

Resumen

En los últimos años están adquiriendo una gran relevancia los estudios y las técnicas que permiten la identificación, evaluación y control de los peligros que pueden aparecer en la industria química de procesos y nuclear. Dichas técnicas reciben el nombre de técnicas PHA (Process Hazad Analysis o análisis de los peligros de los procesos) y su aplicación permite prevenir los accidentes que pueden suceder en las instalaciones industriales y asegurar la productividad de las mismas.

La numerosa legislación que obliga a realizar estudios PHA no da instrucciones o especificaciones sobre cómo realizarlos, es por este motivo que este proyecto se centra en desarrollar una serie de modelos teóricos, con carácter orientativo, que faciliten el proceso de selección y aplicación de las técnicas más utilizadas para realizar estudios PHA.

A partir del estudio y análisis de numerosa bibliografía (guías, libros y revistas especializadas) relacionada con las técnicas y estudios PHA y que ha permitido conocer el estado del arte de las mismas, se ha extraído y sintetizado la suficiente información para obtener los siguientes resultados:

- a) Una memoria, destinada a aquellas personas que están familiarizadas con la temática del proyecto y tienen conocimientos de ingeniería, en la que se desarrollan las bases teóricas de un método para seleccionar técnicas PHA y un sistema de gestión que permite describir la metodología a seguir para poder realizar estudios PHA con cada una de las técnicas PHA sobre las que versa el proyecto.
- b) Una guía gráfica y visual (Anexo C), que puede ser utilizada por usuarios con niveles de conocimiento muy dispares, en la que se desarrolla un sistema para gestionar, de manera sencilla, la realización de estudios PHA.
- c) Una aplicación informática (Anexo D, ejecutable y código fuente en el CD) que facilita el proceso de selección de las técnicas PHA consideradas en este proyecto y que basándose en el modelo desarrollado en la memoria es capaz de recomendar la técnica que mejor se ajusta a las características de los diferentes estudios PHA.

A pesar de que los modelos desarrollados en este proyecto no han podido ser probados de forma práctica, se cree que su utilización puede abaratar y reducir el tiempo necesario para realizar estudios PHA y para formar, al menos de forma inicial, al personal que interviene en los mismos.

Por último, se ha podido constatar la importancia de realizar estudios PHA a lo largo de todo el ciclo de vida de una instalación industrial y la creciente utilización de programas informáticos que facilitan la realización de los mismos.





Sumario

RESUMEN	1
SUMARIO	3
ANEXOS	5
ÍNDICE DE TABLAS, GRÁFICOS E ILUSTRACIONES	6
1. GLOSARIO	7
2. PRÓLOGO	9
2.1 Origen del proyecto	9
2.2 Motivación	9
3. INTRODUCCIÓN	11
3.1 Objetivos del proyecto.....	11
3.2 Ámbito de aplicación del proyecto	11
4. SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA SEGURIDAD (SGS)	15
5. GESTIÓN DEL RIESGO UTILIZANDO EL SGS	23
6. ESTUDIOS PHA	27
6.1 ¿Qué es un estudio PHA?.....	27
6.1.1 Principales peligros y consecuencias que pueden identificarse	28
6.1.2 Resultados que suelen proporcionar	29
6.1.3 Factores que definen la minuciosidad de sus resultados	29
6.1.4 Limitaciones que presentan	30
6.2 Importancia de realizar estudios PHA durante todo el ciclo de vida.....	31
6.2.1 Modelo de ciclo de vida utilizado en este trabajo.....	32
6.3 ¿Cuándo hay que realizar un estudio PHA?	36
7. TÉCNICAS PHA	37
7.1 Estado del arte actual de las técnicas PHA.....	39
7.2 Técnicas PHA sobre las que versa el proyecto.....	42
7.2.1 Criterio de selección.....	42
7.2.2 Introducción a las técnicas PHA seleccionadas	43
8. MÉTODO PARA SELECCIONAR TÉCNICAS PHA	45
8.1 Factores a considerar para seleccionar técnicas PHA	46
8.1.1 Motivación del estudio.....	46
8.1.2 Etapa del ciclo de vida	46
8.1.3 Tipo de resultados buscados y generados	47



8.1.4	Información y documentación requerida y disponible	48
8.1.5	Características del proceso.....	48
8.2	Método de selección	50
8.3	Conclusiones.....	59
9.	APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA SELECCIONAR TÉCNICAS PHA	61
10.	SISTEMA DE GESTIÓN DE ESTUDIOS PHA	63
10.1	Preparación previa a la realización de un estudio PHA	64
10.1.1	Definición del estudio	64
10.1.2	Selección del equipo que realiza el estudio PHA	65
10.1.3	Selección de la técnica	71
10.1.4	Recopilación y modificación de la información disponible	71
10.1.5	Planificación del estudio	73
10.2	Realización del estudio PHA	76
10.2.1	Identificación de los peligros asociados a un proceso	76
10.2.2	Herramientas informáticas que facilitan la realización del estudio.....	80
10.3	Documentar los resultados	82
10.3.1	Documentación generada en las sesiones de trabajo	82
10.3.2	Informe final del estudio PHA.....	83
10.3.3	Comunicación y distribución del informe final	84
10.4	Seguimiento de las recomendaciones	85
10.4.1	Responsables de la implementación y seguimiento de las recomendaciones.....	85
10.4.2	Justificación de las recomendaciones.....	85
10.4.3	Priorizar las recomendaciones	86
10.4.4	Sistema para hacer el seguimiento de la respuesta a las recomendaciones	87
10.5	Gestión de los cambios y su influencia sobre el estudio PHA.....	88
10.6	Control de calidad de un estudio PHA	90
10.6.1	Evaluación del estudio PHA.....	90
10.6.2	Evaluación de la actuación del líder del estudio PHA.....	91
10.7	Conexión del estudio PHA con otros estudios	92
10.7.1	Estudios de Selección de SIL (Safety Integrity levels).....	93
10.7.2	Los estudios de Alcance de Consecuencias (EAC)	94
10.7.3	LOPA (Layer of Protection Analysis).....	94
10.8	Conclusiones y consejos.....	95
CONCLUSIONES	97
AGRADECIMIENTOS	99
BIBLIOGRAFIA	101
	Referencias bibliográficas	101
	Bibliografía complementaria.....	105



Anexos

- A. CARACTERÍSTICAS DE LAS TÉCNICAS PHA.**
- B. ESPECIFICACIONES PARA APLICAR LAS TÉCNICAS PHA.**
- C. GUÍA GRÁFICA PARA SELECCIONAR Y APLICAR TÉCNICAS PHA.**
- D. APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA SELECCIONAR TÉCNICAS PHA.**
- E. PRESUPUESTO.**
- F. EVALUACIÓN AMBIENTAL.**



Índice de tablas, gráficos e ilustraciones

TABLAS

Tabla 3.1. Principales industrias químicas de procesos _____	12
Tabla 3.2. Principales accidentes de la industria química de procesos y nuclear _____	13
Tabla 4.1. Antecedentes legislación sobre SGS _____	16
Tabla 4.2. Legislación actual sobre SGS _____	17
Tabla 4.3. Elementos que forman los diferentes SGS _____	20
Tabla 5.1. Métodos para realizar el análisis de peligros y riesgos _____	25
Tabla 6.1. Consecuencias de los peligros en función de su impacto _____	29
Tabla 6.2. Estudios diferentes a los PHA que se pueden realizar en el ciclo de vida _____	34
Tabla 7.1. Principales técnicas para identificar y evaluar peligros _____	38
Tabla 8.1. Técnicas PHA más utilizadas en cada etapa del ciclo de vida _____	47
Tabla 10.1. Bases de datos de accidentes _____	78
Tabla 10.2. Software de seguridad de procesos _____	81

GRÁFICOS

Gráfico 1. Modelo de ciclo de vida _____	32
--	----

ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ventana 1 de la aplicación _____	61
Ilustración 2. Ventanas 2, 3, 4 y 5 de la aplicación _____	62



1. Glosario

PHA: Acrónimo de “Process Hazard Analysis” (Análisis de los Peligros de un Proceso) que engloba una serie de técnicas que permiten la adecuada detección e identificación de peligros, así como su valoración, con el objetivo de determinar aquellas modificaciones que minimizan sus efectos, o en su defecto, controlarlos.

SGS: Sistema de Gestión de la Seguridad. Recoge todas las actividades, iniciativas, programas y otros elementos de tipo técnico, humano y organizativo que constituyen la gestión global de un establecimiento en el que se pretenda implantar una política de seguridad.

Técnica PHA: Cualquier método que permita la identificación y evaluación sistemática de los peligros asociados a un determinado proceso.

Establecimiento: 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.

Instalación: Unidad técnica dentro de un establecimiento en donde se producen, utilizan, manipulan, transforman, o almacenan sustancias peligrosas. Incluye todos los equipos, estructuras, maquinaria, instrumentos, muelles de carga o descarga, etc.

Proceso: Actividad o conjunto de actividades que realizadas de la forma adecuada y con el equipo necesario, son capaces de producir un determinado producto.

Sistema/subsistema: Subdivisión de un proceso sujeto a análisis mediante técnicas PHA. Representa una parte del mismo caracterizado por ser una sección del proceso, un edificio, un área o cualquier parte significativa que, de modo específico, puede ser analizado sistemáticamente.

Proyecto: Actividad temporal emprendida para crear un proceso o sistema.

Peligro: Condición física o química que tiene el potencial de causar daños a las personas, el medio ambiente o los bienes. Los peligros de proceso pueden ser de naturaleza física, química, mecánica o eléctrica. Los peligros se identifican y registran de modo estructurado mediante técnicas PHA.

Riesgo: Es una medida o índice que combina la severidad y la probabilidad (a veces incluye un factor de exposición) asociados a un peligro identificado.

Consecuencia: Perjuicio, lesión o detrimento que se produce sobre elementos vulnerables



sometidos a los efectos derivados de situaciones de peligro. Las consecuencias pueden ser: sobre la salud y seguridad de las personas (trabajadores o público en general), sobre el medio ambiente o sobre la propiedad (patrimonio o cualquier activo intangible asociado a la imagen de la empresa).

ALARP: Abreviatura en inglés de “As Low As Reasonably Practicable” que aplicado al riesgo se refiere al valor “más bajo y que sea razonablemente realizable” o “tan bajo como sea razonablemente viable”.

PPAG: Es un documento que abarca y refleja los objetivos y principios generales establecidos por el industrial en relación con el control de peligros y riesgos de accidentes graves para garantizar un alto nivel de protección a las personas, sus bienes y el medio ambiente.

EPA: Environmental Protection Agency.

OSHA: Occupational Safety and Health Administration.

API: American Petroleum Agency.

IEC: International Electrotechnical Commission.

CCPS: Center for Chemical Process Safety.

AIChE: American Institute for Chemical Engineers.



2. Prólogo

2.1 Origen del proyecto

Actualmente existe numerosa legislación que obliga a implantar un sistema de gestión de la seguridad (SGS) a aquellas instalaciones industriales que contienen sustancias peligrosas. Por este motivo, numerosas instituciones públicas, como la EPA, OSHA, API, IEC y privadas como CCPS, AIChE, han desarrollado y publicado libros y guías que describen y definen los diferentes SGS, pero todos ellos presentan los siguientes puntos débiles:

- No definen de manera concreta y detallada una parte tan importante de un SGS como es el proceso de aplicación de los estudios y técnicas que permiten identificar y evaluar los peligros asociados a un proceso (técnicas PHA), para de este modo, implementar modificaciones o medidas que reduzcan los efectos de las mismas
- No desarrollan un método que facilite el proceso de selección de las técnicas PHA.
- En el caso de España, el RD 1254/1999 y sus sucesivas modificaciones, sólo definen los principales puntos que debe contener el SGS que obligan implantar, sin proporcionar especificaciones que ayuden a ejecutarlo.

Como complemento de los SGS anteriormente citados, se comercializan gran número de herramientas informáticas y de paquetes de software de seguridad de procesos que facilitan la realización de los estudios PHA, pero estos tienen unos precios muy elevados y pueden ser consultados y adquiridos sólo por empresas acreditadas.

2.2 Motivación

Los principales motivos por los que se ha decidido realizar un proyecto sobre este tema son:

- El vacío provocado por la falta de información existente, sobretudo en el caso español, en lo referente a la realización de estudios PHA. Esta situación está provocada por el hecho de que la legislación se dedica a definir los SGS y no en dar instrucciones concretas para realizar los estudios PHA.
- La magnitud del ámbito de aplicación, la cual confiere una dimensión práctica a este proyecto.
- La relación existente entre la intensificación en Medio Ambiente y el desarrollo de un sistema que permita prevenir y/o evitar daños medioambientales provocados por accidentes industriales graves.





3. Introducción

3.1 Objetivos del proyecto

A partir de los comentarios realizados en el apartado 2.1, los objetivos de este proyecto son:

- a) Desarrollar una guía gráfica y sencilla, que pueda ser utilizada por personal con diferentes niveles de conocimiento, que describa un sistema de gestión que facilite el proceso de selección y aplicación de los estudios y técnicas PHA, con el objetivo de asegurar la calidad y fiabilidad de los mismos, punto de especial interés si se consideran los enormes beneficios económicos y/o sociales que pueden producir.
- b) Desarrollar una aplicación o herramienta informática sencilla que sirva como complemento de la guía en lo referente al proceso de selección de las técnicas PHA.

3.2 Ámbito de aplicación del proyecto

Este proyecto se centrará en los estudios de identificación y evaluación de peligros (PHA) realizados en las siguientes industrias:

- a) **Industria química de procesos:** la gran diversidad de productos fabricados por esta industria ha provocado que sea habitual el uso de reactores, tanques de almacenamiento y otros sistemas en los que se manipulan sustancias peligrosas a elevadas temperaturas y/o presiones. (Tabla 3.1)
- b) **Industria nuclear:** el combustible que utiliza, los residuos que genera y los efectos potenciales tan graves que puede tener un accidente, la convierten en un banco de pruebas ideal de los estudios PHA.

En dichas industrias se producen accidentes (Tabla 3.2) un suceso se puede catalogar como accidente si es inesperado, inevitable e indeseado [1], de entre los que se pueden destacar los escapes tóxicos, explosiones e incendios, teniendo como causas más comunes los fallos de material (una rotura en un depósito de almacenamiento), errores en la operación (operar por encima de los límites de presión o temperatura), perturbaciones externas y fallos humanos.

Los efectos de dichos accidentes se multiplican debido a que las instalaciones industriales se agrupan en complejos, facilitando que se produzca el llamado efecto dominó, que no es más que la propagación de accidentes entre diferentes instalaciones.



PRINCIPALES INDUSTRIAS QUÍMICAS DE PROCESOS:

Plantas donde se fabrican o manipulan sustancias químicas, entre las que destacan:

- Amoniaco.
- Cloro.
- Hidrógeno.
- Benceno.
- Propano.
- Butano.
- Propileno.
- Ácido sulfúrico.
- Etileno.
- Nitrógeno.
- Estireno.
- Cloruro de vinilo.
- PVC.
- Ciclohexano.
- Ácido acético.

Refinerías de petróleo, GLP (gas licuado de petróleo) y derivados (gasolina, fuel oil, queroseno).

Refinerías de gas natural.

Almacenamiento de sustancias químicas.

Industria farmacéutica.

Tabla 3.1. Principales industrias químicas de procesos



AÑO	LUGAR	SUSTANCIA	INCIDENTE
1917	Halifax (Canadá)		
1947	Texas city disaster (EEUU)	Nitrato amónico	Explosión
1948	Ludighafen (Alemania)	Dimetil éter	Explosión
1972	Rió de Janeiro (Brasil)	Butano	Explosión
1974	Flixborough (England)	Ciclohexano	Explosión
1976	Seveso * (Italia)	Dioxina TCDD	Escape tóxico
1978	Los Alfaques (España)	Propileno	Explosión e incendio durante el transporte
1978	Santa Cruz (Méjico)	Propileno	Fuego
1984	Cubato (Brasil)	Gasolina	Fuego y explosión durante el transporte
1984	Méjico DC (Méjico)	GLP	Fuego y explosión
1984	Bhopal ** (India)		
1986	Chernobyl (Ucrania)	Central nuclear	
1987	Piper Alpha (Plataforma marítima en el mar del Norte)	Hidrógeno	Explosión
1989	Nizhevarortovsvk (Rusia)	GLP	Explosión e incendio durante el transporte
1989	Pasadera (EEUU)	Etileno	Explosión
1994	Dronka (Egipto)	Fuel	Fuego

Tabla 3.2. Principales accidentes de la industria química de procesos y nuclear

Algunos de estos accidentes han servido para que las instituciones públicas se diesen cuenta de la importancia de desarrollar SGS:

* Originó que la Comisión Europea realizase la Directiva Seveso I.

** Originó que la Comisión Europea realizase la Directiva Seveso II.





4. Sistemas de gestión de la seguridad (SGS)

Desde mediados de los años 80, se ha realizado un gran progreso y esfuerzo para desarrollar sistemas de gestión de la seguridad (SGS) de procesos industriales, sobretodo en las industrias sobre las que se centra este trabajo, debido a:

- Accidentes industriales graves que han provocado cuantiosas pérdidas materiales y/o humanas.
- Numerosa legislación que obliga a implantar estos sistemas para controlar la seguridad de los procesos industriales.
- La publicación de varios modelos de SGS por diferentes instituciones públicas, como la EPA, OSHA, API, etc.
- Concienciación e interés que presentan numerosas compañías de la industria química y nuclear en implantar sus propios SGS, ya que se han dado cuenta que a largo plazo, operar una planta más segura conduce a un negocio más productivo y una mejor relación con las agencias u organismos de control.

A pesar de todo lo anteriormente comentado, existen todavía detractores de la aplicación de SGS, entre los cuales destacan:

- En los diseños nuevos, los directores del proyecto creen que incrementará los costes y retrasará el programa.
- En instalaciones existentes, los directores de la planta creen que conllevarán modificaciones, cierres y pérdidas de producción.

Los SGS aplicados a una determinada instalación o planta industrial varían en función de:

- El Sistema global de gestión desarrollado por la compañía o grupo de compañías a las que pertenece.
- La procedencia de la compañía a la que pertenece y la legislación a la que está sometida la misma.

Debido a la amplia utilización de los SGS en la actualidad, se han desarrollado numerosos métodos para evaluar o valorar la calidad de los mismos, entre los que destacan:

- QUASA. [2]
- STATAS (Structured Audit Technique for the Assessment of Safety Management Systems). [3]
- PRIMA (Process Risk Management Audit). [4]
- SAQ (Safety Attitude Survey Questionnaire). [5]
- ISRS (International Safety Rating System).



La siguiente tabla muestra una recopilación de la legislación internacional más importante que ha servido como antecedente o precedente de la legislación sobre SGS vigente en la actualidad. (Tabla 4.1)

<p>EEUU:</p> <p>1985:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. The American Institute for Chemical Engineers (AIChE) crea el Center of Chemical Process Safety (CCPS). 2. The Chemical Manufacturers Association (CMA) crea la Community Awareness Response Program (CAER). <p>1986:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Toxic Catastrophic Prevention Act, New Jersey. 2. Air Control Board Permit Review Program, Texas. <p>1988:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Extremely Hazardous Substances Risk Management Act. <p>1990:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. The American Petroleum Institute (API) recomienda la práctica 750 (Management of Process Hazards). 2. US Environmental Protection Agency (EPA) - The Clean Air Act.
<p>Reino Unido:</p> <p>1974:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Health and Safety at Work. 2. Health and Safety Commission (HSC) – Advisory Committees.
<p>Comisión Europea (EC):</p> <p>1982:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Directiva Seveso I.

Tabla 4.1. Antecedentes legislación sobre SGS



En la actualidad, existe numerosa legislación que obliga a implantar un SGS a aquellas instalaciones industriales afectadas. La siguiente tabla presenta una síntesis de la más importante a nivel mundial, prestando especial interés en el caso de España. (Tabla 4.2)

<p>EEUU:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Riesgos laborales para los trabajadores o consecuencias en el interior de la instalación: <i>OSHA</i> (Occupational Safety and Health Agency). • Impacto medioambiental o en el exterior de la instalación <i>EPA</i> (Environmental Protection Agency).
<p>COMISIÓN EUROPEA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impacto medioambiental o en el exterior de la instalación: <i>Directiva 96/82/EC</i> (Seveso II, 1996). • Riesgos laborales para los trabajadores o consecuencias en el interior de la instalación: <i>Directiva 89/391/CEE</i>.
<p>REINO UNIDO:</p> <p><i>COMAH</i> (Control of Major Accident Hazards). <i>COSHH</i> (Control of Substances Hazardous to Health, 1999).</p>
<p>ESPAÑA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impacto medioambiental o en el exterior de la instalación: <i>Real Decreto 1254/1999</i>. <i>Real Decreto 1196/2003</i>. <i>Real Decreto 119/2005</i>. <i>Real Decreto 948/2005</i>. • Riesgos laborales para los trabajadores consecuencias en el interior de la instalación: <i>Ley de Prevención de riesgos laborales RD 31/1995</i>.
<p>CATALUÑA:</p> <p><i>Decreto 174/2001</i>.</p>
<p>BARCELONA:</p> <p><i>OMAIIAA</i> (Ordenanza Municipal d'Activitats i d'Intervenció Integral de l'Administració Ambiental de Barcelona).</p>

Tabla 4.2. Legislación actual sobre SGS



Como resultado de la legislación actualmente en vigor, se han desarrollado y declarado como de obligada implantación, dependiendo del país en que se encuentre la instalación, diferentes sistemas de gestión de la seguridad, entre los que destacan:

- Process Management of Highly Hazardous Chemicals and Blasting Substances Regulations- 19 CFR 1910.119 (1992) de la OSHA. Conocido como **PSM (Process Safety Management)**.
- Accidental Release Prevention Requirements- 40 CFR Part 68. (1998), de la EPA. Conocido como **RMP (Risk Management Plan)**.
- **Safety Management System (SMS)** del Council Directive 96/82/EC (Seveso II).
- **SGS** del RD 1254/1999.

A continuación se realiza una breve introducción sobre los sistemas de gestión de seguridad anteriormente citados:

PSM:

Se realizó a raíz del accidente de Pasadera (Texas) en 1989. Anteriormente a la promulgación de esta norma, las sustancias químicas peligrosas no eran vistas como peligros industriales, a no ser que afectaran a instalaciones nucleares.

