de preparación, construcción del modelo y evaluación y para el supuesto de que el estudio lo realiza una única persona, el personal que interviene en la revisión de los modelos generados realiza una cuarta parte del trabajo total.

** En la etapa de documentación la gran mayoría del trabajo lo realiza la persona encargada de realizar el estudio.

C) Explicación esquemática de cómo aplicarla:

El estudio sigue la siguiente secuencia: Top event → sucesos no deseados → sucesos básicos.

Una vez definido el alcance, hay que seguir los siguientes pasos:

- Definición del problema a estudiar: se selecciona un top event (situación específica de peligro que ha sido identificadas anteriormente a través de otras técnicas PHA y se fijan las condiciones límite (nivel de resolución, condiciones iniciales, sucesos no permitidos, condiciones existentes).
- Construcción del árbol de fallos: a partir del top event, se identifican las causas inmediatas que lo producen (fault events) y se les busca las causas a estas hasta identificar las causas básicas de cada fault event. El árbol de fallos resultante muestra de manera gráfica las



relaciones entre los fault event y el top event.

- Análisis del modelo cualitativo del árbol de fallos: obtener las secuencias mínimas de fallos que producen el top event siguiendo los siguientes pasos:
 - Identificar todas las puertas lógicas y los sucesos básicos.
 - Resolver todas las puertas lógicas de un suceso básico.
 - Eliminar los sucesos duplicados.

Para tener una idea más clara de ese proceso, se adjunta un **ejemplo real de aplicación**:

Un sistema de alarma de un establecimiento contiene un reactor para procesos altamente inestables que es sensible a pequeños cambios de temperatura. El sistema tiene un sistema de aspersión por agua para, en caso de emergencia, enfriar el ambiente y evitar una reacción incontrolada. Para prevenir que se produzca una reacción fuera de control durante un incremento de temperatura, el flujo de material al reactor debe de pararse o sino se activará el sistema de aspersión. La temperatura del reactor se monitoriza a través de un sensor (T1) que automáticamente activa el sistema de aspersión a través de la apertura de la válvula de suministro de agua cuando se detecta el aumento de temperatura. Al mismo tiempo, el sensor T1 activa una alarma sonora en la sala de control para alertar al operador del aumento de temperatura. Cuando la alarma suena, el operador cierra la válvula y para el flujo en el reactor. El operador también activa el sistema de aspersión de agua si este no se ha activado por el sensor T1.

El primer paso en FTA es definir el problema. Para este ejemplo:

- Top event: Daño al reactor debido a una temperatura elevada del proceso.
- Suceso que se produce: Temperatura elevada del proceso.
- Suceso no permitido: Fallo del sistema de alimentación de electricidad., fallo del botón de alarma y fallo de la instalación eléctrica.
- Límites físicos: No se consideran los componentes aguas arriba y aguas abajo del proceso.
- Configuración del sistema: Válvula abierta, válvula de suministro de agua cerrada.
- Nivel de resolución: Equipo descrito.

Una vez descrito el sistema y sus condiciones se puede desarrollar el FTA. Se empieza con el top event y se procede nivel a nivel hasta que todos los fallos tengan sus causas básicas. Para empezar, hay que determinar las causas inmediatas, necesarias y suficientes del top event e identificar las puertas lógicas que definen la relación de estas causas con el top event. A partir de la descripción del sistema, se pueden identificar dos condiciones necesarias para que se produzca el top event cuando la temperatura es elevada del reactor:

- a) No hay flujo del sistema de inundado de agua.
- b) La válvula del reactor permanece abierta.



Debido a que ambos sucesos se tienen que producir a la vez para que se produzca el top event, se requiere una puerta AND.

Se continúa por el siguiente nivel, que es desarrollar cada fault event a través de la determinación de sus causas inmediatas, necesarias y suficientes. Para el suceso “no hay flujo del sistema de aspersión de agua” hay dos posibles causas:

- a) Pérdida de abastecimiento de agua.
- b) No se abre la válvula de sistema de inundado.

Ya que ambas causas provocan que no haya flujo, se añaden al árbol de fallos con una puerta OR. Se continúa hasta que todos los sucesos tienen sus causas o hasta que se alcanza el límite físico del sistema. Se finaliza el árbol de fallos.

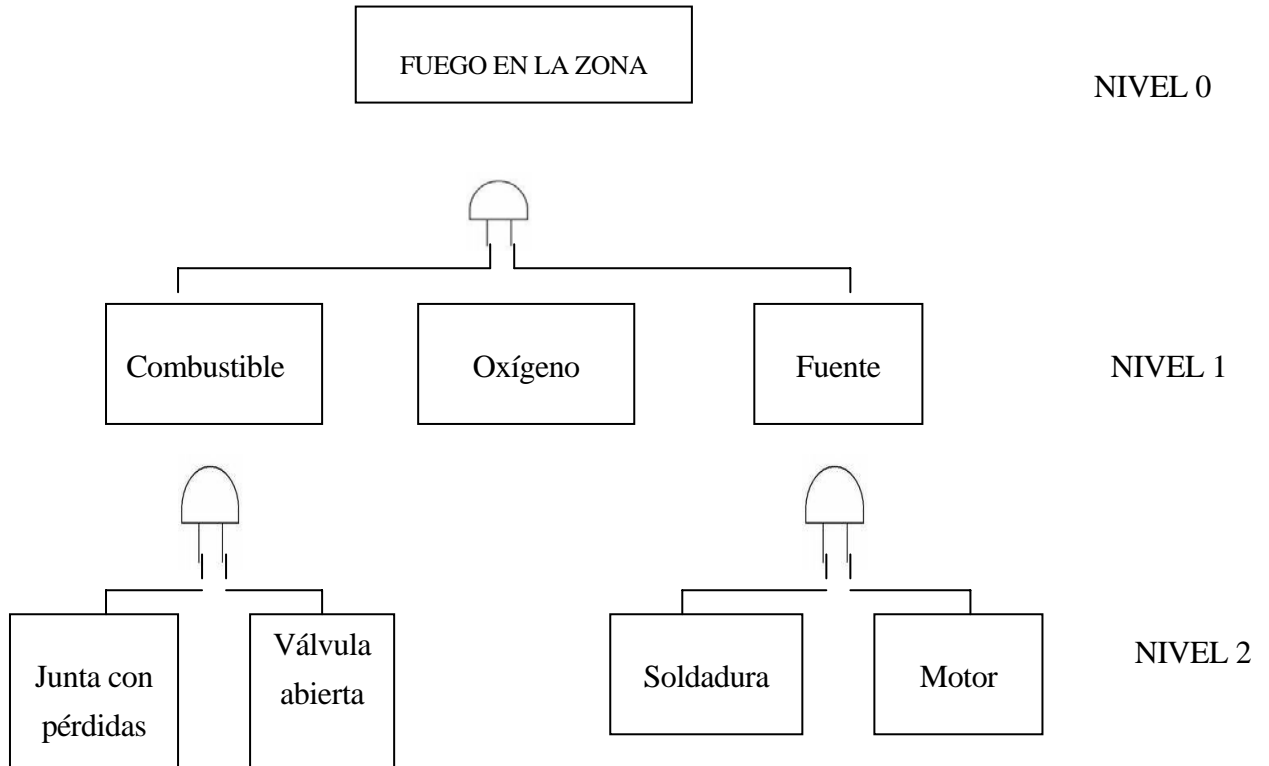
El siguiente paso es determinar la lista de las secuencias mínimas de fallos que pueden provocar el top event y hacer una clasificación de la misma para favorecer la identificación de la importancia de los fallos.

D) Ejemplo de cómo documentar los resultados obtenidos:

Sus resultados consisten en diagramas de árboles de fallos que muestran las causas o secuencias de fallos que pueden originar un determinado accidente.



Ejemplo de diagrama de árbol de fallos de un proceso:



ETA:

A) Equipo necesario:

Una sola persona con conocimiento detallado del proceso o sistema a estudiar puede realizar el estudio, pero es recomendable que lo realice un equipo de entre 2-4 personas para aprovechar el enfoque del brainstorming y revisar los modelos de árbol obtenidos. Dicho equipo debe tener un líder con conocimiento en la técnica ETA y un equipo técnico con experiencia en la operación del proceso analizado.

B) Estimación del tiempo necesario:

Se adjunta una estimación del tiempo necesario para utilizar esta técnica:

	Preparación	Construcción del modelo	Evaluación	Documentación
Sistema sencillo	1-2 días	1-3 días	1-2 días	3-5 días
Sistema complejo	4-6 días	1-2 semanas	1-2 semanas	3-5 semanas

C) Explicación esquemática de cómo aplicarla:

El estudio sigue la siguiente secuencia: accidente → sucesos no deseados → consecuencias e impactos.

Una vez definido el alcance, hay que seguir los siguientes pasos:

- Identificar el suceso iniciador.
- Identificar las funciones de seguridad diseñadas para reducir el suceso iniciador.
- Construir el árbol de sucesos.
- Describir las consecuencias de la secuencia de accidentes.
- Determinar la secuencia mínima de fallos para que se produzca el accidente.

Para tener una idea más clara de ese proceso, se adjunta un **ejemplo real de aplicación**:

Se define como suceso iniciador la pérdida de agua de refrigeración en un reactor de oxidación.

Se establecen las siguientes funciones de seguridad que responden a este suceso iniciador:

- a) La alarma de temperatura elevada del reactor alerta al operador cuando se alcanza la temperatura T1 y este reestablece el flujo de agua de refrigeración en el reactor.
- b) El sistema de cierre automático para la reacción cuando se alcanza la temperatura T2.

Estas funciones de seguridad se han ordenado por el orden en que ocurren. El sistema de alarma y cierre tienen su propio sensor de temperatura, y la alarma de temperatura es la única alarma que



alerta al operador del problema.

La primera función de seguridad (alarma de temperatura elevada) afecta al desarrollo del accidente porque alerta al operador (si funciona correctamente). Por tanto, una rama (A) se asigna a la primera función de seguridad. Debido a que es posible que el operador no reaccione a la alarma de alta temperatura, se establece una nueva rama (B) para la segunda función de seguridad (reacción del operador). Debido a que el operador no puede reaccionar al suceso iniciador si la alarma de temperatura elevada no funciona, no se incluye ninguna rama de la segunda función de seguridad en el camino desde la primera. La tercera función de seguridad (C) se necesitará si fallan las dos primeras.

Se examinarán el éxito y fallo de cada secuencia resultante y se proporcionará una descripción exacta de las consecuencias esperadas.

Una vez que se ha descrito la secuencia, se puede hacer una clasificación de los accidentes en base al número y tipo de fallos y/o severidad de sus consecuencias.

D) Ejemplo de cómo documentar los resultados obtenidos:

Los resultados son una serie de diagramas de árbol de sucesos que describen las consecuencias de un determinado accidente, pudiendo incluir una lista con la secuencia mínima de fallos que provocan el mismo.



HRA:

A) Equipo necesario:

El tamaño del equipo depende del alcance del análisis, normalmente uno o dos miembros con experiencia en el factor humano pueden realizar el estudio, los cuales deben estar familiarizados con las técnicas de entrevista, tener acceso al personal de la planta y conocer la respuesta del sistema ante los posibles errores humanos.

B) Estimación del tiempo necesario:

Se adjunta una estimación del tiempo necesario para utilizar esta técnica:

	Preparación	Construcción del modelo	Evaluación	Documentación
Sistema sencillo	4-8 horas	1-3 días	1-2 días	3-5 días
Sistema complejo	1-3 días	1-2 semanas	1-2 semanas	1-3 semanas

Como media, en una hora se puede realizar el análisis de una actividad sencilla asociada al proceso.

C) Explicación esquemática de cómo aplicarla:

Una vez definido el alcance, hay que seguir los siguientes pasos:

- Describir las características del personal, el ambiente de trabajo y las tareas realizadas: las fuentes de información con descripciones escritas y gráficas de los ambientes de trabajo, procedimientos de operación, información sobre los empleados (educación, lengua), entrevistas con los operadores.
- Evaluar la interfaz hombre-máquina.
- Realizar un análisis de tareas de las funciones del operador.
- Realizar un análisis del error humano de las funciones del operador.

Para tener una idea más clara de ese proceso, se adjunta un **ejemplo real de aplicación**:

Un operador de una sala de control opera un sistema de cierre manual de emergencia. Si una de las cinco alarmas se enciende, el operador debe encender el sistema de cierre de emergencia. Un análisis de la fiabilidad humana identifica que:

- a) Un ruido excesivo en la sala de control aumenta la dificultad de escuchar las alarmas sonoras.
- b) Los indicadores visuales de las alarmas del sistema de cierre de emergencia están situadas en diferentes lugares, haciendo difícil su identificación.



- c) El interruptor del sistema de emergencia está en un lugar protegido para prevenir operaciones involuntarias, pero esto provoca que su localización y operación sean difíciles.
- d) El interruptor del sistema de emergencia no tiene un indicador que informe al operador de que el sistema se ha iniciado correctamente.

A continuación, se dividen las funciones del operador del sistema en las siguientes tareas:

- a) Reconocer la alarma.
- b) Identificar el tipo de alarma.
- c) Recordar la acción correctiva apropiada.
- d) Localizar el interruptor del cierre de emergencia.
- e) Operar el interruptor del cierre de emergencia.

El análisis de las tareas, gracias al conocimiento de las operaciones y condiciones de la sala de control, permite la identificación de las siguientes situaciones de posible error:

- *Instrumentación no válida*: el personal de mantenimiento ha cambiado de lugar instrumentos sin notificarlo a los operadores.
- *Discrepancias con las prácticas*: aunque los procedimientos escritos dicen que se encienda inmediatamente el sistema de cierre, las prácticas de operación recomiendan hacer un último esfuerzo por controlar el proceso antes de iniciar el sistema de cierre.
- *Distribución pobre*: el tablero de control se ha expandido por las recientes modificaciones y los controles se han puesto donde había espacio disponible, no siempre en su localización más lógica o ergonómica.

Se genera un árbol de sucesos y una secuencia de accidente. Por ejemplo, si se da el caso de que la alarma funciona, el operador detecta e identifica la alarma, el operador intenta iniciar la acción correctiva, pero falla al localizar u operar el interruptor al no ser capaz de localizar el interruptor adecuado

D) Ejemplo de cómo documentar los resultados obtenidos:

Los resultados son diagramas, en forma de árbol de sucesos, que muestran las secuencias de posibles errores humanos que pueden provocar accidentes.



CCA:

A) Equipo necesario:

Es aconsejable que esta técnica sea aplicada por un equipo pequeño de entre 2-4 personas, de las que es conveniente que el líder tenga experiencia con esta técnica o con FTA y ETA y el equipo técnico tenga experiencia en el diseño y operación de los sistemas analizados.

B) Estimación del tiempo necesario:

Se adjunta una estimación del tiempo necesario para utilizar esta técnica:

	Preparación	Construcción del modelo	Evaluación	Documentación
Sistema sencillo	1-2 días	1-3 días	1-3 días	3-5 días
Sistema complejo	4-6 días	1-2 semanas	1-2 semanas	3-5 semanas

C) Explicación esquemática de cómo aplicarla:

Una vez definido el alcance, hay que seguir los siguientes pasos:

- Seleccionar un suceso o situación de accidente a evaluar: los sucesos se pueden definir como top event (como FTA) y como suceso iniciador (como ETA).
- Identificar las funciones de seguridad que pueden influir sobre el desarrollo del suceso que conduce al accidente.
- Desarrollar los caminos que pueden llevar del suceso al accidente.
- Desarrollar el suceso iniciador y el fallo de la función de seguridad para determinar sus causas.
- Evaluar la secuencia mínima que provoca el accidente.

Para tener una idea más clara de ese proceso, se adjunta un **ejemplo real de aplicación**:

Se define la pérdida de agua de refrigeración en un reactor de oxidación como un suceso iniciador. Se establecen las siguientes funciones de seguridad para a este suceso iniciador:

- a) La alarma de temperatura elevada del reactor alerta al operador cuando se alcanza la temperatura T1.
- b) El operador reestablece el flujo de agua de refrigeración en el reactor.
- c) El sistema de cierre automático para la reacción cuando se alcanza la temperatura T2.

Estas funciones de seguridad se han ordenado por el orden en que funcionan. El sistema de alarma y el de cierre tienen cada uno su propio sensor de temperatura, y la alarma de temperatura es la única alarma que alerta al operador del problema.



El FTA asociado con cada rama de operación es:

- Condición no segura, reacción fuera de control. Operador no alertado del problema.
- Condición no segura, reacción fuera de control. Operador alertado del problema.

Para cada una de estas dos secuencias de accidente, se determinan las secuencias mínimas para entender la relación entre las causas y los efectos.

D) Ejemplo de cómo documentar los resultados obtenidos.

Los resultados son diagramas que muestran la relación entre las causas y los efectos o consecuencias de un determinado accidente.





C. Guía gráfica para seleccionar y aplicar técnicas PHA

C.1. Introducción

Es importante destacar que la gran mayoría de gráficos y tablas que aparecen en esta guía, han sido construidos a partir de la información aparecida en la bibliografía de la memoria. Por otro lado, se adjunta la fuente de todas las figuras y tablas que han sido extraídas y reproducidas de forma íntegra.

Los objetivos de la presente guía son:

- a) Estandarizar y facilitar el proceso de selección de la técnica PHA más adecuada para estudiar los diferentes sistemas de la industria química de procesos y nuclear, a través del desarrollo de un modelo gráfico más visual que el desarrollado en la memoria.
- b) Estandarizar la forma de realizar los estudios PHA y asegurar la calidad de los mismos, a través del desarrollo de un modelo gráfico de sistema de gestión.
- c) Describir las especificaciones del sistema de gestión de estudios PHA para cada una de las técnicas.

En función del papel y de los conocimientos técnicos que tiene cada individuo dentro de un estudio PHA, se recomienda leer todos los apartados de la presente guía o centrarse en la comprensión y asimilación de ciertos apartados que tienen una mayor relación y aplicación con la tarea realizada. A continuación se adjunta una tabla que especifica los usuarios de la guía.