Se aplica a aquellas instalaciones industriales, exceptuando las instalaciones de almacenamiento, que contienen ciertas sustancias químicas peligrosas, como son los líquidos inflamables y gases con más de 4000 kg de inventario.

Su objetivo es prevenir los escapes de HHC (Highly Hazardous Chemicals) que tienen el potencial de causar explosiones, fuegos o nubes tóxicas.

RMP:

Se aplica a aquellas instalaciones industriales que contienen cualquier sustancia peligrosa listada en el CFR (Code of Federal Regulation) en una cantidad que supera la cantidad umbral especificada para esa sustancia; 77 sustancias tóxicas con cantidades límite entre 200-9000 kg., 63 sustancias inflamables con cantidades límite de 4500 kg, sustancias explosivas con cantidades límite de 2500 kg.

Existen tres niveles del programa, los cuales se basan en el impacto potencial para el público y en el nivel de esfuerzo necesario para prevenir. Dichos niveles son:

NIVEL 1: procesos que no afectarían al público en caso del peor escape posible.

NIVEL 2: impone requerimientos sobre la prevención y evaluación del riesgo, así como una gestión de la respuesta en caso de emergencia. Es el nivel por defecto.

NIVEL 3: procesos no aptos para el programa 1 ni sujetos al PSM de la OSHA. Impone el PSM como programa de prevención y evaluación de peligros y adicionalmente impone que se gestione la respuesta en casos de emergencia.



SMS:

Tiene su origen en la revisión de la directiva Seveso I a raíz del accidente de Bhopal (India 1984) y de Basel (Suiza 1986). Actualmente se está revisando debido a los accidentes de Baia Mare (Rumania 2000) y de Enschede (Holanda 2000), los cuales han demostrado la necesidad de cubrir los peligros debidos al almacenamiento y procesado de actividades en la minería y al almacenamiento y manufactura de sustancias pirotécnicas

Se aplica en las instalaciones industriales catalogadas de alto nivel por la directiva Seveso II.

Su objetivo es prevenir los accidentes graves relacionados con sustancias peligrosas y limitar sus consecuencias.

SGS:

Se aplica en las instalaciones industriales que contengan 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 1245/1999.

Su objetivo es prevenir los accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas, así como limitar sus consecuencias con la finalidad de proteger a las personas, los bienes y el medio ambiente



La siguiente tabla muestra las principales actividades en las que se centran cada uno de los SGS anteriormente citados para conseguir una adecuada gestión de la seguridad de una instalación industrial.

SMS (SEVESO II)	PSM (OSHA)	RMP NIVEL 2 (EPA)
ORGANIZATION AND PERSONNEL (Organización y personal)	EMPLOYEE PARTICIPATION (Participación de los empleados)	EMPLOYEE PARTICIPATION
OPERATIONAL CONTROL (Control de operaciones)	PROCESS SAFETY INFORMATION (Información de seguridad del proceso)	SAFETY INFORMATION (Información de seguridad del proceso)
IDENTIFICATION AND EVALUATION OF MAJOR HAZARDS (Identificación y evaluación de los principales peligros)	PROCESS HAZARD ANALYSIS (PHA)	HAZARD REVIEW (Revisión de peligros)
MANAGEMENT OF CHANGE (Gestión de cambios)	OPERATIONG PROCEDURES (Procedimientos de operación)	OPERATIONG PROCEDURES (Procedimientos de operación)
PLANNING FOR EMERGENCIES (Plan de emergencias)	TRAINING (Formación)	TRAINING (Formación)
MONITORING PERFORMANCE (Monitorización de la actuación)	COMPLIANCE AUDITS (Auditorias de cumplimiento)	COMPLIANCE AUDITS (Auditorias de cumplimiento)
AUDIT AND REVIEW (Auditorias y revisión)	MECHANICAL INTEGRITY (Integración mecánica)	MAINTENANCE (mantenimiento) Equivale a la integración mecánica
	MANAGEMENT OF CHANGE (Gestión de cambios)	MANAGEMENT OF CHANGE (Gestión de cambios)
	INCIDENT INVESTIGATION (Investigación de incidentes)	INCIDENT INVESTIGATION (Investigación de incidentes)
	NONROUTINE WORK AUTHORIZATIONS (Permisos para trabajos no rutinarios)	EMERGENCY PLANNING AND RESPONSE (Plan de respuesta para emergencias)
	EMERGENCY PLANNING AND RESPONSE (Plan de respuesta para emergencias)	ANÁLISIS DE LAS CONSECUENCIAS EXTERNAS
	SUBCONTRACTOR SAFETY (Seguridad de las contratatas)	HISTORIA DE LOS ACCIDENTES DE LOS ÚLTIMOS 5 AÑOS
	TRADE SECRETS (Secretos de la compañía)	INFORMACIÓN SOBRE EL PROGRAMA DE PREVENCIÓN
	PRE-STARTUP SAFETY REVIEW (Revisión previa a la puesta en marcha)	

Tabla 4.3. Elementos que forman los diferentes SGS



Como se puede observar en la tabla anterior, todos los sistemas de gestión de la seguridad incluyen un apartado que consiste en identificar y evaluar los peligros asociados a los procesos de una instalación industrial. A pesar de la importancia de esta actividad, que por motivos de estandarización se denomina PHA (Process Hazard Analysis), los SGS no dan detalles o especificaciones para ejecutarla o si lo hacen es de forma ambigua. Por todo ello y como ya se ha dicho en el prólogo, este trabajo se centrará en estudiar esta parte tan fundamental de todo SGS.

Para ilustrar la falta de especificaciones que los SGS presentan en lo referente al PHA, se adjuntan las indicaciones que estos realizan:

SMS:

Establece que se debe incluir un procedimiento sistemático y crítico para identificar y evaluar los peligros graves que surgen de las actividades y de las sustancias y materiales manipulados o producidos en el proceso, así como para definir las medidas que permiten prevenir los incidentes y mitigar sus consecuencias.

Dicho procedimiento debe ser aplicado en todas las etapas del proceso y debe considerar cualquier lección aprendida de los incidentes y accidentes previos, de la experiencia de operación en instalaciones semejantes y de las inspecciones de seguridad.

PSM:

Establece que se debe incluir un método sistemático para identificar, evaluar y controlar los peligros de los procesos a lo largo de toda la vida de la instalación. Dicho procedimiento proporciona información que ayuda a tomar decisiones que mejoran la seguridad y reducen las consecuencias de los escapes de sustancias químicas peligrosas.

RMP:

Establece que se debe incluir un método para identificar, evaluar y controlar los peligros de los procesos de la instalación industrial a lo largo de toda la vida de la misma.

Dicho método ayudará a determinar si se están cumpliendo los estándares y códigos y a definir un plan de respuesta para los casos de emergencia.

SGS:

El RD 1196/2003 explica de manera más práctica que el RD 1254/1999, pero de forma totalmente insuficiente, como implantar medidas para controlar los peligros inherentes de las sustancias químicas peligrosas.





5. Gestión del riesgo utilizando el SGS

Para conseguir que una instalación industrial opere de forma segura y continuada, es fundamental disponer de un sistema que gestione el riesgo asociado a sus procesos. Esto se consigue realizando las dos actividades siguientes:

1. Análisis de los peligros (PHA):

Como ya se ha comentado anteriormente, es una parte importante de todo SGS, que utiliza los estudios y las técnicas PHA para identificar, evaluar y mitigar los peligros potenciales que pueden poner en peligro la seguridad y salud de las personas, causar pérdidas económicas y dañar el Medio Ambiente.

En el caso concreto de la industria química de procesos, dicho análisis se realiza en dos pasos: [6]

a) Identificación de peligros:

Identificar los peligros y los problemas de operación asociados a un proceso/sistema industrial. En algunas ocasiones puede ser útil realizar una clasificación de los mismos teniendo en cuenta su peligrosidad.

b) Evaluación de peligros:

Esta evaluación puede ser de dos tipos:

Evaluación cualitativa de las causas y efectos de los accidentes o sucesos provocados por los peligros identificados.

Evaluación cuantitativa de los escenarios de accidente importantes, con el objetivo de determinar la probabilidad de que ocurran.

2. Análisis del riesgo:

Como se menciona en [7], para que la gestión del riesgo sea completa, es necesario completar el análisis del peligro con un análisis del riesgo, el cual se compone de las siguientes etapas:

c) Evaluación o estimación cuantitativa del riesgo:

Una vez identificados y analizados los peligros, se calcula el riesgo asociado a los accidentes más importantes que pueden provocar, considerando que el riesgo= (consecuencia del accidente) x (frecuencia con la que ocurre el accidente). Entre las técnicas utilizadas destacan los estudios SIL (Safety Integrity Levels) o LOPA (Layer of Protection Analysis), la cual tiene un papel muy importante dentro del proyecto de la Unión Europea ARAMIS (Accidental Risk Assessment Methodology for Industries) que trata de homogenizar las prácticas para la estimación del riesgo.[8]

d) Valoración del riesgo:

Comparación del riesgo calculado con el criterio de riesgo y dependiendo del nivel tolerable de riesgo, se toma la decisión de aceptar el riesgo (está dentro de los márgenes) o tomar medidas



para su reducción. Ejemplos de criterio de aceptación del riesgo son el MIACC (Major Industrial Accident Council of Canada), Acceptability Criteria y el Risk Criteria for Land-user Planning in the Vicinity of Major Industrial Hazards de UK Health and Safety Executive (HSE).

Este proyecto no incluye el análisis del riesgo debido a los siguientes motivos:

- La valoración cuantitativa del riesgo es muy compleja, ya que requiere potentes modelos matemáticos para calcular y modelar las consecuencias [9], como son los modelos de dispersión atmosférica, radiación térmica, etc.
- Sus principales aplicaciones distan mucho de las del análisis de peligros, ya que consisten en modelar los efectos de los accidentes de una instalación industrial para de este modo poder seleccionar el emplazamiento donde es más aconsejable ubicarla, y/o calcular las distancias a la que se pueden ubicar las zonas residenciales contiguas.

En los últimos años, ha ganado importancia el desarrollo de métodos que pueden realizar por sí solos el análisis del peligro y del riesgo asociado a un determinado proceso. Para ello utilizan técnicas PHA para identificar y evaluar los peligros y herramientas informáticas para el modelado de las consecuencias. En la siguiente tabla se muestran las más destacadas. (Tabla 5.1)



TÉCNICA	SECUENCIA DE APLICACIÓN	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
MCCA (Maximum Credible Accident Analysis)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación peligros. 2. Desarrollo escenarios de accidente. 3. Evaluación consecuencias cada escenario. 	<p>[10] [11]</p>
ISGRA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación peligros (HAZOP, FMEA, FTA). 2. Análisis consecuencias. 3. Cuantificación frecuencia. 	<p>[12]</p>
Safety Analysis	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación peligros (HAZOP, FMEA). 2. Evaluar las causas de los accidentes (ETA, FTA, CCA). 	<p>[13] [14]</p>
PHAzzer	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación cualitativa de los peligros (HAZOP). 2. Evaluación cuantitativa de los peligros con modelos matemáticos. 3. Modelos de árboles de fallos y estudios de fiabilidad. 	<p>[6]</p>
QRA (Quantitative Risk Analysis)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación peligros (HAZOP, FMEA, what if/checklist). 2. Estimación frecuencia o probabilidad de cada escenario de accidente (FTA). 3. Análisis de las consecuencias. 	<p>[9]</p>
PSA (Probabilistic Safety Análisis)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación peligros. 2. Modelado secuencia de los accidentes. 3. Cuantificación de la frecuencia accidentes. 4. Análisis de consecuencias. 	<p>[15]</p>
ORA (Optimal Risk Analysis)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación peligros: <i>HIRA</i> (Hazard Identification and Ranking). 2. Evaluación cualitativa de los peligros: <i>OptHAZOP</i> y <i>TOPHAZOP</i>. 3. Análisis consecuencias: Software <i>MOSEC</i> (fuego), <i>HAZDIG</i> (escapes tóxicos) y <i>DOMIFECT</i> (efecto dominó) 4. Estimación probabilidad: Herramienta <i>PROFAT</i>. 	<p>[11]</p>

Tabla 5.1. Métodos para realizar el análisis de peligros y riesgos





6. Estudios PHA

6.1 ¿Qué es un estudio PHA?

Es un método sistemático y estructurado, que representa un eslabón muy importante dentro de la cadena de seguridad y es una parte fundamental de todo SGS, para analizar los peligros de las instalaciones industriales a través de la aplicación de técnicas PHA. La mayoría de los estudios PHA son realizados por equipos de personas que realizan las siguientes actividades:

- Identificación y valoración cualitativa y/o cuantitativa de los peligros asociados a los sistemas/procesos que pueden tener consecuencias no deseadas sobre las personas, la propiedad o el medioambiente.
- Evaluación de la efectividad de las medidas de seguridad existentes.
- Recomendar y, en caso de ser aprobado, implementar las modificaciones necesarias para eliminar o, en su defecto, controlar los peligros identificados.
- Realizar el seguimiento del estado de las modificaciones propuestas.

La utilidad principal de estos estudios radica en su habilidad para proporcionar la información que necesita la dirección de una compañía de la industria química de procesos para poder tomar decisiones fundamentadas sobre los beneficios de introducir determinadas modificaciones o cambios (sobretudo de diseño y operación). De este modo, se consigue una mejora de seguridad en la operación de la instalación y una garantía de continuidad de la actividad económica.

En determinados casos y debido a la complejidad de los escenarios de accidente analizados, puede ser necesario completar los resultados de un estudio PHA con los de un estudio de análisis cuantitativo del riesgo.

Como se ha comentado anteriormente, un estudio PHA puede evaluar el peligro asociado a una instalación industrial, para poder hacerlo de forma eficaz, es necesario conocer y entender los siguientes puntos:

- Secuencia de los accidentes que pueden suceder.
- Las medidas de seguridad existentes que pueden actuar en las diferentes etapas de las secuencias de los accidentes.



6.1.1 Principales peligros y consecuencias que pueden identificarse

Los estudios PHA son eficaces para identificar los peligros asociados a las sustancias procesadas en los procesos de una instalación. Entre los que destacan:

- Fuego (incendios de charco, incendio de dardo, incendio de llamarada, bola de fuego, fuegos en edificios y almacenes).
- Explosión (físicas y químicas, confinadas o no confinadas, BLEVE, por polvo, descomposición térmica, reacciones fuera de control).
- Fuga tóxica (emisión o escape de sustancias nocivas y/o tóxicas para la salud de las personas o para el medio ambiente).
- Reactividad de sustancias (descomposición descontrolada, compuestos inestables).
- Posibles peligros asociados a las sustancias industriales que son guardadas o procesadas en cantidades que superan los umbrales definidos para el nivel de riesgo por unidad de masa de la sustancia.
- Peligros asociados a las características de las sustancias presentes en el proceso:
 - Materias primas.
 - Productos intermedios.
 - Productos finales.
 - Subproductos.
 - Aditivos.
 - Catalizadores.
 - Corrientes de desecho.
- Posibles peligros debidos a materiales, equipos y sus condiciones de operación, como por ejemplo:
 - Altas presiones.
 - Altas temperaturas.
 - Asfixia por N_2 .
 - Salpicaduras de aceite caliente o contactos con vapor.
 - Superficies calientes.
 - Materiales criogénicos.
 - Alta energía cinética.
 - Alto voltaje / corriente / electricidad estática.

Las consecuencias que pueden provocar los peligros anteriormente citados, pueden clasificarse en función del tipo de impacto que provocan. (Tabla 6.1)



Impacto humano	Impacto medioambiental	Impacto económico
Daños al consumidor	Contaminación exterior: Aire, agua, suelo.	Daño a la propiedad (patrimonio)
Daños a las personas fuera de la instalación (público)	Contaminación interior: Aire, agua, suelo.	Pérdida de inventario
Daños a la salud y seguridad de los trabajadores de la instalación		Parada de producción
Pérdida de empleo		Baja calidad del producto
Efectos psicológicos		Pérdida de cuota de mercado
		Responsabilidad legal

Tabla 6.1. Consecuencias de los peligros en función de su impacto

6.1.2 Resultados que suelen proporcionar

Los estudios PHA están enfocados para identificar peligros, no para solucionar problemas técnicos. Los resultados que producen son:

- Lista de peligros.
- Descripción de los escenarios de peligro identificados.
- Clasificación de los escenarios de peligro basado en la severidad de sus consecuencias y en la probabilidad de que sucedan.
- Lista de alternativas o recomendaciones para mejorar la seguridad:
 - a) Recomendaciones para realizar cambios en el diseño, procedimientos para corregir un problema identificado.
 - b) Recomendaciones para realizar el seguimiento de un determinado problema cuando no es posible obtener una conclusión debido a la falta de información.
 - c) Recomendaciones para realizar estudios adicionales para determinar si la situación actual representa un problema.

6.1.3 Factores que definen la minuciosidad de sus resultados

Los principales factores a considerar son:

- Validez de la técnica PHA elegida.



- Experiencia y motivación del equipo que realiza el estudio.
- Etapa del ciclo de vida en el que se realiza.
- Disponer de documentación e información suficiente sobre el proceso a estudiar, así como de herramientas informáticas y de gestión documental.
- Tipo de proceso y complejidad del mismo.

6.1.4 Limitaciones que presentan

Es importante conocer las limitaciones de los estudios PHA a la hora de tomar decisiones que se basan en sus resultados. Las principales limitaciones de los estudios PHA son:

- Plenitud: Nunca puede haber una garantía de que todas las situaciones de accidente, causas y efectos han sido considerados.
- Reproducibilidad: Diferentes expertos, utilizando la misma información, pueden generar resultados diferentes cuando analizan el mismo problema.
- Comprensión: Los estudios PHA pueden conducir a resultados difíciles de entender y usar.
- Relevancia de la experiencia: Un equipo debe tener una base de experiencia apropiada para evaluar la importancia de los accidentes.
- Subjetividad: La experiencia individual de quien realiza el estudio es utilizada para determinar el grado de importancia de un peligro.



6.2 Importancia de realizar estudios PHA durante todo el ciclo de vida

La implementación de un SGS y de sus correspondientes estudios PHA, puede ayudar a gestionar el riesgo de una instalación a lo largo de todo el ciclo de vida de la misma, ya que puede revelar deficiencias en el diseño u operación antes de que la unidad se construya u opere, permitiendo un uso más efectivo de los medios que aseguran un funcionamiento seguro y productivo.

Debido a la importancia que tiene este punto para poder comprender los resultados que este trabajo presenta, se ha creído conveniente definir un modelo de ciclo de vida. Para ello ha sido necesario consultar numerosa bibliografía relacionada con modelos de ciclo de vida de un proyecto o proceso y de los estudios PHA que se realizan a lo largo del mismo, entre la que destaca la siguiente:

En [16] se desarrolla el siguiente modelo de ciclo de vida:

- Investigación y desarrollo.
- Diseño conceptual.
- Operación de la planta piloto.
- Ingeniería detallada.
- Construcción/puesta en funcionamiento.
- Operación rutinaria.
- Proceso de modificación o expansión de la planta.
- Cierre/desmantelamiento

En [17] se desarrolla el siguiente modelo de ciclo de vida:

- Diseño conceptual.
- Definición del proyecto.
- Ingeniería detallada.
- Permisos para realizar el proyecto.
- Construcción.
- Entrega o puesta en funcionamiento.
- Operación

En [18] se desarrolla el siguiente modelo de ciclo de vida:

- Ingeniería conceptual.
- Ingeniería básica.
- Diseño detallado.
- Obtención del equipo y construcción.
- Puesta en funcionamiento.



6.2.1 Modelo de ciclo de vida utilizado en este trabajo

Toda la información descrita anteriormente se ha sintetizado en el siguiente modelo de ciclo de vida de un proyecto/proceso (Gráfico 1) y de los estudios PHA que se realizan a lo largo del mismo:

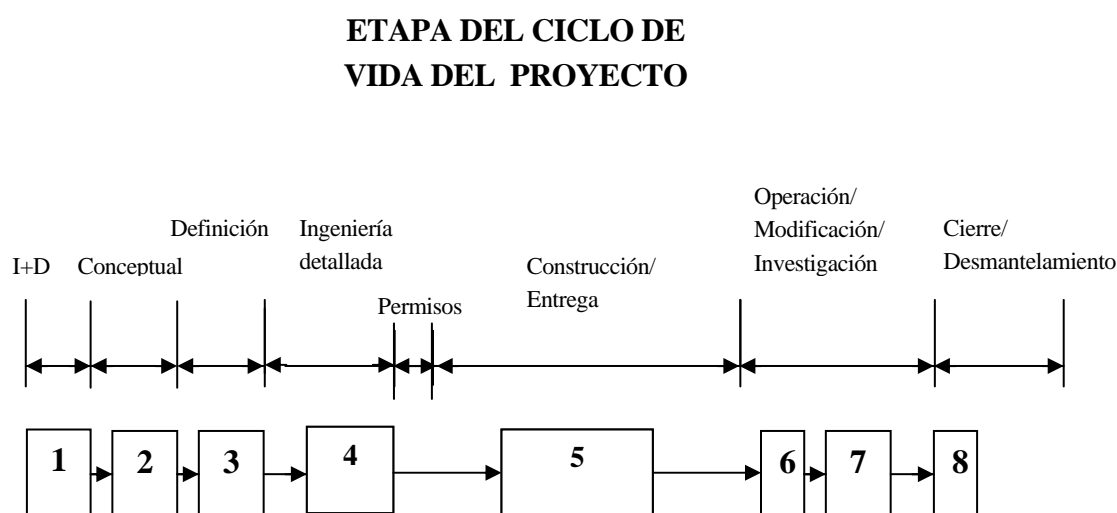


Gráfico 1. Modelo de ciclo de vida

A continuación se detallan las etapas o fases del ciclo de vida que muestra el gráfico 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.

Es un modelo muy completo porque incluye las etapas típicas del desarrollo y construcción de cualquier proyecto de la industria química de procesos (diseño conceptual, ingeniería detallada, construcción) y otras menos comunes, como son las asociadas a sucesos especiales que pueden



afectar a un proyecto (modificación de una instalación, ocurrencia de un accidente/incidente y el cierre/desmantelamiento) o al grado de desarrollo de la tecnología en la que se basan los proyectos (investigación y desarrollo, operación de la planta piloto). Comentar que la etapa de obtención de los permisos para la construcción del proyecto es muy corta y en numerosos modelos de ciclo de vida ni se menciona.

A lo largo del ciclo de vida de un proceso hay que realizar diferentes estudios o revisiones de seguridad para identificar y evaluar de forma adecuada los peligros que pueden aparecer, estos estudios son los estudios PHA sobre los que versa el proyecto y otros diferentes a estos [18] (Tabla 6.2). Aunque en la realidad, un proyecto no requerirá que se realicen estudios en todas las etapas del ciclo de vida descrito, sino que se realizarán dependiendo de la actividad que desarrolle:

1. Estudio para saber donde se pueden aplicar los principios de seguridad inherente de las diferentes opciones de diseño. Se realiza durante la etapa de investigación y desarrollo del proyecto.
2. Estudio para realizar una revisión conceptual del peligro. Se realiza durante la etapa de diseño conceptual del proyecto.
3. Estudio para desarrollar o definir el diseño del proceso, se puede construir una planta piloto para optimizar la operación del proceso y detectar posibles problemas de producción. Se realiza durante la etapa de definición del proyecto.
4. Estudio para realizar una revisión detallada de la opción de diseño elegida con el objetivo de identificar y evaluar los peligros y los problemas de operabilidad para poder introducir medidas de control para gestionar estos riesgos. Se realiza durante la etapa de ingeniería detallada.
5. Revisión para verificar que la construcción se ha realizado de acuerdo con el diseño y que se han incorporado las acciones de los estudios anteriores. Se realiza cuando se está finalizando la etapa de construcción.
6. Revisión post entrega que permite mejorar el proyecto en el futuro y establecer las revisiones que se tienen que realizar a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Se realiza aproximadamente al año de entrar en funcionamiento el proyecto.
7. Estudio para validar una modificación que se introduce en el proyecto. Se realiza en cualquier momento de la fase de operación del proyecto.
8. Estudio para evaluar las condiciones y características de la etapa de cierre o desmantelamiento. Se realiza antes de cerrar y/o desmantelar la instalación.



FASE DEL CICLO DE VIDA	ESTUDIOS O REVISIONES DE SEGURIDAD
Diseño conceptual	<ul style="list-style-type: none"> • Project Review.
Ingeniería básica	<ul style="list-style-type: none"> • Critical Examination.
Ingeniería detallada	<ul style="list-style-type: none"> • Task Analysis. • Safety Report. • Process Safety Management Audit. • Environment Audit.
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> • Process Safety Management Audit. • Operability Review. • Precommissioning Review. • Precommissioning Inspection.
Operación	<ul style="list-style-type: none"> • Operating Review. • Process Safety Audit. • Incident Reports.

Tabla 6.2. Estudios diferentes a los PHA que se pueden realizar en el ciclo de vida

A continuación se especifica el propósito que generalmente tienen los diferentes estudios PHA que pueden realizarse a lo largo del ciclo de vida de un proceso/proyecto:

I+D:

Se lleva a cabo a la vez que se identifican las opciones de diseño del proyecto, por lo que se hace una revisión histórica de los incidentes de los procesos de la misma clase o tipo. Su propósito es servir de soporte preliminar para seleccionar los materiales que necesita el proceso e identificar las necesidades de información de seguridad del proceso.

Diseño conceptual:

Su propósito es realizar una evaluación técnica y económica de la fiabilidad del diseño de los proyectos presentados para proporcionar información que ayude a realizar la selección y para definir el programa de estudios PHA necesarios en el futuro. Los resultados pueden hacer retrasar el estudio o abandonarlo si las preocupaciones son muy grandes.

Ingeniería básica:

Para avanzar en el desarrollo del diseño seleccionado, se puede realizar este estudio o construir



una planta piloto y realizarlo sobre ésta. Su propósito es proporcionar información para el diseño inicial de sistemas de seguridad. Los resultados pueden retrasar o hacer abandonar el proyecto, pero es menos probable que en la etapa anterior debido al elevado coste que conlleva hacerlo a estas alturas.

Ingeniería detallada:

Este estudio tiene como propósito revisar, de forma exhaustiva, el diseño del proyecto para poder identificar y valorar todos los peligros asociados al mismo y para finalizar el diseño de seguridad antes de comenzar la construcción del proyecto y comprar el equipo.

Cualquier cambio que se tenga que introducir después de que haber comenzado la construcción será muy caro.

Construcción y puesta en funcionamiento:

Su propósito es verificar que todo se ha construido de acuerdo con lo diseñado y que todas las acciones de los estudios PHA anteriores se han incorporado. Es la última oportunidad para corregir las deficiencias.

Operación rutinaria:

Una vez se ha finalizado la construcción del proyecto, se realizan evaluaciones periódicas con el propósito de garantizar que la operación se realiza de forma segura y de evaluar los cambios introducidos desde la puesta en funcionamiento.

Modificación o expansión:

Cuando se produce una modificación del diseño original hay que realizar un estudio con el propósito de evaluar las consecuencias que puede tener sobre la seguridad de la instalación, ya que es posible que introduzca nuevos peligros.

Investigación de incidentes:

Cuando se produce un incidente es necesario realizar un estudio para determinar las causas del mismo y así poder prevenirlo en el futuro.

Cierre o desmantelamiento:

Antes de proceder al cierre y/o posterior desmantelamiento/demolición de una instalación es necesario realizar este estudio con el propósito de identificar los problemas de seguridad relacionados con esta actividad (normalmente se centra en la limpieza y los peligros asociados con los materiales de residuo).



6.3 ¿Cuándo hay que realizar un estudio PHA?

A nivel internacional y nacional existe gran cantidad de legislación, que ha sido detallada en el apartado 4, que establece los requisitos para realizar estos estudios.

De entre toda ella y centrándose en el caso de España, destaca el RD 1244/1999, el cual obliga a definir una PPAG (**Política de Prevención de Accidentes Graves**), a todos los establecimientos industriales que contengan sustancias peligrosas en cantidades iguales o superiores a las especificadas en la columna 2 de las partes 1 y 2 de su Anexo I. Como parte de dicha PPAG, establece que se debe realizar un estudio PHA a todas las unidades de proceso, transporte, carga, descarga o almacenamiento de los establecimientos anteriormente citados.

Aparte de lo obligado por la ley, es decisión del establecimiento interesado el realizar un estudio PHA de sus instalaciones, ya que dichos estudios son pieza fundamental para el correcto diseño y operación de las mismas, así como medida válida para detectar los peligros y reducir los riesgos a unos mínimos aceptables (ALARP-As Low As Reasonably Practicable). Para proyectos nuevos (nuevas unidades y/ o modificación de existentes), cada compañía establece unos criterios (basados en la variación de sustancias peligrosas, tipo de proyecto y valor de la inversión), que permiten determinar la necesidad de realizar estudios PHA.

Por último, es importante tener en cuenta que los estudios PHA se deben actualizar para mantener su efectividad. Por regla general, se revalidan como muy tarde 5 años después de su realización o por la introducción de cambios importantes en el diseño del proceso inicial. Este punto se desarrolla en el apartado 10.5 de la memoria.



7. Técnicas PHA

Desde los años 70, han aparecido gran número de técnicas y/o métodos para identificar y evaluar los peligros asociados a sistemas/procesos industriales, las cuales reciben el nombre genérico de técnicas PHA. Debido al número de técnicas y a la diversidad de nombres utilizados para referirse a las mismas en los diferentes países, se ha decidido utilizar los nombres más comunes que aparecen en la extensa bibliografía consultada, conservándolos en inglés para evitar imprecisiones en la traducción y para facilitar la comparación de este trabajo con los que existen en este campo.

A continuación se adjunta una recopilación de las más importantes. (Tabla 7.1)

TÉCNICA	IDENTIFICA PELIGROS DE	EVALUACIÓN PELIGROS
HAZOP	Procesos	Cualitativa
What if	Procesos	Cualitativa
Concept Hazard Analysis (CHA)	Procesos	Cualitativa
Concept Safety Review	Procesos	Cualitativa
Preliminary Hazard Analysis (PrHA)	Procesos	Cualitativa
Pre-HAZOP	Procesos	Cualitativa
Standard/Codes of practise/ Literature Review	Procesos	Cualitativa
Functional Integrated Hazard Identification (FIHI)	Procesos	Cualitativa
Checklist	Procesos	Cualitativa
What-if/checklist	Procesos	Cualitativa
Matrices	Procesos	Cualitativa
Inherent Hazard Analysis	Procesos	Cualitativa
Critical Examination of System Safety (CEX)	Procesos	
Method Organised Systematic Analysis of Risk (MOSAR)	Procesos	Semi-cualitativa
Goal Oriented Failure Analysis (GOFA)	Procesos	Semi-cualitativa
Preliminary Consequence Analysis (PCA)	Procesos	Cuantitativa
Relative Ranking	Procesos	Cuantitativa



Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)	Equipo	Cualitativa
Fault Tree Analysis (FTA)	Equipo	Cualitativa/cuantitativa
Event Tree Analysis (ETA)	Equipo	Cualitativa/cuantitativa
Cause-Consequence Analysis (CCA)	Equipo	Cualitativa/cuantitativa
Safety review	Equipo	Cualitativa
Functional FMEA	Equipo	Cualitativa
Failure Modes, Effects and Critically Analysis (FMECA)	Equipo	Cualitativa
Maintenance and Operability study (MOp)	Equipo	Cualitativa
Maintenance Analysis	Equipo	Cualitativa/cuantitativa
Sneack Analysis	Equipo	Cualitativa
Reliability Block Diagram	Equipo	Cuantitativa
Structural Reliability Analysis	Equipo	Cuantitativa
Vulnerability Assessment	Equipo	Cuantitativa
DEFI method	Equipo	Cuantitativa
Pattern Search method	Factor humano	Cualitativa
Human Reliability Analysis (HRA)	Factor humano	Semi-cualitativa
Predictive Human Error Analysis (PHEA)	Factor humano	Semi-cualitativa
Task analysis	Factor humano	Cualitativa/cuantitativa
Action Error Analysis (AEA)	Factor humano	Cualitativa/cuantitativa

Tabla 7.1. Principales técnicas para identificar y evaluar peligros



7.1 Estado del arte actual de las técnicas PHA

Tras consultar numerosa bibliografía relacionada con estas técnicas, se han extraído las siguientes conclusiones sobre su estado actual:

- a) La identificación de escenarios de accidente es una parte fundamental del proceso de identificación de peligros y por ello la Unión Europea está desarrollando, dentro de su programa ARAMIS, una técnica para la identificación de escenarios de accidente llamada MIRAS (Methodology for the Identification of Reference Scenarios). [19]
- b) Se está desarrollando gran cantidad de métodos o técnicas para evaluar el peligro asociado a los sistemas informáticos utilizados en la industria química de procesos, entre los que destacan: FMECA, FRA (Functional Risk Analysis), BS 7799, NIST SP800-30. [20]
- c) Las técnicas PHA que realizan una evaluación cualitativa de los peligros son las más útiles para evaluar el diseño, operación y mantenimiento, definir peligros y construir secuencias de sucesos peligrosos, las cuales se estudiarán de forma más detallada con las técnicas cuantitativas.
- d) Las técnicas PHA que realizan una evaluación cuantitativa de los peligros son las más útiles para evaluar de forma comparativa las alternativas de diseño, operaciones y mantenimiento.
- e) La utilización combinada de varias técnicas PHA es una metodología habitual:
 - El método más utilizado es identificar los peligros con una técnica PHA cualitativa, para a continuación evaluar los problemas más importantes con una técnica cuantitativa:
 - 2) *HAZOP + FTA*: [21]
Se utiliza cuando después de haber examinado una desviación de un elemento con la técnica HAZOP, se requiere evaluar el efecto de las desviaciones múltiples o cuantificar la probabilidad de los fallos.
 - 2) *FMEA + FTA*: [22]
Se utiliza cuando la lógica del fallo es compleja.
 - 3) *MIMAH* (Methodology for the Identification of Major Accident Hazards): [19]
Combinación de las técnicas FTA y ETA.
 - También se utilizan combinaciones de técnicas cualitativas, aunque esta práctica no está tan extendida:
 - 1) *HAZOP + FMEA*: [BRITISH STANDARD IEC 61882]
Se utiliza cuando el HAZOP indica que un componente del equipo necesita ser examinado en profundidad por tener un papel crítico.
 - 2) *CHECKLIST + HAZOP*: [23]



La técnica checklist se utiliza para identificar las áreas de peligro más importantes, las cuales se evalúan con más detalle aplicando la técnica HAZOP. Este método no suele dar buenos resultados ya que la checklist sólo identifica problemas muy generales.

- Se está extendiendo la utilización de herramientas informáticas que permiten integrar los resultados de varias técnicas:

1) *IHAS*: [24]

Prototipo de un sistema informático integrado para realizar el análisis de peligros que utiliza las técnicas PrHA, FTA, ETA, HAZOP.

2) *FLASH* (Failure Logic for Analysis of System Hierarchies): [25]

Método híbrido, surgido de la integración de las técnicas HAZOP, FMEA y FTA, que puede realizar un análisis de seguridad desde el nivel funcional hasta el nivel de modos de fallo de los componentes del equipo de los sistemas descritos de forma jerárquica.

- f) Se están desarrollando numerosas herramientas informáticas que facilitan la aplicación de las técnicas PHA:

- Numerosos autores, como [26], afirman que el HAZOP es la técnica PHA más utilizada en la actualidad para identificar y evaluar los peligros asociados a una instalación o planta de la industria química de procesos. Por este motivo existen numerosas herramientas informáticas que facilitan su aplicación, entre las que destacan:

1) *HAZOPExpert*: [27]

Herramienta que facilita su aplicación en procesos continuos, ha sido utilizada en varias industrias químicas de procesos.

2) *BatchHAZOPExpert*: [27]

Herramienta que facilita su aplicación en procesos discontinuos.

3) *Multilevel HAZOP*: [28]

Herramienta especialmente indicada para la etapa de puesta en funcionamiento de una planta industrial.

4) *SCHAZOP* (*Safety Culture Hazard and Operability*): [29]

Adaptación del enfoque del HAZOP para evaluar la gestión de la seguridad y así comprender los tipos de problemas que una técnica PHA debe identificar.

5) *TOPHAZOP* (*Tool for Optimizing HAZOP*): [30]

Herramienta informática que permite una reducción del tiempo necesario para su aplicación.

6) *STOPHAZOP*: [26]

Proyecto del programa Espirit de la Unión Europea que tiene por objetivo desarrollar tres herramientas informáticas que faciliten la identificación de peligros.

7) *Extended HAZOP*: [31]

Utilización de una matriz de riesgo potencial (matriz de decisión de HAZOP) conjuntamente con la técnica HAZOP tradicional.



- FTA es la técnica PHA más utilizada para calcular la probabilidad de que ocurran determinados accidentes y por ello existen numerosas herramientas informáticas que facilitan su aplicación, entre las que destacan las siguientes:
 - 1) *SCRAM* (Short-Cut Risk Assessment Method).
 - 2) *PROFAT II*: [32]
Herramienta informática basada en la simulación analítica (AS-II) que permite que su aplicación sea más sencilla, rápida y barata.
 - 3) [33]:
Herramienta informática que permite una reducción del tiempo necesario para aplicarla.

- g) Debido a la mayor complejidad que conlleva evaluar los peligros asociados a un proceso que opera de forma discontinua, ya que requiere la evaluación de los peligros de cada una de las etapas, se han desarrollado metodologías específicas para facilitar su aplicación:
 - 1) Estrategia híbrida: [34]
BatchHAZOPExpert para la identificación de peligros, gPROMS y gOPT para la evaluación de los peligros
 - 2) *HAZOP+ Task analysis*: [18]
Normalmente se usa para evaluar la fiabilidad humana en este tipo de procesos.



7.2 Técnicas PHA sobre las que versa el proyecto

De entre todas las técnicas PHA de la tabla 7.1 se han seleccionado las siguientes:

1. **PrHA** (Preliminary Hazard Analysis) o análisis preliminar de peligro.
2. **What-if.**
3. **Checklist.**
4. **Relative Ranking** o clasificación relativa de peligros.
5. **Safety Review** o revisión de seguridad.
6. **What-if/checklist.**
7. **FMEA** (Failure Modes and Effects Analysis) o análisis de modos de fallo y sus efectos.
8. **HAZOP** (HAZard and OPerability analysis) o análisis de peligros y operabilidad.
9. **FTA** (Fault Tree Analysis) o análisis de árboles de fallo.
10. **ETA** (Event Tree Analysis) o análisis de árboles de sucesos.
11. **HRA** (Human Reliability Analysis) o análisis de fiabilidad humana.
12. **CCA** (Cause and Consequence Analysis) o análisis de causa-consecuencia.

7.2.1 Criterio de selección

Estas técnicas PHA han sido seleccionadas por los siguientes motivos:

- Como se verá en los siguientes apartados, es muy importante disponer de un conjunto de técnicas que puedan identificar y evaluar los peligros característicos de cada una de las etapas del ciclo de vida de una instalación industrial.
- Tienen que ser capaces de identificar los principales peligros que pueden presentarse en la industria química de procesos y nuclear, entre los que destacan los asociados a los procesos, equipo o componentes y factor humano.
- Es importante que haya una representación de las técnicas especializadas en identificar y evaluar los peligros de forma cualitativa.
- Es importante que haya una representación de las técnicas especializadas en realizar clasificaciones de los peligros identificados.
- Es importante que haya una representación de las técnicas especializadas en la evaluación cuantitativa de los peligros.



7.2.2 Introducción a las técnicas PHA seleccionadas

Es importante destacar que para la realización de este apartado ha sido necesario consultar numerosa bibliografía, la cual se ha decidido incluir en las referencias bibliográficas del anexo A (características de las técnicas PHA) debido a que en dicho anexo se desarrolla este tema de forma más exhaustiva. La información que aparece en dicho anexo se ha sintetizado para obtener una serie de conclusiones sobre las características de las técnicas PHA seleccionadas:

- Las técnicas tienen diferentes aplicaciones:
 - a) What-if, checklist, what-if/checklist se utilizan para identificar de forma cualitativa gran variedad de peligros de los procesos/sistemas con niveles bajos de peligrosidad.
 - b) Relative ranking y PrHA se utilizan para tener una idea general de los peligros de un proceso a través de la realización de una clasificación de los mismos.
 - c) FMEA se utiliza para identificar los modos en los que pueden fallar los componentes del equipo eléctrico y mecánico.
 - d) Safety review se utiliza para verificar el estado de un proceso existente.
 - e) HAZOP se utiliza para identificar los peligros y los problemas de operabilidad de procesos con alto nivel de peligro.
 - f) FTA se utiliza para determinar, de forma gráfica, las causas y la probabilidad de que suceda un accidente o suceso importante (top event) en un sistema complejo.
 - g) ETA se utiliza para determinar, de forma gráfica, las consecuencias (secuencias de efectos posteriores al accidente) de un accidente o suceso (suceso iniciador) en un sistema complejo.
 - h) HRA se utiliza para realizar un análisis cuantitativo de la actuación humana en sistemas complejos.
 - i) CCA se utiliza para mostrar de forma gráfica la relación causa- efecto de los accidentes que pueden ocurrir en sistemas sencillos.
- Existe una relación entre el nivel de detalle de las técnicas y la etapa del ciclo de vida en la que se encuentra el sistema a estudiar:
 - a) Las técnicas que tienen un nivel bajo de detalle, se suelen utilizar en las primeras etapas del ciclo de vida de un proyecto para tener una idea general de los peligros asociados al mismo y para indicar las áreas donde es recomendable, debido a su peligrosidad, realizar estudios posteriores más detallados (pueden mejorar de forma significativa el coste-efectividad de los siguientes esfuerzos para mejorar la seguridad). Estas técnicas son **PrHA, What-if, Checklist, What-if/Checklist y Relative Ranking**.
 - b) Las técnicas con un nivel de detalle más elevado, pero que pueden analizar un amplio rango de peligros, se suelen utilizar a partir de la fase de ingeniería básica para identificar escenarios de accidente, los cuales pueden estudiarse más en profundidad con técnicas más específicas. Estas técnicas son **Safety Review, HAZOP y FMEA**.



- c) Las técnicas con un nivel de detalle elevado y especializadas en evaluar un escenario importante de accidente, se suelen utilizar a partir de la fase de ingeniería detallada, requieren personal especializado y formado y su aplicación requiere más tiempo y esfuerzo que para las técnicas anteriores. Estas técnicas son **FTA, ETA HRA y CCA**.
- Las técnicas se pueden clasificar en función de los peligros que pueden identificar:
 - a) Asociadas a los sistemas/procesos: what-if, what-if/checklist, checklist, PrHA, safety review, relative ranking, HAZOP.
 - b) Asociados al equipo o componentes de los sistemas: FMEA, FTA, ETA, CCA.
 - c) Asociados al factor humano: HRA.
 - Las técnicas se pueden clasificar en función del tipo de evaluación de peligros que realizan:
 - a) Técnicas especializadas en evaluar los peligros de forma cualitativa: what-if, what-if/checklist, checklist, safety review, HAZOP, FMEA.
 - b) Técnicas especializadas en realizar clasificaciones de los peligros identificados: PrHA, relative ranking.
 - c) Técnicas especializadas en la evaluación cuantitativa de los peligros: FTA, ETA, CCA, HRA.



8. Método para seleccionar técnicas PHA

A pesar de que es habitual utilizar combinaciones de técnicas PHA para estudiar los sistemas de la industria química de procesos y nuclear, se ha decidido, debido a la complejidad que conlleva utilizar diferentes técnicas para un mismo sistema, que este trabajo se centre en el hipotético caso de sólo poder elegir la técnica, que por si sola, se adapta mejor a las características del sistema a estudiar.

Debido a la importancia de la etapa del ciclo de vida en la que se encuentra el sistema a estudiar, se utilizará este factor como punto de partida del proceso de selección. En este apartado se presenta un método teórico y complejo de utilizar, mientras que en la guía (Anexo C) y sobretodo, en la aplicación informática desarrollada (Anexo D), se expone uno más visual y fácil de aplicar.