ROL	APARTADOS DE INTERÉS	COMENTARIOS
Jefe de estudio: Responsable seguridad de instalación industrial/Jefe de proyecto/Consultor empresa especializada estudios PHA	Todos los apartados.	Muy importante el proceso de selección técnica.
Líder de equipo PHA	Todos los apartados, en menor medida la selección de técnica.	Como complemento a estos apartados de la memoria.
Miembros de un equipo PHA	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas PHA. • Sistema de gestión estudios PHA. • Aplicación de las técnicas. 	Como complemento a estos apartados de la memoria.
Operarios que pueden colaborar de forma puntual para realizar un estudio PHA.	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas PHA. • Sistema de gestión estudios PHA. 	Conocimiento técnico nulo y conocimiento sobre estudios y técnicas PHA escaso.

Tabla C.1.1. Posibles usuarios de la guía



C.2. Técnicas PHA utilizadas

NOMBRE GENERAL	TRADUCCIÓN AL CASTELLANO
PrHA (Preliminary Hazard Analysis)	Análisis preliminar del peligro
What-if analysis	Análisis que pasaría si
Checklist	Lista de revisión o chequeo
Relative ranking	Clasificación relativa de peligros
Safety Review	Revisión de seguridad
What-if/checklist analysis	Análisis que pasaría si/ lista de chequeo
FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)	Análisis de modos de fallo y sus efectos
HAZOP (HAZard and OPerability analysis)	Análisis de peligros y operabilidad
FTA (Fault Tree Analysis)	Análisis de árboles de fallo
ETA (Event Tree Analysis)	Análisis de árboles de sucesos
HRA (Human Reliability Analysis)	Análisis de fiabilidad humana
CCA (Cause and Consequence Analysis)	Análisis de causa-consecuencia

Tabla C.2.1. Técnicas PHA sobre las que versa la guía



Técnica PHA	Resultados	Especializada en	Principales industrias donde se aplica	Identifica problemas originados por fallos
PrHA	Cualitativos	Procesos/sistemas	IQP	Individuales
What-if	Cualitativos	Procesos/sistemas	IQP	Individuales
Checklist	Cualitativos	Procesos/sistemas	Cualquiera	Individuales
Safety Review	Cualitativos	Procesos/sistemas	Nuclear Petrolera	Individuales
Relative Ranking	Cuantitativos	Procesos/sistemas	IQP	Individuales
What-if/checklist	Cualitativos	Procesos/sistemas	IQP Cualquiera	Individuales
FMEA	Cualitativos	Equipo Eléctrico/ Mecánico	Nuclear	Individuales
HAZOP	Cualitativos	Procesos/sistemas	Nuclear Petrolera	Individuales
FTA	Cualitativo/ cuantitativos	Sistemas de alarma	Nuclear	Múltiples
ETA	Cualitativo/ cuantitativos	Sistemas de alarma	Nuclear	Múltiples
HRA	Semi- cualitativos	Interacción humana	Cualquiera con operaciones manuales	Múltiples
CCA	Cualitativo/ cuantitativo	Sistemas sencillos	Nuclear	Múltiples

IQP= Industria química de procesos.

Tabla C.2.2. Cuadro comparativo de las técnicas PHA



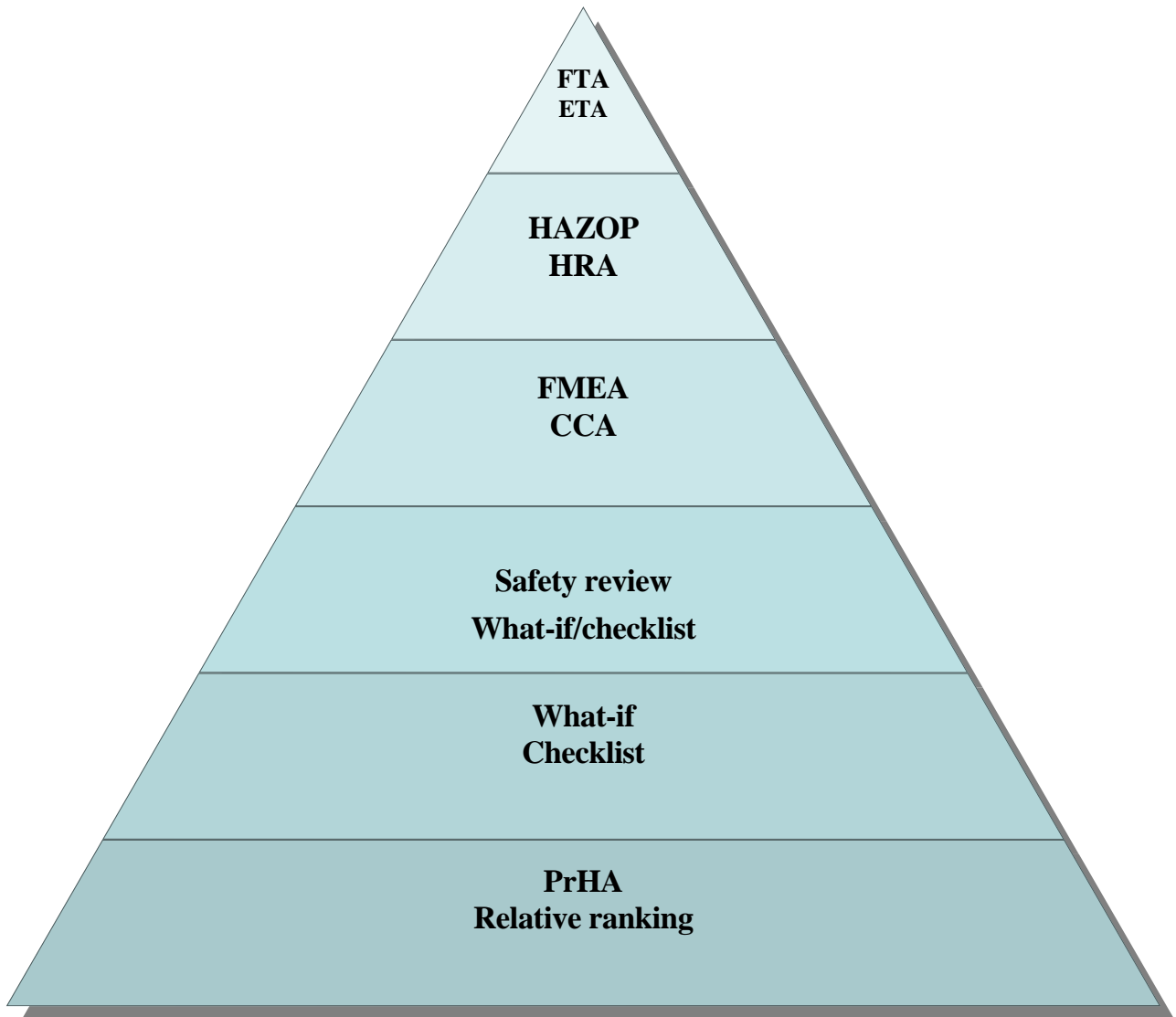


Gráfico C.1. Nivel de complejidad de los sistemas donde se aplican las técnicas PHA



C.3. Estudios PHA

C.3.1. Peligros y consecuencias con los que se utilizan las técnicas PHA

Principales peligros que pueden identificar los estudios PHA	Consecuencias que suelen considerar los estudios PHA
<ul style="list-style-type: none"> • Fuego (incendios, flash FIRE, bola de fuego, etc.). 	<p>Impacto humano:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Daños a las personas fuera de la instalación (público). • Daños a la salud y seguridad de los trabajadores de la instalación.
<ul style="list-style-type: none"> • Explosión (BLEVE, runaways, etc.). 	
<ul style="list-style-type: none"> • Fuga o escape tóxico de sustancias nocivas 	<p>Impacto medioambiental:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contaminación exterior (aire, agua, suelo). • Contaminación interior (aire, agua, suelo).
<ul style="list-style-type: none"> • Reactividad de sustancias. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Peligros asociados a las características de las sustancias presentes en el proceso: <ul style="list-style-type: none"> - Materias primas. - Productos intermedios. - Productos finales. - Subproductos. - Aditivos. - Catalizadores. - Corrientes de desecho. 	<p>Impacto económico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Daño a la propiedad (patrimonio). • Pérdida de inventario. • Parada de producción. • Responsabilidad legal.
<ul style="list-style-type: none"> • Peligros asociados al material, equipo y sus condiciones de operación: <ul style="list-style-type: none"> - Altas presiones y/o temperaturas. - Superficies calientes. - Materiales criogénicos. - Alta energía cinética. - Alto voltaje / electricidad estática. 	

Tabla C.3.1. Peligros y consecuencias que consideran los estudios PHA



C.3.2. Importancia de entender la secuencia de un accidente

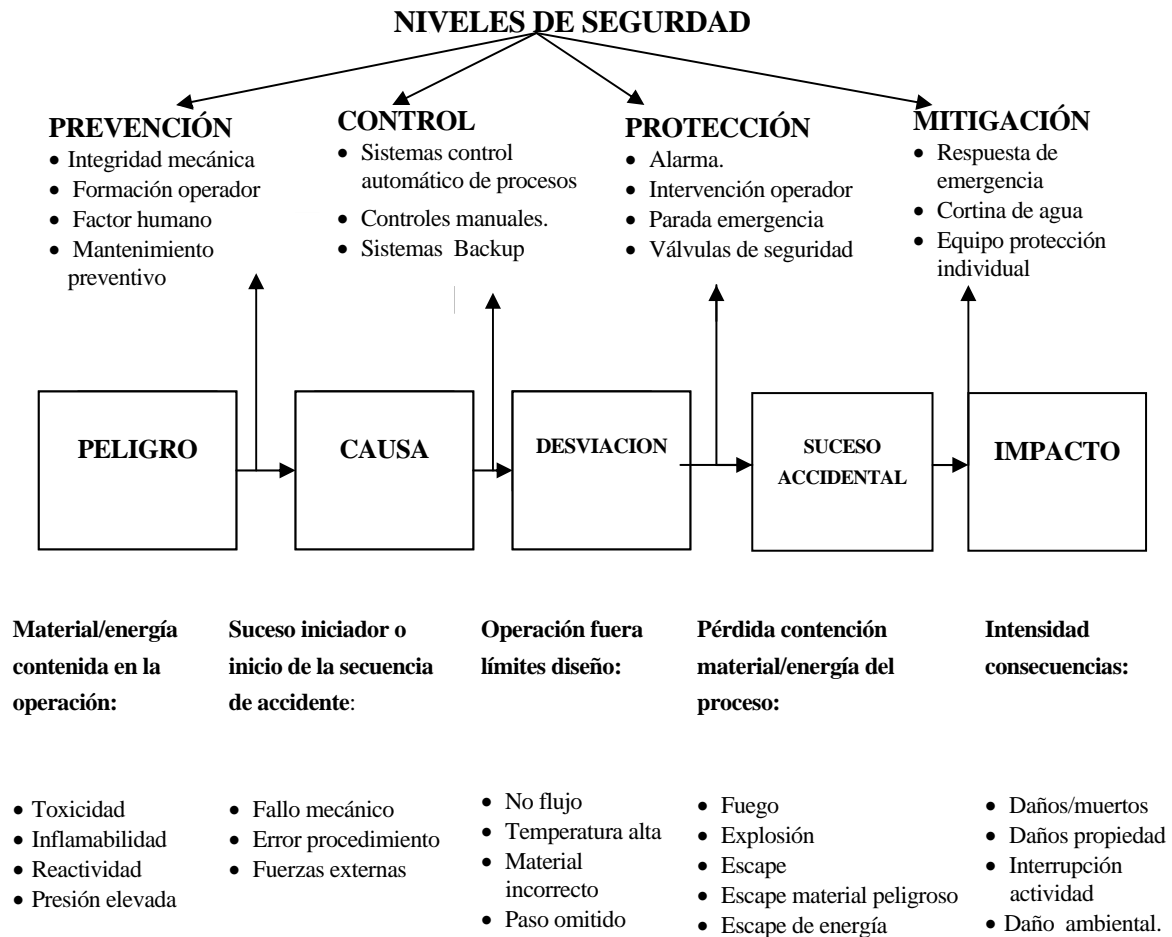


Gráfico C.2. Secuencia de un accidente

Fuente: DOE-HDBK-1100-2004, Washington, 1996.



C.3.3. Importancia de realizar estudios PHA durante todo ciclo de vida

C.3.3.1. Modelo de ciclo de vida utilizado

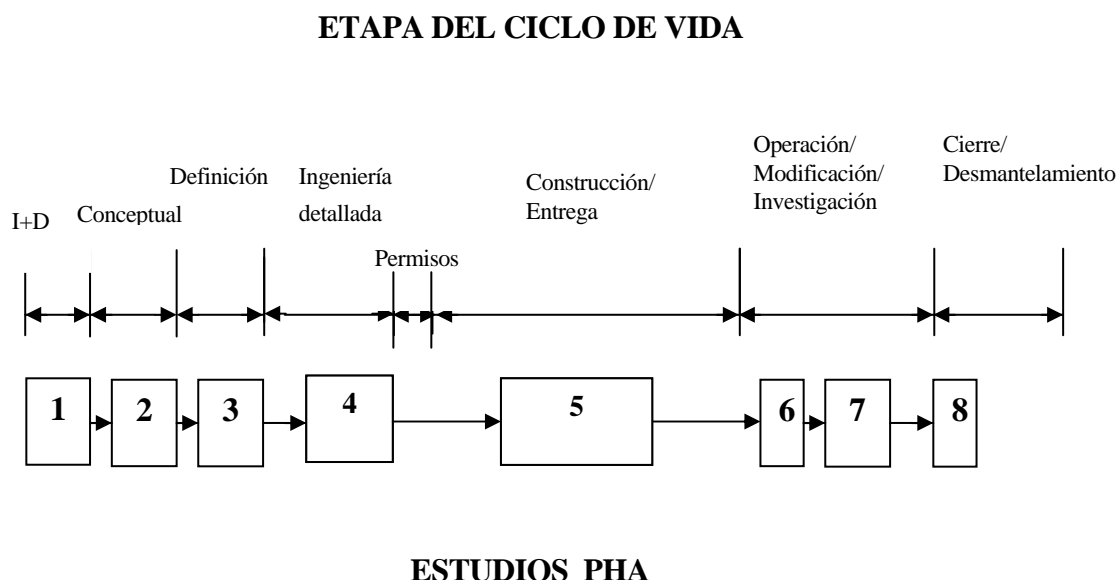


Gráfico C.3. Modelo de ciclo de vida utilizado

ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DEL MODELO ANTERIOR
1. Investigación y desarrollo del proyecto.
2. Diseño conceptual del proyecto.
3. Ingeniería básica o definición del diseño del proyecto/operación de la planta piloto.
4. Ingeniería detallada del proyecto.
5. Obtención del equipo y de los permisos para la construcción del proyecto.
6. Construcción y puesta en funcionamiento o entrega del proyecto.
7. Operación rutinaria.
8. Modificación o expansión de la instalación.
9. Investigación de incidentes o accidentes ocurridos en la instalación.
10. Cierre o desmantelamiento de la instalación.

Proyecto: esfuerzo temporal emprendido para crear un proceso o sistema.



C.3.3.2. Posibles estudios PHA que se pueden realizar a lo largo ciclo de vida

ESTUDIO PHA	PROPÓSITO
1. (I+D)	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar las opciones de diseño. • Identificar las necesidades de información sobre seguridad.
2. Conceptual	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar principios de seguridad inherente. • Seleccionar la opción de diseño. • Definir el programa de estudios PHA necesarios en el futuro.
3. Ingeniería básica	<ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar información para el diseño inicial de sistemas de seguridad. • Desarrollar o definir el diseño del proceso.
4. Ingeniería detallada	<ul style="list-style-type: none"> • Finalizar el diseño de seguridad antes de obtener el equipo. • Identificar y evaluar los peligros y los problemas de operabilidad.
5. Construcción	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que la construcción se ha realizado de acuerdo con el diseño y que todas las acciones de estudios PHA anteriores.
6. Entrega	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer las revisiones periódicas que se tienen que realizar a lo largo del ciclo de vida para garantizar la seguridad de la operación.
7. Operación	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar los cambios introducidos respecto al diseño original. • Análisis de un incidente ocurrido.
8. Cierre	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar las condiciones y características de la actividad de cierre. • Identificar los problemas de seguridad relacionados con esta actividad (centrándose la limpieza y los peligros asociados los materiales de residuo).

Tabla C.3.2. Estudios PHA se pueden hacer a lo largo ciclo de vida



C.3.4. Cuando hay que realizar un estudio PHA

En España y en el resto del mundo, existe legislación que obliga a realizar estudios PHA (mirar apartado 4 de la memoria). Por el nivel de de afectación y de proximidad, destaca la siguiente:

- Real Decreto 1254/1999: Medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- Real Decreto 1196/2003: Modifica el Real Decreto 1254/1999 y explica de una manera más práctica como implementar un sistema de gestión de seguridad.

Los establecimientos en los que estén presentes sustancias peligrosas en cantidades iguales o superiores a las especificadas en la columna 2 de las partes 1 y 2 del Anexo I del RD 1254/1999 tendrán que definir su PPAG (**Política de prevención de accidentes graves**), la cual incluye la realización de estudios PHA para todas las unidades de proceso, transporte, carga, descarga o almacenamiento. A los efectos del presente Real Decreto se entenderá por establecimiento a la totalidad de la zona bajo el control de un industrial en la que se encuentren sustancias peligrosas en una o varias instalaciones, incluidas las infraestructuras o actividades comunes o conexas.

Aparte de lo obligado por la ley, es propiedad del establecimiento interesado el realizar estudio PHA de sus instalaciones, ya que dichos estudios son pieza fundamental para el correcto diseño y operación de las mismas. Para proyectos nuevos (nuevas unidades y/o modificación de existentes), cada compañía establece unos criterios (basados principalmente en la variación de volumen de sustancias peligrosas manejadas, tipo de proyecto y valor de la inversión), que permiten determinar la necesidad de realizar algún estudio PHA.



Para la comprensión de la siguiente tabla, la cual resume los plazos que el RD 1254/1999 establece para entregar los diferentes elementos que requiere, hay que conocer el significado de las siguientes iniciales:

- IS: Informe de seguridad.
- PPAG: Política de prevención de accidentes graves.
- SGS: Sistema de gestión de la seguridad.

	Establecimientos nuevos	Establecimientos existentes no sujetos al RD 886/1988 y RD 952/1990	Los demás establecimientos
Notificación de afectación del RD	Comienzo construcción	Entrada en vigor del RD 1254	A los 6 meses de la entrada en vigor del RD 1254
PPAG	Antes de que se inicie la explotación	A los 3 años a partir de la entrada en vigor del RD 1254	A los 2 años a partir de la entrada en vigor del RD 1254
IS (PPAG + SGS)	Antes del comienzo de su construcción o de su explotación	A los 3 años a partir de la entrada en vigor del RD 1254	A los 2 años a partir de la entrada en vigor del RD 1254
Revisión IS	1. Mínimo cada 5 años 2. Cualquier momento en que sea: <ul style="list-style-type: none"> - Iniciativa del industrial. - Petición de la Autoridad Competente 		
Modificación instalación	No se aplica	Modificación del SGS, del PAU y del IS	

Tabla C.3.3. Plazos de entrega de los elementos que establece el RD 1254/1999



C.4. Factores considerados para la selección de técnicas PHA

<p>Propósito o motivo del estudio:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estudio nuevo. - Revalidación o revisión un estudio existente. - Requerimiento especial (legislación).
<p>Etapa del ciclo de vida del proceso/sistema a estudiar. (Tabla C.4.2)</p>
<p>Tipo de resultados necesarios o buscados: (Tabla C.4.3)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descripción cualitativa de un amplio rango de peligros generales identificados. - Clasificación de los peligros identificados. - Escenarios de accidente, donde se describe de forma cualitativa las causas y consecuencias de los mismos. - Descripción de un determinado escenario de accidente; cálculo de la probabilidad de que suceda y la representación grafica de sus consecuencias y/o causas. - Alternativas para reducir el riesgo y mejorar la seguridad. - Entrada de información para un análisis cuantitativo del riesgo.
<p>Información y documentación técnica necesaria y/o disponible. (Tabla C.4.4 y Tabla C.4.5)</p>
<p>Características del proceso/sistema a estudiar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Complejidad/tamaño. - Tipo de operación: permanente / temporal /continua / discontinua. - Tipo de proceso: químico / mecánico / físico / eléctrico / humano. - Tipos de fallos que se pueden estudiar: fallo individual / fallo múltiple.
<p>Riesgo percibido y experiencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Experiencia en el proceso: corta / prolongada. - Riesgo percibido: alto / medio / bajo.

Tabla C.4.1. Factores considerados para la selección de técnicas



C.4.1. Etapa del ciclo de vida del proceso a estudiar

Este es el factor más importante y determina el origen del proceso de selección. Para cada etapa del ciclo de vida de un proceso/sistema, se elegirá, entre las técnicas más utilizadas en esa etapa, la técnica PHA más adecuada para estudiar un determinado proceso/sistema. La tabla siguiente muestra, para cada una de las etapas del ciclo de vida considerado en este trabajo, las técnicas que se utilizan de forma habitual en la industria química de procesos y nuclear.

	PrHA	What-if	Checklist	Relative Ranking	Safety Review	What-if/checklist	FMEA	HAZOP	FTA	ETA	HRA	CCA
I+D												
Diseño conceptual												
Ingeniería básica												
Ingeniería detallada												
Construcción												
Operación												
Modificación												
Investigación												
Cierre												

Tabla C.4.2. Técnicas PHA más utilizadas en cada etapa ciclo de vida



C.4.2. Resultados buscados y generados

Las técnicas PHA pueden producir diferentes resultados o dar información sobre determinados aspectos. Por ello hay que comparar los resultados que marca el objetivo del estudio con los que pueden producir las diferentes técnicas PHA candidatas.

Técnica PHA	Resultados	Información escenario accidente	Proporciona recomendaciones	Resultados se usan para estudio cuantitativo	Frecuencia accidentes	Consecuencias accidentes	Clasificación peligros
PrHA	Cualitativos	NO	SI	NO	NO	SI*	SI
What-if	Cualitativos	NO	SI	NO	NO	SI*	NO
Checklist	Cualitativos	NO	NO normalmente	NO	NO	NO	NO
Safety Review	Cualitativos	NO	SI	NO	NO	NO	NO
Relative ranking	Cuantitativo	NO	NO normalmente	NO	NO	SI*	SI consecuencia
What-if/ checklist	Cualitativos	NO	SI	NO	NO	SI*	NO
FMEA	Cualitativos	SI	SI	SI	SI*	SI*	NO
HAZOP	Cualitativos	SI	SI	SI	SI*	SI*	NO
FTA	Cualitativo/ cuantitativo	SI	No normalmente	SI	SI **	NO	SI frecuencia
ETA	Cualitativo/ cuantitativo	SI	SI	SI	SI****	SI	SI
HRA	Semi- cualitativos	SI	NO normalmente	SI	SI****	NO	SI frecuencia
CCA	Cualitativo/ cuantitativo	SI	NO	SI	SI****	SI+	SI

Tabla C.4.3. Resultados que pueden proporcionar las técnicas PHA

Fuente: CCPS. *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures-Second Edition*, New York, 1992.



A continuación se adjunta la explicación de las referencias de la tabla anterior:

* = de forma cualitativa.

** = basándose en el tamaño y número de secuencias mínimas.

*** = basándose en el número de escenarios de accidente y en el número de fallos.

**** = basándose en el número y tamaño de escenarios de accidente y en el tipo de los errores humanos.

+ = se asignan categorías a las consecuencias de cada escenario.

Como síntesis de la tabla anterior, se especifican los diferentes resultados que pueden generar las técnicas PHA consideradas:

- (1) Descripción cualitativa de un amplio rango de peligros generales identificados.
- (2) Clasificación de los peligros identificados.
- (3) Descripción cualitativa de las causas y/o consecuencias de los peligros identificados.
- (4) Descripción de un determinado escenario de accidente; cálculo de la probabilidad de que suceda y la representación gráfica de sus consecuencias y/o causas.
- (5) Alternativas para reducir el riesgo y mejorar la seguridad.
- (6) Entrada de información para un análisis cuantitativo del riesgo.



C.4.3. Información y documentación técnica necesaria y disponible

Hay que comparar la información técnica disponible del proceso a estudiar con la información técnica que requieren las diferentes técnicas PHA candidatas.

La numerosa información y/o documentación técnica que puede estar disponible para realizar un estudio PHA depende en gran medida de la etapa del ciclo de vida del proceso/sistema a estudiar. (Gráfico C.4 y Tabla C.4.4)

Cada técnica PHA requiere información o documentación específica para su aplicación. (Tabla C.4.5)

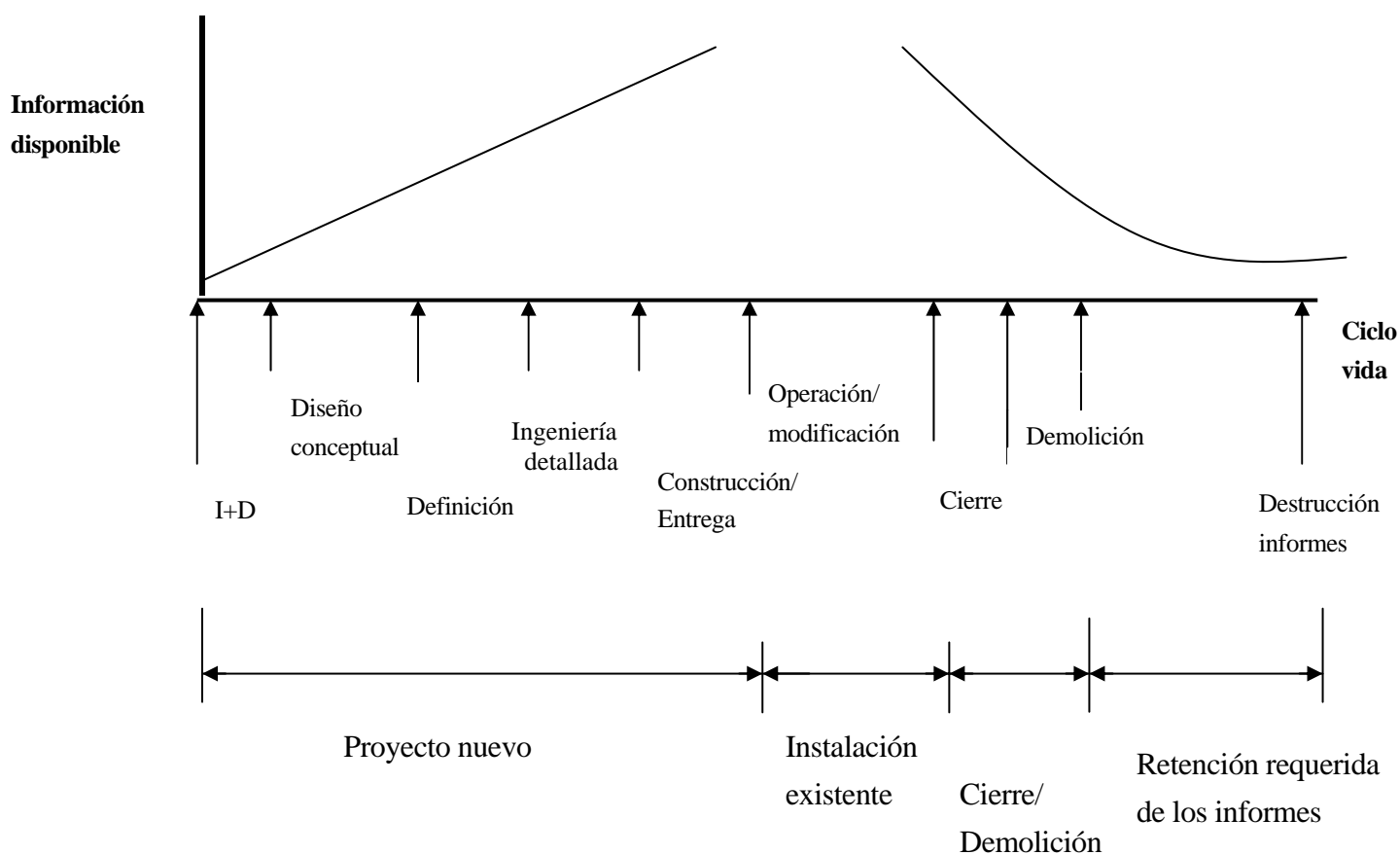


Gráfico C.4. Relación entre la información disponible y ciclo de vida

Fuente: Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety, AIChE/CCPS, Nueva York, 1988.



Existe información específica que normalmente está disponible a partir de ciertas etapas del ciclo de vida o que se requiere para etapas concretas del mismo:

ETAPA DEL CICLO DE VIDA	INFORMACIÓN DISPONIBLE
Diseño conceptual	<ul style="list-style-type: none"> • Diagramas de flujo iniciales. • Bases para el diseño del equipo. • Bases para el diseño del sistema de control y emergencia. • Plot plans iniciales con la ubicación de la instalación. • Información sobre la química del proceso.
Ingeniería básica	<ul style="list-style-type: none"> • MSDSs. • Diagramas de flujos del proceso. • Balances de energía. • P&IDs iniciales. • Especificaciones sobre el equipo.
Ingeniería detallada	<ul style="list-style-type: none"> • P&IDs finales. • Plot plans definitivos. • Planos sobre la construcción.
Cierre o desmantelamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos del proceso. • Límites de exposición y de escape de los vertidos peligrosos. • Impactos potenciales sobre las unidades adyacentes.

Tabla C.4.4. Información específica de ciertas etapas ciclo de vida



	PrHA	What-if	Checklist	Relative Ranking	Safety Review	What-if/checklist	FMEA	HAZOP	FTA	ETA	HRA	CCA
Motivos, alcance y objetivos del estudio	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Lista de nodos o subsistemas del proceso	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Descripción esquemática del proceso	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Emplazamiento de la instalación (plot plan)	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Información de códigos, estándares y prácticas	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Fichas de datos de seguridad de las sustancias (MSDSs)	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Hojas de chequeo de peligros	█			█	█			█				
Planos de implantación o distribución del equipo	█			█	█	█	█	█	█	█	█	█
Diagramas de bloques del proceso	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Diagramas de flujos del proceso (PFDs)	█	█	█		█	█	█	█	█	█	█	█
Información inventarios de sustancias	█			█				█				
Balances de materia y energía	█	█	█		█	█	█	█	█	█	█	█
Procedimientos de operación	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Diagramas de tuberías e instrumentación (P&IDs)					█			█	█	█		
Matriz de causas / efectos								█	█	█		
Hojas de datos del proceso					█	█	█	█				
Descripción de los distintos modos de fallo del equipo					█		█	█	█	█	█	█
Información sobre el equipo	█				█	█	█	█	█	█	█	█
Información de los sistemas de protección y alarma					█	█	█	█	█	█	█	█
Información detallada del sistema control operacional							█	█	█	█	█	
Listado de fuentes de escape						█		█				
Plano de clasificación de áreas				█		█		█				
Información servicios auxiliares								█				



Información sobre incidentes previos		■	■		■	■	■	■		■	
Información mantenimiento					■			■		■	
Bases datos de probabilidades de fiabilidad del equipo: PFD (Probability of failure on demand) FDT (Fraccional dead time)				■				■	■	■	■
Bases de datos de probabilidades de las acciones humanas								■	■	■	■
Procedimientos de emergencia.	■				■			■	■	■	■
Entrevistas con personal		■			■	■				■	

Tabla C.4.5. Información requerida por cada técnica

Técnica PHA	Cantidad de información que requiere
PrHA	1
What-if	1
Checklist	1*
Safety Review	2
Relative Ranking	1*
What-if/checklist	2
FMEA	3
HAZOP	3
FTA	4
ETA	4
HRA	4
CCA	3

La escala que mide la cantidad de información es comparativa y oscila entre 1-4:

- 1: Mínima (*depende en gran medida del método utilizado y/o el proceso a estudiar).
- 2: Escasa.
- 3: Moderada.
- 4: Elevada.



Tabla C.4.6. Cantidad de información necesita cada técnica

C.5. Método para seleccionar técnicas PHA

En este apartado se propone un modelo gráfico que facilita el proceso de selección de técnicas PHA. Se basa en un conjunto de tablas, una para cada etapa o conjunto de etapas del ciclo de vida del proceso a estudiar, que especifican los siguientes puntos para cada una de las técnicas PHA que recomiendan utilizar:

1. Los resultados que pueden generar, los cuales están directamente relacionados con los resultados necesitados o buscados en cada una de las etapas del ciclo de vida. Se utilizan números que hacen referencia a la síntesis del apartado B.4.2.
2. La información característica que requiere su aplicación.
3. Características o especificaciones de la técnica y de los procesos en los que se recomienda su aplicación.



Investigación y desarrollo- Diseño conceptual				
Se recomienda utilizar técnicas que puedan identificar una gran variedad de peligros generales asociados a un proceso				
Técnicas que normalmente se aplican: (Tabla C.4.2)				
I+D: PrHA, relative ranking what-if, Diseño conceptual: PrHA, relative ranking what-if, checklist				
Técnicas recomendadas	PrHA (Ambas)	Relative ranking (Ambas)	What-if (Ambas)	Checklist (Conceptual)
Resultados buscados (Tabla C.4.3)	Cuando se necesita (1), (3) y/o (5)	Cuando se necesita (1) y/o (2)	Cuando se necesita (1), (3) y/o (5)	Cuando se necesita (1)
Información requerida (Tabla C.4.5)	No requiere experiencia en la operación.	Depende del método de clasificación de riesgos utilizada.	No requiere experiencia en la operación.	<ul style="list-style-type: none"> • Varía mucho en función del proceso a estudiar. • Requiere experiencia en la operación del proceso o en procesos similares.
Especificaciones de de la técnica	<ul style="list-style-type: none"> • Identifica los principales peligros y hace una clasificación cualitativa de los mismos. • Se suele aplicar en procesos con operación continua. • Identifica accidentes o peligros provocados por fallos individuales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realiza una clasificación de las zonas de proceso o de las operaciones del mismo en función del nivel de peligrosidad. • Se suele aplicar en procesos con operación continua. • Identifica accidentes o peligros provocados por fallos individuales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identifica peligros generales y comunes. • Se suele utilizar cuando el riesgo percibido es bajo. • Se puede aplicar en procesos con operación continua y discontinua. • Identifica accidentes o peligros provocados por fallos individuales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verifica el estado de un proyecto. • Se suele utilizar cuando el riesgo percibido es bajo. • Se suele aplicar en procesos con operación continua. • Identifica accidentes o peligros provocados por fallos individuales.

Ingeniería básica- ingeniería detallada

Se recomienda utilizar técnicas que puedan identificar de forma precisa los peligros de seguridad y operación y evaluar los peligros específicos que han catalogados como importantes en las etapas anteriores.

Técnicas que normalmente se aplican: (Tabla C.4.2)

Básica: **PrHA, what-if/checklist**

Detallada: **What-if/checklist, HAZOP, FMEA, ETA, FTA**

Técnicas recomendadas	What-if/checklist (Ambas)	HAZOP (Ingeniería detallada)	FMEA (Ingeniería detallada)	FTA, ETA (Ingeniería detallada)
Resultados buscados (Tabla C.4.3)	Quando se necesita (1), (3) y/o (5)	Quando se necesita (1), (3), (5) y/o (6)	Quando se necesita (1), (3), (5) y/o (6)	Quando se necesita ETA (4), (5) y/o (6). FTA (4) y/o (6)
Información requerida (Tabla C.4.5)	Experiencia en la operación del proceso para la checklist.	Muy importante disponer de los P&IDs del proceso.	Requiere información de los modos de operación del equipo.	Requiere información de las medidas de seguridad, fiabilidad de los equipos.
Especificaciones de la técnica	<ul style="list-style-type: none"> • Identifica y examina gran variedad de problemas con un riesgo percibido medio. • Puede identificar peligros más específicos por el uso conjunto de ambas técnicas. • Se puede aplicar en procesos con operación continua y discontinua. • Identifica accidentes o peligros provocados por fallos individuales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identifica gran variedad de peligros y problemas de operación de sistemas o procesos. • Se puede aplicar en procesos con operación continua y discontinua. • Identifica accidentes o peligros provocados por fallos individuales. • Se suele utilizar cuando el riesgo percibido es alto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identifica gran variedad de peligros y modos de fallo de componentes y/o equipo mecánico, electrónico. • Identifica peligros provocados por fallos individuales. • Se suele aplicar en procesos con operación continua. 	<p>FTA: determina de forma gráfica las causas, con sus probabilidades, de un determinado suceso peligroso. Se puede usar para operación continua/discontinua.</p> <p>ETA: determina de forma gráfica la secuencia de sucesos, con sus probabilidades, originados por un escenario de accidente. Sólo se usa para operación continua.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identifican accidentes provocados por fallos múltiples. • Se usan en sistemas muy instrumentados.