Es una práctica habitual que el jefe del estudio PHA sea el responsable de seleccionar la técnica PHA más adecuada para estudiar un determinado proceso o sistema. Dicha figura suele coincidir con la del jefe de proyecto en las instalaciones nuevas o con la del responsable de seguridad de una instalación existente.

En este trabajo no se tienen en cuenta los siguientes factores a la hora de elegir técnicas PHA:

- Límites de duración del estudio.
- Medios económicos disponibles.
- Preferencias del equipo que realiza el estudio.
- Preferencias de la dirección que encarga el estudio.

Estos factores no se consideran relevantes porque las desventajas o consecuencias a medio/largo plazo, desde el punto de vista de gestión de la seguridad, que puede causar elegir una técnica PHA por el único argumento de ahorrar tiempo y/o dinero o de consideraciones subjetivas por quien la elige, son mucho mayores que dichos ahorros. El único caso en el que estos factores pueden ser determinantes para elegir la técnica PHA más adecuada, es que todos los factores que se explican en este apartado no sean capaces de elegir una sola técnica adecuada para el proceso a estudiar.



8.1 Factores a considerar para seleccionar técnicas PHA

A continuación se explican los factores, por su orden de importancia, que se tendrán en cuenta para seleccionar técnicas PHA.

8.1.1 Motivación del estudio

La motivación de un estudio PHA básicamente depende de:

- Si es un proceso nuevo o ya existente.
- Si el estudio se hace por imperativos legales o por decisión de la compañía que lo encarga.

8.1.2 Etapa del ciclo de vida

Este factor ha sido explicado en el apartado 6.2 de la memoria. Como síntesis del mismo, se incluye la siguiente tabla que indica para cada una de las etapas del ciclo de vida de un proceso genérico, las técnicas PHA que debido a su metodología de aplicación y al nivel de detalle de la información que requieren se utilizan de forma más general en la industria química de procesos y nuclear.

FASE DEL CICLO DE VIDA	TÉCNICA PHA RECOMENDADA
Investigación y desarrollo	PrHA What-if Relative ranking
Diseño conceptual	PrHA What-if Checklist Relative ranking
Ingeniería básica o definición del diseño	PrHA What-if/checklist HAZOP FMEA
Ingeniería detallada	What-if/checklist HAZOP FMEA FTA ETA



Construcción	What-if/checklist Safety review
Operación rutinaria	Checklist HAZOP FMEA Safety review FTA ETA HRA CCA
Proceso de modificación o expansión	What-if/checklist HAZOP FMEA FTA ETA Safety review HRA CCA
Investigación de incidentes o accidentes	What-if HAZOP FMEA FTA ETA HRA CCA
Cierre y/o desmantelamiento	What-if/checklist Safety review

Tabla 8.1. Técnicas PHA más utilizadas en cada etapa del ciclo de vida

8.1.3 Tipo de resultados buscados y generados

Este apartado se desarrolla de forma más detallada en el Anexo B. Comparar los resultados establecidos por el objetivo de un estudio PHA con los que pueden generar las diferentes técnicas candidatas es una parte importante del proceso de selección. Estos son 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 eliminar o controlar los peligros y escenarios de accidente identificados.
- (6) Entrada de información para un análisis cuantitativo del riesgo.

Todas las técnicas PHA consideradas en este trabajo, pueden proporcionar listas de los peligros generales identificados, mientras que algunas pueden proporcionar información sobre los escenarios de accidente y dar alternativas para mejorar la seguridad. Por último, sólo unas pocas se pueden utilizar para hacer una clasificación de los peligros identificados.

8.1.4 Información y documentación requerida y disponible

Este apartado se desarrolla de forma más detallada en el anexo B. La información técnica requerida para realizar el estudio PHA depende de la técnica PHA utilizada, mientras que la información o documentación disponible sobre el sistema a estudiar depende de la etapa del ciclo de vida en el que se encuentre el mismo. Por todo ello, comparar la información disponible con la que requiere cada técnica candidata es una parte importante del proceso de selección.

8.1.5 Características del proceso

Para elegir la técnica PHA más idónea hay que comparar ciertas características del proceso a estudiar con las especificaciones de aplicación de las diferentes técnicas candidatas.

A) Tipo de proceso:

Los principales tipos de procesos que se pueden encontrar en la industria química son: Químico, físico, mecánico, biológico, eléctrico, electrónico, informático, humano, etc.

B) Tipo de operación:

La selección de la técnica se ve afectada por:

- Si el proceso a estudiar está situado en una instalación fija o en un sistema móvil.
- Si el sistema es permanente o transitorio: el tiempo que lleve funcionando el proceso puede afectar en la selección de la técnica. Se puede usar una técnica más detallada si se tiene constancia de que el proceso operará de forma continuada por un largo periodo de tiempo. Mientras que se elegirá una técnica menos extensiva para un proceso con un periodo de



actividad corto, a no ser que una operación temporal presente peligros importantes y pueda justificar el uso de una técnica más detallada.

- Si la operación del proceso es continua o discontinua:
 - Operación continua: se puede realizar una foto en un momento dado del proceso y con la información obtenida aplicar la técnica PHA. Un ejemplo de proceso operado de forma continua es una refinería.
 - Operación discontinua: hay que realizar una foto de cada etapa del proceso para obtener la información necesaria para poder aplicar la técnica PHA en cada una de ellas. Un ejemplo de proceso operado de forma discontinua es la industria farmacéutica.

C) Los tipos de fallos a evaluar:

Las técnicas PHA se pueden utilizar para evaluar situaciones de accidente provocadas por fallos múltiples o individuales.

D) Complejidad/tamaño:

Es importante porque algunas técnicas PHA pierden efectividad cuando se utilizan para examinar sistemas muy complejos. La complejidad y tamaño de un sistema dependen normalmente del número de procesos que lo forman, la cantidad de componentes y/o equipos a estudiar, el número de etapas que constituyen la operación y del número y tipos de peligros analizados.

E) Riesgo percibido y experiencia en el proceso

La experiencia en un proceso contribuye en la confianza o preocupación que tiene una organización sobre el mismo. Cuando el proceso ha sido operado sin accidentes durante un largo periodo de tiempo y el riesgo percibido para que suceda un accidente es bajo, la organización tenderá a seleccionar la técnica menos sistemática y exhaustiva en base a la experiencia obtenida. En el caso contrario, cuando el riesgo percibido es alto, se elegirá una técnica más rigurosa.



8.2 Método de selección

A continuación se dan una serie de orientaciones para seleccionar, entre las técnicas más utilizadas en cada etapa del ciclo de vida (Tabla 8.1) y en función de los factores anteriormente comentados, la técnica PHA más adecuada para estudiar un determinado proceso.

Lo primero que se tiene en cuenta es el propósito por el que se realiza el estudio PHA, pudiendo encontrar los siguientes casos:

A) El estudio viene impuesto por imperativo legal:

Se requiere la utilización de la técnica PHA especificada.

B) El estudio no viene impuesto por imperativo legal:

La política de prevención de accidentes de la compañía recomienda la revalidación de los estudios PHA existentes o la realización de un estudio nuevo:

B.1) Revalidar el estudio PHA previo si se cumplen las siguientes circunstancias:

- La información disponible del estudio previo es adecuada.
- No ha pasado mucho tiempo desde el último estudio.
- No se han producido cambios importantes en el proceso desde el último estudio.
- El peligro asociado al proceso no es muy elevado.

B.2) Realizar un estudio PHA nuevo:

Cuando no se cumple alguna de las circunstancias anteriores, éste será el supuesto que se considerará en todos los apartados siguientes.

En segundo lugar, para cada una de las etapas o conjunto de etapas del ciclo de vida de un proceso y en función de los siguientes factores (desarrollados en el apartado 8.1), se dan recomendaciones que ayudan a decidir cuando utilizar cada una de las técnicas PHA.

- Tipo de resultados necesitados o buscados:

- (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 eliminar o controlar los peligros y escenarios de accidente identificados.
- (6) Entrada de información para un análisis cuantitativo del riesgo.

- Información y documentación técnica disponible y necesaria para realizar el estudio.

- Características del proceso a analizar.



FASE DEL CICLO DE VIDA DEL PROCESO	TÉCNICA PHA RECOMENDADA						
	PrHA	RR	WI	CL	WI/CL	HAZOP	FMEA
Investigación y desarrollo	X	X	X				
Diseño conceptual	X	X	X	X			
Ingeniería básica o definición del diseño	X				X	X*	X*

1. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO:

Esta etapa aparece en aquellos proyectos que se diseñan a partir de nuevas tecnologías o innovaciones de alguno existente, por lo que normalmente se carece de información detallada y sobretodo de experiencia en la operación del proceso.

A) Tipo de resultados necesarios o buscados:

Normalmente no se dispone de la suficiente información sobre el proceso para hacer recomendaciones para controlar los peligros. Puede ser aconsejable realizar una clasificación de los peligros generales para ayudar a tener una ideal más visual del riesgo asociado al proceso. Todos los resultados son cualitativos.

What-if y PrHA son más útiles para identificar peligros que Relative Ranking, ya que esta técnica está enfocada a realizar una clasificación de los peligros basándose en sus consecuencias.

B) Información y documentación técnica disponible y necesaria:

No suele haber experiencia importante con el proceso, ni información detallada del diseño.

- **Relative Ranking y PrHA** cuando se dispone de información sobre la distribución de la planta, tipos y tamaños del equipo e inventarios de sustancias químicas.

- **What-if** cuando no se requiere información detallada del diseño de la planta.

2. DISEÑO CONCEPTUAL:

Esta etapa es muy importante para el desarrollo posterior del diseño del proyecto, ya que se intentan identificar los principales peligros asociados al mismo.

A) Tipo de resultados necesarios o buscados:

Normalmente no se dispone de la suficiente información sobre el proceso para hacer recomendaciones de alternativas para controlar los peligros. Puede ser aconsejable realizar una clasificación de los peligros para ayudar a tener una idea más visual del riesgo asociado al



proceso. Todos los resultados son cualitativos.

- **PrHA, y what-if** cuando se requieren (1), (3) y/o (5).
- **Checklist** cuando se requieren (1).
- **Relative ranking** cuando se requieren (1) y/o (2).

B) Información y documentación técnica disponible y necesaria:

Aunque la instalación aún no ha sido diseñada, se suele disponer de una distribución provisional de la misma, lista preliminar de materias primas, productos intermedios y productos finales.

- **Relative Ranking, What-if y PrHA** cuando no se dispone de experiencia en la operación.
- **Checklist:** requiere experiencia de operación en el proceso en cuestión o en procesos similares.

3. INGENIERÍA BÁSICA O DEFINICIÓN DEL DISEÑO:

En esta etapa, si la información disponible lo permite, puede ser interesante realizar un análisis más profundo de aquellos escenarios de accidente cuyo peligro percibido es alto. También cobran importancia las alternativas planteadas para eliminar o controlar los peligros identificados en las etapas anteriores.

A) Tipo de resultados necesitados o buscados:

Se dispone de la suficiente información sobre el proceso para recomendar alternativas o modificaciones que permitan mejorar la seguridad. Todos los resultados son cualitativos.

- **PrHA, What-if/checklist** cuando se requieren (1), (3) y/o (5).
- **FMEA, HAZOP** cuando se requieren (1), (3) más detallado y/o (5).

B) Información y documentación técnica disponible y necesaria:

- **PrHA** es la técnica que requiere información con menor nivel de detalle.
- **What-if/checklist** requiere experiencia en la operación del proceso en cuestión o en procesos similares para poder confeccionar la checklist.
- **FMEA** requiere un conocimiento profundo de los modos de operación, del equipo utilizado y de sus modos de fallo.
- **HAZOP** es la técnica que requiere información más detallada.

* En esta fase, es habitual que la información disponible no sea muy detallada porque aún se está definiendo el proyecto. En el caso de que se construya una planta piloto (escala reducida de la real) para detectar problemas en la operación, habrá disponible suficiente información (sobre todo P&IDs) como para poder aplicar el HAZOP o FMEA.

C) Características del problema a analizar:

Se recomienda utilizar what-if/checklist cuando no se dispone de información detallada (P&IDs), cuando se requieren resultados generales o cuando el riesgo percibido es bajo, en caso contrario (siempre que se disponga de información detallada) se recomienda utilizar HAZOP, FMEA.



FASE DEL CICLO DE VIDA DEL PROCESO	TÉCNICA PHA RECOMENDADA									
	WI	CL	WI/CL	SR	HAZOP	FMEA	FTA	ETA	HRA	CCA
Ingeniería detallada			X		X	X	X	X		
Operación rutinaria.		X		X	X	X	X	X	X	X
Proceso de modificación			X	X	X	X	X	X	X	X
Investigación de incidentes	X				X	X	X	X	X	X

4. INGENIERÍA DETALLADA:

Normalmente se realizan estudios PHA con el objetivo de identificar, de forma precisa, los peligros y los problemas de operación antes de empezar la construcción de la instalación. También se pueden evaluar, de forma cuantitativa, los peligros específicos que han sido identificados y catalogados como importantes en las etapas anteriores.

A) Tipo de resultados necesitados o buscados:

A estas alturas de proyecto, lo más habitual es que se hayan identificado todos los peligros generales, por ello los resultados están más enfocados a identificar y evaluar escenarios de accidente, a recomendar alternativas para controlar los peligros y escenarios de accidente y a generar información para poder realizar análisis cuantitativos de riesgo.

- **What-if/checklist** cuando se requieren (1), (3) y/o (5).
- **HAZOP, FMEA** cuando se requieren resultados cualitativos (1), (3), (5) y/o (6).
- **FTA** cuando se requieren resultados cuantitativos (4) y/o (6).
- **ETA** cuando se requieren resultados cuantitativos (4), (5) y/o (6).

B) Información y documentación técnica disponible y necesaria:

En esta fase ya se dispone de la mayor parte de la información necesaria para utilizar las técnicas PHA más detalladas (ETA, FTA). La carencia más importante es la referente a información sobre experiencia en la operación, aunque en ocasiones, se puede suplir con la información de procesos similares ya existentes.

- **What-if/checklist** es la técnica que requiere menor cantidad de información y de detalle de la misma, a pesar de lo cual, es muy importante disponer de experiencia en la operación del proceso en cuestión o en procesos similares para poder confeccionar la checklist.
- **HAZOP** requiere información detallada, muy importante disponer de los P&IDs del proceso.
- **FMEA** requiere un conocimiento profundo de los modos de operación, del equipo utilizado y



de sus modos de fallo.

- **FTA y ETA** requieren gran cantidad de información, sobretodo en lo referente a medidas de seguridad y probabilidades de fiabilidad de los equipos.

C) Características del problema a analizar:

- **What-if/checklist** identifica gran variedad de problemas cuando el riesgo asociado al proceso no es tan elevado como para aconsejar la utilización de técnicas más detalladas y que requieren más medios.

- **HAZOP** identifica y evalúa, de forma cualitativa, gran variedad de peligros y escenarios de accidente de sistemas o procesos, los cuales se originan por fallos individuales.

- **FMEA** identifica y evalúa, de forma cualitativa, gran variedad de peligros y modos de fallo de componentes y/o equipo mecánico, eléctrico, etc.

- **FTA y ETA** evalúan escenarios de accidente específicos provocados por fallos múltiples, y que requieren resultados cuantitativos sobre la probabilidad de ocurrencia. Son muy apropiadas para sistemas altamente instrumentados, redundantes (sistemas de seguridad y de emergencia de varios niveles), como los sistemas de alarma y de cierre.

6. OPERACIÓN RUTINARIA:

En esta fase el objetivo principal es realizar estudios periódicos para identificar y evaluar los peligros nuevos que surgen debido a la operación continuada del proceso y a las modificaciones del diseño original. Por ello se aconseja la utilización de técnicas optimizadas para procesos en operación.

A) Tipo de resultados necesitados o buscados:

En esta fase se identifican nuevos peligros, escenarios de accidente, se hacen recomendaciones sobre las alternativas para controlar los anteriores y se genera información para poder realizar análisis cuantitativos de riesgo. Para la evaluación de escenarios de accidente complejos y de los errores humanos se generan resultados cuantitativos para tener una idea sobre la probabilidad de que sucedan y sobre las causas y/o efectos de los mismos.

- **Checklist** cuando se requieren (1).

- **Safety review** cuando se requieren resultados cualitativos (1) y/o (5).

- **HAZOP, FMEA** cuando se requieren resultados cualitativos (1), (3), (5) y/o (6).

- **ETA** cuando se requieren resultados cuantitativos (4), (5) y/o (6).

- **FTA, HRA, CCA** cuando se requieren resultados cualitativos (4) y/o (6).

B) Información y documentación técnica disponible y necesaria:

En esta fase se dispone de suficiente información del proyecto para poder aplicar cualquier técnica PHA, incluida la experiencia en la operación del proceso (bien sea por su propia operación o la de procesos similares).

- **Checklist** 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.

- **Safety review** requiere información sobre accidentes previos y medidas de seguridad.
- **HAZOP, FMEA, FTA y ETA** la misma información que en la etapa de ingeniería detallada.
- **HRA** requiere información sobre la actuación humana en la operación del proceso y sobre las probabilidades de fallo humano.
- **CCA** requiere gran cantidad de información, sobretodo en lo referente a medidas de seguridad y probabilidades de fiabilidad de los equipos.

C) Características del problema a analizar:

- **Checklist** identifica peligros muy generales, variados y con un nivel de riesgo percibido no muy elevado.
- **Safety review** se puede adaptar para revisar zonas específicas donde hay mayor probabilidad de encontrar problemas de operación.
- **HAZOP, FMEA, FTA y ETA** los mismos comentarios que los hechos para la etapa anterior.
- **HRA** evalúa la probabilidad de que ocurran los diferentes errores humanos en los escenarios de accidente donde la actividad humana es relevante.
- **CCA** proporciona un modelo gráfico que relaciona las causas y las consecuencias de escenarios de accidente específicos cuya lógica del fallo que lo provoca es simple.

7. PROCESO DE MODIFICACIÓN:

En esta fase se realizan evaluaciones de las modificaciones o mejoras del diseño original del proceso, con el objetivo de no introducir nuevos peligros. En función del peligro potencial percibido asociado a la modificación o al tipo de fallo que puede introducir la misma, se utilizarán técnicas que pueden cubrir la identificación de un gran rango de peligros o aquellas que se centran en escenarios específicos. Las técnicas y la información que estas requieren son casi iguales a las de la fase anterior, con la excepción de que es más útil utilizar what-if/checklist para identificar los posibles peligros introducidos por la modificación que una checklist enfocada para revisar que las condiciones de operación y el equipo son los adecuados.

A) Tipo de resultados necesitados o buscados:

- **What-if/Checklist** cuando se requieren resultados cualitativos (1), (3) y/o (5).
- **Safety review** cuando se requieren resultados cualitativos (1) y/o (5).
- **HAZOP, FMEA** cuando se requieren resultados cualitativos (1), (3), (5) y/o (6).
- **ETA** cuando se requieren resultados cuantitativos (4), (5) y/o (6).
- **FTA, HRA, CCA** cuando se requieren resultados cualitativos (4) y/o (6).

B) Información y documentación técnica disponible y necesaria:

En esta fase se dispone de suficiente información del proyecto para poder aplicar cualquier técnica PHA, incluida la experiencia en la operación del proceso.



- **What-if/Checklist:** requiere menos información que las demás técnicas. La experiencia en la operación del proceso para confeccionar la checklist no es problema en esta fase.
- **Safety review, HAZOP, FMEA, FTA, ETA, HRA y CCA** los mismos comentarios que los de la etapa anterior.

C) Características del problema a analizar:

- **What-if/Checklist** se suele utilizar para examinar un amplio rango de posibles peligros introducidos por la modificación con un nivel de riesgo percibido no muy elevado.
- **Safety review, HAZOP, FMEA, FTA, ETA, HRA, CCA** los mismos comentarios que los de la etapa anterior.

8. INVESTIGACIÓN DE INCIDENTES:

En esta fase se recomienda utilizar las técnicas que permiten revisar y/o evaluar de forma detallada aquellas zonas o áreas 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 reducir la probabilidad de que se vuelva a producir dicho accidente.

A) Tipo de resultados necesarios o buscados:

Lista del fallo/os o error/es que han producido el accidente, así como un listado de las recomendaciones o alternativas para eliminar o reducir la probabilidad de que vuelva a suceder el mismo.

B) Información y documentación técnica disponible y necesaria:

En esta fase se dispone de suficiente información del proyecto para poder aplicar cualquier técnica PHA, incluida la experiencia en la operación del proceso. Cobra especial importancia la revisión de los incidentes previos del proceso en cuestión y de los procesos similares.

C) Características del problema a analizar:

- **What-if** se utiliza 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 utiliza cuando el proceso ha sufrido un accidente que ha sido provocado por un fallo individual y se quiere identificar su causa entre un gran número de peligros o situaciones de accidente.
- **FMEA** se utiliza cuando el accidente ha sido provocado por un fallo individual de un componente del equipo mecánico y/o electrónico del proceso y se quiere identificar todos los modos de fallo que pueden conducir a dicha situación.
- **FTA y ETA** se utiliza cuando el accidente ha sido provocado por una situación de accidente específica originada por un fallo múltiple y se quiere calcular, de forma cuantitativa, su probabilidad y de forma gráfica sus consecuencias y/o causas.
- **HRA** se utiliza 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 utiliza 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 las causas con las consecuencias.

FASE DEL CICLO DE VIDA DEL PROYECTO O PROCESO	TÉCNICA PHA RECOMENDADA		
	CL	WI/CL	Safety Review
Construcción y puesta en funcionamiento	X		X
Cierre o desmantelamiento		X	X

5. CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO:

El objetivo de realizar un estudio PHA en esta fase del proyecto es verificar que la instalación se ha construido según lo diseñado y cumpliendo las prácticas de la industria y que los peligros para la seguridad no han sido ignorados. Por todo ello, se aconseja utilizar técnicas que puedan identificar una amplia gama de peligros.

A) Tipo de resultados necesitados o buscados:

Se supone que a estas alturas del proyecto, ya se han identificado todos los peligros y los escenarios de accidente, aunque es posible que se identifiquen problemas o errores cometidos durante la construcción que pueden influir sobre la futura operación del proceso, en tal caso es muy útil proponer alternativas que permitan eliminar o reducir dichas consecuencias.