Operación rutinaria

El objetivo principal es realizar estudios periódicos para identificar y evaluar los peligros nuevos que surgen debido a la operación continuada del proceso. Por ello se aconseja la utilización de técnicas optimizadas para procesos en operación.

Técnicas que normalmente se aplican: (Tabla C.4.2)

Técnicas recomendadas	Checklist	Safety review	HAZOP, FMEA	ETA, FTA, HRA
Resultados buscados (Tabla C.4.3)	Cuando se necesita (1)	Cuando se necesita (1) y/o (5)	Cuando se necesita (1), (3), (5) y/o (6)	Cuando se necesita ETA (4), (5) y/o (6) HRA, FTA (4) y/o (6)
Información requerida (Tabla C.4.5)	Requiere experiencia en la operación del proceso, normalmente se dispondrá de una checklist que se irá utilizando de forma periódica para verificar el estado de los procedimientos de operación y el equipo.	Requiere información sobre accidentes previos, medidas de seguridad.	Mismos comentarios que los ya aparecidos.	ETA, FTA: Mismos comentarios que los ya aparecidos. HRA: requiere información sobre la actuación humana en la operación del proceso.
Especificaciones de la técnica	Se suele utilizar para examinar peligros muy generales, variados y con un nivel de riesgo percibido no muy elevado.	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede adaptar para revisar o evaluar zonas específicas. • Se puede aplicar en procesos con operación continua. • Identifica accidentes o peligros provocados por fallos individuales. 	<p>HAZOP: identifica peligros y problemas de operación de procesos/sistemas.</p> <p>FMEA: identifica modos de fallo de componentes y/o equipo mecánico, electrónico.</p>	Se usan cuando se quiere evaluar, de forma cuantitativa, algún escenario de accidente que ha sido catalogado como importante en los estudios previos a la operación del proceso.

Introducción de cambios				
Se realizan evaluaciones de las modificaciones o mejoras del diseño original del proceso, con el objetivo de no introducir nuevos peligros.				
Técnicas que normalmente se aplican: (Tabla C.4.2)				
Técnicas recomendadas	safety review	What-if/checklist	HAZOP, FMEA	FTA, ETA, HRA, CCA
Resultados buscados (Tabla C.4.3)	Quando se necesita (1) y/o (5)	Quando se necesita (1), (3) y/o (5)	Quando se necesita (1), (3), (5) y/o (6)	Quando se necesita ETA (4), (5) y/o (6) HRA, FTA, CCA (4) y/o (6)
Información requerida (Tabla C.4.5)	Mismos comentarios que los ya aparecidos.	Mismos comentarios que los ya aparecidos.	Mismos comentarios que los ya aparecidos.	HRA: requiere información sobre la actuación humana en la operación del proceso. CCA: requiere información, sobre medidas de seguridad, fiabilidad de los equipos.
Especificaciones de de la técnica	Se puede adaptar para revisar o evaluar zonas específicas.	<ul style="list-style-type: none"> • Se suele utilizar para examinar un amplio rango de posibles peligros causados por las modificaciones introducidas. • Se recomienda utilizarla cuando el riesgo percibido no es muy elevado 	HAZOP: componentes y/o equipo mecánico, electrónico. FMEA: sistemas o procesos.	HRA: evalúa la probabilidad y efectos de los errores humanos asociados a escenarios específicos de accidente. CCA: desarrolla un modelo gráfico que relaciona las causas y efectos de escenarios de accidente cuyos fallos son simples. <ul style="list-style-type: none"> • Se suelen aplicar en procesos con operación continua.

Investigación de accidentes/incidentes

Se recomienda utilizar técnicas que permitan revisar de forma detallada las zonas del proceso que han sufrido algún tipo de accidente/incidente, con el objetivo de identificar el fallo que lo originó y sugerir alternativas que permitan eliminar o reducir el riesgo de que se vuelva a producir dicho accidente.

Técnicas que normalmente se aplican: (Tabla C.4.2)

Técnicas recomendadas	What-if	HAZOP, FMEA	FTA, ETA	CCA, HRA
Resultados buscados (Tabla C.4.3)	Quando se necesita (1), (3) y/o (5)	Quando se necesita (1), (3), (5) y/o (6)	Quando se necesita ETA (4), (5) y/o (6). FTA (4) y/o (6)	Quando se necesita (4) y/o (6)
Información requerida (Tabla C.4.5)	Cobra especial importancia la revisión de los incidentes previos del proceso en cuestión y de los procesos similares. El resto de aspectos son los mismos que los ya aparecidos.			
Especificaciones de de la técnica	Se recomienda cuando las consecuencias del incidente no han sido graves y por ello es suficiente identificar la causa del mismo de un modo general.	HAZOP se recomienda cuando el accidente ha sido provocado por un fallo individual y se quiere identificar su causa entre un gran número de peligros. FMEA se recomienda cuando el accidente ha sido provocado por un fallo individual de un componente o equipo y se quiere identificar todos los modos de fallo que pueden conducir a dicha situación.	FTA y ETA se recomiendan cuando el accidente ha sido provocado por un fallo múltiple.	HRA se recomienda cuando se cree que el accidente se originó por un fallo o error de un operador humano y se quiere calcular la probabilidad de que vuelva a suceder. CCA se recomienda cuando se cree que el accidente ha sido provocado por un fallo múltiple cuya lógica es muy simple y se quiere tener un modelo gráfico que relacione sus causas y efectos.

Construcción-cierre y/o desmantelamiento

Construcción: El objetivo es verificar que la planta se ha construido según lo diseñado y cumpliendo las prácticas de la industria. Por todo ello se recomienda utilizar técnicas que puedan identificar una gama amplia de peligros.

Cierre: Se recomienda utilizar una técnica que pueda examinar una gran variedad de peligros y que se apta para procesos que no estén en operación.

Técnicas que normalmente se aplican: (Tabla C.4.2)

Construcción: **Checklist, safety review.**

Cierre: **what-if/checklist, safety review.**

Técnicas recomendadas	Checklist (Construcción)	What-if/checklist (Cierre)	Safety review (Ambas)
Resultados buscados (Tabla C.4.3)	Cuando se necesita (1)	Cuando se necesita (1), (3) y/o (5)	Cuando se necesita (1) y/o (5)
Información requerida (Tabla C.4.5)	Importante disponer de checklists que se han ido creando a lo largo de la construcción de la planta o disponer de información de algún proceso similar que esté en fase de operación.	Importante disponer de checklists de cierre y/o desmantelamiento de instalaciones con procesos similares al estudiado.	Requiere información sobre informes de incidentes previos.
Especificaciones de de la técnica	Verifica el correcto estado de la construcción para poder empezar la operación.	Identifica los peligros asociados al cierre de la instalación y genera recomendaciones para reducir su impacto.	<ul style="list-style-type: none"> • Identifica las prácticas de construcción inseguras y determina si el proceso está preparado para el examen de puesta en marcha. • Identifica los peligros asociados al cierre de la instalación y genera recomendaciones para reducir su impacto.

C.6. Sistema de gestión de estudios PHA

Una vez definido el método para seleccionar la técnica PHA más apropiada para estudiar un proceso/sistema determinado, hay que aplicarla. Por ello se adjunta un modelo gráfico de sistema de gestión que facilita y asegura la calidad de los estudios PHA, independientemente de la técnica utilizada (en el apartado 7 se dan especificaciones para cada una de ellas). A continuación se enumeran las actividades básicas para realizar un estudio PHA de acuerdo con el sistema de gestión propuesto

1. Preparación previa a la realización del estudio PHA:

- A) Definición del estudio: propósito, alcance y objetivos.
- B) Seleccionar el equipo necesario para realizar el estudio PHA. (Tabla C.6.2)
- C) Seleccionar la técnica PHA después de haber elegido el jefe de estudio y antes de seleccionar al resto de miembros del equipo PHA. (apartado B.5)
- D) Obtener y preparar la información. (Tabla C.6.3)
- E) Planificar el trabajo del estudio.

2. Realización del estudio PHA:

- E) Identificar los peligros y escenarios de accidente asociados al proceso a estudiar:
 - Analizar las propiedades de los materiales y las condiciones del proceso. (Tabla C.6.4)
 - Revisar la experiencia y los accidentes de la industria del proceso. (Tabla C.6.6)
 - Utilizar matrices de interacción. (Tabla C.6.7)
 - Analizar los controles administrativos y de ingeniería.
 - Analizar la ubicación de la instalación.
 - Evaluar el fallo humano.
- F) Evaluar los escenarios de accidente para determinar si hacen falta cambios en el diseño u operación del proceso para mejorar la seguridad. (proceso que depende de la técnica PHA utilizada).

3. Documentar los resultados del estudio PHA:

- G) Documentar la información generada en las sesiones de trabajo.
- H) Realizar el informe final del estudio y distribuirlo a los destinatarios apropiados. (Tabla C.6.9)

4. Hacer un seguimiento de las recomendaciones:

- I) Presentar las recomendaciones de forma justificada y priorizada (clasificación de riesgos).
- J) Desarrollar un sistema de gestión para hacer el seguimiento del estado de las respuestas a las recomendaciones. (Tabla C.6.11)

5. Gestionar los cambios introducidos y evaluar su influencia sobre la validez del estudio PHA. (Tabla C.6.12, Tabla C.6.13 y Tabla C.6.14)

6. Realizar un control de la calidad del estudio PHA. (Tabla C.6.15 y Tabla C.6.16)



C.6.1. Preparación previa

C.6.1.1. Definición del estudio

El primer paso para preparar un estudio PHA es definir su propósito o motivo, alcance y objetivos, los cuales influyen directamente en el contenido y en el tiempo necesario para realizar el mismo. Por todo ello es muy importante que la compañía que encarga el estudio y el equipo que lo realiza, compartan y comprendan las metas o resultados que el estudio tiene que conseguir.

- El **propósito o motivo** del estudio es especificar la razón por la que se realiza (motivos legales, requerimientos de la política de la compañía, requerimiento oficial, etc.).

- El **alcance** especifica los siguientes elementos técnicos sometidos al estudio:
 - Los límites físicos del sistema estudiado.
 - Los modos de operación incluidos.
 - Sucesos externos considerados.
 - Condiciones de operación contempladas.
 - Bases del diseño de ingeniería.
 - Sistemas técnicos y servicios considerados.

- El **objetivo** es normalmente fijado por la compañía que solicita el estudio PHA y especifica los tipos de peligros que se quieren identificar y si es necesario, las situaciones de accidente o riesgo asociadas a los mismos que se tienen que valorar.



C.6.1.2. Equipo necesario

Se recomienda que el grupo esté formado por entre 5-7 personas, aunque el número exacto y la composición del mismo dependen de:

- Los objetivos del estudio.
- La etapa del ciclo de vida del proceso/sistema a estudiar.
- La técnica PHA utilizada.
- El tipo de proceso a estudiar.

Existen figuras comunes a los equipos (Tabla C.6.2) utilizados para aplicar cualquiera de las técnicas PHA (en el apartado 7 se dan orientaciones sobre los equipos necesarios para aplicar cada una de las técnicas).

- Jefe del estudio PHA.
- Líder del estudio PHA.
- Secretario técnico.
- Equipo técnico PHA.
- Otros componentes para que el equipo conozca detalles específicos de temas concretos.

El proceso de contratación del equipo PHA, normalmente sigue los siguientes pasos:

1. Elegir al jefe del estudio:

Suele pertenecer a la compañía que encarga el estudio y su figura puede coincidir con la del jefe de proyecto en las instalaciones nuevas o con la del responsable de seguridad en las instalaciones existentes. Aunque es menos común, también puede pertenecer a una empresa o consultoría especializada en realizar estudios PHA a terceros.

2. Elegir al líder y al secretario técnico:

Se les suele contratar en empresas especializadas en estudios PHA, aunque también pueden pertenecer a la compañía que encarga el estudio. Para estudios sencillos, el líder puede hacer la función de secretario, aunque es más aconsejable que sean dos personas diferentes. El líder es elegido por su conocimiento en la técnica PHA que el jefe de estudio ha considerado más adecuada para el caso a estudiar.

3. Elegir al equipo técnico:

Los elige el jefe del estudio en base a sus conocimientos y/o experiencia sobre el proceso o sistema a estudiar. Normalmente trabajan en la instalación a estudiar.



FIGURA EQUIPO PHA	FUNCIONES
Jefe del estudio PHA	<ul style="list-style-type: none"> • Elegir la técnica PHA más adecuada. • Elegir al líder de equipo. • Elegir el equipo técnico. • Ejecutar el estudio. • Puede asumir funciones del coordinador.
Líder del estudio PHA	<ul style="list-style-type: none"> • Dirigir el estudio. • Establecer un programa para las sesiones de trabajo. • Establecer un plan de trabajo del estudio. • Hacer una estimación de la duración del estudio.
Secretario técnico	<ul style="list-style-type: none"> • Documentar los resultados utilizando el software de seguridad de procesos.
Equipo técnico PHA	<ul style="list-style-type: none"> • Aportar experiencia y conocimiento sobre el proceso/sistema a estudiar. • Suelen ser ingenieros y/ o técnicos de las siguientes especialidades: <ul style="list-style-type: none"> - Procesos. - Operación. - Mantenimiento / proyectos. - Control avanzado / instrumentación. - Seguridad industrial. - Procesos químicos. - Personal con conocimiento en inspecciones. - Personal conocimiento en medioambiente.
Otros componentes	<ul style="list-style-type: none"> • Aportar detalles específicos sobre temas concretos.
coordinador del lugar	<ul style="list-style-type: none"> • Garantizar que las sesiones de trabajo cuentan con el equipamiento y ambiente adecuado.



Tabla C.6.2. Componentes típicos equipo PHA

C.6.1.3. Obtener y preparar la información disponible

Como se ha comentado anteriormente, la información disponible depende de la etapa del ciclo de vida en la que se encuentra el sistema a estudiar, mientras que la información requerida para el estudio depende de la técnica utilizada. A continuación se enumera la información que puede estar disponible para realizar un estudio PHA.

<p>1. Fichas de datos de seguridad de los productos químicos peligrosos manejados en el proceso (a ser posible los contenidos que fija la Directiva 2001/58/CE):</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Consideraciones especiales del diseño por las propiedades peligrosas de las sustancias químicas involucradas.
2. Diagramas de bloques o diagramas básicos de proceso.
3. Diagramas de tuberías e instrumentación (P&IDs).
<p>4. Información detallada acerca del proceso y operación de planta:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Ecuaciones de las reacciones químicas y estequiometría. b) Tipo y naturaleza de los catalizadores usados. c) Información de la reactividad de todos los flujos. d) Información cinética de las reacciones importantes, incluyendo el orden, constantes de equilibrio. e) Información cinética de las reacciones no deseables, como descomposiciones. f) Límites del proceso en términos de presión, temperatura, concentración y las consecuencias de operar por encima de los mismos
5. PFD (diagramas de flujo del proceso).
6. Descripción de los pasos de los procesos o unidades, empezando por el almacenamiento de material y alimentación acabando con la recogida y almacenamiento del producto.
7. Información detallada sobre la lógica de funcionamiento del control operacional y la actuación de los sistemas de bloqueo.
8. Plot plans (planos de la localización de la instalación).
<p>9. Información de los inventarios de sustancias en el proceso:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Límites del proceso en Información de seguridad, salud y medioambiental de las materias primas, intermedias, productos y residuos.
10. Información sobre los límites inferior y superior de los distintos parámetros de operación.
11. Balances de materia y energía.
12. Información acerca de las consecuencias de las desviaciones de los parámetros de operación por encima de los límites de proceso.
13. Planos de implantación y distribución.
<p>14. Información acerca de la distribución de la instalación:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Planos con la clasificación eléctrica de las áreas. b) Planos de la distribución eléctrica.
15. Listado de fuentes de escape/ plano de clasificación de áreas.
16. Listado de equipos potenciales de incendio y equipos que requieren de protección contra incendios



17. Información acerca del equipo de la instalación:
a) Distribución del edificio y del equipo.
b) Clasificación eléctrica del equipo.
c) Formularios de información del equipo mecánico.
d) Catálogos de los equipos.
e) Planos del vendedor y manuales de mantenimiento y operación.
f) Especificaciones de utilidad.
18. Información acerca de los materiales de construcción.
19. Información de los sistemas de ventilación.
20. Información de los sistemas de seguridad: enclavamientos, detección de gases, supresión de explosiones, válvulas de seguridad.
21. Información sobre incidentes y/o incidencia en plantas similares.
22. Procedimientos operativos aplicables a los diferentes modos de operación.
23. Estándares y códigos aplicables.
24. Informes de las revisiones e inspecciones.
25. Procedimientos de mantenimiento.
26. Procedimientos de emergencia.
27. Información meteorológica.
28. Información sobre la distribución de la población
29. Información hidrológica del lugar.
30. Estudios de seguridad previos.
31. Checklist y estándares internos.
32. Políticas de seguridad de la corporación.
33. Experiencia relevante en el tipo de industria en cuestión.

Tabla C.6.3. Información técnica que puede estar disponible

El líder del estudio debe disponer de la información con una antelación de al menos 2 semanas antes del comienzo del estudio.

La información disponible puede requerir una serie de modificaciones para poder ser utilizada en la realización del estudio:

- a)** Para *procesos continuos* el trabajo de preparación es mínimo y por ello el principal esfuerzo consiste en asegurar que la información es exacta y está actualizada.
- b)** Para *procesos discontinuos* el trabajo de preparación es más largo y complejo porque se debe describir el estado de cada una de las fases del proceso.