- **Checklist** se aplica con el objetivo de no encontrar nuevos peligros y de este modo, poder verificar el correcto estado de la construcción y poder empezar la operación.

- **Safety Review** se aplica con el objetivo de no encontrar nuevos peligros para poder verificar el correcto estado de la construcción y poder empezar la operación, en caso de que aparezcan nuevos peligros se proponen las modificaciones necesarias para eliminarlos.

B) Información y documentación técnica disponible y necesaria:

En esta etapa cobra especial interés la información relacionada con los materiales y procedimientos de construcción y los requisitos o estándares de la compañía que operará el proceso.

- **Checklist**: se dispone de checklists que se han ido creando a lo largo de la construcción de la instalación o se dispone de información de algún proceso similar que esté en fase de operación. Es muy importante tener información sobre los estándares de diseño de la compañía.

- **Safety Review** para identificar las prácticas de construcción inseguras y determinar si el



proceso está preparado para el examen de puesta en marcha.

C) Características del problema a analizar:

- **Safety Review** se suele utilizar cuando el nivel de riesgo percibido es alto y por ello se utiliza una técnica que puede cubrir un gran rango de peligros.
- **Checklist** se suelen utilizar cuando el nivel de riesgo percibido no es muy alto, ya que identifica problemas muy generales.

9. CIERRE Y/O DESMANTELAMIENTO:

El cierre y/o desmantelamiento de una instalación o parte de la misma puede exponer al personal a diferentes peligros, por ello se recomienda utilizar una técnica que pueda examinar una gran variedad de peligros y que sea apta para procesos que no están en operación.

A) Tipo de resultados necesarios o buscados:

En esta etapa es muy importante identificar los peligros asociados al cierre de la instalación y generar recomendaciones para reducir su impacto. Los resultados son cualitativos.

- **What-if/Checklist** cuando se requieren (1), (3) y/o (5).
- **Safety Review** cuando se requieren (1) y/o (5).

B) Información y documentación técnica disponible y necesaria:

En esta etapa cobra especial interés toda la información relacionada con los posibles materiales de desecho que pueden tener impacto medioambiental sobre la zona cercana a la ubicación de la instalación clausurada.

- **What-if/Checklist**: se dispone de checklists de cierre y/o desmantelamiento de instalaciones con procesos similares al estudiado.
- **Safety Review**: muy importante la experiencia obtenida a través de la revisión de los informes de incidentes previos.



8.3 Conclusiones

A continuación, se muestran las conclusiones o aspectos más significativos de cada uno de los factores que se han tenido en cuenta para desarrollar el método de selección de técnicas PHA anteriormente descrito:

a) Fase del ciclo de vida del proceso a estudiar:

De entre las técnicas que se suelen aplicar en cada etapa del ciclo de vida de un proceso (tabla 8.1) se recomiendan las siguientes como las más adecuadas:

- Diseño inicial: PrHA, what-if, checklist y relative ranking.
- Diseño avanzado: What-if/checklist, HAZOP, FMEA.
- Construcción: Checklist y safety review.
- Operación/modificación: HAZOP, FMEA, FTA, ETA, CCA, HRA.
- Investigación incidentes: What-if, HAZOP, FMEA, FTA, ETA, CCA, HRA.
- Cierre y/o desmantelamiento: What-if/checklist, safety review.

Una forma de clasificar las técnicas PHA, que está relacionada con la etapa del ciclo de vida en la que se encuentra el proceso/proyecto a estudiar, es en función de su utilidad para estudiar procesos o proyectos existentes o en fase de diseño:

- Proceso en diseño: PrHA, what-if, checklist, what-if/checklist y relative ranking.
- Proceso que ya existe y/o opera: safety review, HAZOP, FMEA, ETA, FTA, CCA, HRA.

b) Información y documentación técnica disponible y necesaria:

A modo de resumen, se pueden establecer tres niveles de información necesaria para realizar un estudio PHA:

- Nivel 1: Información básica: PrHA, What-if, checklist, relative ranking.
- Nivel 2: Información detallada generalista: What-if/checklist y safety review (en menor grado) y HAZOP, FMEA (de forma más detallada).
- Nivel 3: Información muy detallada para analizar una situación específica: FTA, ETA, CCA, HRA.

c) Tipo de resultados necesitados o buscados:

Todas las técnicas sobre las que versa el trabajo son capaces de identificar los peligros asociados a los diferentes procesos/sistemas de la industria química de procesos y nuclear, por lo que sus diferencias, en cuanto a los resultados que pueden proporcionar, residen en los siguientes puntos:

- Diversidad de peligros y escenarios de accidente que pueden identificar y evaluar:
 - Gran variedad de peligros generales: PrHA, what-if, checklist, safety review, relative ranking.
 - Gran variedad de peligros y escenarios de accidente: What-if/checklist, HAZOP, FMEA.



- Escenarios de accidente específicos muy importantes: FTA, ETA, HRA, CCA.
- ¿Cómo evalúan los peligros y/o escenarios de accidente identificados?
 - Cualitativamente (listado de posibles causas y/o efectos de cada peligro): PrHA, what-if, checklist, what-if/checklist, safety review, relative ranking, HAZOP, FMEA.
 - Cuantitativamente (probabilidad de que ocurran los accidentes y modelos lógicos de causas y/o efectos): FTA, ETA, HRA, CCA.
- Posibilidad de recomendar alternativas o modificaciones que permitan eliminar o controlar los peligros y escenarios de accidente identificados:
 - Sí: PrHA, what-if, what-if/checklist, safety review, HAZOP, FMEA, ETA.
 - No: Checklist, relative ranking, FTA, HRA y CCA..

d) Tipo de proceso/sistema a estudiar:

- Proceso/sistema genérico: what-if, checklist, what-if/checklist, safety review, relative ranking y HAZOP.
- Componentes del equipo mecánico, eléctrico del proceso y/o sistema: FMEA.
- Proceso/sistema cuya operación presenta un elevado nivel de actividad humana: HRA.
- Procesos altamente instrumentados, redundantes, como los sistemas de alarma y de cierre: ETA y FTA.

e) Tipo de operación del proceso/sistema:

- Operación permanente: se puede usar una técnica más detallada.
- Operación temporal: se elegirá una técnica menos extensiva, a no ser que una operación temporal presente peligros importantes y pueda justificar el uso de una técnica más detallada.
- Operación continua: todas las técnicas son válidas
- Operación discontinua: what if, what if/checklist, HAZOP y ETA.

f) Tipos de fallos del proceso/sistema:

- Pueden identificar y evaluar accidentes provocados por fallos individuales: PrHA, what-if, checklist, what-if/checklist, relative ranking, safety review, HAZOP y FMEA.
- Pueden identificar y evaluar accidentes provocados por fallos múltiples y cuya lógica es compleja: FTA, ETA, HRA.
- Pueden identificar y evaluar accidentes provocados por fallos múltiples y cuya lógica es sencilla: CCA.

g) Riesgo percibido asociado al proceso:

- Riesgo percibido bajo: PrHA, what-if, checklist, relative ranking.
- Riesgo percibido medio: what-if/checklist, safety review.
- Riesgo percibido alto: HAZOP, FMEA, FTA, ETA, CCA, HRA.



9. Aplicación informática para seleccionar técnicas PHA

Para hacer más fácil y rápido el proceso de selección de técnicas PHA descrito en el apartado anterior, se ha desarrollado una sencilla aplicación informática, cuyo ejecutable y código fuente se incluye en el CD. Este punto se desarrolla de forma más detallada en el Anexo D.

Para la programación de dicha aplicación se han utilizado o considerado los siguientes elementos:

- El lenguaje de programación C++ y el Visual Studio .Net 2005.
- La información del apartado 8, sobretodo la referente a los factores a considerar para seleccionar una técnica PHA y las conclusiones sobre el proceso de selección.

A partir de dicha información, se ha desarrollado una aplicación informática formada por 5 ventanas gráficas (se adjuntan imágenes de las mismas) en las que se introducen los objetivos del estudio PHA y las características del proceso/sistema a estudiar. Existen dos posibles resultados para el proceso de búsqueda de la técnica PHA que se ajusta mejor a los datos introducidos:

- a) 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 el programa recomienda utilizar esa técnica.
- b) 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 el programa indica que ninguna de las técnicas PHA es adecuada para realizar ese estudio.

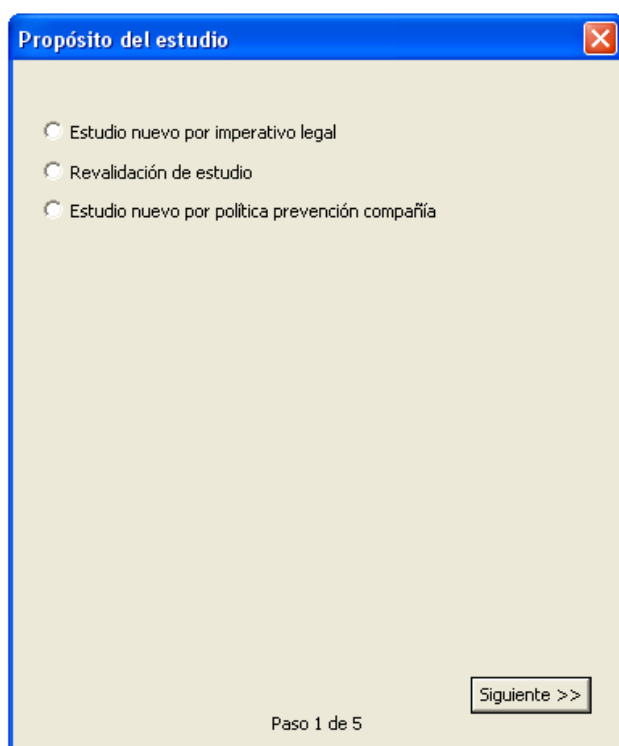


Ilustración 1. Ventana 1 de la aplicación



Fase del ciclo de vida del proyecto/proceso ✖

- I+D
- Diseño conceptual
- Ingeniería Básica
- Ingeniería detallada
- Construcción
- Operación
- Modificación
- Investigación incidente
- Cierre y/o desmantelamiento

Paso 2 de 5

Resultados necesarios ✖

Identificación y evaluación de:

- Gran variedad de peligros
- Escenarios de accidente específicos

Tipo de evaluación de los peligros y/o escenarios de accidente

- Cualitativa (Listado causas/consecuencias)
- Cuantitativa (probabilidad y modelos lógicos de causas y efectos)

Ranking de los peligros y escenarios de accidente:

- Sí
- No

Alternativas para eliminar o controlar los peligros y/o escenarios de accidente identificados

- Sí
- No

Paso 3 de 5

Información técnica disponible ✖

Cantidad y nivel de detalle de la misma

- Nivel 1
- Nivel 2
- Nivel 3

Información específica disponible

- Experiencia en la operación
- Probabilidades sobre fiabilidad del equipo
- Probabilidades sobre actividad humana
- Ninguna

Paso 4 de 5

Características del proceso/sistema a estudiar ✖

Tipo de proceso/sistema

- Proceso/sistema genérico completo
- Componentes del equipo mecánico y/o eléctrico del proceso
- Proceso con mucha actividad humana
- Sistemas altamente instrumentados
- Sistema con lógica de fallo simple

Tipo de operación del proceso/sistema

- Continua
- Discontinua

Tipo de fallos que originan los accidentes del proceso/sistema

- Fallo individual
- Fallo múltiple

Paso 5 de 5



Ilustración 2. Ventanas 2, 3, 4 y 5 de la aplicación

10. Sistema de gestión de estudios PHA

Una vez desarrollado el método para seleccionar técnicas PHA, es conveniente disponer de un sistema que facilite su integración y aplicación en un estudio PHA. Aunque cada una de las técnicas PHA tiene sus particularidades, este sistema de gestión es común para todas ellas y tiene los siguientes objetivos:

- Estandarizar la forma en que se deben realizar y gestionar los estudios PHA.
- Describir la metodología para determinar cuándo es necesaria una revalidación de los estudios existentes y cómo deben llevarse a cabo.
- Garantizar la calidad de los estudios PHA, estableciendo la forma en que se deben realizar los controles de calidad.

Para desarrollar este modelo teórico de sistema de gestión, ha sido necesario consultar numerosa bibliografía, sobretodo guías y tutoriales de empresas que se dedican a realizar estudios PHA a terceros. Las fuentes más relevantes se pueden consultar en el apartado de bibliografía.

Este sistema de gestión está pensado para ser utilizado por personal con conocimientos en los estudios y técnicas PHA, entre los que destaca:

- Gestores o encargados de instalaciones industriales.
- Ingenierías que son contratadas para realizar el diseño de proyectos industriales.
- Jefes de estudios PHA.
- Líderes de estudios PHA.

En el Anexo C se desarrolla este sistema de una manera más gráfica, por lo que permite su utilización por personal con menor preparación técnica y en estudios PHA, como pueden ser los operarios encargados de la operación de un proceso que pueden ser reclamados puntualmente para aportar información muy concreta relacionada con su experiencia personal.

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 (Anexo B).



10.1 Preparación previa a la realización de un estudio PHA

La preparación necesaria para un estudio dependerá del tamaño y complejidad de la instalación, de las características (sobretudo si la operación de la misma es continua o discontinua) y de la etapa del ciclo de vida del proceso o sistema a estudiar.

10.1.1 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 su contenido y en el tiempo necesario para realizarlo. 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 consiste en especificar la razón por la que se realiza:

- Por motivos legales.
- Por requerimientos de la política de prevención de accidentes de la compañía.
- Por requerimiento oficial.

El **alcance** no debe ser muy restrictivo o detallado para no limitar el trabajo del equipo. En general, los equipos deben tener libertad para utilizar su juicio en los estudios, pero sin desviarse del propósito principal de éste. Si el equipo identifica una situación que no está definida en el alcance del trabajo o para la que no hay estándares de la compañía, debe anotar dicha situación para una revisión posterior. El alcance especifica los siguientes elementos técnicos sometidos al estudio:

- Los límites físicos del sistema estudiado.
- Los modos de operación incluidos.
- Si el efecto dominó está incluido.
- Sucesos externos considerados.
- Condiciones de operación contempladas.
- Bases del diseño de ingeniería.
- Sistemas técnicos y servicios considerados.
- Recomendaciones para acciones correctivas a desarrollar.
- Si se usarán clasificaciones de severidad y probabilidad.
- Si los procedimientos se tratarán de forma implícita o explícita.

El **objetivo** es normalmente fijado por la compañía que solicita el PHA y especifica los tipos de peligros y las consecuencias de estos que se quieren identificar, si fuera necesario, también puede especificar las situaciones de accidente o de riesgo asociadas a los mismos que se tienen que valorar. Los objetivos proporcionan un enfoque claro del estudio y dependen en gran medida de



la fase del ciclo de vida en la que se encuentra el proceso a estudiar.

Hay dos tipos de objetivos:

a) Objetivo primario:

El objetivo principal es identificar y evaluar los peligros y los escenarios de peligro del proceso que pueden producir accidentes con consecuencias perjudiciales para el patrimonio, las personas o el medioambiente. Para conseguirlo el estudio debe centrarse en analizar la seguridad del proceso, la operabilidad, fiabilidad y mantenimiento del mismo, así como en los posibles accidentes que pueden suceder.

b) Objetivo secundario:

El objetivo secundario es generar recomendaciones o alternativas para eliminar o reducir los peligros identificados. El equipo que realiza el estudio no debe perder tiempo buscando soluciones a todos los problemas identificados, si la solución no es obvia, se recomienda que se revise en estudios posteriores.

10.1.2 Selección del equipo que realiza el estudio PHA

Una vez definido el propósito, alcance y objetivos del estudio PHA a realizar, la dirección de la empresa interesada en realizar el estudio comienza el proceso de selección del equipo que hará dicho estudio.

Tamaño óptimo del equipo PHA:

El número de personas que participa en las sesiones de trabajo es fundamental para el control, la comunicación y el trabajo del equipo. Por ello no es aconsejable que los grupos sean grandes y se recomienda que el número de personas que integran el grupo de trabajo (excluido el líder del estudio y secretario) esté comprendido entre cuatro y seis personas, con la excepción de instalaciones pequeñas donde puede usarse un equipo más reducido y en proyectos nuevos donde puede ser necesario un grupo más numeroso porque asiste personal de otras organizaciones (licenciantes, ingenierías), pero nunca superando las 10 personas (excluidos el líder y el secretario).

Componentes habituales de un equipo PHA:

La composición exacta del equipo PHA depende de los objetivos del estudio, la etapa del ciclo de vida del proceso a estudiar, la técnica de PHA utilizada, el tipo de proceso a estudiar, etc. A pesar de ello, existen figuras comunes a los equipos de trabajo:

- 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 jefe de estudio es el responsable de ejecutar el mismo y delega su dirección en un líder de estudio, el cual tiene conocimiento en la técnica PHA utilizada y es asistido por un secretario técnico o escribano. El equipo técnico se selecciona en base a la experiencia técnica sobre el proceso en cuestión y/o en la operación del mismo. Es conveniente tener un coordinador del lugar donde se van a realizar las sesiones de trabajo con el objetivo de asegurar que el local cuenta con el equipo y las condiciones ambientales necesarias para favorecer el trabajo del equipo.

Contratación del personal que forma el equipo PHA:

Normalmente el jefe del estudio pertenece a la compañía que encarga el estudio PHA. Suele ser habitual contratar al líder y al secretario técnico en empresas especializadas en estudios PHA. El equipo técnico suele trabajar en la instalación a estudiar.

Se aconseja que la contratación del líder y el secretario siga los siguientes pasos:

1. Elaborar una petición de oferta:

Para estudios nuevos y revalidaciones de estudios existentes, la compañía que encarga el estudio debe definir claramente los requisitos de su petición de oferta: motivo, alcance y objetivo del estudio PHA que se quiere realizar y adjuntar los documentos necesarios para que el ofertante pueda hacer una estimación del alcance del estudio (P&IDs de las instalaciones, descripción del proceso, procedimientos de operación, etc.).

2. Realizar una oferta:

El ofertante debe incluir en su oferta una propuesta de aplicación de la técnica PHA por partes o etapas (mediante nodos, subsistemas), la programación detallada de las sesiones, todas las tareas y responsabilidades asignadas al líder y al secretario, el sistema informático de gestión de estudios PHA utilizado y el currículum del personal propuesto.

3. Analizar las ofertas:

La homologación de la empresa ofertante en el campo de actuación que se pretende contratar es un requisito necesario, pero no suficiente para la adjudicación de la oferta. Para el análisis técnico de las ofertas se debe tener en cuenta los siguientes criterios de calidad:

- Selección de nodos y programación de las sesiones.
- Selección de parámetros y descripción de su tratamiento.
- Calidad contrastable en el servicio que se pretende contratar.
- Propuesta de preparación del estudio.
- Propuesta de preparación de la primera sesión.
- Experiencia del líder de estudio y secretario técnico.
- Existencia de sistemas de calidad del contratista.



A continuación se especifican las principales responsabilidades que suelen tener los componentes habituales de un equipo PHA:

Jefe del estudio PHA:

Es el primer miembro del equipo en ser elegido y puede tener la siguiente procedencia:

- Normalmente pertenece a la compañía que encarga el estudio PHA:
 - En proyectos de instalaciones nuevas o de modificación de existentes, esta figura suele recaer sobre el jefe del proyecto.
 - En instalaciones existentes, cada centro industrial asignará, dentro de su sistema de gestión de seguridad a una persona responsable para que dirija el programa de aplicación y/o revalidación de los estudios PHA. Siendo habitual que el jefe de seguridad de la instalación estudiada sea la persona elegida.
- También puede pertenecer a una empresa o consultoría especializada en realizar estudios PHA a terceros, aunque es menos común.

Es el responsable de la ejecución del estudio PHA de acuerdo con las directrices de la compañía que encarga el estudio y/o las de carácter legal que sean de aplicación para el estudio en cuestión. De entre sus otras funciones, destacan las siguientes por tener una influencia directa sobre el proceso de preparación previa a la realización de un estudio PHA:

1. Elegir la técnica PHA más adecuada para el proceso a estudiar (apartado 8).
2. Elegir al líder del equipo por sus conocimientos en la técnica PHA seleccionada.
3. Elegir al equipo técnico.

Otras funciones o responsabilidades:

Antes del estudio:

- a. Definir la técnica PHA a utilizar en colaboración con el departamento de seguridad de la compañía que encarga el estudio PHA.
- b. Comprobar que el motivo, alcance u objetivos han sido definidos.
- c. Elegir a un líder de grupo apto y capacitado para las labores exigidas.
- d. Seleccionar a los miembros del equipo técnico que participará en el estudio PHA. Se asegurará que los participantes seleccionados cuenten con la capacidad, experiencia y disponibilidad adecuada para avalar la calidad del estudio que se realice.
- e. Garantizar y proporcionar toda la documentación necesaria en cantidad, calidad y plazo.
- f. Comunicar al equipo técnico PHA el programa previsto para la realización del estudio.
- g. Garantizar que las sesiones de trabajo se puedan realizar en un local adecuado y con las dotaciones materiales necesarias para el estudio.

Durante el estudio:

- h. Comprobar que el trabajo se realiza con la calidad exigida.



- i. En base a las recomendaciones del líder del estudio, podrá detener el estudio si se considera que no es lo suficientemente productivo.
- j. Comprobar que se hayan asignado responsables para cada una de las recomendaciones establecidas en el estudio.

Después del estudio:

- k. Comprobar que el informe final cuenta con la calidad exigida.
- l. Realizar el seguimiento de las recomendaciones.

Líder del estudio PHA

Es la persona encargada de dirigir el estudio PHA, normalmente es una persona externa a la empresa que encarga el estudio, con conocimiento y experiencia en la técnica PHA utilizada, pero que no debe estar directamente implicado en el proyecto u operación de la unidad de estudio. En general, tiene las siguientes responsabilidades:

Antes del estudio:

- a. Análisis de la documentación proporcionada por el jefe del estudio y preparar previamente la aplicación de la técnica seleccionada para el estudio.
- b. Hacer una selección preliminar de los nodos y someterla a la aprobación del equipo.
- c. Establecer el programa de las sesiones, previo acuerdo con el jefe de proyecto.
- d. Conocer los requisitos legales aplicables.
- e. Conocer las normas internas de la empresa aplicables.
- f. Comprobar que la documentación está disponible en cantidad, calidad y plazo.
- g. Ayudar al jefe del estudio PHA, si es preciso, en la especificación de las capacidades requeridas por los miembros del equipo técnico PHA.
- h. Tener previstas y actualizadas todas las actividades a seguir durante las sesiones de trabajo.