C.6.1.4. Planificación del trabajo del estudio

El líder debe centrarse en:

- Establecer un programa para las sesiones de trabajo.
- Establecer un plan de trabajo del estudio, el cual está muy influenciado por como es operado el proceso a estudiar:
 - Para *procesos continuos* la secuencia del estudio es directa, el equipo empieza en el principio del proceso y trabaja progresivamente hacia abajo.
 - Para *procesos discontinuos*, la secuencia del estudio debe seguir los pasos del proceso.
- Dividir el proceso en sistemas y subsistemas (nodos), teniendo en cuenta el tipo de proceso, la fase de operación, el detalle y el propósito, alcance y objetivos del estudio.
- Hacer una estimación de la duración del estudio. Ese apartado se desarrolla en el apartado 7.

El jefe del estudio o en su defecto el coordinador de lugar son los encargados de que las sesiones de trabajo y la actividad realizada en ellas sean eficientes y para ello asegurarán los siguientes puntos:

- Establecer la duración de las sesiones y repartir los descansos necesarios de las mismas para mantener a los integrantes del grupo en las mejores condiciones de cara al estudio.
- Garantizar que las condiciones y el equipamiento del lugar del trabajo son las adecuadas para que el equipo pueda realizar su actividad.



C.6.2. Realización del estudio

Una vez que se han establecido los objetivos y el alcance del estudio, se dispone del equipo necesario, se ha seleccionado la técnica PHA más adecuada, se ha obtenido y modificado la información técnica disponible y se ha programado o planificado el trabajo del estudio, ya se puede comenzar la realización del mismo.

La realización de todo estudio PHA, independientemente de la técnica utilizada, incluye los siguientes puntos:

- Identificar los peligros y escenarios de accidente asociados al proceso a estudiar.
- Evaluar los escenarios de accidente y las medidas de seguridad existentes.
- Determinar si hacen falta cambios en el diseño u operación para mejorar la seguridad, en otras palabras, generar recomendaciones de modificación.

Para facilitar y ahorrar tiempo en la realización de un estudio PHA es aconsejable utilizar herramientas informáticas, entre las que destacan:

- Software de seguridad de procesos. (Tabla C.6.8)
- Sistema de gestión documental.



C.6.2.1. Identificación de los peligros asociados a un proceso/sistema

Un requisito previo a la identificación de peligros es definir cuales son las consecuencias no deseadas que se quieren considerar para el caso a analizar. Porque cuanto más precisa sea la definición de las consecuencias, más fácil será identificar los peligros.

A) Análisis de las propiedades de los materiales y las condiciones del proceso:

La información sobre las sustancias químicas utilizadas (Tabla C.6.4) es la base de la identificación de peligros.

<p>Toxicidad grave:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inhalación. • Oral. • Dermis. <p>Toxicidad crónica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inhalación. • Oral. • Dermis. <p>Toxicidad acuática</p>	<p>Reactividad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiales del proceso. • Reacciones descomposición. • Cinética. • Materiales construcción. • Impurezas materias primas • Contaminantes. • Productos descomposición. • Sustancias químicas incompatibles. 	<p>Limites de exposición:</p> <ul style="list-style-type: none"> • TLV /Thershold Limt value). • PEL (Permissible Exposure Level). • STEL (Short Time Exposure Limit). • IDLH (Inmediately Dangerous to Life and Health). • ERPG.
<p>Estabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura. • Polimerización. • Luz. <p>Biodegradabilidad</p> <p>Olor umbral</p>	<p>Explosividad/toxicidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • LEL/LFL. • UEL/UFL. • Parámetros de explosión. • Energía de ignición mínima. • Temperatura de autoignición • .Producción de energía 	<p>Propiedades físicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Punto de congelación. • Coeficiente de expansión. • Punto de ebullición. • Solubilidad. • Presión de vapor. • Densidad o volumen específico. • Corrosividad. • Capacidad calorífica. • Calor específico.

Tabla C.6.4. Propiedades de los materiales útiles para identificación de peligros



Existen muchas fuentes que pueden proporcionar información sobre las propiedades de los materiales. (Tabla C.6.5).

Organización	Ejemplo de información ofrecida
ACS American Chemical Society	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad y salud. • Propiedades de sustancias químicas. • Manual de seguridad para sustancias químicas
AIChE American Institute of Chemical	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades físicas. • Tecnología para reducir residuos. • Sistemas de regulación presión
AIHA American Industrial Hygiene	<ul style="list-style-type: none"> • Planes de respuesta en caso de emergencia. • Higiene.
ANSI American National Standards Institute	<ul style="list-style-type: none"> • Estándares industriales.

Tabla C.6.5. Fuentes de consulta de propiedades

Cuando se identifican peligros, también hay que considerar las condiciones normales y anormales del proceso.

B) Revisión de la experiencia y de los accidentes previos de la industria relacionada con el proceso a estudiar:

Cuando sea posible, se debe revisar los accidentes previos de la industria relacionada con el sistema a estudiar (Tabla C.6.6) para complementar la identificación de peligros del proceso.

BASES DE DATOS
MHIDAS (Mayor Hazard Incident Data System)
EIDAS (Explosive Incident Data System)
FACTS
MARS (Major Accident Reporting System)
FIRE Incident Database for Chemical warehouse fires
SONATA



Tabla C.6.6. Bases de datos de accidentes

C) Matrices de interacción:

Herramienta sencilla para identificar interacciones entre parámetros específicos como materiales, fuentes de energía, condiciones medioambientales, condiciones de proceso, etc. A continuación se adjunta un ejemplo de matriz de interacción. (Tabla C.6.7)

	Sustancia química A	Sustancia química B	Mezcla	Notas	Referencias
Sustancia química A					
Sustancia química B					
Presión 1					
Temperatura 1					
Temperatura 2					
Contaminante 1					
Contaminante 2					

Tabla C.6.7. Ejemplo de matriz de interacción

D) Análisis de los controles administrativos y de ingeniería:

Los controles de ingeniería y administrativos desempeñan un papel importante en la seguridad de las instalaciones.

- Los *controles administrativos* son considerados como una práctica habitual en diferentes tipos de instalaciones y se basan en la actuación del personal de seguridad.
- Los *controles de ingeniería* son proporcionados por dispositivos de alarma y emergencia específicos para el proceso en cuestión.

E) Análisis del emplazamiento del proceso:

Es importante que la ubicación de la instalación se especifique en el estudio PHA. La API 752 especifica como gestionar los peligros asociados a la localización de la misma.

F) Evaluación del factor humano y sus efectos:

Las estadísticas indican que un gran número de incidentes de plantas industriales están relacionados con el factor humano y por ello se debe considerar como una causa de desviación de los estudios PHA. Organizaciones como la OSHA, EPA, API, están tratando este tema.



C.6.2.2. Herramientas informáticas que facilitan la realización del estudio

Es aconsejable que se implante un sistema corporativo para integrar y mejorar la gestión de estudios PHA. Para ello se debe adquirir un software de seguridad de procesos (Tabla C.6.8), el cual presenta numerosas ventajas, entre las que destacan:

- Facilitar la realización de los estudios PHA.
- Ayudar a unificar criterios tanto técnicos como de calidad.
- Obligar a seguir un procedimiento de trabajo establecido.
- Dispone de una amplia base de datos.
- Integra la documentación utilizada en el estudio PHA.

También es aconsejable disponer de un sistema de gestión documental (SGD) que almacena los estudios PHA generados por el software de seguridad de procesos.

SOFTWARE	BREVE DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	COMPAÑÍA
PHA-Pro 7	Es el software para la conducción de estudios PHA para procesos industriales más vendido del mundo.	Dyadem
SVA-Pro7	Permite mejorar la seguridad de instalaciones químicas a través de la realización de SVA (Security Vulnerability Analysis) detallados.	Dyadem
RMP – Pro	Herramienta para desarrollar un sistema de gestión de seguridad (SGS) eficiente.	Dyadem
FMEA-Pro 7	Permite aplicar la técnica FMEA de manera sencilla, a la vez que revisa el diseño del proceso y garantiza el cumplimiento de las normas legales.	Dyadem
FTA-Pro	Herramienta de análisis de fallos a través de la representación gráfica de la relación entre el suceso indeseado y sus posibles causas.	Dyadem
SmartMOC	Software a nivel empresa para automatizar y simplificar el proceso de gestión de cambios.	Dyadem
PHAWorks 5	Herramienta especializada en conducir estudios PHA para cualquier tipo de sistema y que facilita la documentación generada por los mismos.	Primatech



HAZOPTimizer	Aplicación para guardar y gestionar los estudios PHA.	ioMósaic
Supercherm 5.95	Aplicación informática para análisis cuantitativo de riesgo.	ioMósaic
ioFirst	Herramienta que permite determinar un clasificación inicial de los peligros relacionados con una instalación fija.	ioMósaic
STOP DataPro	Herramienta online para registrar la información generada por una revisión de seguridad y generar sus informes.	DuPont
AcuTrack	Herramienta para hacer el seguimiento de las recomendaciones de un estudio PHA.	AcuTech
Designsafe 5	Herramienta que permite realizar una evaluación sistemática del riesgo asociado a una actividad, permitiendo reducir los peligros a través de cambios en el diseño.	Design Safety Engineering
CIRSMIA	Herramienta que ayuda a desarrollar un SGS de acuerdo con la legislación.	Industrial Safety Integration Inc.
Patriot Software	Aplicación que permite la gestión del riesgo para el medioambiente, la seguridad y las personas.	PureSafety
Prognos	Herramienta que ayuda a las compañías a mejorar la gestión de la salud y seguridad.	PureSafety
Syntex IMPACT Enterprise	Herramienta para la gestión del riesgo de una empresa que ayuda a mejorar la calidad de la operación.	Syntex
Risk MonitorPro	Herramienta que permite analizar y establecer un sistema de notificación y seguimiento del mismo.	rl-solutions
ITEM ToolKit	Herramienta que permite realizar un análisis de fiabilidad, disponibilidad, mantenimiento y seguridad de los componentes eléctricos/mecánicos de un sistema.	Item

Tabla C.6.8. Principales paquetes de software de seguridad de procesos



C.6.3. Documentar los resultados

Es muy importante documentar de manera adecuada los resultados de los estudios PHA, ya que cuanto mayor sea la calidad de la documentación más fácil será alcanzar los objetivos del mismo.

Los resultados de un estudio PHA tienen el objetivo de informar a la dirección de la compañía que encarga el estudio PHA de los problemas potenciales lo suficientemente importantes para requerir modificaciones que reduzcan o eliminen sus consecuencias.

C.6.3.1. Informe final

A pesar de las diferencias entre los estudios PHA, todos ellos incluyen en sus informes finales elementos comunes. (Tabla C.6.9)

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Objetivos del estudio	Propósito principal y necesidades.
Alcance físico y analítico	Áreas específicas del proceso, sistemas y equipo estudiado.
Análisis de la composición del equipo	Participantes (clasificados por organización, experiencia, trabajo).
Duración y fecha de las sesiones de trabajo	Cuando, donde y cuanto duran las reuniones.
Descripción de la técnica PHA utilizada	Razonamiento de la selección de técnica PHA y descripción de la misma.
Descripción del proceso/actividad	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción del sistema analizado. • Listado de los materiales peligrosos. • Listado de las condiciones del proceso. • Descripción de los sistemas de seguridad.
Lista de planos, especificaciones y procedimientos	Documentos utilizados como base del análisis.
Acciones recomendadas para mejorar la seguridad	Recomendaciones hechas para conseguir una reducción del riesgo.
Documentación detallada de todas las sesiones	Resúmenes de los temas tratados, listas de asistencia.
Listas técnicas o modelos gráficos	Hojas de trabajo, tablas árboles de fallos, diagramas, árboles de sucesos.

Tabla C.6.9. Elementos esenciales del informe final de un estudio PHA



Comunicación y distribución del informe final

El informe final se distribuirá, siguiendo el procedimiento establecido por el jefe del estudio, a los siguientes destinatarios:

- La dirección de la empresa que encarga el estudio.
- La dirección del establecimiento estudiado, la cual lo debe distribuir a los departamentos para resolver las acciones resultantes del estudio.
- El responsable de mantenimiento del sistema de gestión de estudios PHA, que normalmente coincidirá con el responsable del departamento de seguridad industrial.

El informe final de un estudio PHA debe estar disponible en el emplazamiento durante toda la vida del proceso/unidad ya que puede ser requerido por las autoridades competentes o por el personal de la compañía para uso interno.



C.6.4. Hacer el seguimiento de las recomendaciones

Las recomendaciones deben mejorar las medidas de seguridad existentes y por ello consisten en cambios del diseño del proceso/sistema o en modificaciones de los procedimientos de operación.

Todas las recomendaciones que genera un estudio PHA se presentan a la dirección de la compañía que encarga el estudio PHA para que las evalúe y determine si hace falta implementarlas.

Los responsables de la implementación de las recomendaciones varían en función del tipo de recomendación y el momento en el que esta se debe realizar:

Tipo de recomendación	Momento en el que se debe realizar/considerar	Responsable de la implementación
Modificación	Fase de detalle	Ingeniería encargada del proyecto
Medidas	Fase de construcción	Ingeniería encargada del proyecto
Procedimientos a incluir en los manuales de operación	Puesta en marcha, operación, mantenimiento, parada	Ingeniería encargada del proyecto
Identificación de equipos a estudiar de forma independiente	Cuando se disponga de información suficiente	Ingeniería encargada del proyecto
Acciones afectan instalaciones fuera de la planta	En otros estudios, como los cuantitativos de riesgo	Jefe del estudio

Tabla C.6.10. Responsables implementación recomendaciones



C.6.4.1. Justificación y priorización de las recomendaciones

La decisión de aceptar o rechazar las recomendaciones, por parte de la dirección de la compañía que encarga el estudio, es difícil y por ello es importante justificar correctamente las mismas. Muchas organizaciones usan la matriz de riesgo financiero para justificar la validez de las recomendaciones

Para gestionar el gran número de recomendaciones de un estudio PHA es aconsejable utilizar un método para priorizarlas. Hay varios métodos para realizar dicha priorización:

- **Clasificación de riesgos:** entre las que destaca el **SLRA** (Screening Level Risk Analysis), que realiza una clasificación de los peligros asociados a un escenario, para los que establece niveles de severidad y probabilidad.
- **Priorización simple.**
- **Categorización.**

Niveles de severidad de la norma MIL-STD-882B:

Descripción	Categoría	Definición
Catastrófica	I	Pérdidas de muertos o sistemas.
Críticas	II	Heridas severas, daño severo al sistema.
Marginal	III	Heridas menores, daños menores al sistema.
Despreciable	IV	Menos que heridas menores o daño al sistema.

Niveles de probabilidad de la norma MIL-STD-882B:

Descripción	Nivel	Especificaciones individuales
Frecuente	A	Probable de ocurrir frecuentemente.
Probable	B	Ocurre varias veces en la vida del equipo.
Ocasional	C	Probable que ocurra alguna vez en la vida del equipo.
Remota	D	Improbable, pero posible que ocurra.
Improbable	E	Tan improbable que ocurra que es imposible.



C.6.4.2. Sistema para hacer el seguimiento del estado de las recomendaciones

Las organizaciones deben establecer un sistema que gestione y facilite el seguimiento del estado de todas las recomendaciones, tanto las que se implementan como las que han sido rechazadas.

Cuando se decide implementar una recomendación, la dirección debe ser informada del tiempo que llevará implementar el cambio y de las posibles consecuencias sobre la producción.

A continuación se adjunta una tabla que muestra un ejemplo de cómo documentar el estado de las recomendaciones generadas por un estudio PHA.

Numeración	Descripción	Prioridad	Responsable	Estado y fecha de la solicitud de respuesta
1	Inspeccionar todas las válvulas de control de presión con válvulas manuales.	I	Superintendente de la unidad de operaciones	Completado 2/03/91
2	Desarrollar una sesión de formación para casos de emergencia para la brigada antiincendio	II	Departamento de incendios	En desarrollo
3	Considerar añadir una alarma independiente de altas temperaturas	II	Ingeniería de procesos	Rechazado
4	Considerar añadir un sistema de apagado del compresor que incluya la capacidad de apagado remoto	III	Ingeniería de diseño	Bajo evaluación 4/15/91

Tabla C.6.11. Ejemplo de seguimiento del estado de las recomendaciones



C.6.5. Gestión y evaluación de los cambios introducidos

Las recomendaciones de modificación propuestas por un estudio PHA y los cambios introducidos para mejorar el diseño y/o operación de un proceso a lo largo de su ciclo de vida, deben ser revisados para garantizar que no introducen nuevos peligros.

Dicha evaluación puede conducir a tomar diferentes decisiones sobre la validez del estudio PHA. (Tabla C.6.12)

ACCIÓN A REALIZAR	SITUACIÓN
Aceptar el estudio PHA	No se han realizado cambios o aparecido nuevos criterios (técnicos, de seguridad) lo suficientemente importantes para revalidar el estudio existente.
Revalidar el estudio PHA:	<ul style="list-style-type: none"> • Los cambios realizados son lo suficientemente importantes como para revisar y revalidar el estudio existente. • Se ha superado el período de validez del estudio.
Realizar un estudio PHA nuevo	El número de mejoras (técnicas, operativas, seguridad) que son necesarias realizar al estudio existente hacen inviable su revalidación, por lo que se procederá a realizar uno nuevo.

Tabla C.6.12. Influencia de los cambios sobre validez estudio PHA



C.6.5.1. Revalidación del estudio

En 1997 Philley y Moosemiller propusieron un método para decidir si un estudio PHA necesita revalidarse.

Una revalidación se realiza por las causas anteriormente comentadas, teniendo por objetivo garantizar los puntos que especifica la siguiente tabla.

PUNTOS QUE GARANTIZA UNA REVALIDACIÓN DE UN ESTUDIO PHA
El valor de la inversión realizada para la realización del estudio PHA previo
La precisión, actualización de la información sobre seguridad del sistema
La actualización de los procedimientos operativos
La implementación de las recomendaciones del estudio PHA anterior
La aplicación de las lecciones aprendidas de accidentes o incidentes recientes
La inclusión de los nuevos requisitos de calidad
La consideración de los últimos y más recientes requisitos legales

Tabla C.6.13. Objetivos de una revalidación estudio

C.6.5.2. Realización de un nuevo estudio

CAMBIOS QUE JUSTIFICAN REALIZAR UN ESTUDIO PHA NUEVO
Cambios básicos en el proceso
Cambios en la frontera del sistema
Cambios en el sistema de seguridad
Consideraciones sobre procedimientos, formación, mantenimiento, operación y medioambientales

Tabla C.6.14. Cambios que justifican realizar un nuevo estudio



C.6.6. Control de calidad del estudio PHA

Es fundamental establecer un sistema de control de calidad de los estudios PHA por los siguientes motivos:

- El tiempo y los recursos invertidos para su realización.
- En el supuesto de que ocurra un accidente/incidente, es previsible que las autoridades competentes, los revisen y analicen, prestando especial atención en su calidad.
- Todos los miembros del equipo, a través del líder, deben ser conscientes de las implicaciones que puede tener un estudio PHA

Para establecer un sistema de control de la calidad de los estudios PHA realizados es aconsejable:

- Realizar una evaluación del estudio PHA por parte del líder. (Tabla C.6.15)
- Realizar una evaluación de la actuación del líder por parte del equipo técnico. (Tabla C.6.16)

PRESTA INTERÉS EN	DESCRIPCIÓN
Recursos materiales y documentales	<ul style="list-style-type: none"> • Disposición de información documental clara, adecuada y suficiente sobre el proceso o instalación a analizar. • Disposición de la información con antelación suficiente al estudio. • Calidad de las instalaciones utilizadas (sala) y de los recursos técnicos (proyector..). • Horario y duración de las sesiones.
Equipo técnico y calidad de las sesiones	<ul style="list-style-type: none"> • Experiencia/conocimiento de la instalación analizada por parte del equipo técnico. • Número de integrantes del equipo PHA. • Calidad de la discusión generada por los participantes. • Estabilidad de la composición del equipo a lo largo de las sesiones. • Puntualidad de los participantes. • Atención de los participantes durante las sesiones de trabajo. • Interés general demostrado por los participantes.

Tabla C.6.15. Evaluación del estudio PHA



PRESTA INTERÉS EN	DESCRIPCIÓN
Valoración del líder en la preparación del estudio	<ul style="list-style-type: none"> • Definición del motivo, alcance y objetivos. • Programación de las sesiones para el estudio PHA. • Selección y claridad en la presentación de los nodos.
Valoración del líder durante las sesiones	<ul style="list-style-type: none"> • Explicación de la técnica PHA. • Explicación de los motivos, alcance y objetivos del estudio. • Capacidad de mantener la atención del grupo. • Conducción del grupo. • Capacidad de generar el debate de ideas. • Utilización de los descansos. • Conocimiento de la normativa aplicable. • Definición de los parámetros del proceso • Documentación de las causas y consecuencias. • Respeto de los alcances y objetivos previstos.

Tabla C.6.16. Evaluación actuación del líder



C.6.7. Consejos

A continuación se dan varias recomendaciones para poder aplicar de forma adecuada este sistema de gestión de estudios PHA. (Tabla C.6.17)

RECOMENDACIONES REALIZAR UN ESTUDIO PHA
<p>1. Importancia de la figura del jefe de estudio PHA, ya que normalmente es el representante de la compañía que encarga el estudio y tiene las siguientes responsabilidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elegir la técnica PHA más adecuada para el proceso a estudiar. • Elegir al líder del equipo por sus conocimientos en la técnica PHA seleccionada. • Elegir al equipo técnico. • Ejecutar el estudio.
<p>2. Importancia de la figura del líder de equipo porque desempeña las siguientes funciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estimar la duración del estudio. • Programar el trabajo realizado en el estudio. • Conducir el equipo que realiza el estudio
<p>3. Importancia de disponer del equipo técnico adecuado, ya que esté es el encargado de proporcionar experiencia y conocimiento sobre el proceso/sistema a estudiar.</p>
<p>4. Disponer de los recursos adecuados para la realización del estudio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Información y documentación técnica adecuada y suficiente. • Instalaciones adecuadas y de calidad para realizar las sesiones de trabajo, tanto en lo que se refiere al lugar de reunión (sala) como a los recursos que esta debe disponer.
<p>5. Identificar los peligros y los escenarios de peligro asociados al proceso, prestando especial interés en los puntos anteriormente citados.</p>
<p>6. Evaluar los peligros identificados en función de la técnica PHA utilizada y los resultados requeridos por el estudio.</p>
<p>7. Utilizar un software de seguridad de procesos y un sistema de gestión documental para facilitar la realización del estudio y el acceso a la información generada por este.</p>
<p>8. Documentar, de forma adecuada, el informe final que contiene los resultados del estudio PHA, así como dirigirlo a los destinatarios adecuados.</p>
<p>9. Realizar las recomendaciones de acciones de mejora o modificación del proceso, teniendo en cuenta la importancia de los destinatarios de las mismas, su justificación y su priorización para facilitar la decisión a tomar sobre ellas por parte de la dirección de la empresa afectada.</p>
<p>10. Importancia de tener un sistema de gestión de los cambios aparecidos en el proyecto para determinar su influencia sobre la validez del estudio PHA.</p>
<p>11. En los casos en los que haya que valorar el riesgo asociado a determinados escenarios de peligro, considerar realizar nuevos estudios para completar los resultados de los estudios PHA.</p>
<p>12. Importancia de controlar la calidad de los estudios PHA a través de evaluaciones del trabajo desempeñado por el líder de estudio y del equipo técnico.</p>



Tabla C.6.17. Consejos para realizar un estudio PHA

C.7. Especificaciones para aplicar cada técnica PHA

Este apartado se centra en dar recomendaciones específicas para cada técnica, para poder realizar el estudio PHA según el sistema de gestión descrito en el punto anterior.

Dichas recomendaciones se centran en:

1. Preparación previa a la aplicación de la técnica:

- Equipo necesario para realizar el estudio. (Tabla C.7.1)
- Estimación del tiempo necesario para realizar el estudio. (Tabla C.7.2 y Tabla C.7.3)

2. Explicación esquemática de cómo aplicar la técnica. (Tabla C.7.4)

3. Cómo documentar los resultados obtenidos. (Tabla C.7.5)



C.7.1. Equipo necesario

La influencia de los siguientes factores hace muy difícil el poder determinar, de forma estándar, el tamaño y la composición de los equipos que requieren las diferentes técnicas PHA:

- La complejidad del proceso o sistema a estudiar.
- La etapa del ciclo de vida del proceso en el momento de realizar el estudio.

TÉCNICA PHA	TAMAÑO ESTIMADO DEL EQUIPO	Experiencia líder
PrHA	2 personas con conocimientos en la seguridad del proceso.	Moderada
What-if	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Proceso sencillo</i>: 2 personas con experiencia en el proceso a estudiar, el líder asume las funciones de secretario. • <i>Proceso complejo</i>: 6 personas con experiencia en el proceso a estudiar, desatacan la figura del líder, del secretario técnico y un equipo técnico que aporte experiencia en el diseño, operación y mantenimiento del proceso. 	Moderada
Checklist	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Proceso sencillo</i>: 1 persona con conocimiento en el proceso a estudiar. • <i>Proceso complejo</i>: 2-3 personas con experiencia en el proceso a estudiar. 	Moderada
Relative Ranking	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Proceso sencillo</i>: 1 persona con conocimiento del método utilizado. • <i>Proceso complejo o número de peligros considerados es elevado</i>: varias personas. 	Moderada
Safety Review	5 personas que conozcan los estándares de seguridad y los procedimientos de operación.	Moderada
What-if/checklist	Entre 4-6 personas donde destacan la figura del líder, del secretario técnico y del equipo técnico que aporta experiencia sobre el diseño, operación, mantenimiento.	Moderada
FMEA	Unas 3 persona con conocimiento de las funciones y los modos de fallo del equipo y sus componentes.	Moderada



HAZOP	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Proceso sencillo</i>: 3-4 personas. • <i>Proceso complejo</i>: 6-8 personas, de entre los que destaca un líder experimentado, un secretario técnico y un equipo técnico con experiencia en diseño, ingeniería, operación, mantenimiento. 	Moderada
FTA	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Proceso sencillo</i>: 1 persona con experiencia y conocimiento en la utilización de la técnica. • <i>Proceso complejo</i>: un pequeño equipo con experiencia en la técnica, sobretodo cuando hay que realizar varios árboles de fallos diferentes. 	Elevada
ETA	2-4 personas, entre que las destaca un líder con conocimiento en la técnica FTA y un equipo técnico con experiencia en la operación del proceso analizado.	Elevada
HRA	1-2 personas con experiencia en el factor humano.	Elevada
CCA	2-4 personas, de las que es conveniente que el líder tenga experiencia con esta técnica o con FTA y ETA y el equipo técnico tenga experiencia en el diseño y operación de los sistemas analizados	Elevada

Para las técnicas que utilizan un equipo para su realización, el equipo técnico participa básicamente en la etapa de evaluación, mientras que el líder y el secretario técnico participan en todas las etapas del estudio.

Tabla C.7.1. Estimación composición equipo para aplicar técnicas PHA



C.7.2. Estimación del tiempo necesario

La influencia de los siguientes factores hace muy difícil el poder determinar, de forma precisa, el tiempo necesario para aplicar las diferentes técnicas PHA:

- La complejidad del proceso o sistema a estudiar.
- El número y variedad de tipos de peligros a analizar.
- Etapa ciclo de vida del proceso a estudiar.

A modo de resumen, se adjunta la siguiente tabla con la comparación del tiempo requerido por cada técnica.

Técnica PHA	Tiempo requerido
PrHA	1
What-if	1
Checklist	1*
Safety Review	2
Relative Ranking	2
What-if/checklist	2
FMEA	3
HAZOP	3
FTA	4
ETA	4
HRA	4
CCA	3

La escala que mide el tiempo es comparativa y oscila entre 1-4:

- 1: Mínimo.
- 2: Escaso (* en el caso de la checklist puede llevar más tiempo sino hay experiencia previa).
- 3: Moderado.
- 4: Elevado.

Tabla C.7.2. Comparación del tiempo requiere cada técnica PHA



La siguiente tabla muestra una estimación del tiempo necesario para aplicar las diferentes técnicas PHA. Para su comprensión hay que considerar que:

- Se han dividido los sistemas a estudiar en dos categorías, sistema simple/pequeño y sistema complejo/grande, en función de complejidad o tamaño de los mismos.
- La aplicación de cada técnica se ha dividido en cuatro fases; preparación (recopilación de información, definición del alcance, planificación de las sesiones), modelado (desarrollo de modelos lógicos), evaluación (actividad real de análisis), documentación (desarrollar el informe final del estudio).
- h= horas, d= días, s= semanas.

Fase estudio	Preparación		Modelado		Evaluación		Documentación	
Técnica	S.Simple	S.Complejo	S.Simple	S. Complejo	S.Simple	S. Complejo	S.Simple	S.Complejo
Safety Review	2-4 h	1-3 d	NO APLICABLE		4-8 h	3-5 d	4-8 h	3-6 d
Checklist	2- 4h	1-3 d	NO APLICABLE		4-8 h	3-5 d	4-8 h	2-4 d
Relative Ranking	2- 4h	1-3 d	NO APLICABLE		4-8 h	3-5 d	4-8 h	3-6 d
PrHA	4-8 h	1-3 d	NO APLICABLE		1-2 d	4-7 d	1-2 d	4-7 d
What if	4-8 h	1-3 d	NO APLICABLE		4-8 h	3-5 d	1-2 d	1-3 s
What if/checklist	6-12 h	1-3 d	NO APLICABLE		6-12 h	4-7 d	4-8 h	1-3 s
HAZOP	8-12 h	2-4 d	NO APLICABLE		1-3 d	1-3 s	2-6 d	2-6 s
FMEA	2-6 h	1-3 d	NO APLICABLE		1-3 d	1-3 s	1-3 d	2-4 s
FTA	1-3 d	4-6 d	3-6 d	2-3 s	2-4 d	1-4 s	3-5 d	3-5 s
ETA	1-2 d	4-6 d	1-3 d	1-2 s	1-2 d	1-2 s	3-5 d	3-5 s
HRA	4-8 h	1-3 h	1-3 d	1-2 s	1- 2 d	1-2 s	3-5 d	1-3 s
CCA	1-2 d	4-6 d	1-3 d	1-2 s	1-3 d	1-2 s	3-5 d	3-5 s

Tabla C.7.3. Estimación del tiempo que requiere cada técnica PHA

Fuente: Tabla 5.4 de *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures-Second Edition with Worked Examples*, AIChE/CCPS, Nueva York, 1992.



C.7.3. Explicación esquemática de cómo aplicar cada técnica

En este apartado se describe, de forma esquemática, los pasos a seguir para aplicar cada una de las técnicas PHA (Tabla C.7.4). El requisito previo para poder aplicar cualquier técnica es haber definido el alcance del estudio.

TÉCNICA	METODOLOGÍA
PrHA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar los peligros de cada zona o área del proceso. 2. Evaluar las posibles causas y efectos de los accidentes relacionados con estos. 3. Asignar una categoría de peligro a cada situación de accidente. 4. Recomendar medidas correctivas y/o preventivas.
What-if	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dividir el proceso en nodos. 2. Postular problemas y fallos preguntando que pasaría si... 3. Para cada pregunta se evalúan sus consecuencias. 4. Para cada pregunta se identifican las medidas de seguridad presentes. 5. Para cada pregunta se recomiendan acciones para reducir o eliminar sus consecuencias.
Checklist	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Selección o desarrollo de la checklist apropiada:</i> se selecciona de los estándares internos, códigos, guías para la industria, sino hay ninguna checklist disponible se debe utilizar la experiencia del equipo y la información disponible para generar una. 2. <i>Realización de la revisión:</i> Durante las inspecciones visuales, entrevistas con el personal de operaciones, se compara el equipo del proceso y las operaciones del mismo con las que contiene la checklist utilizada, para de este modo encontrar las deficiencias.
Safety Review	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definir los sistemas, procedimientos, operaciones y personal a evaluar. 2. Revisar los peligros conocidos y la historia del proceso. 3. Revisar todos los códigos aplicables, estándares. 4. Programar entrevistas con los responsables de la seguridad de la operación. 5. Revisar la información sobre accidentes, auditorías de seguridad, etc.
Relative Ranking	Si se selecciona un método de relative ranking que está publicado, se deben seguir las instrucciones de la guía técnica del método en cuestión, las cuales pueden cumplimentarse con visitas y entrevistas que verifican la información.



Whatif/checklist	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dividir el sistema en subsistemas para tener un orden de aplicación del análisis. 2. El líder debe obtener o desarrollar la checklist apropiada para el proceso. 3. Desarrollar la lista de preguntas del tipo que pasaría si... 4. Utilizar una checklist para cubrir los huecos del análisis what-if. 5. Evaluar cada una de las preguntas; determinar cualitativamente sus efectos. 6. Identificar las medidas de seguridad existentes. 7. Recomendar alternativas o cambios necesarios para mejorar la seguridad.
FMEA	<p>El estudio sigue la siguiente secuencia: Componente de equipo físico → modos de fallo → desviaciones que producen los fallos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Definir el sistema a estudiar: se identifican los componentes, modos de fallo y condiciones de operación consideradas. 2. Dividir el sistema en partes, en función de su función y localización. 3. Identificar los modos de fallo para cada componente del equipo. 4. Determinar las causas de cada modo de fallo. 5. Identificar las medidas de seguridad existentes. 6. Asignar un ratio de severidad, ocurrencia y detección para cada fallo. 7. Determinar las acciones correctivas y realizar las recomendaciones adecuadas
HAZOP	<p>El estudio sigue la siguiente secuencia: Causa inmediata < desviación o suceso no deseado > consecuencias de la desviación.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Dividir el sistema en nodos o subsistemas, los cuales corresponden con cada línea de fluido de cada elemento crítico seleccionado. 2. Preparar una lista de parámetros y variables a examinar. 3. Asignar las palabras guía a los parámetros y variables. 4. A partir de las palabras guía, generar las desviaciones significativas de las condiciones normales de operación. 5. Identificar las causas de cada desviación. 6. Identificar las consecuencias asociadas a cada causa. 7. Identificar las medidas de seguridad existentes que previenen las consecuencias. 8. Listado de acciones o recomendaciones a implementar.



FTA	<p>El estudio sigue la siguiente secuencia: Top event → sucesos no deseados → sucesos básicos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar un top event (situación específica de peligro que ha sido identificada anteriormente a través de otras técnicas PHA). 2. Construir el árbol de fallos: a partir del top event, se identifican las causas inmediatas que lo producen (fault events) y se les busca las causas a estas hasta identificar las causas básicas de cada fault event. 3. Analizar el árbol de fallos: obtener las secuencias mínimas de fallos que producen el top event siguiendo los siguientes pasos: <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Identificar todas las puertas lógicas y los sucesos básicos. 3.2 Resolver todas las puertas lógicas de un suceso básico. 3.3 Eliminar los sucesos duplicados.
ETA	<p>El estudio sigue la siguiente secuencia: accidente → sucesos no deseados → consecuencias e impactos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar el suceso iniciador. 2. Identificar las funciones de seguridad diseñadas para reducir el suceso iniciador. 3. Construir el árbol de sucesos. 4. Describir las consecuencias de la secuencia de accidentes. 5. Determinar la secuencia mínima de fallos para que se produzca el accidente.
HRA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Describir las características del personal, el ambiente de trabajo y las tareas realizadas. 2. Evaluar las interfaces hombre-máquina. 3. Realizar un análisis de tareas de las funciones del operador. 4. Realizar un análisis de error humano de las funciones del operador.
CCA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar un suceso o situación de accidente a evaluar, los cuales se pueden definir como top event (como FTA) y como suceso iniciador (como ETA). 2. Identificar las funciones de seguridad que pueden influir sobre el desarrollo del suceso. 3. Desarrollar los caminos que pueden llevar del suceso al accidente. 4. Desarrollar el suceso iniciador y el fallo de la función de seguridad para determinar sus causas. 5. Evaluar la secuencia mínima que provoca el accidente.