Durante el estudio:

- i. Explicar al grupo los motivos, alcance, y objetivos del estudio.
- j. Explicar la técnica PHA a aplicar a los miembros del equipo técnico.
- k. Dar a conocer al grupo los requisitos legales y normativos aplicables.
- l. Conducir el estudio de acuerdo con la política de la compañía.
- m. Guiar al grupo en el uso de la técnica PHA seleccionada.
- n. Mantener la atención del grupo durante las sesiones.
- o. Asegurar que el grupo trabaja de forma efectiva durante las sesiones.
- p. Detener una sesión de trabajo si se considera que no es suficientemente productiva.
- q. Fomentar el debate de ideas y evitar las repeticiones.
- r. Encauzar las ideas presentadas hacia la definición de conclusiones.
- s. Mantener un control horario de las reuniones, exigiendo puntualidad y compromiso.



Después del estudio:

- t. Realizar el informe final del estudio.
- u. Asegurarse de que el informe tiene los elementos de contenido y redacción adecuados.

Para que una persona pueda ser elegida como líder de estudio PHA se recomienda que cumpla con los siguientes requisitos: pertenecer a la empresa que pide el estudio o a una empresa homologada por ésta para realizar estudios PHA, tener experiencia suficiente en la realización de este tipo de estudios, disponer de experiencia previa en el rol de líder, capacidad para motivar al grupo, etc.

El líder de equipo PHA tiene las responsabilidades anteriormente mencionadas, pero normalmente se le tiende a responsabilizar de puntos que no son de su competencia o que lo son de todo el equipo que realiza el estudio, como por ejemplo del diseño de la planta analizada, del seguimiento de las recomendaciones o acciones hechas en el estudio PHA y de los resultados del PHA.

Secretario técnico PHA:

Bajo la dirección del líder de equipo, el secretario técnico es la persona que hace el asentamiento, utilizando un software de seguridad de procesos, de la información que se genera durante las sesiones de trabajo. Es aconsejable que la figura de líder y secretario no coincidan en la misma persona, sobretodo cuando los estudios son de gran tamaño. Dentro de las responsabilidades del secretario técnico figuran las siguientes:

Antes del estudio:

- a. Revisar las plantillas oficiales disponibles para cada estudio y en el caso de ausencia de las mismas, prepararlas, particularizándolas para el tipo de estudio y los procesos que se deben analizar.

Durante el estudio:

- b. Asentar y documentar la información generada durante las sesiones del estudio sobre la aplicación informática de gestión.

Después del estudio:

- c. Preparar el informe final del estudio.

Para poder ejercer la función de secretario técnico se recomienda que cumpla los siguientes requisitos: tener conocimientos sobre procesos y sobre la metodología PHA, estar familiarizado con el uso de la aplicación informática de gestión de los estudios PHA, poseer destrezas en mecanografía, tener una buena relación y compenetración con el líder.

Equipo técnico PHA:

Lo formarán el conjunto de personas que deben estar presentes durante todas las sesiones del



estudio en las que se realice el estudio PHA (grupo permanente). Como la implicación de este grupo es crítica para el éxito del estudio, se debe garantizar la presencia de todos los miembros para asegurar la validez, a efectos de control de calidad y auditorias, del estudio PHA. La sustitución de los miembros del grupo permanente se debe evitar al máximo, ya que la misma produce distracción y pérdidas al resto del equipo, repeticiones de asuntos ya discutidos y conflictos por diferencias de criterio con las personas sustituidas. Siempre que sea posible se tratará de modificar las fechas de las sesiones antes de proceder a la sustitución de un miembro de este grupo.

La selección de los integrantes del grupo permanente la realizará el jefe del estudio PHA, con la colaboración del líder del estudio PHA si fuera preciso. Es recomendable que el grupo este formado por ingenieros y/o técnicos de las siguientes especialidades:

- Procesos.
- Operación.
- Mantenimiento / proyectos.
- Control avanzado / instrumentación.
- Seguridad industrial.
- Procesos químicos.
- Personal con conocimiento especial en inspecciones.
- Personal con conocimiento especial en medioambiente.
- Para unidades existentes o unidades nuevas que son similares a ya existentes, es importante disponer de personal que tenga un conocimiento exacto del proceso, equipo y procedimientos gracias a la operación continuada del mismo.

Dentro de las responsabilidades del grupo permanente se pueden citar:

Antes del estudio

- a.** Reclamar la documentación necesaria con suficiente antelación para poder analizarla.
- b.** Analizar y estudiar la documentación antes del estudio.
- c.** Conocer y entender el proceso analizado.

Durante el estudio:

- d.** Estar comprometido (motivado) en la identificación de peligros.
- e.** Determinar causas y consecuencias de escenarios de riesgo identificados.
- f.** Identificar salvaguardas de proceso.
- g.** Proponer recomendaciones.

Después del estudio:

- h.** Comprobar que el informe final corresponde con lo acordado durante las sesiones.
- i.** Evaluar el desempeño del líder.
- j.** Dar respuesta a las recomendaciones asignadas durante el estudio.



Coordinador del lugar:

Las sesiones de trabajo de un estudio PHA requieren que todos los detalles organizativos sean cuidados al máximo, con el fin de evitar retrasos y pérdidas de tiempo a las personas participantes. Aunque la responsabilidad recae sobre el jefe del estudio PHA, se recomienda que la misma se delegue en otra persona que actuará como coordinador del lugar, el cual tiene las siguientes funciones:

- Organizar la entrada de las personas al centro de trabajo.
- Reservar una sala de reunión adecuada (tamaño, dotación, etc.).
- Organizar la logística asociada, por ejemplo, las comidas.
- Facilitar el acceso a sistemas de reprografía.
- En el caso de participantes externos, organizar y coordinar la logística asociada al traslado y alojamiento de dichos participantes.

Grupo no permanente:

El grupo no permanente estará constituido por todas aquellas personas que puedan aportar información significativa y relevante para el desarrollo del estudio, como especialistas en diferentes temas. En proyectos nuevos y/o de modificación de existentes, será obligatoria la presencia de la ingeniería encargada del diseño de las unidades o procesos analizados. Para algunos estudios PHA que se realicen en fases tempranas de los proyectos, será necesaria la asistencia de especialistas del licenciario de la tecnología del proceso analizado. En algunas ocasiones, y a criterio del jefe de proyecto, se podrá requerir la presencia de los técnicos de empresas suministradoras de equipos principales críticos.

10.1.3 Selección de la técnica

La selección de la técnica PHA más adecuada para estudiar un proceso/proyecto se ha desarrollado en el apartado 8.

10.1.4 Recopilación y modificación de la información disponible

La calidad de un estudio PHA depende de la calidad de la información utilizada, por lo que cuanto más información haya de un proceso más valioso y profundo será el estudio PHA realizado. La información disponible de un proceso varía en función de la fase del ciclo de vida en la que se encuentra el mismo; durante las primeras fases solo estará disponible la información química básica, a medida que el proceso alcanza la fase de diseño está disponible más información y durante la fase de operación está disponible toda la información.



Esta información se puede clasificar en tres niveles según su grado de detalle:

A) Información básica:

Documentación que constituye el mínimo imprescindible para el inicio de cualquier estudio PHA (independientemente de la técnica PHA aplicada):

- Fichas de datos de seguridad de los productos químicos peligrosos manejados en el proceso.
- Información de los inventarios de sustancias en el proceso.
- Diagramas de bloques o diagramas básicos de proceso: diagramas simplificados que se usan para mostrar el equipo del proceso y la interconexión de las líneas de flujo (también muestra los índices de flujo, composición del flujo, temperaturas, presiones).
- Planos de localización de la instalación (plot plans).
- Planos de implantación o distribución.

B) Información complementaria:

Documentación adicional que puede ser necesaria en función de la técnica PHA utilizada:

- Diagramas de tuberías e instrumentos (P&IDs): diagramas más apropiados para visualizar la información requerida por el diseñador de tuberías y la plantilla de ingenieros. Se usan para describir las relaciones entre el equipo y la instrumentación.
- Diagramas de flujos (PFDs): más complejos que los diagramas de bloques, muestran todos los caudales de los principales flujos, incluyendo válvulas, presiones y temperaturas de todas las líneas, así como los materiales de construcción, capacidades de las bombas, etc.
- Balances de materia y energía.
- Información detallada sobre la lógica de funcionamiento del control operacional y la actuación de los sistemas de bloqueo.
- Características de la tecnología utilizada.
- Información sobre la instrumentación.
- Información sobre los procesos químicos.

C) Información de detalle:

Documentación necesaria para realizar estudios PHA de proyectos totalmente definidos, en los que se analizan determinados modos operativos:

- Hojas de especificación de equipos.
- Planos de detalle mecánico.
- Isométricos de tuberías.
- Procedimientos operativos aplicables a los diferentes modos de operación.
- Procedimientos de emergencia.

El líder del estudio debe disponer de la información con una antelación de al menos 2 semanas antes del comienzo del estudio, a fin de preparar adecuadamente el estudio PHA y comprobar que la documentación necesaria está disponible y que la misma cuenta con el grado de fiabilidad y



calidad suficientes para acometer los trabajos (el líder del equipo del estudio debe completar una lista de chequeo sobre la documentación existente). En el caso de unidades existentes, antes de realizar el estudio se debe comprobar que la documentación está actualizada. Si durante el desarrollo del estudio PHA se identifican imprecisiones o errores en los planos, se pondrán de manifiesto marcando las correcciones e incluyendo los planos modificados en el informe final.

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

- a) Para *procesos continuos* el trabajo de preparación es mínimo y por ello el principal esfuerzo consiste en asegurar que la información, entre la que destaca por su importancia la relacionada con las operaciones (manual de operaciones) ya que el proceso normalmente está muy automatizado, es exacta y está actualizada.
- b) Para *procesos discontinuos* la preparación de la información, entre la que destaca por su importancia la relacionada con los procedimientos de operación (manual de operaciones) ya que el proceso suele estar poco automatizado y el factor humano es una causa importante de fallo, es más larga porque se debe describir el estado del proceso en cada fase del mismo.

10.1.5 Planificación del estudio

El líder es el encargado de planificar el estudio antes de que este comience, con el objetivo de garantizar que el equipo enfoca y realiza su actividad de forma sistemática. Dicha planificación consiste 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.
- Hacer una estimación de la duración del estudio (en el apartado 11 se desarrolla este punto para cada una de las técnicas PHA):

Hay varios métodos para estimar el tiempo que conlleva realizar un estudio PHA, el cual depende en gran medida de la técnica seleccionada y por ello es fundamental tener experiencia en la aplicación de la misma para poder realizar estimaciones correctas. Para calcular cuanto tiempo llevará realizar un estudio PHA hay que hacer las siguientes estimaciones: [35]

1. Estimar el tiempo para obtener toda la información necesaria, es el llamado tiempo de preparación.
2. Estimar el número de nodos, anotando cuantos son pequeños, medianos y grandes.



3. Estimar el número de sesiones y la duración de las mismas.
4. Estimar el tiempo de preparación del informe final.

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:

Antes de que empiecen las sesiones de trabajo:

- Si fuera necesario, organizar una visita a la instalación y proporcionar el equipo de seguridad y la formación adecuada.
- Obtener los pases para el personal y las facilidades de transporte que puedan requerir para llegar al punto de reunión.
- Proporcionar facilidades para que el personal pueda comer y beber en los descansos si las sesiones se extienden por la noche.

Durante las sesiones de trabajo:

- Establecer y repartir los descansos necesarios, en número y duración, para mantener a los integrantes del grupo en las mejores condiciones de cara al estudio.
- Garantizar que las condiciones y el equipo del lugar del trabajo son las adecuadas para que el equipo pueda realizar su actividad, este punto se desarrolla en los siguientes apartados.

Primera sesión:

Al inicio de la primera sesión de trabajo, e inmediatamente después de realizar las presentaciones pertinentes, el líder de equipo efectuará un a pequeña introducción al resto de participantes en la que se describirán los siguientes aspectos:

- Que hacer en caso de emergencia: salidas de emergencia, puntos de reunión.
- Reglas de juego: pausas, horarios de inicio, comida y fin de las sesiones.
- Explicación resumida y concisa (de 30 a 45 minutos) sobre la técnica de estudio PHA a utilizar durante las sesiones.
- Aclaración del motivo, objetivos y alcance del estudio.
- Introducción acerca del programa de gestión del estudio PHA.
- Revisión de la información disponible.

Condiciones que favorecen el transcurso de las sesiones:

Las sesiones de trabajo requieren un entorno/ambiente adecuado para favorecer al proceso de brainstorming. Por tal motivo, será necesario disponer de una sala con la capacidad y espacio apropiado para que el grupo pueda trabajar con comodidad, pueda desplegar los planos y la otra información. En la medida de lo posible, se aconseja que las sesiones de trabajo de los estudios PHA se realicen fuera de las instalaciones industriales, de este modo se pretende evitar que las responsabilidades diarias impidan a los miembros del grupo permanente participar de manera exclusiva en las sesiones de trabajo.



Para favorecer el seguimiento del trabajo, es imprescindible que la sala cuente con un proyector, que muestre en todo momento la información generada por el equipo. Así como de una pizarra para poder hacer esbozos y/o aclaraciones.

Debido a que el estudio requiere una adecuada concentración de todos los miembros del equipo y la efectividad del equipo disminuye con el aumento de la duración de las sesiones, es aconsejable que la duración máxima de las sesiones no supere las 6 horas diarias efectivas (8 totales) y no se extiendan más de 4 días consecutivos para permitir a los participantes mantener al día el resto de sus compromisos laborales y ayuda en la motivación del grupo.



10.2 Realización del estudio PHA

Una vez que se han establecido los objetivos y el alcance del estudio, se ha seleccionado el equipo que lo va a realizar, se ha seleccionado la técnica PHA más adecuada y se ha planificado el estudio, ya se puede comenzar la realización del mismo.

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

- Lo primero es identificar los peligros y los escenarios de accidente asociados al proceso o sistema a estudiar a través del análisis de las propiedades de los materiales y las condiciones del proceso, la revisión de la experiencia y de los accidentes previos de la industria relacionada con el proceso a estudiar, la utilización de matrices de interacción, el análisis de los controles de ingeniería y de administración, el análisis del emplazamiento de la instalación y la evaluación del fallo humano y sus efectos.
- Evaluar los escenarios de accidente y las medidas de seguridad existentes (depende en gran medida de la técnica PHA utilizada).
- Determinar si hacen falta cambios en el diseño u operación para mejorar la seguridad, en otras palabras, generar recomendaciones de modificación.

10.2.1 Identificación de los peligros asociados a un proceso

Los peligros asociados a una actividad no se pueden evaluar con una técnica PHA si no se han identificado antes. En general, no es eficiente usar técnicas PHA con el único propósito de identificar peligros cuando hay información adecuada para realizar la identificación y la evaluación. Sin embargo, cuando la información es limitada, como el caso de procesos nuevos o diseños conceptuales de unidades nuevas, las técnicas PHA se pueden utilizar para identificar peligros de forma eficiente.

Un requisito previo a la identificación de peligros es identificar las consecuencias no deseadas que se quieren considerar para el caso a analizar, ya que cuanto más precisa sea la definición de las consecuencias, más fácil será identificar los peligros. Una vez que se han definido las consecuencias de interés, se puede identificar las características del proceso/sistema que pueden ser peligrosas. Es importante que el enfoque proporcione la discriminación entre peligros importantes y no tan importantes para evitar excederse en el número de peligros a examinar.

Los resultados de la identificación de peligros se suelen presentar en una lista de materiales o condiciones del proceso que pueden conducir a situaciones peligrosas, entre las que se incluyen: materiales inflamables, materiales tóxicos, reacciones peligrosas, sustancias químicas y sus



cantidades de las que hay que informar si se produce un escape al medioambiente, condiciones del proceso que conducen a una reacción descontrolada, etc.

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

La información sobre las sustancias químicas utilizadas o producidas en el proceso es la base de la identificación de peligros. Existen muchas fuentes que pueden proporcionar información sobre las propiedades de los materiales, las mejores son los fabricantes de sustancias químicas ya que pueden proporcionar MSDSs (Material Safety Data Sheets). Además hay muchas asociaciones o grupos de industrias específicas que proporcionan información detallada sobre los tipos de sustancias químicas y su manipulación.

Una identificación inicial de peligros se puede realizar comparando las propiedades de los materiales (obtenidas de las fuentes anteriormente comentadas) con las consecuencias de interés para el estudio. Por ejemplo, si se quieren estudiar las consecuencias de un incendio, hay que identificar los materiales del proceso que son inflamables, todos estos materiales se clasifican como peligrosos de originar fuego y se realiza una evaluación más detallada de los mismos.

Las condiciones de un proceso pueden crear peligros o intensificar los peligros asociados a los materiales del proceso. Por tanto, no es suficiente considerar sólo las propiedades de los materiales cuando se identifican peligros, también hay que considerar las condiciones normales y anormales del proceso. Por ejemplo el agua caliente no es una fuente de peligro de explosión sólo por sus propiedades, sin embargo si un proceso es operado a una temperatura y presión que exceden el punto de ebullición del agua, entonces una introducción rápida de agua representa un peligro potencial de explosión.

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

Cuando sea posible, se debe tener experiencia propia para complementar la identificación de peligros del proceso. Sin embargo, basar la identificación de peligros sólo en la experiencia de la compañía o industria no es recomendable porque se pasaran por alto muchos peligros. Una buena experiencia sólo demuestra que los peligros se han controlado adecuadamente, no que no existan.

Los accidentes e incidentes previos deben revisarse como parte del estudio PHA (Tabla 10.1) ya que los incidentes pueden indicar lo que sucedería si el sistema de protección fallase.



BASES DE DATOS	OPERADOR O REFERENCIA
MHIDAS (Mayor Hazard Incident Data System) EIDAS (Explosive Incident Data System)	SRD (Safety and Reliability Directorate, UK Atomic Energy Authority)
FACTS	
MARS (Major Accident Reporting System).	Descrito en [36], [37]
FIRE Incident Database for Chemical warehouse fires	Descrito en [38]
SONATA	
Offshore Hydrocarbon Release (HCR) DATABASE	Descrito en [39]

Tabla 10.1. Bases de datos de accidentes

C) Matrices de interacción:

Son una herramienta sencilla para identificar interacciones entre parámetros específicos como materiales, fuentes de energía, condiciones medioambientales, condiciones de proceso, contaminantes, efectos sobre la salud humana, el medioambiente, límites legales para el inventario, etc. Una vez que se ha hecho la matriz, se examinan las consecuencias potenciales asociadas a cada interacción de la matriz. Los resultados de la matriz de interacción pueden compararse con las consecuencias de interés para identificar peligros potenciales que requieren evaluaciones posteriores.

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 y por ello deben considerarse a la hora de realizar un estudio PHA.

Los *controles administrativos* son considerados como una práctica habitual en diferentes tipos de instalaciones y se basan en la actuación del personal de seguridad en lo referente a operación y mantenimiento. Están sometidos al error humano, a la mala interpretación, y lo que es más importante, pueden ser ignorados o no tomados en serio. Los controles administrativos más típicos son: utilizar un número adecuado de operarios, las revisiones de la instalación, sistemas de etiquetado por colores o codificación de los procesos, diseño de procedimientos de chequeo, cursos de formación y plan de respuesta en caso de emergencia.

Los *controles de ingeniería* son proporcionados por dispositivos como alarmas, válvulas de cierre de emergencia o detectores de fuego específicos para el proceso en cuestión.



E) Análisis del emplazamiento del proceso:

Es importante evaluar el emplazamiento o localización de la instalación industrial analizada en un estudio PHA. La API 752 ofrece información para gestionar los peligros asociados a la localización o emplazamiento de una instalación. Para una instalación nueva esto puede requerir un análisis de la planta y del espacio entre unidades de proceso. El criterio de ocupación en los edificios de la planta, establecido por la compañía, se usa para determinar si es necesaria una evaluación posterior de los acontecimientos potencialmente peligrosos.

F) Evaluación del factor humano y sus efectos:

Las estadísticas indican que un gran número de incidentes en las plantas industriales están asociados al factor humano (fallo humano), por tal motivo se debe tener en cuenta como una causa de desviación de los estudios PHA y prestar atención a sus consecuencias. El análisis del error humano es muy valioso para entender los incidentes, pero la habilidad de predecir las causas del error humano es virtualmente imposible porque el ser humano está sujeto a la voluntad libre y puede cometer errores.

El objetivo de considerar el error humano como parte de un PHA es minimizar el potencial de fallo debido al mismo. Esto se consigue a través de la revisión de los problemas relacionados con el equipo, diseño, instrumentación, control, operación, organización, comunicación, medioambiente, etc. A nivel internacional, muchas autoridades y organizaciones están mostrando un interés especial hacia los fallos humanos (OSHA, EPA, API) por lo que es previsible que en un futuro su análisis sea obligatorio.

Los fallos humanos se pueden clasificar de muchas formas, pero la más simple es por el tipo de acción:

- Omisión: La acción no es realizada.
- Comisión: La acción es realizada pero de forma incorrecta.
- Adición: Una acción no prevista es realizada en sustitución o como complemento de otra.

Otra forma de clasificarlos es en función del mecanismo y/o causas que originan el fallo:

- Relativos a las personas: sobrecarga de tareas, falta de conocimiento del idioma por parte de los operadores, bajo nivel de entrenamiento de los operadores, exceso de confianza, etc.
- Relativos a los procedimientos de operación: desconocimiento (parcial y/o total) del procedimiento establecido, accesibilidad / visibilidad de los procedimientos.
- Relativos a los equipos: inadecuada identificación de los equipos, controles e interruptores situados de forma inadecuada, instrumentos con difícil calibración.
- Relativos al medio: condiciones de trabajo inadecuadas.



10.2.2 Herramientas informáticas que facilitan la realización del estudio

Es aconsejable implantar un sistema corporativo para integrar y mejorar la gestión de estudios PHA. Para ello debe adquirir un software de seguridad de procesos (Tabla 10.2). Las ventajas de utilizar esta herramienta informática sobre los sistemas convencionales son las siguientes:

- Facilita la realización de los estudios PHA.
- Ayuda a unificar criterios tanto técnicos como de calidad en todos los estudios.
- Permite seleccionar entre un amplio rango de técnicas para desarrollar estudios PHA, previamente personalizados y adecuados a las necesidades de la empresa.
- Obliga a seguir un procedimiento de trabajo establecido.
- Dispone de una amplia base de datos (que se refuerza con los nuevos casos que aparecen en los estudios) con situaciones reales de riesgo, palabras guía, desviaciones y ayudas que facilitan la realización del estudio.
- Permite buscar/copiar información de estudios anteriores/similares.
- Integra la documentación utilizada en el estudio PHA (P&IDs, hojas de datos) dentro del propio documento PHA, mediante el uso de hipervínculos; de esta forma se puede tener un seguimiento de la revisión de dichos documentos.
- Facilita el almacenamiento, búsqueda y posterior revisión de los estudios PHA.
- El documento del estudio PHA se puede ver a través de una herramienta de lectura en cualquier ordenador. También es posible exportar el documento a otros formatos, por ejemplo, hojas de cálculo.
- Reduce los tiempos de trabajo para el caso de revalidación de estudios PHA.
- Mejora y facilita la gestión y el seguimiento de las recomendaciones

También es aconsejable disponer de un sistema de gestión documental (SGD) que almacene los estudios PHA generados por el software de seguridad de procesos, la cual debe tener las siguientes características:

- Almacenamiento masivo de documentos: el sistema debe ser capaz de almacenar un número importante de documentos de una forma sencilla.
- Multiusuario: el sistema debe ser capaz de permitir el acceso a un gran número de usuarios.
- Accesibilidad: el sistema debe permitir establecer de una forma sencilla perfiles de accesos en función del tipo de usuarios. Debe de ser capaz de restringir el acceso a los usuarios autorizados por la unidad de negocio con distintos permiso para lectura o escritura.
- Respaldo: la información debe almacenarse de una forma segura, por lo que será necesario realizar copias de seguridad de forma automática.



SOFTWARE	COMPAÑÍA
PHA-Pro 7 SVA-Pro7 RMP – Pro FMEA-Pro 7 FTA-Pro SmartMOC	Dyadem www.comdyadem.com
PHAWorks 5	Primatech www.primatech.com
HAZOPTimizer ioFirst Supercherms 5.95	ioMósaic www.iomosaic.com
STOP DataPro	DuPont www.Dupont.com
AcuTrack	AcuTech www.acutech-consulting.com
Designsafe 5	Design Safety Engineering www.designsafe.com
CIRSMÁ (Corporate Industrial Risk and Safety Management Application)	Industrial Safety Integration Inc. www.industrialsafetyintegration.com
Patriot Software Prognos	PureSafety www.puresafety.com
Syntex IMPACT Enterprise	Syntex www.syntexsolutions.com
Risk MonitorPro	rl-solutions www.rl-solutions.com
ITEM ToolKit	Item www.itemuk.com

 Tabla 10.2. Software de seguridad de procesos


10.3 Documentar los resultados

La importancia de documentar de manera adecuada los resultados de los estudios PHA es normalmente no entendida o menospreciada. Cuanto mayor sea la calidad de la documentación del estudio, más fácil será alcanzar los objetivos del mismo. Además, los estudios que no se documentan apropiadamente pueden conllevar responsabilidades legales para la organización que realiza el estudio. Otros objetivos adicionales para documentar los resultados de forma adecuada son consolidar y preservar los resultados fundamentales del estudio para usos futuros, proporcionar evidencias que corroboren que el estudio se ha realizado de acuerdo con prácticas sólidas de ingeniería o respaldar o apoyar las otras actividades del SGS.

A la hora de determinar la extensión y el nivel de detalle de la documentación de un estudio PHA, el equipo debe considerar:

- El propósito del estudio, alcance y limitaciones.
- Quien va a utilizar el estudio: si el público está formado por personas con un conocimiento amplio del diseño del proceso (dirección del proyecto), entonces se necesitan antecedentes menos detallados para explicar los resultados del estudio. Por otro lado, si el informe será probablemente utilizado por personas que no están familiarizadas con el proceso, se debe proporcionar más información para ayudarles a comprender los resultados del estudio.
- Incluir la suficiente información para permitir un examen adecuado de la calidad técnica del análisis.
- Proporcionar las bases para hacer el seguimiento de las acciones no resueltas.

10.3.1 Documentación generada en las sesiones de trabajo

La documentación generada durante las sesiones se debe rellenar, por el secretario técnico, en forma de hoja de trabajo e incluye:

- Las áreas del proceso a documentar.
- La información que describe el escenario de peligro.
- Las medidas de seguridad.
- La probabilidad y severidad del escenario (si se dispone de esta información).
- Las recomendaciones.

Si durante las sesiones, no hay suficiente información para determinar si existe un problema, se debe asignar a un miembro del equipo para que investigue e informe al resto del equipo antes de que se complete el estudio.



10.3.2 Informe final del estudio PHA

Los resultados del informe final 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.

Como se ha indicado anteriormente, el informe final debe dejar claramente reflejado el estado de las recomendaciones. En caso de que no fuese posible solucionar todas las recomendaciones antes de la emisión del informe final, se incluirán en el mismo las fechas límite para implementar cada una de las recomendaciones abiertas.

Un informe de un estudio PHA puede contener una variedad de elementos, dependiendo de las necesidades definidas por la organización que encarga el estudio. A pesar de lo cual todo informe debe contener información clara y relevante acerca de:

- Motivo, alcance y objetivos del estudio.
- Metodología utilizada.
- Proceso analizado.
- Participantes y responsabilidades.
- Premisas utilizadas.
- Resumen de los resultados: estado/seguimiento de las recomendaciones.
- Material de referencia: documentación utilizada y revisión de la misma

Generalmente se requiere que la documentación sea más amplia cuando la compañía que encarga el estudio PHA busca maximizar los beneficios de la aplicación del mismo, utilizar los resultados del estudio para ayudar a que las revisiones periódicas del proceso sean más eficientes, usar el estudio para mejorar el diseño/operación de un proceso similar, apoyar un asunto técnico o de legislación, apoyar otras actividades del SGS. En estas situaciones, el contenido del informe es más extenso y puede incluir los elementos siguientes:

- Una sección que describa los detalles específicos de las técnicas PHA utilizadas en el estudio.
- Una descripción detallada del proceso, incluyendo esquemas simplificados. Esto es útil para personas que no están familiarizadas con el proceso.
- Justificación de cada recomendación.
- Versiones escritas de las notas u hojas de trabajo que han sido revisadas profundamente.



10.3.3 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 de la instalación estudiada, la cual lo debe distribuir a los departamentos para resolver las acciones resultantes del estudio.
- El responsable del mantenimiento del sistema de gestión de estudios PHA, que normalmente coincidirá con el responsable del departamento de seguridad industrial.

Los beneficios de un estudio PHA disminuyen si los resultados se comunican de forma pobre a los responsables del seguimiento de las acciones. La clave para la comunicación es disponer de un sumario que pueda, de manera individual, informar a los lectores del propósito, alcance y objetivos del estudio y describir los hallazgos significativos.

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. Sólo cuando un proceso ha sido desmantelado la organización puede estar realmente segura que no necesitan la información. Aunque algunas veces, debido a requerimientos legales se debe guardar los informes del estudio PHA después de que el proceso se haya cerrado.



10.4 Seguimiento de las recomendaciones

No se debe considerar concluido un estudio PHA hasta que todas las recomendaciones de modificación han sido evaluadas y/o ejecutadas. Algunas de las recomendaciones serán aceptadas e implementadas, otras serán modificadas o rechazadas. Todas las recomendaciones se presentan a la dirección de la compañía que encarga el estudio PHA para que las evalúe y determine si hacen falta realizar acciones correctivas para eliminar los peligros o reducir los riesgos, además en algunas ocasiones, el equipo PHA debe hacer una clasificación de las acciones de acuerdo con la probabilidad de que pasen y de las consecuencias de sus accidentes.

Las recomendaciones deben mejorar las medidas de seguridad existentes y pueden ser de cuatro tipos:

- Primer nivel de seguridad: medida contra la causa del fallo.
- Segundo nivel de seguridad: medida que proporciona una acción para remediar el suceso que no previene de la causa del fallo.
- Tercer nivel de seguridad: reducir las consecuencias en caso de que ocurra un incidente.
- Cuarto nivel de seguridad: respuesta después de un accidente.

La efectividad de estas medidas de seguridad depende de la probabilidad de que ocurra el suceso, el potencial de severidad del incidente y del tiempo disponible para reaccionar (no asumir que la gente reacciona inmediatamente en situaciones complejas porque pueden ocurrir debido a diferentes causas).

10.4.1 Responsables de la implementación y seguimiento de las recomendaciones

En la fase de desarrollo de proyectos de unidades nuevas o modificación de las existentes será el jefe del estudio PHA el responsable del seguimiento/cumplimiento de las recomendaciones y llevará un control del estado de las mismas hasta su finalización. Si alguna recomendación no es llevada a cabo durante el transcurso del proyecto, el jefe del estudio deberá justificarlo y la conclusión quedará registrada. En caso de que la mejora deba realizarse en una etapa posterior del proyecto, el seguimiento lo realizará el responsable de la seguridad de la instalación.

10.4.2 Justificación de las recomendaciones

La decisión de aceptar o rechazar una recomendación de un equipo PHA es difícil. El criterio del equipo PHA para identificar las soluciones a las situaciones originadas por los peligros identificados es limitado comparado con el criterio usado por la dirección, ya que aunque la dirección de la compañía desee que la operación se realice de forma segura, ésta tiene que



considerar la rentabilidad de la producción y las demandas financieras (la seguridad de una planta tiene un precio) y por ello es importante justificar correctamente las recomendaciones para que sean consideradas por la dirección.

Las recomendaciones no se deben presentar como una lista de deseos, sino que hay que destacar los beneficios que presentan su implantación. Es muy importante presentar recomendaciones bien definidas, para lo que hay que explicar exactamente lo *que* se propone, *porque* hay que implementarla, demostrar que existe información suficiente para sugerir la recomendación e indicar que consecuencias tiene su implementación. Muchas organizaciones usan la matriz de riesgo financiero para justificar la validez de las recomendaciones, la cual resume todas las formas de riesgo en un parámetro llamado coste (dinero) que incluye mortalidad, daños, costes de limpieza del medioambiente, penalizaciones, pérdida del capital de la planta y pérdida de producción.

A continuación se presentan las razones o argumentos más habituales en los que se basa la dirección de una compañía para rechazar las recomendaciones hechas por el equipo PHA:

- Un análisis detallado de ingeniería, realizado después del estudio PHA, indica que la sugerencia no es una buena idea por las siguientes razones...
- Otra información, que no estaba disponible para el equipo PHA, indica que el peligro no es un problema importante como el equipo creía.....
- La implementación de otra recomendación del estudio PHA hace que esta recomendación sea innecesaria...
- La recomendación, aunque puede conllevar una mejora en la seguridad, no proporciona una reducción efectiva del nivel de riesgo como lo hacen otras alternativas.
- El coste de implementar el cambio no justifica la reducción de riesgo que conlleva

10.4.3 Priorizar las recomendaciones

Del estudio PHA resultarán muchas recomendaciones, para ayudar a que la dirección pueda gestionarlas correctamente y tomar decisiones sobre la necesidad de implantarlas, es aconsejable utilizar un método que las pueda priorizar. Existen varios métodos para realizar la priorización, entre los que destacan los siguientes:

- a) Clasificación de riesgos:** estiman la probabilidad y la severidad del riesgo asociado a un escenario de accidente. Destaca el SLRA (Screening Level Risk Analysis).
- b) Priorización simple:** Una escala del 1-5, A-E es utilizada para priorizar subjetivamente la acción.

Dichos métodos se pueden aplicar a la mayoría de estudios PHA. Sin embargo, pueden necesitarse análisis más detallados, como análisis cuantitativos del riesgo, si:



- Existen escenarios de fallo complejos.
- Los cambios potenciales considerados son caros.
- Existe una legislación específica que regula ese tipo de situación.

A la hora de priorizar las recomendaciones de un estudio PHA es conveniente considerar los siguientes puntos:

- Los resultados principales del estudio.
- El criterio para hacer la clasificación de las recomendaciones. Hay dos opciones: hacer la clasificación en función del nivel de riesgo asociado o hacerlo en función de los beneficios que conlleva su aplicación.
- Enfoque para realizar la priorización: las listas de recomendaciones se pueden catalogar según el detalle con que describen las causas y efectos de los accidentes.

10.4.4 Sistema para hacer el seguimiento de la respuesta a las recomendaciones

Antes de implementar ninguna recomendación, se debe revisar cada una de ellas para evitar introducir nuevos peligros en el proceso. Algunas recomendaciones son sencillas y pueden realizarse a través del programa normal de gestión de cambios de la instalación. Para otras recomendaciones, particularmente las relacionadas con cambios complejos del diseño, se devuelven al equipo original que realizó el estudio PHA para analizarlas, sin embargo, esta política no es práctica si la recomendación requiere un largo periodo de tiempo para su evaluación.

Una vez que las recomendaciones del estudio PHA han sido totalmente evaluadas y se han identificado las alternativas, la dirección debe tomar una decisión. Tanto si se decide implementarlas, como si se rechazan, se debe establecer un sistema que realice el seguimiento del estado de la respuesta a cada una de ellas, hasta que estas se hayan implementado por completo o se hayan desechado totalmente. Dicho sistema tiene las siguientes características:

- Informa a la dirección del tiempo que conllevará su implementación (puede dilatarse ampliamente en el tiempo, si la implementación de la recomendación requiere importantes paradas de producción o requiere la construcción o diseño de nuevas instalaciones). En caso de que no se cumpla el plazo, avisa sobre esta circunstancia y se solicita una nueva fecha.
- Permite a la dirección, en base a como percibe el riesgo, tomar medidas especiales (reducir la producción) hasta que la recomendación se implemente o la instalación opere como lo hacia hasta antes del cambio.
- Identifica al responsable de la implementación de la recomendación.
- Documenta la respuesta de la dirección a cada recomendación, algunas organizaciones añaden sus respuestas al informe original del estudio PHA y otras crean un documento por separado.



10.5 Gestión de los cambios y su influencia sobre el estudio PHA

Las recomendaciones de modificación propuestas por un estudio PHA (comentadas anteriormente) 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. Normalmente se puede hacer rápidamente a través de una revisión del informe original del estudio PHA y evaluando los efectos potenciales de la modificación. Otras veces será necesario volver a juntar el equipo que realizó el estudio y evaluar el efecto del cambio. En definitiva, una medida existente de seguridad o una que se introduce para tratar un problema específico o peligro potencial pueden introducir nuevos peligros.

Cuando se introducen modificaciones o cambios en un proceso (modificaciones de equipo, procedimientos, materiales, condiciones de proceso, tecnología de proceso, control, materiales de construcción, tuberías, programas informáticos) es importante gestionarlos correctamente a través de la evaluación de su influencia sobre la validez del estudio PHA existente. Se pueden dar las siguientes situaciones:

a) Aceptación del estudio PHA: No se han realizado cambios o no han aparecido nuevos criterios (técnicos, de seguridad) lo suficientemente importantes para no revalidar el estudio existente.

b) Revalidación del estudio PHA: Los motivos más habituales para revalidar un estudio existente son; los cambios realizados son lo suficientemente importantes o se ha superado el período de validez del mismo. Cuando se revalide un estudio PHA es necesario elaborar un informe, como el que se realiza para un estudio PHA nuevo, que se debe conservar, preferiblemente, en el sistema de gestión.

c) Nuevo estudio PHA: 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.

Cuando se proyecten modificaciones importantes de una unidad existente se recomienda actuar de la siguiente forma:

1º) Si la unidad no cuenta con un estudio PHA previo, se debe proponer la realización del estudio de la unidad completa, aunque la ingeniería encargada del proyecto solo incluya dentro de su alcance el análisis de la parte modificada

2º) En caso de que se disponga del estudio PHA, pero no está incluido en sistema de gestión, el proyecto se realizará sobre los nuevos nodos, correspondientes a los nuevos sistemas, y revalidará el estudio en aquellos que hayan sufrido modificaciones debidas al proyecto. El resto de nodos se importarán al sistema de gestión de estudios PHA.

3º) Si el estudio PHA está disponible en el sistema de gestión se procederá a una revalidación del mismo usando una herramienta de control de cambios que posee el propio sistema.



Revalidación del estudio PHA:

Como se ha indicado anteriormente, para determinar si es necesaria una revalidación de un estudio PHA hay que tener en cuenta el número y la magnitud de los cambios producidos desde que se realizó el mismo, así como la existencia de nuevos requerimientos o deficiencias encontradas. La compañía que encarga el estudio PHA establece un plazo máximo de validez de los estudios, normalmente 5 años, una vez superado, será necesario evaluar la necesidad de realizar la revalidación. Cualquier indicio que haga sospechar que un estudio PHA no está actualizado obligará a realizar la revalidación, independientemente del tiempo que haya transcurrido desde la realización de la última revisión del estudio. En 1997 Philley y Moosemiller propusieron un método para decidir si el estudio PHA original necesita revalidarse.

La importancia de revalidar un estudio PHA reside en el hecho de que garantiza los siguientes puntos:

- Mantiene activo el valor de la inversión realizada para la realización del estudio PHA previo.
- Que la información sobre la seguridad del proceso es completa, precisa y actualizada.
- Que los procedimientos operativos están actualizados.
- Que las recomendaciones del estudio PHA anterior han sido implementadas.
- Que las lecciones aprendidas en accidentes o incidentes recientes han sido tenidas en cuenta y aplicadas.
- Que los nuevos requisitos de calidad, que hayan podido surgir desde el último estudio PHA, han sido incluidos.
- Que los últimos y más recientes requisitos legales están al día y han sido tenidos en consideración.

Para determinar el alcance de la revalidación hay que considerar los siguientes puntos:

- Influencias internas y externas: nuevos requerimientos de la reglamentación, modificaciones grandes desde el último análisis.
- Calidad del estudio PHA previo.
- Experiencia en la operación: la experiencia con la unidad de proceso, la importancia de los incidentes que han ocurrido desde el último PHA.

Realización de un nuevo estudio PHA:

Los cambios que normalmente justifican realizar un estudio PHA nuevo son:

- 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.



10.6 Control de calidad de un estudio PHA

Debido al tiempo y los recursos invertidos en la realización de un estudio PHA, realizar un trabajo de calidad y establecer un sistema de control de calidad es fundamental para asegurar que el esfuerzo realizado por la compañía que solicita el estudio ha sido bien empleado.

En el supuesto de que ocurra un accidente/incidente, es previsible que las autoridades competentes requieran de los estudios PHA para su revisión y análisis, y con seguridad prestará mucha atención en la calidad de los mismos. Todos los miembros del grupo permanente deben ser conscientes de las implicaciones que puede tener un estudio PHA, las cuales les son transmitidas por el líder del estudio, y por ello deben velar por la calidad del mismo durante todas las fases, resaltando todas aquellas desviaciones que vayan en perjuicio del estudio, así como de la empresa.

A menudo un estudio es percibido como pobre porque no se han comprendido los resultados requeridos y por ello es importante garantizar que todo el mundo comprende claramente la naturaleza del estudio PHA y los resultados esperados del mismo. Otras razones para obtener resultados pobres son:

- Falta de tiempo para realizar el estudio.
- Documentación inadecuada.
- Instalaciones inadecuadas.
- Esfuerzos inadecuados del equipo.
- Baja eficacia del líder.

10.6.1 Evaluación del estudio PHA

Una vez finalizado el estudio y con el objetivo de establecer una base de calidad de los estudios PHA que se realicen, el líder del estudio debe evaluar los siguientes puntos:

1. Recursos materiales y documentales:

- 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.

2. Equipo técnico y calidad de las sesiones:

- 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.

3. Consideraciones finales:

- Interés general demostrado por los participantes.
- Congruencia de las acciones de mejora.
- Afectación al entorno y sistemas ajenos de las acciones de mejora.

10.6.2 Evaluación de la actuación del líder del estudio PHA

Para establecer un control de calidad sobre los estudios PHA, el equipo técnico permanente debe evaluar, una vez acabado el estudio, la actuación del líder a lo largo del desarrollo del mismo. Esta evaluación deberá estar asociada a un procedimiento, que permita establecer una base de datos de los líderes aceptados para la realización de los estudios PHA y debe incluir los siguientes puntos:

1. Valoración del líder en la preparación del estudio:

- Definición del motivo, alcance y objetivos.
- Programación de las sesiones para el estudio PHA.
- Selección y claridad en la presentación de los nodos.

2. Valoración del líder durante las sesiones PHA:

- 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.



10.7 Conexión del estudio PHA con otros estudios

Una vez que las técnicas PHA han identificado y valorado los peligros, puede ser necesario realizar una valoración cuantitativa del riesgo asociado a determinados escenarios de peligro identificados, la cual se basa en:

- La probabilidad de que se produzcan los peligros.
- La magnitud de las consecuencias que pueden producir los peligros.

Riesgo= consecuencias x frecuencia

Las técnicas más utilizadas para la valoración cuantitativa del riesgo son:

- Estudios de Selección de SIL (Safety Integrity Levels).
- Los estudios de Alcance de Consecuencias (EAC).
- Análisis de capas de protección (LOPA).

La necesidad de realizar estos estudios se debe a la imposibilidad de eliminar totalmente el riesgo potencial. Las formas más comunes para reducir el riesgo asociado a un proceso (de menor a mayor complejidad) son:

- Sistemas de control y alarma.
- Prevención.
- Reducción.
- Plan de respuesta de emergencia.
- Respuesta de la comunidad en caso de emergencia.

Una de las metodologías más utilizadas para la valoración del riesgo consiste en asignar a cada escenario un índice de frecuencia (probabilidad de ocurrencia) y un índice de severidad de las consecuencias, obteniendo un índice de riesgo que se asocia a un Safety Gap (SG), el cual representa la diferencia entre el riesgo del escenario y el criterio de aceptabilidad de riesgo establecido por la compañía en cuestión.