Tabla C.7.4. Explicación esquemática de cómo aplicar las técnicas PHA



C.7.4. Cómo documentar los resultados obtenidos

En este apartado se describe, de forma esquemática, los formatos más utilizados para documentar los resultados que proporcionan las diferentes técnicas PHA.

PrHA

Ejemplo del formato típico de la tabla que contiene los resultados de esta técnica:

Área: _____	Fecha: _____			
Número: _____	Miembros equipo: _____			
Peligro	Causa	Efectos	Categoría de peligro	Medidas correctivas

What-if

Ejemplo del formato típico de la tabla que contiene los resultados de esta técnica:

Área: _____	Fecha: _____		
Número: _____	Miembros equipo: _____		
Que pasaría si	Consecuencia/peligro	Medidas de seguridad	Recomendaciones

Checklist:

- Lista con las preguntas estándar para cada componente del equipo.
- Lista con las respuestas a las preguntas.

Relative ranking:

Los índices de riesgo calculados para comparar las zonas analizadas se tabulan de la siguiente forma:

Zona/instalación	Sustancia peligrosa	Índice de riesgo	Posición en la clasificación



Safety Review

- Lista de deficiencias y de áreas problemáticas identificadas.
- .Lista de acciones recomendadas y justificaciones de las mismas.

What-if/checklist

Se documentan de la misma forma que what-if.

FMEA

Ejemplo del formato típico de la tabla que contiene los resultados de esta técnica:

FECHA: _____	PÁGINA: _____ de _____
PLANTA: _____	SISTEMA _____
REFERENCIA: _____	MIEMBROS EQUIPO: _____

Componente	Identificación	Descripción	Modos de fallo	Efectos	Medidas seguridad	Acciones correctivas

HAZOP

Ejemplo del formato típico de la tabla que contiene los resultados de esta técnica:

Equipo: _____	Número de plano: _____
Fecha reunión: _____	Número de revisión: _____

Número de componente	Desviación	Causas	Consecuencias	Medidas seguridad	Acciones correctivas



<p>FTA</p> <p>Diagramas de árboles de fallos que muestran las causas o secuencias de fallos que pueden originar un determinado accidente.</p> <p>Ejemplo de árbol de fallos:</p> <pre> graph TD E0[FUEGO EN LA ZONA DEL PROCESO] --- G1(()) G1 --- E1[Combustible] G1 --- E2[Oxígeno] G1 --- E3[Fuente] E1 --- G2(()) G2 --- E11[Junta con pérdidas] G2 --- E12[Válvula abierta] E3 --- G3(()) G3 --- E31[Soldadura] G3 --- E32[Motor] </pre> <p style="text-align: right;">NIVEL 0</p> <p style="text-align: right;">NIVEL 1</p> <p style="text-align: right;">NIVEL 2</p>
<p>ETA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diagramas de sucesos que describen las consecuencias de un accidente. • Pueden incluir una lista con la secuencia mínima de fallos que provoca el accidente.
<p>HRA</p> <p>Diagramas, en forma de árbol de sucesos, que muestran las secuencias de posibles errores humanos que pueden provocar un determinado accidente.</p>
<p>CCA</p> <p>Diagramas que muestran la relación entre las causas y las consecuencias de un accidente.</p>

Tabla C.7.5. Cómo documentar los resultados generados por las técnicas PHA



D. Aplicación informática para seleccionar técnicas PHA

Para facilitar el proceso de selección de técnicas PHA se ha desarrollado una sencilla aplicación informática, cuyo ejecutable y código fuente se incluye en el CD. Para la programación de dicha aplicación se han utilizado o considerado los siguientes elementos:

- La información del apartado 8 de la memoria y de los apartados 4 y 5 del anexo C.
- El lenguaje de programación C++.
- La herramienta Visual Studio .Net 2005.
- La API de Windows para C++. Consiste en un conjunto de librerías que proporcionan funciones que permiten desarrollar entornos gráficos y aplicaciones para Windows.

A continuación se describen los principios de utilización de la herramienta informática creada:

- a) A través de 5 ventanas gráficas, se introducen los objetivos del estudio PHA y las características del proceso/sistema a estudiar. En la Tabla D.1 se especifica este punto.
- b) El programa obtiene y muestra los resultados del proceso de selección, existiendo tres posibilidades:

b.1) Los datos introducidos, características del estudio PHA y del proceso/sistema a estudiar, son compatibles con las especificaciones de una técnica PHA, por lo que se muestra por pantalla la técnica PHA que el programa recomienda utilizar. Como complemento de lo anterior, se adjunta un documento en formato PDF donde se especifican datos de interés sobre la técnica recomendada.

b.2) Los datos introducidos, características del estudio PHA y del proceso/sistema a estudiar, no son compatibles con las especificaciones de ninguna de las técnicas PHA utilizadas en el proyecto, por lo que se muestra por pantalla el siguiente mensaje:

“Ninguna de las técnicas PHA consideradas se adapta a los objetivos del estudio PHA propuesto y/o a las características del proceso/sistema a estudiar”.

Como complemento de lo anterior, se adjunta un documento en formato PDF donde se especifican las posibles causas por las que no se recomienda utilizar ninguna técnica.

b.3) Los datos introducidos en la primera ventana son suficientes para terminar el proceso de selección:

- Si se ha seleccionado estudio nuevo por imperativo legal, la aplicación recomienda utilizar aquella técnica que es exigida para realizar el estudio PHA.
- Si se ha seleccionado revalidación de estudio, la aplicación recomienda utilizar la técnica que se utilizó para hacer el estudio PHA que se revalida.



Nº	TÍTULO VENTANA	POSIBILIDADES QUE SE PUEDEN INTRODUCIR
1	Propósito del estudio	<ul style="list-style-type: none"> a) Estudio nuevo por imperativo legal b) Revalidación de estudio c) Estudio nuevo por política prevención compañía
2	Etapa del ciclo de vida del proceso/sistema a estudiar	<ul style="list-style-type: none"> a) I+D b) Diseño conceptual c) Ingeniería básica d) Ingeniería detallada e) Construcción f) Operación g) Modificación h) Investigación incidente i) Cierre/desmantelamiento
3	Resultados requeridos por el estudio	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación y evaluación de: <ul style="list-style-type: none"> a) Gran variedad de peligros b) Escenarios de accidente específicos • Tipo de evaluación de los peligros y/o escenarios de accidente: <ul style="list-style-type: none"> a) Cualitativa b) Cuantitativa • Clasificación de los peligros y escenarios de accidente: <ul style="list-style-type: none"> a) Si b) No • Alternativas para eliminar o controlar los peligros: <ul style="list-style-type: none"> c) Si d) No
4	Información técnica disponible	<ul style="list-style-type: none"> • Información general disponible: <ul style="list-style-type: none"> a) Nivel 1 b) Nivel 2 c) Nivel 3 • Información específica disponible: <ul style="list-style-type: none"> a) Experiencia en la operación b) Probabilidad sobre fiabilidad del equipo c) Probabilidad sobre actividad humana d) Ninguna



5	Características del proceso/sistema a estudiar	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de proceso/sistema: <ul style="list-style-type: none"> a) Proceso completo genérico b) Componentes del equipo mecánico/eléctrico del proceso c) Proceso con alto nivel de actividad humana d) Sistemas altamente instrumentados e) Sistema con lógica de fallo simple • Tipo de operación del proceso/sistema: <ul style="list-style-type: none"> a) Continua b) Discontinua • Tipos de fallos que originan los accidentes del proceso: <ul style="list-style-type: none"> a) Fallo individual b) Fallo múltiple
---	--	---

Tabla D.1. Ventanas gráficas de la aplicación informática

A continuación se detallan algunos puntos aparecidos en la tabla anterior:

PUNTO 3:

- La evaluación cualitativa de peligros consiste en realizar un listado de las causas/consecuencias de los mismos.
- La evaluación cuantitativa de peligros y escenarios de accidente consiste en realizar un cálculo de la probabilidad de que suceda y/o definir un modelo lógico de las causas y efectos de los mismos.

PUNTO 4:

- El nivel 1 de información incluye MSDS, diagramas de bloques, plot plans, planos de distribución.
- El nivel 2 de información incluye la del nivel 1 y PFD, P&ID.
- El nivel 3 de información incluye la del nivel 2 y especificaciones sobre el equipo, modos de fallo y sistemas de seguridad.



A continuación se detallan las combinaciones de variables que tienen como resultado la recomendación de alguna de las técnicas PHA:

PrHA:

- Estudio nuevo por política prevención compañía/ *I+D, Diseño conceptual, ingeniería básica*/ Identificación de gran variedad de peligros/ Evaluación cualitativa de peligros/ Se requiere una clasificación de peligros/ Se requieren alternativas/ Nivel 1 de información/ No hay disponible información específica/ Proceso completo genérico/ Operación continua/ Fallos individuales.

What if:

- Estudio nuevo por política prevención compañía/ *I+D, diseño conceptual, investigación de un accidente*/ Identificación de gran variedad de peligros/ Evaluación cualitativa de peligros/ No se requiere una clasificación de peligros/ Se requieren alternativas/ Nivel 1 de información/ No hay disponible información específica/ Proceso completo genérico/ Operación continua y discontinua/ Fallos individuales.

Checklist:

- Estudio nuevo por política prevención compañía/ *Diseño conceptual, construcción, operación*/ Identificación de gran variedad de peligros/ Evaluación cualitativa de peligros/ No se requiere una clasificación de peligros/ No se requieren alternativas/ Nivel 1 de información/ Hay disponible experiencia en la operación/ Proceso completo genérico/ Operación continua/ Fallos individuales.

Relative ranking:

- Estudio nuevo por política prevención compañía/ *I+D, diseño conceptual*/ Identificación de gran variedad de peligros/ Evaluación cualitativa de peligros/ Se requiere una clasificación de peligros/ No se requieren alternativas/ Nivel 1 de información/ No hay disponible información específica/ Proceso completo genérico/ Operación continua/ Fallos individuales.

Safety review:

- Estudio nuevo por política prevención compañía/ *Construcción, operación, modificación, cierre*/ Identificación de gran variedad de peligros/ Evaluación cualitativa de peligros/ No se requiere una clasificación de peligros/ Se requieren alternativas/ Nivel 1 de información/ No hay disponible información específica/ Proceso completo genérico/ Operación continua/ Fallos individuales.



What if/checklist:

- Estudio nuevo por política prevención compañía/ *Ingeniería básica, ingeniería detallada, modificación, cierre*/ Identificación de gran variedad de peligros/ Evaluación cualitativa de peligros/ No se requiere una clasificación de peligros/ Se requieren alternativas/ Nivel 1 de información/ Hay disponible experiencia en la operación/ Proceso completo genérico/ Operación continua y discontinua/ Fallos individuales.

FMEA:

- Estudio nuevo por política prevención compañía/ *Ingeniería detallada, operación, modificación, investigación de un accidente*/ Identificación de gran variedad de peligros/ Evaluación cualitativa de peligros/ No se requiere una clasificación de peligros/ Se requieren alternativas/ Nivel 2 de información/ No hay disponible información específica/ componentes del equipo mecánico/eléctrico del proceso/ Operación continua / Fallos individuales.

HAZOP:

- Estudio nuevo por política prevención compañía/ *Ingeniería detallada, operación, modificación, investigación de un accidente*/ Identificación de gran variedad de peligros/ Evaluación cualitativa de peligros/ No se requiere una clasificación de peligros/ Se requieren alternativas/ Nivel 2 de información/ Se requiere experiencia en la operación/ Proceso completo genérico/ Operación continua y discontinua/ Fallos individuales.

FTA:

- Estudio nuevo por política prevención compañía/ *Ingeniería detallada, operación, modificación, investigación de un accidente*/ Escenario de accidente específico/ Evaluación cuantitativa de un escenario de peligro/ se requiere o no una clasificación de peligros/ No se requieren alternativas/ Nivel 3 de información/ Hay disponible información sobre fiabilidad del equipo y sistemas de seguridad / Sistema altamente instrumentado/ Operación continua/ Fallos múltiples.

ETA:

- Estudio nuevo por política prevención compañía/ *Ingeniería detallada, operación, modificación, investigación de un accidente*/ Escenario de accidente específico/ Evaluación cuantitativa de un escenario de peligro/ se requiere o no una clasificación de peligros/ Se requieren alternativas/ Nivel 3 de información/ Hay disponible información sobre fiabilidad del equipo y sistemas de seguridad / Sistema altamente instrumentado/ Operación continua y discontinua/ Fallos múltiples.



HRA:

- Estudio nuevo por política prevención compañía/ *Operación, modificación, investigación de un accidente*/ Escenario de accidente específico/ Evaluación cuantitativa de un escenario de peligro/ se requiere o no una clasificación de peligros/ No se requieren alternativas/ Nivel 3 de información/ Hay disponible información sobre probabilidad actividad humana/ Sistema altamente instrumentado/ Operación continua/ Fallos múltiples.

CCA:

- Estudio nuevo por política prevención compañía/ *Operación, modificación, investigación de un accidente*/ Escenario de accidente específico/ Evaluación cuantitativa de un escenario de peligro/ se requiere o no una clasificación de peligros/ No se requieren alternativas/ Nivel 3 de información/ Hay disponible información sobre fiabilidad del equipo y sistemas de seguridad / Sistema con lógica de fallo simple/ Operación continua/ Fallos múltiple



E. Presupuesto

Para la realización del proyecto se han necesitado 6 meses, para ser más exactos 25 semanas, en las que se ha dedicado una media de 8 horas diarias, 5 días a la semana. Por lo que la duración total aproximada del proyecto ha sido de **990 horas**.

El trabajo realizado, en función de su naturaleza, se puede clasificar o dividir en actividades. La Tabla E.1 detalla las principales actividades y la duración aproximada de las mismas.

Nº	Actividad	Duración (horas)
1	Búsqueda inicial de documentación	30
2	Revisión y selección de la documentación	45
3	Estudio preliminar de la documentación	80
4	Reunión para establecer el alcance del proyecto	4
5	Definición de los objetivos y alcance del proyecto	25
6	Revisión detallada de la legislación relacionada con SGS	45
7	Revisión detallada del estado del arte de las técnicas y estudios PHA	95
8	Consulta de bibliografía especializada en la aplicación de técnicas PHA	90
9	Reunión para localizar los puntos débiles de la bibliografía consultada	3
10	Desarrollo del modelo para seleccionar técnicas PHA	70
11	Desarrollo del sistema para gestionar estudios PHA	90
12	Desarrollo de las especificaciones de aplicación de cada técnica PHA	45
13	Reunión para validar el contenido de los modelos desarrollados	5
14	Desarrollo de la guía gráfica para seleccionar y aplicar técnicas PHA	95
15	Desarrollo de la aplicación informática para seleccionar técnicas PHA	90
16	Reunión para validar el contenido de los modelos desarrollados	5
17	Redacción de la memoria y anexos	175
DURACIÓN TOTAL DEL PROYECTO		990

Tabla E.1. Planificación actividades del proyecto



Es importante destacar que las actividades se han realizado de forma sucesiva, lo que significa que hasta que no se había acabado la actividad anterior, no se empezaba la siguiente. Esto se debe a que el procedimiento sobre el que se ha basado este proyecto consiste en estudiar y analizar la situación actual que presenta un determinado tema, para a continuación desarrollar un modelo teórico que facilite la comprensión y aplicación del mismo y por último presentarlo a los expertos para que lo valoren y propongan las correcciones correspondientes.

Debido a que el proyecto no contempla la implementación de los modelos o sistemas desarrollados, para determinar el presupuesto del mismo sólo se han tenido en cuenta los gastos correspondientes a su realización y edición, los cuales se especifican en la Tabla E.2.

En un principio se tenía la intención de validar el contenido del trabajo y estimar el ahorro de tiempo y dinero que puede conllevar su aplicación. Para ello se había pensado en que una compañía de la industria química de procesos aprobase e utilizase la guía gráfica de selección y aplicación de técnicas PHA y la herramienta informática de selección de técnicas PHA. Pero, finalmente no ha sido posible debido a la estricta política que presentan las industrias de este sector para aprobar cualquier procedimiento relacionado con la seguridad de sus instalaciones.



A continuación, se detallan como se han realizado los cálculos para estimar el presupuesto del proyecto:

Realización:

En primer lugar, hay que destacar que se ha considerado el coste amortizado del ordenador. El ordenador portátil Toshiba Satellite P100-210 tiene un precio de venta de 1545 € y un tiempo de amortización de 4 años (dato obtenido del foro de seguros de www.egimaster.com), el cual equivale a 14560 horas de trabajo repartidas en jornadas de 10 horas al día y los 7 días de la semana. Teniendo en cuenta que la realización del proyecto ha necesitado 990 horas, el coste final asociado al **ordenador** es de **105,05 €**

El coste asociado al **software** utilizado es de **30 €** para la amortización de los programas utilizados (Windows XP; sistema operativo, Microsoft office 2003; para la redacción de la memoria y anexos, Visual Studio .Net 2005; para desarrollar la herramienta informática).

En la categoría de material fungible se incluye el coste del material necesario para hacer las copias de seguridad del proyecto:

- Memoria flash USB de la marca PNY (2Gb) con un precio de venta de 26 € y un tiempo de amortización de 2 años (dato obtenido del foro de seguros de www.egimaster.com). Teniendo en cuenta que la memoria ha sido utilizada durante 6 meses, el coste asociado a la memoria USB es de 6,5 €
- Bobina de 10 CD-R (700 MB y 52x) de la marca Verbatim con un precio de venta de 3,7 €

Sumando el coste asociado a la memoria USB y a los CDs, se obtiene que el coste total asociado al **material fungible** es de **10,2 €**

En la categoría de consumo de energía se incluye sólo el coste de la electricidad consumida para realizar el proyecto (ordenador + luz artificial):

Consumo del ordenador: A partir de la información obtenida de www.Davidni.com, un portátil medio consume 33,5 W cuando está encendido. Considerando que a lo largo del proyecto el ordenador se ha utilizado durante unas 800 horas (se ha utilizado en todas las actividades, exceptuando las reuniones y el estudio preliminar de la documentación), su consumo ha sido de 27 kWh.