Según el valor del SG se utilizará una técnica u otra para valorar el riesgo asociado al escenario:

- SG alto (escenario con riesgo elevado) se realizará un estudio de valoración de riesgo detallado, como LOPA.
- SG bajo se realiza un estudio de selección de SIL.

Los métodos más utilizados para el cálculo del índice de riesgo son:

1. Método CEL (Consecuente, Exposure and Likelihood).
2. Método Risk Graph.

Método CEL (Consecuente, Exposure and Likelihood):

La valoración del riesgo se establece como producto entre la frecuencia de ocurrencia, la severidad de las consecuencias y el factor de exposición al daño del elemento vulnerable. El valor



del riesgo se asocia a un SG, el cual se compara con una tabla con potenciales de suceso.

Método Risk Graph:

Para evaluar el riesgo se utilizan gráficos de riesgo. Se diferencia entre los riesgos asociados a la seguridad de las personas, medio ambiente y la propiedad, para lo cual se establecen tablas independientes para cada uno de ellos. El SG resultante del escenario es el máximo valor obtenido de los tres gráficos.

10.7.1 Estudios de Selección de SIL (Safety Integrity levels)

Los principales estándares de SIL son:

- ANSI/ISA S84.01-1996: Application of safety instrumental systems for the process industries.
- IEC 61508-2000: Functional safety of electrical/electronic/programmable systems.
- IEC 61511-2003: Functional safety-safety instrumental systems for the process industry sector.

Ambos requieren asignar niveles de integridad de la seguridad (SIL) a las funciones instrumentales de seguridad (SIF) de los sistemas instrumentados de seguridad (SIS) para procesos con un elevado nivel de peligro.

Hay cuatro niveles de SIL (1-4), la asignación de SIL se basa en la necesidad de proporcionar sistemas de seguridad o de reducción de los peligros, incluido el sistema instrumental.

Existen varios métodos para el cálculo de SIL:

- Gráfico de riesgos: IEC 61511 reconoce el valor de aplicar de forma conjunta el gráfico de riesgos con diferentes capas de protección para modificar los requerimientos de SIL.
- Consequence-based (sólo recomendado por ANSI/ISA S84): es el método más simple porque no tiene en cuenta la probabilidad y sólo requiere relacionar las consecuencias directamente con los valores de SIL.
- HAZOP modificado o HAZOP con matriz de riesgo (sólo recomendado por ANSI/ISA S84): Se utiliza en la etapa de diseño para asignar valores SIL (1-4) a los SIS.
- Matriz de riesgo por capas.
- LOPA.



10.7.2 Los estudios de Alcance de Consecuencias (EAC)

El estudio de alcance de consecuencias se realiza a partir de la lista de escenarios de accidente identificados mediante técnicas PHA. Un escenario como mínimo, contiene una causa y una consecuencia. Se deben identificar los sucesos intermedios, o condiciones, entre la causa y la consecuencia (explosiones, fuego). También se deben mencionar los sucesos que originaron el accidente (sucesos iniciadores, causa original, modo de fallo).

Se estima, mediante simulación numérica, el alcance de los efectos físicos peligrosos: radiación térmica, onda de presión, concentración tóxica, etc. Los escenarios de accidente se pueden clasificar en función de los efectos de los mismos en:

- Escenarios genéricos de pérdida de contención de productos peligrosos derivados de fallos aleatorios de los equipos de proceso.
- Escenarios operativos de pérdida de contención de productos peligrosos motivados por desviaciones externas en los principales parámetros de proceso de la instalación.

Para determinar los escenarios operativos será necesario obtener información de un estudio PHA. Terminado este estudio se mantendrá una reunión entre el consultor que realizará el estudio de alcance de consecuencias y el jefe del estudio PHA para consensuar una lista de escenarios representativa. Dicha lista podrá ser ampliada con los escenarios genéricos que sean precisos.

10.7.3 LOPA (Layer of Protection Analysis)

LOPA es una metodología semi-cuantitativa de análisis del riesgo que se usa para evaluar el riesgo de escenarios peligrosos que han sido identificados por estudios PHA. El riesgo estimado es comparado con el criterio de tolerancia de riesgo para decidir si los niveles de protección actuales son adecuados o si se necesita una reducción del riesgo. Requiere entradas numéricas como frecuencias y probabilidades de fallo y se puede aplicar en todo el ciclo de vida.

Introduce el concepto de protección contra consecuencias serias, como un fuego, no sólo a nivel individual o capa, sino en múltiples niveles o capas de protección. Por ejemplo, en caso de incendio el sistema del cierre de emergencia constituye una capa o nivel, el sistema de regulación de presión y el sistema de incendios otra.

Se usa fundamentalmente para evaluar las opciones de diseño del proceso, calcular los costes de seguridad, evaluar el factor humano en la puesta en marcha, programas de integración mecánica, formación en seguridad y manual de operaciones.



10.8 Conclusiones y consejos

En este apartado se sintetiza toda la información sobre el sistema de gestión de estudios PHA propuesto en una serie de recomendaciones que facilitan la utilización y comprensión del mismo:

- a) 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:
- **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.**
 - **Garantizar que el lugar de reunión cuenta con los medios necesarios en el caso de que no exista la figura de coordinador de lugar.**
- b) Importancia de la figura del líder en la conducción del equipo que realiza el estudio PHA. Prestando especial interés en su rol en los siguientes cometidos:
- **Estimación de la duración del estudio.**
 - **Programación del trabajo realizado en el estudio.**
 - Selección de los nodos del sistema.
 - Capacidad de mantener la atención del grupo.
 - Conducción del grupo.
 - Capacidad de generar el debate de ideas.
 - Conocimiento de la normativa aplicable.
 - Definición de los parámetros del proceso.
 - **Documentación del informe final en el caso de que desempeñe el rol de secretario técnico.**
 - Respeto de los alcances y objetivos previstos.
- c) Disponer del equipo técnico permanente adecuado para el proceso. Destacando las siguientes características del mismo:
- Experiencia/conocimiento de la instalación analizada.
 - Heterogeneidad de los campos de conocimiento de los participantes del equipo (operación, seguridad, mantenimiento, etc.).
 - Calidad de la discusión generada por los participantes.
 - Estabilidad de la composición del equipo a lo largo de las sesiones.
 - Atención de los participantes durante las sesiones de trabajo.
- d) Disponer de los recursos adecuados para la realización del estudio:
- Información y documentación técnica adecuada y suficiente sobre el proceso a estudiar. Es importante disponer de ella con la suficiente antelación.



- 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.
- e) Identificar los peligros y los escenarios de peligro asociados al proceso, prestando especial interés en los puntos anteriormente citados. Evaluar los peligros identificados en función de la técnica PHA utilizada y los resultados requeridos por el estudio.
- f) Utilizar un software de seguridad de procesos y un sistema de gestión documental para facilitar la realización del estudio y permitir un modo fácil de registrar y tener acceso a la información generada durante las sesiones de trabajo.
- g) Documentar, de forma adecuada, el informe final que contiene los resultados del estudio PHA, así como dirigirlo a los destinatarios adecuados.
- h) 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.
- i) Importancia de tener un sistema de gestión de los cambios aparecidos en el proyecto para determinar si es necesario revalidar el estudio PHA.
- j) En los casos en los que haya que evaluar o valorar el riesgo asociado a determinados escenarios de peligro, considerar la realización de nuevos estudios o análisis para completar los resultados de los estudios PHA.
- k) Importancia de controlar la calidad de los estudios PHA a través de evaluaciones del trabajo desempeñado por el líder de estudio, de los medios disponibles y del equipo técnico.



Conclusiones

Al realizar el proyecto, se ha podido constatar la gran importancia y relevancia que están adquiriendo los estudios PHA en la actualidad. Esto se debe básicamente a dos razones; a la numerosa legislación que obliga a realizarlos y a sus posibilidades para usarlos como herramienta para prevenir los peligros y accidentes que pueden aparecer en las instalaciones industriales, con los consiguientes beneficios económicos y medioambientales.

Para intentar subsanar la falta de información sobre cómo aplicar los estudios PHA que la legislación presenta, sobretodo en el caso de España, en este proyecto se han desarrollado varios modelos teóricos para seleccionar y aplicar técnicas PHA. Los cuales a pesar de no haber sido probados en estudios PHA reales, su aplicación puede abaratar el coste y acortar el tiempo asociado a esta compleja actividad.

A continuación, se citan las principales conclusiones que se han extraído al desarrollar los diferentes modelos anteriormente mencionados:

Se ha constatado la importancia de aplicar las técnicas PHA que son más adecuadas, para tratar los peligros característicos de la actividad desarrollada en las diferentes etapas del ciclo de vida del proceso a estudiar y para obtener los resultados que los estudios PHA normalmente requieren a esas alturas de proyecto. Para facilitar el proceso de selección de técnicas PHA se ha realizado una sencilla aplicación informática.

En lo referente al sistema para gestionar la realización de estudios PHA, se ha constatado la importancia de los siguientes puntos:

- Definir de forma clara y concisa los objetivos y alcance del estudio.
- Seleccionar el equipo y la técnica adecuada. Entre los componentes habituales de un equipo PHA, destacan la figura del jefe y del líder.
- Realizar estudios PHA a lo largo de todo el ciclo de vida del proceso a estudiar, para de este modo permitir que los peligros y accidentes se puedan prevenir.
- Utilizar un software de seguridad de procesos para facilitar la realización del estudio. En el proyecto se enumeran los que en la actualidad tienen un uso más extendido, aunque no se ha podido recomendar ninguno debido a la imposibilidad de tener acceso a la mayoría de los mismos.
- Documentar de forma adecuada los resultados y enviar a los destinatarios oportunos el informe final.
- Hacer el seguimiento de las recomendaciones hasta su definitiva cancelación y/o implementación.

Debido a la extensión limitada del proyecto y al elevado número de técnicas PHA sobre las que



versa el mismo, se ha decidido incluir en el anexo B una serie de orientaciones generales sobre aquellos aspectos del sistema de gestión de estudios PHA en los que las diferentes técnicas presentan diferencias notables:

- El tiempo y el equipo necesario para su aplicación, cuya estimación ha demostrado presentar una gran complejidad.
- La metodología de aplicación y la documentación de sus resultados Este tema se puede profundizar consultando la numerosa bibliografía disponible.

Por último, destacar que la guía gráfica para seleccionar y aplicar técnicas PHA (Anexo C) tiene el objetivo de sintetizar de forma visual toda la información referente a los modelos teóricos desarrollados en la memoria. Por ello se recomienda la utilización de la misma para dar una formación introductoria a aquellas personas con escasos conocimientos en dichas técnicas.



Agradecimientos

Me gustaría agradecer especialmente a mi Director de proyecto, Josep Arnaldos, su amabilidad, disponibilidad y orientación, los cuales han hecho posibles la realización de este proyecto.

A Jordi Dunjó, agradecerle su apoyo y asesoramiento, ya que sin él no hubiera sido posible realizar un proyecto sobre una temática en la que yo nunca había trabajado.

A Guillermo Castro, agradecerle su ayuda y consejo para realizar la aplicación informática.

Por último, agradecer a todas aquellas personas, que con su apoyo y comprensión me han ayudado a superar los momentos más difíciles, y que sin su ayuda, no hubiese podido realizar este proyecto. Entre ellas destacan:

- Mis padres por el cariño que siempre me han dado y por haberme permitido estudiar esta carrera.
- Mi hermano Nacho, por su interés y apoyo en lo que hacia.
- María, porque ha sido la persona que ha vivido más de cerca el duro camino que ha conducido a este proyecto, gracias por haber estado siempre a mi lado.
- Mis compañeros de piso Luís, Víctor, Nacho, Xabi y Javi, porque me habéis sacado de fiesta en los momentos difíciles y porque habéis sufrido el desarrollo del proyecto en primera persona.
- A mis amigos Estanis, Magda, Xisco, Toni, Mirillas, Cele, Nacho, Ferrer, Bustillo, Guti, Zafi y todos los que con vuestra amistad me habéis ayudado a realiza este proyecto.





Bibliografía

Referencias bibliográficas

Referencias bibliográficas, ordenadas por orden con el que han sido mencionadas a lo largo de la memoria. 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 y guías, todos ellos han sido utilizados para redactar este trabajo y su consulta puede ser útil para profundizar en el contenido del mismo.

A continuación se adjuntas las referencias bibliográficas que aparecen en este trabajo:

- [1]. SUCHMAN, E. *A conceptual analysis of the accident problem. Social Problems*. Vol. 8(3), 1961, p. 241-246.
- [2]. ROUHIAINEN, V. *QUASA: A method for assessing the quality of safety analysis. Safety Science*. Vol. 15, 1992, p. 155-172.
- [3]. HURST, N., SOWERBY, J., DONALD, I. *Development in the UK of some tools and techniques for the inspection and assessment of safety management systems and attitudes to safety. Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries*. Vol.1, 1995, p. 107-117.
- [4]. HURST, N., YOUNG, S., DONALD, I. *Measures of Safety Management Performance and Attitudes to Safety at Major Hazards Sites. Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol.9, 1996, p. 161-172.
- [5]. DONALD, I., CANTER, P. *Employee Attitudes and Safety in the Chemical Industry. Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol.7, 1994, p. 203-208.
- [6]. SRINIVASAN, R., VENKATASUBRAMANIAN, V. *Multi-perspective Models for Process Hazard Analysis of Large Scale Chemical processes. Computers Engineering*. Vol. 22, 1998, p. 961-964.
- [7]. REDMILL, F. *Risk analysis: a subjective process. Engineering Management Journal*. Abril 2002, p. 91-96.
- [8]. GOWLAND, R. *The accidental risk assessment methodology for industries (ARAMIS)/layer*



of protection analysis (LOPA) methodology: A step forward towards convergent practices in risk assessment. Journal of Hazardous Materials. Vol. 130(3), 2006, p. 307-310.

- [9]. CCPS. *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis* (Vol. 32), Nueva York, 1989.
- [10]. API (American Petroleum Institute), Recommended Practise (RP) 750: *Management of Process Hazards*. Whashington, 1992.
- [11]. FAISAL, I., ABBASI, S.A. *Techniques and Methodologies for risk Analysis in Chemical Process Industries. Journal of Loss Prevention in the Process Industry. Vol.11, 1998, p. 261-277.*
- [12]. ISGRA. *Risk analysis in the process industries-an ISGRA update. Plant/Operation Progress. Vol. 4(2), p.63-67.*
- [13]. KAFKA, F.L. *The 1984 European Major Hazards Conference*, Londres, 1984.
- [14]. SOUKAS, J. *Accident Analysis and Prevention. Vol. 20(1), p. 67-85.*
- [15]. POPAZOGLU, I., NIVOLIANTIOU, A., et al. *Journal of loss prevention in the process industry. Vol. 5(3), 1992, p. 181-191.*
- [16]. 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.*
- [17]. CRAWLE, F., TYLER B. *Hazard Identification Methods. EPSC- European Process Safety Center / IChemE-Institution of Chemical Engineers. Londres, 2003.*
- [18]. JAMES, R., WELLS, G. *Safety reviews and their timing. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Vol. 7(1), 1994, p. 11-21.*
- [19]. DELVOSALLE, C., FIEVEZ, C., PIPART, A., DEBRAY, B. *Accident scenarios in process industries. Journal of Hazardous Materials. Vol.130 (3), 2006, p. 200-219.*
- [20]. MCDOWALL, R.D. *Effective and practical risk management options for computerised system validation. The Quality Assurance Journal. Vol. 9(3), 2005, p. 196-227.*
- [21]. MULVIHILL, R. *IEEE Transactions on Reliability. Vol. 3(2), 1988, p.149-153.*



- [22]. KLAASSEN, K.B., VAN PEPPEN, L. *System Reliability, Concepts and Applications*. Nueva York, 1989.
- [23]. SHAFAGHI, A., COOK, F. *Application of a Hazard & Operability Study to Hazard Evaluation of an Absorption Heat Pump*. *IEEE Transactions on Reliability*. Vol. 37(2), 1988.
- [24]. KUO, D.H., HSU, D.S. *A prototype for integrating automatic fault tree/event tree/HAZOP analysis*. *Computers Chemical Engineering*. Vol. 21, 1997, p. 923-928.
- [25]. MAURI, G., MCDERMID, J., PAPADOPOULOS, Y. *Extension of Hazard and Safety Analysis Techniques to address problems of Hierarchical scale*.
- [26]. SWANN, C.D., PRESTON, M.L. *Twenty-five years of HAZOP*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 8(6), 1995, p. 349-353.
- [27]. VAIDHYANATHAN, R., VENKATASUBRAMANIAN, V. *A semiquantitative reasoning for filtering and ranking HAZOP results in HAZOPEXPERT*. *Reliability Engineering and System*. Vol. 53 (2), 1996, p. 185-203.
- [28]. CAGNO, E., CARON, F., MANCINI, M. *Risk analysis in plant commissioning: the multilevel HAZOP*. *Reliability Engineering & System Safety*. Vol. 77, 2002, p. 309-323.
- [29]. KENNEDY, R., KIRWAN, B. *Development of a hazard and operability-based method for identifying safety management vulnerabilities in high risk systems*. *Safety Science*. Vol. 30, 1998, p. 249-274.
- [30]. FAISAL, I., ABBASI, S.A. *TOPHAZOP: a knowledge-based software tool for conducting HAZOP in a rapid, efficient yet inexpensive manner*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 10(5-6), 1997, p. 333-343.
- [31]. RAMZAN, N., COMPART, F., WITT, W. *Methodology for the generation and evaluation of safety system alternatives based on extended HAZOP*. *Process Safety Progress*. Vol. 26(1), 2007, p. 35-42.
- [32]. FAISAL, I., KHAN, ABBASI, S.A. *Analytical simulation and PROFAT II: a new methodology and a computer automated tool for fault tree analysis in chemical process industries*. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 75(1), 2000, p. 1-27.



- [33]. WANG, Y., TEAGUE, T., WEST, H., MANNAN, S. *A new algorithm for computer-aided fault tree synthesis*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 15(4), 2002, p. 265-277.
- [34]. VISWANATHAN, S., SHAH, N., VENKATASUBRAMANIAN, V. *A hybrid strategy for batch process hazard analysis*. *Computers & Chemical Engineering*. Vol. 24, 2000, p. 545-549.
- [35]. NIGEL, H. *Guidelines for Process Hazards Analysis, Hazards Identification & Risk Analysis*. DYADEM Press / CRC Press, 2003.
- [36]. DROGARIS, G. *Major Accidents reporting system: lessons learned from accidents notified*. Community Documentation Centre on Industrial Risk, 1991.
- [37]. DROGARIS, G. *Major accidents reporting system*. Amsterdam: Elsevier, 1993.
- [38]. KOIVISTO, R., NIELSEN, D. *FIRE- a database on chemical warehouse fires*. *Journal of Loss Prevention in Process Industries*. Vol. 7, 1989, p. 209.
- [39]. BRUCE, R.P. *The offshore hydrocarbon releases (HCR) database*. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 12, 1994, p. 107.



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 temas o capítulos en los que han aportado más información para la redacción del trabajo. No se incluyen en las referencias bibliográficas porque no son tan necesarias para profundizar en el contenido del trabajo.

SGS:

CEPP, Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office, *General Guidance on Risk Management Programs for Chemical Accident Prevention* (40 CFR part 68), 2004.

DEMICHELA, M., PICCININI, N., ROMANO, A. *Risk analysis as a basis for safety management system. Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 17(3), 2004, p. 179-185.

FERNÁNDEZ-MUÑIZ, B., MONTES-PEÓN, J.M, VÁZQUEZ-ORDÁS, C.J. *Safety management system: Development and validation of multidimensional scale. Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 20(1), 2007, p. 52-68.

GUNDERSON, S. *A review of organizational factors and maturity measures for system safety analysis. Systems Engineering*. Vol. 8(3), 2005, p. 234-244.

HALE, A.R. *Safety management in production. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*. Vol. 13(3), 2003, p. 185-201.

HARMS-RINGDAHL, L. *Relationships between accident investigations, risk analysis, and safety management. Journal of Hazardous Materials*. Vol. 111(1-3), 2004, p. 13-19.

HAUPTMANN, U., Marx, M. *Valuation of the Quality of Safety Management. Chemical Engineering & Technology*. Vol. 23(7), 2000, p. 633-636.

Técnicas y estudios PHA:

ABERNATHY, C.O., ROBERTS, W.C. *Risk assessment in the Environmental Protection Agency. Journal of Hazardous Materials*. Vol. 39(2), 1994, p.135-142.



BROWN, A. E., BUCHIER, P. M. *Hazard identification analysis of a hydrogen plant. Process Safety Progress.* Vol. 18(3), 1999, p. 166-169.

DESHOTELS, R., DEJMEK, M. *Choosing the level of detail for hazard identification. Process Safety Progress.* Vol. 14(3), 1995, p. 218-225.

FAISAL, I., KHAN, ABBASI, S.A. *Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences. Journal of Loss Prevention in the Process Industry.* Vol. 12, 1999, p. 361-378.

FAISAL, I., ABBASI, S.A. *Risk Analysis of a Typical Chemical Industry using QRA procedure. Journal of Loss Prevention in the Process Industry.* Vol. 14, 2001, p. 43-59.

FAISAL, I., ABBASI, S.A. *Risk analysis of a petrochemical industry using ORA (optimal risk analysis) procedure. Process Safety Progress.* Vol. 20(2), 2001, p. 95-110.

FAISAL, I., ABBASI, S.A. *A criterion for developing credible accident scenarios for risk assessment. Journal of Loss Prevention in the Process Industry.* Vol.15, 2002, p. 467-479.

GOULD, J. *Review of Hazard Identification Techniques.* Health and Safety Laboratory, 2000.

HUANG, H., ADJIMAN, C.S., SHAH, N. *Quantitative framework for reliable safety analysis. AIChE Journal.* Vol. 48(1), 2002, p. 78-96.

PALMER, P.J. *Evaluating and assessing process hazard analysis. Journal of Hazardous Materials.* Vol.115, 2004, p. 181-192.

Sistema de gestión de estudios PHA:

U.S Department of Energy. DOE HDBK-1100-2004: *Chemical Process Hazards Analysis.* Washington, 2004.

Tutorial de PHAWORKS 5 (Primatch).

NIGEL, H. *Guidelines for Process Hazards Analysis, Hazards Identification & Risk Analysis.* DYADEM Press / CRC Press, 2003.

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.