Por otro lado, el consumo de la luz artificial: debido a la escasa luz natural que presentaba la habitación donde se ha realizado el proyecto, se ha utilizado un flexo con una bombilla de 40 W, el cual a partir de la información obtenida de www.Davidni.com consume 39,1 W cuando está encendido. Considerando que a lo largo del proyecto se ha utilizado el flexo durante unas 940



horas (se ha utilizado en todas las actividades, exceptuando las reuniones y la búsqueda inicial de documentación), su consumo ha sido de 37 kWh

El consumo total de electricidad ha sido de 64 kWh. A partir de la información obtenida de la factura del mes de marzo de 2007 de la compañía FECSA-ENDESA, 1 kWh cuesta 0,09 € Así, el coste asociado al consumo de **electricidad** es de **5,8 €**

El coste de los desplazamientos corresponde con el de las visitas a bibliotecas para obtener información y el de las visitas a expertos para validar el contenido del trabajo. El coste total asociado a **desplazamientos** es de **30 €**

Para calcular el coste de personal, se ha estimado que el sueldo bruto medio de un ingeniero industrial junior es de unos 20 euros por cada hora de trabajo. Considerando que para realizar el proyecto se han necesitado, aproximadamente, 800 horas de trabajo de ingeniero y el resto (190 h) está asociado a otras actividades (reuniones y coste de personal de apoyo, por ejemplo, asesoramiento informático), el coste asociado a personal es, por una parte, de 16000 € como coste asociado a un ingeniero junior y de 1900 € como coste por el personal de apoyo; por tanto, el coste total de **personal** es de **17900 €**

Edición:

En la categoría de material fungible se incluye el coste del material utilizado para imprimir los borradores de los resultados parciales del proyecto:

- Se ha utilizado 2 paquetes de 500 Hojas Inkjet Navigator DIN A4 con un precio de venta de 4,55 € unidad, por lo que el coste total de las hojas es de 9,1 €
- Se ha utilizado un toner HP Laserjet 12 A con un precio de venta de 61 €

Sumando el coste asociado a las hojas y a la tinta utilizada, se obtiene que el coste total asociado al **material fungible** es de **70,1 €**

El coste de **impresión** de las diferentes copias de la memoria y anexos del proyecto es de **52 €** y el coste de **encuadernación** de dichas copias es de **13,5 €** Por tanto el coste de impresión y encuadernación es de **65,5 €**

Además, se incluye un aparatado de imprevistos con un coste asociado del 5% del total del proyecto, para tener en cuenta partidas que no se han podido contemplar de forma más detallada como por ejemplo: otros costes de energía (calefacción u otros consumos eléctricos), amortización del espacio de trabajo (oficina, local, etc.) o incrementos en los precios utilizados.



COSTES DE REALIZACIÓN		
Concepto	Descripción	Importe (€)
Amortización ordenador personal	Toshiba Satellite P100-210	105,05
Software	Windows XP, Microsoft office 2003, Visual Studio .Net 2005	30,00
Material fungible:	<ul style="list-style-type: none"> • Memoria flash USB marca PNY (2Gb) • Bobina Verbatim de 10 CD-R (700 MB) 	6,50 3,70
Consumo de energía	Electricidad	5,80
Desplazamientos	Visitas a bibliotecas y oficinas de los expertos	30,00
Personal	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero industrial junior (800 h x 20 €/h) • Personal de apoyo 	16000,00 1900,00
Subtotal de realización		18081,05
COSTES DE EDICIÓN		
Material fungible	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas Inkjet Navigator DIN A4 • Toner HP Laserjet 12 A 	9,10 61,00
Impresión y encuadernación	Impresión y encuadernación de la memoria y anexos	65,50
Subtotal de edición		135,60
SUBTOTAL		18216,65
Imprevistos (5%)		910,83
PRESUPUESTO FINAL DEL PROYECTO (contando 16% de IVA)		22187,88

Tabla E.2. Presupuesto del proyecto





F. Evaluación ambiental

Según la ley 6/2001 en los anexos de los proyectos se tiene que incluir una evaluación del impacto ambiental.

Los datos que afectan a este proyecto y por tanto hay que incluir, son los siguientes:

- Estimación de los tipos y cantidades de residuos vertidos, emisiones de gases y consumo de energía.
- Explicación de las principales alternativas para reducir las consecuencias medioambientales.

En el caso de este proyecto, sólo se tienen en cuenta los residuos generados, las emisiones de gases y el consumo eléctrico derivados de las actividades necesarias para realizar el proyecto, ya que este no contempla la implementación de los modelos o sistemas desarrollados.

A) Residuos generados:

Los residuos generados son:

Papel:

1300 folios DIN A4 (utilizados en la impresión de borradores y de la memoria y anexos del proyecto) con una densidad de 80 g/m² y unas dimensiones de 21 x 29,7 cm, lo que totaliza un total de **6,48 kg** de papel.

Su tratamiento posterior, debido a que se puede asimilar a un residuo municipal, consiste en depositar el papel en contenedores de reciclaje para de este modo poder volver a utilizarlo.

Tinta de impresora:

- 1 toner de tinta negra que se ha utilizado para imprimir los borradores del proyecto.
- Cartuchos de diferentes colores utilizados para imprimir la memoria y anexos en su versión definitiva.

Estos materiales se tratan según las normativas locales.

Materiales compuestos:

- Bolígrafos y otros instrumentos de escritura.
- CDs utilizados para hacer las copias de seguridad.

Estos materiales se tratan según las normativas locales.

Equipo electrónico:

El ordenador, impresora, la memoria USB y los otros instrumentos electrónicos utilizados para realizar el proyecto tienen un ciclo de vida limitado por la obsolescencia de la tecnología que



utilizan, por ello es importante establecer un sistema que los gestione una vez que han alcanzado su vida útil. Existen dos posibilidades:

- Reutilización por usuarios con requisitos de funcionamiento inferiores.
- Reciclaje según las disposiciones del RD 208/2005.

B) Consumo eléctrico:

Como se ha comentado en el anexo D, el consumo de electricidad se debe al uso del ordenador y de la luz artificial.

El consumo eléctrico del ordenador durante las 800 horas que ha estado en funcionamiento es de 27 kWh.

Por otro lado, el consumo eléctrico de la luz artificial, se ha utilizado un flexo con una bombilla de 40 W, a lo largo de las 940 horas en las que se ha utilizado es de 37 kWh.

El consumo total de electricidad ha sido de **64 kWh**.

C) Emisiones de gases:

Las emisiones que se tienen en cuenta son las correspondientes al CO_2 .

Desplazamientos:

Las visitas a bibliotecas para obtener información y las visitas a expertos para validar el contenido del proyecto han conllevado unos 10 desplazamientos a pie de 4 km de media y unos 15 desplazamientos en autobús urbano de 8 km de media. Según la Agència d'Energia de Barcelona una persona a pie consume 0,16 MJ/Km y un autobús urbano consume 0,58 MJ/Km·viajero. Teniendo en cuenta que $1 MJ = 10^3 kWs$ y que $1 kWs = 2,77 \cdot 10^{-4} kWh$, obtenemos un consumo de 21,1 kWh. Según el informe MIES realizado por la UPC en el año 1999, 1 Kwh generado por un automóvil emite 0,27 kg de CO_2 . Por lo que se obtienen unas emisiones a la atmósfera de **5,7 kg** de CO_2 .

Consumo eléctrico:

El proyecto tiene un consumo eléctrico asociado de 64 kWh. Según el informe MIES realizado por la UPC en el año 1999, para generar 1 Kwh de electricidad se emiten 0,545 kg de CO_2 . Por lo que se obtienen unas emisiones a la atmósfera de **36,8 kg** de CO_2 .

La emisión total es de **42,5 kg** de CO_2 .

Como se puede observar, el impacto ambiental negativo asociado a la realización de este proyecto es reducido.



Bibliografía

Referencias bibliográficas

Referencias bibliográficas, ordenadas por orden con el que han sido mencionadas a lo largo de los anexos. En el caso de que la misma referencia haya sido mencionada en más de una ocasión, sólo se contará la primera vez a efectos de clasificación. La mayoría de referencias están relacionadas con artículos de revistas de ingeniería, aunque también hay libros, todos ellos han sido utilizados para redactar los anexos y su consulta puede ser útil para profundizar en ciertos contenidos de los mismos.

A continuación se adjuntan las referencias bibliográficas que aparecen en los anexos:

- [1]. AIChE, American Institute of Chemical Engineers. *Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety*, Nueva York, 1985.
- [2]. ZOLLER, L., ESPING, J. *Hydrocarbon Processing*. Vol. 72(1), p. 132, 1993.
- [3]. KLETZ, T. *Chemical Engineer*. Vol. 92, p. 48-56, 1985.
- [4]. CCPS. *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis* (Vol. 32), Nueva York, 1989.
- [5]. NOLAN, D. *Application for HAZOP and What-if Safety Reviews to the petroleum, petrochemical and chemical industries*.
- [6]. BALEMANS, A. *Loss of Prevention and Safety Promotion*. Vol. 1, 1974, p. 7-15.
- [7]. HESSIAN, R.T., RUBIN, J. *Risk assessment and risk Management for the CPI*. Van Nostrand. Nueva York, 1991.
- [8]. OYELEYE, O., KRAMER, M. *AIChE Journal*. Vol. 9(9), 1988.
- [9]. KLETZ, T.A. *HAZOP and HAZAN: Notes on the identification and assessment of hazards*. Institution of Chemical Engineers. Rugby, 1983.



- [10]. JAMES, R., WELLS, G. *Safety reviews and their timing. Journal of Loss Prevention in the Process Industries.* Vol. 7(1), 1994, p. 11-21.
- [11]. F. LEES, *Loss Prevention in Process Industries, Volume 1-3, 1996.*
- [12]. GREENBERG, H.R., CRAMER, J.J. *Risk assessment and risk Management for the Chemical Process Industry.* Van Nostrand Reinhold. Nueva York, 1991.
- [13]. O'MARA, R. *Risk Assesment and Risk Management for the CPI.* Ediciones Greenberg and Cramer. Nueva York, 1991.
- [14]. FREEMAN, R., LEE, R., MCMAMARA, T. *Chemical Engineering Progress.* 1992.
- [15]. SWEENY, J. *Process Safety Progress.* Vol. 12(2), 1993, p. 83-90.
- [16]. PULLY, A. *Process Safety Progress.* Vol. 12(2), 1993, p. 106-110.
- [17]. KOLODJI, B. *Process Safety Progress.* Vol. 12(2), 1993, p. 127-131.
- [18]. MACKELVEY, C. *IEEE Transactions on Reliability.* Vol. 37(2), 1988, p. 167-170.
- [19]. MONTAGUE, D. *Reliability Engineering and System Safety.* Vol. 29(1), 1990, p. 27-33.
- [20]. LAPP, S., POWERS, G. *Chemical Engineering Progress.* Vol. 72(4), 1979.
- [21]. RAUZY, A. *Reliability Engineering and System Safety.* Vol. 40, 1993, p. 203-211.
- [22]. PARMER, J., LEES, F. *Reliability Engineering.* Vol. 7, 1987, p. 277-303.
- [23]. HAUPTMANN, U. *FTA for Process Industries: Engineering Risk and Hazard Assesment.* Kandel and Avani, Eds. Florida, 1988.
- [24]. LAI, F., SHENOI, S. *Engineering Risk and Hazard Assesment.* Eds Kandel and Ivni. Florida, 1986.
- [25]. YLLERA, J. *Engineering Risk and Hazard Assesment.* Eds Kandel and Ivni. Florida, 1988.
- [26]. LAAP, S. *Chemical Technology.* 1991, p.700-704.



- [27]. CCPS- Center for Chemical Process Safety. *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures Second Edition with Worked Examples*. AIChE-American Institute of Chemical Engineers, New York, 1992.
- [28]. KLETZ, T.A. *HAZOP and HAZAN: Notes on the identification and assessment of hazards*. Institution of Chemical Engineers. Rugby, 1983.
- [29]. WELLS, G. *Hazard Identification and Risk Assessment*. Institution of Chemical Engineers, 1996.



Bibliografía complementaria

Debido a que este proyecto consiste en sintetizar mucha información para proponer un modelo para seleccionar y aplicar ciertas técnicas PHA, ha sido necesario consultar un gran número de fuentes bibliográficas. Para facilitar su visualización, se han clasificado por los anexos en los que han aportado más información para su redacción. No se incluyen en las referencias bibliográficas porque no son tan necesarias para profundizar en el contenido del trabajo.

Especificaciones para aplicar las técnicas PHA:

PrHA:

WELLS, G., WARDMAN, M., WHETTON, C. *Preliminary Safety Analysis. Journal of loss prevention in the process industry*. 1996, p. 47-60.

U.S. Department of Defense. MIL-STD-882B: *Military Standard System Safety Program Requirements*, 1984.

What-if:

Chemical Process Hazard Review, ACS Symposium Series 274, American Chemical Society, Washington, DC, 1985.

GOLAY, W.M. *Improved nuclear power plant operations and safety through performance-based safety regulation. Journal of Hazardous Materials*. Vol. 71(1-3), 2000, p. 219-237.

HENDERSHOT, D.C. *Design of Inherently Safer Chemical Processing Facilities*. Texas Chemical Council Safety Seminar, 1991.

MILLER, R.L. *Major Loss Prevention in the Process Industries*, AIChE Symposium. Ser. 34, 1971, p. 203-209.

MORRISON, L.M. *Best practices in incident investigation in the chemical process industries with examples from the industry sector and specifically from Nova Chemicals. Journal of Hazardous Materials*. Vol. 111(1-3), 2004, p. 161-166.



Relative Ranking:

AIChE. *Dow Chemical Company, Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide (7th ed)*. Nueva York, 1989.

Imperial Chemical Industries. *The Mond Index (2d ed)*. UK, 1985.

TWEEDDALE, H.M., CAMERON, R.F., SYLVESTER, S. *Some experiences in hazard identification and risk shortlisting. Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 5(5), 1992, p. 279-288.

Safety Review:

The Chemical Industry Safety and Health Council of the Chemical Industries Association. *Safety audits: a Guide for the Chemical Industry*, 1977.

WILLIAMS, D. *Major Loss Prevention in the Process Industries*. The Institute of Chemical Engineers Symposium. Ser. 34, 1971, p. 220-242.

What-if/checklist:

BURK, A.F. *What-if/checklist. Powerful Process Hazard Review Technique*. AIChE Summer National Meeting, 1991.

LAMBERT, H.E. *Failure Modes and Effects Analysis*. NATO Advanced Study Institute, 1978.

U.S. Navy, MIL-STD-1629A: *Procedures for Performing a Failure Mode and Effect Analysis*, 1977.

WAGONER, R.I. *Hazards Analysis of Petroleum Systems (HAPS): An adaptation of the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) Technique*. AREYE Corporation. Texas, 1988.

FMEA:

ARUNAJADAI, S.G., UDER, S.J, STONE, R.B., TU, I.Y. *Failure Mode Identification through Clustering Analysis. Quality and Reliability Engineering International*. Vol. 20(5), 2004, p. 511-526.

Guide to the Assessment of Reliability, BS 5760: Part 7, 1992.

Norma IEC 60812.



HAZOP:

CIA, Chemical Industries Association. *A Guide to Hazard and Operability Studies*. 1993.

Norma BS IEC 61882:2001.

FORD, K.A., BROWN, W.H. *Innovative Applications of the HAZOP Technique*. AIChE Spring National Meeting. Orlando, 1990.

JBF Associates. *Technical Specifications for Performing a HAZOP Analysis*, 1990.

MUSHTAQ, F., CHUNG, H. *A systematic HAZOP procedure for batch processes, and its application to pipelines plants*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 13(1). 2000, p. 41-48.

QURESHI, A.R. *The role of hazard and operability study in risk analysis of major hazard plant*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 1(2), 1988, p. 104-109.

SCHLECHTER, W. *Process Risk Assessment- Using Science to “do it right*. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. Vol. 61(2-3), 1995, p. 479-494.

SCHUBACH, S. *A modified computer hazard and operability study procedure*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 10(5-6), 1997, p. 303-307.

FTA:

Guide to the Assessment of Reliability, BS 5760: Part 7, 1992.

Guide to Fault Tree Analysis, BS 5760: Part 7, 1992.

HILL, R. *The design of alarms and interlocks-process aspects*. New Providence, NJ 07974, USA.

TAKAHASHI, M., TANAKA, K., SUZUKI, K. *Fault tree diagnosis based on minimal cut sets and using repair information*. *Electronics and Communications in Japan*. Vol. 82(11), 1999, p. 38-46.

VESELY, W.E., Goldberg, F.F. *Fault Tree Handbook*. U.S Nuclear Regulatory Commission.

YUHUA D., DATAO, Y. *Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 18(2), 2005, p. 83-88.



U.S Nuclear Regulatory Commission. *PRA Procedures Guide- A Guide to the Performance of Probabilistic Risk Assessments for Nuclear Power Plants*. Washington, DC, 1983.

ETA:

Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, Center for Chemical Process Safety, AIChE, Nueva York, 1989.

CORNELL, M. *Fault Trees vs. Event Trees in Reliability Analysis*. *Risk Analysis*. Vol. 4(3), 1981.

LIMNIOUS, N., JEANNETTE, J.P. *Event Tress and Their Treatment on PC Computers*. 1987.

HRA:

DHILLON, B.S. *Human Reliability with Human Factors*. Pergamon Press, 1986.

DOUGHERTY JR, E.M., FRAGOLA, J.R. *Human Reliability Analysis: a Engineering Approach with Nuclear Power Plant Applications*, 1988.

KIM, J.W., JUNG, W. *A taxonomy of performance influencing factors for human reliability analysis of emergency tasks*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 16(6), 2003, p. 479-495.

SWAIN, A.D., GUTTMAN, H.E. *Handbook of Human-Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Plant Applications*. U.S Nuclear Regulatory Commission, Report NUREG-CR-1278, 1983.

CCA:

NIELSON, D.S. *Cause-Consequence Diagrams*. Nordic Working Group on Reactor Safety, 1975.



